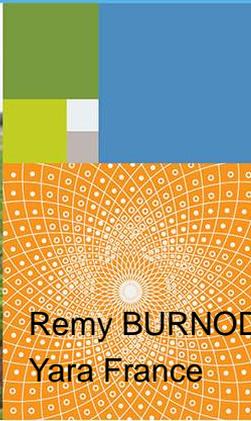




Knowledge grows

- Comifer N – 16-05-2017

Quantification des impacts environnementaux de la fertilisation azotée
- Energie et GES à la production et utilisation des engrais azotés
- Impacts environnementaux doses et formes N sur céréales et colza



Remy BURNOD – Marc Lambert
Yara France

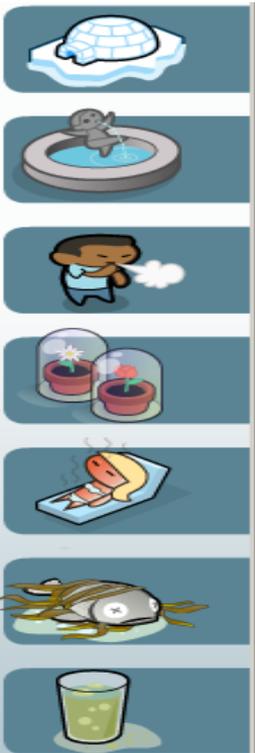
Plan partie 1

- Introduction
- Généralités Contribution de l'agriculture à la consommation d'énergie et à l'émission de GES
 - Monde
 - EU28
 - France
- Energie et GES sur 1 ha de blé : le poids de la fertilisation azotée
- Energie et GES à la production des engrais azotés
- Empreinte carbone des engrais azotés
 - Description
 - Progrès réalisés
 - Voies d'amélioration

Plan partie 2

- Quantification des impacts environnementaux sur des jeux d'essais de fertilisation azotée cultures – doses N - Formes N
 - Matériel et méthode : Présentation succincte des outils et indicateurs mobilisés
 - Principaux résultats
 - Etude de Sensibilité
 - Résumé et conclusions

Impacts des émissions de composés azotés dans l'environnement



Réchauffement de l'atmosphère



Acidification



Dégradation de la qualité de l'air



Baisse de la biodiversité



Trou dans la couche d'ozone



Dégradation de la qualité des eaux de surface et de mer

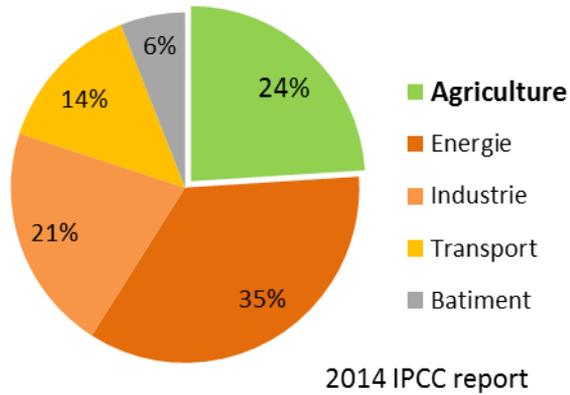


Pollution de l'eau potable

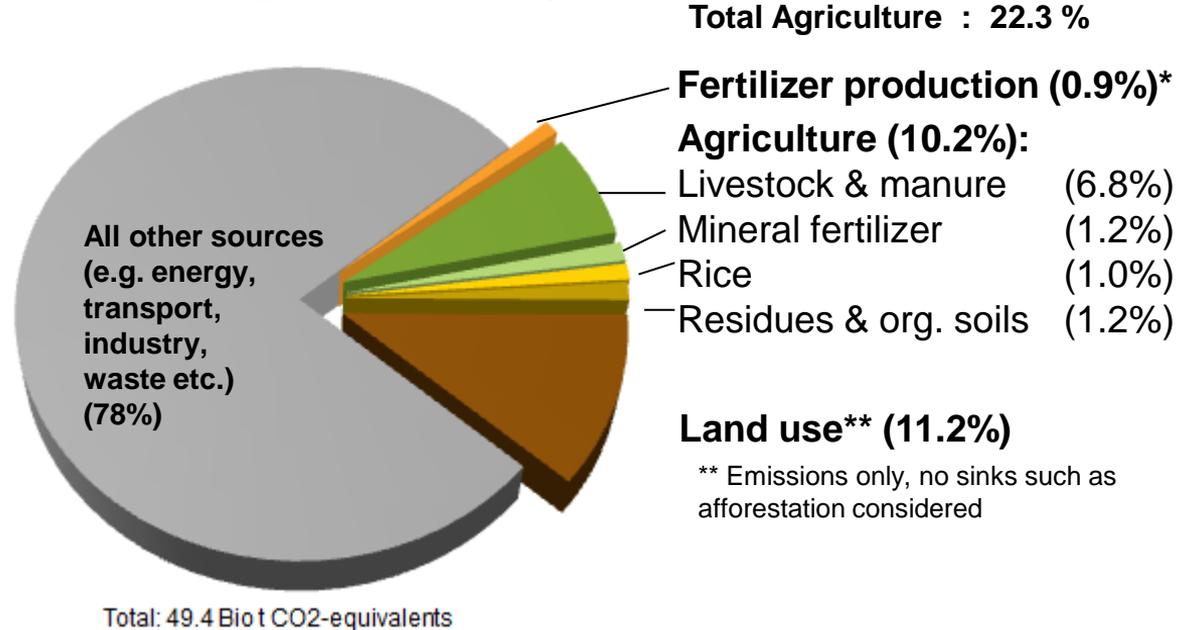


Emissions de GES par secteur : Monde

- Agriculture & Utilisation des sols 22-24% des émissions mondiales # 10%
- Utilisation des sols # 11% contribuent au changement climatique



→ 49.4 Bio t CO₂-eq



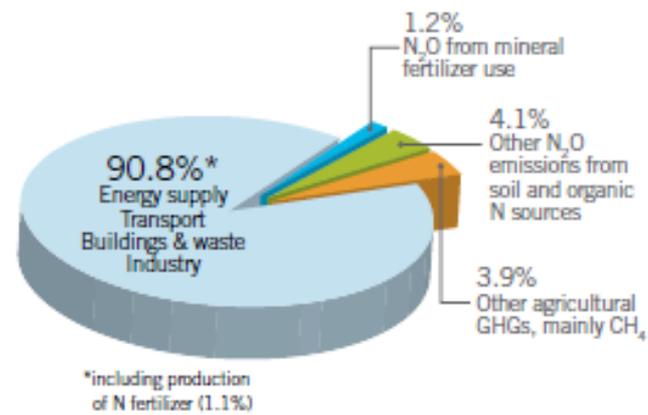
Source: FAOSTAT Date: Sep 28 2016 (<http://faostat3.fao.org>)

* Based on IFA (2009)

Emissions de GES par secteur : Europe

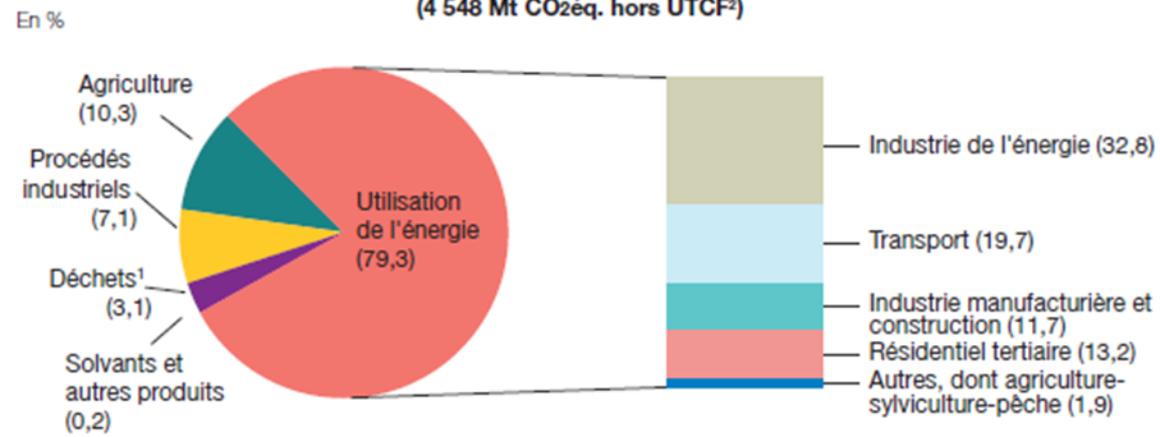
- Europe # 10% des émissions mondiales
- Agriculture # 10% des émissions européennes & utilisation des sols : stockage de C en Europe (UTCF : - 321 mt eq CO2 = stockage C)

CONTRIBUTION OF THE DIFFERENT SECTORS TO EU-27 GHG EMISSIONS IN 2005



Sources: EC, 2008a; UNFCCC, 2008; authors' calculations based on Fertilizers Europe statistics and fertilizer specific emission rates (see Annex).

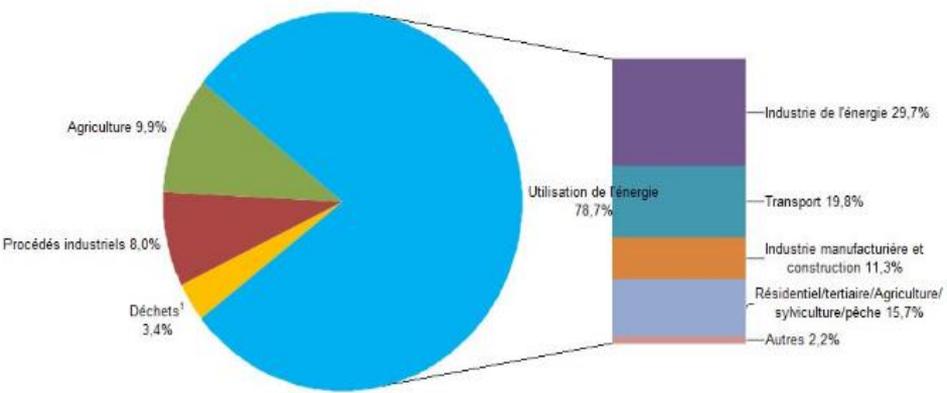
Répartition par source des émissions de GES dans l'UE en 2012 (4 548 Mt CO₂eq. hors UTCF²)



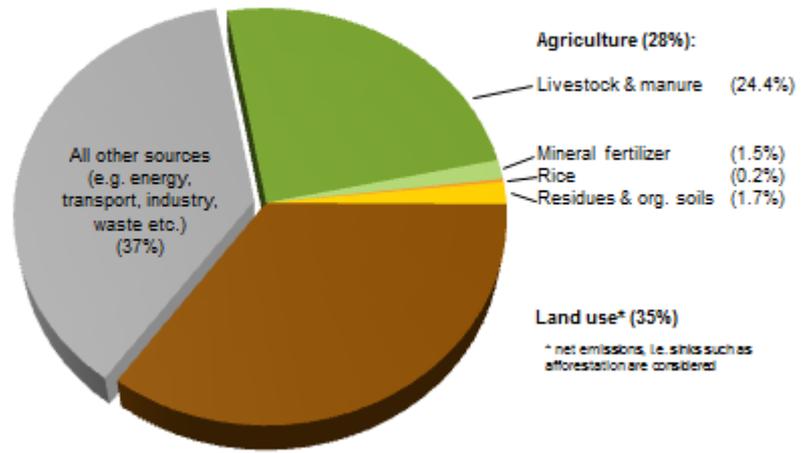
Source : Agence européenne pour l'environnement, juin 2014

→ 4.48 bt eq CO2

Emissions de GES : comparaison des profils Europe / Brésil



The agricultural sector is most important for GHG emission in Brazil. Livestock & land use change dominate Brazil's GHG budget
 GHG emissions in 2010 by sector (FAOSTAT data)



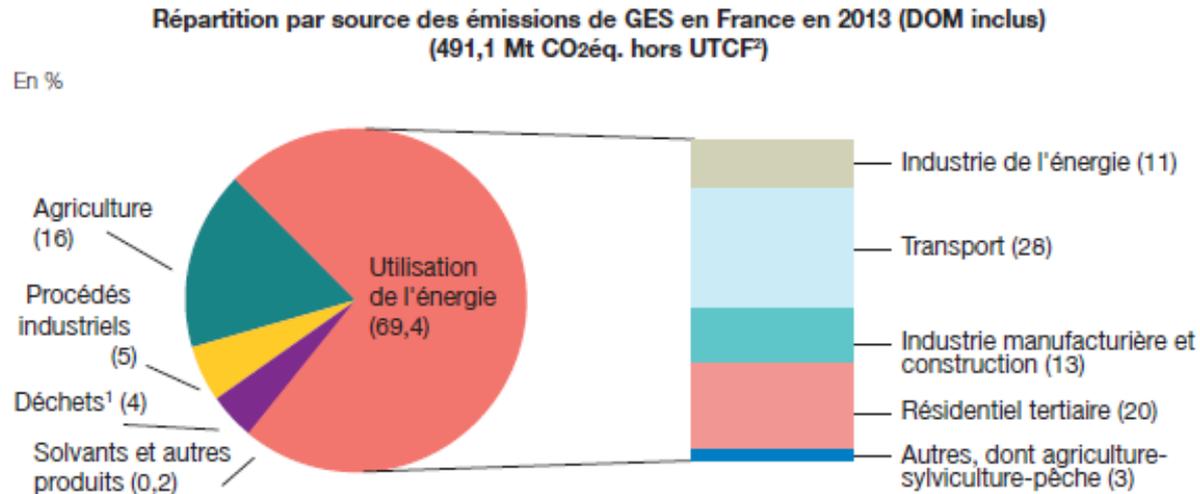
Total: 1.58 Bio t CO2-equivalents

Source: FAOSTAT Date: Thu Nov 03 14:57:15 CET 2016 (<http://faostat3.fao.org>)

Emissions GES , EU-28, 2013
 source : AEE oct 2015

Emissions de GES par secteur : France

- 10% des émissions européennes
- Agriculture # 16-20 % des émissions
- Utilisation des sols : stockage de C en France : – 46,6 Mt



→ 491,1 mt eq CO₂

Source : Citepa, inventaire format Plan Climat (périmètre Koyto), avril 2015.

Emissions de GES par secteur : Agriculture France

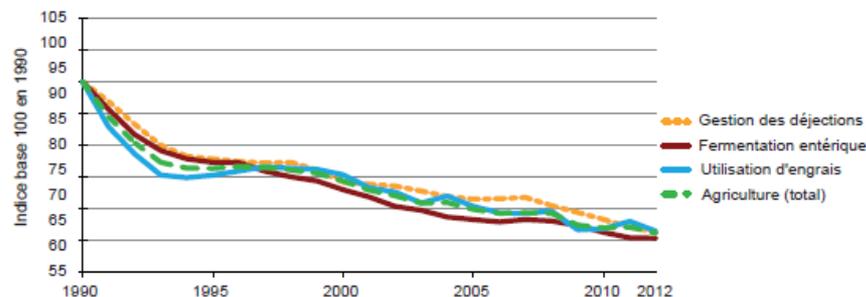
- Evolution relative comparée UE - France

Émissions de GES de l'agriculture dans l'UE

En Mt CO₂éq.

	1990	2000	2005	2010	2012	2012/1990 (%)
Total	618	521	494	476	471	-24
dont : fermentation entérique	195	162	153	147	147	-25
gestion des déjections	103	87	84	80	79	-24
utilisation des engrais	316	269	254	246	241	-24

Au moment de la réalisation de cette publication, les données de l'année 2013 n'étaient pas disponibles.



Note: pour des raisons de lisibilité, la courbe d'évolution des émissions liées à la prairie n'est pas représentée. ces émissions liées à la prairie n'est pas représentée.

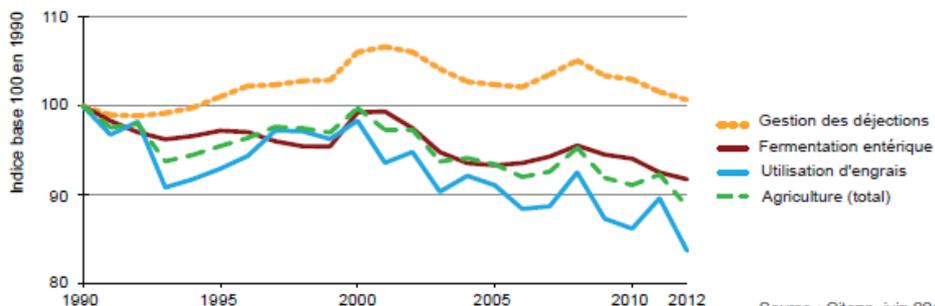
Source : Agence européenne pour l'environnement, juin 2014

Émissions de GES de l'agriculture en France (DOM inclus)

En Mt CO₂éq.

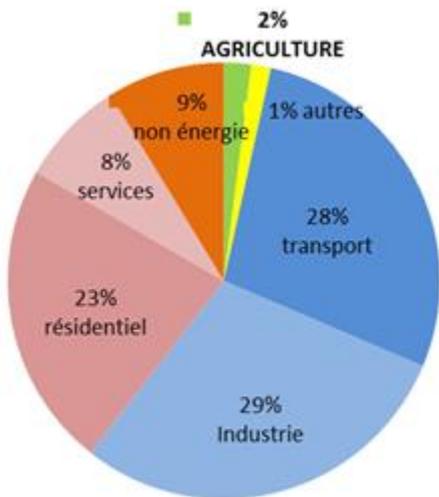
	1990	2000	2005	2010	2012	2012/1990 (%)
Total	86,4	86,9	81,3	80,8	79,5	-8
dont : fermentation entérique	36,6	36,2	33,7	34,0	33,2	-9
gestion des déjections	8,5	8,8	8,3	8,4	8,2	-4
utilisation des engrais	41,1	41,6	39,0	38,1	37,7	-8

Au moment de la réalisation de cette publication, les données de l'année 2013 n'étaient pas disponibles.



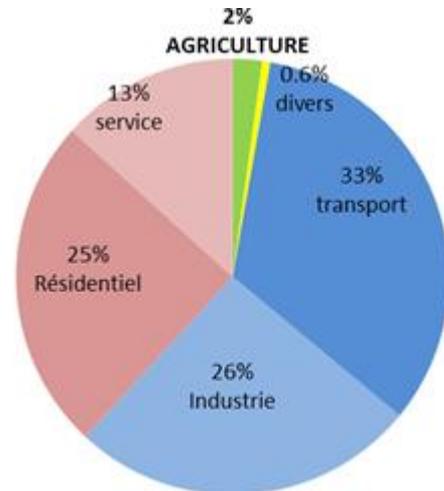
Source : Citepa, juin 2014

Consommation d'Énergie par secteur Monde → Europe → France



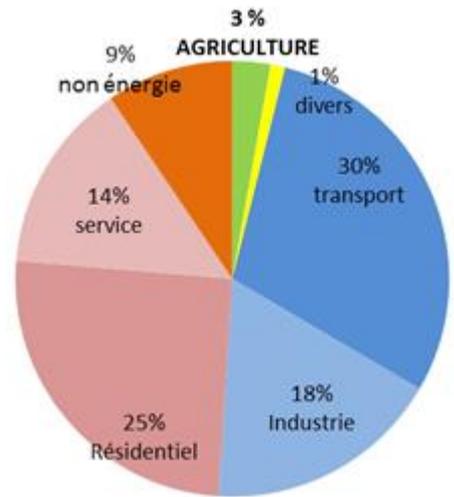
9426 mtep 2014 Source AIE

Monde



1062 mtep 2014 EU28 Source Eurostat

EU28

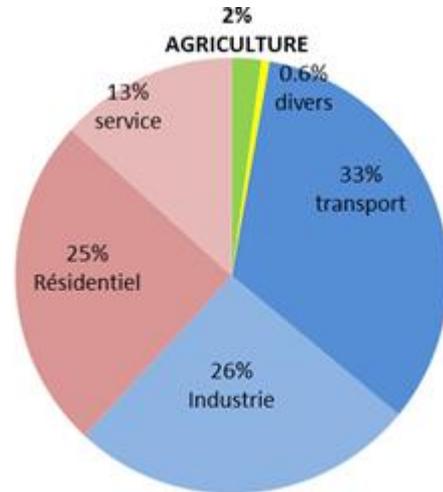


148 mtep 2014 France Source AIE

France

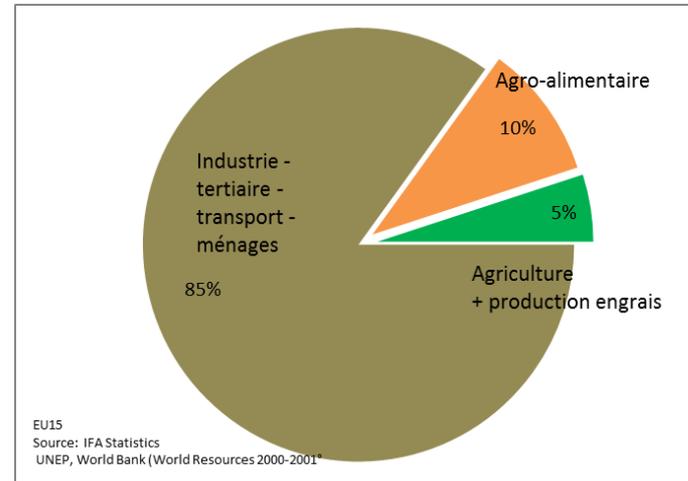
Consommation d'Énergie de l'agriculture

- Agriculture seule : # 2%



1062 mtep 2014 EU28 Source Eurostat

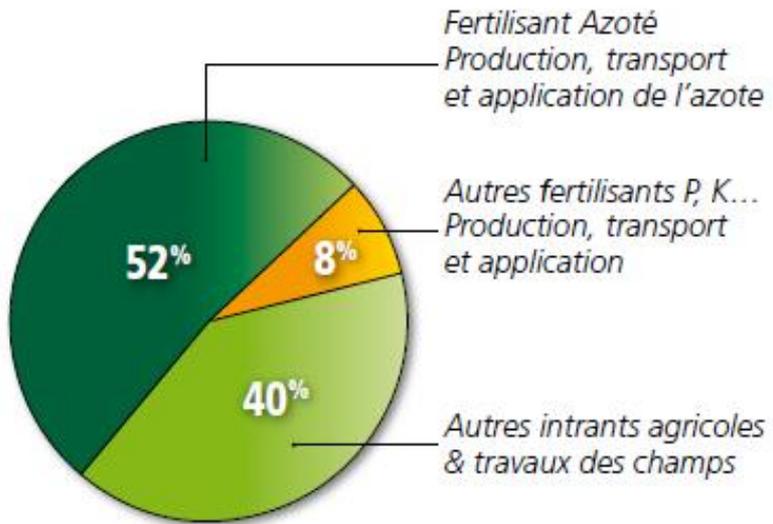
- Secteur agricole élargi # 15%



EU15
Source: IFA Statistics
UNEP, World Bank (World Resources 2000-2001)

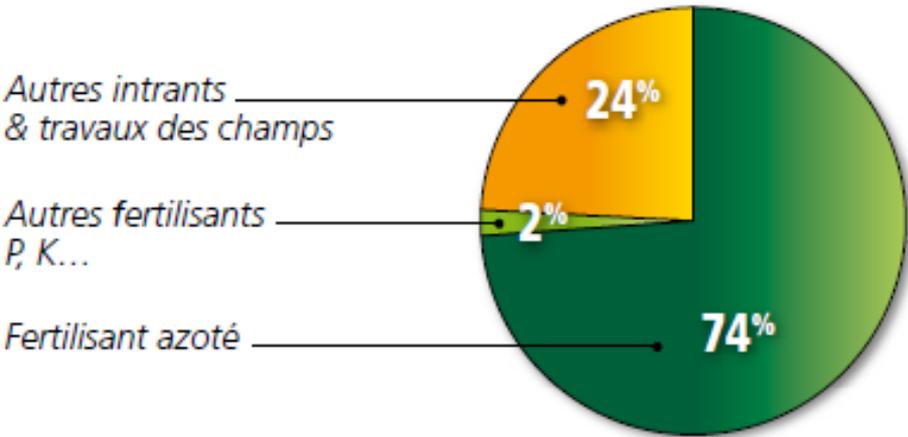
Energie et GES : le poids de la fertilisation azotée dans la production agricole , cas du blé

- Consommation d'énergie



0.35 tep/ha

- Emissions de GES



2500 kg CO2 eq/ha



Source : IFA Statistics UNEP, World Bank 2000-01

Consommation d'énergie dans la chaîne de la fertilisation azotée

- La part principale de l'énergie consommée est utilisée pour la production
- Le transport et l'épandage représentent une très faible part



Production* = 0.95 tep/t de N
91 %



Transport** = 0.02 tep/t de N
2 %



Epandage = 0.07 tep/t de N
7 %

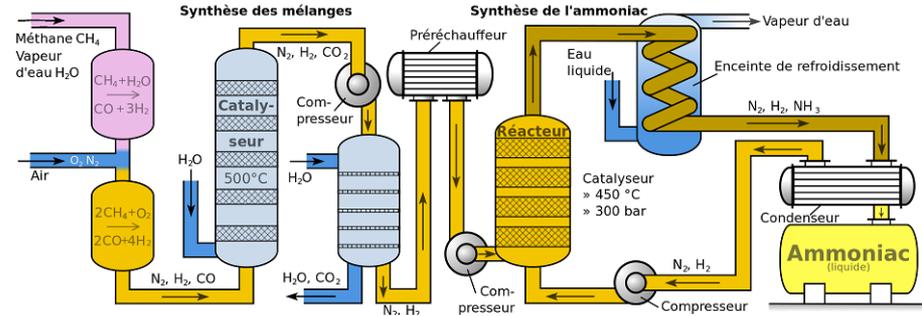
1 tonne d'azote (N) ↔ 1 tonne équiv.pétrole (tep)

* Inclut l'énergie dépensée pour l'extraction et le transport de gaz naturel jusqu'à l'usine d'engrais azotés.
** Transport d'engrais azotés depuis l'usine sur une distance moyenne de 400km par bateau et par camion.

