

Le rôle de la fertilisation dans la performance environnementale des cultures agricoles

Benoît GABRIELLE

UMR INRA AgroParisTech Environnement et Grandes Cultures, Grignon

Benoit.Gabrielle@agroparistech.fr

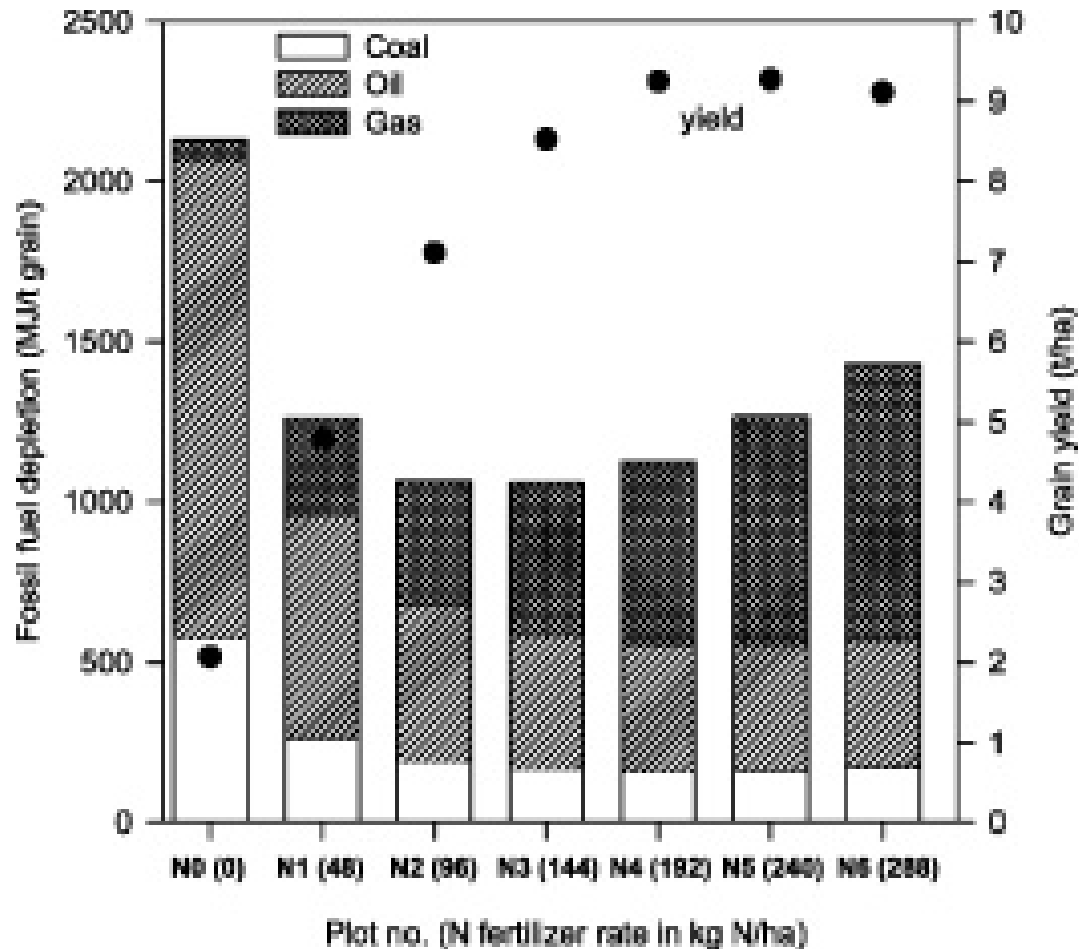
Plan

- Qu'est-ce que la performance environnementale ?
- Critères et méthodes d'évaluation
- Rôle de la fertilisation
- Quelles pistes d'amélioration ?

Performance environnementale

- Un des critères de durabilité des systèmes de cultures
- Se traduit par la recherche d'un impact minimal par 'unité fonctionnelle' du système:
 - Production de biomasse ?
 - Hectare de surface cultivée ?
 - Personne employée ?
 - Autres services rendus ? (eg, paysage, biodiversité)

Effet de la dose d'azote sur blé: existence d'un optimum



Indicateur de performance:

Energie fossile
dépensée par
tonne de grains
produite

Fig. 5. Combined consumption of fossil fuels (MJ/ton grain, bars) and yields (t/ha, dots) at increasing N fertilizer rates.

Des pratiques aux impacts



Fertilisation N
Gestion interculture
Pratiques élevage

Lessivage NO₃
sous racines
Emissions NH₃,
N₂O

Pollution NO₃
des nappes,
Eutrophisation
Dépôt
atmosphérique
Effet de serre

Fermeture
captage
Santé humaine
Pertes
biodiversité
Changement
climatique
Epuisement des
ressources
fossiles

www.agroparis.fr

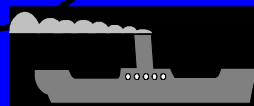
Diapo: C. Bockstaller

L'Analyse de Cycle de Vie, du « berceau à la tombe »

Sorties:

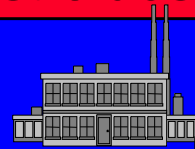
Gaz à effet de serre,
Micro-polluants, SOx, COV, NOx, ...

