



**La fertilité des sols
dans les systèmes fourragers**
Journées AFPF (8 - 9 avril 2015 – Paris)
**Performances des rotations à base de cultures
fourragères en termes de gaz à effet de serre (GES)
et bilan de carbone**

Abad Chabbi^{1,2}

**Nimai Senapati¹, André Giotri¹, Marco Carrozi²,
François Gastal³, Françoise Vertès⁴ Sylvie. Recous⁵,
Katja Klumpp⁶, Raia Sylvia Massad² et Cornelia Rumpel²**

1 : INRA centre Poitou-Charentes, URP3, 86 600 Lusignan abad.chabbi@lusignan.inra.fr

2 : INRA, UMR ECOSYS, Thiverval-Grignon

3 : INRA, UE FERLUS, Lusignan

4 : INRA, UMR SAS, Quimper

5 : INRA, UMR FARE, Reims

6 : INRA UREP, Clermont-Ferrand

Closing yield gaps through nutrient and water management

Nathaniel D. Mueller¹, James S. Gerber¹, Matt Johnston¹, Deepak K. Ray¹, Navin R. Shanketty² & Jonathan A. Foley¹

In the coming decades, a crucial challenge for humanity will be meeting future food demands without undermining further the integrity of the Earth's environmental systems¹⁻⁶. Agricultural systems are already major forces of global environmental degradation^{4,7}, but population growth and increasing consumption of calorie- and meat-intensive diets are expected to roughly double human food demand by 2050 (ref. 3). Responding to these pressures, there is increasing focus on 'sustainable intensification' as a means to increase yields on underperforming landscapes while simultaneously decreasing the environmental impacts of agricultural systems^{2-4,8-11}. However, it is unclear what such efforts might entail for the future of global agricultural landscapes. Here we present a global-scale assessment of intensification prospects from closing 'yield gaps' (differences between observed yields and those attainable in a given region), the spatial patterns of agricultural management practices and yield

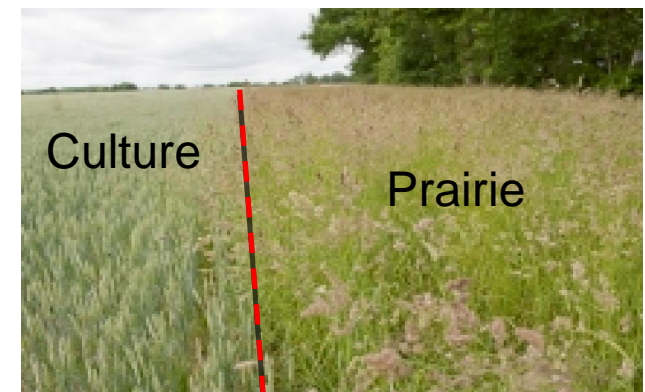
Assessing opportunities for more sustainable intensification requires an understanding of the factors driving yield variation across the world. Fundamentally, yield gaps are caused by deficiencies in the biophysical crop growth environment that are not addressed by agricultural management practices. Here we explicitly examined key biophysical drivers of crop yield by using global, crop-specific irrigation data¹⁴ and by developing a new global, crop-specific data set of nitrogen (N), phosphate (P₂O₅) and potash (K₂O) fertilizer application rates. We find extensive geographic variation in these management practices, with high fertilizer application rates concentrated in high-income and some rapidly developing countries (Fig. 3a and Supplementary Fig. 1). Likewise, irrigated areas¹⁴ are heavily concentrated in South Asia, East Asia and parts of the United States (Fig. 3b).

Using input–yield crop models, we found that the spatial patterns of climate, fertilizer application and irrigated area explain 60% to 80% of

Le contexte

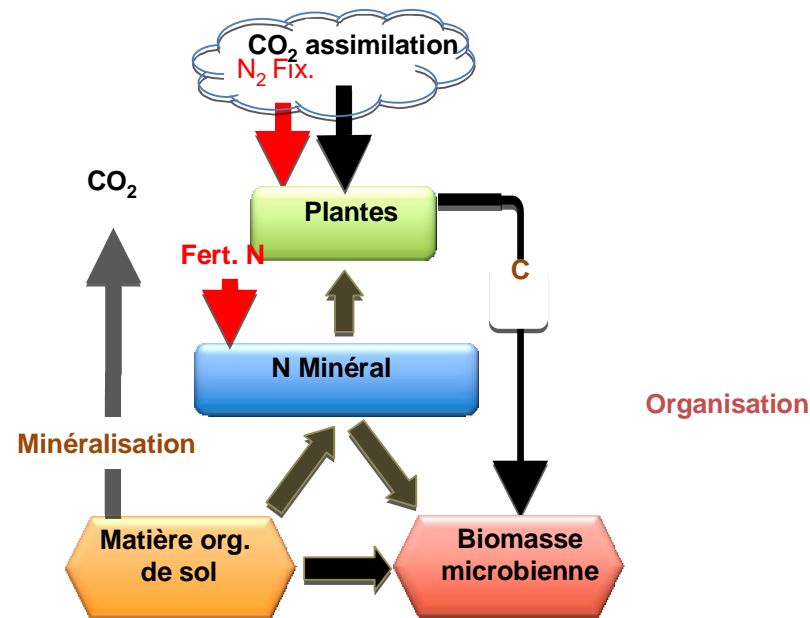
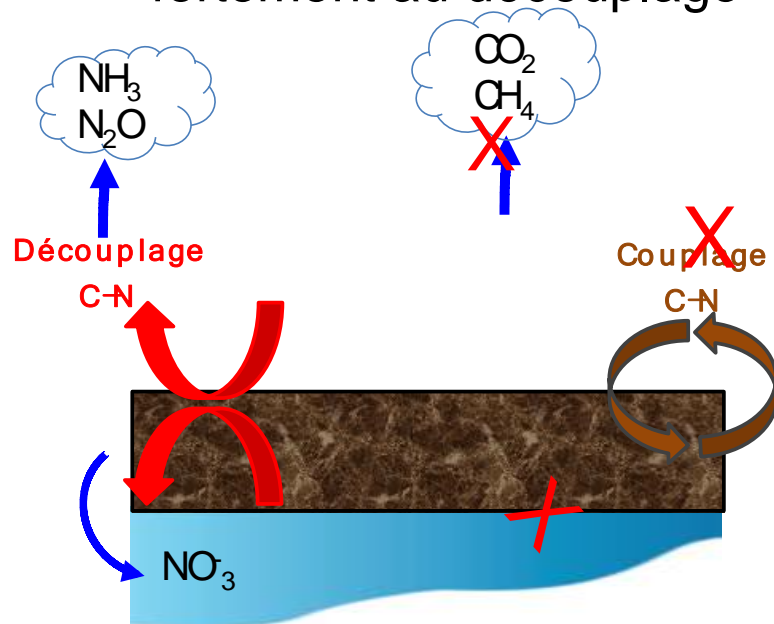
- ❑ L'environnement, un enjeu réel pour l'agriculture
 - ✍ Augmenter la production alimentaire pour satisfaire la demande mondiale en 2050 avec moins d'impacts environnementaux
 - ✍ Rendre des « services » à la société
 - ✍ S'adapter au changement climatique
- ❑ L'uniformisation liée à l'intensification des systèmes agricole conduit à des impacts insupportables sur l'environnement
- ❑ L'augmentation de diversité dans les systèmes agricoles à toutes les échelles (parcelle, exploitation, paysage, territoire...) doit permettre de concilier productivité et qualité de l'environnement
- ❑ L'intégration entre productions végétales et productions animales permet d'accroître la diversité au sein des systèmes agricoles


↳ **Les interactions spatiales et temporelles entre Prairies et Cultures annuelles peuvent fournir les bases pour des systèmes agricoles durables**



La problématique

- ❑ Les problèmes environnementaux de l'agriculture sont principalement liés au découplage entre les cycles C, N, P...
→ fortement liés à la dynamique des MOS
- ❑ L'écosystème prairie se caractérise par un fort couplage entre cycles
→ diminue considérablement les risques environnementaux
- ❑ L'intensification des productions végétales et animales (fertilisation, travail du sol, chargement animal au pâturage, etc...) contribuent fortement au découplage



 L'introduction des prairies dans les rotations doit contribuer à un meilleur équilibre entre phases de couplage et découplage (C, N, P...)

 Conduire à un système global plus performant que l'ensemble des deux systèmes conduits séparément

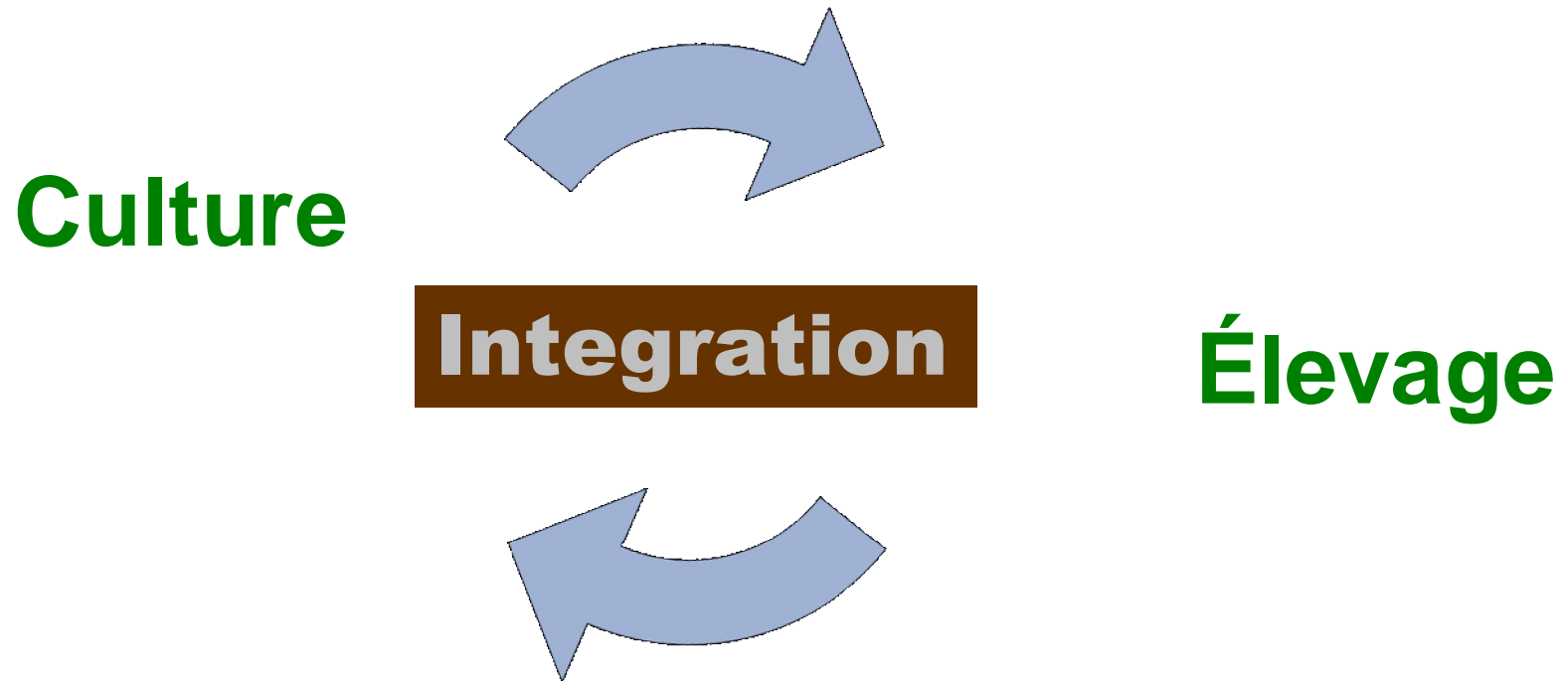
 **Peu de données quantitatives**

Réponses environnemental

- Matière organique du sol/stocks de C
- Flux de NO_3^- et dynamique des flux de N_2O