Synthèse des engrais azotés : énergie et GES

• 1° étape : la synthèse de l'ammoniac :

- Aujourd'hui : 2 matières premières : le gaz naturel et l'azote de l'air
- Hier : le charbon, le fuel lourd, la gaz de coke
- $N_2(g) + 3 H_2(g) \rightleftharpoons 2 NH_3(g)$
 - Haute pression , haute température, catalyseurs



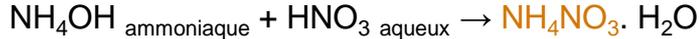
• 2 filières distinctes :

Filière nitrique : Synthèse de l'ammonitrate

- Synthèse de l'acide nitrique : oxydation de l'ammoniac



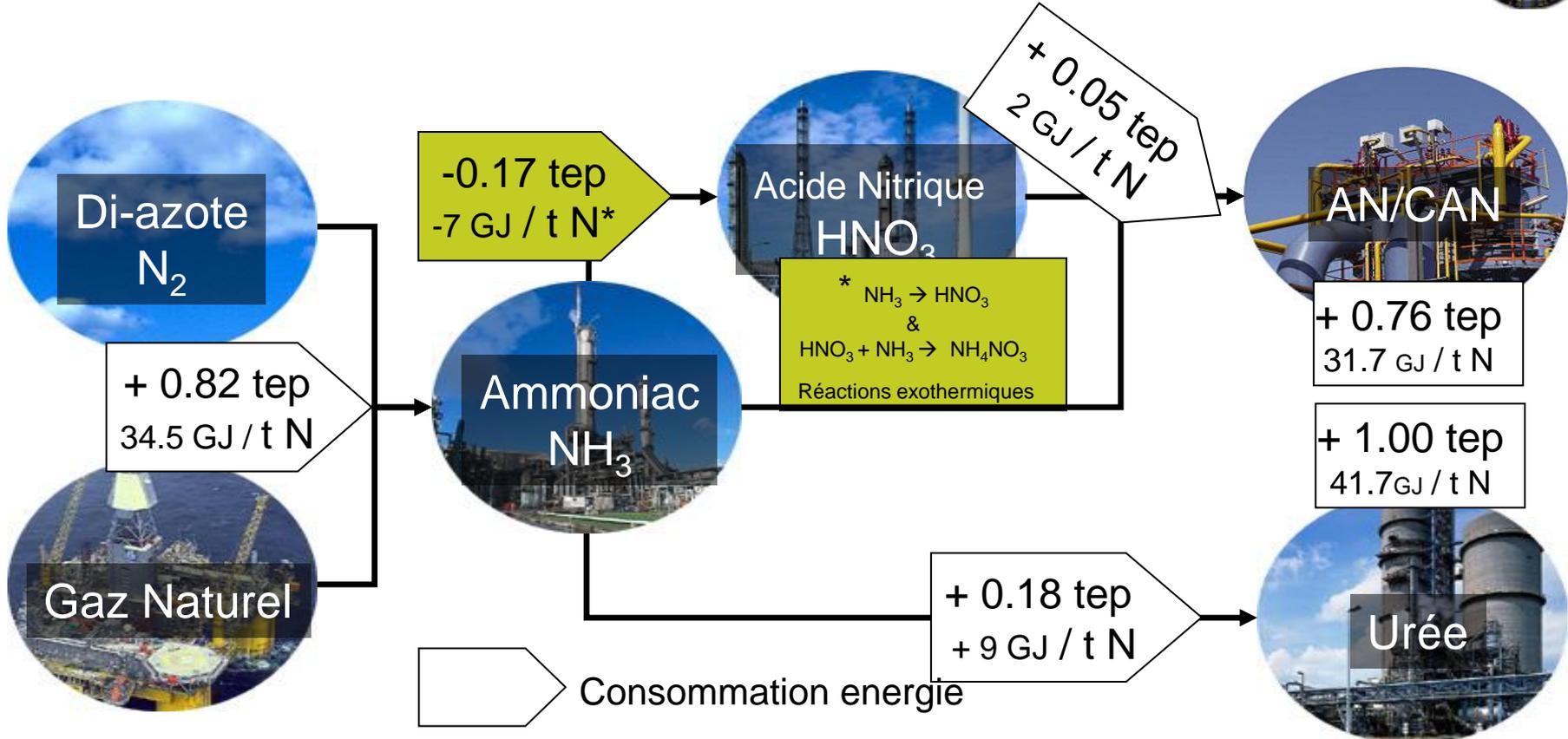
- puis synthèse du nitrate d'ammonium



- *Filière uréique* : synthèse de l'urée



Consommation d'énergie à la fabrication des engrais azotés



Technologie nouvelle
1 tep = 1 t equiv. Pétrole = 41.9 gJoules



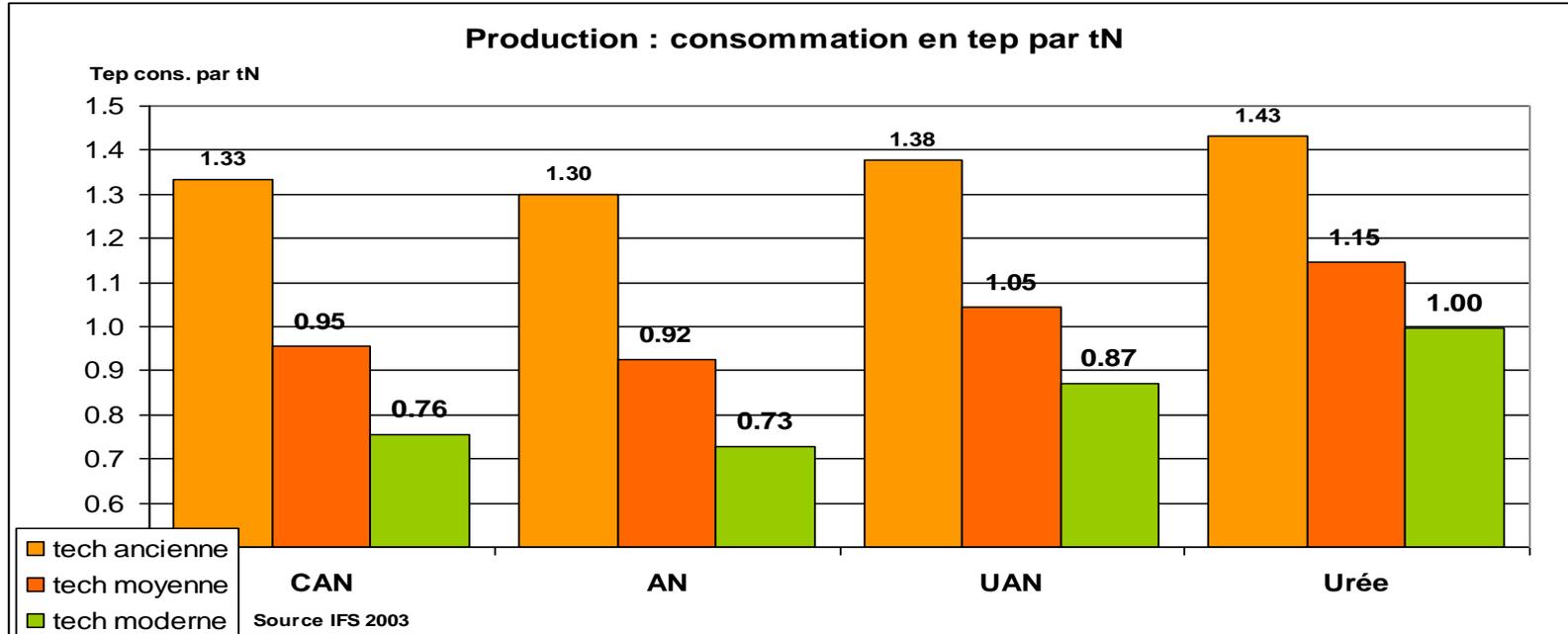
Production energie



Consommation energie

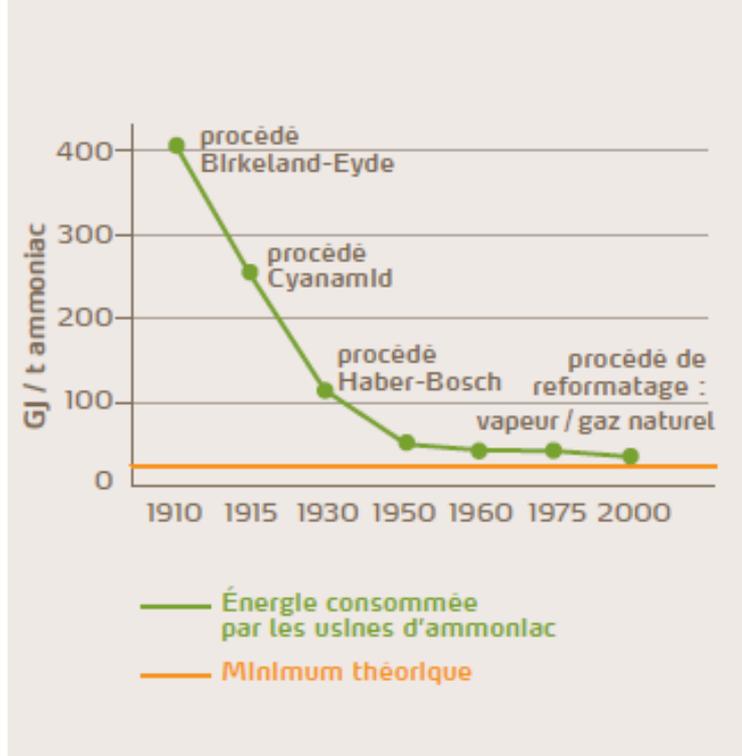
Consommation d'énergie à la fabrication des engrais azotés

- Forte diminution de la consommation d'énergie en 30 ans sur toutes les formes N



1 tep = 1 t equiv. Pétrole = 41.9 gJoules

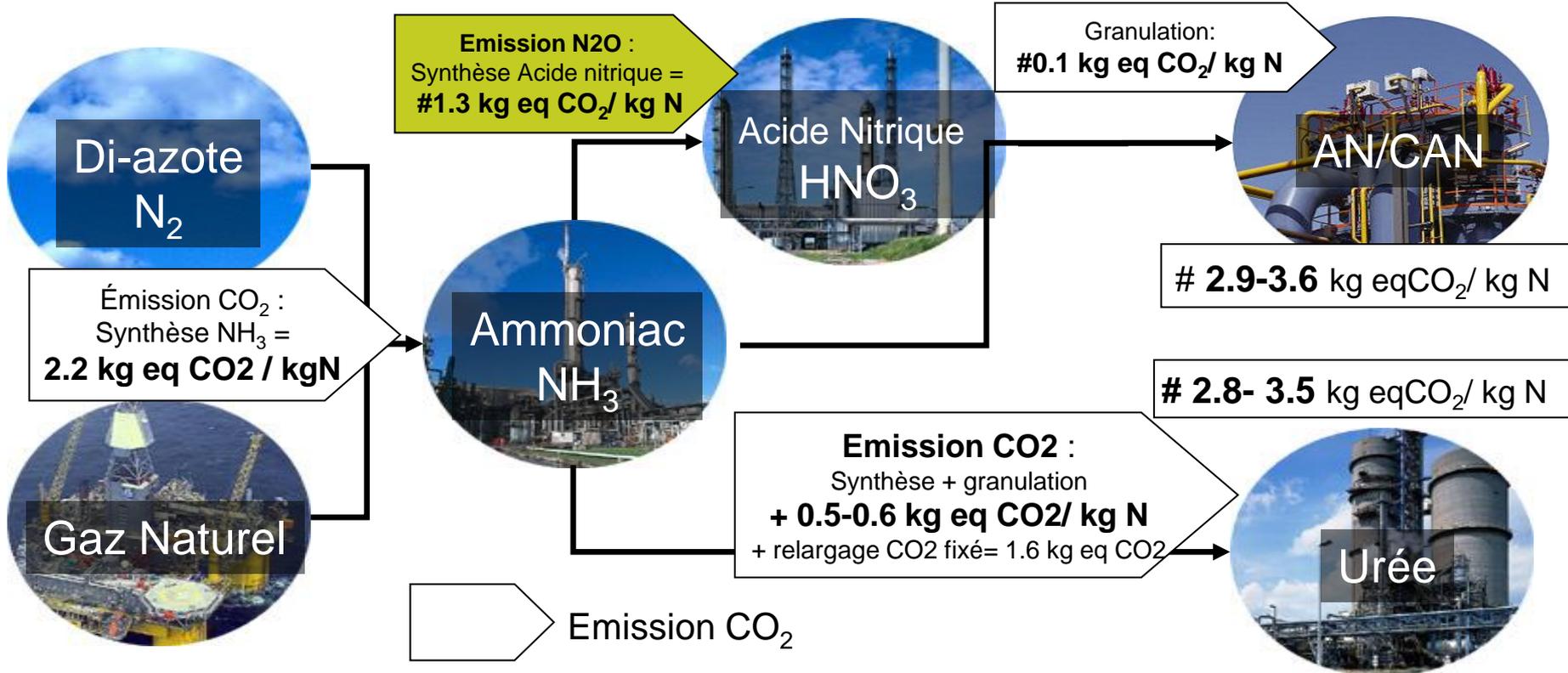
Consommation d'énergie à la fabrication des engrais azotés



- moyenne énergie consommée en Europe : (ref 2010)
35.2 GJ /tonne d'ammoniac
- MTD UE consommation d'énergie :
31.8 GJ /tonne d'ammoniac
- Limite thermodynamique = **27 GJ/t**

Aujourd'hui, très proche du minimum théorique, la consommation d'énergie par les usines d'azote européennes a nettement diminué. Les voies d'améliorations sont faibles.

Emission de GES à la production des engrais azotés

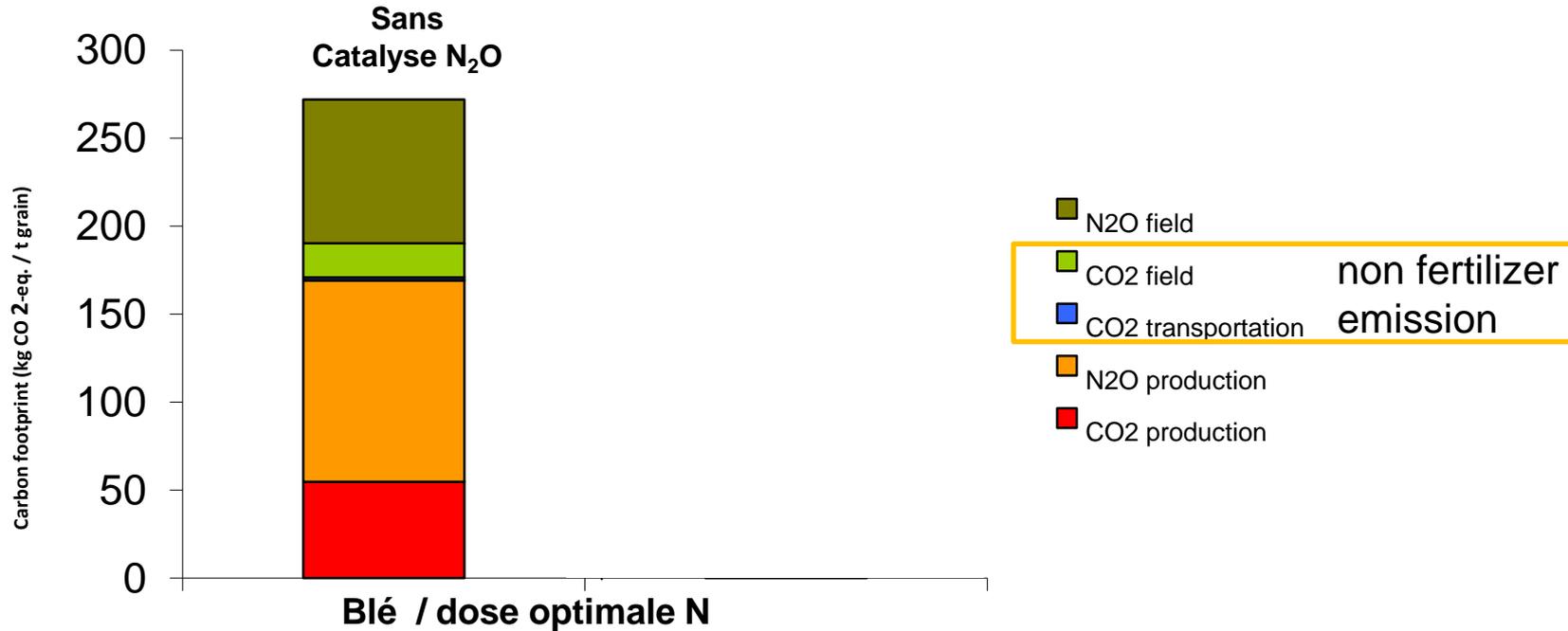


White arrow: Emission CO_2

Green arrow: Emission N_2O

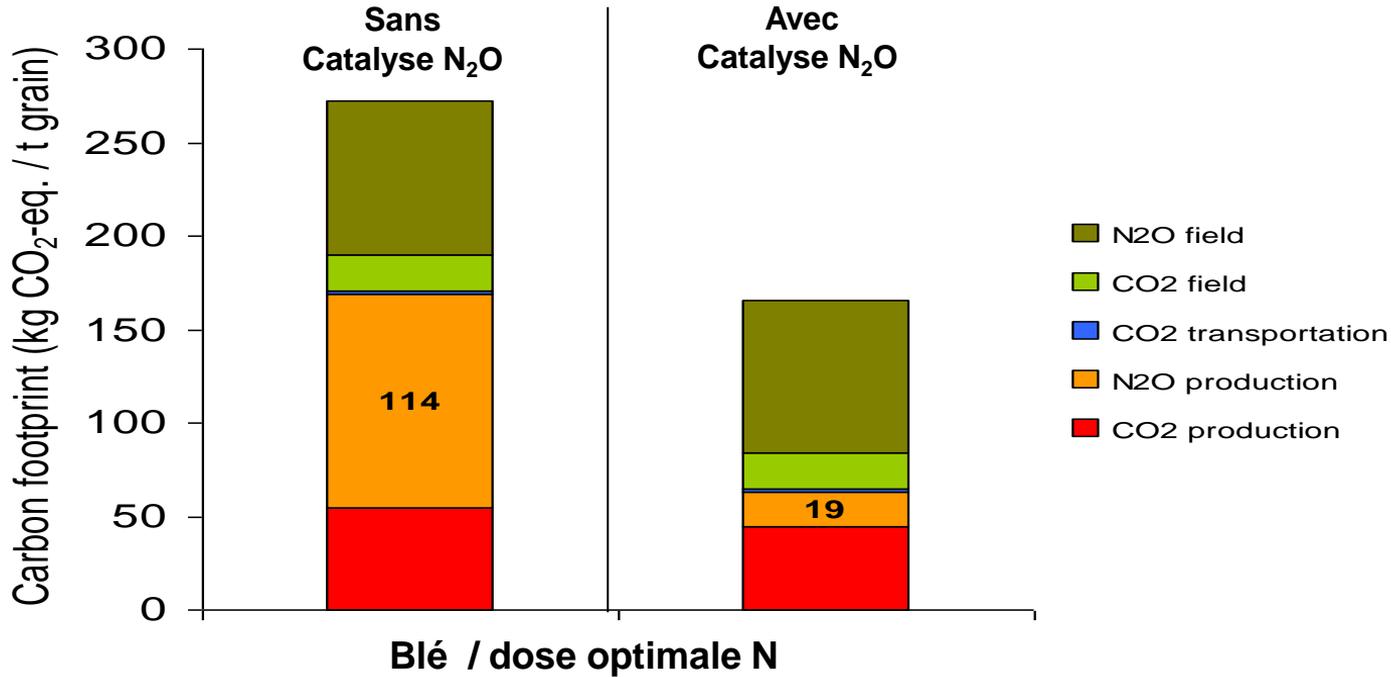
Empreinte carbone d'1 tonne de blé : production et utilisation de l'azote dominant largement

