



Réduction de l'impact des fertilisants sur les émissions atmosphériques

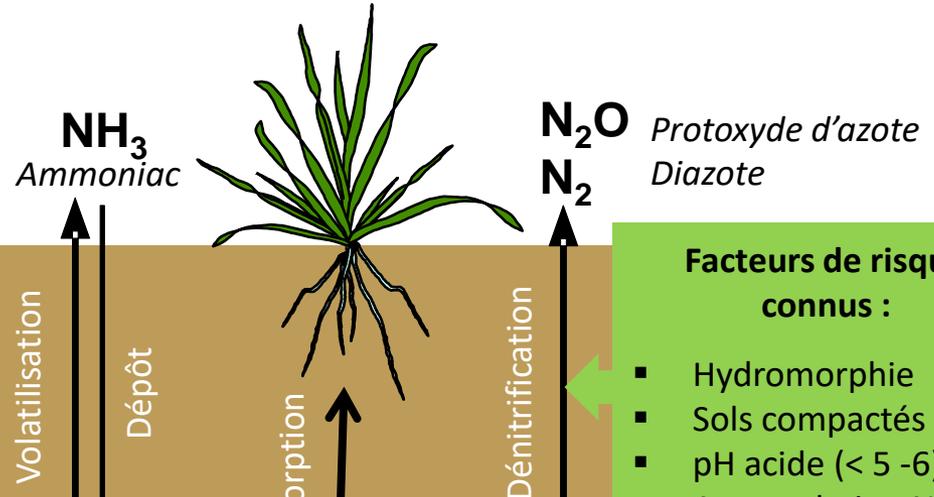
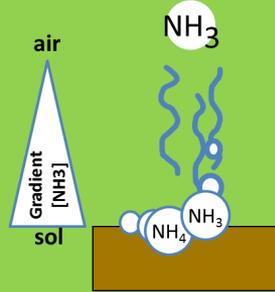
Grégory Véricel

ARVALIS
Institut du végétal

Transformations de l'azote dans le sol et pertes environnementales

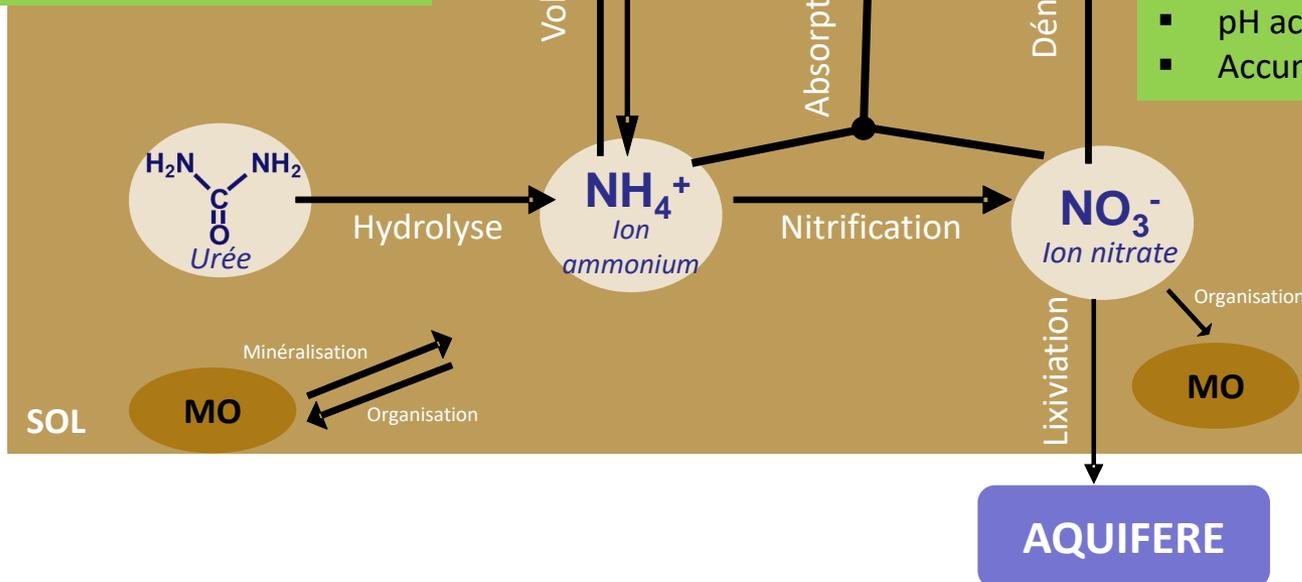
Facteurs de risque connus :

- Température > 10°C
- Vent
- Humidité du sol
- Propriétés du sol (pH)
- Formes d'engrais
- Mauvaise absorption par la culture



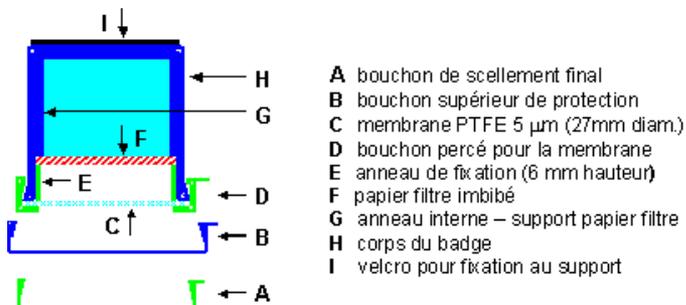
Facteurs de risque connus :

- Hydromorphie
- Sols compactés
- pH acide (< 5 -6)
- Accumulation NO₃⁻



Suivi des concentrations NH₃ au champ

Principe n°1 : suivi des quantités de NH₃ émis via des pièges portant des filtres imbibés d'acide (badge ALPHA) installés et relevés à pas de temps réguliers au champ.



Projet CASDAR
VOLAT'NH3
(2010-2012)



LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DE LA PÊCHE ET DE LA FORÊT

avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale «développement agricole et rural»

Principe n°2 : Suivi par modalités testées à 2 hauteurs de mesures (30 cm et 1 m de la source) + suivi sur des mâts de 3 m entourant les essais pour capter le « bruit de fond » du site d'essai.