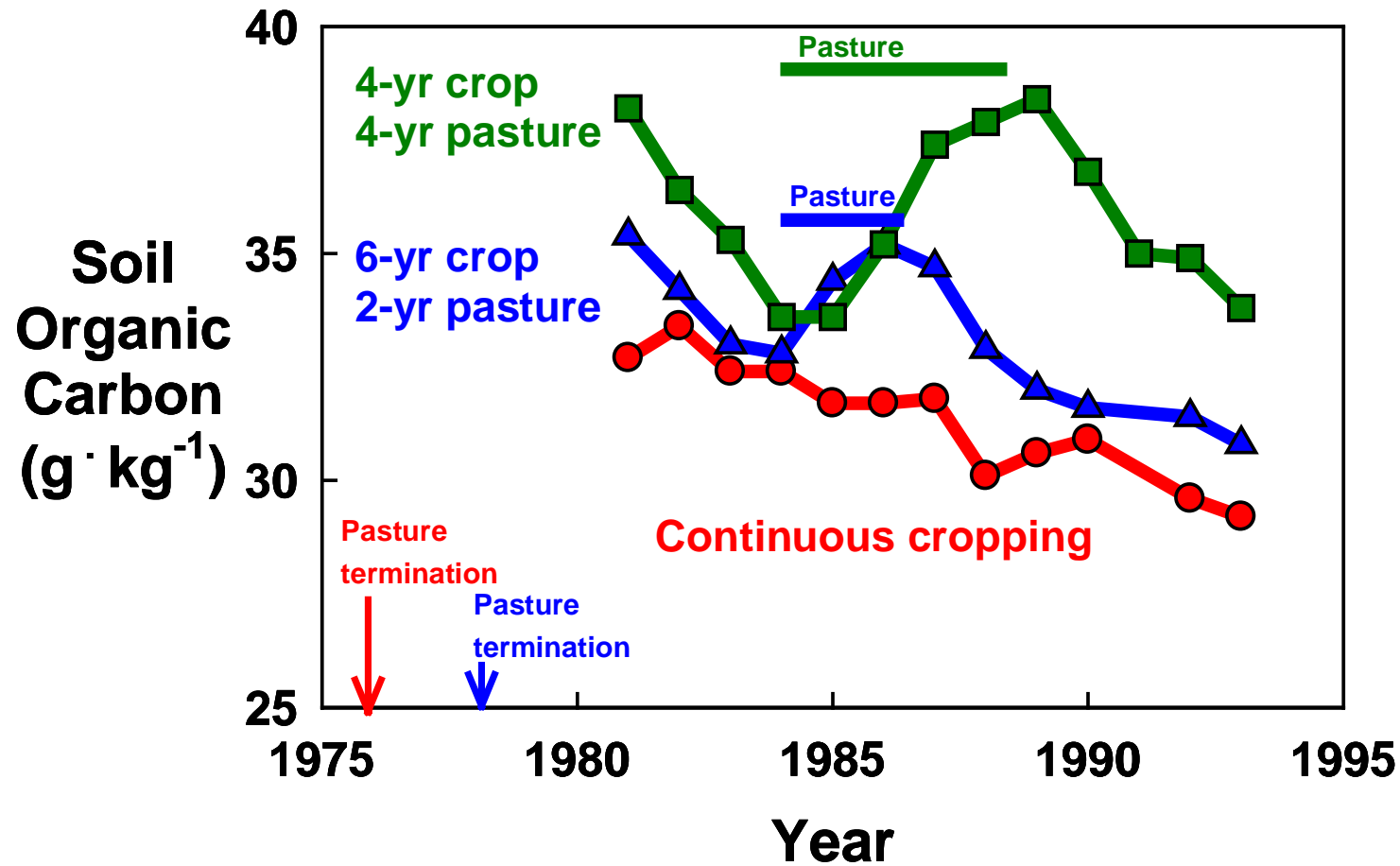
Réponses environnemental

— Matière organique du sol/stocks de C



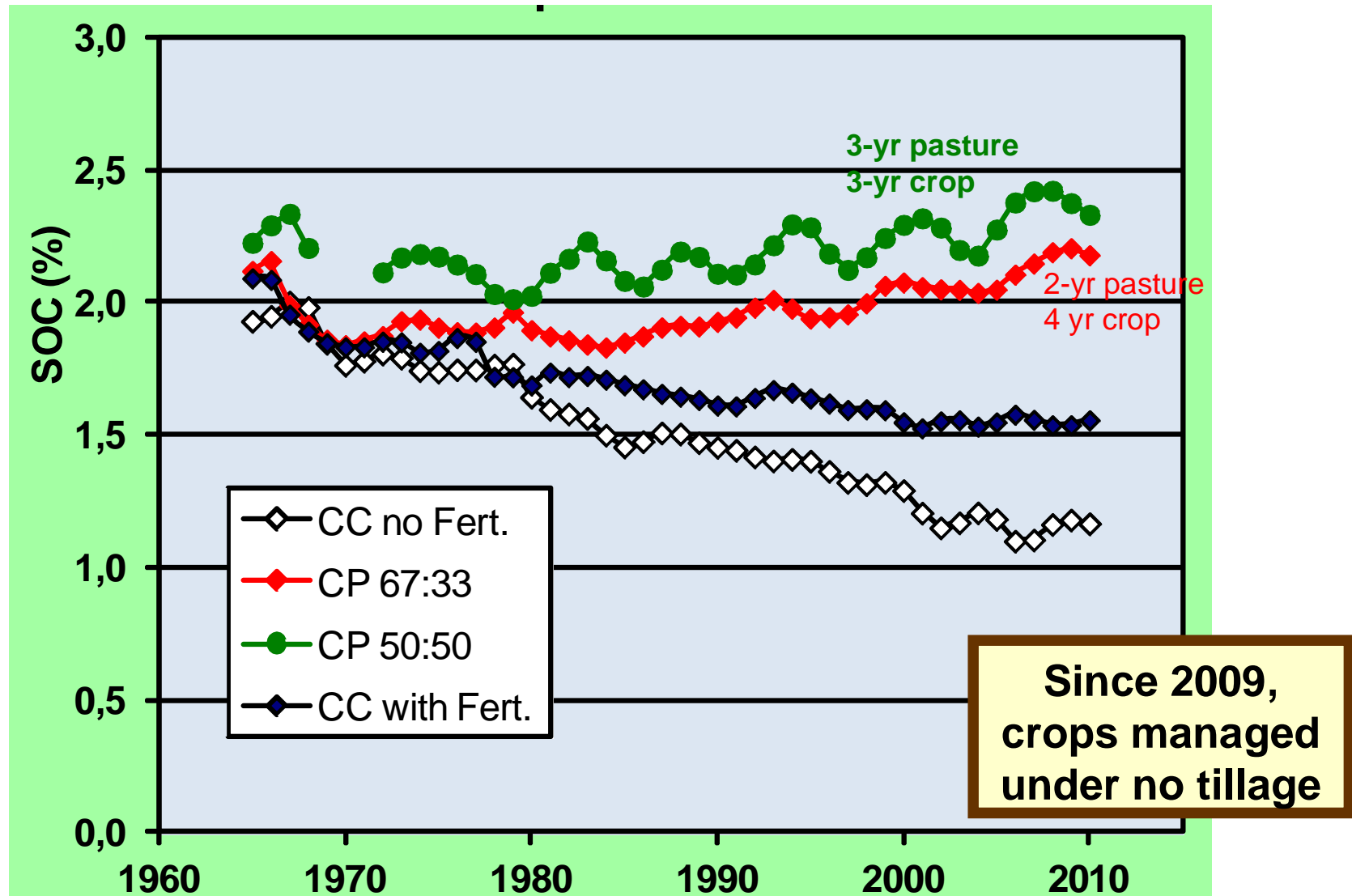
Carbone organique du sol

— Effet des rotations prairie-culture – Argentina



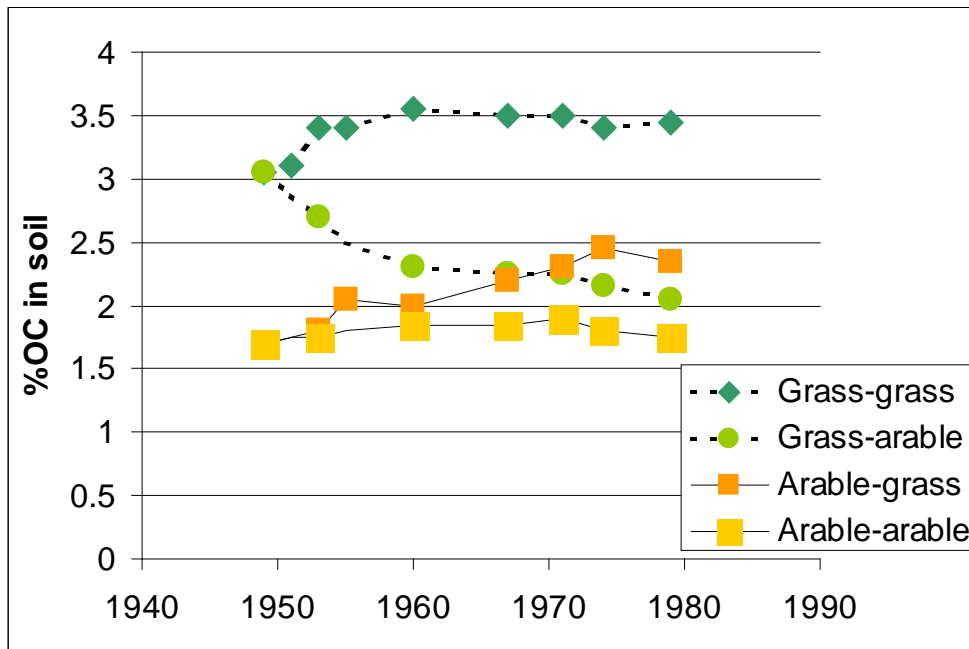
Soil Organic Carbon

— Crop rotation effects – La Estanzuela, Uruguay

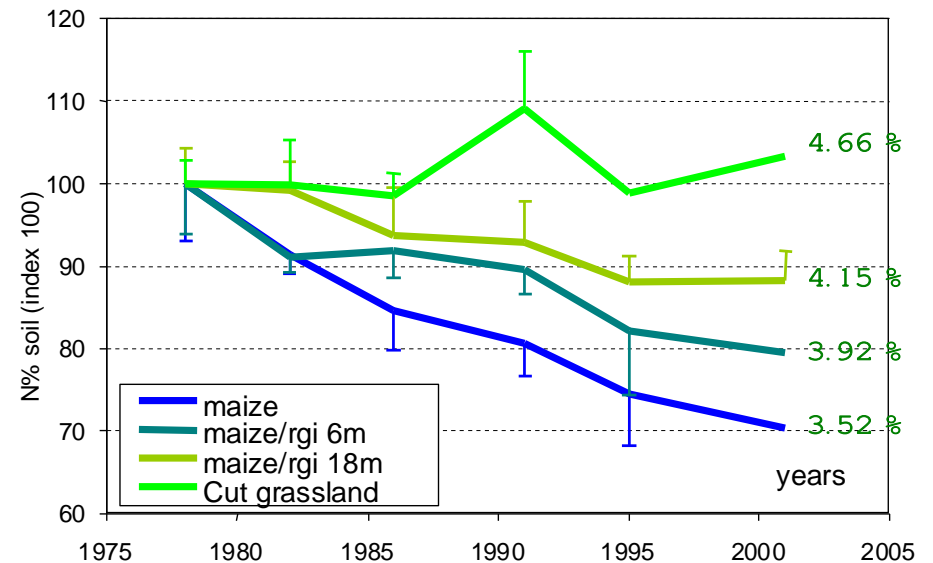


Carbone organique du sol

— Effet des rotations prairie-culture – Rothamsted, UK
– Bretagne France



(Rothamsted, *Johnston, 1986*)



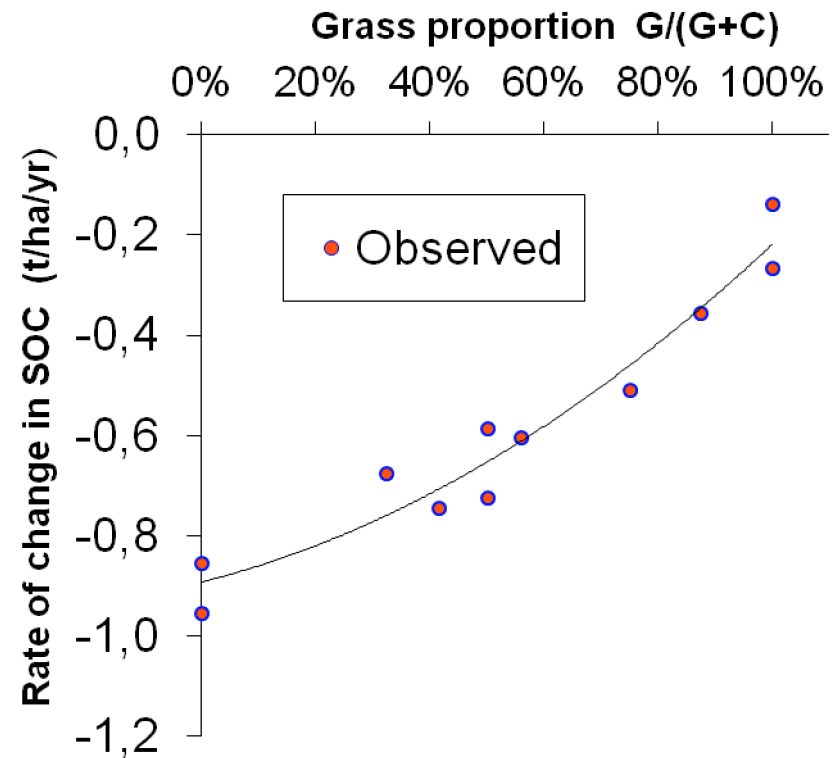