- Les émissions à la production sont très supérieures aux émissions au champ → # 60% du total



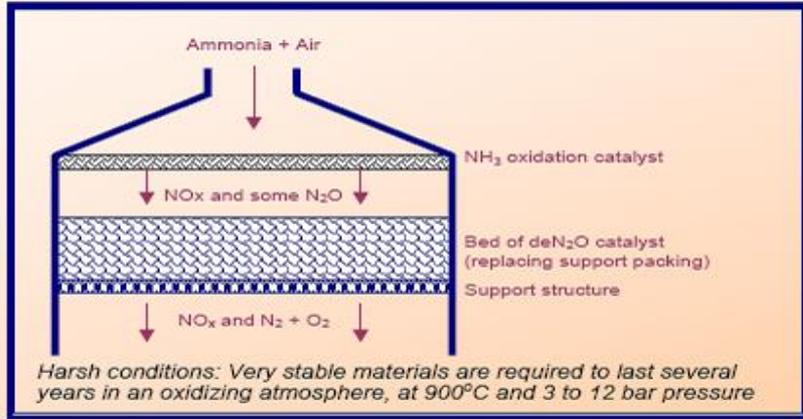
Empreinte carbone d'1 t de blé : production et utilisation de l'azote dominant largement

- Les progrès apportés par les catalyseurs N₂O dans les ateliers nitriques
- Les émissions à la production représentent moins de 40% du total



Based on a long-term field trial with winter wheat (Rothamsted, UK), N source = Ammoniumnitrate

Abatement des émissions de N₂O par catalyse dans les ateliers nitriques



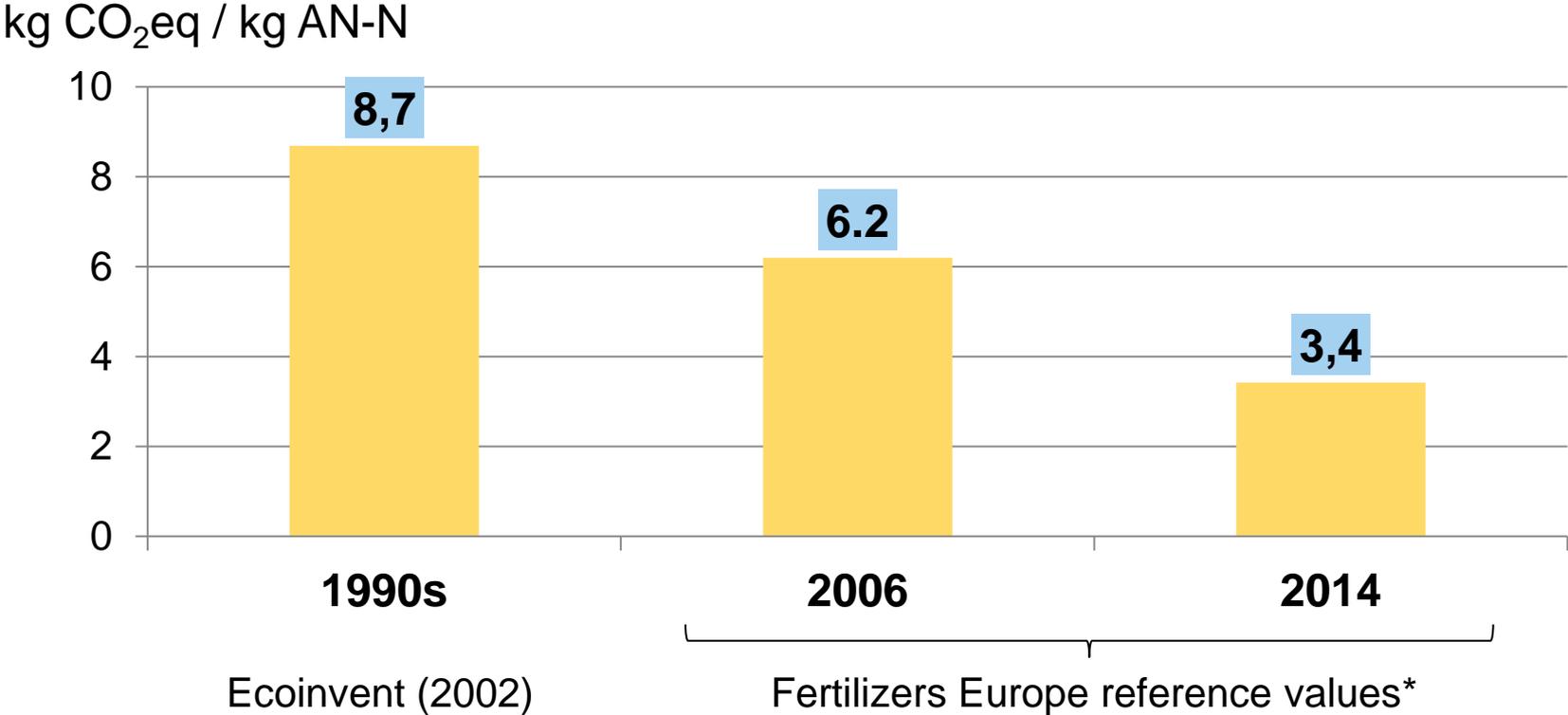
...and the solution

Yara Technology Centre Porsgrunn is developing a catalyst for decomposing N₂O into N₂ and O₂. The catalyst is to be installed in the ammonia oxidation chamber directly underneath the oxidation gauzes where the N₂O is formed. It replaces the packing that supports the gauzes, and can be installed without modifying the chamber.

70 à 90% d'élimination des émissions de N₂O
Début vers 2007



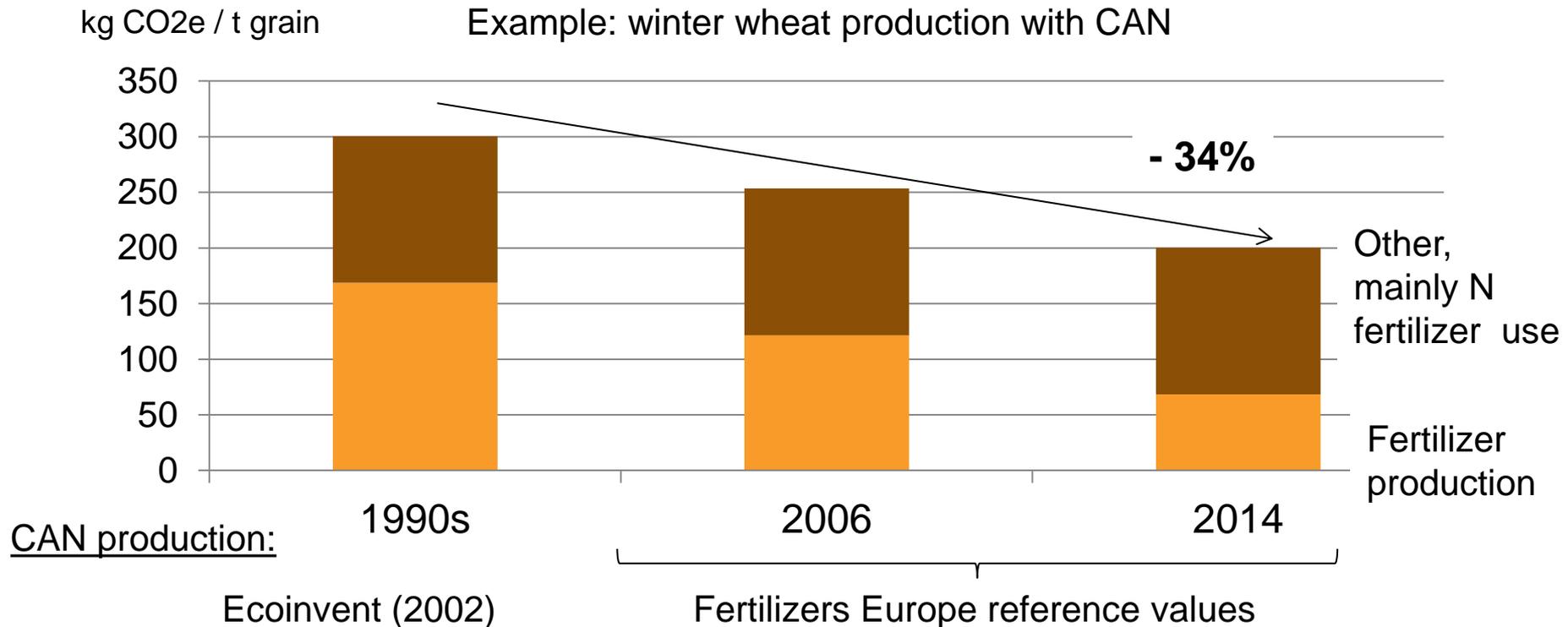
Reduction des émissions de GES dans la production européenne (exemple de l'ammonitrate, AN)



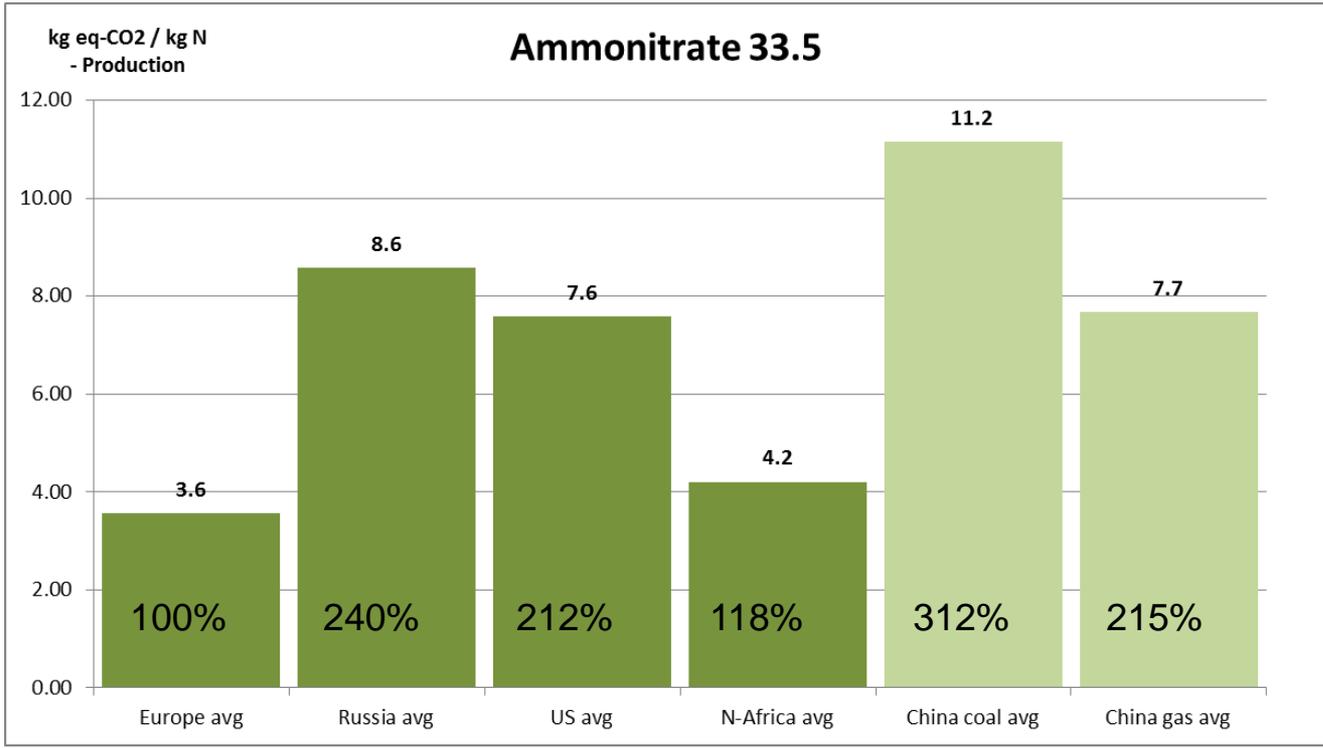
* 2006 value from Brentrup & Palliere (2008); 2014 value derived from Fertilizers Europe Carbon Footprint Calculator v2.1 (2016)



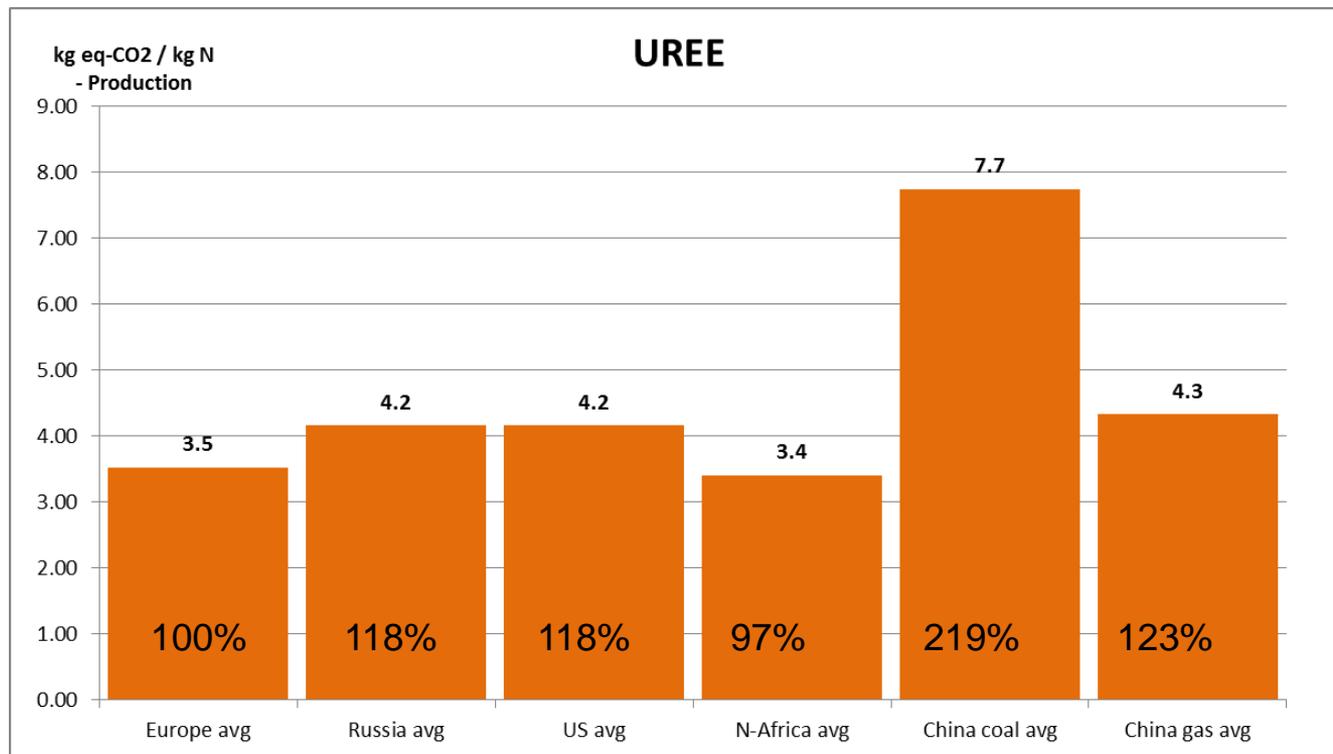
Conséquence sur l'empreinte carbone du blé :



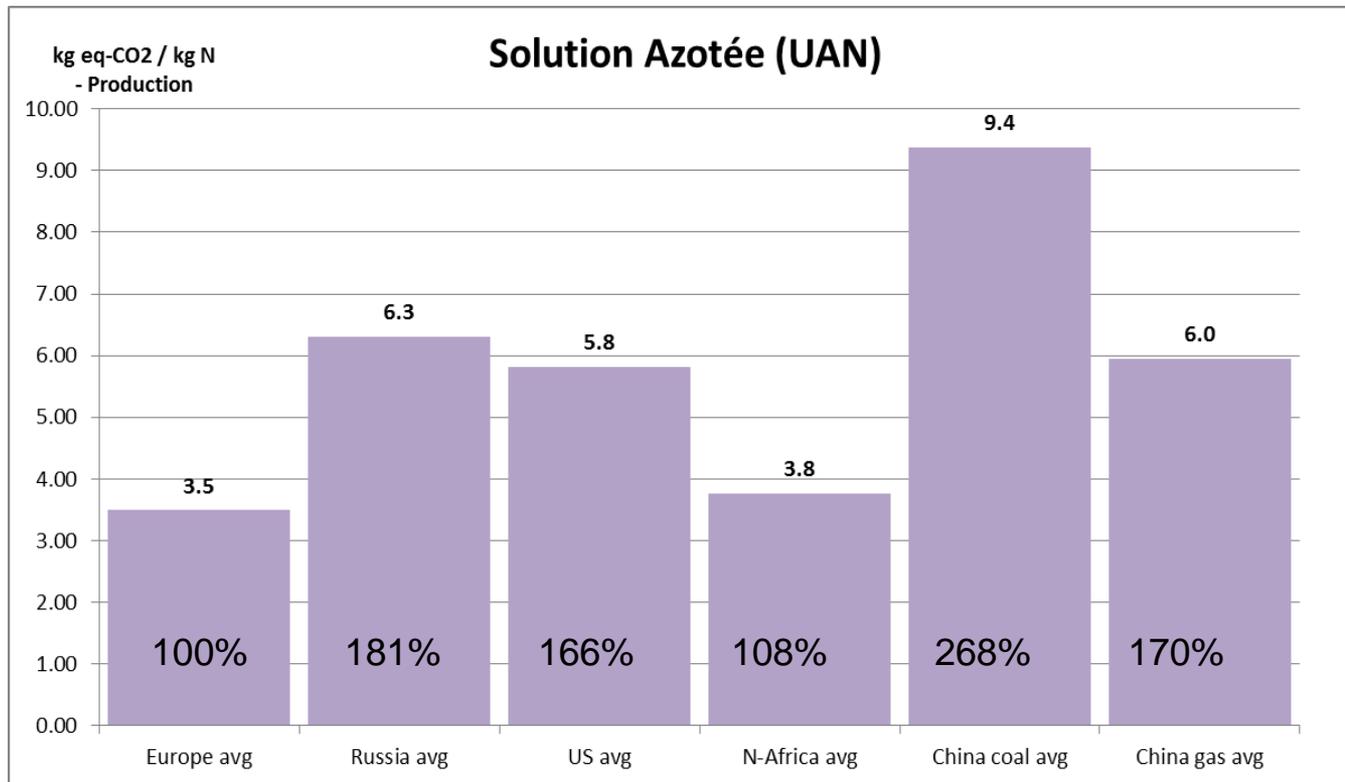
L'industrie européenne bénéficie des plus basses émissions de GES à la production (Ammonium Nitrate, AN, 2014)



L'industrie européenne bénéficie des plus basses émissions de GES à la production (Urée, 2014)

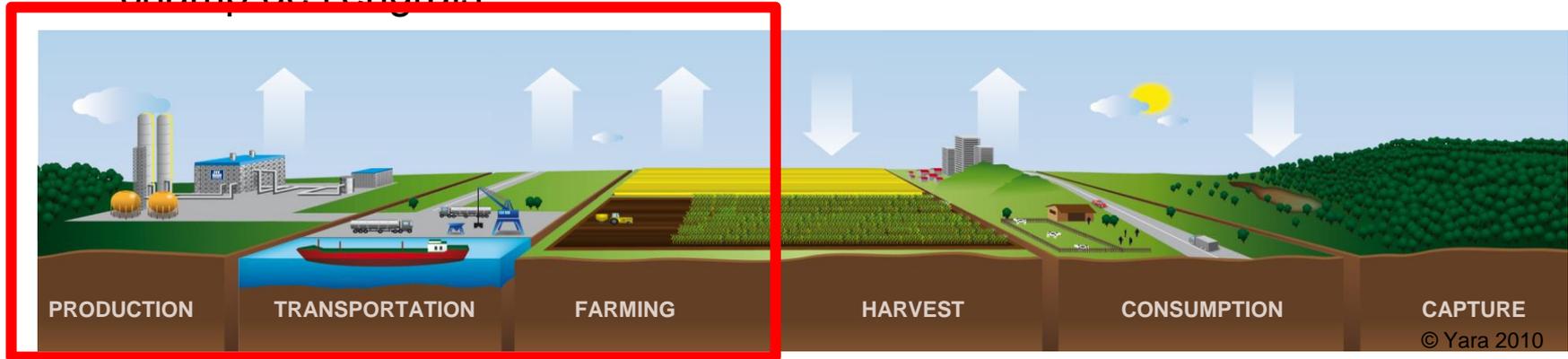


L'industrie européenne bénéficie des plus basses émissions de GES à la production (Urée, 2014)