NO_2^- , N_2O , CO_2 , CH_4 , NO_x , NH_3
Pesticides, ETM, MPO

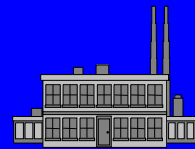


Pesticides, engrais

Extraction des
Matières premières



Carburant



Machines



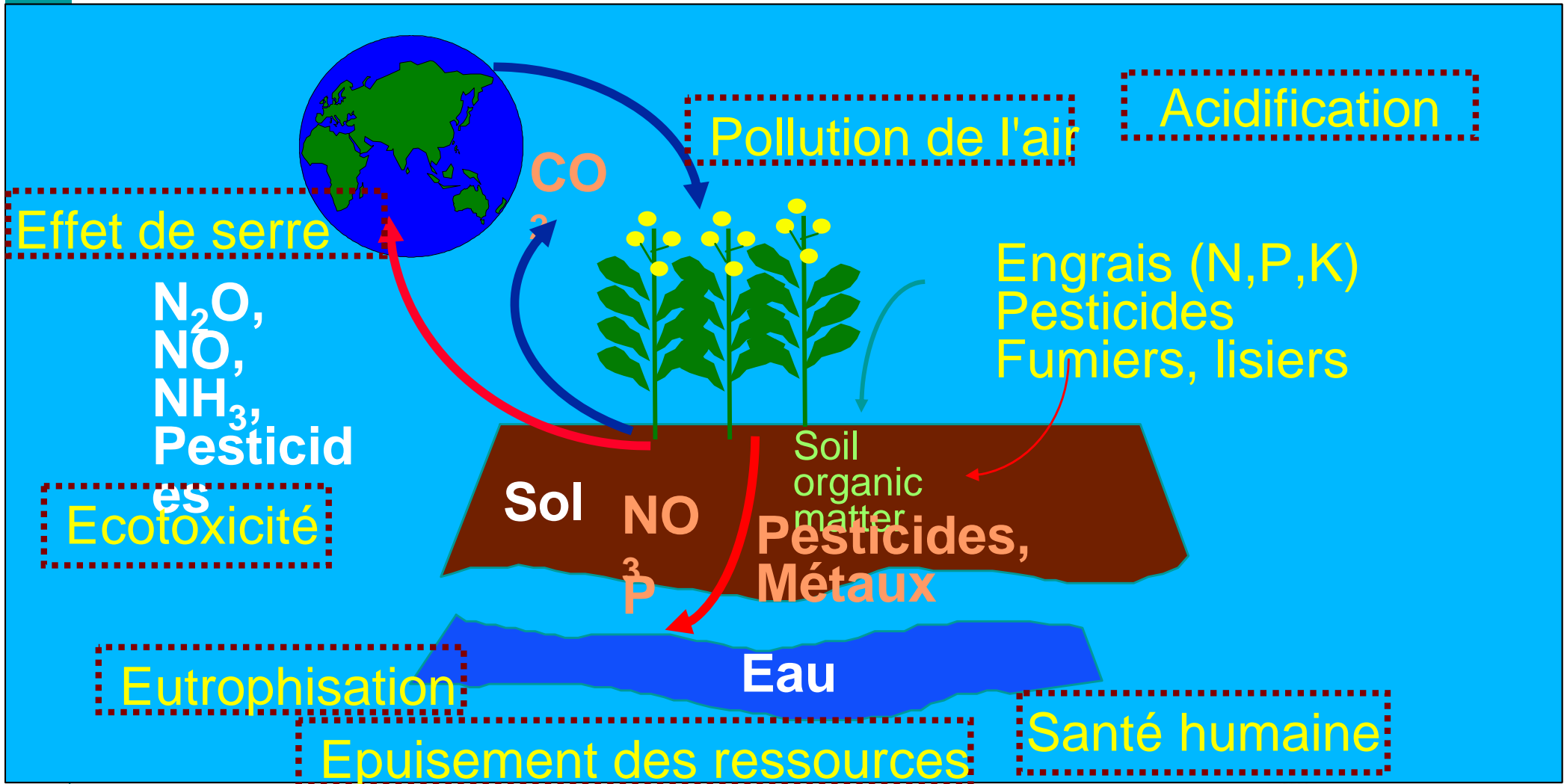
Produits
et co-produits

Carbone fossile,
Energie

Intrants

Application à l'agriculture

Impacts à considérer



Les catégories d'impact

- Epuisement des ressources (kg Sb eq)
- Effet de serre (kg CO₂ eq)
- Diminution de la couche d'ozone (kg CFC-11 eq)
- Toxicité humaine (kg 1,4-DCB eq)
- Ecotoxicité (3 indicateurs) (kg 1,4-DCB eq)
- Pollution photochimique (kg C₂H₂ eq)
- Acidification (kg SO₂ eq)
- Eutrophisation (kg PO₄ eq)
- Consommation en eau (mm d'eau verte/bleue)

Plan

- Qu'est-ce que la performance environnementale ?
- Critères et méthodes d'évaluation
- **Rôle de la fertilisation**
- Quelles pistes d'amélioration ?

