

30 ans

# 16<sup>e</sup> Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE



Leviers agronomiques pour améliorer l'autonomie en azote à l'échelle des exploitations agricoles

---

Sylvain PELLERIN, INRAE

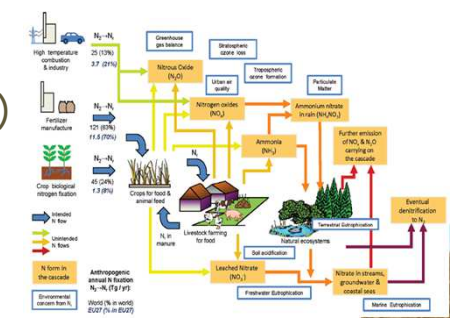
# Les enjeux liés à la gestion de l'azote

30 ans



comifer Gemas

- Années 1960-70: **produire plus**
- Années 1980: 1ères alertes sur **l'impact des nitrates sur la potabilité de l'eau** (en France les rapports Poly 1978; Hénin 1980; 1ere directive nitrate UE en 1991)
- Années 1990: 1eres marées vertes; **eutrophisation** des écosystèmes aquatiques par N et P
- Années 2000: montée en puissance de **l'enjeu climatique** (3ème rapport du GIEC); contribution du N<sub>2</sub>O à l'effet de serre; 1eres alertes sur la contribution de composés azotés gazeux à la dégradation de la **qualité de l'air** (NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>)
- Années 2010: le concept de **cascade de l'azote** (Galloway 2008); The European nitrogen assessment (Sutton 2011).
- Années 2020: crise Covid, guerre en Ukraine; tensions sur le marché du gaz et de l'énergie; la **souveraineté alimentaire** (re)devient un enjeu; **L'autonomie pour les ressources** également (énergie, gaz, engrais, protéines....)