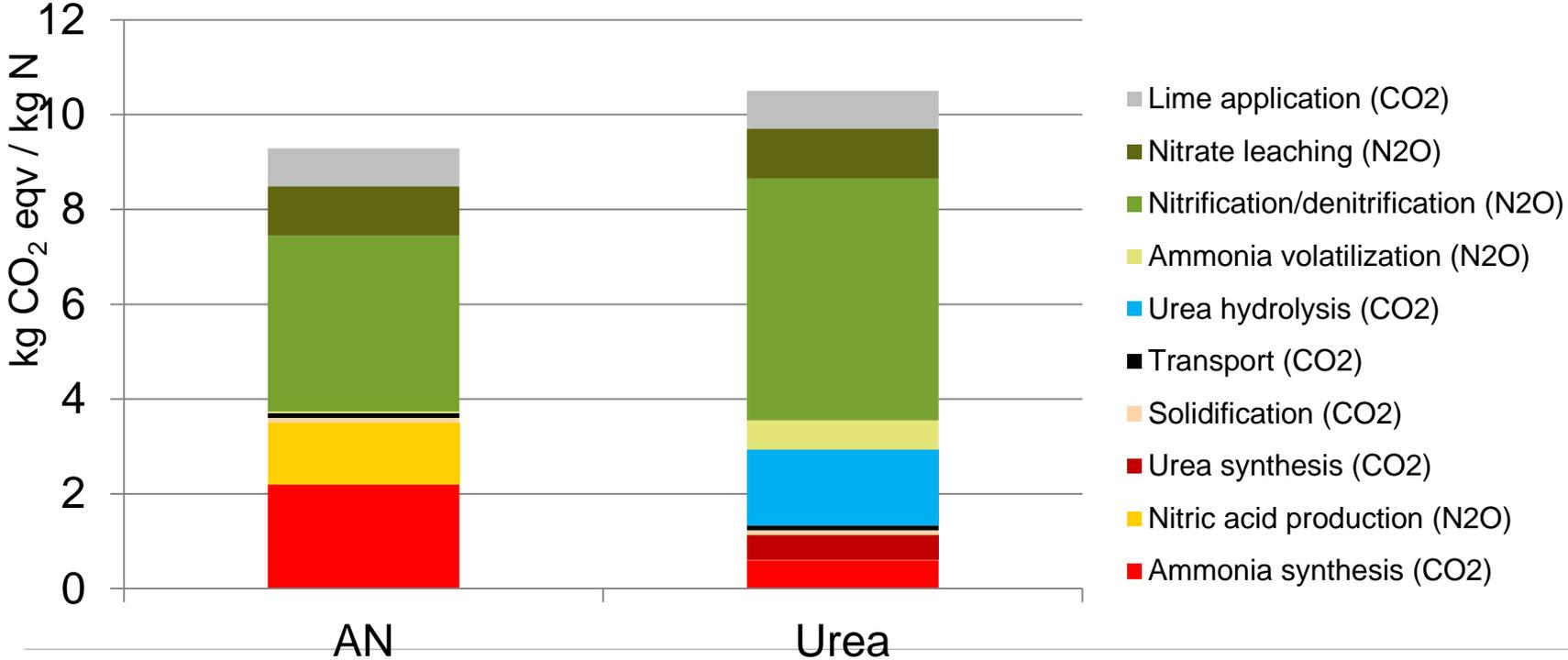


Approche (ACV) pour établir l'empreinte carbone

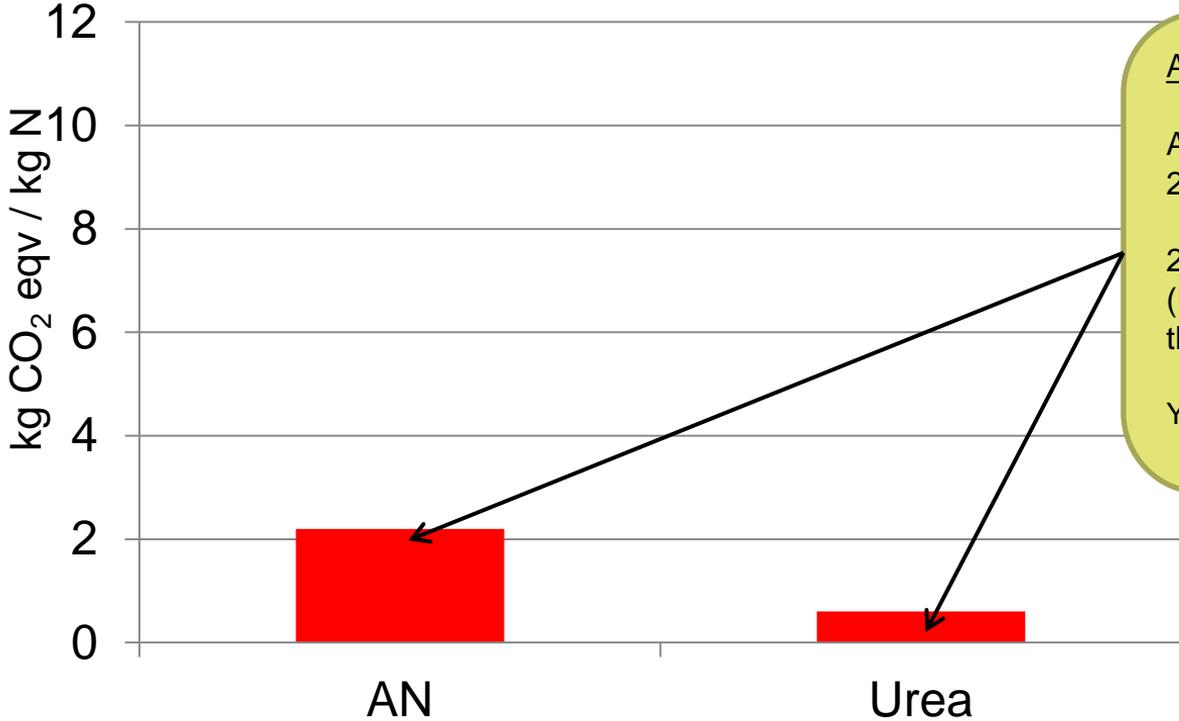
- l'ACV de l'engrais détermine les émissions de GES (et absorption) tout au long des différentes étapes de la vie de l'engrais.
- Ca permet une meilleure compréhension et identification des améliorations pour en réduire l'impact .
- L'empreinte présentée ici inclut la production, le transport et l'utilisation au champ de l'engrais



Empreinte carbone comparée Ammonitrate (AN) & Urée



Empreinte carbone comparée Ammonitrate (AN) & Urée



Ammonia production:

According to EU BAT value (IPPC, 2007)*

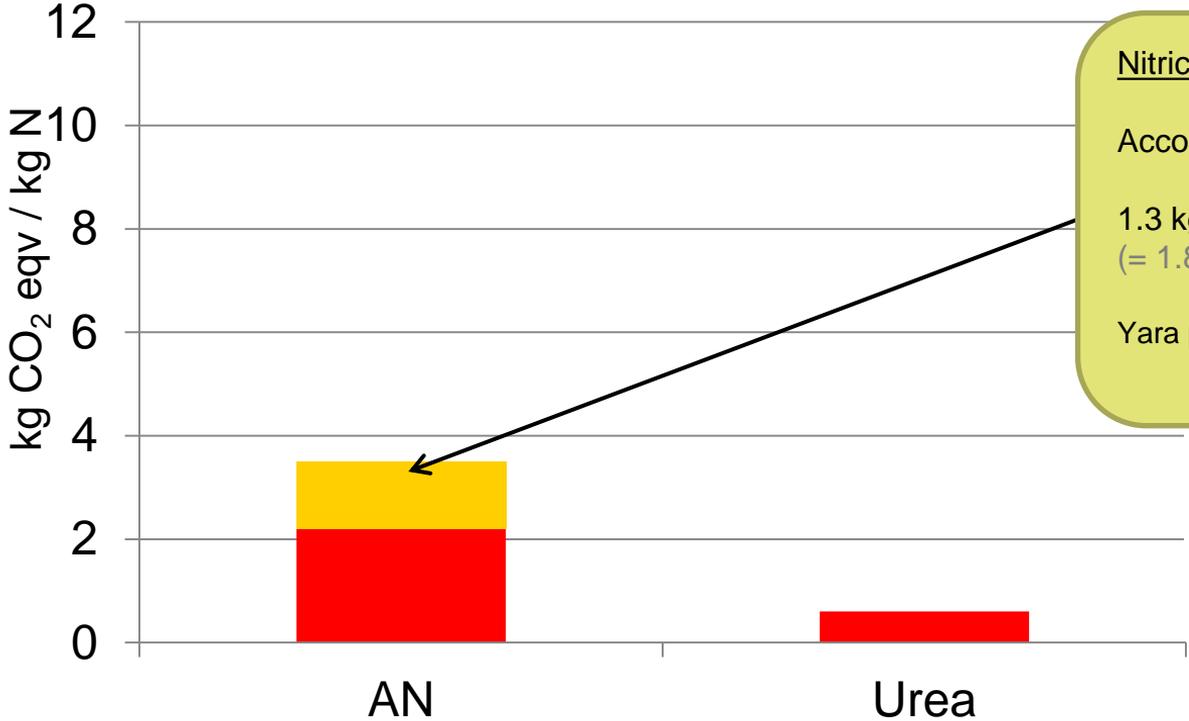
2.2 kg CO₂eq/kg NH₃-N
(Urea consumes 1.6 kg CO₂/kg N of that internally)

Yara plants: 1.8 – 3.5 kg CO₂eq/kg NH₃-N

* IPCC Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Ammonia, Acids and Fertilizers, EU Commission, August 2007



Empreinte carbone comparée Ammonitrate (AN) & Urée

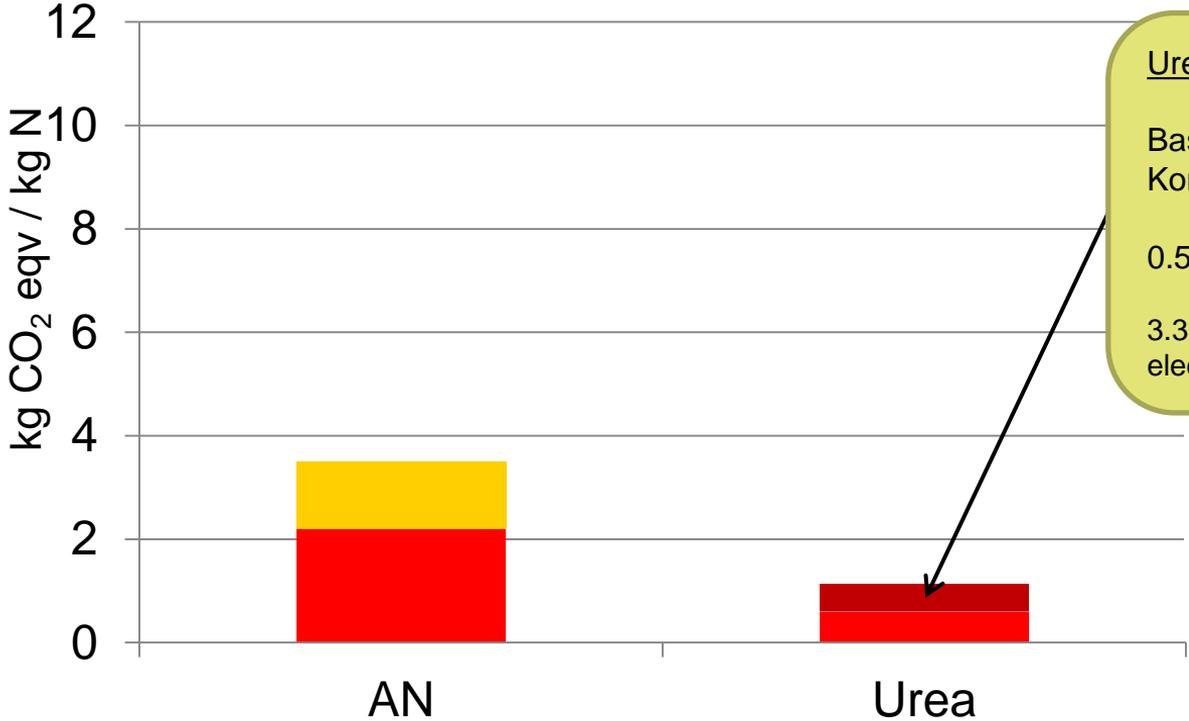


Nitric acid production:
According to EU BAT value (IPPC, 2007)*
1.3 kg CO₂eq/kg AN-N
(= 1.85 kg N₂O/t HNO₃)
Yara plants: 0.4-0.9 kg CO₂eq/kg AN-N

* IPCC Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Ammonia, Acids and Fertilizers, EU Commission, August 2007



Empreinte carbone comparée Ammonitrate (AN) & Urée

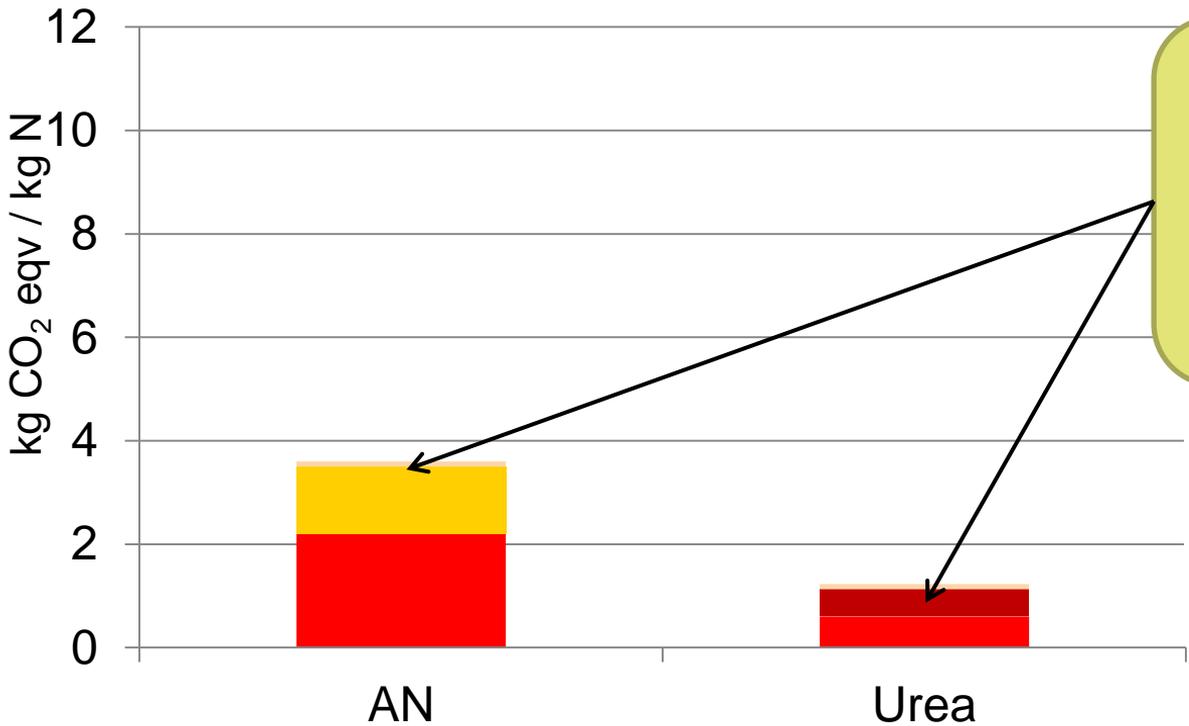


Urea synthesis:
Based on BAT definition of Jenssen & Kongshaug (2003)*
0.5 kg CO₂eq/kg Urea-N
3.3 MJ/kg urea, 87% as steam and 13% as electricity

* IFS Proceedings No. 509 (2003): Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production. By T.K. Jenssen and G. Kongshaug. York/UK.



Empreinte carbone comparée Ammonitrate (AN) & Urée

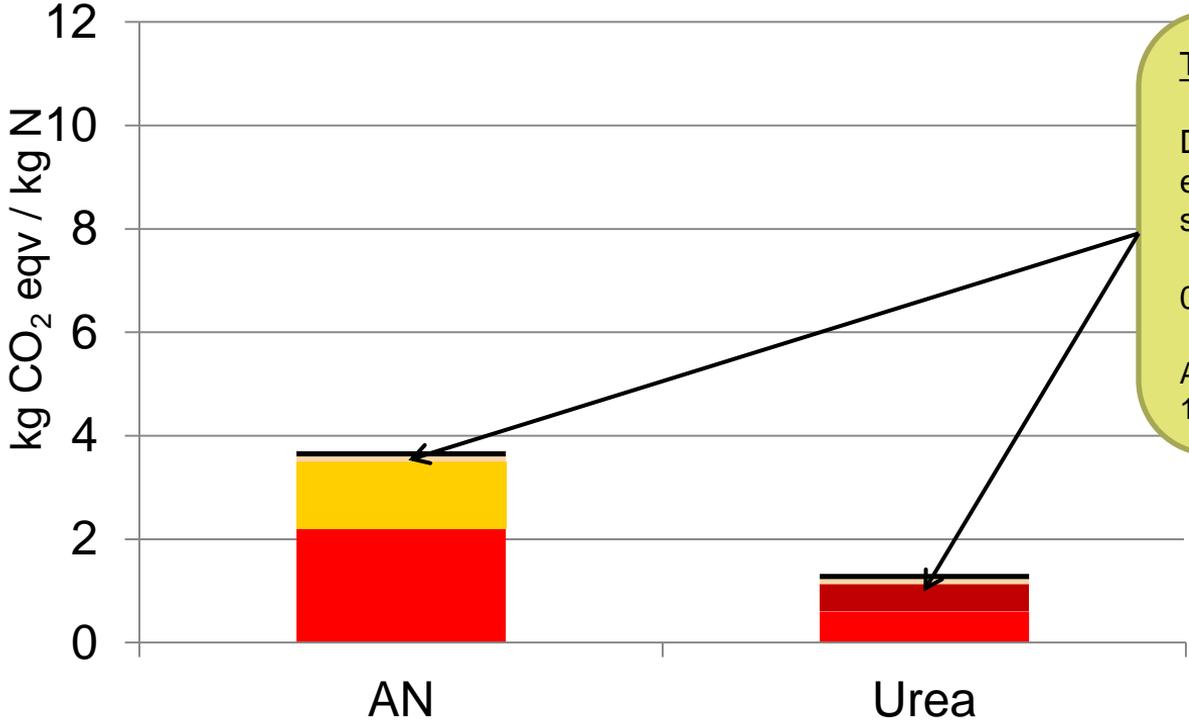


Solidification:
According to Jenssen & Kongshaug (2003)*
0.1 kg CO₂eq/kg N
Granulation/prilling

* IFS Proceedings No. 509 (2003): Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production. By T.K. Jenssen and G. Kongshaug. York/UK.



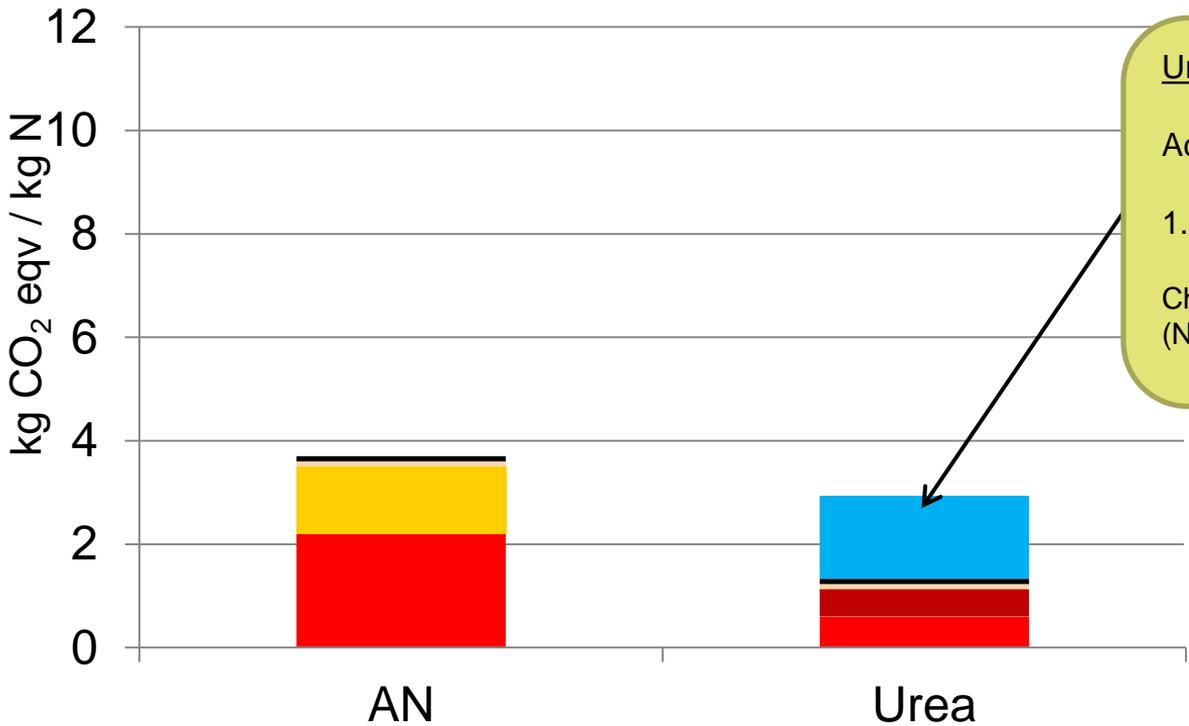
Empreinte carbone comparée Ammonitrate (AN) & Urée



Transportation:
Default data for energy and GHG emissions according to GaBi LCA software
0.1 kg CO₂eq/kg N
Assumptions:
1000 km ocean ship, 500 km rail



Empreinte carbone comparée Ammonitrate (AN) & Urée

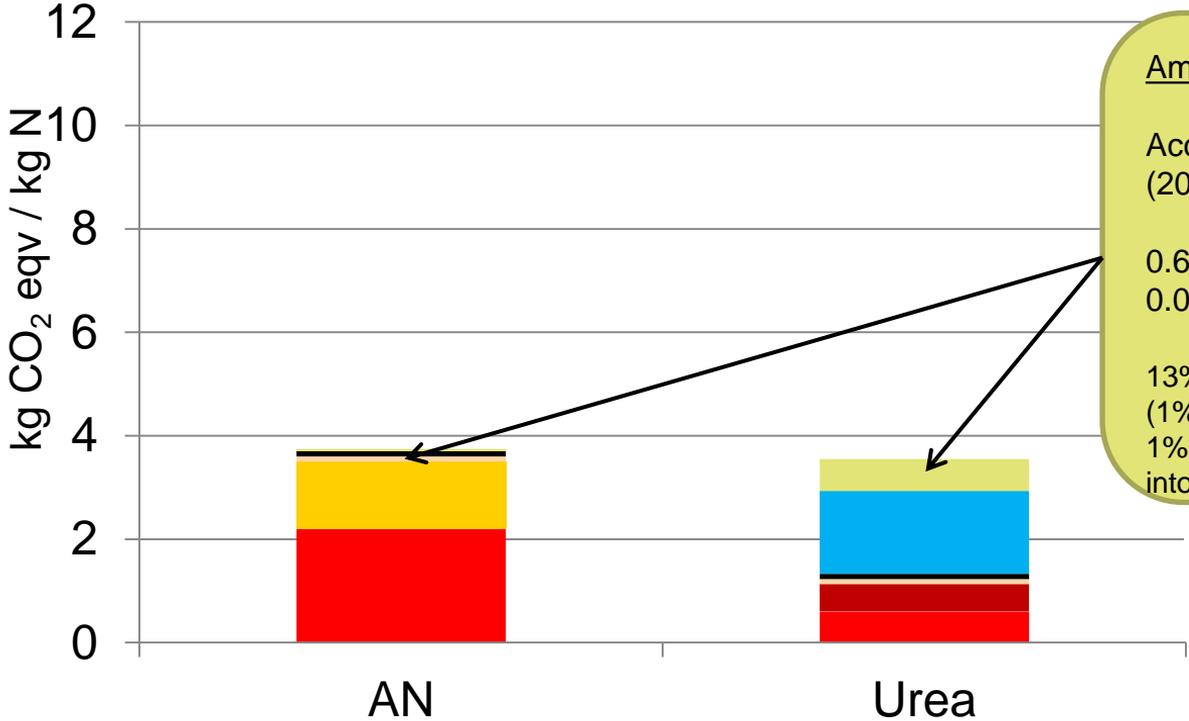


Urea hydrolysis:
According to IPCC Guidelines (2006)*
1.6 kg CO₂eq/kg Urea-N
Chemical reaction:
 $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$

* 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories



Empreinte carbone comparée Ammonitrate (AN) & Urée



Ammonia (NH₃) volatilization:

According to EMEP (2009)* and IPCC (2006)**

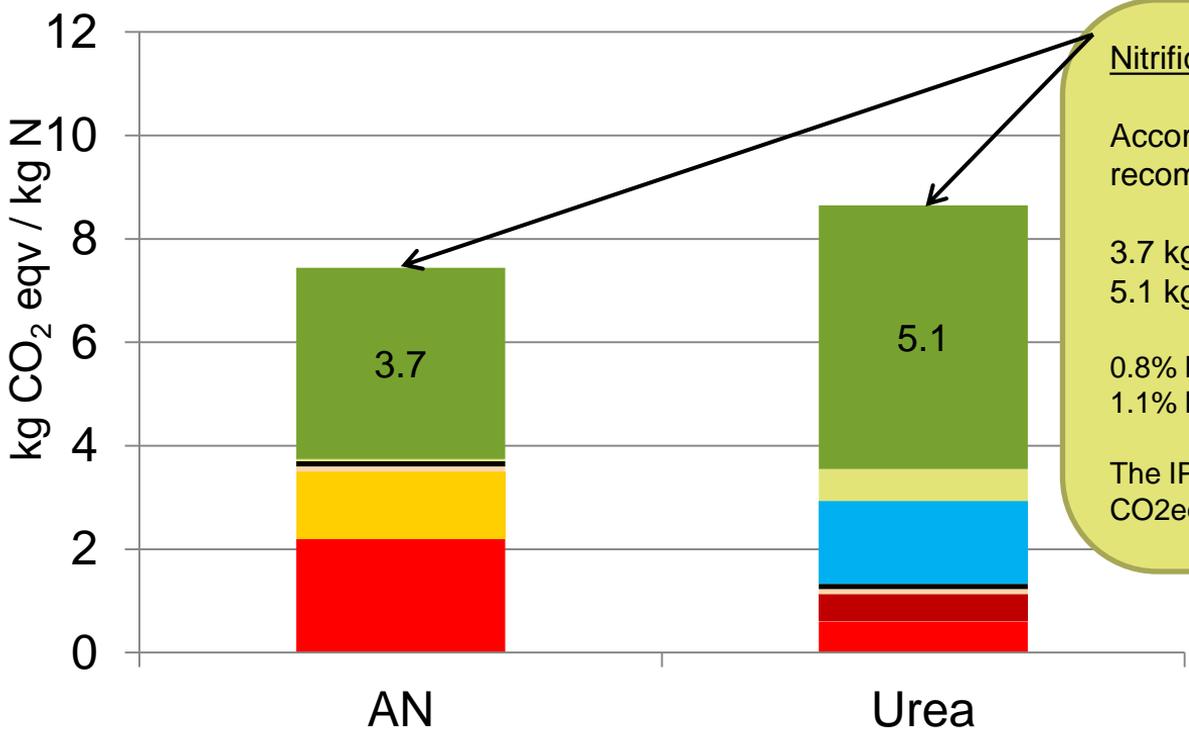
0.62 kg CO₂eq/kg Urea-N
 0.04 kg CO₂eq/kg AN-N

13% NH₃-N loss per unit Urea-N applied at 15°C (1% for AN)*
 1% of the NH₃-N lost is subsequently converted into N₂O**

* EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2009
 ** 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories



Empreinte carbone comparée Ammonitrate (AN) & Urée



Nitrification and denitrification:

According to Bouwman et al. (2002)* as recommended by IPCC (2006)**

3.7 kg CO₂eq/kg AN-N
5.1 kg CO₂eq/kg Urea-N

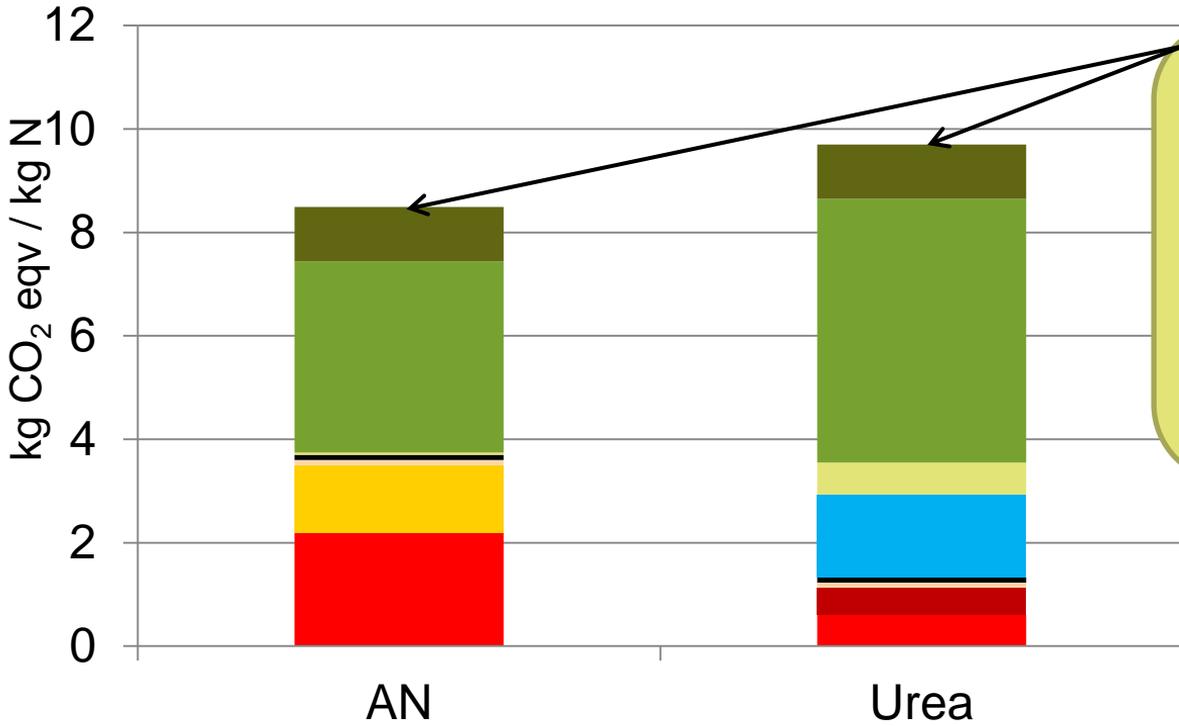
0.8% N₂O-N per unit AN-N applied
1.1% N₂O-N per unit Urea-N applied

The IPCC standard factor of 1% would give 4.7 kg CO₂eq/kg N for both

* Bouwman et al. (2002): Modeling global annual N₂O and NO emissions from fertilized fields. Global Biogeochemical Cycles 16(4)
** 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories



Empreinte carbone comparée Ammonitrate (AN) & Urée

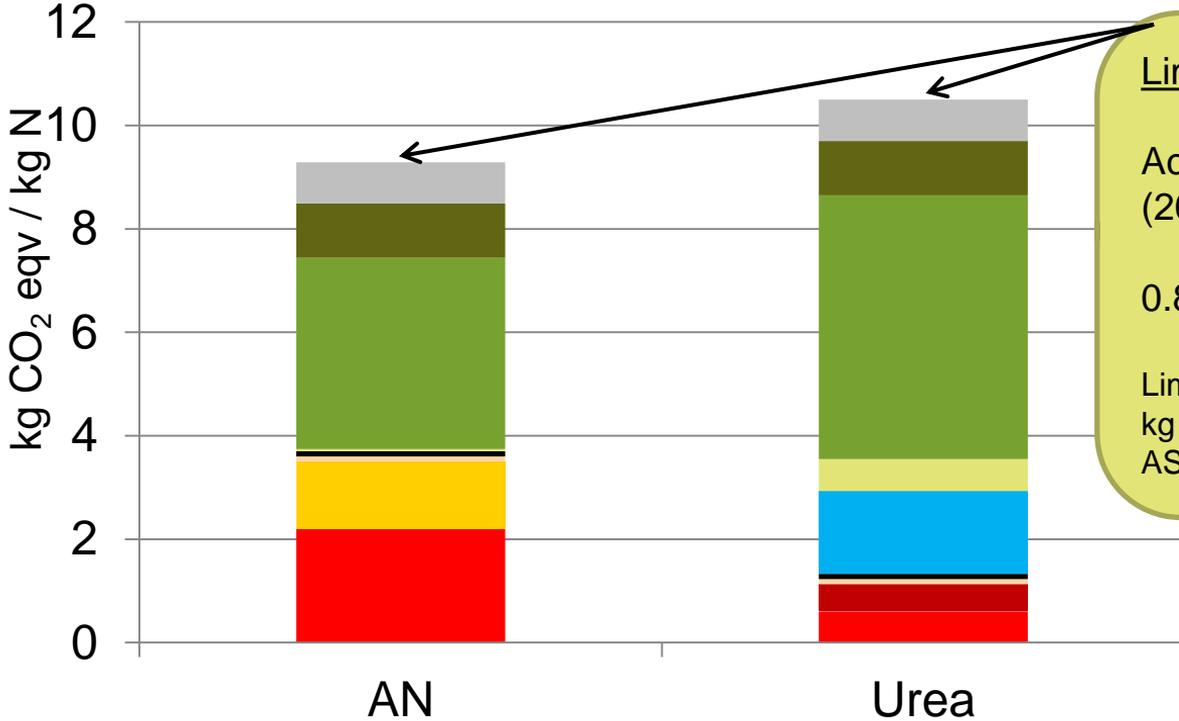


Nitrate (NO3) leaching:
According to IPCC (2006)*
1.1 kg CO2eq/kg N
30% NO3-N loss from N applied,
0.75% of which is lost as N2O, assumed to
be the same for all mineral N fertilizers

* 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories



Empreinte carbone comparée Ammonitrate (AN) & Urée



Lime application:

According to IPCC (2006)* and KTBL (2005)**

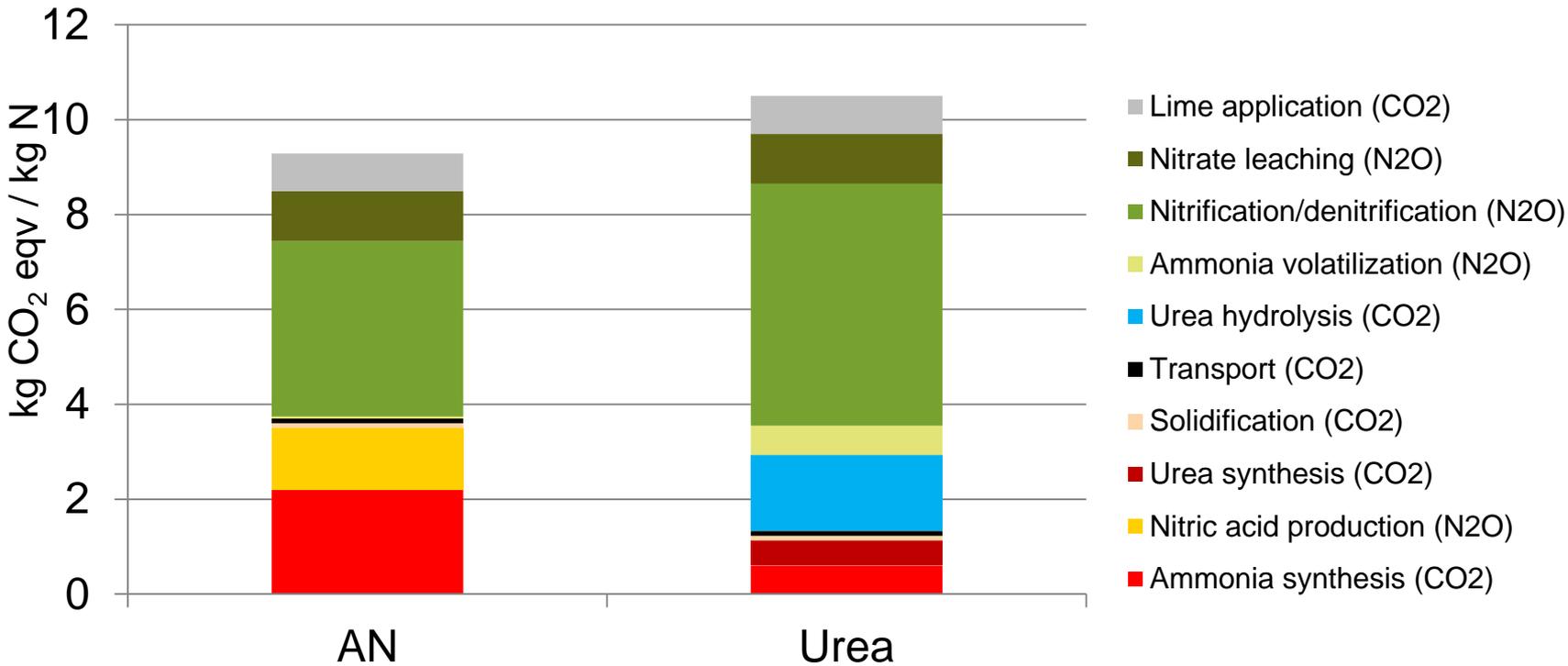
0.8 kg CO₂eq/kg AN-N or Urea-N

Lime demand to compensate acidification: 1.8 kg CaCO₃/kg N as AN/UAN/Urea, higher for AS/DAP, lower for CN/CAN

* 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
** KTBL, (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft (in German)

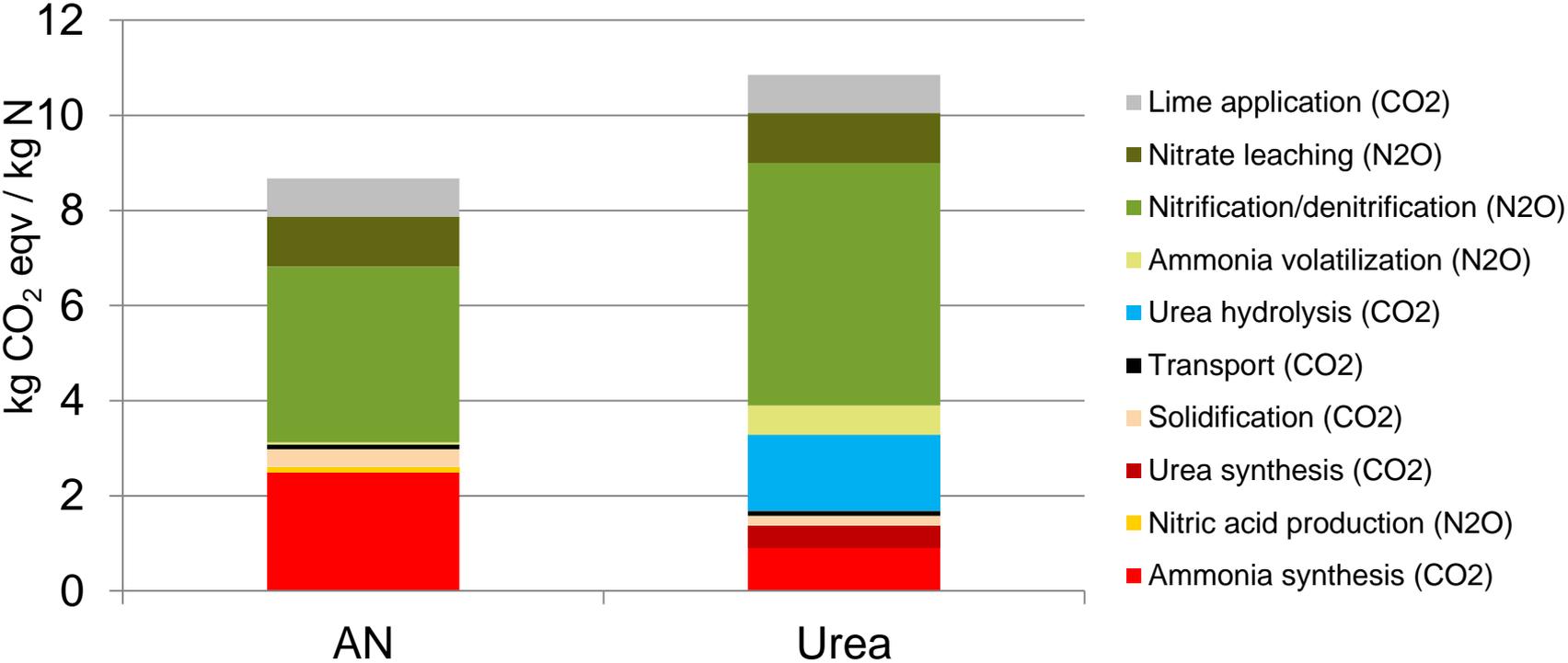


Empreinte carbone comparée Ammonitrate (AN) & Urée



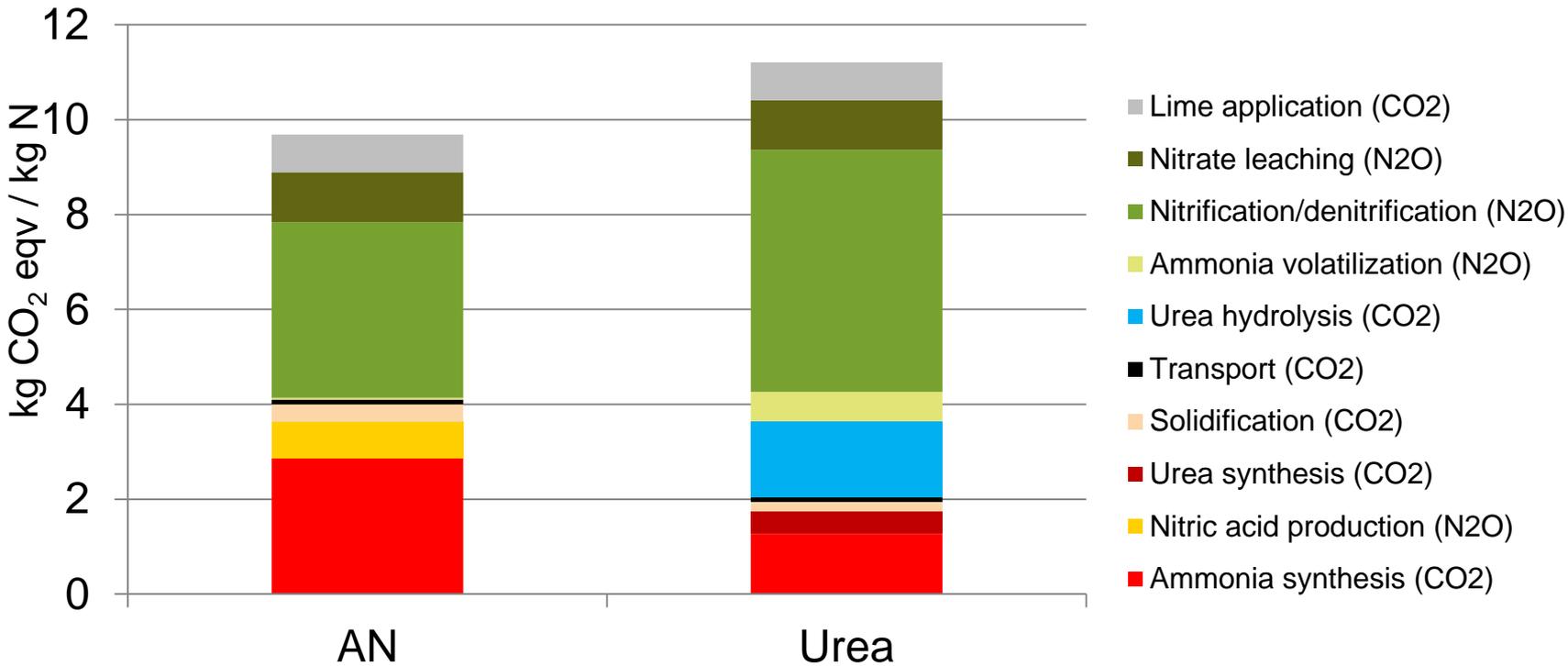
Carbon footprint of AN and Urea

– Yara Sluiskil 2009/10



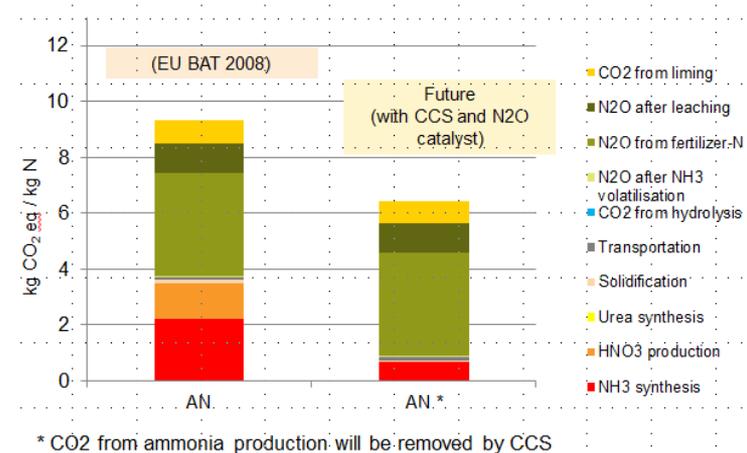
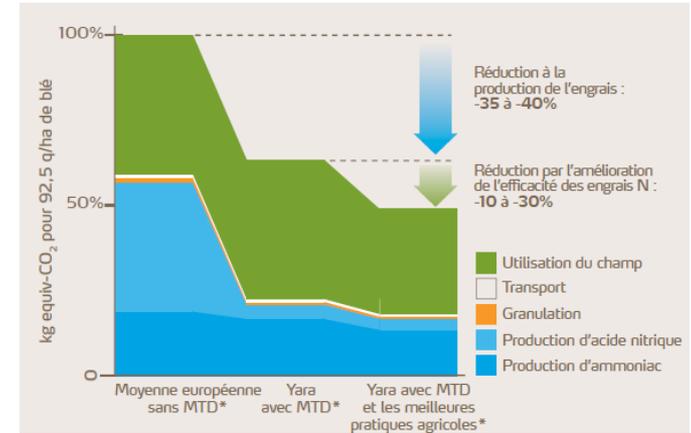
Carbon footprint of AN and Urea

– Fertilizers Europe reference values 2010



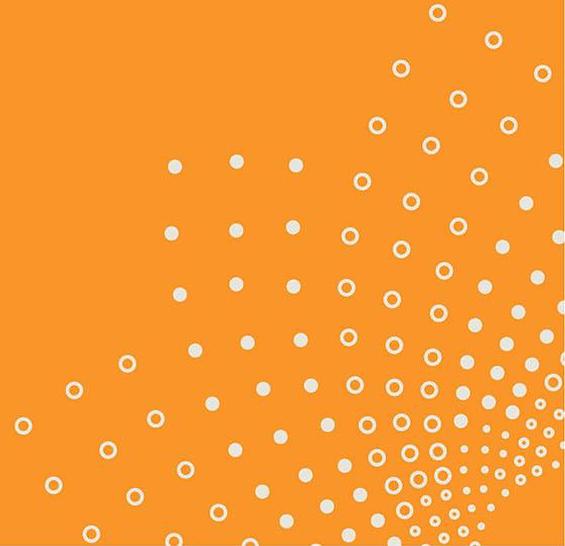
Les voies d'amélioration pour l'avenir :

- Poursuite des baisses à la production des engrais mais progrès plus limités aujourd'hui
- Améliorer l'efficacité d'utilisation des engrais N au champ
 - Moins de perte par volatilisation et lixiviation
 - Rôle des inhibiteurs de nitrification (?)
- Demain : Capture et Stockage du Carbone (CCS) lors de la production de l'ammoniac (2.2 kg eq CO₂/kg N) :
 - Potentiel de baisse : 1.5 / 1.6 kg eq CO₂
 - Soit 30% de baisse possible
 - Horizon : ???