Principe n°3 : Les quantités de NH₃ captés sont extraites et quantifiées par analyses au laboratoire (prestataire actuel = LDAR).

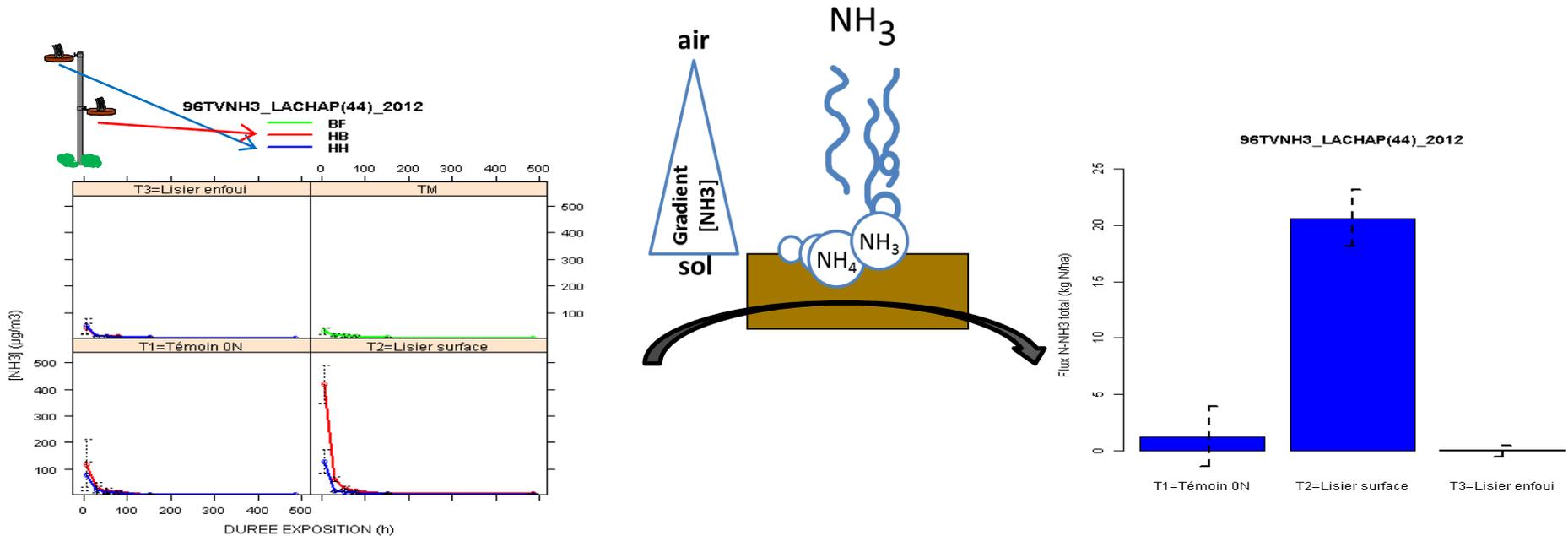
Identification des badges								Suivi des badges									
N° badge	Organisme	Site	Date de relevés	Modalité	Bloc	Hauteur	Répétition	Code badge	Date installation	Heure installation	Heure retrait	Heure retrait	Date expédition vers LDAR	Date réception au LDAR	Date Analyse	CONC en NH4 en mg/l	NH4 en mg
1	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010001						20010101	20010101		100
2	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010002						20010101	20010101		100
3	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010003						20010101	20010101		100
4	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010004						20010101	20010101		100
5	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010005						20010101	20010101		100
6	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010006						20010101	20010101		100
7	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010007						20010101	20010101		100
8	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010008						20010101	20010101		100
9	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010009						20010101	20010101		100
10	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010010						20010101	20010101		100
11	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010011						20010101	20010101		100
12	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010012						20010101	20010101		100
13	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010013						20010101	20010101		100
14	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010014						20010101	20010101		100
15	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010015						20010101	20010101		100
16	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010016						20010101	20010101		100
17	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010017						20010101	20010101		100
18	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010018						20010101	20010101		100
19	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010019						20010101	20010101		100
20	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010020						20010101	20010101		100
21	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010021						20010101	20010101		100
22	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010022						20010101	20010101		100
23	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010023						20010101	20010101		100
24	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010024						20010101	20010101		100
25	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010025						20010101	20010101		100
26	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010026						20010101	20010101		100
27	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010027						20010101	20010101		100
28	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010028						20010101	20010101		100
29	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010029						20010101	20010101		100
30	AFV	ABC	01	T1	B1	30	10	200-0001-17010030						20010101	20010101		100

Technique initiée par le CEH d'Edinburgh (Sutton et al. 2001)

Projet CASDAR
VOLAT'NH3
(2010-2012)

Méthode mise au point et validée dans le projet VOLAT'NH3

Utilisation du principe du gradient $[\text{NH}_3]$ à l'origine du phénomène



Non utilisable en valeurs absolues, mais permet d'évaluer la qualité des émissions calculées

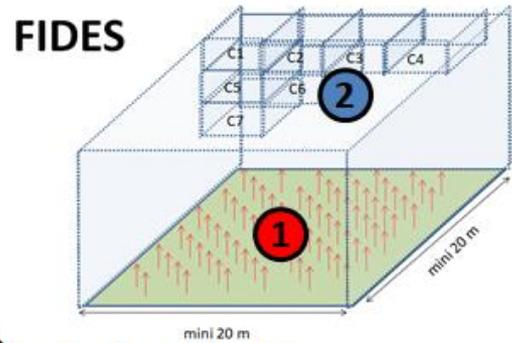
Calcul des flux par FIDES inversé

Projet ADEME
EvaPRO
(2015-2019)