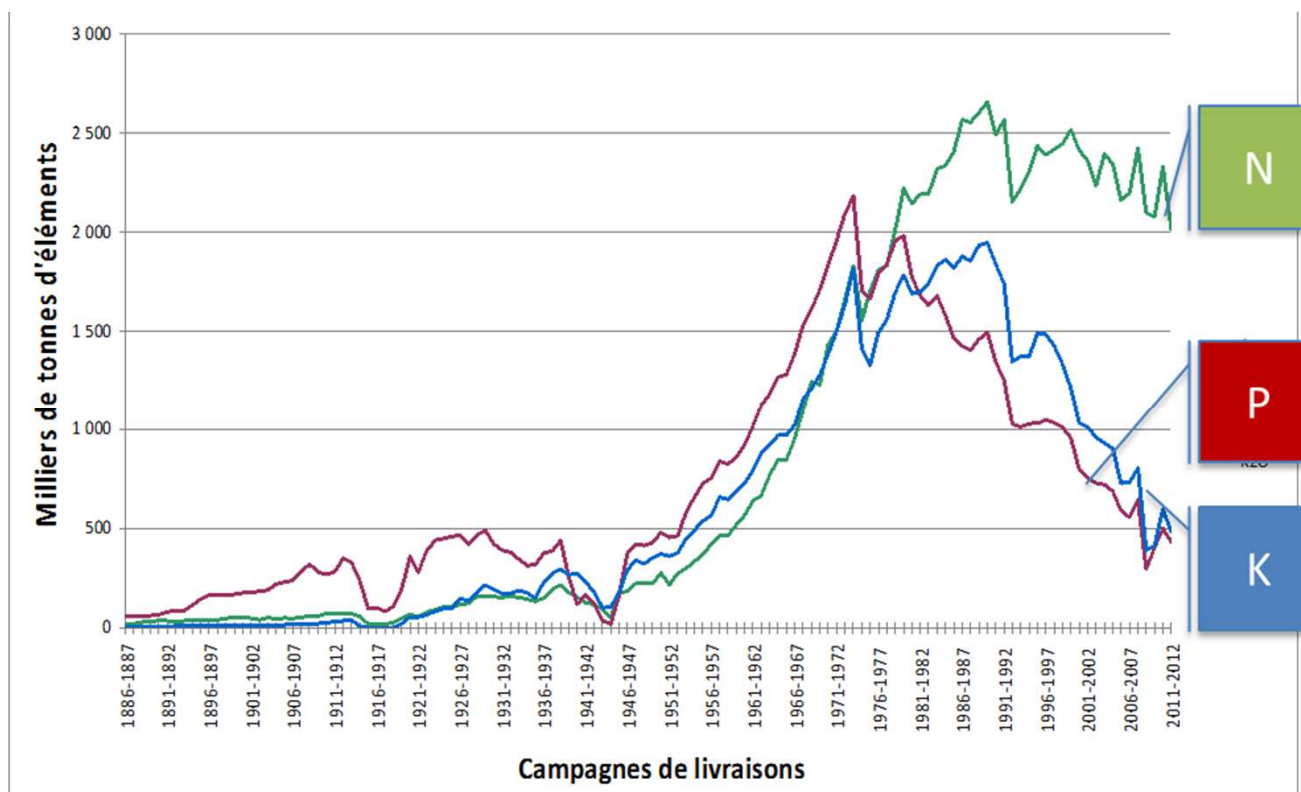


# En France, une réduction de l'usage des engrais minéraux notable pour P et K depuis les années 90, moindre pour N



comifer Gemas

**Livraison d'engrais minéraux en France  
(en milliers de t d'unités fertilisantes)  
(source UNIFA)**



# Quels leviers pour accroître l'autonomie en azote?

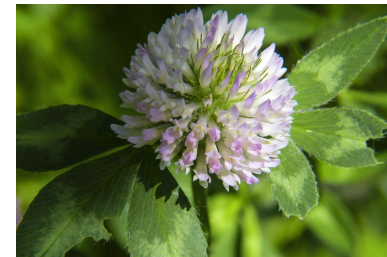
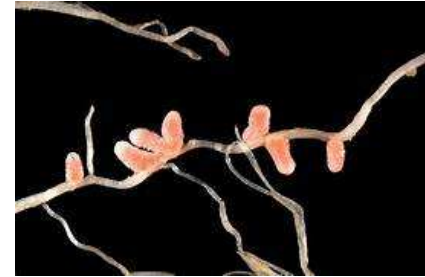
30 ans



comifer Gemas

## Favoriser l'entrée d'azote par des espèces fixatrices (légumineuses)

- Les espèces fixatrices d'azote (soja, pois, luzerne, trèfle...) hébergent dans des nodules associés à leurs racines une bactérie (Rhizobium) capable de réduire le diazote de l'air ( $N_2$ ) en ammoniac ( $NH_3$ ). L'azote fixé est ensuite incorporé dans des acides aminés, puis des protéines.
- L'ordre de grandeur des quantités fixées est de quelques dizaines de kg N par ha et par an (jusqu'à 200 pour des légumineuses fourragères pérennes). L'azote fixé peut ensuite bénéficier à la culture suivante.
- Le processus de fixation est non émetteur de  $N_2O$  (Zhong et al., 2009)
- Limites: la fixation diminue quand la disponibilité en azote du sol augmente; la surface en légumineuses est limitée par les débouchés (alimentation animale et humaine)
- Leviers: relocaliser la production d'aliments pour animaux riches en protéines (alternatives au soja importé); accroître la part des protéagineux dans notre alimentation;



# Favoriser l'entrée d'azote par des espèces fixatrices



comifer Gemas

nature  
food

ARTICLES

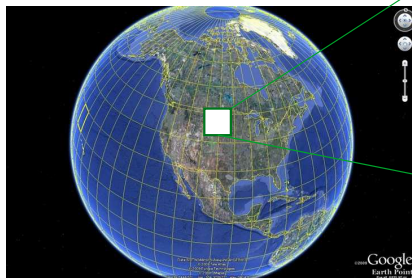
<https://doi.org/10.1038/s43016-021-00276-y>

Check for updates

## Quelles conséquences d'un scénario mondial d'expansion de l'AB sur le cycle de l'azote, sa disponibilité, les rendements et la production?