Partie 2 - Quantification des impacts environnementaux de la fertilisation azotée

Effet des formes et doses d'azote sur céréales et colza



Objectifs de l'étude

- Quantifier les **impacts environnementaux** pour **différentes formes d'azote** grâce aux références disponibles et aux outils de modélisation existants.
- Comparer les formes et **quantifier les écarts** (par rapport à l'ammonitrate)
- Balayer un **large spectre d'impacts**, et pas seulement les gaz à effet de serre, mais aussi l'efficacité de l'azote, le stockage du carbone organique, la performance alimentaire, l'utilisation de la surface agricole et la balance énergétique.
- Ajouter des **scénarios de sensibilité** : provenance de l'engrais (pays d'origine), majoration de la dose bilan d'urée et de solution azotée pour atteindre une performance non statistiquement différente à celle de l'ammonitrate, comparaison à des objectifs concrets tels que le 4/1000 (...).

Matériel et méthodes

Etude basée sur plusieurs réseaux d'essais, annuels (blé tendre et colza) et longue durée (colza-blé-orge). Utilisation des données de base (sol, quantités d'azote et dates d'apports) et les résultats obtenus (rendement, azote absorbé,...) :



Blé tendre

Environ 120 essais utilisés
Comparaison Ammo-Solaz



Colza

21 essais utilisés
Comparaison Ammo-Solaz



Longue durée

11 essais utilisés (50 situations)
Comparaison Urée-Ammo

Matériel et méthodes

Différents impacts étudiés, grâce à des outils disponibles, basés sur les références les plus récentes possible :

- ✓ Emissions de gaz à effet de serre (via approche ACV) – EGES® ou CFT®

Actualisation d'EGES® avec les références d'EMEP 2013 et de Fertilizers Europe 2013



- ✓ Balance énergétique (approche ACV) – EGES®



- ✓ Pertes d'azote (dénitrification, volatilisation et lessivage) – Syst'N®



- ✓ Evolution du stock de carbone organique du sol – SIMEOS-AMG®



Calculateurs via compilation de références et de formules mathématiques

Outils basés sur de la modélisation d'impacts

Matériel et méthodes

Quelques *indicateurs*, provenant de « *calculatrices* » ou de quelques calculs :

- ✓ Performance alimentaire (personnes nourries par ha et par an) – Perf'Alim®

$$\text{Performance alimentaire} = \frac{\text{Rendement culture} * \text{valeur nutritionnelle}}{\text{besoins nutritionnels par personne}}$$



- ✓ Efficacité de l'azote ou « Nitrogen Use Efficiency » – EU Nitrogen Expert Panel



$$NUE = \frac{\text{Azote exporté (grains)}}{\text{Azote apporté (fertilisation)}}$$

- ✓ Utilisation de la surface agricole – Land use (d'après K. Plassmann et al.)

$$\text{Surface utilisée} = \frac{1}{\text{Rendement}}$$

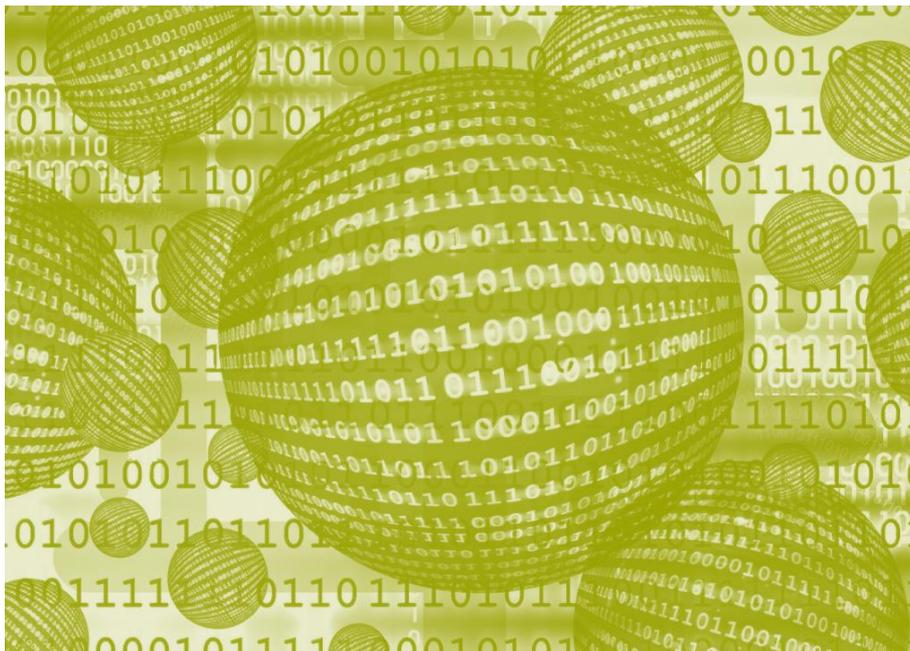
Scenarios de sensibilité

- Emissions de GES en fonction de la **provenance des engrais** (modification du facteur d'émissions liées à la production)
- Comparaison de l'évolution du stockage de carbone organique au scénario du **4/1000**
- Balance nette des émissions GES et du stockage de carbone organique
- **Pertes induites par les fertilisants azotés** (comparaison au témoin non fertilisé)
- Performances non statistiquement différentes via une **majoration de la dose** d'urée ou de solution azotée (+15% de la dose) et impact sur les pertes et les GES.

Raccourcis

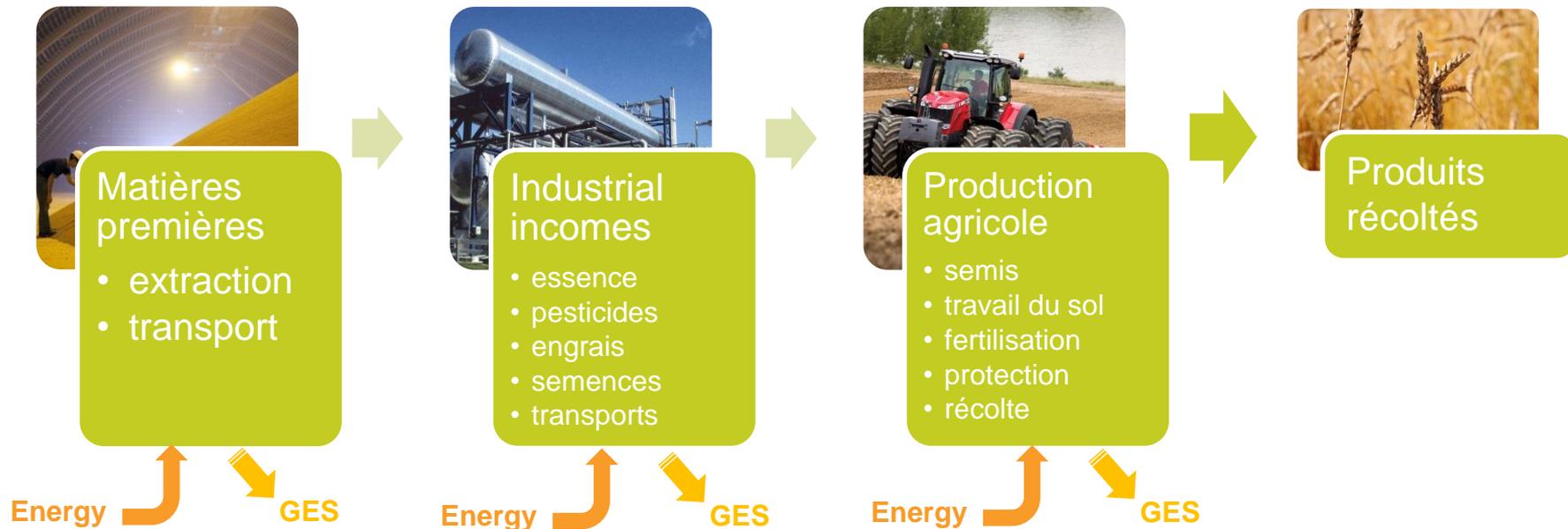
- AN = Ammonitrate
- UAN = Solution Azotée (Urea Ammonium Nitrate)
- U = Urée
- CFT = Cool Farm Tool
- NUE = Nitrogen Use Efficiency
- GES = Gaz à Effet de Serre

Impacts, modélisations et outils utilisés



Approche ACV - Bilan carbone

Principe de l'approche ACV à l'échelle de la culture : toutes les étapes sont prises en compte, de la fabrication des intrants à la récolte de la culture, en prenant en compte les impacts au champ, qu'ils soient naturels ou issus de l'activité humaine



EGES® actualisé – Pourquoi ?

Appuyé sur d'anciennes références pour la volatilisation (CORPEN 2006) et la production d'engrais azotés (IFS 2002), l'outil EGES® est actualisé par nos soins grâce aux références les plus récentes :

(kg eqCO ₂ /kg N)	Urea	AN	UAN
EGES®	3.634	6.172	5.137
EGES® Actualisé	1.978 (= 3.57*)	3.522	2.733 (= 3.56*)

Impact des catalyseurs à N₂O dans les usines européennes pour la production d'acide nitrique

* Inclus l'hydrolyse de l'urée

Forme d'azote	EGES®	EGES® Actualisé
Urea	15%	19.9%
UAN	8%	10.8%
AN	2%	3%
Référence	CORPEN 2006	EMEP/EEA 2013

Pour le calcul de la volatilisation :

$$\text{Azote apporté} * \text{fraction volatilisé} * FE(v)$$

FE(v) est le facteur d'émissions indirectes liées à la volatilisation (0.01 kg N₂O-N / kgN volatilisé)

EGES® - Bilan carbone

Emissions directes de N₂O provenant des sols cultivés, des applications de fertilisants et des résidus de culture (selon l'IPCC 2006) :

$$\sum [(Fsn) + (Frr)] * FE1$$

Fsn = azote apporté via les engrais azotés (kg N / an)

Frr = azote apporté via les résidus de récolte si laissés au sol / enfouis (kg N / an)

FE1 = 0.01 kg N₂O-N / kg N (facteur d'émission lié à l'ajout de fertilisants azotés et aux résidus de culture)

Cool Farm Tool® - Bilan Carbone

Références utilisées pour les différents calculs :

Pertes indirectes liées à la volatilisation ammoniacal :

$$NH_3 - N = \text{Azote appliqué} * \exp\left(\sum f(i)\right) * 0.01$$

La volatilisation est dépendante de la forme d'azote apporté, du type de sol, de la CEC, du pH et de la méthode d'application

Les émissions de N₂O et indirectement du NO dépendent de la quantité d'azote apportée, du sol (texture, pH, SOC et drainage) et de la forme d'engrais azoté apporté

Emissions directes de provenant de la dénitrification et de la nitrification dans les sols cultivés :

$$N_2O - N = \exp\left(\sum f(i)\right)$$

$$NO - N = \exp\left(\sum f(i)\right) * 0.01$$

EGES® - Bilan Carbone

Références utilisées pour les différents calculs, et comparaison entre les 2 outils :

EGES® (version actualisée)

Volatilisation – EMEP / EEA 2013

Emissions de N₂O – 1% de l'apport (prend en compte les résidus et les fertilisants azotés)

Facteurs d'émissions (production min.) – FE 2013
Hydrolyse de l'urée - 1.6 kg eqCO₂/ kg N-Urea

Lessivage – 30% de l'apport (prend en compte les fertilisants et les résidus) et 0.0075 kg N₂O-N/kg N

Références de GES'TIM 2010 et de l'IPCC 2006

Cool Farm Tool®

Volatilisation – Bouwman et al. 2002

Emissions de N₂O – Bouwman et al. 2002 (prend en compte les résidus et fertilisants azotés)

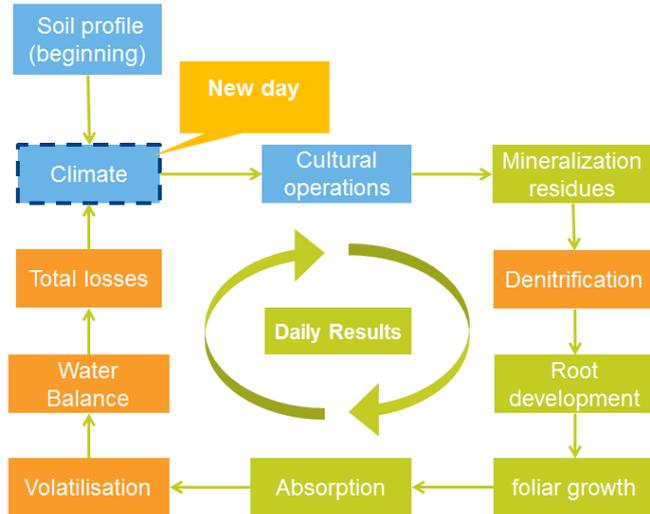
Facteurs d'émissions (production min.) – FE 2013
Hydrolyse de l'urée – 1.6 kg eqCO₂/ kg N-Urea

Lessivage – 30% de l'apport (prend en compte les fertilisants et les résidus) et 0.0075 kg N₂O-N/kg N

Références de Bouwman 2002 et de l'IPCC 2006

Pertes d'azote – Syst'N®

Syst'N® est constitué de plusieurs modules issus de STICS, NOE, VOLT'AIR, AZOFERT et AZODYN.
Beaucoup de données d'entrée nécessaires pour le bon fonctionnement de l'outil :



Type de sol : texture, MO, CaCO₃, pH, CEC ,
pierrosité, état du sol au début de la simulation etc...

Données météo journalières (T°C, Pluvio, ETP, IR)

Pratiques culturales : rotation en place, fertilisation
minérale et organique, travail du sol, dates d'apports
et de W, ...

Simulation de Février n à Février n+1

Pertes d'azote – Syst'N®

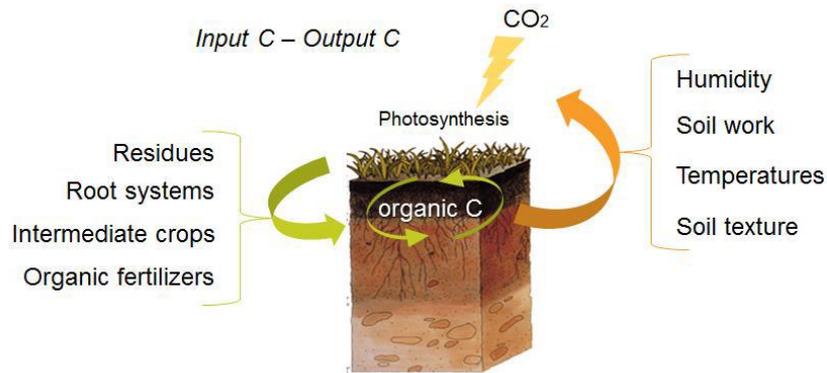
Outil de modélisation évolutif constitué de plusieurs modules, issus de différents modèles, intervenant dans un cycle journalier pour le calcul des pertes d'azote :

- AZODYN (Jeuffroy and Recous, 1999) absorption par la plante et croissance des cultures en place. Rendements et azote absorbé sont donc simulés.
 - AZOFERT (Dubrulle et al. 2003) minéralisation, résidus et fourniture du sol en azote
 - NOE (Henault et al. 2005) pour les pertes liées à la dénitrification (N_2O et NO)
 - VOLT'AIR (Le Cadre 2004) module de volatilisation (sur 20 jours après apports)
 - STICS (Brisson M. et al 1998) pour la balance hydrique et le lessivage des nitrates
- Différents « compartiments » de pertes et/ou total exprimés en kg N / ha / an

Stock de carbone organique – SIMEOS-AMG®

Simulateur de l'évolution du stock de carbone organique du sol, basé sur le bilan humique de l'INRA :

Entrée de carbone (humification, résidus, CIPAN, organique ferti.) – Sortie de carbone (minéralisation, W du sol, ...)



Répétition d'une rotation sur une durée allant jusqu'à 100 ans. Les informations sont alors un « copié-collé » des données d'entrées saisies.

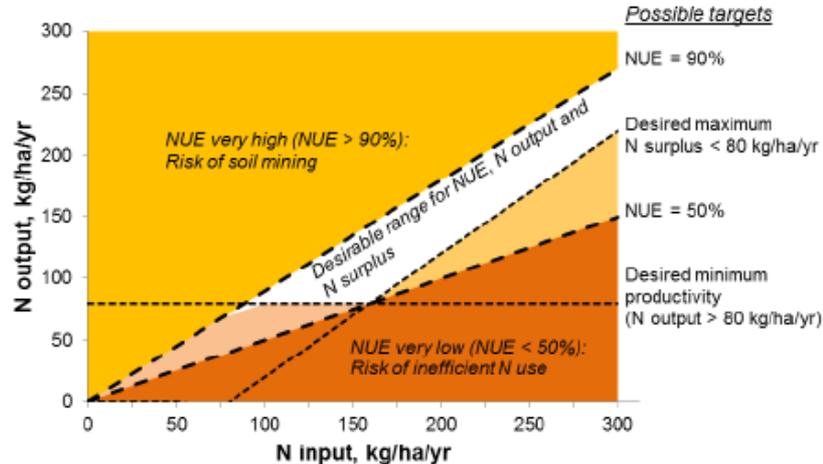
Données sol importantes (surtout le taux de MO au début de la simulation)

Les résultats présentés (en tC/ha) sont issus d'une simulation sur 20 années, lorsque les résidus sont enfouis ou laissés au sol.

Efficacité de l'azote - NUE

- Le NUE est simplement le rapport entre l'azote exporté par les grains, et l'azote apporté par la fertilisation minérale :

$$NUE = \frac{\text{Azote exporté (grains)}}{\text{Azote apporté (fertilisation)}}$$



Interprétation du résultat à travers un nuage de points, et grâce à diverses hypothèses :

50% < NUE < 90% est considéré comme une efficacité acceptable.

Si le NUE est inférieur à 50% alors il y a un risque important de perte dans l'environnement.

Si le NUE est supérieur à 90% alors la fertilisation est plutôt insuffisante.

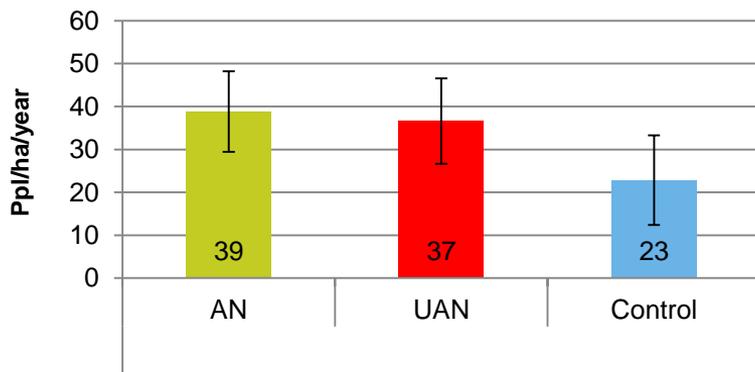
Colza (AN vs UAN)



Colza
21 essais utilisés
Comparaison Ammo-Solaz

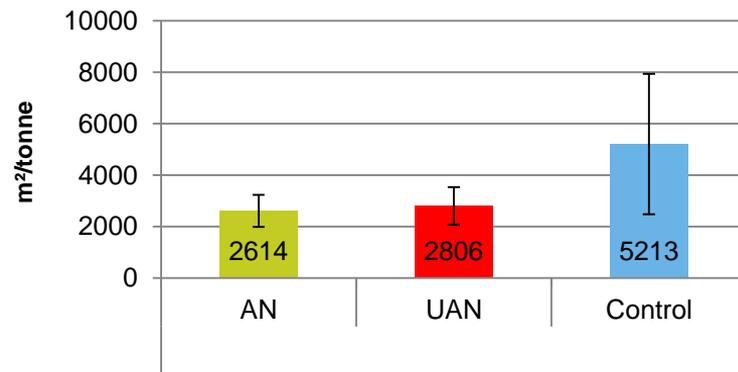
Essais annuels colza (AN vs UAN) – indicateurs

- Performance alimentaire et utilisation des terres pour la culture du colza à la dose d'azote bilan :



Performance alimentaire

2 personnes nourries en plus par hectare et par an via l'utilisation de l'ammonitrate et environ 41% de personnes nourries en moins pour le témoin non fertilisé

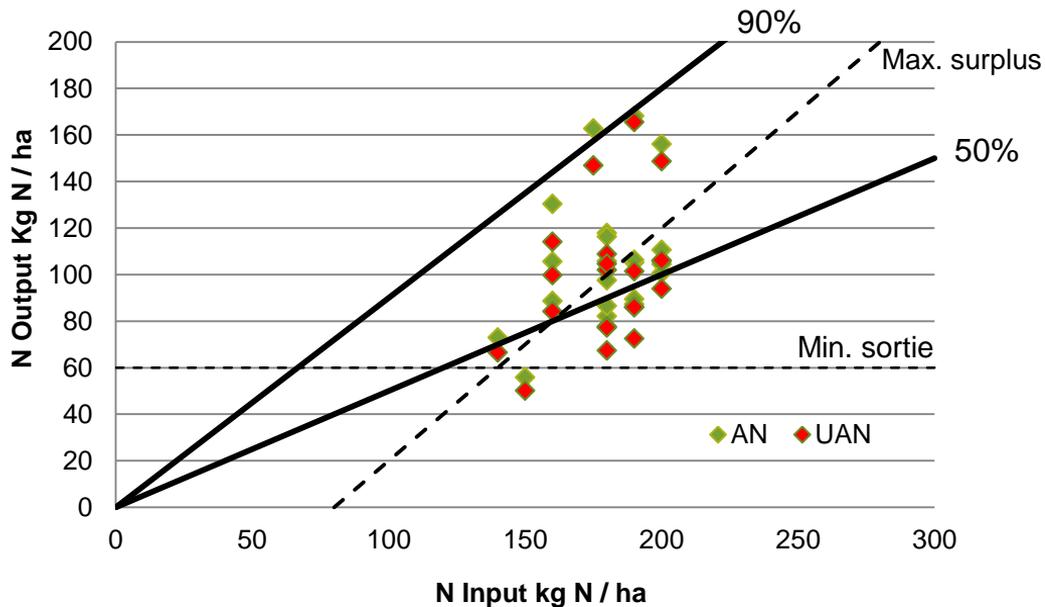


Utilisation des terres

7.3% *** de surface supplémentaire nécessaire lors de l'utilisation de la solution azotée et presque 100% de plus sans utiliser d'engrais minéraux azotés

