

# Réduire le recours aux engrais azotés de synthèse: Quel potentiel et quel impact sur les émissions de $N_2O$ à l'échelle France ?

► **S. Recous, M-H. Jeuffroy, C. Hénault, L. Bamière**  
*INRA, UMR FARE, UMR Agronomie, UR Sols, UMR Economie publique*





# Contexte et objectifs



**Les émissions de N<sub>2</sub>O par les sols agricoles représentent environ 50% des émissions du secteur agricole**

- Elles sont très fortement liées à l'usage des engrais azotés de synthèse.
- Elles sont comptabilisées sur la base des quantités de fertilisants azotés apportés (GIEC 1996)

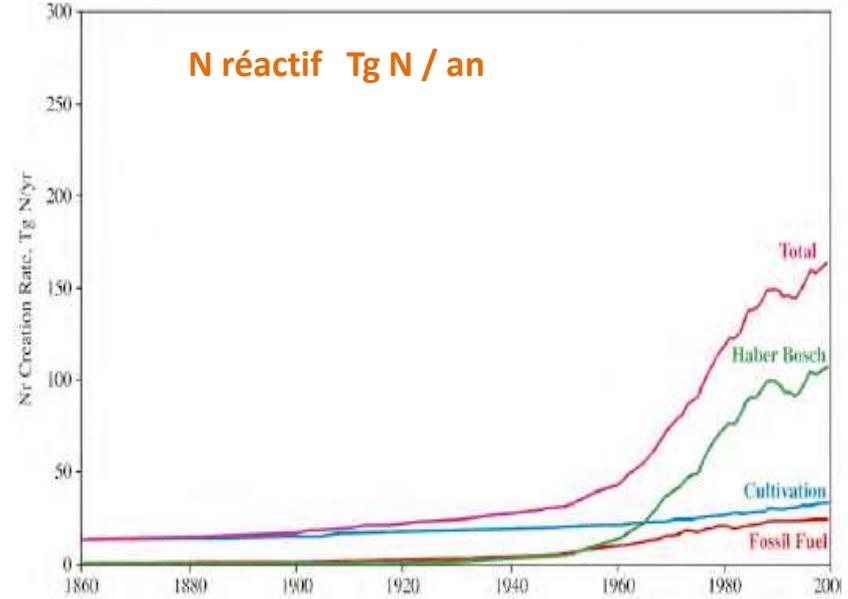
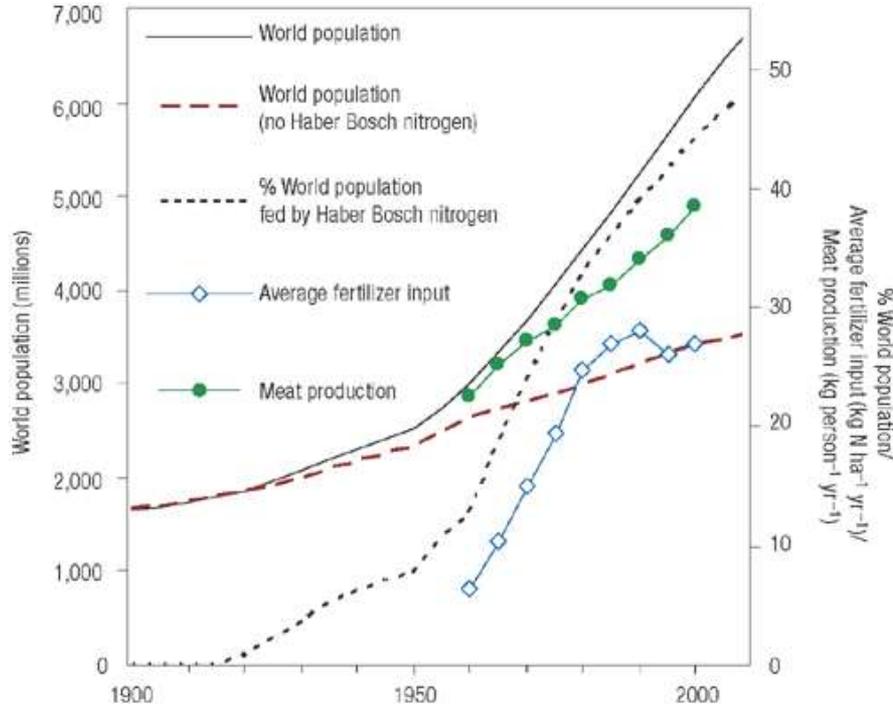
**Les leviers présentés pour réduire l'usage des engrais azotés de synthèse :**