La fertilisation joue à 2 niveaux:

- Sur les émissions indirectes (amont agricole)
- Sur les émissions directes:
 - De protoxyde d'azote (N_2O , gaz à effet de serre)
 - D'ammoniac (NH_3) et d'oxyde nitrique (NO)
 - De nitrate et de phosphore (+ K / S)
 - Et les émissions indirectes (aval), liées aux transferts d'azote dans le paysage

N₂ atmosphérique
fixé sous forme
d'azote réactif (N_R)

Oxyde nitreux
(N₂O)

Gaz à effet de
serre

Aérosols,
particules

Oxydes d'azote
(NO_x)

Azote dans les
pluies

N_R

Emissions
of NO_x & N₂O
au long de
la cascade

Ammoniac
(NH₃)

I_R

Eutrophisation terrestre
& Acidification des sols;
perte de biodiversité

Eutrophisation
aquatique

Nitrate lixivié
(NO₃⁻)

Nitrate dans
les cours d'eau

www.agroparisstech.fr

L'azote: des effets en cascade

Part de la fertilisation dans la consommation d'énergie

Poste	Blé ¹ - Marne		Betterave ¹ - Marne		Luzerne ² - Champagne		Soja ³ - Brésil	
	(MJ/ha)	%	(MJ/ha)	%	(MJ/ha)	%	(MJ/ha)	%
Engrais N (minéral)	11 718	58	7812	43,5	0		1000	13
Engrais P,K	2 881	14,5	4760	26,6	1860			
Semences	1 320	6,5	224	1,2	10		73	1
Mécanisation	3 152	15,5	4562	25,4	3696		3031	40
dont carburant	2 913	(92)	4262	(93)	2983			
Produits phytosanitaires	1 144	5,5	211	1,2	?		3500	46
Total	20 175	100	17569	100	5566 (partiel)		7600	100
Objectif de rendement	9 tonnes de grains /ha		80 tonnes de matière fraîche /ha		12,5 tonnes de matière sèche /ha		2,5 tonnes de grains /ha	

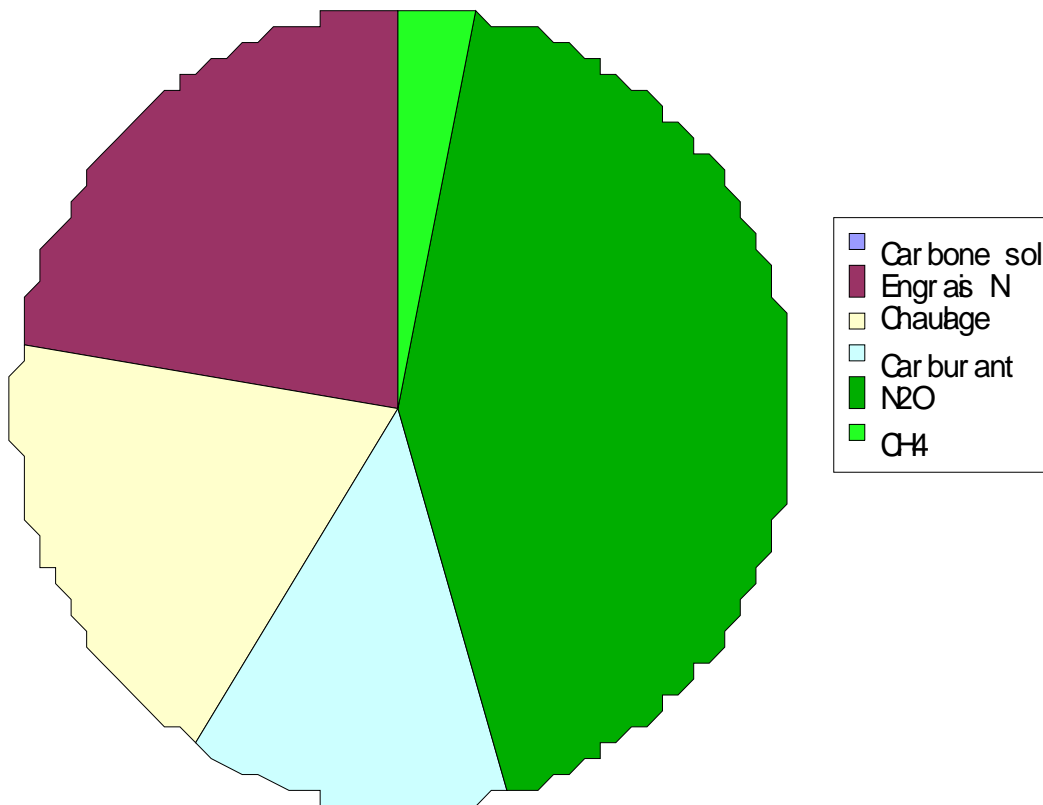
¹: Combes, 1998; ²: Leviel et Gosse, non publié; ³: Reinhardt et al., 2000.

Source: Expertise collective INRA 'Carbone', 2002

Contribution de la fertilisation aux émissions de GES

Bilan pour un système maïs-soja-blé (Robertson et al., 2000)

Système conventionnel



La fertilisation est responsable de 60% des émissions de GES de la rotation.