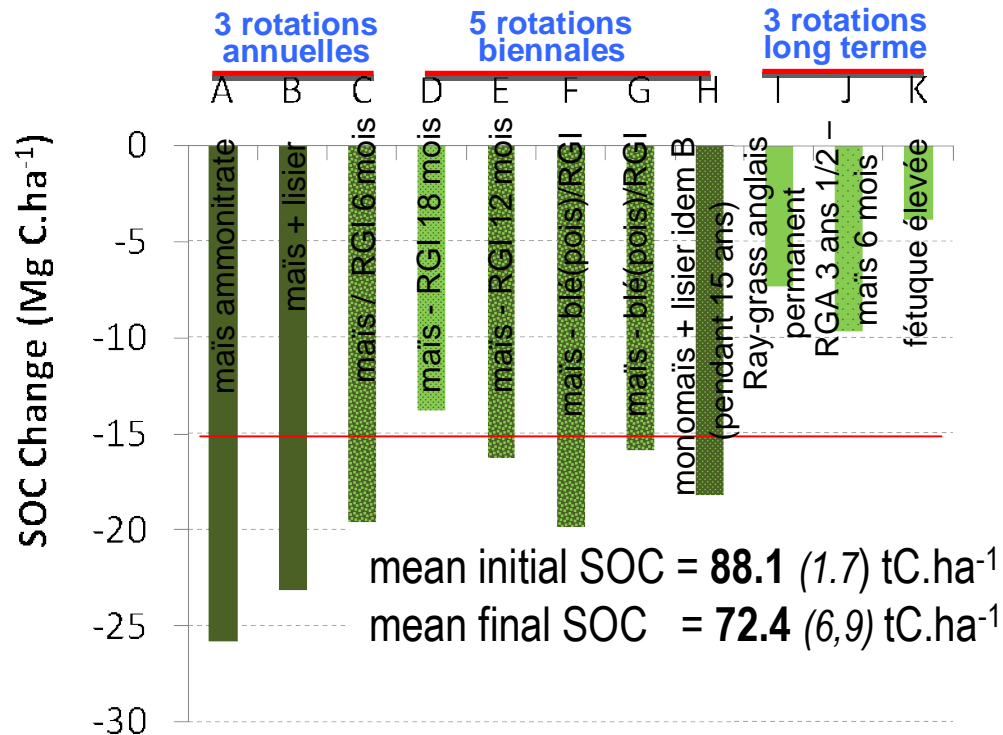
(Vertès et al., 2002)

- Evolution MOS à long terme (C et N) qui varie avec les rotations et en particulier la part des prairies

Carbone organique du sol

— Effet des rotations prairie-culture – Bretagne-France

SOC change (11 rotations, 27 years)

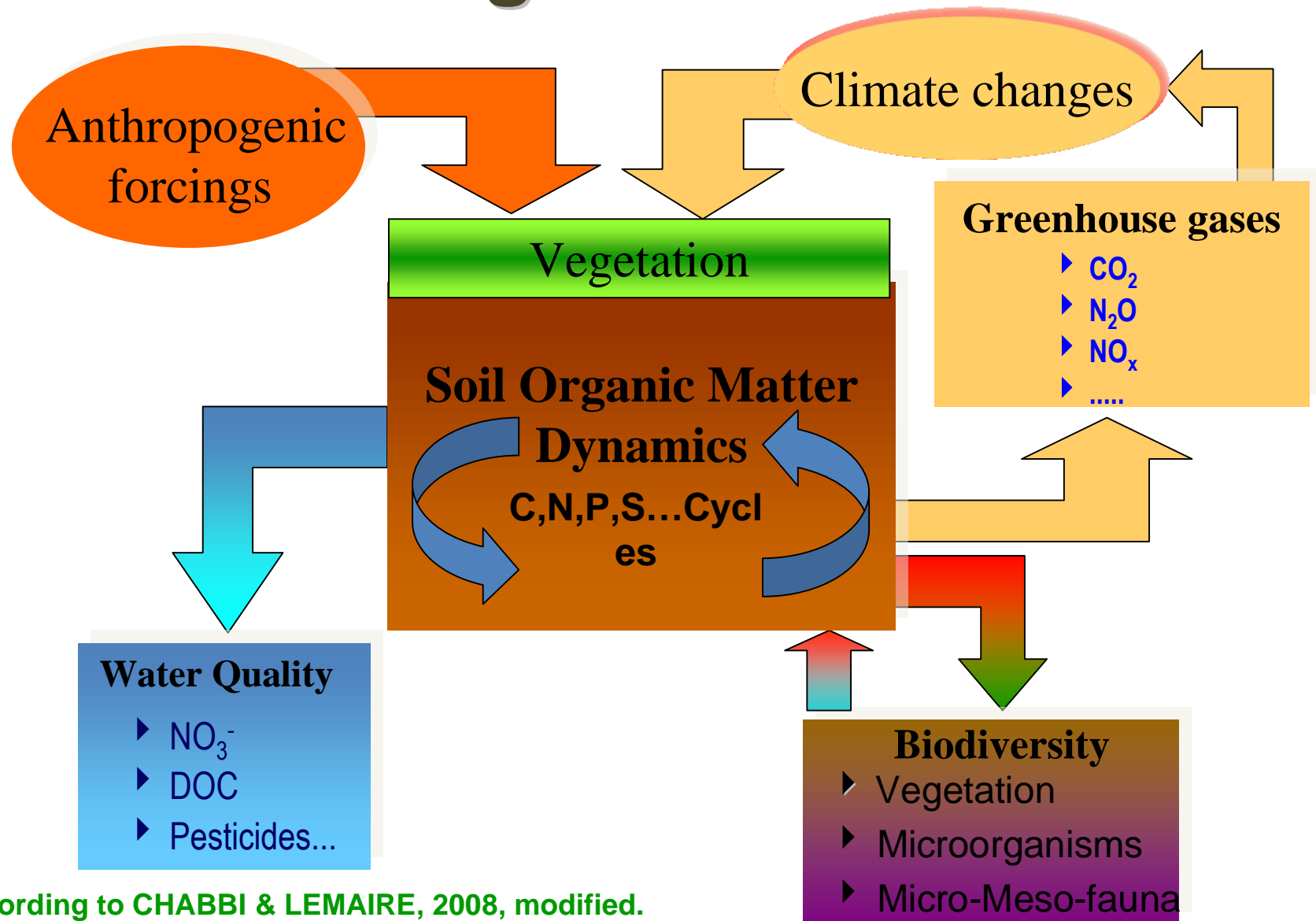


Strong decrease with maize (A, B) → expected (*id. fields network observatory in Brittany*)

Small decrease in permanent grasslands (I, K) → unexpected (due to the high initial SOC content ?)