- En **raisonnant mieux les doses totales d'azote** à apporter sur grandes cultures
- En **améliorant la valorisation de la fertilisation organique**
- En utilisant des techniques qui **améliorent l'efficacité d'absorption de l'engrais azoté**
- En **augmentant les surfaces en légumineuses** à graines en grande culture et la part de légumineuses **dans les prairies temporaires**



# Enjeux À l'échelle globale

« Comment un siècle de synthèse de l'ammoniac a changé le monde » (Erisman et al., 2008 ; Sutton et al., 2011)

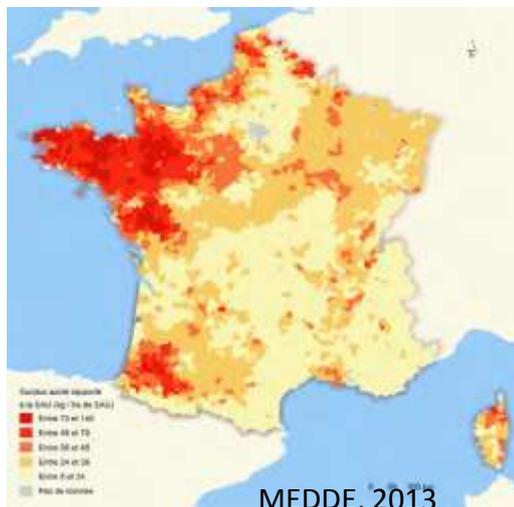


La production d'engrais minéraux de synthèse a doublé la quantité d'azote « réactif » (Cascade de l'azote)

⇒ Question: utilisation intensive des engrais minéraux et de leur réduction et/ou substitution possibles, alors qu'ils sont déterminants de la production agricole dans un contexte de forte demande alimentaire mondiale

# Enjeux *Pour l'agriculture française*

Malgré la diminution amorcée des quantités de fertilisants minéraux azotés depuis 2000 (-10% environ), une situation générale de surplus azotés (en moyenne +32 kg N/ha SAU) , avec une grande disparité régionale et par culture.



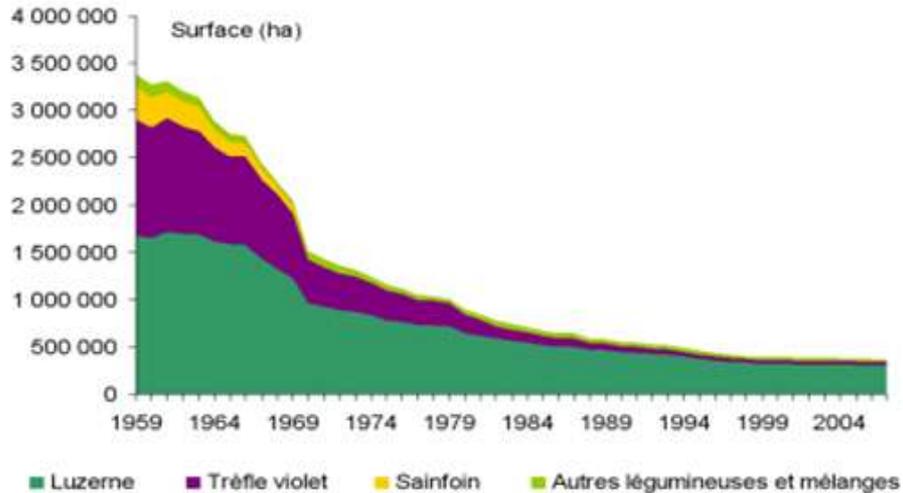
Et ....