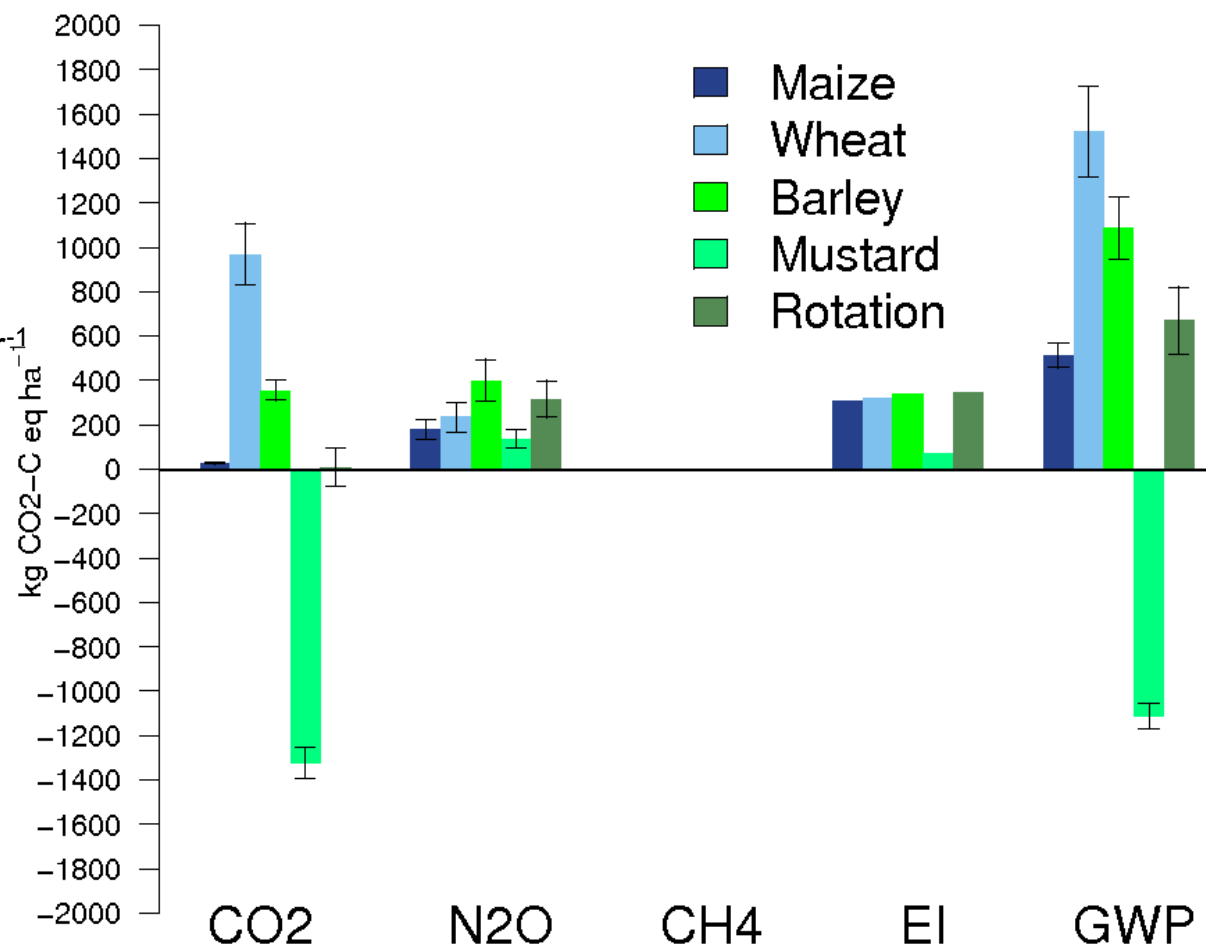
Pouvoir de réchauffement: 311 kg CO₂-C eq./ha

Décomposition des émissions de GES au sein d'une rotation

Site de Grignon.

Moyenne annuelle:

+670 kg CO₂-C eq ha⁻¹ yr⁻¹

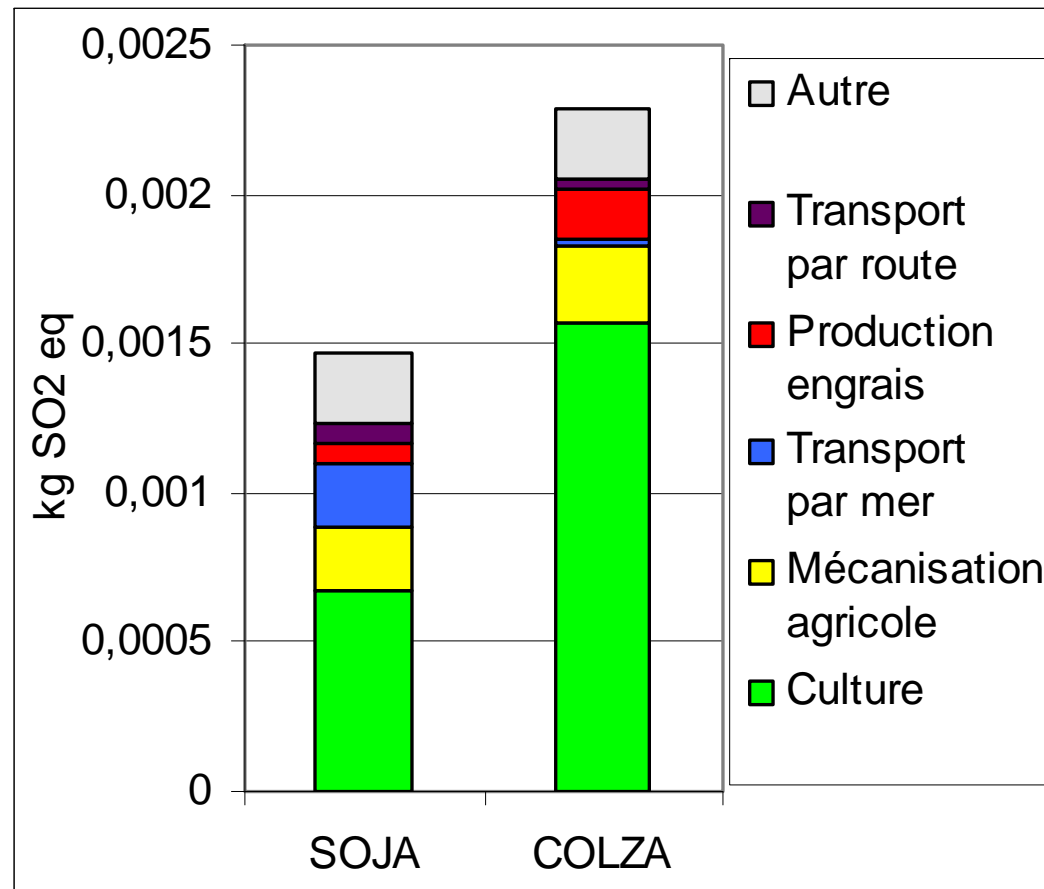


Bayesian calibration – Prediction error – **Model application**

Lehuger et al., 2009, soumis à Agric. Forest Meteorol.

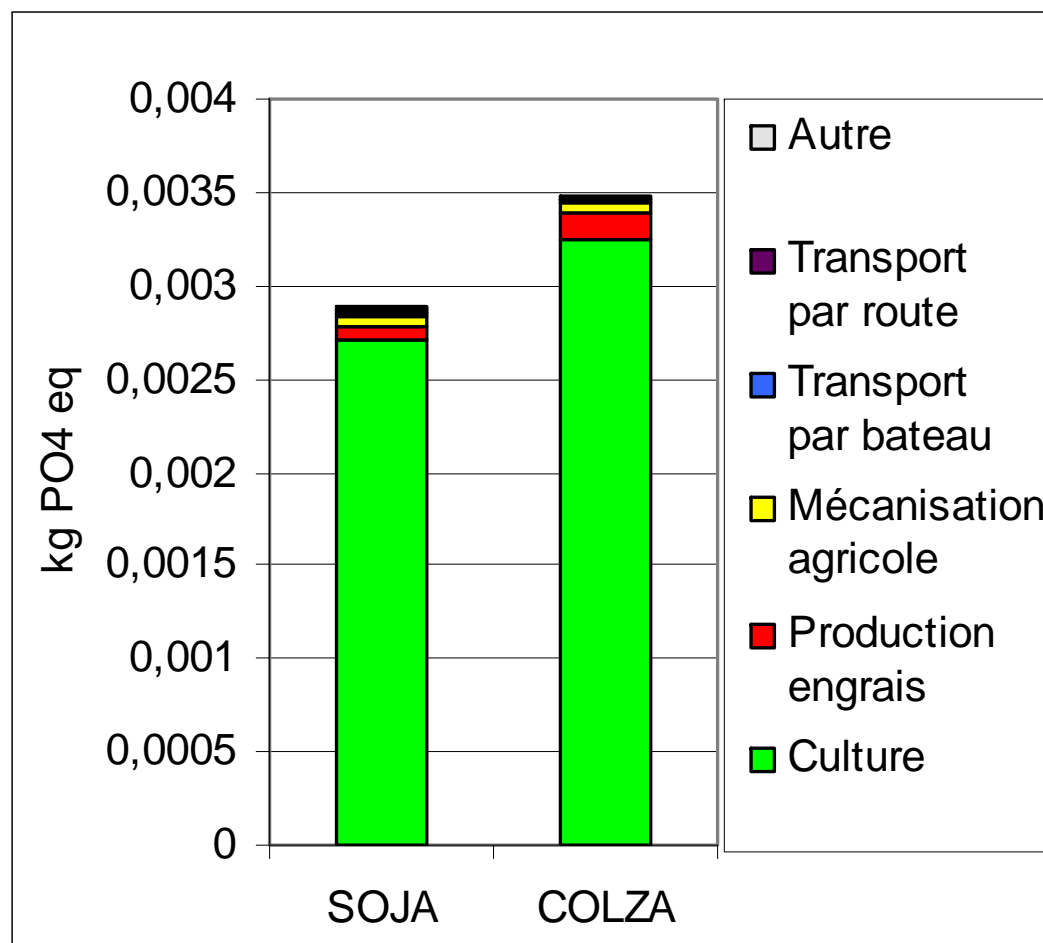
Contribution des différentes étapes à l'indicateur **Acidification** pour 1 kg de lait

Comparaison entre des rations à base de tourteaux de soja ou de colza pour des vaches laitières en Pays de Loire
(Lehuger et al., J. Cleaner Prod., 2009)