Grassland frequency & duration explains well the rate of SOC change, attributed to larger C inputs with perennial than annual crops

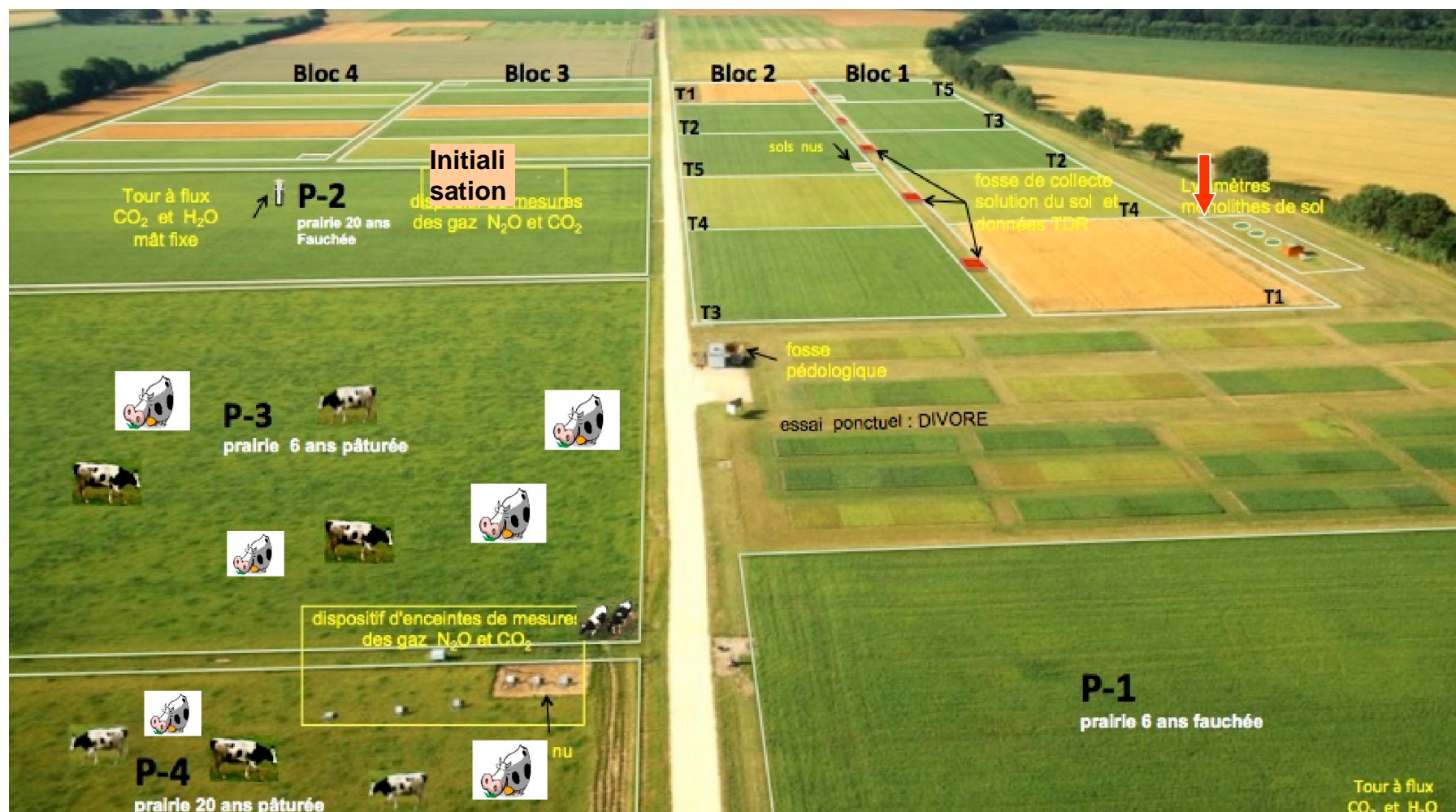
Grand Challenges



According to CHABBI & LEMAIRE, 2008, modified.

SOERE ACBB

Dispositif expérimental de Lusignan

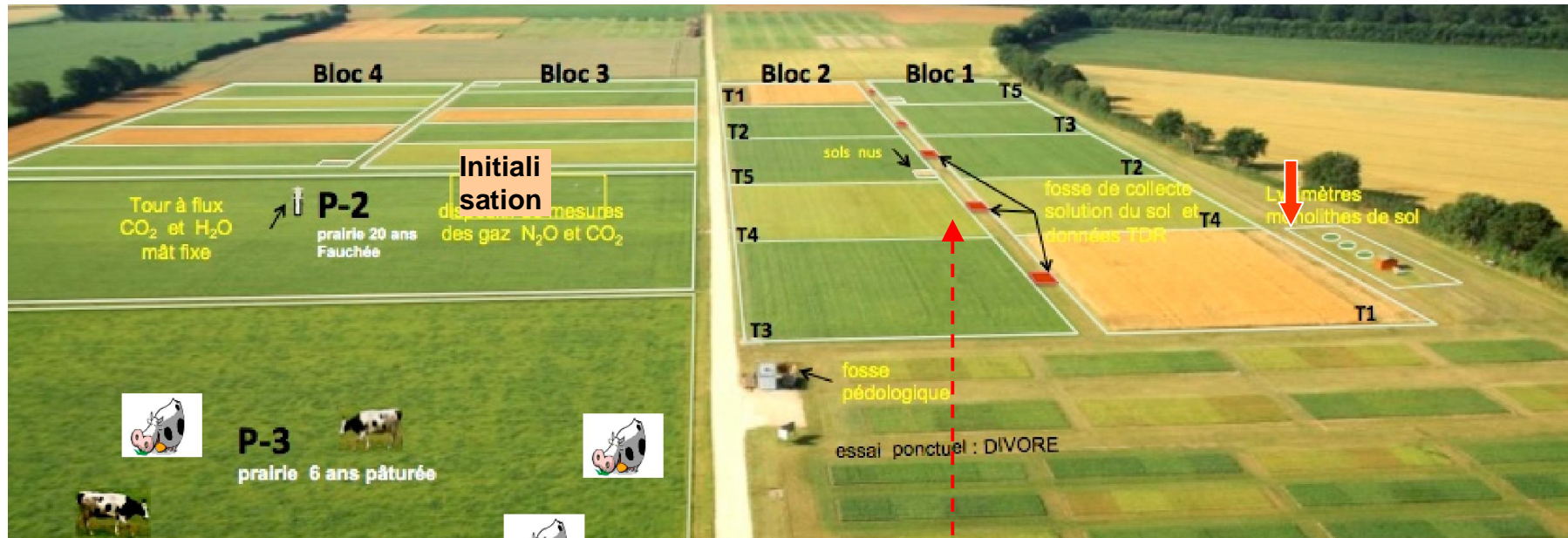


25 ha

- 5 traitements x 4 reps = 20 petites parcelles (0,4 ha)
- 4 Grandes parcelles (3,2 ha)

SOERE ACBB

Dispositif expérimental de Lusignan



Year	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	...
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

Main plots ('small plots') Cutting

T1	Crop rotation	c1	c2	c3	c1	c2	c3	c1	c2	c3	c1	c2	c3	c1	c2	c3	c1	c2	c3	c1	c2	...
T2	Grassland 3 years N+	c1	c2	c3	Grassl. 3 ys			c1	c2	c3	Grassl. 3 ys			c1	c2	c3	Grassl. 3 ys			c1	c2	...
T3	Grassland 6 years N+	Grassland 6 years						c1	c2	c3	Grassland 6 years						c1	c2	c3	grassland		
T4	Grassland 6 years N-	Grassland 6 years						c1	c2	c3	Grassland 6 years						c1	c2	c3	grassland		
T5	Grassland 20 years N+	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	...

Large plots

T3 L	Grassland 6 years N+ Cutting	Grassland 6 years						c1	c2	c3	Grassland 6 years						c1	c2	c3	prairie 6 ans		
T6 L	Grassland 6 years Grazing	Grassland 6 years						c1	c2	c3	Grassland 6 years						c1	c2	c3	prairie 6 ans		
T5 L	Grassland 20years N+ Cutting	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	...
T7 L	Grassland 20years Grazing	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	...

séquence prairie

séquence cultures annuelles

Flux de C et stockage net de C en prairie fauchée labourée

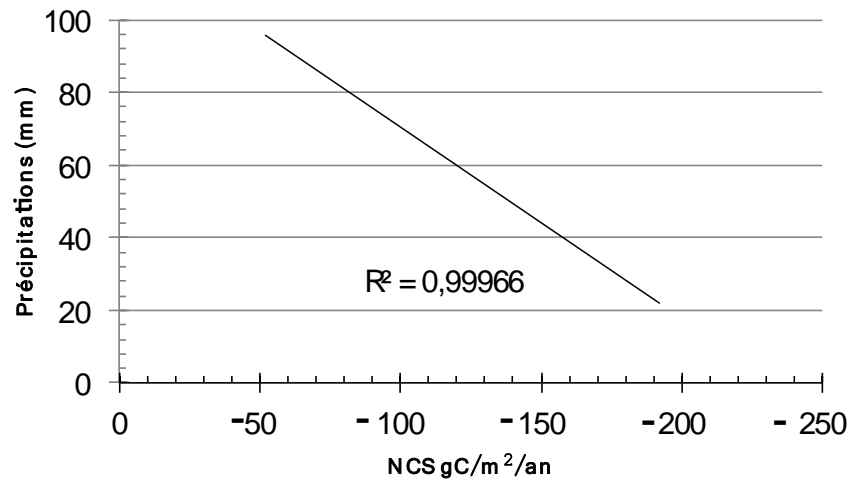


Phase prairie de la rotation Moyen sur 6 ans 2005-2010	Séquence culture Moyen sur 3 ans 2011-2013	Prairie non retournée (contrôle) Moyen sur 3 ans 2011-2013
--	--	--