- Une faible efficacité moyenne des apports d'engrais (absorption < 50 % N apporté)
- Une contribution majeure aux émissions de  $N_2O$
- Une dépendance énergétique élevée des exploitations agricoles
- Des stratégies à déployer aussi vis-à-vis de l'émission d'ammoniac (plan particules) et la pollution diffuse par les nitrates (directive Nitrates)

# Enjeux *Pour l'agriculture française*

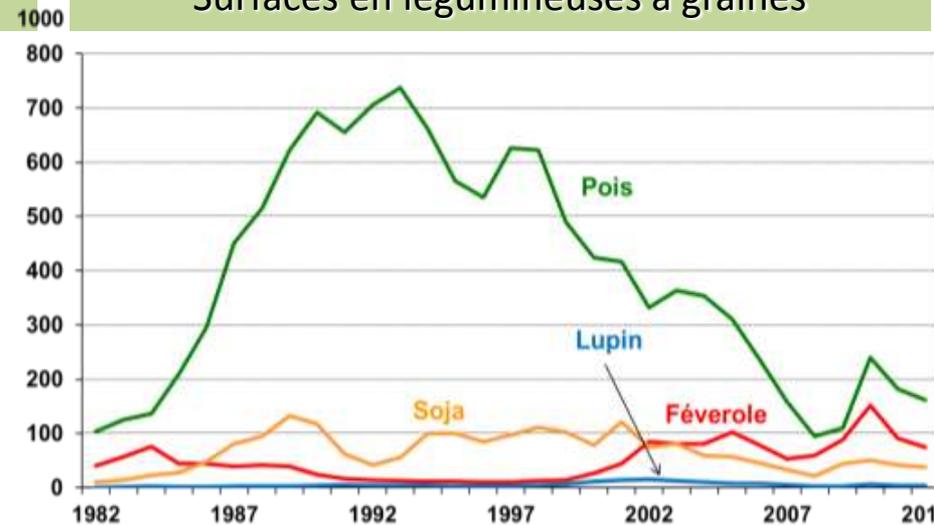
Alors que les légumineuses constituent une source d'N non émettrice de GES (Rochette & Janzen 2005; Jeuffroy et al 2013), elles tendent à disparaître des assolements nationaux.

## Surfaces en légumineuses fourragères



Source: d'après données AGRESTE

## Surfaces en légumineuses à graines



Sources : UNIP d'après SCEES/ONIOL/ONIGC/FranceAgriMer (jusqu'à 2011) et SSP (2012)