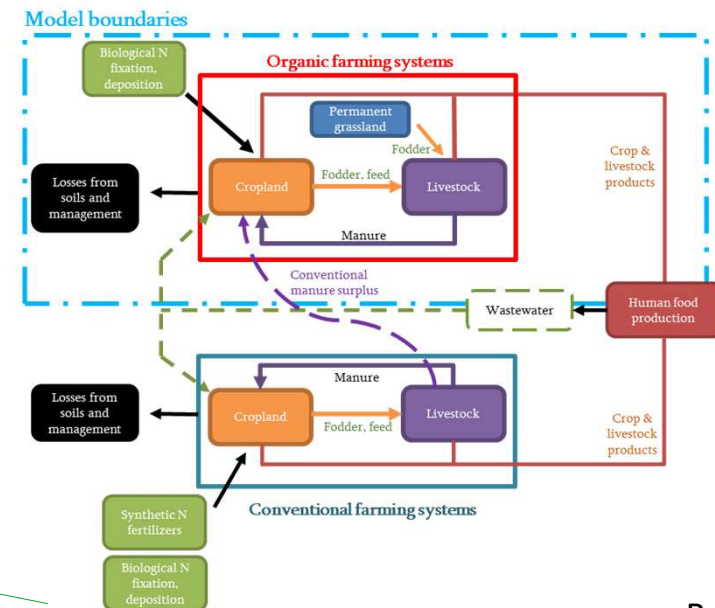
Modélisation biophysique du cycle du N, sous scénarios mondial d'expansion de l'AB

- A une résolution spatiale fine (maille 10 x 10km à l'équateur)
- A l'échelle planétaire (9.3 10<sup>6</sup> mailles)



## Global option space for organic agriculture is delimited by nitrogen availability

Pietro Barbieri<sup>1,2</sup>, Sylvain Pellerin<sup>1</sup>, Verena Seufert<sup>3</sup>, Laurence Smith<sup>4</sup>, Navin Ramankutty<sup>5</sup> and Thomas Nesme<sup>1,2</sup>