Contribution de NH₃ pour la phase de culture du Colza: épandage de lisier

Contribution des différentes étapes à l'indicateur **Eutrophisation** pour 1 kg lait

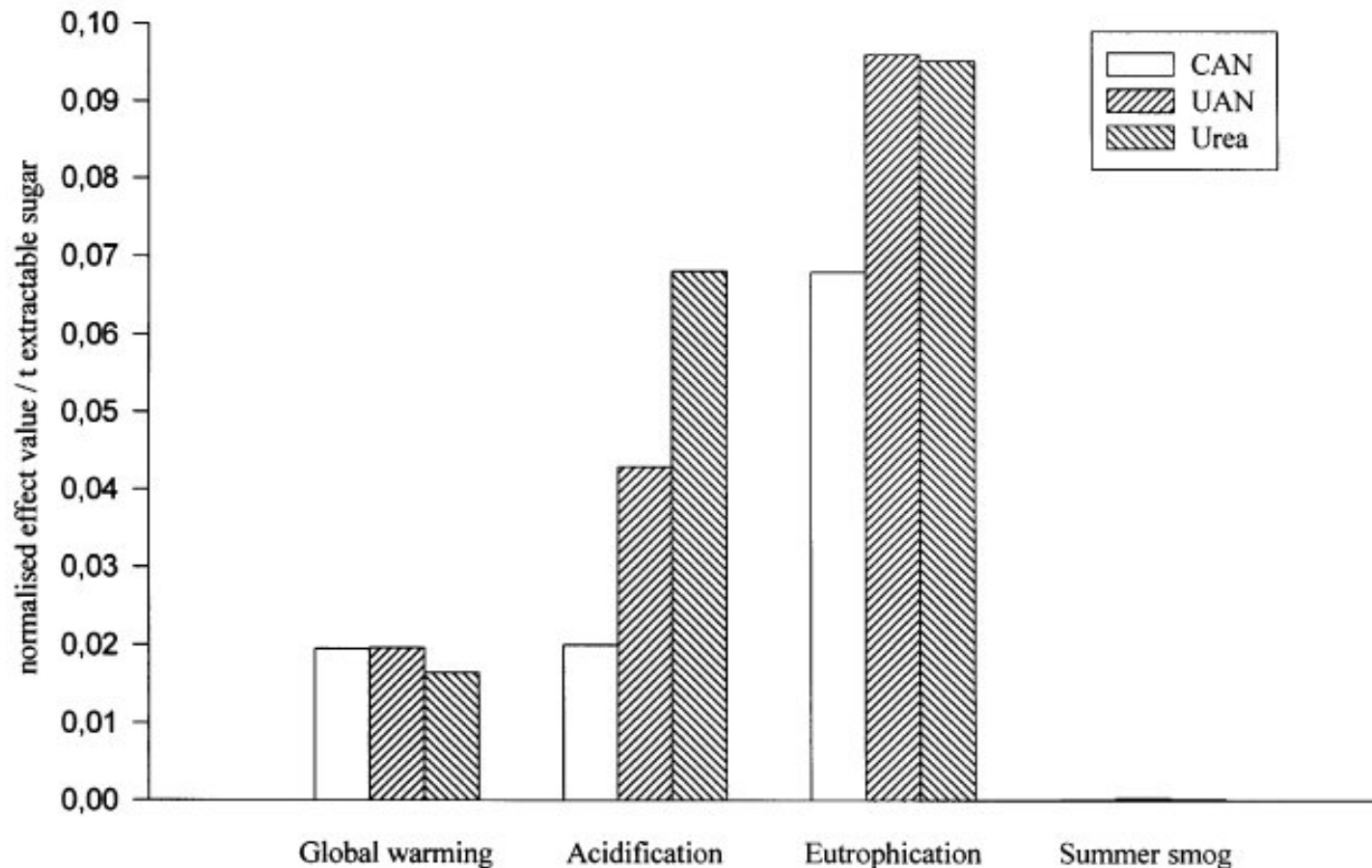


Contribution majeure de l'étape de culture

Contribution de la fertilisation

- Majoritaire pour eutrophisation, acidification, effet de serre, énergie fossile
- Faible sur pollution photochimique
- Variable pour les impacts toxicité

Mise en perspective: normalisation des impacts



Impacts des engrais azotés pour une culture de betterave, rapportés aux émissions moyennes d'un habitant de l'Europe