# Bases scientifiques

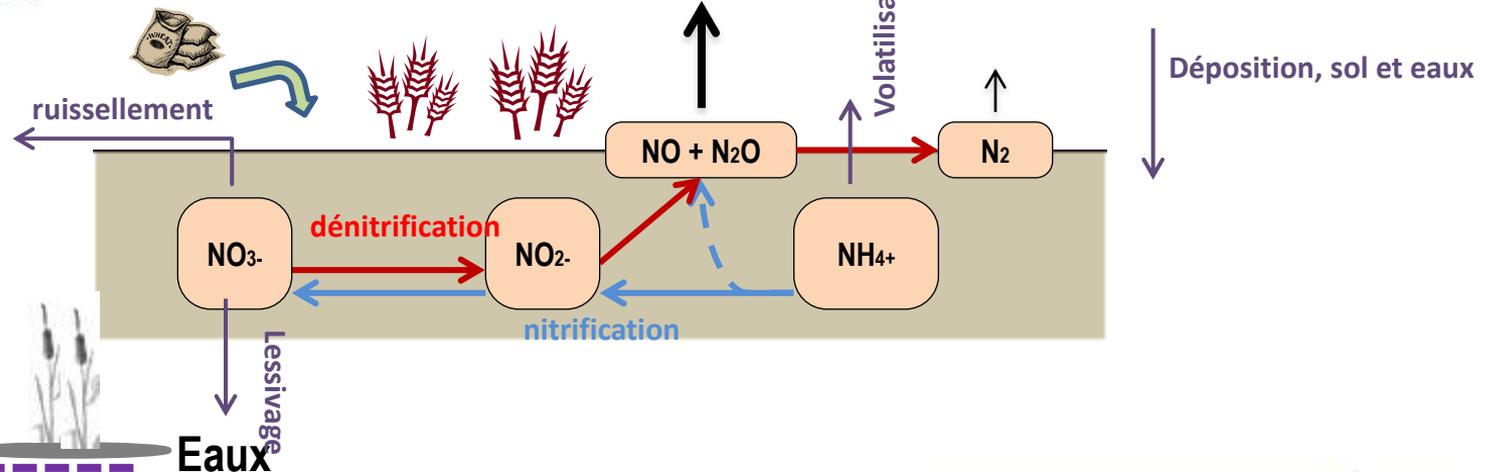
## Emissions amont induites



Emissions indirectes



## Emissions directes



Source d'azote	GIEC 1996	GIEC 2006
Engrais minéral	1,25%	1,00%
Fixation symbiotique	1,25%	0
Résidus des légumineuses et des autres cultures	1,25%	1,25%



# Leviers et règles de calcul retenus

**A**

Réduire la dose d'azote, en utilisant mieux les bilans d'azote

Utiliser des objectifs de rendement plus réalistes  
Mettre en œuvre des outils de pilotage de la fertilisation  
Pour le calcul de la dose totale N

11,7 Mha

**B**

Accroissement de la substitution N minéral par N organique

Mieux tenir compte des apports N organique

- Calcul du bilan N
- Réduire pertes  $\text{NH}_3$
- Augmenter le volume recyclé

12 Mha

**C**

Améliorer l'efficacité de l'azote apporté

Retard de la date du premier apport N

Céréales d'hiver et Colza reliquat hiver  $>50 \text{ kgN/ha}$

- Report du premier apport N permettant d'augmenter l'efficacité de l'engrais

1,8 Mha

Usage inhibiteurs de nitrification

Inhibiteur ajouté avec fertilisant N

- Diminution  $\text{N}_2\text{O}$
- suppression d'une date d'apport

2,3 Mha

Enfouissement localisé

Cultures de printemps engrais solides

- réduction des pertes

3,7 Mha

AMT = Assiette Maximale Technique



# Leviers et règles de calcul

**D1**

**D2**

Augmenter les surfaces en légumineuses à graines en grande culture

Augmenter la part des légumineuses dans les prairies temporaires



Introduction d'une légumineuse à graines au détriment de:  
(1/6 blé tendre, 2/3 orge, 1/6 colza)  
• suppression fertilisation N  
• réduction -33 kg N/ha culture suivante

Augmenter et maintenir les légumineuses, en limitant la fertilisation azotée  
• -35 kg N/ha pour PT<20% leg.  
• -14 kg N/ha pour PT=20-40% leg.



**AMT**

1,3 Mha

3,1 Mha

## Emissions de N<sub>2</sub>O :

- Les légumineuses fixent l'azote de l'air et n'ont donc pas besoin de fertilisants azotés pour couvrir leurs besoins.
- De plus, elles laissent de l'azote dans le sol, ce qui permet de réduire la fertilisation azotée de la culture suivante.

## Autres effets:

### ▪ Modifications d'assolement

- économie de carburant (itinéraires techniques différents, suppression plus fréquente du labour après légumineuse)

### ▪ Réduction des doses d'engrais

- Réduction des émissions directes de CO<sub>2</sub> liées aux épandages
- Réduction des émissions induites de CO<sub>2</sub> liées à la fabrication et au transport des intrants en amont de l'exploitation





# Ex: Utiliser des bilans plus réalistes: surestimation des objectifs de rendement

Publication	Région et type de culture	Ecart entre rendement estimé et rendement obtenu (quintaux /ha)	Assiette
Agreste Centre 124 (2008)	Blé tendre Centre	+ 10 q	33 % des surfaces
Agreste Picardie 27 (2008)	Blé tendre Picardie	+ 5 à 10 q + 10 à 15 q > + 15 q	32% des surfaces 15 % des surfaces 12% des surfaces
Agreste Picardie 27 (2008)	Blé tendre , France	+ 5 à 10 q + 10 à 15 q > + 15 q	25% des surfaces 14 % des surfaces 12% des surfaces
Schneider et al. 2010	Blé tendre Aisne	+ 15 - 20 q	Préconisation Outil Farmstar vs. Enquête CER 02
Lagarde F. Champolivier L. 2006	Colza	5- 6 q (30-40 kg N/ha)	Non précisé