Méthode mise au point et validée dans le projet EvaPRO



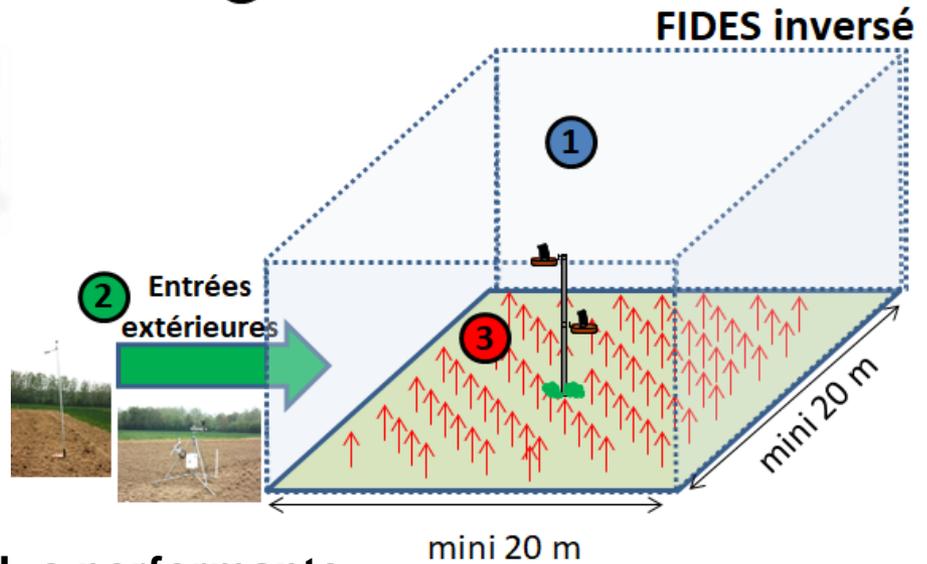
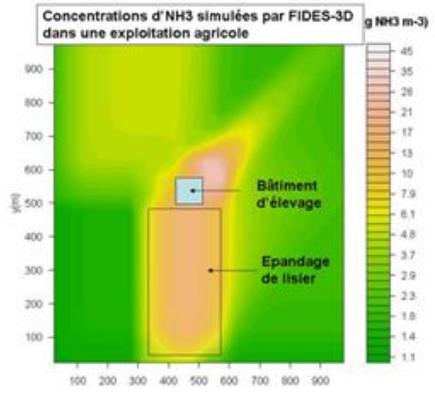
Inversion d'un modèle d'estimation des $[NH_3]$ à partir d'une source connue (FIDES)



- 1 mesurant $[NH_3]$ en certains points
- 2 et connaissant l'environnement extérieur ...
- 3 ... on estime la source



- 1 connaissant la source ...
- 2 ... on calcule $[NH_3]$ en tout point



Méthode plus performante,
pouvant être utilisée en valeurs absolues

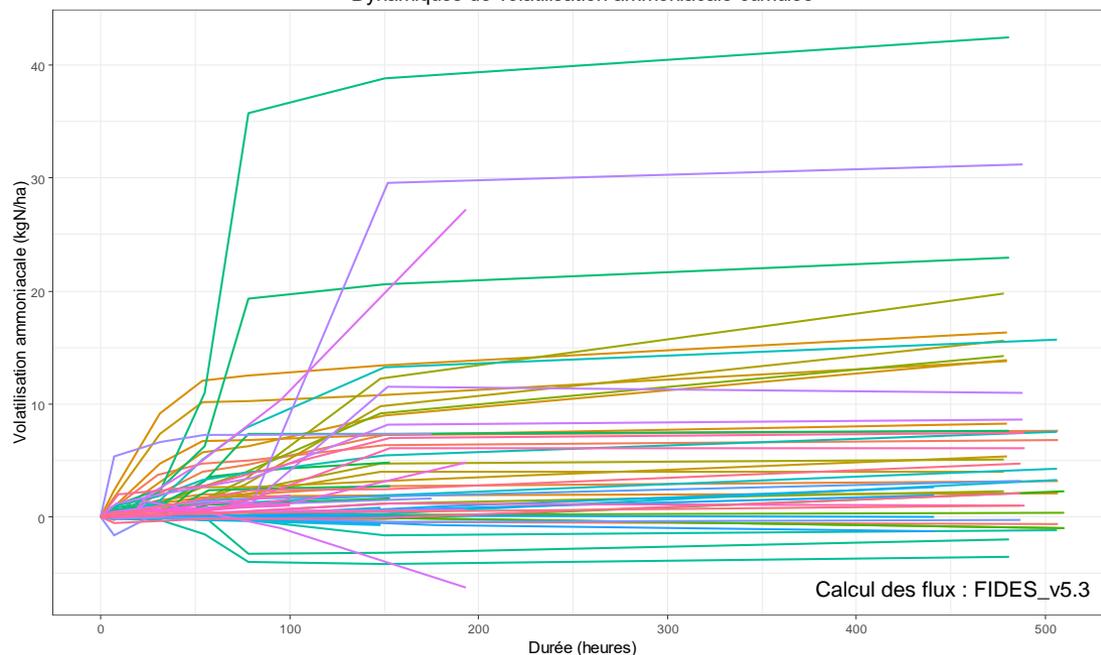
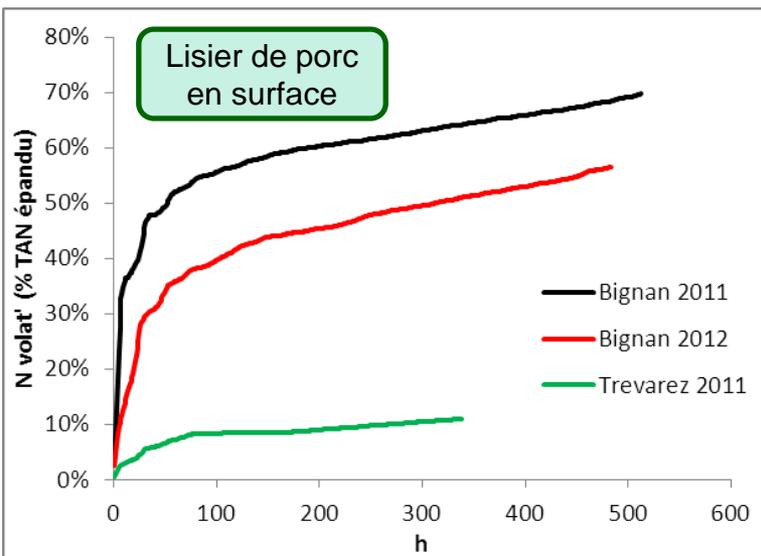
Des cinétiques de volatilisation d'azote ammoniacal variables

