

# COMPARAISON DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE TROIS FORMES D'ENGRAIS AZOTES

([Sophie Marquis](#)<sup>1</sup>, Amandine Berthoud<sup>2</sup>, Aurélie Buet<sup>2</sup>, Thierry Genter<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> GPN 16-40 rue Henri Reganault, 92902 Paris La Défense Cedex, tél 01.47.96.97.72, mél : [sophie.marquis@gpn.fr](mailto:sophie.marquis@gpn.fr).

<sup>2</sup> InVivo AgroSolutions 83 avenue de la Grande Armée, 75782 paris Cedex 16 ; tel : 01.40.66.21.91 ; mél : [pmaupu@invivo-group.com](mailto:pmaupu@invivo-group.com)

## Introduction

Les démarches autour de l'affichage environnemental dans le secteur agricole se multiplient. L'importance de la fertilisation dans le bilan environnemental de la production agricole en fait un levier d'action majeur.

L'optimisation et l'ajustement des quantités d'azote épandues à travers la réalisation de plans de fumure agronomique et l'utilisation d'outils de pilotage en cours de culture, sont un premier axe. En complément, il pourrait être envisagé de réfléchir les apports azotés en fonction de l'impact environnemental des formes utilisées. L'étude vise donc à déterminer si le choix du type d'engrais peut constituer un levier d'amélioration du bilan environnemental de la production agricole.

GPN en tant que premier producteur d'engrais azotés en France et InVivo, union nationale de coopératives agricoles, se sont associés et ont mis en commun leur expertise et leurs références autour de la production, la distribution et l'utilisation des engrais en France. Ont été ainsi comparés les impacts environnementaux des trois principales formes d'engrais azotés utilisées en France (ammonitrate 33.5 produit par GPN, urée et solution azotée produites en Egypte) sur une culture importante, la culture du blé tendre.

La méthodologie de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) a été choisie car elle est normalisée, multi-critères et permet de préconiser des voies d'amélioration dans le cadre de démarche d'éco-conception. De plus, du fait du calcul d'une grande diversité d'indicateurs, l'ACV permet d'avoir une vision globale de l'impact environnemental d'un produit, et de se prémunir de « transferts de pollution » Cette étude a été validée par une revue critique menée par un cabinet spécialisé dans les ACV (BioIntelligence Service) avec le recours à des experts externes.

## I Matériels et méthodes

### **1) Définition du système et hypothèses prises**

Pour évaluer et comparer l'impact environnemental des formes d'azote, il a été jugé intéressant de ne pas se limiter à la production et à l'utilisation d'une unité d'azote, mais également de prendre en compte les différences d'efficacité du point de vue de la nutrition du blé. La portée de l'étude est donc l'évaluation environnementale de la fertilisation minérale permettant la production d'un quintal de blé sur un territoire considéré. Les résultats sont par conséquent ramenés au quintal de blé produit.

#### *1.1 Frontières du système*

L'étude compare les trois principales formes d'engrais azotés utilisées en France : l'ammonitrate 33.5, la solution azotée et l'urée. L'origine géographique de production de chaque engrais reflète la réalité : l'ammonitrate 33.5 utilisé en France provient à plus de 90% de l'Europe alors que l'urée livrée en France provient pour 87 % de Pays Tiers, et parmi eux, majoritairement d'Egypte.

Si des différences d'origine géographique ont été prises pour la production d'engrais, un seul lieu d'utilisation de l'engrais a été considéré afin d'homogénéiser les hypothèses de transport : une parcelle appartenant à un adhérent de VIVESCIA coopérative du département de l'Aube du réseau InVivo.

Pour les trois engrais étudiés, les mêmes étapes sont considérées dans le cycle de vie du produit, de la production de l'engrais à la fin de vie.

## 1.2 Source des données

Conformément à la méthodologie de l'ACV, les flux d'énergie et de matières (consommations de matières premières, émissions de matières polluantes) entrant et sortant tout au long des différentes étapes ont été inventoriés. Pour la réalisation des inventaires, les données réelles ont été favorisées. En cela, le partenariat entre un producteur d'engrais et une union de coopératives (qui stocke, distribue des engrais, accompagne leur utilisation et collecte des céréales) est enrichissant. En l'absence de données réelles, des inventaires Ecoinvent ont été utilisés ainsi que GES'TIM (Institut de l'élevage et *al.*, 2010).