Essais annuels colza (AN vs UAN) – impacts

Efficacité de l'azote pour les essais colza à la dose d'azote bilan (en kg N/ha) :

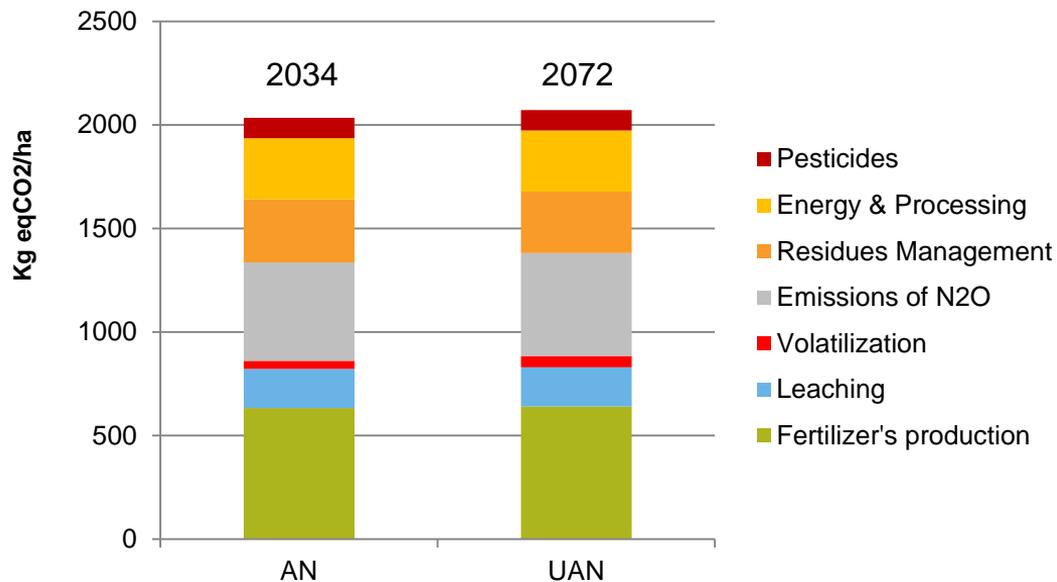


L'efficacité de l'azote est supérieure lors de l'utilisation d'AN avec 60% contre 55% pour la solution azotée

La différence est donc de -8.3% ***

Essais annuels colza (AN vs UAN) – impacts

Emissions de GES pour les essais colza à la dose d'azote bilan (en kg eqCO₂/ha) :

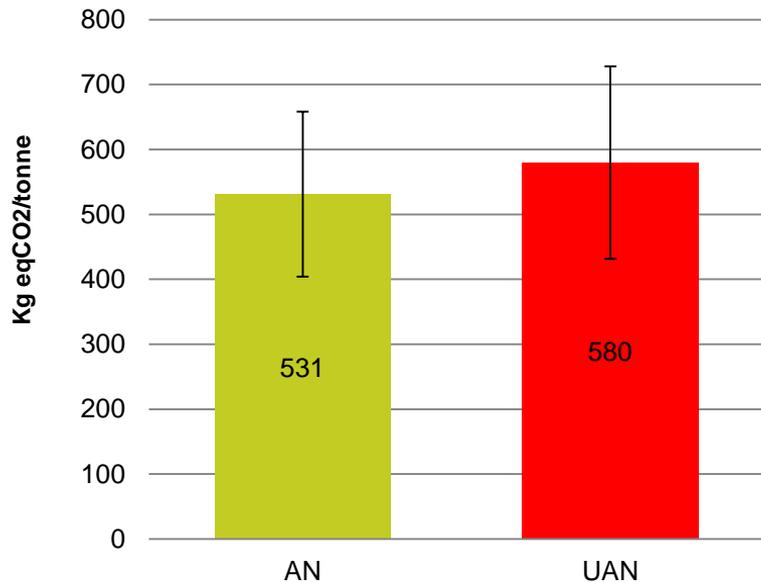


La différence entre UAN et AN est principalement dû à la volatilisation ammoniacale

L'écart est de 1.8% *** entre UAN et AN soit 37 kg eqCO₂/ha

Essais annuels colza (AN vs UAN) – impacts

Emissions de GES par tonne de colza à la dose d'azote bilan (en kg eq CO₂/tonne) :



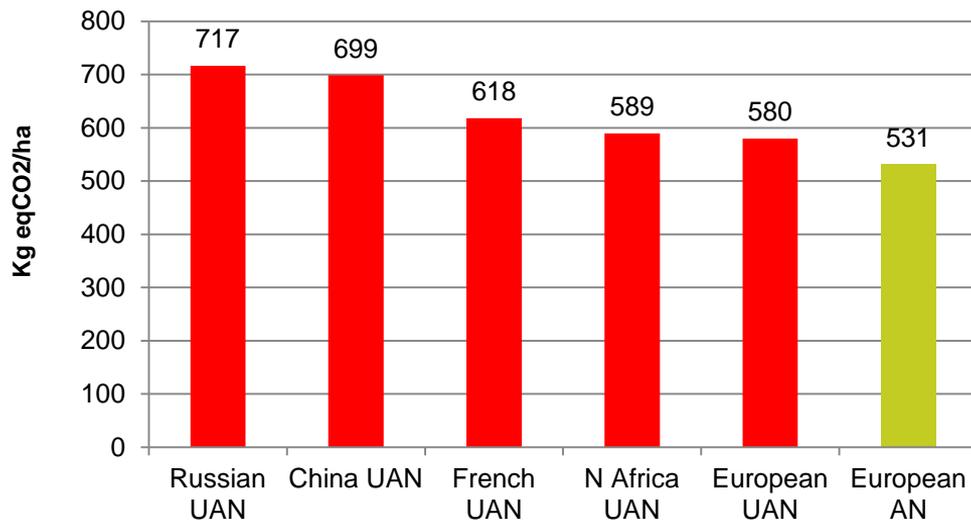
La différence entre UAN et AN est principalement dû à la volatilisation

L'écart entre UAN et AN est de 9.2% ***
soit 49 kg eqCO₂/tonne

Ce résultat est dû à la différence de rendement observé entre UAN et AN

Essais annuels colza (AN vs UAN) – impacts

- Emissions GES par tonne de colza à la dose d'azote bilan en fonction de la provenance des fertilisants (en kg eqCO₂/tonne) :

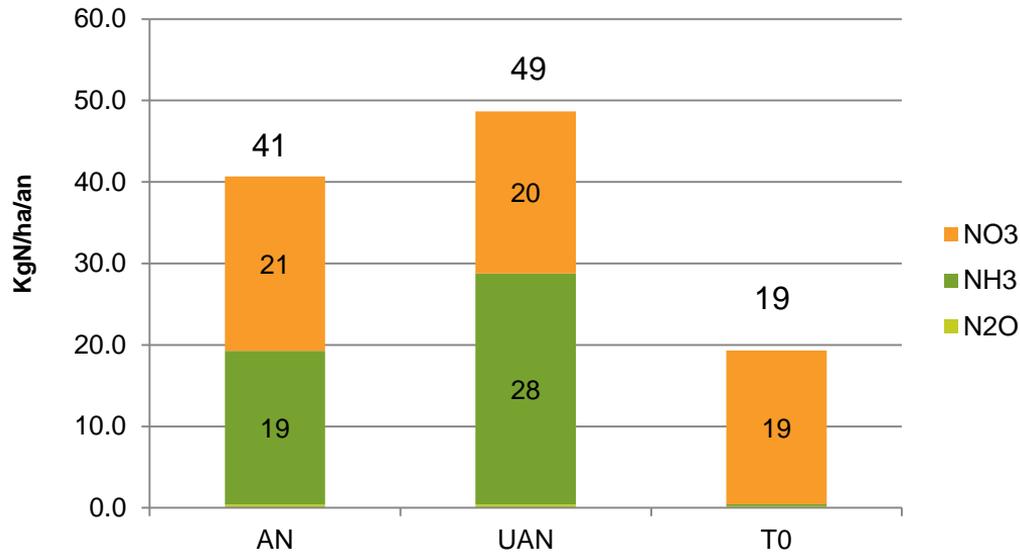


Le niveau de technologie utilisé pour la production des engrais azotés joue un rôle important dans le bilan carbone d'une culture telle que le colza

L'écart peut aller jusqu'à 35%

Essais annuels colza (AN vs UAN) – impacts

Différentes pertes d'azote pour les essais colza à la dose d'azote bilan (en kg N/ha/an) :

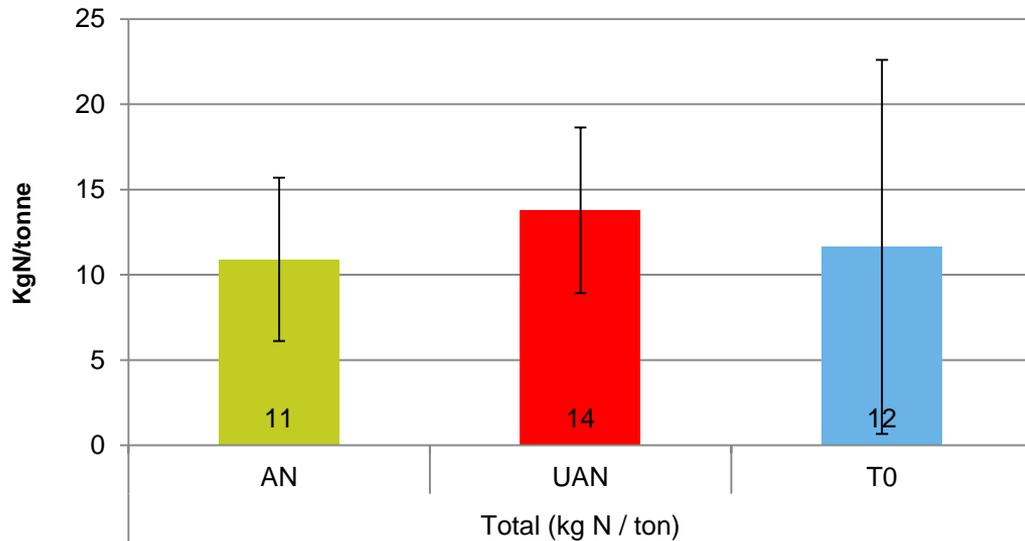


La principale différence entre AN et UAN provient de la volatilisation (19 kgN/ha/an pour l'AN et 28 kgN/ha/an pour la solution azotée)

Au total, l'écart entre UAN et AN est de 19.7% (***)

Essais annuels colza (AN vs UAN) – impacts

Pertes d'azote totales par tonne de colza à la dose d'azote bilan (en kg N/tonne)



L'écart entre UAN et AN rapporté à la tonne de colza produit est de 26.3% ***

La différence est en fait accentuée par la différence de rendement obtenu

Essais annuels colza (AN vs UAN) – impacts

Majoration de la dose de solution azotée jusqu'à ce que l'écart de rendement soit statistiquement non significatif (+15% de la dose) et impact sur les pertes d'azote :

Fertilizers	Dose	N2O	NH3	NO3-	Total	
AN	180	0.41	19	21	41	19.7%
UAN	180	0.40	28	20	49	
UAN (+15%)	207	0.48	34	21	56	36.5%

Résultats en kg N/ha/an

Essais annuels colza (AN vs UAN) – impacts

Majoration de la dose de solution azotée jusqu'à ce que l'écart de rendement soit statistiquement non significatif (+15% de la dose) et impact sur les émissions GES :

Fertilizer	Dose	Total / ha
AN	180	2034
UAN	180	2072
UAN (+15%)	207	2295

1.8% (between AN and UAN)

12.8% (between AN and UAN (+15%))

Résultats en kg eqCO₂/ha

Blé (AN vs UAN)

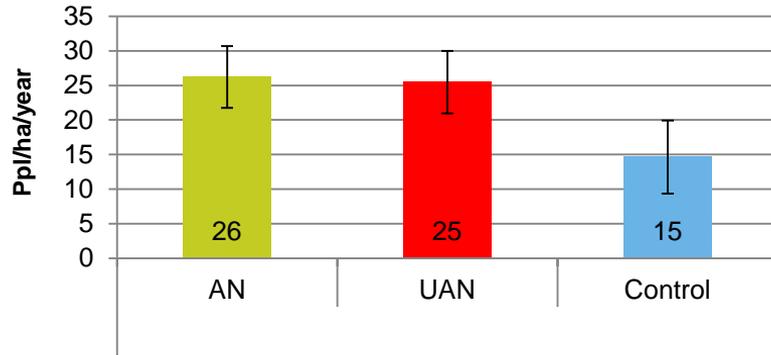


Blé tendre

Environ 120 essais utilisés
Comparaison Ammo-Solaz

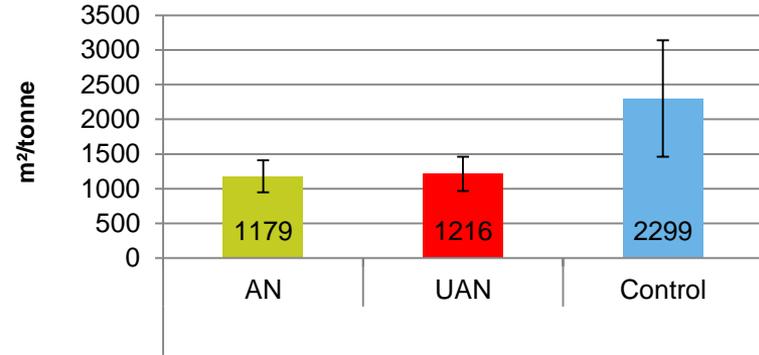
Essais annuels blé (AN vs UAN) – indicateurs

Performance alimentaire et utilisation des terres pour la culture du blé à la dose d'azote bilan :



Performance alimentaire

1 personne nourrie en plus par hectare et par an via l'utilisation de l'ammonitrate et environ 42% de personnes nourries en moins pour le témoin non fertilisé

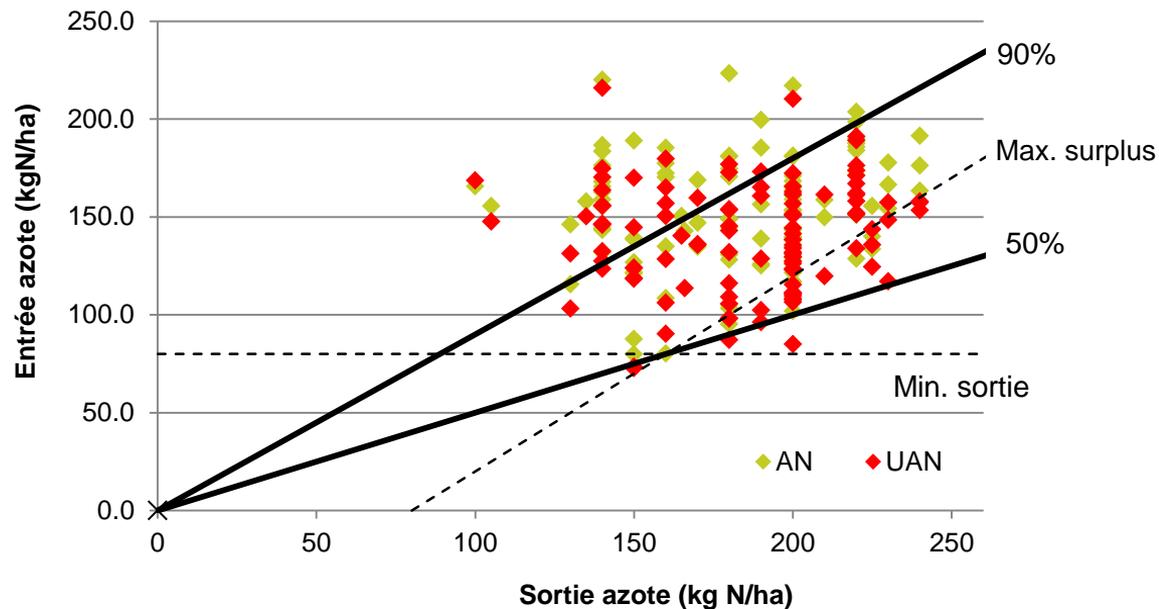


Utilisation des terres

3.1% *** de surface supplémentaire nécessaire lors de l'utilisation de la solution azotée et presque 100% de plus sans utiliser d'engrais minéraux azotés

Essais annuels blé (AN vs UAN) – indicateurs

Efficacité de l'azote pour les essais colza à la dose d'azote bilan (en kg N/ha) :

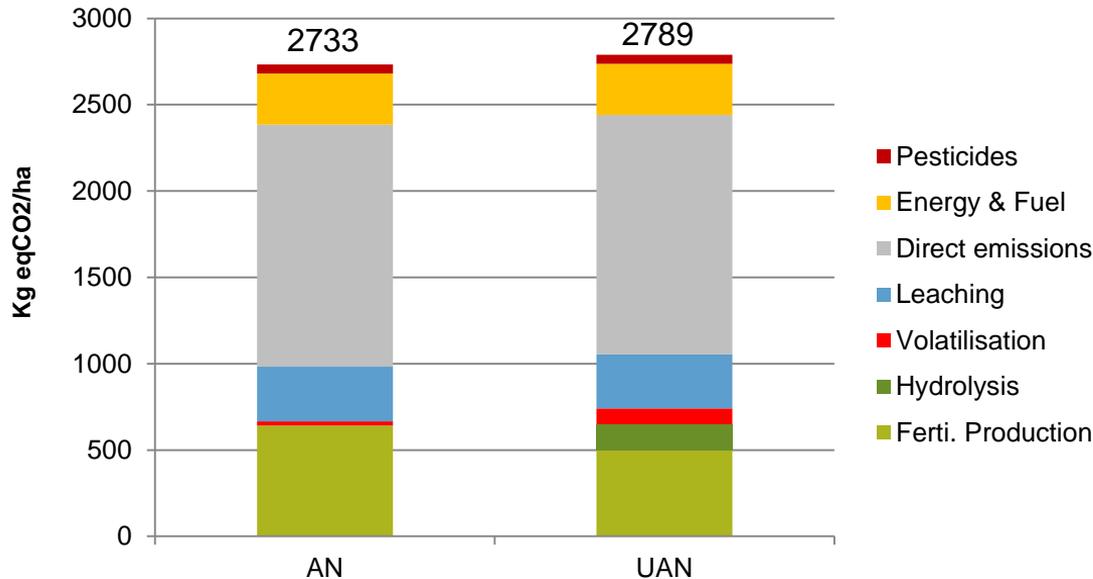


L'efficacité de l'azote est supérieure lors de l'utilisation d'ammonitrate avec 86% contre 79% pour la solution azotée

La différence est donc de 8.3% ***

Essais annuels blé (AN vs UAN) – impacts

Emissions de GES pour les essais blés à la dose bilan (en kg eqCO₂/ha) :

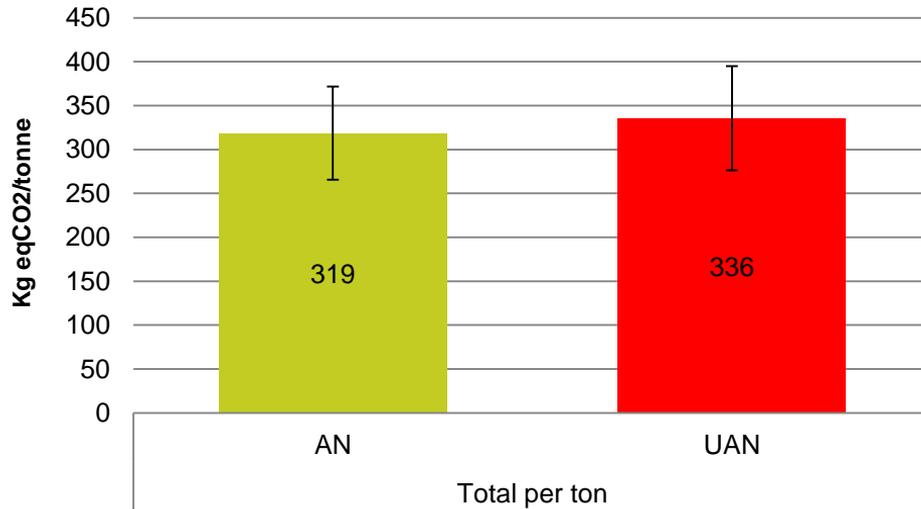


La différence entre UAN et AN est principalement dû la volatilisation

Différence de 2.1% *** entre UAN et AN soit environ 57 kg CO₂e/ha

Essais annuels blé (AN vs UAN) – impacts

Emissions de GES par tonne de blé pour une dose d'azote bilan (en kg eqCO₂/tonne)

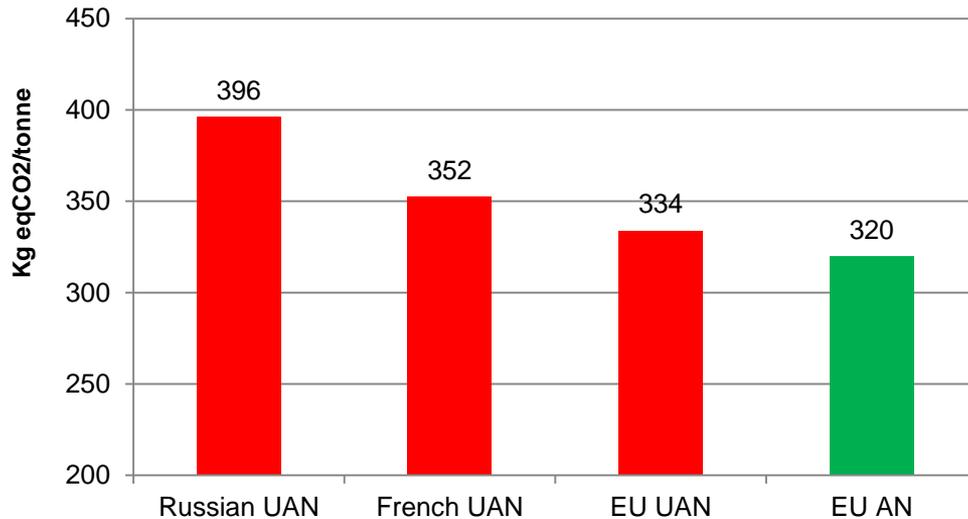


L'écart entre les formes est d'environ 17 kgCO₂e/tonne de blé produit.