Projet CASDAR
VOLAT'NH3
(2010-2012)

Projet ADEME
EvaMIN
(2016-2020)

16 essais au champ (51 modalités d'épandage),
répartis sur 3 années (2016 à 2017)

Dynamiques de volatilisation ammoniacale cumulée



- Apports de lisier en surface soumis à des pertes par volatilisation ammoniacale d'ampleur variable selon sites et années
 - Pertes d'azote par volatilisation ammoniacale très variables (allant de 0 à 42 kgN/ha)
 - Des dynamiques plus progressives pour les engrais minéraux que pour les PRO

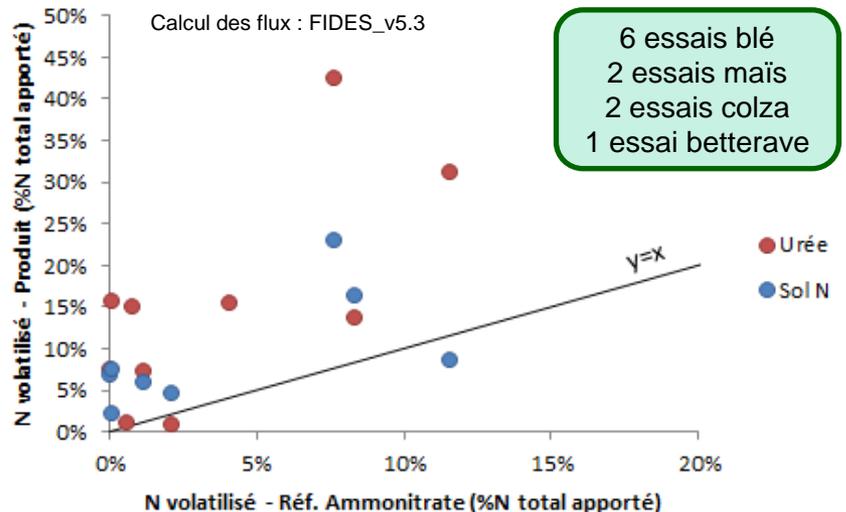
Un effet forme d'azote important sur les pertes par volatilisation

NOM	U/NH ₄ /NO ₃ (% N-Total)	N-Total (% masse)	N-UREE (% masse)	N-NH ₄ ⁺ (% masse)	N-NO ₃ ⁻ (% masse)	Inhibiteur
AMMONITRATE 33.5	0/50/50	33.5	0	16.75	16.75	
SOLUTION N 390*	50/25/25	30	15	7.5	7.5	
UREE SOLIDE	100/0/0	46	46			
SOLUTION N 390 + NBPT	50/25/25	30	15	7.5	7.5	NBPT
UREE + NBPT	100/0/0					NBPT

*N-Total en % volumique = 39 % (densité = 1.3)

** aussi appelé DAP ou 18-46

Projet ADEME EvaMIN
(2016-2020)