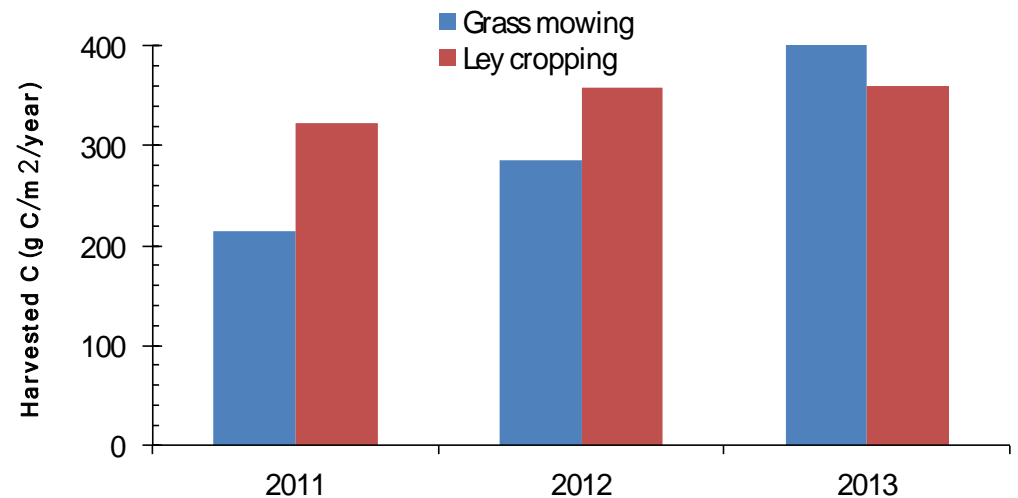
(gC/m²/an⁻¹)

NEE (Echange net d'écosystème)	476	14	197
Carbone exporté	-453	-347	-313
NCS (stockage net de C)	23	-333	-116

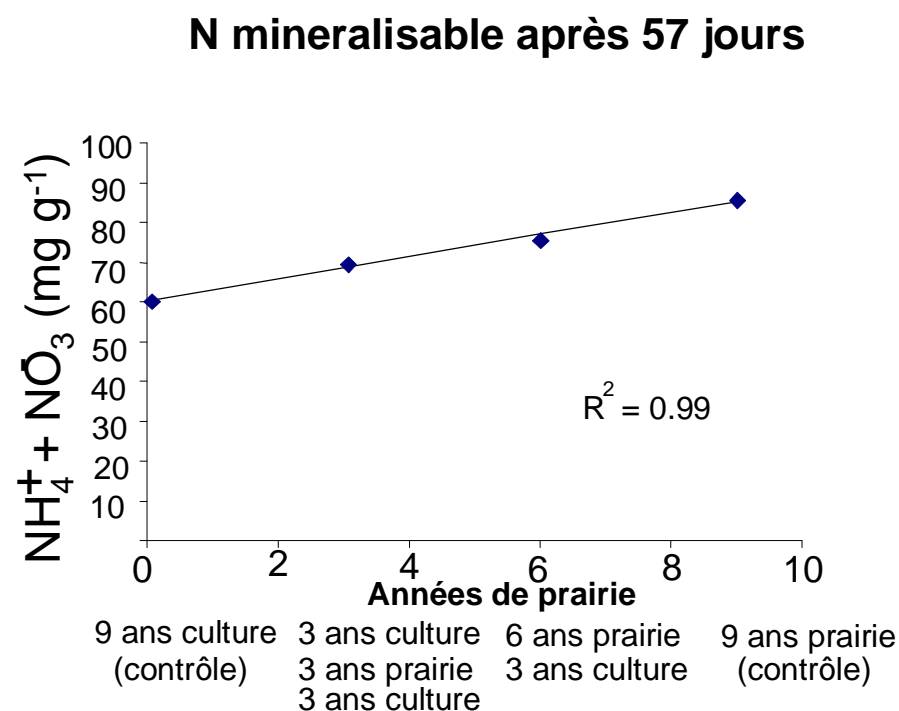
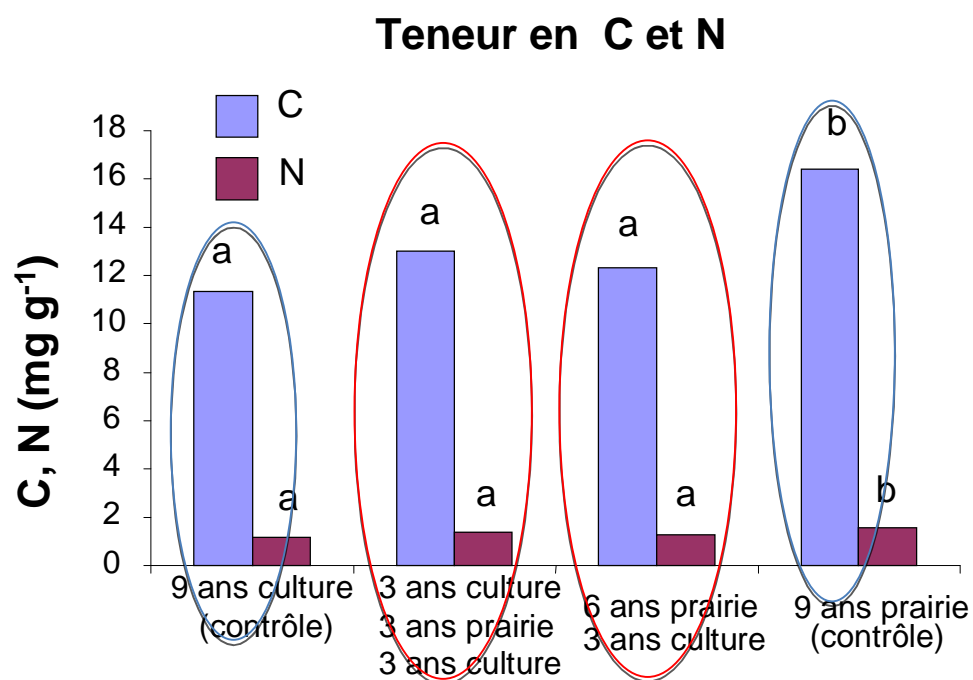
Précipitations printemps versus NCS



Ley cropping vs. grass mowing

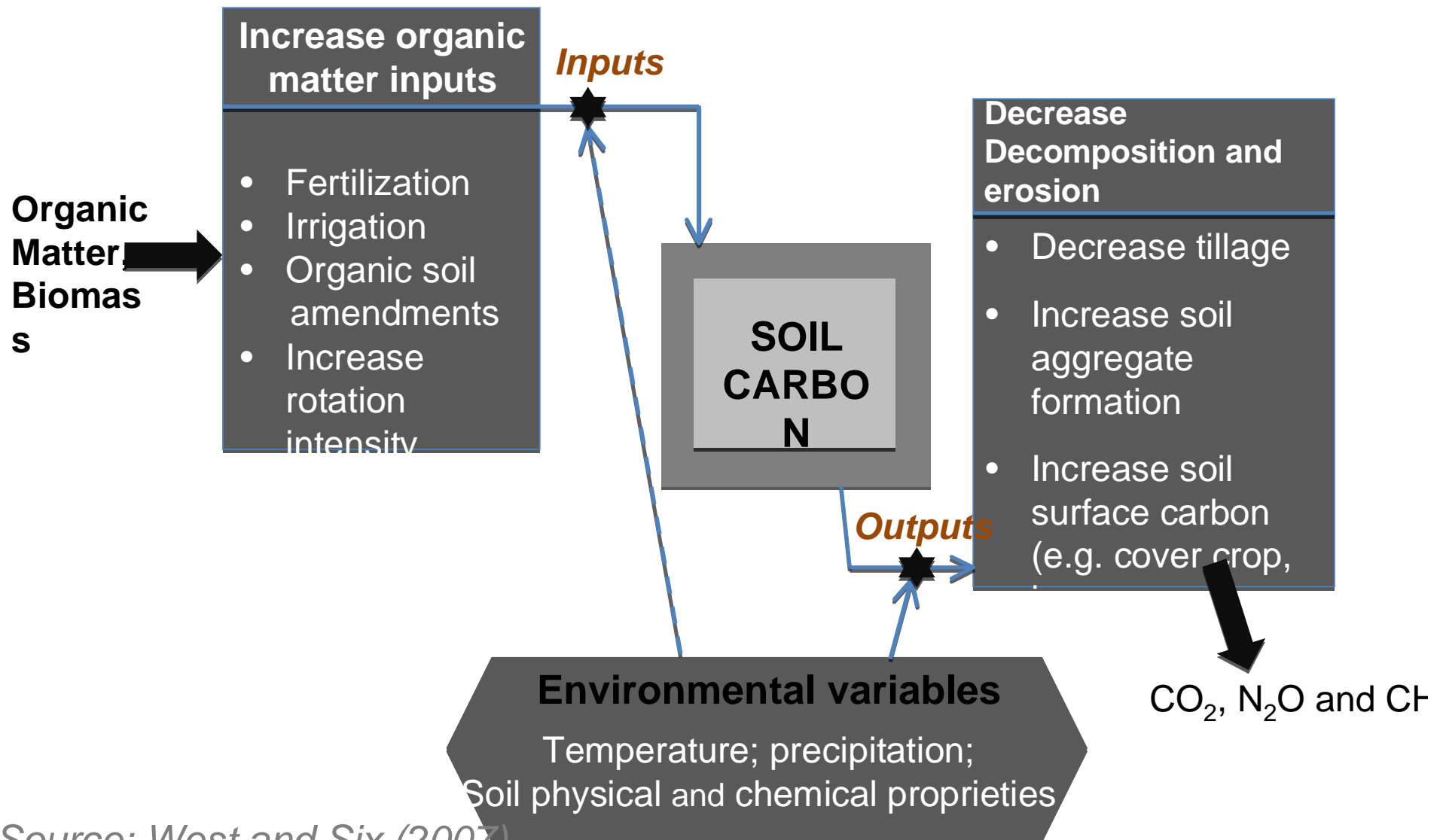


Teneur des sols (site SOERE ACBB Lusignan) en C, N et en N minéral potentiellement minéralisable après 9 années de traitements



- Pas d'arrière effet des prairies temporaires après trois années de culture
- N mineralisable augmente avec l'âge de la prairie

Managing C in cultivated Soils



Source: West and Six (2007)