Données sur les écarts entre rendements estimés et rendements réalisés trouvés dans les enquêtes pratiques culturales, et la littérature. Pellerin et al. 2003

**Surestimation moyenne 6,6 Qx/ha , - 20 kg N /ha**





## Ex: Utiliser un outil de pilotage de la fertilisation azotée

Culture	Surface de l'échantillon (ha)	Dose moyenne réalisée sous Epiclès (kgN/ha)	Dose Agreste 2006 moyenne nationale (kg N/ha)	Moyenne Epiclès - Moyenne Agreste (kg N/ha)
Betterave sucrière	18257	95	108	-13
Blé tendre	562537	160	165	-5
Colza	215608	146	165	-19
Mais grain	123812	131	156	-25
Orge	187486	119	130	-11
Pomme de terre	4590	135	159	-24
Tournesol	77789	32	56	-24

Ecart entre la dose moyenne recommandée par l'outil EPICLES et la dose moyenne pratiquée sur les mêmes cultures à l'échelle France (d'après Berthoud A., 2010)

**Estimation haute de progression + 93% des surfaces GC (données SSP 2006 surfaces sans outils de pilotage) - 13 kg N / ha sur 12 Mha**





# Ex: remplacer des grandes cultures (blé, orge, colza) par des légumineuses à graines

surface (en	variation (%)	variation épandage engrais (t/ha)	variation QN dans résidus (t/ha)	variation quantité herbicides (kg/ha)	variation quantité fongicides (kg/ha)	variation quantité insecticides (kg/ha)	variation épandage phytos (ha)	variation surface labourée (ha)
blé	-3%	-453	-1409	-29260	-38139	-4389	-1486431	-584331
colza	-10%	-365	-3843	-10241	-5352	-11704	-975336	-154203
orge	-37%	-1463	-10689	-46317	-58521	-5352	-2405210	-421351
légumineuses à graines	300%		27497	17356	17356	17356	4380345	763698
<b>TOTAL</b>		<b>-2282</b>	<b>11356</b>	<b>-68762</b>	<b>-84356</b>	<b>-4389</b>	<b>131168</b>	<b>-396187</b>