Barbiéri et al., 2018

# Favoriser l'entrée d'azote par des espèces fixatrices



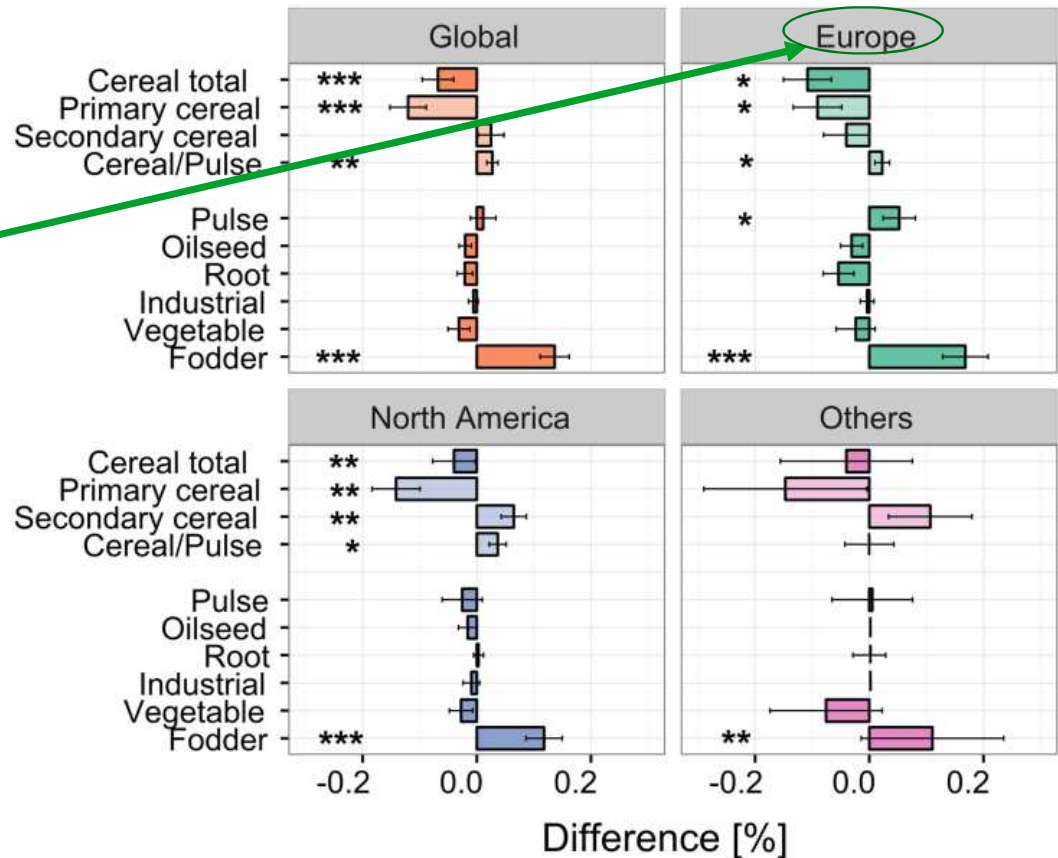
comifer Gemas

## Prise en compte des différences d'assolement entre Agriculture Biologique et Agriculture Conventiennelle

Ex en Europe:

- Céréales (-12%)
- Légumineuses (+6%)
- Cultures fourragères (+17%)

Et de leurs conséquences sur les flux d'azote (modification de la demande, des entrées par fixation symbiotiques...)



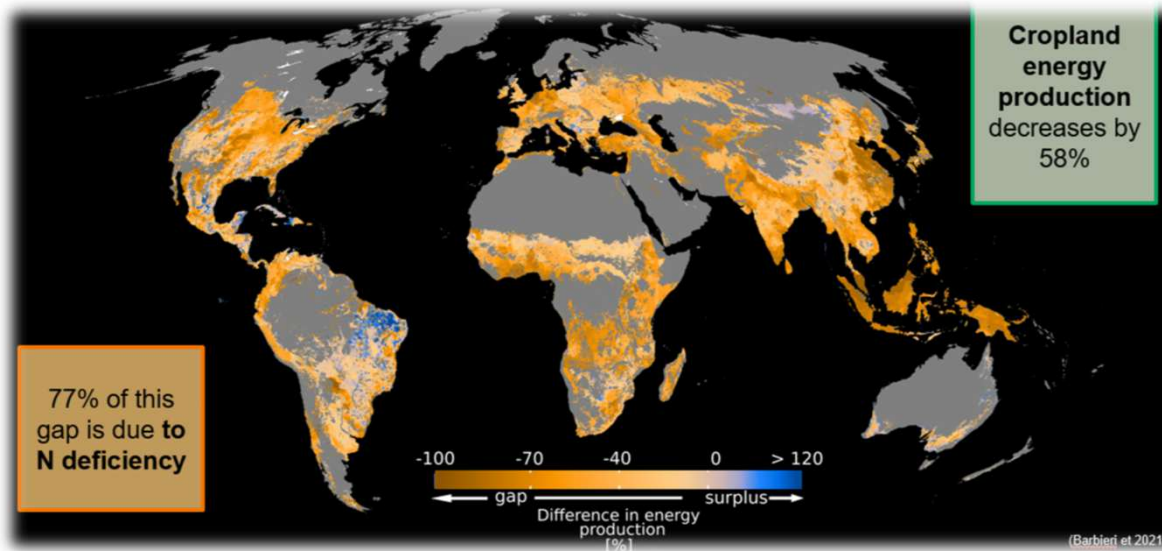
Barbiéri et al., 2017

# Favoriser l'entrée d'azote par des espèces fixatrices



comifer Gemas

**Résultats pour le scénario 100% AB:** -34% de production alimentaire (en calories), due à une baisse de la production végétale (-58%), qui s'explique à 77% par une déficience en N