Pour l'ammonitrate, de nombreuses données réelles ont pu être utilisées : données de consommations d'énergie et de matières premières (enregistrement de l'usine GPN), émissions polluantes (obligation de déclaration), données concernant la logistique et le stockage (enregistrement de la coopérative). Les hypothèses de dose d'azote et de rendement associées au scénario de la fertilisation à l'ammonitrate, reposent sur des pratiques réellement observées dans la région étudiée, collectées grâce à l'outil d'aide de plan de fumure utilisé par la coopérative et distribué par InVivo.

Pour la production de l'urée et la production de solution azotée, l'inventaire Ecoinvent a été adapté pour intégrer des données réelles de consommation en gaz naturel et en vapeur de plusieurs sites égyptiens obtenues dans la bibliographie et dans les benchmarks (British Sulphur Consultants, 2001 et 2008 et IFA, 2008). Contrairement à l'ammonitrate, il n'a pas été possible d'utiliser des données réelles d'émissions dues aux processus de production de l'urée et de la solution azotée.

Si la représentativité de la production d'urée (respectivement de solution azotée) considérée dans cette étude correspond à une production moyenne d'urée granulée (respectivement de solution azotée) en Egypte, la représentativité de la production d'ammonitrate est limitée à l'usine GPN. L'analyse de sensibilité permet de lever cette limite.

## 2) Choix des indicateurs environnementaux

Après inventaire, les flux d'énergie et de matières sont agrégés puis traduits en indicateurs d'impact potentiel sur l'environnement. Les indicateurs d'impact ont été choisis au vu des enjeux associés à la fertilisation azotée et selon le potentiel de différenciation entre formes engrais.

L'indicateur de potentiel de réchauffement climatique (exprimé en kilogrammes équivalent CO<sub>2</sub>) également appelé bilan des émissions de gaz à effet de serre, a été choisi car la fertilisation azotée (production de l'engrais et épandage au champ) contribue à l'émission de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), gaz à potentiel de réchauffement global (PRG) 298 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub>. Il est à noter que dans l'étude a été utilisée la dernière mise à jour des PRG par l'IPCC (2007) alors que GES'TIM utilise un PRG de 296 kg eq. CO<sub>2</sub>.

L'indicateur de consommation d'énergie non-renouvelable exprimée en méga joules (MJ) a été sélectionné car la production des engrais azotés est fortement consommatrice d'énergie. En effet, la synthèse d'ammoniac, qui est le précurseur des engrais azotés représente environ 4% des consommations totales d'énergie du secteur industriel sur la planète (Patch, 2007).

La consommation d'énergie primaire non renouvelable, est la somme des quantités d'énergie mobilisées tout au long du cycle de vie : de l'extraction des matières premières à la fin de vie du produit en tenant compte de l'énergie totale mobilisée pour produire les intrants énergétiques.

L'indicateur de potentiel d'acidification (exprimé en kg eq. SO<sub>2</sub>) permet d'évaluer l'impact de la volatilisation de l'ammoniac sur l'environnement. Il rend compte de l'augmentation de la teneur en substances acidifiantes dans la basse atmosphère, à l'origine des « pluies acides » impliquées dans le dépérissement de certaines forêts. En effet, l'épandage des engrais au champ est suivi d'émissions ammoniacales à travers le phénomène de volatilisation.

Pour évaluer l'impact du phénomène de lixiviation des nitrates (perte d'azote vers les eaux souterraines), est utilisé le potentiel d'eutrophisation. Il est à souligner que la forme de l'azote appliqué au printemps n'a pas d'influence directe sur le lessivage survenant en hiver, car au cours de la période de végétation, toutes les formes d'azote sont transformées en nitrates. La période à risque en termes de lixiviation est l'hiver (période de rechargement des nappes avec eaux de drainage).

Enfin, et afin d'être complet, les indicateurs de potentiel d'impact sur la toxicité humaine et sur l'écotoxicité ont également été calculés. Mais ces indicateurs ont une fiabilité faible ; ils ne font donc pas l'objet d'une communication.