**Economie annuelle de 122 kg N /ha sur 1.27 Mha**



# Résultats à l'horizon 2030, par an

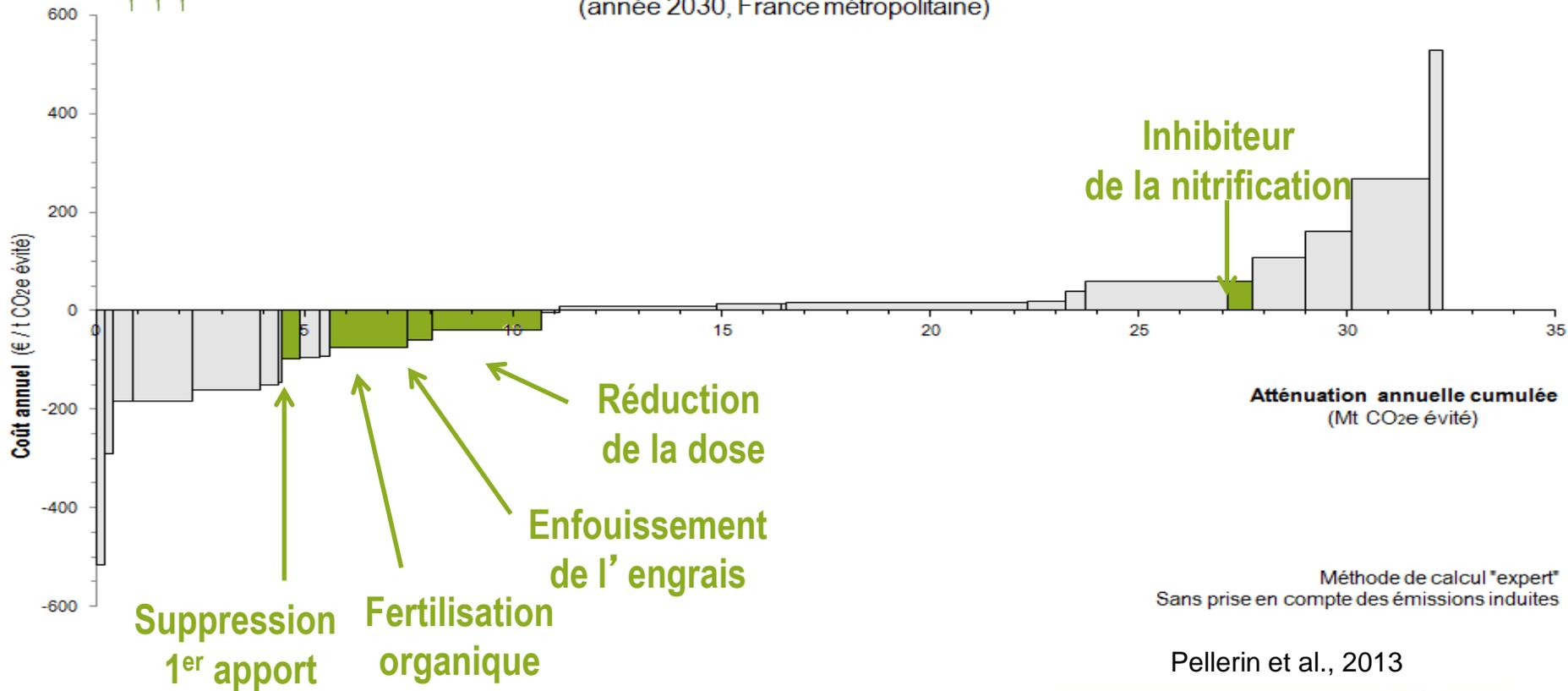
	A	B	C	D1	D2
Réduction d'engrais minéral (kg N)	19,7 kg N /ha (14,8 à 29,4),	14,4 kg N/ha (9,8 – 22,2),	C1 : 15,0 kg N/ha C2 : 10,2 kg N/ha C3: 12,3 kg N/ha (0 à -18,4)	Suppression sur la légumineuse, 33 kg N/ha sur culture suivante	-29 kg N/ha en moyenne
	→ 230 821 t N / an	→ 176 257 t N /an.	→ 96 942 t N /an	→ 155 640 t N /an.	→ 82 980 t N /an
Potentiel d'atténuation CITEPA (Mt CO2e)	2,2	1,7	0,3 - 0,2 - 0,3	0,5	0,8
Potentiel d'atténuation expert (Mt CO2e)	2,6 (2,0 à 3,7)	1,9 (1,3 à 2,8)	0,4 - 0,6 - 0,6 (0,1 à 0,8)	0,9 (0,3 à 1,4)	0,5 (0,4 à 1,0)

- ⇒ Economie de 5 -10 % pour chaque sous action des quantités d'engrais azotés minéraux /an
- ⇒ La combinaison des sous actions (hypothèse d'additivité) ≈ 6,0 Mt CO2e/an (calcul CITEPA) soit 13% des émissions liées à la fertilisation azotée des sols agricoles.