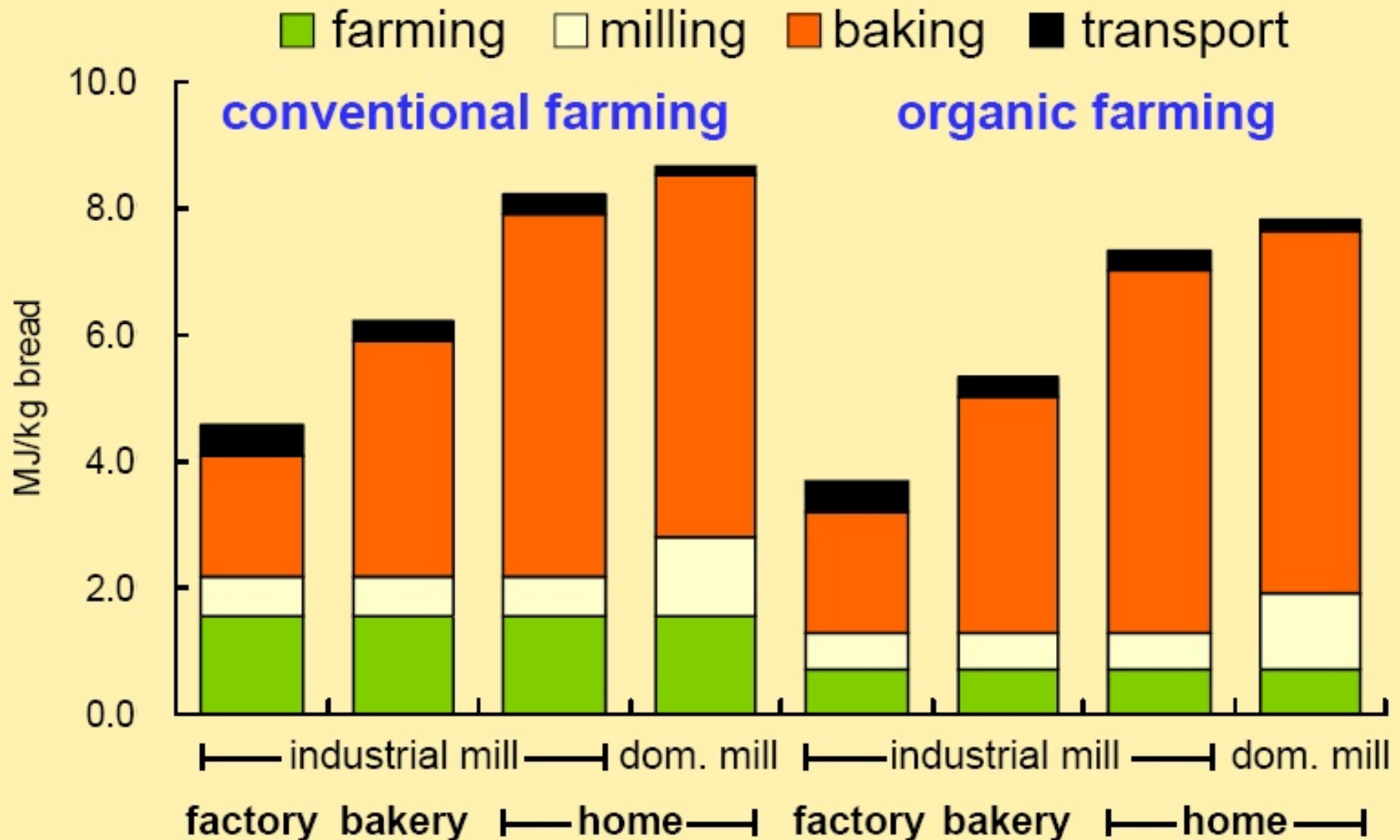
(Bentrup et al., *Europ. J. Agronomy* 14 (2001) 221–23)

Contribution par rapport au produit final: exemple du pain

Source:
G. Reinhardt



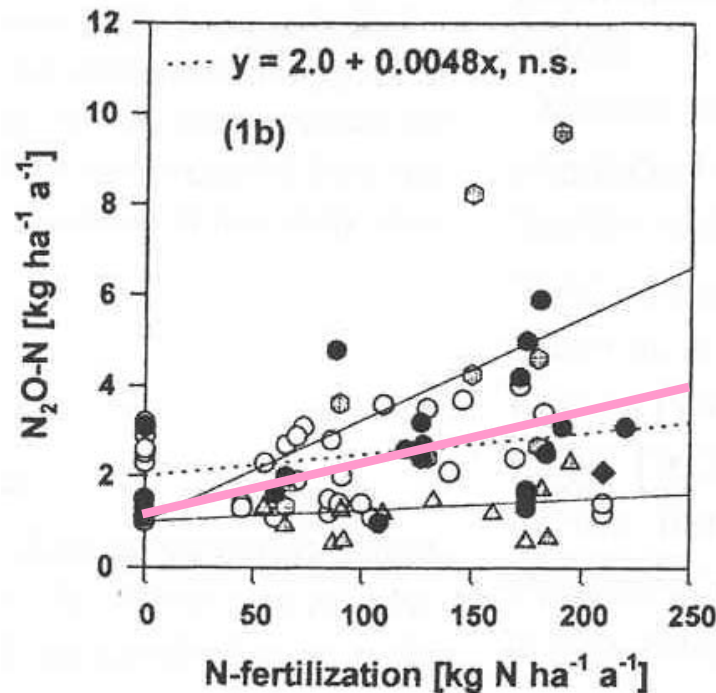
Energy demand



Plan

- Qu'est-ce que la performance environnementale ?
- Critères et méthodes d'évaluation
- Rôle de la fertilisation
- **Quelles pistes d'amélioration ?**

Sur la méthode d'évaluation



Compilation d'émissions de différentes cultures, sites (symboles), et années climatiques en Allemagne.

Kaiser et al., 2000

Incertitudes sur les émissions, et leurs variabilités en fonction des facteurs du milieu et des pratiques agricoles (et leurs interactions dans les systèmes de cultures).