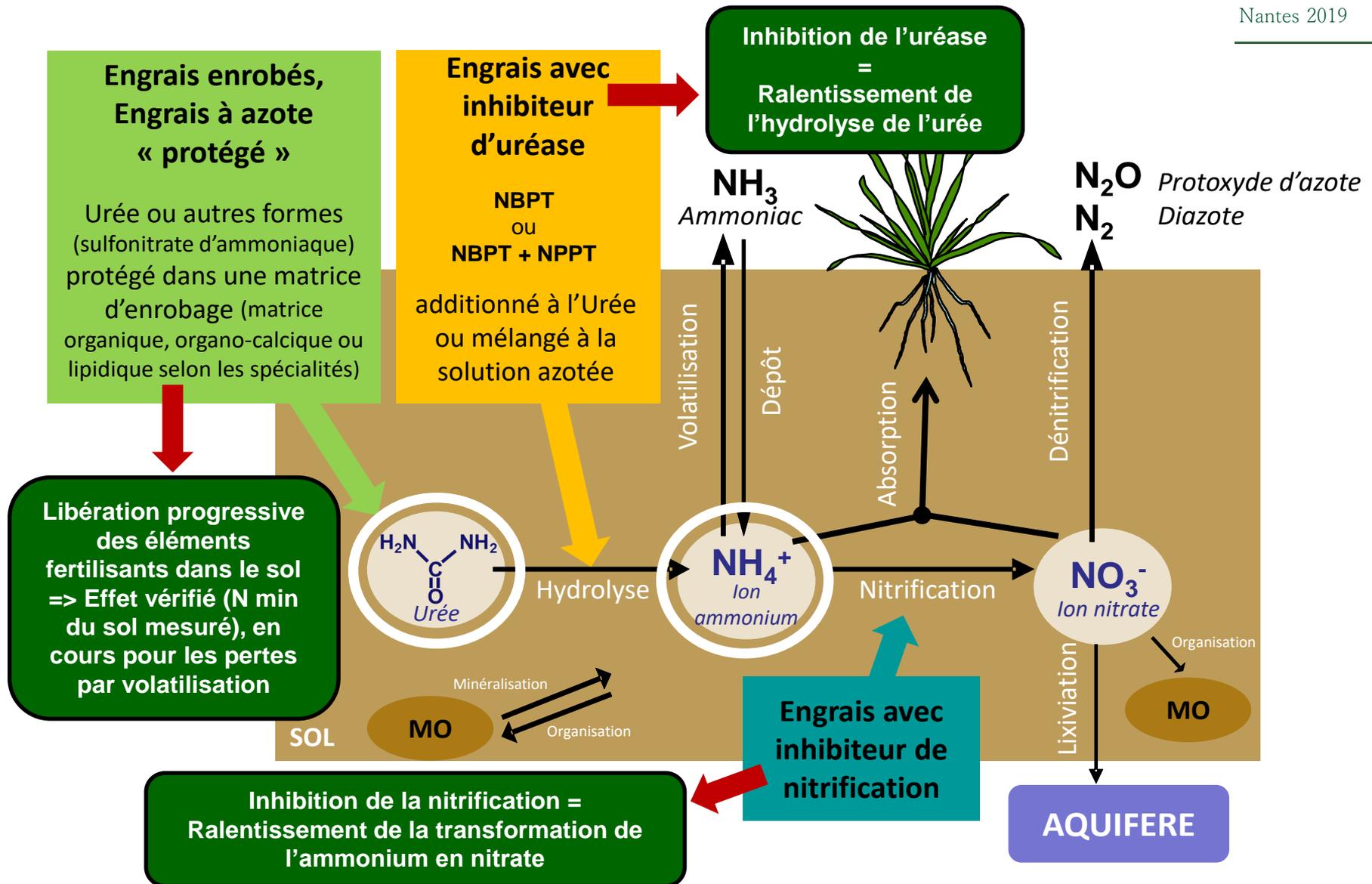
AMMO < Solution N < Urée

Résultats cohérents avec la bibliographie internationale

Comparaison / Ammonitrate	Urée	Solution N
%N volatilisé	+11.5***	+5.6**
	6 essais	4 essais

Test statistique en comparaison à la référence Ammonitrate (comparaison de moyennes appariées) :
Différence significative au seuil de 5 % (**) et 1% (***)
NS : différence non significative

Modes d'action des engrais innovants



Efficacité des inhibiteurs de l'uréase

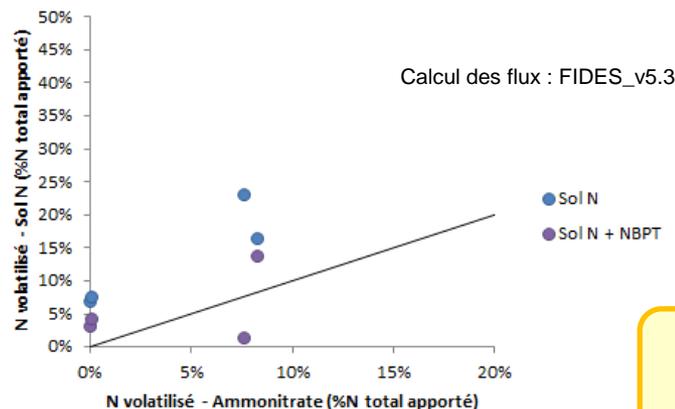
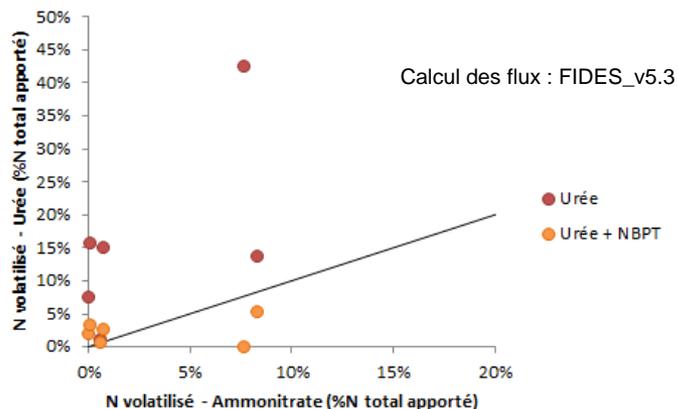
Projet ADEME EvaMIN
(2016-2020)

4 essais blé (2016-2018)
2 essais maïs (2016-2017)

→ Les inhibiteurs de l'uréase efficaces pour réduire les pertes par volatilisation

Cohérent avec la bibliographie internationale

39 essais blé (2013-2018)
ACOLYANCE, ARVALIS, SOUFFLET et VIVESCIA



Comparaison / Ammonitrate	Urée	Urée + NBPT	Solution N	Solution N + NBPT
%N volatilisé	+13.1**	-0.5 ^{NS}	+9.4**	+1.6 ^{NS}
	6 essais		4 essais	

Test statistique en comparaison à la référence Ammonitrate (comparaison de moyennes appariées) :

** : Différence significative au seuil de 5 %.

NS : différence non significative

Comparaison / Ammonitrate	Urée	Urée + NBPT	Solution N	Solution N + NBPT
CAU (%)	-3.6**	+1.7 ^{NS}	-10.1***	-5.4***
	39 essais		25 essais	

Test statistique en comparaison à la référence Ammonitrate (comparaison de moyennes appariées) :

Différence significative au seuil de 5 % (**) et 1%(***)

NS : différence non significative

=> Lien entre sensibilité à la volatilisation et efficacité agronomique ?