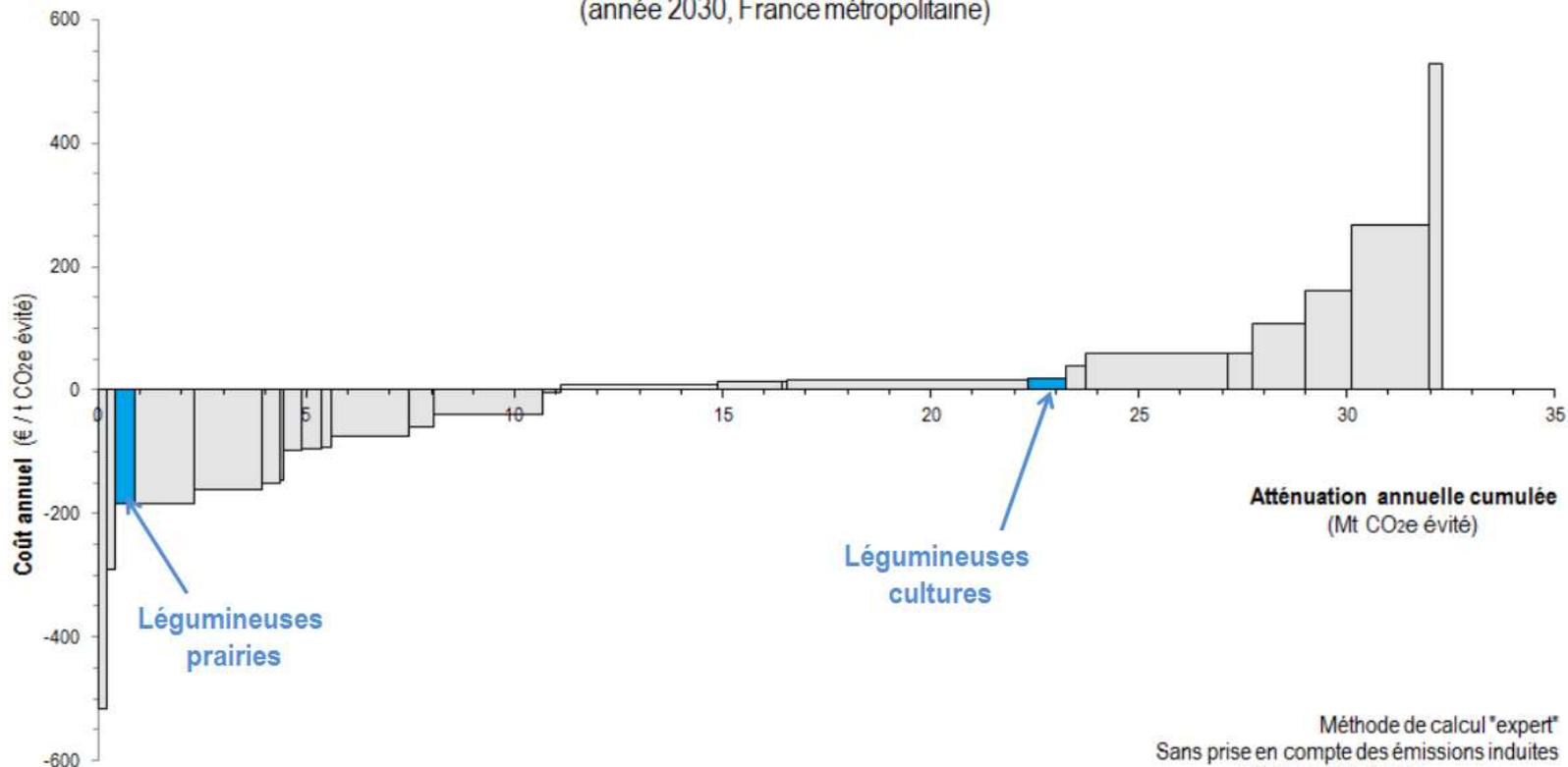
## Coûts de la tonne de CO<sub>2</sub>e évité pour l'agriculteur et potentiels d'atténuation (année 2030, France métropolitaine)





## Coûts de la tonne de CO<sub>2</sub>e évité pour l'agriculteur et potentiels d'atténuation

(année 2030, France métropolitaine)