### 3) **Eléments de différenciation entre engrais**

Une différenciation des formes d'azote sur le plan environnemental est possible car les processus de production et les comportements au champ sont différents entre les trois formes d'engrais.

Au niveau industriel, la diversité du processus ainsi que la diversité des origines géographiques laissent à penser qu'il est possible de distinguer l'impact de ces formes d'un point de vue environnemental.

La phase de production d'acide nitrique, qui entre dans la composition de l'ammonitrate et de la solution azotée est générateur d'émissions de  $N_2O$ . Ces émissions sont largement diminuées sur le site français de production d'ammonitrate du fait de contraintes réglementaires fortes, par le traitement des gaz à l'aide de catalyseurs spécifiques (0.35kg  $N_2O$ / tonne d'acide nitrique sur le site de GPN contre 6kg  $N_2O$ / T de  $HNO_3$  sans catalyseur).

Du point de vue de la consommation énergétique, des différences entre origine géographique de production sont également à attendre du fait d'un prix d'achat de l'énergie différent liée à l'origine d'approvisionnement (marché local pour l'Egypte et marché mondial pour la France). Ainsi, on observe des stratégies d'investissement différentes afin d'optimiser les consommations.

Au champ, la composition différente (proportion d'azote uréique, ammoniacale et nitrique) entre les trois formes d'engrais induit des différences de comportements et des efficacités différenciées : sensibilités variables aux phénomènes de pertes à l'issue de l'épandage (volatilisation, dénitrification) et différences en termes de facilité d'absorption par les plantes.

La prise en compte des différences entre engrais du point de vue des émissions gazeuses ( $N_2O$ ,  $NH_3$ ) peut se faire du fait de l'existence de facteurs d'émission différenciés entre les formes. Cette différenciation est d'ailleurs préconisée par GES'TIM pour les valeurs d'émissions ammoniacales.

- Au champ, les émissions de  $N_2O$  sont le résultat d'émissions directes dues à l'apport des produits azotés et d'émissions indirectes, dues à l'enrichissement du milieu naturel en azote (phénomènes de lessivage et de volatilisation).

Pour les émissions directes, il existe des facteurs d'émission différenciés selon la forme de l'engrais azoté appliqué sur la parcelle (Bouwman et al 2002). Pour les émissions indirectes, les facteurs d'émission sont calculés sur la base des préconisations de l'IPCC en intégrant les potentiels de volatilisation (variables selon les formes d'azote) et le potentiel de lessivage (identique entre engrais). Au final, on aboutit (tableau 1) :

**Tableau 1 : Récapitulatif des facteurs d'émission différenciés selon la forme**

Forme d'engrais azoté	Part de l'apport de N <u>directement</u> émis sous la forme N- $N_2O$	Part de l'apport de N <u>indirectement</u> émis sous la forme N- $N_2O$	Valeur du facteur d'émission global en kg de $N_2O$ / kg de N épandu
urée	1.1%	0,375%	2.32 %
ammonitrate	0.8%	0,245%	1.64 %
solution azotée	1.0%	0,305%	2.05%

- L'épandage des engrais au champ est suivi d'émissions ammoniacales à travers le phénomène de volatilisation. Les quantités d'azote volatilisées sur une parcelle agricole dépendent de différents facteurs dont la forme d'azote apportée. Les taux de volatilisation différenciés selon la forme sont issus d'une synthèse bibliographique réalisée par le CORPEN en 2006, inspirée du « Guidebook Emission Inventory » de l'UNEP (CORPEN, 2006), ils sont récapitulés ci-dessous (tableau 2) :

**Tableau 2 : Taux de volatilisation de l'azote minéral apporté, différencié selon la forme de l'engrais**

Forme de l'engrais azoté	Part de l'apport de N volatilisé
ammonitrate	2%
urée	15%
solution azotée	8%

Du fait d'une volatilisation au champ variable selon la forme de l'engrais apporté, pour une même dose d'azote apportée, une quantité variable d'éléments nutritifs sera disponible réellement pour la plante, quantité plus faible dans le cas de l'urée ou de la solution azotée. Ainsi les trois formes d'engrais n'ont pas la même efficacité. Ceci a été confirmé par une série d'essais agronomiques. On peut citer la synthèse de 120 essais sur blé tendre d'hiver d'Arvalis publiée dans Perspectives Agricoles (Le Souder, 1997) comparant la fertilisation d'ammonitrate avec la fertilisation à l'aide de

solution azotée. Réalisée dans différentes régions et sur différents types de sols, la synthèse conclut à une différence en faveur de l'ammonitrate :