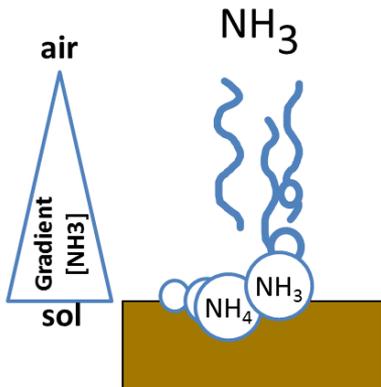
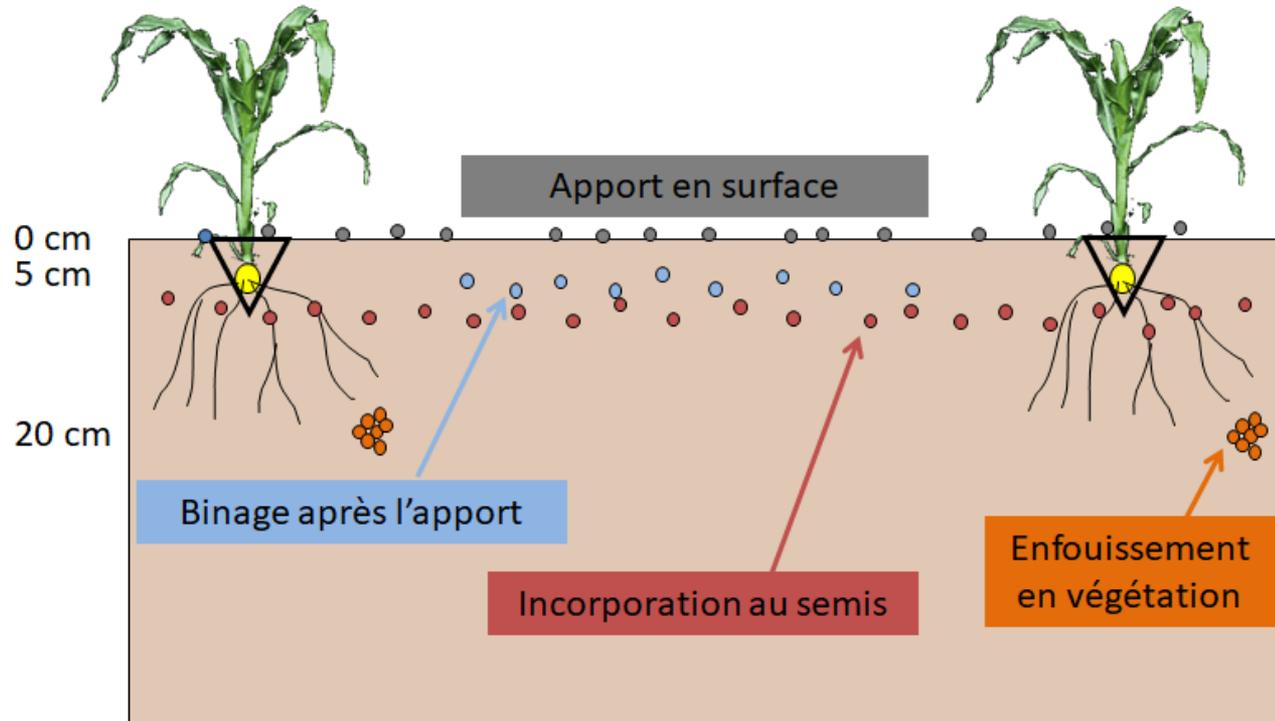
La Solution N est moins sensible à la volatilisation ammoniacale que l'urée, mais son efficacité agronomique est moindre → effet forme physique ?

=> En sol non calcaire : environ 2 fois moins de pertes mais efficacité similaire du NBPT

Efficacité de l'enfouissement

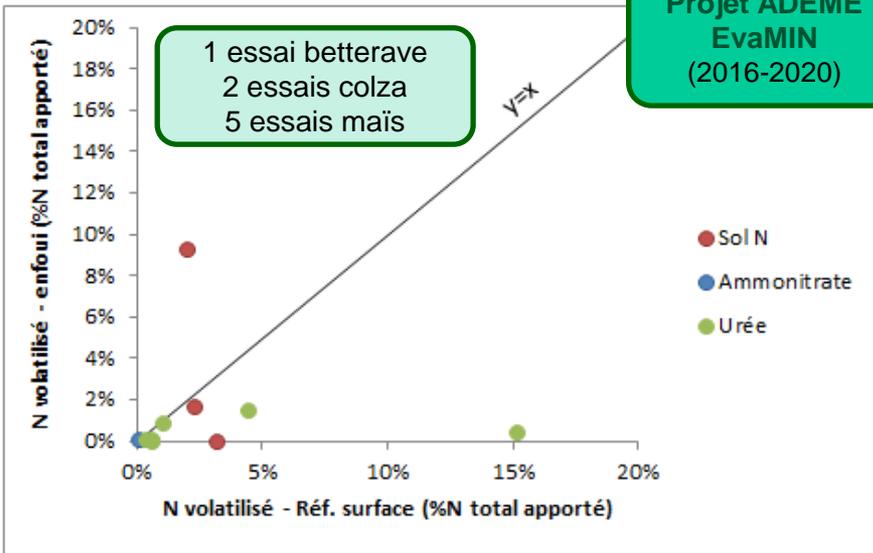
Projet ADEME EvaMIN
(2016-2020)