INRA  
SCIENCE & IMPACT



CARREFOURS  
DE L'INNOVATION AGRONOMIQUE



# Conclusions (1)

## Un potentiel réel de réduction de la fertilisation minérale azoté et des émissions de GES associées

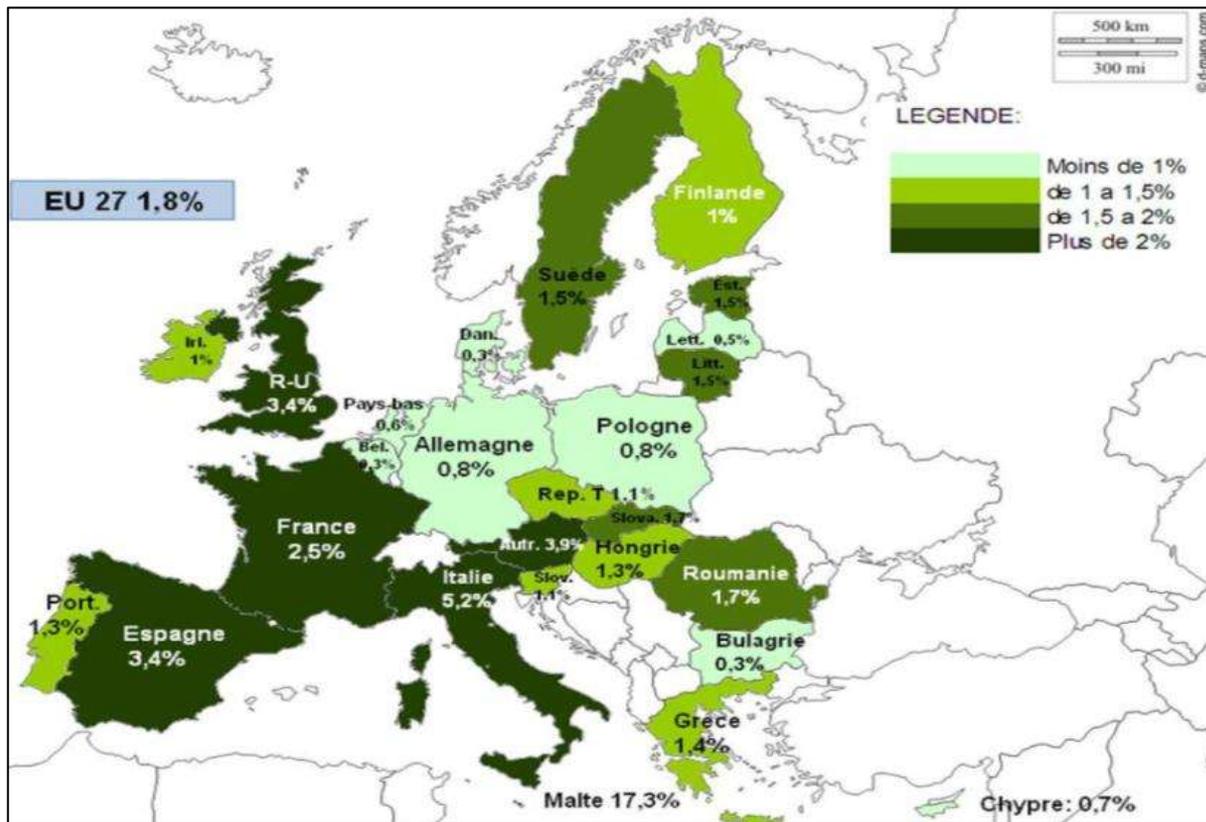
❖ **Des potentiels d'atténuation moyens** à l'échelle unitaire (ha) , **pour des assiettes d'application variables selon les leviers considérés:**

- Des ordres de grandeur d'atténuation équivalents (fertilisation) ou plus faibles (légumineuses) que dans d'autres études internationales
- l'hypothèse de réduction des quantités d'azote peut sembler optimiste, mais elle répond vraiment à la nécessaire amélioration de l'efficacité de l'azote
- l'hypothèse d'accroissement des surfaces en légumineuses est faible par rapport à d'autres études (4,5% de la SAU; 13% au Canada; 32% aux USA) et par rapport aux surfaces actuelles de certains pays

**Des coûts faibles voire négatifs pour ces leviers ! Pourquoi ne sont-ils pas plus appliqués ?**

# Légumineuses à graines en UE = de 1 à 5% de la SAU

Amérique du Nord  
ou Asie : de 10 et 25 %





## Conclusions (2)

- ❖ **Une technicité supérieure est indispensable** notamment pour un accroissement significatif des surfaces en légumineuses (apprentissage des agriculteurs, formation des techniciens), et pour améliorer l'efficacité des apports d'engrais
- ❖ **Une meilleure valorisation économique des légumineuses chez les agriculteurs est nécessaire, mais nécessite des changements dans l'ensemble du système socio-technique** (Meynard et al., 2013)
- ❖ **En prairie**, les techniques proposées existent déjà et pourraient plus facilement être déployées.
- ❖ **Autres effets bénéfiques**
  - des légumineuses sur utilisation des phytosanitaires et énergie fossile, biodiversité
  - de la réduction de la fertilisation minérale totale et de l'amélioration de l'efficacité des apports: réduction des pertes (qualité de l'eau, qualité de l'air), réduction de la dépendance énergétique des exploitations