- à la dose bilan et selon le type de sols de 2.4 à 3.9 quintaux par hectare perdus avec la solution azotée
- dose optimale plus élevée (de 14 à 16%) avec la solution azotée

Le réseau InVivo Agro (Pool Fertil, 2012) a mis en place des comparaisons de courbes de réponse en blé sur trois doses d'ammonitrate et d'urée. La synthèse des 10 dispositifs met en évidence un gain de rendement moyen de 3.7 quintaux par hectare en faveur de l'ammonitrate ainsi qu'une dose optimale plus faible.

Face à cette différence d'efficacité agronomique, le choix a été fait dans l'étude de prendre la valeur de diminution de rendement de 3.9 quintaux par hectare, avec une même dose d'azote apportée pour l'urée et la solution azotée par rapport à l'ammonitrate. Une étude de sensibilité sur cette hypothèse a été réalisée.

## II) RESULTATS et discussions

### 1) Résultats des trois principaux indicateurs

L'analyse de tous les indicateurs d'impacts potentiels (le potentiel de réchauffement climatique, la consommation d'énergie primaire non-renouvelable, le potentiel d'acidification, le potentiel d'eutrophisation en eau douce, le potentiel d'eutrophisation marine, le potentiel d'impact sur la toxicité humaine, et le potentiel d'impact sur l'écotoxicité dans les milieux air, sol et eau) démontre une meilleure performance environnementale de l'ammonitrate produit par GPN par rapport à l'urée ou à la solution azotée d'origine égyptienne. Pour plus de lisibilité, seuls les trois premiers indicateurs ont été retenus pour la communication (figure1, figure2, figure3).

L'avantage de l'ammonitrate s'explique par :

- un process de production industrielle optimisé, moins consommateur en énergie et moins émetteur de gaz à effet de serre
- des émissions de molécules polluantes au champ plus faibles du fait d'une moins grande richesse en azote uréique et ammoniacal
- une efficacité agronomique différente entre les trois formes du fait d'une plus grande richesse en azote nitrique, azote directement assimilable par la plante.

Il convient de noter que malgré des provenances géographiques diverses, la phase de transport de l'engrais n'influe que très peu les émissions de gaz à effet de serre générées tout au long du cycle de vie de l'engrais.

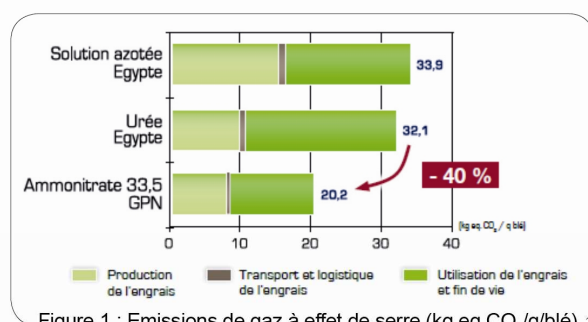


Figure 1 : Emissions de gaz à effet de serre (kg eq.CO<sub>2</sub>/q/blé)

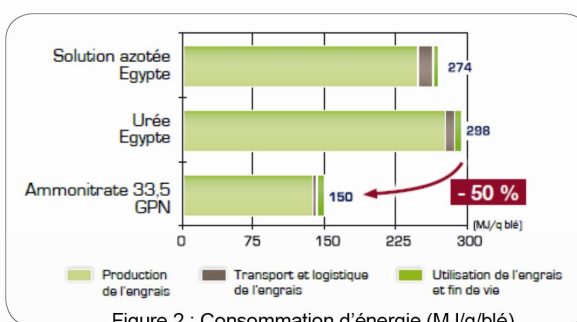


Figure 2 : Consommation d'énergie (MJ/q/blé)