Modalités d'enfouissement évaluées dans EvaMIN

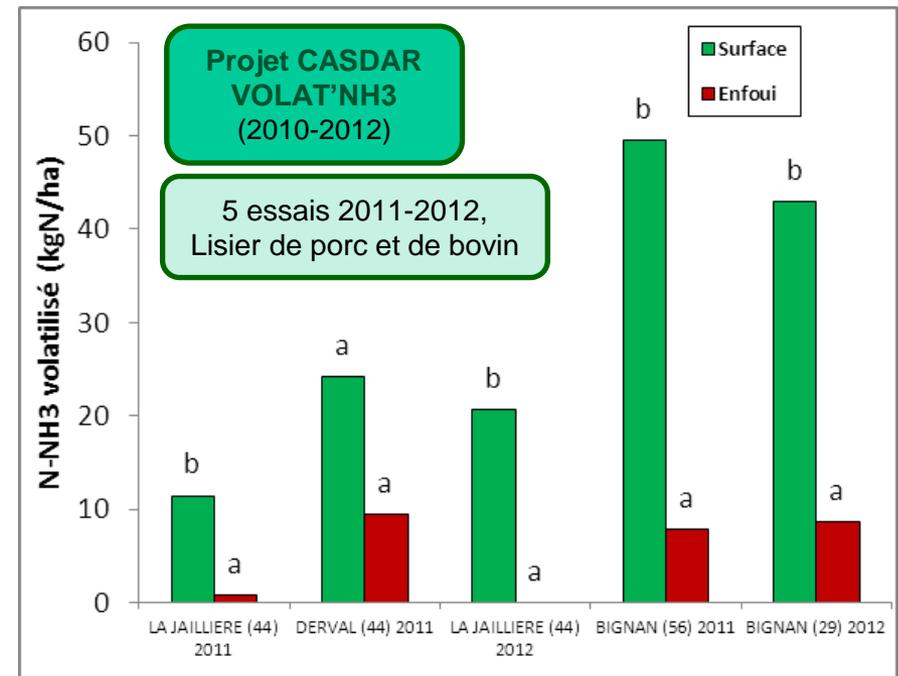


**Enfouissement = barrière physique à la volatilisation
= suppression du gradient [NH3] sol-air**

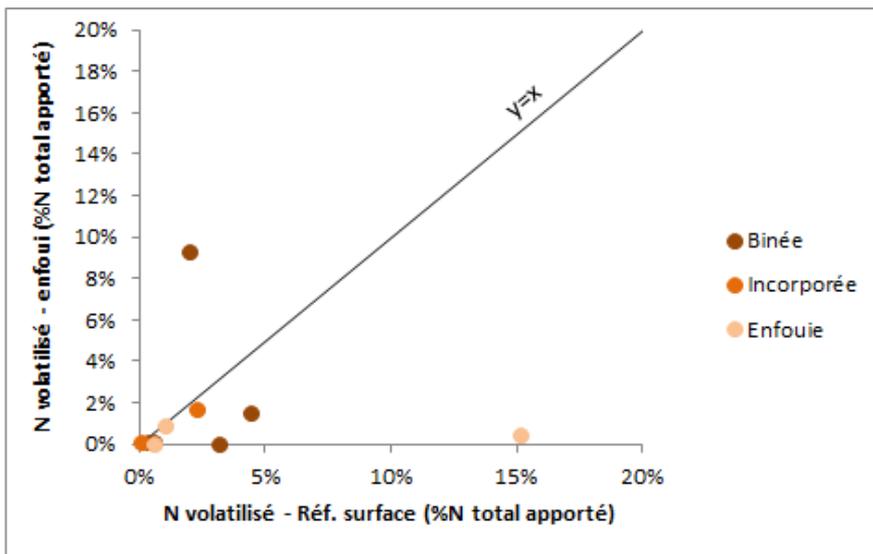
Efficacité de l'enfouissement



Pas d'effet significatif dans le réseau d'essais EvaMIN, mais seul 1 essai a présenté des conditions volatilisantes



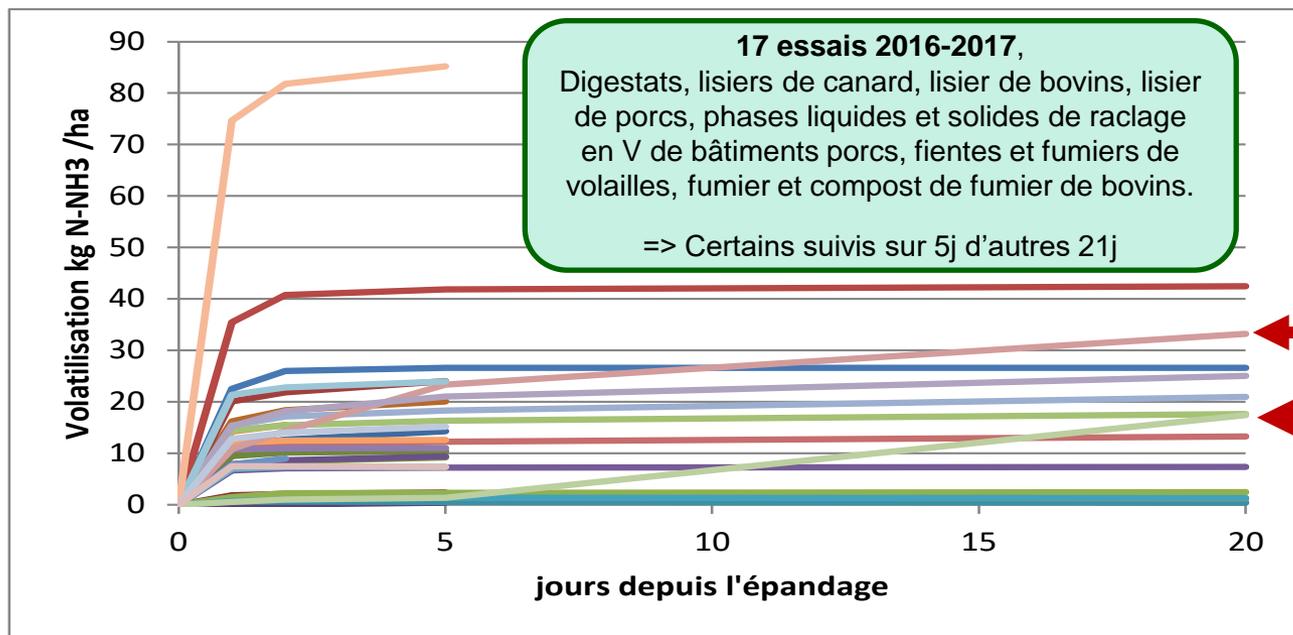
➤ **L'enfouissement rapide (<12h) est un levier efficace pour réduire les pertes par volatilisation ammoniacale**



Cinétiques de volatilisation d'azote ammoniacal issu des PRO

Projet ADEME
EvaPRO
(2015-2019)

17 essais au champ
(31 modalités d'épandage),
répartis sur 2 années (2016 et 2017)



Pertes d'azote par volatilisation ammoniacale allant de 0.3 à 85.2 kg de N/ha

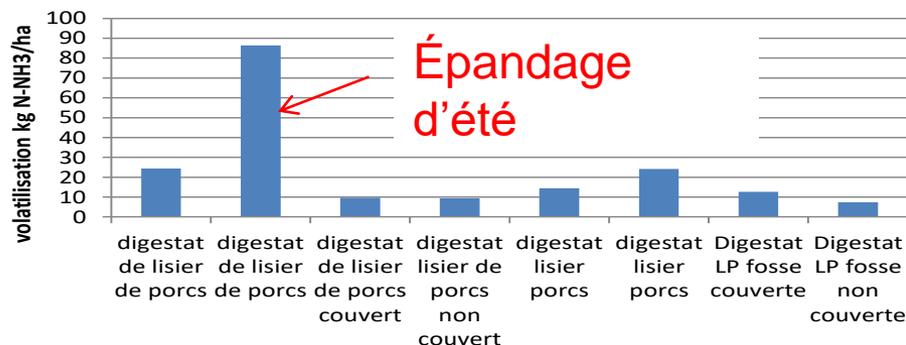
2 cinétiques particulières fumier de poulet de chair et fientes sèches : N uréique ?