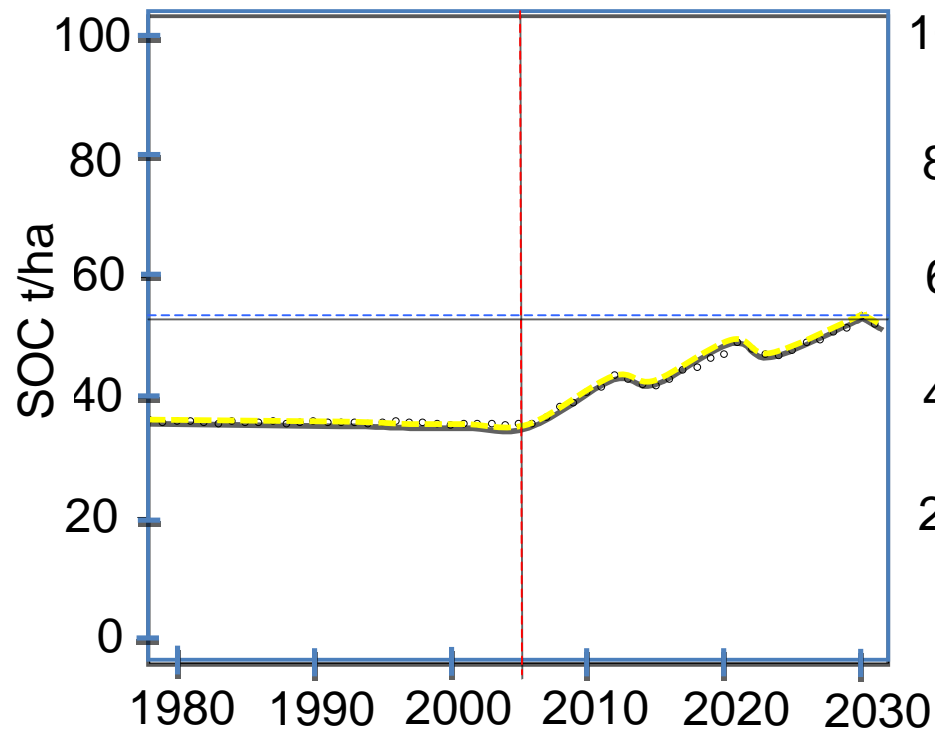
Future Scenario: What will happen if we continue both the systems:

- 6 years mowing – 3 years cropping &
- Continuous mowing

under current management practice & climate till 2030 ?

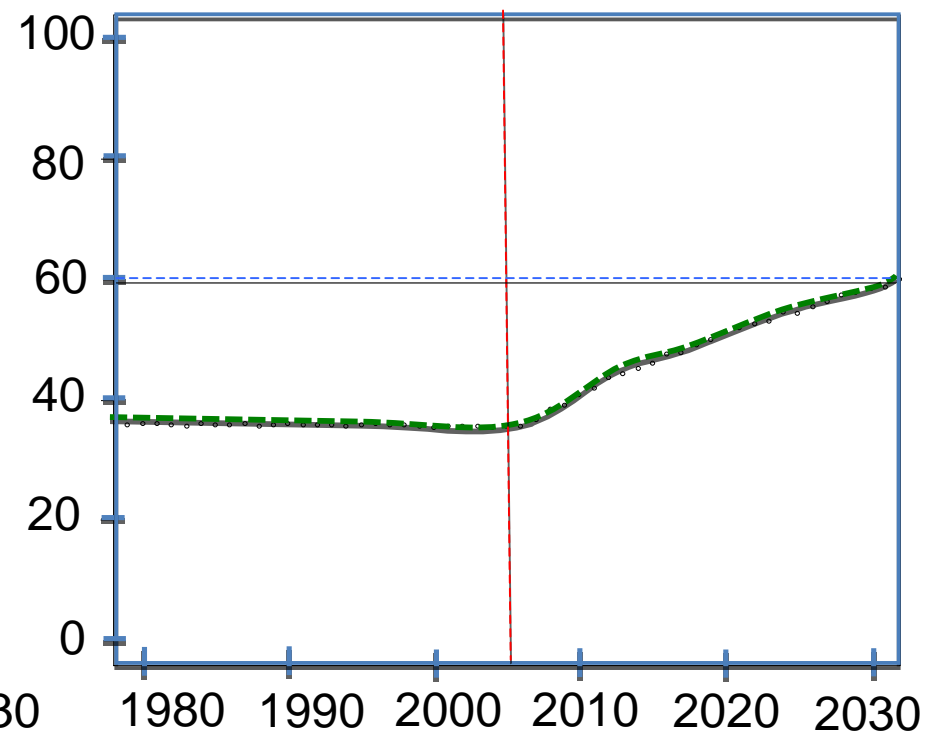
SOC storage in 0-20 cm soil layer

6 ans de prairie suivie de 3 ans de culture
arable 2005-2030



20-30 % pour les prochains 25 ans

Prairie permanente fauchée
arable 2005-2030

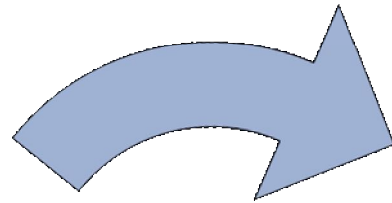


30-40 % pour les prochains 25 ans

Réponses environnemental

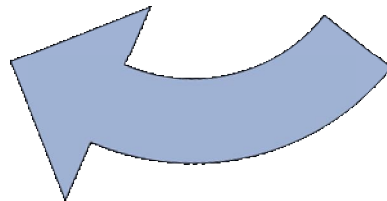
— Flux de NO_3 et dynamique des flux de N_2O