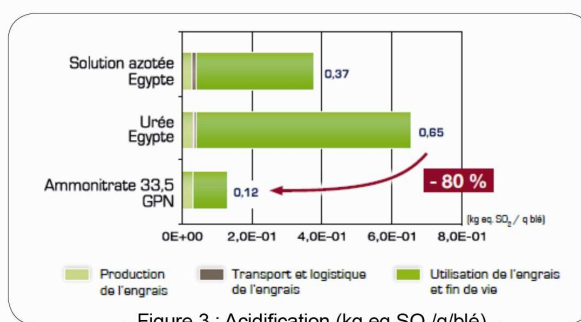


Figure 3 : Acidification (kg eq.SO<sub>2</sub>/q/blé)

Selon les indicateurs, l'importance relative de la phase de production et de la phase d'utilisation varie :

- la phase de production est la plus impactante pour l'indicateur de consommation énergétique,
- la phase d'utilisation est la plus impactante pour l'indicateur de potentiel d'acidification,
- les deux phases sont impactantes pour l'indicateur d'émissions de gaz à effet de serre.

Pour tester la significativité des résultats une analyse d'incertitude est réalisée selon la méthode de Monte Carlo. Sur la base d'une distribution probabiliste pour les variables d'entrée de l'inventaire (consommations de matières premières, d'énergie et émissions dans les différents milieux récepteurs), l'analyse de sensibilité a consisté à répéter un millier de fois le calcul de l'indicateur considéré en mettant en œuvre un échantillonnage aléatoire de valeurs pour les données de l'inventaire.

Pour tous les indicateurs, l'analyse d'incertitude permet de conclure à la significativité de la différence d'impact environnemental entre une fertilisation pour produire un quintal de blé avec de l'ammonitrate et la fertilisation avec de l'urée et de la solution azotée.

## 2) Analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité est réalisée afin de tester les hypothèses « sensibles » de l'étude notamment celles pour lesquelles il a été difficile de collecter des informations précises. En outre, cette analyse permet de regarder l'impact de changement de pratiques ou de process sur le cycle de vie des produits. Enfin, cette analyse permet de donner une portée plus générale à l'étude en utilisant des hypothèses moins spécifiques et en mesurant la sensibilité du résultat final.

### 2.1. Analyse de sensibilité sur l'énergie consommée pour la synthèse de l'ammoniac

La difficulté de collecte de données sur les consommations de gaz naturel des usines égyptiennes, ajoutée à la diversité des valeurs trouvées pour ce poste dans la bibliographie, justifient l'analyse de sensibilité. Il est donc comparé :

- la donnée utilisée dans l'étude, appelée Urée « Egypte », issue de valeurs réelles (moyennées et pondérées) de consommation de gaz naturel enregistrées dans plusieurs usines Egyptiennes
- avec les données issues de l'inventaire Ecoinvent (Urée « Ecoinvent »)
- avec les données issues du module de synthèse de l'ammoniac de l'usine d'ammonitrate : (urée « GPN »)

Il ressort de cette étude que (tableau 3), quelque soit le scénario étudié, et ce, pour les deux indicateurs concernés, l'impact sur l'environnement de l'ammonitrate reste plus faible que celui de l'urée.

**Tableau 3 : Résultats de l'analyse de sensibilité sur la consommation de gaz naturel pour la synthèse de l'ammoniac nécessaire à la production de l'urée**

	Potentiel de réchauffement climatique		Consommation d'énergie non-renouvelable	
	kg eq.CO2 / q blé produit	% de différence avec l'ammonitrate	MJ / q blé produit	% de différence avec l'ammonitrate
Urée « Egypte »	32,1	+58%	298	+99%
Urée « Ecoinvent »	28,8	+42%	229	+53%
Urée « GPN »	30,3	+49%	240	+60%

En revanche, le fait d'utiliser le module Ecoinvent ou le module GPN pour l'étape de synthèse de l'ammoniac a tendance à diminuer l'écart de résultat entre l'ammonitrate et l'urée.