- produits liquides : entre 60 et 80% du total perdu en 1 jour
- produits solides : entre 30 et 90% du total perdu en 1 jour

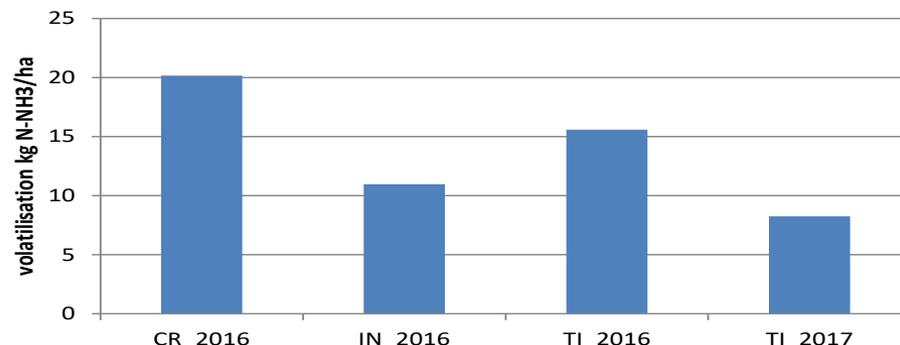
Pertes liées aux digestats de lisier de porcs

Projet ADEME
EvaPRO
(2015-2019)

digestat de lisier de porcs



Lisiers de porcs



Les digestats de lisiers de porcs perdent en moyenne 15.7% du N-NH₄ (de 6 à 50%)

Les lisiers de porcs perdent en moyenne 22% du N-NH₄ (de 15 à 32%)

=> Importance de la période d'apports pour limiter les pertes : conditions de température, humidité et besoins des cultures

PREPA : déclinaison de la directive UE 2016/2284

Directive UE 2016/2284
Révision de la directive NEC
(National Emission Ceilings)



**Guide des bonnes pratiques
agricoles dans chaque Etat Membre**

Objectif :

Favoriser la diffusion des pratiques
agricoles les plus pertinentes pour réduire
les émissions de polluants dans l'air

**PREPA = Plan national de Réduction des
Emissions de Polluants Atmosphériques**

⇒ **Adopté en 2017 par le
gouvernement français**



- Vise à réduire de 13% les émissions de NH_3 en 2030 par rapport au niveau d'émissions de 2005
- Tous les secteurs concernés et tenus de participer à l'effort collectif

⇒ **Guide paru en avril 2019 en France**

Composé de fiches synthétiques qui
décrivent une ou plusieurs pratiques
permettant de réduire les émissions de NH_3 .

- 9 fiches (n°1 à 9) concernant l'élevage
(*alimentation, gestion effluents, bâtiments*)
- 5 fiches (n°10 à 14) concernant les cultures

Guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air

<https://www.ademe.fr/rapport-detude-guide-bonnes-pratiques-agricoles-lamelioration-qualite-lair>

Recommandations pour limiter les pertes par volatilisation

- **Substitution partielle des engrais azotés minéraux par des sources alternatives d'azote**
 - ✓ Réduire les apports d'engrais azotés minéraux en introduisant des légumineuses dans les rotations et les prairies (*Fiche 10*)
- **Optimisation des apports d'azote (par l'ajustement des doses et des conditions favorables à leur valorisation)**
 - ✓ Optimiser les apports d'azote à l'aide d'un **bilan azoté prévisionnel** puis en ajustant les apports d'azote en cours de culture à l'aide d'un **outil de pilotage** (*Fiche 11*)
 - ✓ **Retarder le 1er apport** en céréales d'hiver et colza pour augmenter son efficacité (*Fiche 11*)
⇒ *Fractionner les apports en privilégiant les périodes de forte absorption des cultures*
 - ✓ **Eviter les épandages pendant les périodes de fortes températures et de vent** (*Fiche 11*)
 - ✓ **Favoriser les épandages avant la pluie**, sous réserve d'une prévision de pluie suffisante d'au moins 10 à 15 mm (*Fiche 11*)
- **Adapter les techniques d'apport des produits organiques pour limiter les pertes par volatilisation**
 - ✓ Utiliser une **rampe à pendillards** pour épandre les effluents liquides (*Fiche 12*)
 - ✓ **Incorporer les lisiers et fumiers dès que possible** après l'épandage ou **enfouir directement le lisier** (*Fiche 12*)
- **Privilégier les engrais azotés minéraux les moins émissifs**
 - ✓ **Privilégier l'ammonitrate, les urées granulées à libération progressive et contrôlée** (urées enrobées) **ou les urées granulées avec inhibiteurs d'uréase** à la solution azotée et à l'urée (*Fiche 13*)
 ⇒ *Saisie par plusieurs ministères sur la question de l'innocuité des inhibiteurs dont les inhibiteurs d'uréase, l'ANSES a indiqué qu'elle manquait d'éléments pour garantir l'absence de risque pour l'environnement et le consommateur*
- **Adapter les techniques d'apport d'engrais azotés minéraux pour limiter les pertes par volatilisation**
 - ✓ **Enfouir l'urée et la solution azotée rapidement** après l'épandage si possible au moyen d'un binage ou mieux en l'injectant directement dans le sol (*Fiche 14*)
 - ✓ **Irriguer après un apport** d'urée ou de solution azotée (*Fiche 14*)

MERCI DE VOTRE ATTENTION DES QUESTIONS ?

Merci aux partenaires et financeurs des projets :

- **VOLAT'NH3** (Evaluation et maîtrise de la volatilisation ammoniacale lors des épandages des engrais organiques et minéraux)



- **EvaPRO** (Evaluation des pertes d'azote par Volatilisation Ammoniacale suite à l'épandage de Produits Résiduaire Organiques)



- **EvaMin** (Evaluation des pertes d'azote par Volatilisation Ammoniacale suite à l'épandage d'engrais MINéraux)