Barbieri et al., 2018

→ A l'échelle globale, l'entrée d'azote par fixation symbiotique ne suffirait pas pour maintenir le niveau actuel de production agricole, même avec des systèmes de culture donnant plus de place aux légumineuses

# Quels leviers pour accroître l'autonomie en azote?



comifer Gemas

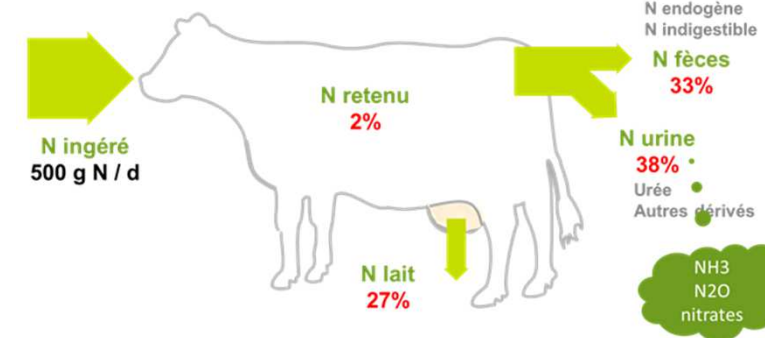
## Recycler

- Les animaux d'élevage ne valorisent que partiellement l'azote (et les autres éléments minéraux) ingérés. Une part importante de cet azote se retrouve dans les effluents
- S'il est bien utilisé, cet azote est aussi efficace que celui des engrais minéraux. Attention à limiter les pertes (voir ci après)
- Le développement de nouvelles filières de valorisation (méthanisation) ne réduit pas la quantité d'azote (et d'autres éléments) recyclables
- Limites: ségrégation géographique cultures-élevage; variabilité et incertitude des teneurs; rapport N/P non ajusté aux besoins
- Pistes: réassocier agriculture/élevage; consolider les références; mobiliser de nouveaux gisements



## Utilisation de l'azote par la vache laitière

Vache produisant 26kg de lait, en ingérant 19 kgMS à 16% MAT



Spek et al. 2013; Dijkstra et al. 2013





# Recycler



comifer Gemas

30 ans

**Beaucoup de résultats suggèrent une prise en compte seulement partielle des apports d'azote par les effluents d'élevage, conduisant à des compléments d'apports sous forme d'azote de synthèse supérieurs à ce qui serait nécessaire**

Dose moyenne de N (kg/ha)	2006			2011		
	Parcelles sans apport organique	Parcelles avec apport organique*		Parcelles sans apport organique	Parcelles avec apport organique*	
	N minéral	N minéral	N total	N minéral	N minéral	N total
Blé tendre	165	125	171	161	128	166
Orge d'hiver	137	98	146	138	110	147
Maïs grain	177	104	206	168	116	186
Maïs ensilage	97	74	228	93	69	190
Colza	165	165	178	169	154	186

Source : données Agreste - enquête "Pratiques culturales" 2011

\* Précautions à adopter vis-à-vis des données sur l'azote organique compte tenu de la difficulté à estimer les quantités apportées par les effluents d'élevage notamment

Par rapport à des parcelles recevant uniquement de la fertilisation minérale, les apports d'azote minéral sont inférieurs dans les parcelles recevant des apports organiques, mais les apports totaux d'azote sont supérieurs → la réduction de l'apport minéral est moindre que ce qu'elle devrait être