### 2.2. Analyse de sensibilité sur les hypothèses de dose d'azote apporté et de rendement associé

Il a semblé pertinent de voir l'effet d'un changement dans les hypothèses de performance agronomique comparée des trois formes d'engrais :

- scénario « dose supérieure » : plusieurs références agronomiques montrent qu'en moyenne la dose optimale d'urée et de solution azotée doit être majorée de 10 à 15% pour atteindre le même rendement que celui obtenu avec la dose optimum d'ammonitrate. Sont ainsi testées trois doses (ammonitrate à 189 unités/ha, urée à 217 unités/ha et solution azotée à 208 unités /ha) pour un même rendement 80 q/ha
- scénario équivalent : dans ce cas aucune différence d'efficacité n'est considérée entre l'urée, la solution azotée (UAN) et l'ammonitrate (AN), c'est-à-dire une même dose (189 unités/ha) et même rendement (80 q/ha)

On remarque que (tableau 4), pour tous les indicateurs, un changement dans les hypothèses de différence d'efficacité entre les formes d'azote ne perturbe pas l'ordre de classement entre l'ammonitrate et les deux autres engrais. L'hypothèse « même rendement et dose plus élevée » augmente la différence entre l'ammonitrate et les deux autres engrais.

**Tableau 4 : Résultats de l'analyse de sensibilité sur les hypothèses de dose d'azote et de rendement**

		Potentiel de réchauffement climatique		Consommation d'énergie non-renouvelable		Potentiel d'acidification	
		kg eq.CO2 / q blé	% de différence avec AN	MJ / q blé	% de différence avec AN	kg eq.SO2 / q blé	% de différence avec AN
Etude	AN	20,2	0%	150	0%	1.21 E <sup>-1</sup>	0%
	Urée	32,1	+58%	298	+99%	6.53 E <sup>-1</sup>	+440%
	UAN	33.9	+68%	274	+83%	3.75 E <sup>-1</sup>	+210%
«dose supérieure»	Urée	35	+72%	326	+117%	7.13 E <sup>-1</sup>	+489%
	UAN	35.5	+76%	287	+91%	3.92 E <sup>-1</sup>	+224%
Scénario équivalent	Urée	30,5	+50%	284	+89%	6.21 E <sup>-1</sup>	+413%
	UAN	32.3	+60%	261	+74%	3.56 E <sup>-1</sup>	+194%

### 2.3. Analyse de sensibilité sur le niveau d'émission de N<sub>2</sub>O pour l'acide nitrique

Lors de la production d'acide nitrique nécessaire à la production d'ammonitrate (AN) et de solution azotée, des émissions de N<sub>2</sub>O se produisent, à un niveau variable selon les technologies utilisées. Ainsi, il est judicieux d'étudier la sensibilité de cette donnée.

La valeur retenue pour l'étude est celle de 0,35 kg N<sub>2</sub>O/ tonne de HNO<sub>3</sub> produite, car elle correspond au nouveau catalyseur de l'usine GPN qui permet un excellent taux d'abattement des émissions de N<sub>2</sub>O. Le benchmark réalisé par Fertilizers Europe (EFMA, 2007) indique une valeur moyenne de 1,24 kg N<sub>2</sub>O/ T de HNO<sub>3</sub> pour les 10% des unités de production d'acide nitrique les plus performantes d'Europe (Best Available Technologies BAT Eu).

Nous avons également construit un scénario qui repose sur l'hypothèse d'un niveau d'émission de 0,15 kg N<sub>2</sub>O/ T de HNO<sub>3</sub> (GCLDD, 2010). Ce dernier scénario est très optimiste en comparaison du niveau d'émission de l'unité GPN, déjà considéré comme très bas et au vu des investissements extrêmement coûteux que cela nécessiterait, mais son analyse peut permettre de valider ou non des pistes d'amélioration intéressantes à l'échelle du cycle de vie.

Seuls les résultats de l'impact sur le changement climatique sont présentés (tableau 5), car les émissions de N<sub>2</sub>O n'ont pas d'impact sur les autres indicateurs, aucune différence n'est donc observée en changeant le niveau d'émissions de N<sub>2</sub>O.

**Tableau 5: Résultats de l'analyse de sensibilité sur les émissions de N<sub>2</sub>O lors de la fabrication de l'acide nitrique pour la production d'ammonitrate**

	Emissions de N <sub>2</sub> O (kg eq. CO <sub>2</sub> / kg d'AN produit)	% de variation avec AN GPN	Potentiel de réchauffement climatique sur la production de blé (kg eq. CO <sub>2</sub> /q de blé)	% de variation avec AN GPN
unité GPN	1,15	0 %	20,2	0%
unité 10% BAT Eu	1,36	+ 18 %	21,7	7%
unité potentiel amélioration	1,1	- 4 %	19,9	- 1%

La nouvelle unité d'acide nitrique de GPN a permis un abattement très important des émissions de N<sub>2</sub>O, et de 18 % par rapport aux 10% meilleures unités du benchmark de Fertilizers Europe.