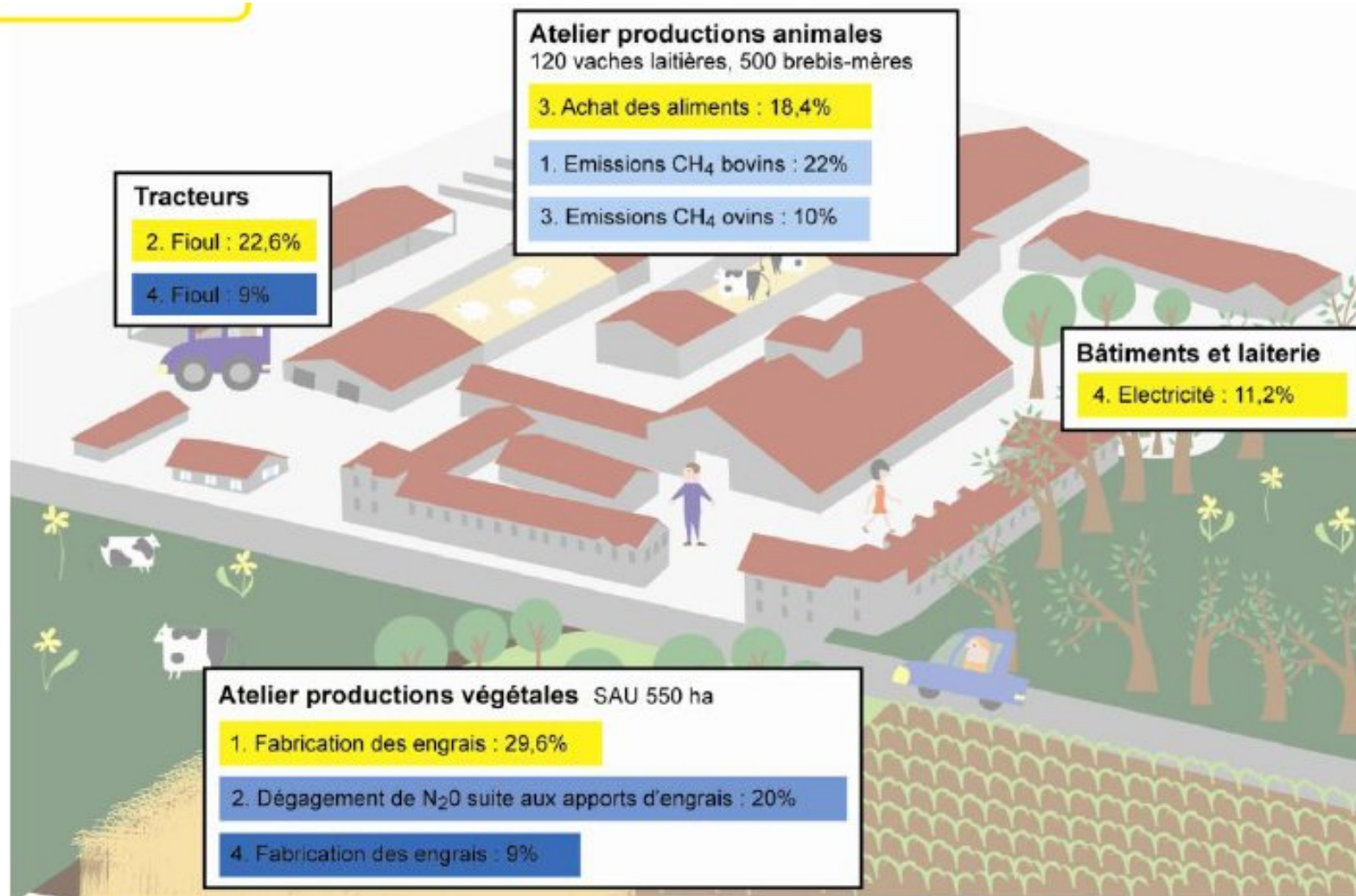
Sur les pratiques de fertilisation


- Bonnes pratiques de gestion des engrais, et des intercultures
- Intérêt des légumineuses, des cultures associées
- Et des formes d'apport organiques
- Nécessité d'une approche au niveau du système de cultures ou de production (voire exploitation), et multi-impacts
- Les méthodes d'évaluation actuelles devront être adaptées


Quelles adaptations pour les méthodes d'évaluation ?

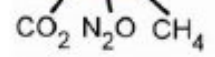
- Sensibilité aux conditions locales...
- ...et aux pratiques agricoles (et leurs interactions)
- Vers l'éco-conception (ingénierie reverse)?
- Comment hiérarchiser les impacts?
- Quid des systèmes multi-fonctionnels (eg, exploitation agricole), ou dépendants d'autres systèmes (achat d'aliments) ?
- Nécessité d'une articulation avec des approches 'macro-économiques'

Exemple: le projet Grignon Energie positive



 Principaux postes de consommation d'énergie fossile

 Principaux postes d'émission de gaz à effet de serre (en % du pouvoir de réchauffement global)



Principaux postes de consommation d'énergie fossile et d'émission de gaz à effet de serre de la ferme de Grignon, 2005