Houot et al., 2014

# Recycler



comifer Gemas

30 ans

## Bilan P simplifié des sols agricoles français

(en kt P an<sup>-1</sup>; moyenne 2002-2006; d'après Senthilkumar et al., 2012)

<b>Prélèvement net par les cultures et les prairies</b>	<b>452</b>
<b>Effluents d'élevage</b>	<b>310</b>
<b>Boues de STEP épandues</b>	<b>24</b>
<b>Déchets compostés épandus</b>	<b>30</b>
<b>Total apports organiques</b>	<b>364</b>
<b>Complément théorique à fournir par les engrais minéraux</b>	<b>88</b>
<b>Consommation réelle d'engrais minéraux P</b>	<b>286</b>



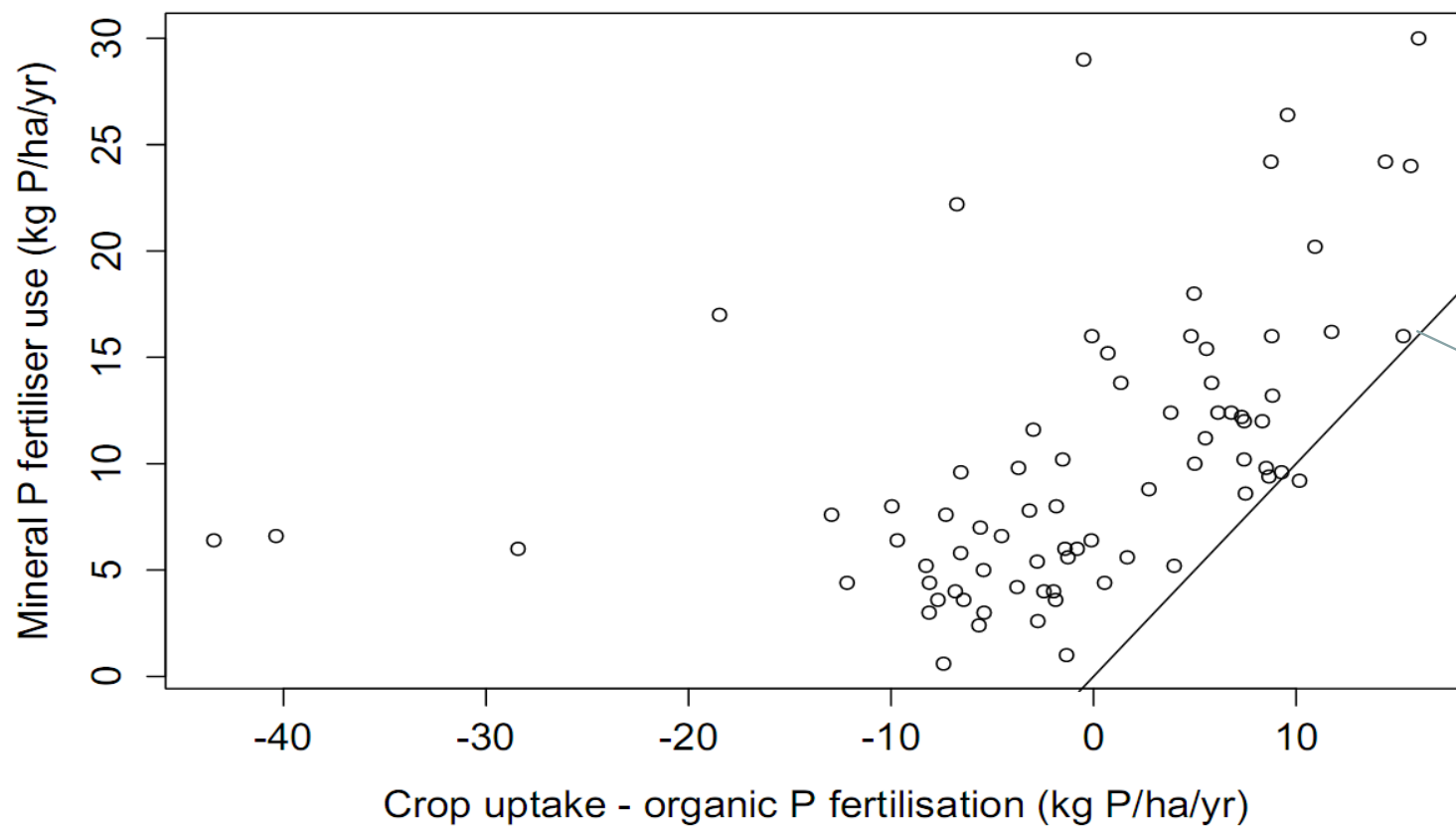
# Recycler

30 ans



comifer Gemas

Calcul pour 76 départements français



$Y=X$  Hypothèse d'une substitution parfaite

Nesme et al., 2015

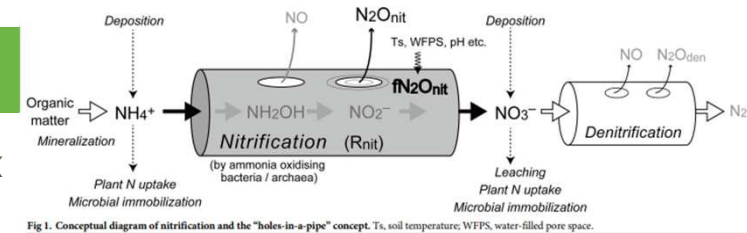
# Quels leviers pour accroître l'autonomie en azote?



comifer Gemas

## Réduire les pertes

- Les transferts et transformations de l'azote donnent lieu à de nombreux postes de perte (lixiviation, volatilisation, dénitrification...)
- En Europe environ 80% de l'azote apporté aux plantes est perdu avant d'arriver à notre assiette (Leip et al., 2022)
- Réduire les pertes à toutes les étapes du cycle permet de réduire les quantités à apporter en amont, et de limiter les impacts sur l'environnement
- Nombreux leviers mobilisables: couverture des lieux de stockage, ajustement des apports aux besoins (dates et doses), enfouissement/injection, immobilisation (CIPAN)...
- Limites: imprédictibilité du climat, pertes incompressibles
- Pistes: poursuite des efforts de réduction des pertes à toutes les étapes du cycle



# Réduire les pertes



comifer Gemas

Secteur de l'élevage: 65TgN/an émis vers l'environnement (soit 1/3 des émissions liées aux activités humaines)

- 29 TgN sous forme  $\text{NO}_3^-$
- 26 TgN sous forme  $\text{NH}_3$
- 8 TgN sous forme  $\text{NO}_x$
- 2 TgN sous forme  $\text{N}_2\text{O}$