Culture



Integration

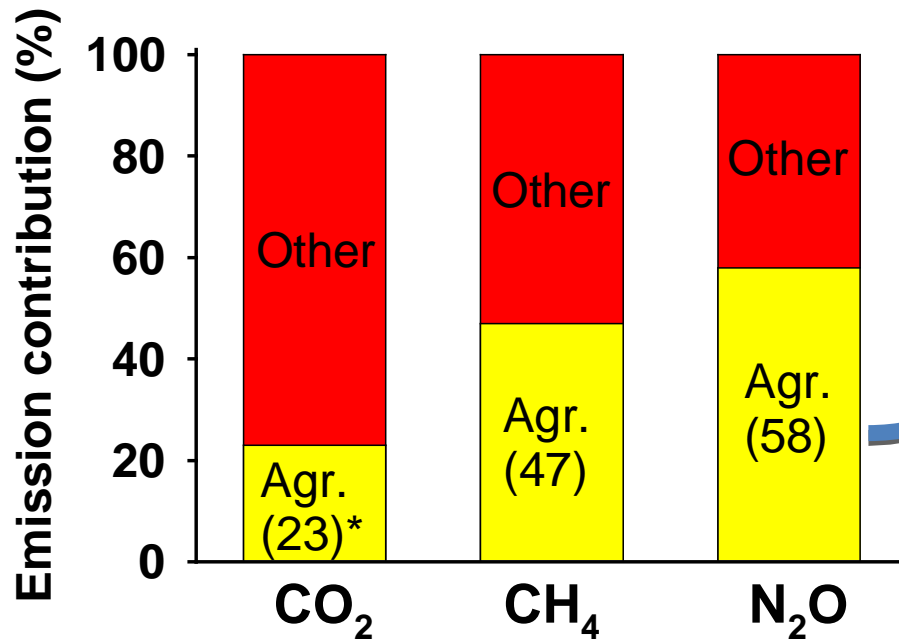
Élevage



L'agriculture et émission de GES

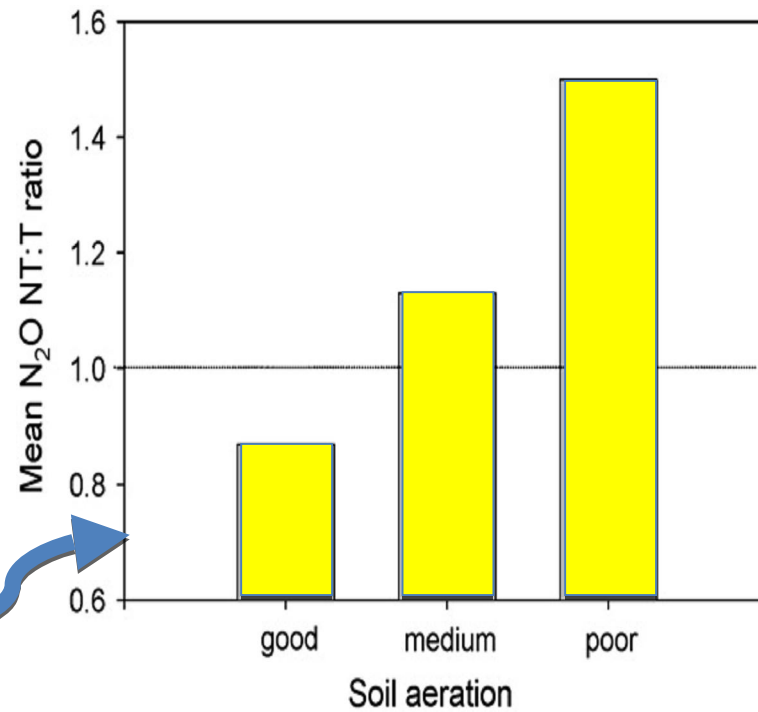


Monde



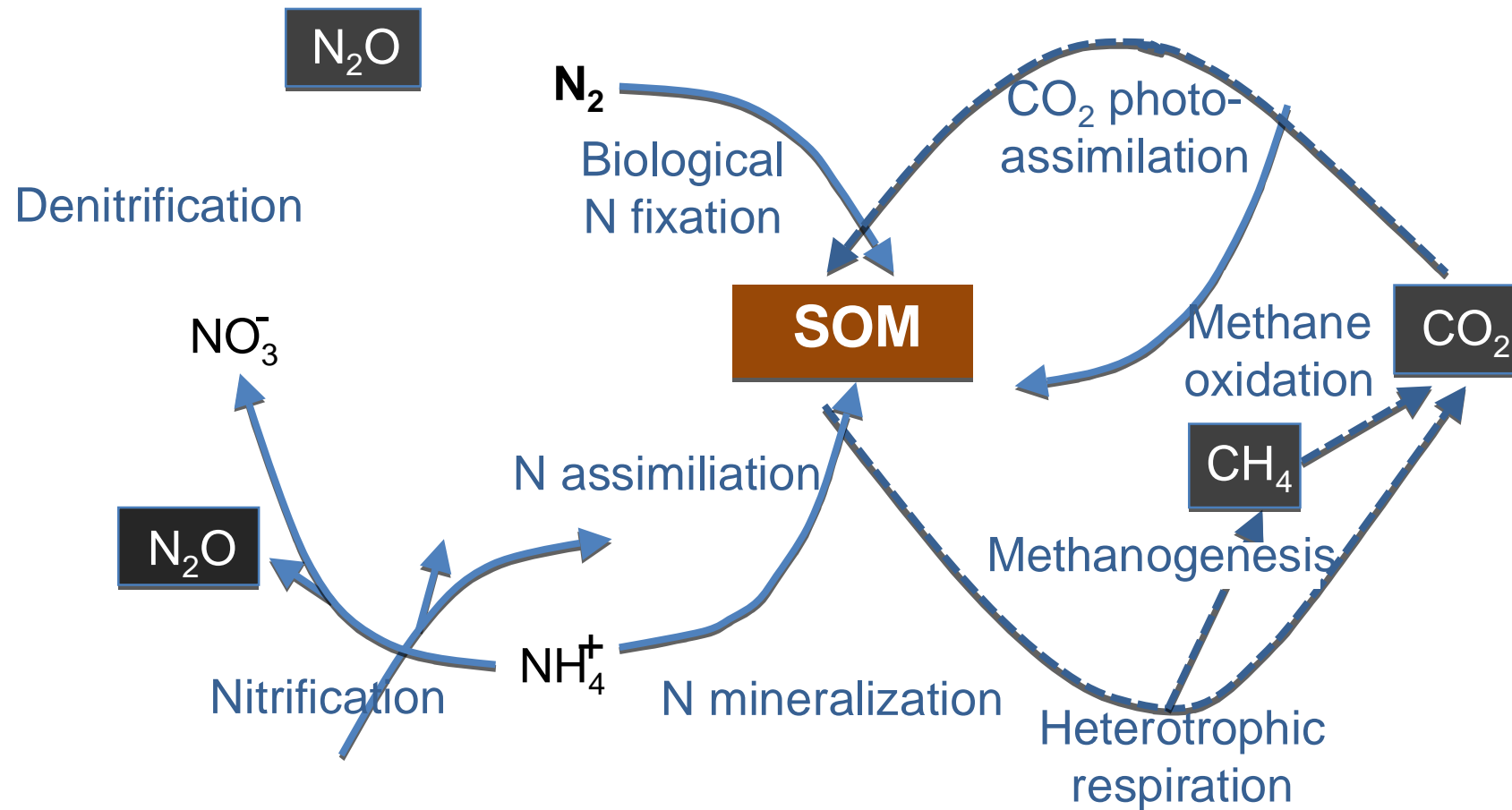
Source: Smith et al 2007; IPCC 2007
*Include deforestation

En France: 21% des émissions de GES provient de l'agriculture (2ème secteur émetteur)



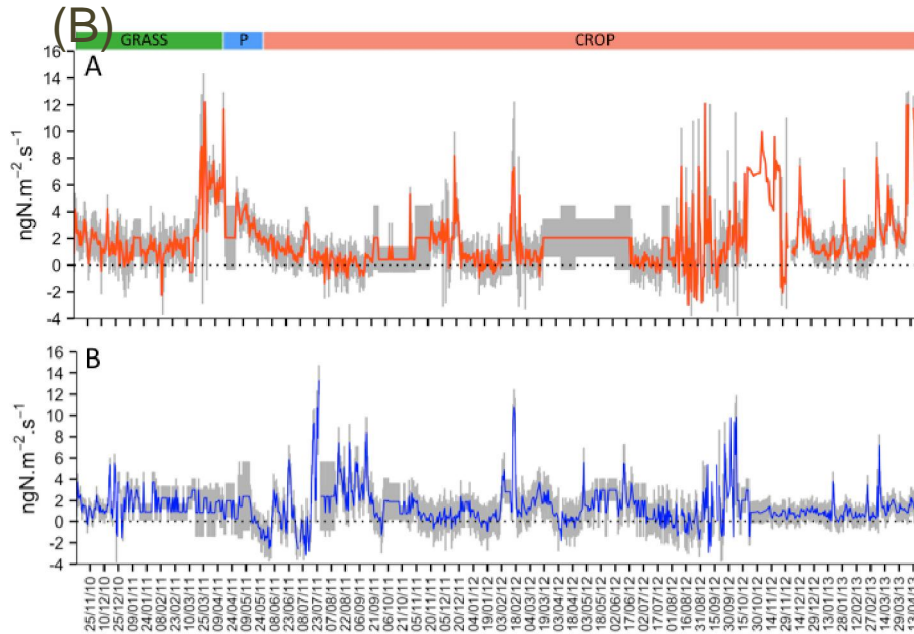
Mean ratio of cumulated N₂O emissions from no-till (NT) to tilled (T) soils with poor, medium and good aeration (synthesis of 25 field studies) (Rochette, 2008)

Soil factors affecting N₂O and CO₂ emissions



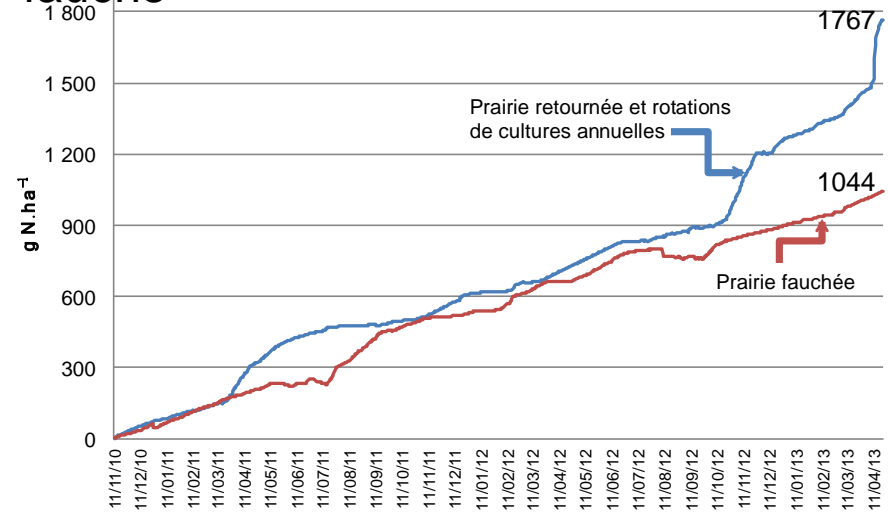
Source: Oenema et al. (2001)

Flux journaliers de N₂O sur une rotation prairie-culture (A) et une prairie continue (B)



Retournement d'une prairie en rotation avec culture (A) en comparaison avec une prairie continue (B)

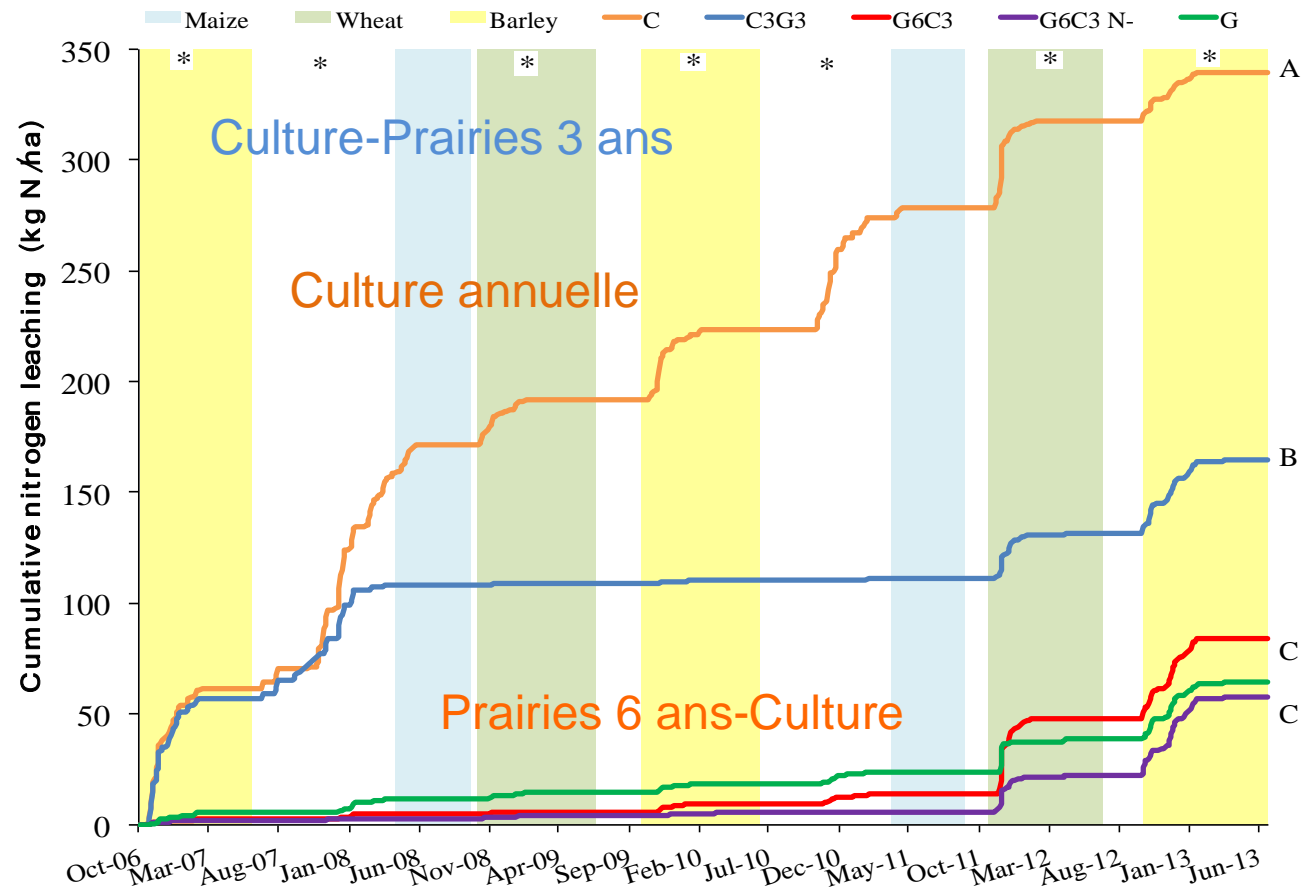
Flux de N₂O cumulée sur une prairie retournée versus une prairie maintenu en fauche



- Prairie: average N₂O flux 1.51 ng N.m⁻².S⁻¹
 - Prairie labourée: average 3.92 ng N.m⁻².S⁻¹
- ↪ Avec un peak de 12.2