Le scénario qui repose sur l'hypothèse d'un abattement supplémentaire de 15 % des émissions de GES sur la phase de production de l'ammonitrate, n'entraîne qu'une amélioration de 1% de l'impact sur tout le cycle de vie de l'ammonitrate. En effet cette amélioration n'intervient que pour la phase de production ; or la phase d'utilisation de l'engrais est également très impactante sur l'indicateur de changement climatique. Ainsi, les améliorations à envisager pour le futur doivent porter sur les émissions au champ afin de favoriser les pratiques culturales qui minimisent le risque d'émissions.

Il est à noter que GES'TIM prend comme valeur pour les émissions de N<sub>2</sub>O 5.5 kg/ T HNO<sub>3</sub>, valeur très élevée au regard des avancées technologiques des usines actuellement en production.

## Conclusion

L'étude démontre une différence de performance environnementale entre les différentes formes d'azote. Méthode globale d'estimation des impacts environnementaux associés à un produit, l'ACV présente un nouvel outil d'amélioration des pratiques car il permet, dans le cas des engrais minéraux, d'identifier la forme d'azote la plus directement assimilable et présentant le moins d'effets secondaires sur l'environnement.

Une sensibilisation des acteurs sur le terrain aux meilleures pratiques à adopter doit se faire en portant ces résultats auprès des agriculteurs.

Une communication auprès des agriculteurs s'est engagée à l'aide d'une plaquette papier et d'un site web à destination des agriculteurs et de leurs conseillers ([www.bienchoisirsonazote.com](http://www.bienchoisirsonazote.com)). Par ailleurs, les coopératives agricoles ayant un rôle d'accompagnement et de conseil auprès des agriculteurs, GPN et InVivo ont jugé intéressant et novateur de reprendre les résultats de cette étude pour alimenter un outil de préconisation des formes d'azote. Cet outil, appelé Top'Az<sup>®</sup> permet à l'agriculteur de comparer les différentes formes d'engrais azotés sous un angle technico-économique mais également environnemental.

Par ailleurs, GPN et InVivo ont décidé d'élargir cette étude à d'autres cultures (colza, maïs et orge).

## Références bibliographiques

BOUWMAN A. F. and BOUMANS L.J.M, 2002, Emissions of N<sub>2</sub>O and NO from fertilized fields : summary of available measurement data, Global Biogeochemical Cycles VOL. 16 NO. 4.

BOUWMAN A. F. and BOUMANS L. J. M., 2002, Modeling global annual N<sub>2</sub>O and NO emissions from fertilized fields.

BRITISH SULPHUR CONSULTANTS, 2001, Investment and re-investment in ammonia and nitrogen fertilizer production, Appendix I-219, mise à jour 2008 également disponible

CORPEN, 2006, Les émissions d'ammoniac et de gaz azotés à effet de serre en agriculture. Groupe azote / ammoniac et gaz azotés d'origine agricole.

EFMA Emission Benchmark Survey, Nitric Acid installations 2007-2008 (AC Fiduciaire)

IFA, Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions in Ammonia Production 2008-2009 Summary report

Institut de l'élevage, IFIP, ITAVI, Arvalis, CETIOM & ITB. 2010. Ges'tim - Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre. Version provisoire 1.2, mai 2010.

GCLDD, janvier 2010, Etat, perspectives et enjeux du marché des engrais, Etude commandée par le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche.

LE SOUDER C. (ITCF), Taureau J.C. (Hydro Agri France), Richard H., Berhaut F., 1997, Formes d'engrais – Quelle incidence sur le rendement et la teneur en protéines du blé tendre d'hiver ?, Perspectives Agricoles n°221, Février 1997, p.67.

PATCH J.D., 2007, Ammonia production : energy efficiency, CO<sub>2</sub> balances and environmental impact, Proceedings n°601, International Fertiliser Society

Pool Fertil InVivo AgroSolutions, Synthèse Cultures de Printemps, Paris, le 13 Mars 2012