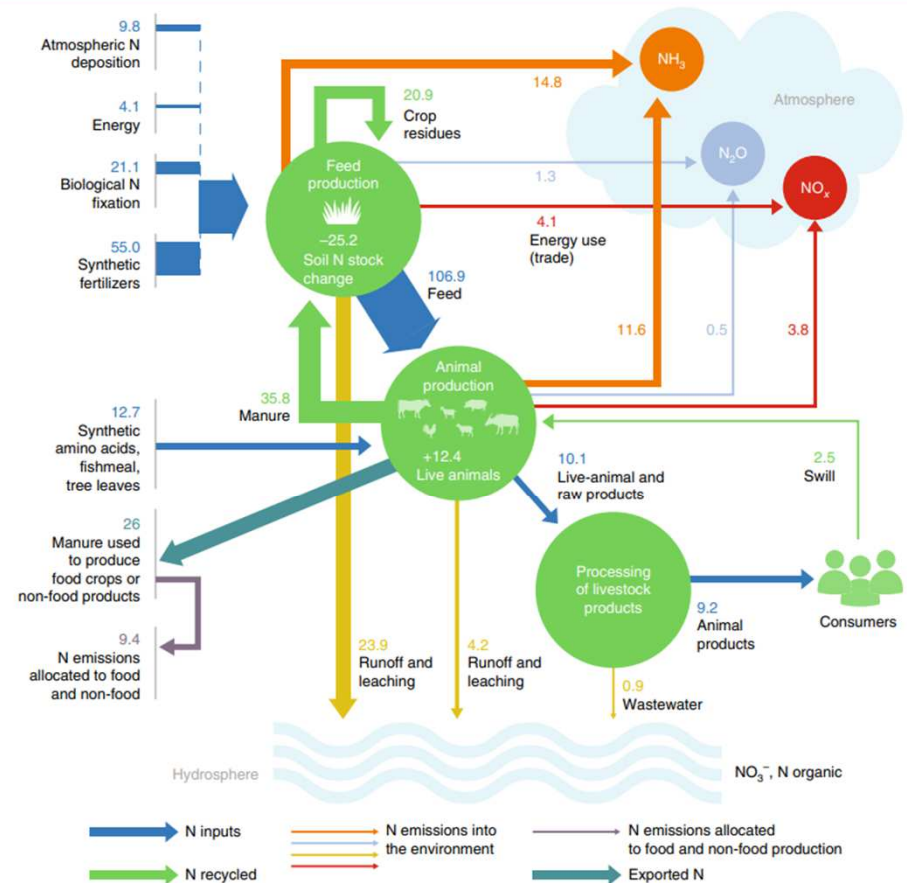
Principalement aux étapes production végétale (pour la production d'aliments animaux, 44 TgN) et gestion des effluents (20TgN)

**nature food** ARTICLES  
<https://doi.org/10.1038/s43016-020-0113-y>  
 Check for updates

## Nitrogen emissions along global livestock supply chains

Aimable Uwizeye<sup>1,2</sup>, Imke J. M. de Boer<sup>2</sup>, Carolyn I. Opio<sup>1</sup>, Rogier P. O. Schulte<sup>3</sup>, Alessandra Falcucci<sup>1</sup>, Giuseppe Tempio<sup>1</sup>, Félix Teillard<sup>1</sup>, Flavia Casu<sup>1</sup>, Monica Rulli<sup>1</sup>, James N. Galloway<sup>4</sup>, Adrian Leip<sup>5</sup>, Jan Willem Erisman<sup>6</sup>, Timothy P. Robinson<sup>1</sup>, Henning Steinfeld<sup>1</sup> and Pierre J. Gerber<sup>2,7</sup>

Votre Nom / Votre structure



**Fig. 1 | Global N flows and sources of N compound emissions allocated to the livestock sector.** N emissions associated with manure used to produce food crops and non-food products are aggregated. Losses of  $\text{N}_2$  to the atmosphere from manure management systems are estimated at  $8.3 \text{ Tg N yr}^{-1}$  and are not shown here. All numbers are expressed in  $\text{Tg N yr}^{-1}$ .

# Quels leviers pour accroître l'autonomie en azote?

30 ans



## Conclusion

- Intérêt des légumineuses, mais à lui seul ce levier ne suffira pas
- Encore des marges de manœuvre sur le recyclage
- Réduire les pertes: Un effort de longue haleine, à poursuivre
- Rôle clé de l'association agriculture-élevage (légumineuses fourragères, recyclage des effluents)
- Mobiliser de nouveaux gisements (urines humaines?)
- Liens avec les régimes alimentaires: place des protéines végétales dans notre alimentation



30 ans

Merci pour votre attention !

# Quels levier pour améliorer l'autonomie en azote?

30 ans



comifer Gemas

## SURFACES > FRANCE - PROTÉAGINEUX • 1984-2019

Source : Terres Univia d'après SCEES/ONIGL/ONIGC/FranceAgriMer/SSP