Cela correspond à un écart de 5.2% (***)

Essais annuels blé (AN vs UAN) – scénarios de sensibilité

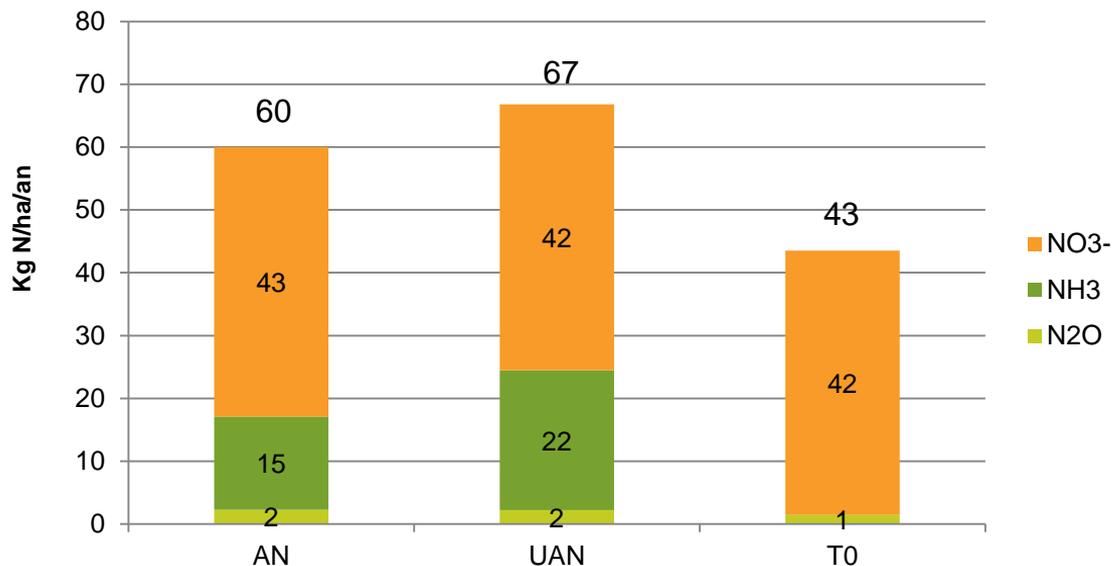
Emissions GES par tonne de blé à la dose d'azote bilan en fonction de la provenance des fertilisants (en kg eqCO₂/tonne) :



La provenance de l'engrais joue un rôle important de la bilan carbone, car il influence grandement les émissions liées à la production industrielle.

Essais annuels blé (AN vs UAN) – impacts

Pertes d'azote par compartiment pour les essais blés à la dose d'azote bilan (en kg N/ha/an) :

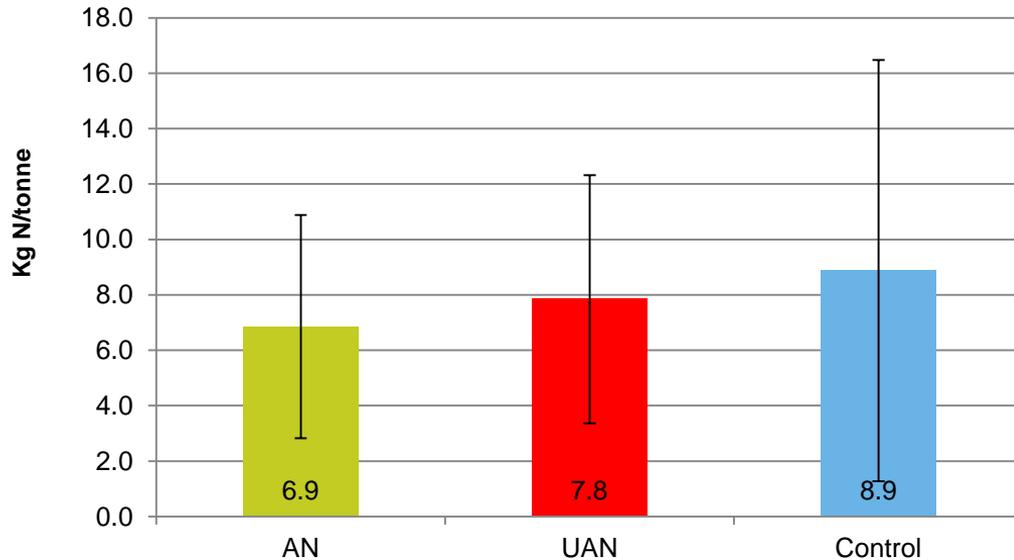


La différence entre AN et UAN est principalement dû à la volatilisation

L'écart est d'environ 11.3% (***) soit 7 kgN/ha/an

Essais annuels blé (AN vs UAN) – impacts

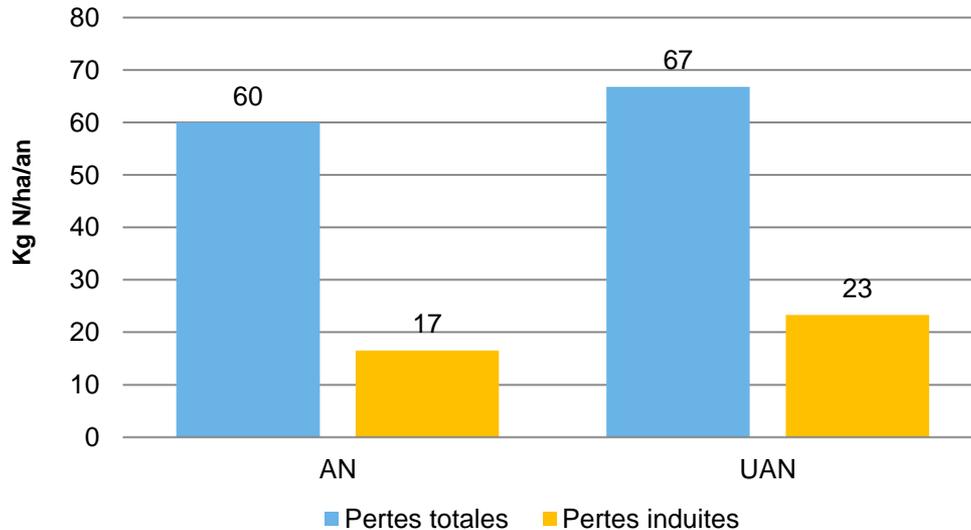
Pertes d'azote totale pour les essais blés à la dose d'azote bilan (en kg N/tonne) :



L'écart entre AN et UAN pour les pertes d'azote exprimées par tonne de blé récoltée est plus important (14.5% ***) soit environ 1 kg N/tonne

Essais annuels blé (AN vs UAN) – impacts

Pertes totales et pertes induites par les fertilisants azotés (pertes dose bilan – pertes témoin) (en kg N/ha/an)



Les pertes induites par les fertilisants paraissent très (trop?) faibles.

Cela provient probablement des simulations de Syst'N qui montrent une grande quantité d'azote lessivé pour le témoin non fertilisé

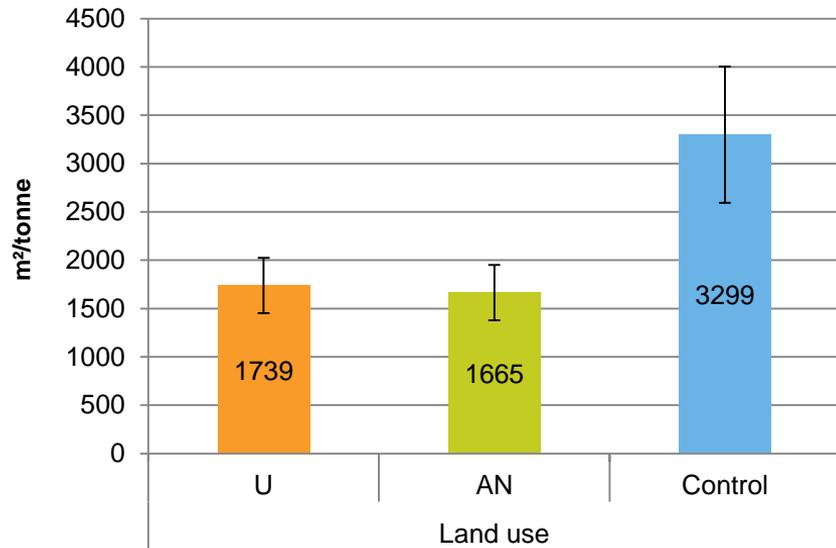
Longue durée (U vs AN) – rotation colza blé orge



Longue durée
11 essais utilisés
Comparaison Urée-Ammo

Essais longue durée (U vs AN) – indicateurs

Utilisation des terres pour une rotation colza blé orge à la dose d'azote bilan (en m²/tonne) :

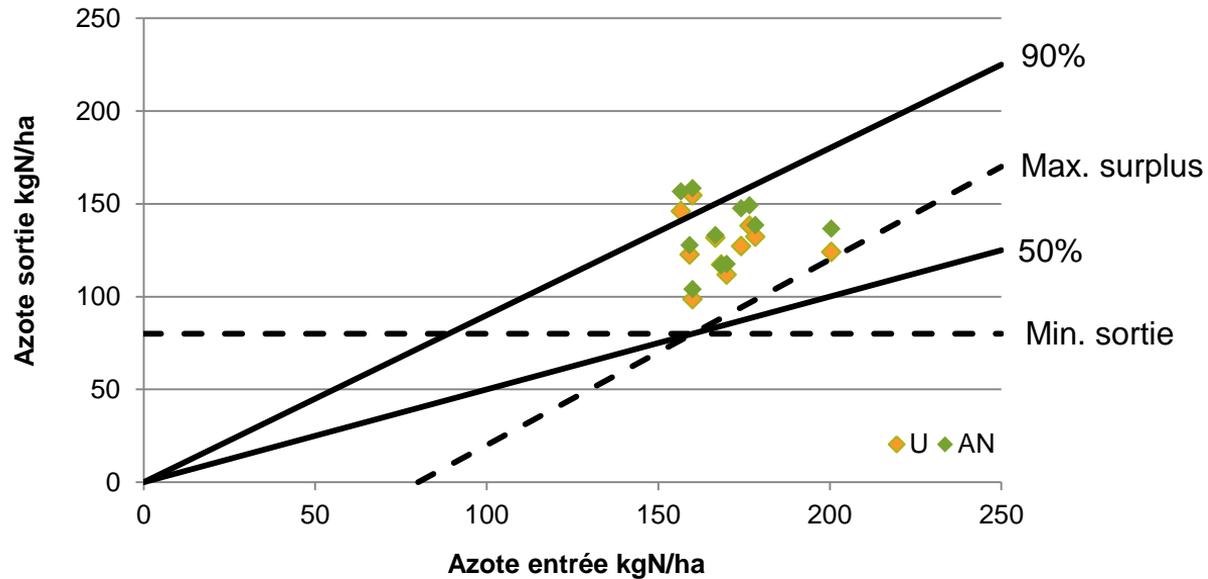


Utilisation des terres

4.4% *** de surface supplémentaire nécessaire lors de l'utilisation de la solution azotée et presque le double sans utiliser d'engrais minéraux azotés

Essais longue durée (U vs AN) – indicateurs

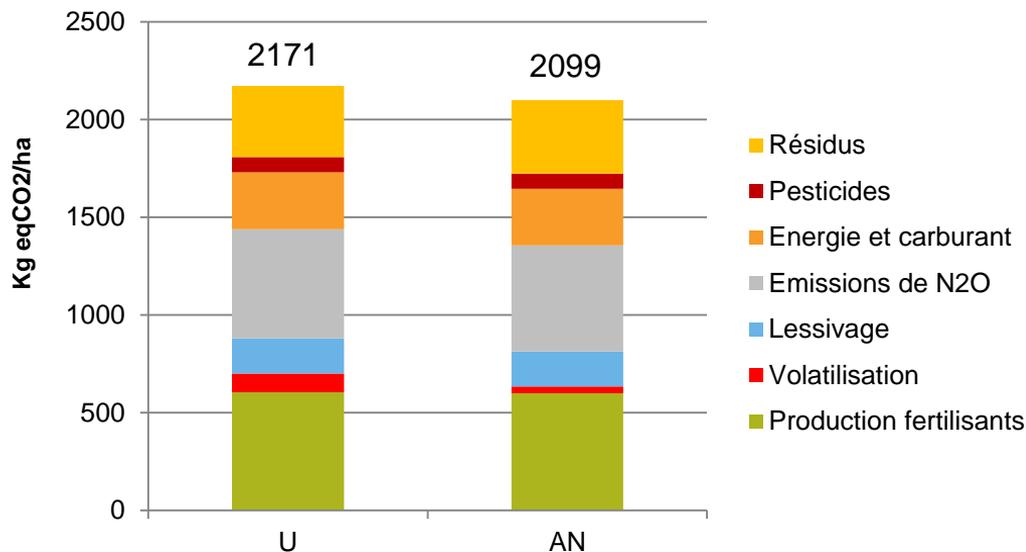
Efficacité de l'azote sur une rotation colza-blé-orge, à la dose d'azote bilan (en kg N/ha)



L'efficacité de l'azote est supérieure lors de l'utilisation d'ammonitrate avec environ 82% contre 77% pour l'urée. La différence est donc de 5.6% **

Essais longue durée (U vs AN) – impacts

Emissions de gaz à effet de serre pour une rotation colza blé orge à la dose d'azote bilan (en kg eqCO₂/ha) :

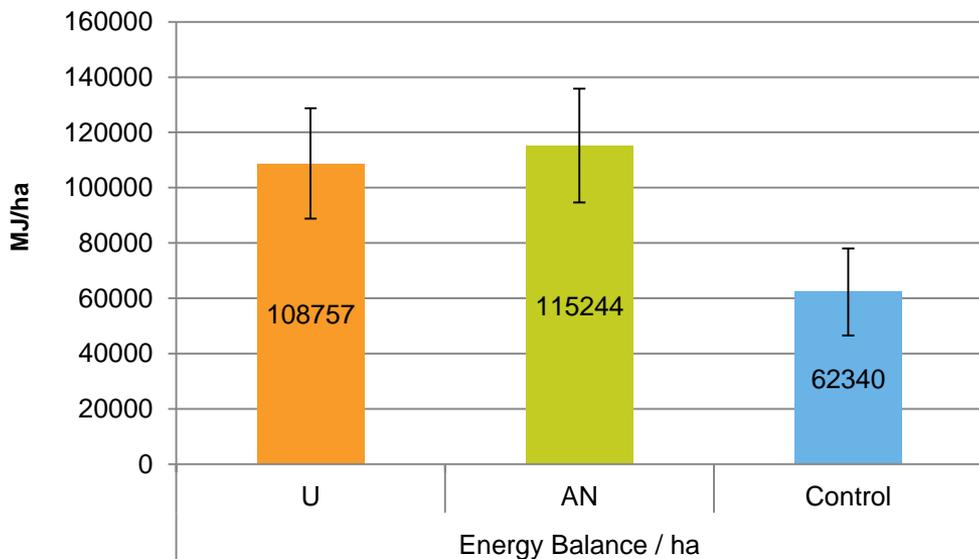


La différence entre U et AN est principalement dû la volatilisation

L'écart est de 3.5% *** entre U et AN soit environ 73 kg CO₂e/ha

Essais longue durée (U vs AN) – impacts

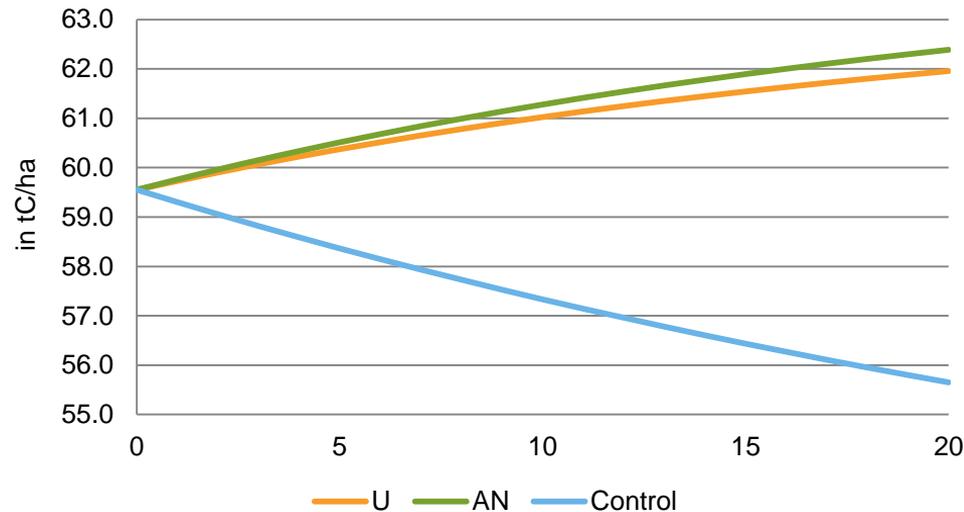
La balance énergétique correspond à l'énergie produite à travers la culture – l'énergie consommée pour la produire. Exprimée ici en MJ/ha pour une rotation colza blé orge à la dose d'azote bilan :



La balance énergétique est plus importante lors de l'utilisation d'AN car le rendement (et donc l'énergie produite) est plus élevée. De plus, l'énergie consommée pour la production de l'urée est supérieure à celle de l'AN

Essais longue durée (U vs AN) – impacts

Evolution du stockage de carbone organique dans le sol pour une rotation colza-blé-orge (en t C/ha) à la dose d'azote bilan :



Augmentation sur 20 ans

U +2.4 tC/ha

AN +2.8 tC/ha

Témoin -3.9 tC/ha

Conversion en kgCO₂e/ha

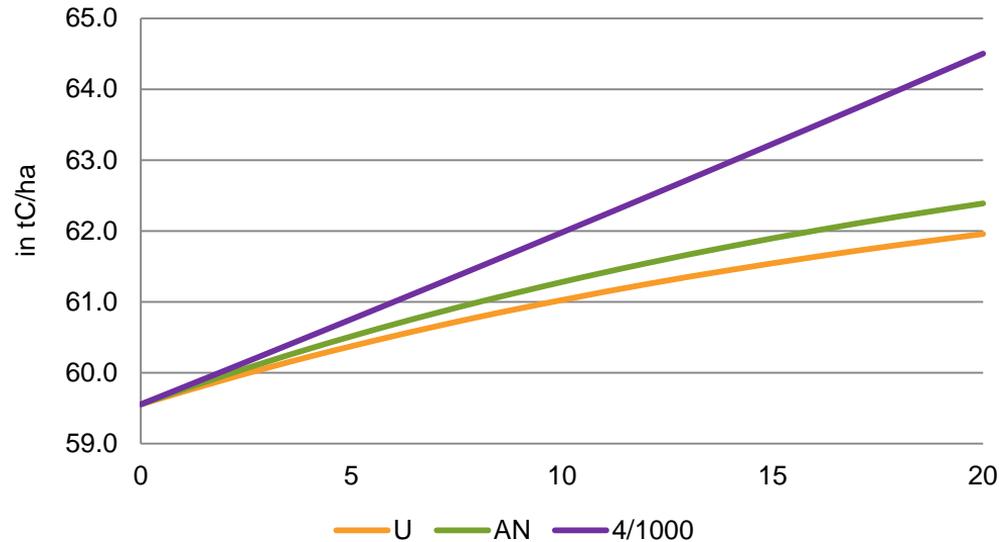
441 kg eqCO₂/ha/an

520 kg eqCO₂/ha/an

-715 kg eqCO₂/ha/an

Essais longue durée (U vs AN) – impacts

- Evolution du stockage de carbone organique dans le sol par rapport à l'objectif du 4/1000 toujours à la dose d'azote bilan :

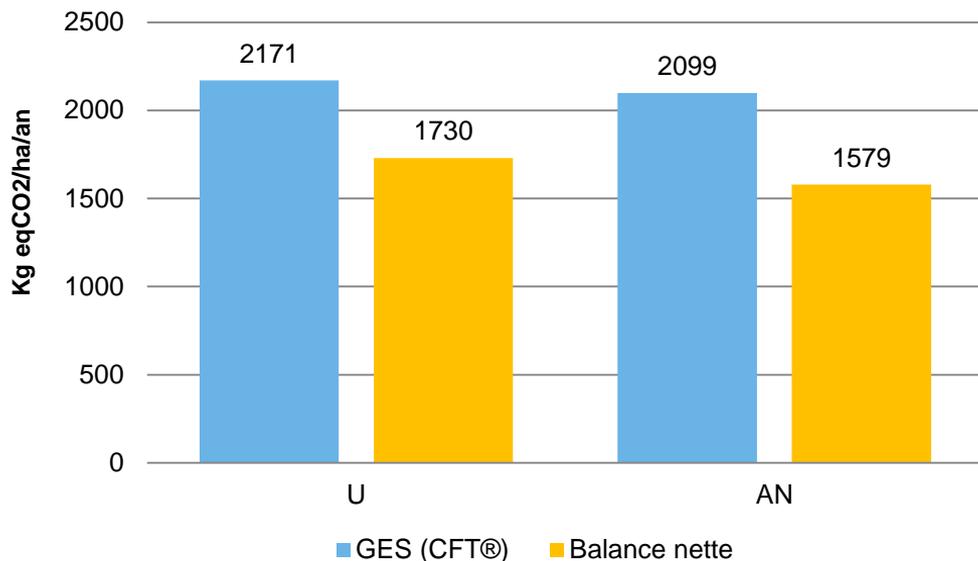


La fertilisation minérale est en règle générale (sauf exception) insuffisante pour atteindre l'objectif du 4/1000.

Taux de croissance annuel
AN = 0.14%
U = 0.12%

Essais longue durée (U vs AN) – impacts

Balance nette des émissions de GES (émissions GES – stockage carbone) à la dose d'azote bilan pour une rotation colza blé orge (en kg eqCO₂/ha/an)



La réduction est impressionnante : 17 à 25% d'émissions en moins si les résidus ne sont pas exportés

Prendre en considération le stockage carbone dans le sol, c'est très sensé !

Résumé et conclusions

L'ammonitrate est en règle générale plus efficace (NUE plus important) que les autres formes et les rendements obtenus sont en moyenne plus importants.

Cela sous-entend que les pertes ainsi que les émissions provenant de l'utilisation d'ammonitrate sont moins importantes, principalement dû à la différence de volatilisation avec l'urée et la solution azotée.

La performance alimentaire est alors plus élevée, ainsi que le bilan énergétique.

Enfin, la surface nécessaire pour produire une tonne de blé, de colza ou d'orge est de ce fait moins importante

Quelques pistes d'améliorations

- Qu'en est-il des urées inhibées ?
 - D'autres cultures comme la pomme de terre ou la betterave ?
 - Mettre un coût sur ces impacts
 - Réaliser une évaluation environnementale jusqu'à un produit alimentaire (baguette) ?
- ...

Résumé et conclusions

La production et l'utilisation de fertilisants azotés provoquent des émissions de GES...



Mais il faut regarder la totalité du tableau et il faut savoir nuancer ce bilan carbone avec d'autres impacts.

Quels sont les enjeux ?

- Performance alimentaire
- Ralentir le changement climatique
- Efficience et efficacité accrue
- Moindre impact sur la santé humaine
- Moindre coûts des dépollutions
- Préservation de la biodiversité