- Flux moyen de N₂O après labour de la prairie : **5.4 vs. 1.32 ng N.m⁻².S⁻¹**
- Flux de N₂O 34 jours après labour de la prairie: **185 vs 45 gN ha⁻¹**

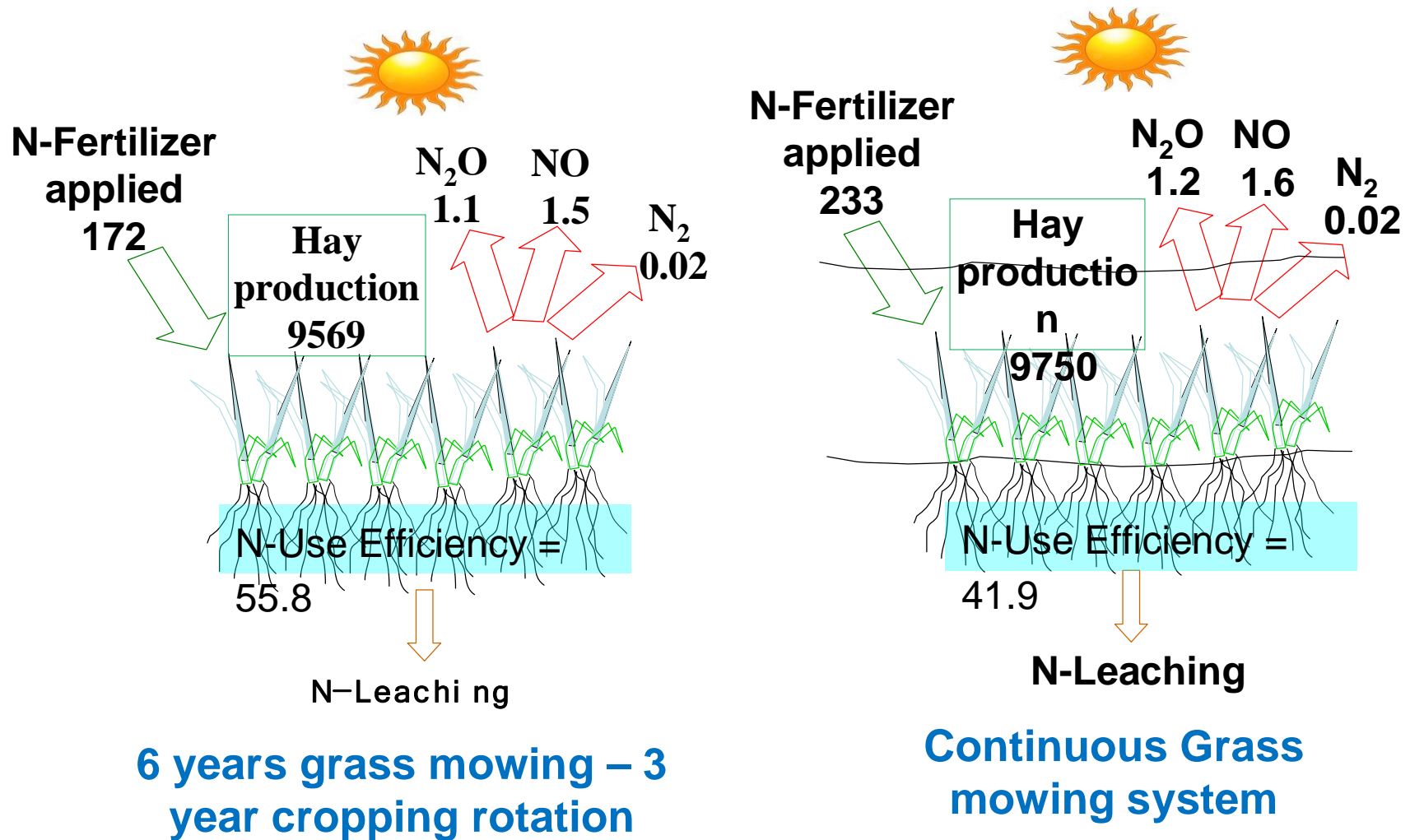
Lusignan: 2006-2013 - Lessivage cumulé (kgN/ha)



Kunrath et al. 2014

- Lessivage plus important sous culture annuelle (57 kg N/ha/an) que sous une prairie fauchée (4-8 kg N/ha/an),
- Remise en culture d'une prairies de 3 ans n'occasionne pas de surplus de perte nitriques,
- Rotation de prairie (fauchée) et 3 ans de cultures arable permet d'abaisser de moitié la teneur moyenne en nitrate des eaux drainées.

Applied N, N₂O emission & N efficiency: Annual average (2005-2030)



*All the N-flux and biomass production are in the units of kg N ha⁻¹ year⁻¹ and kg dry weight ha⁻¹ year⁻¹, respectively

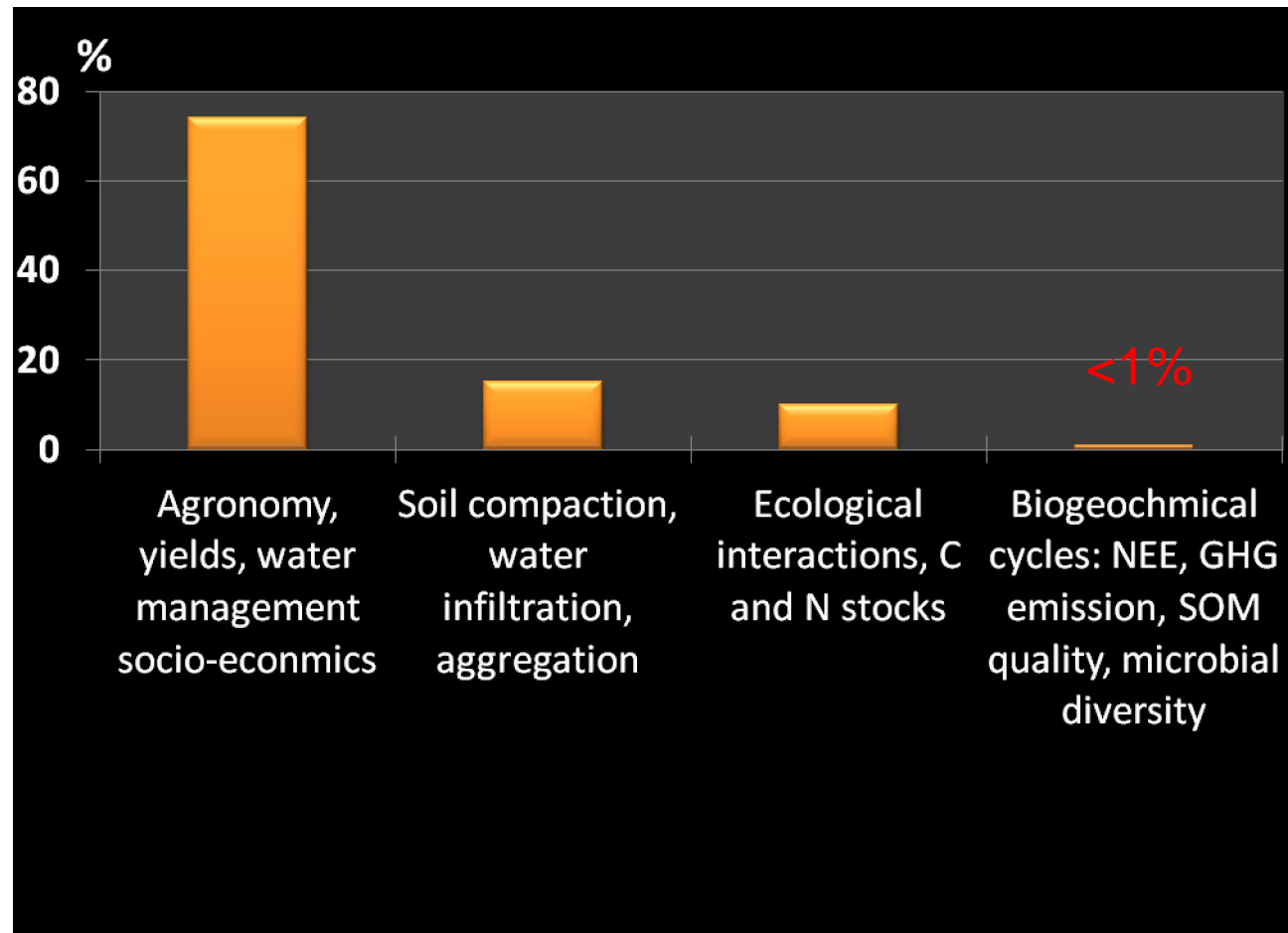
Conclusion

- Les résultats confirment la conclusion générale des effets environnementaux positifs de l'introduction des prairies dans les rotations (stockage de carbone, flux de N_2O , nitrates, etc...)
- Néanmoins ils démontrent également que les effets rapide du retournement de la prairie sur le déstockage de carbone vs effet lent de sa réaccumulation de C, effet sur les flux de N_2O , le lessivage de nitrates
- Le défi posé à la recherche dans ce domaine est de maximiser l'effet « prairie » sur la séquestration des des MOS tout en minimisant i) les risques d'émission de N_2O , ii) les inévitables émissions de CO_2 et les risques de lixiviation du nitrate lors du retournement de la prairie et leur remise en culture
 - ➡ la compréhension des processus à court terme et leur modélisation à plus long terme doivent être améliorée

ICLS systems: research beyond the state-of-the-art

— **Output from** <http://www.webofknowledge.com/>
<http://www.sciencedirect.com/> (2350 references)

- The ecological interactions and biogeochemical cycles of ICLS systems still not totally qualified nor even quantify
- The intersection of climate change and ICLS is a relatively neglected research area



Conclusion

- Les résultats confirment la conclusion générale des effets environnementaux positifs de l'introduction des prairies dans les rotations (stockage de carbone, flux de N_2O , nitrates, etc...)
- Néanmoins ils démontrent également que les effets rapide du retournement de la prairie sur le déstockage de carbone vs effet lent de sa réaccumulation de C, effet sur les flux de N_2O , le lessivage de nitrates
- Le défi posé à la recherche dans ce domaine est de maximiser l'effet « prairie » sur la séquestration des des MOS tout en minimisant i) les risques d'émission de N_2O , ii) les inévitables émissions de CO_2 et les risques de lixiviation du nitrate lors du retournement de la prairie et leur remise en culture
- Cette intégration ne sera pas résoudre l'ensemble du problème, mais pourrait faire partie du « portfolio »