



# La volatilisation des engrais azotés

**ARVALIS**  
Institut du végétal

**Didier LASSERRE**

# Evaluation des pertes d'azote par volatilisation ammoniacale suite à l'épandage de produits résiduaux organiques et d'engrais minéraux

Résultats acquis dans le cadre du projet CASDAR VOLAT'NH<sub>3</sub>

**ARVALIS**  
Institut du végétal

**INRA**  
SCIENCE & IMPACT  
UMR EGC/UMR SAS

**unifa**

**ACTA**  
Le réseau des instituteurs des filières arboricoles et végétales

**CETIOM**  
Centre technique interprofessionnel des ovins et des caprins

**ifip**  
institut du porc

Soutien financier

**INSTITUT DE L'ELEVAGE**

**LIBERTÉ • ÉGALITÉ • FRATERNITÉ**  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT

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

Résultats acquis dans le cadre du projet INTERREG INDEE

**ARVALIS**  
Institut du végétal

Soutien financier

**interreg**  
Oberrhein  
Rhin Supérieur

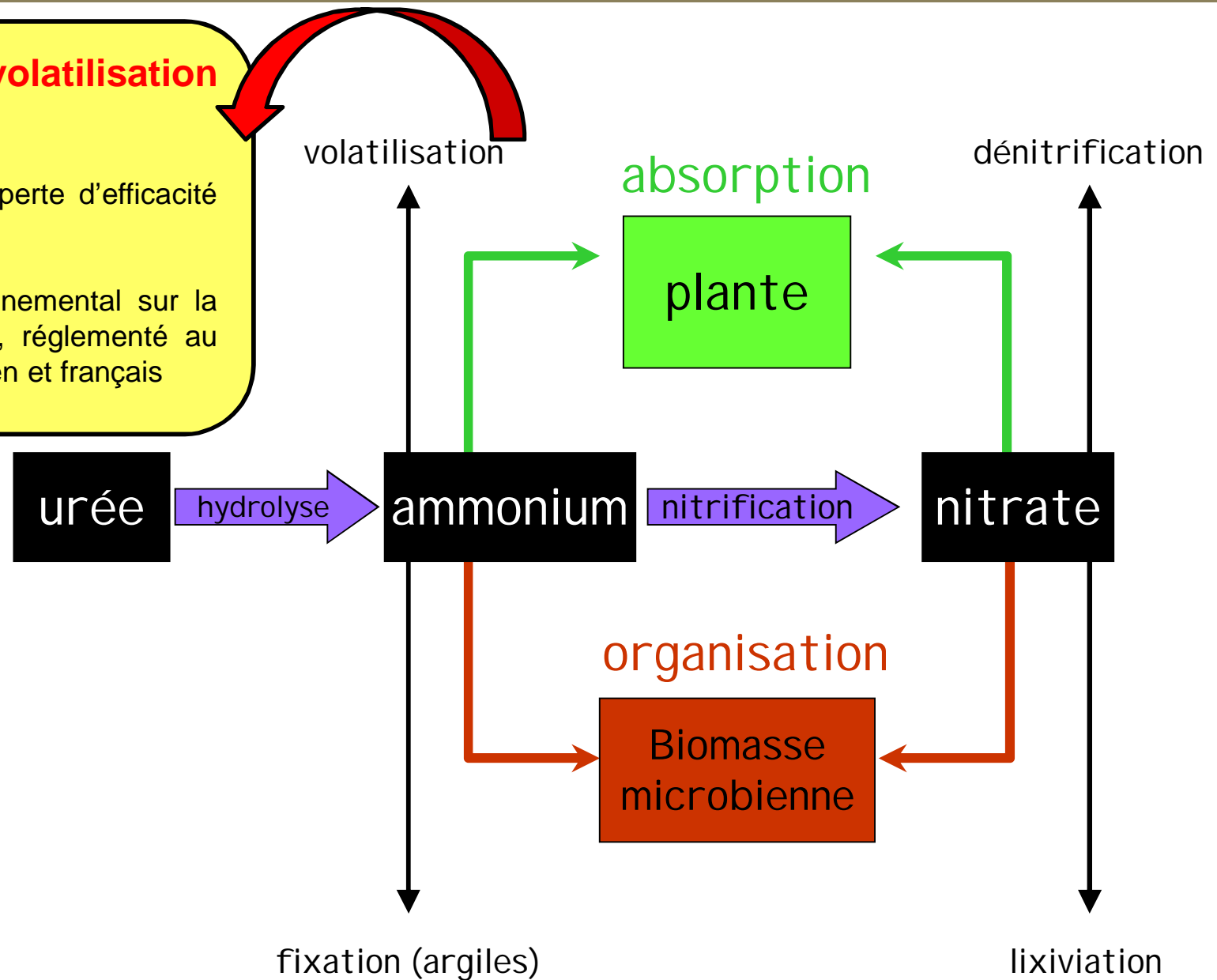
**INDEE**



# Devenir d'un apport d'engrais N

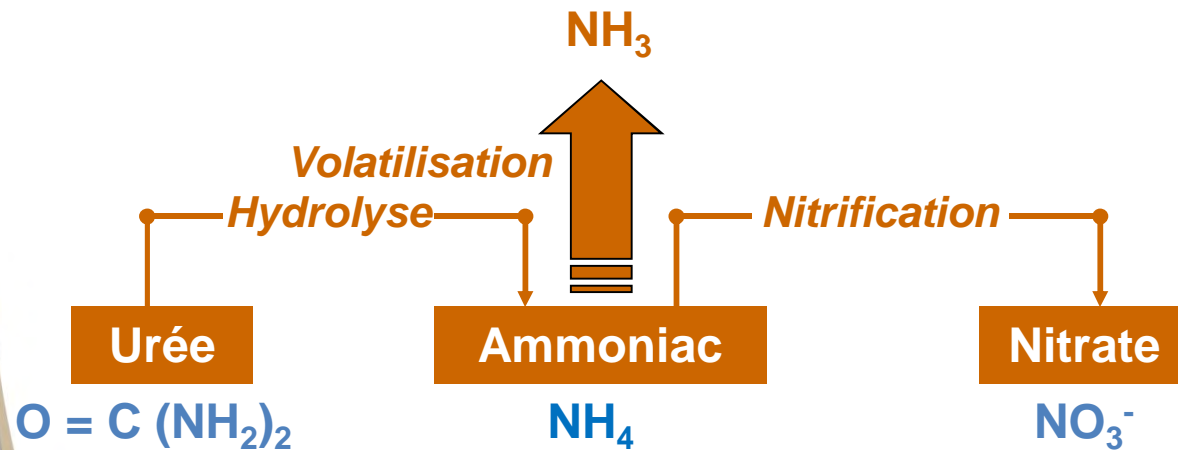
## Pertes par volatilisation ammoniacale

- 1<sup>er</sup> facteur de perte d'efficacité des apports N
- Impact environnemental sur la qualité de l'air, réglementé au niveau européen et français

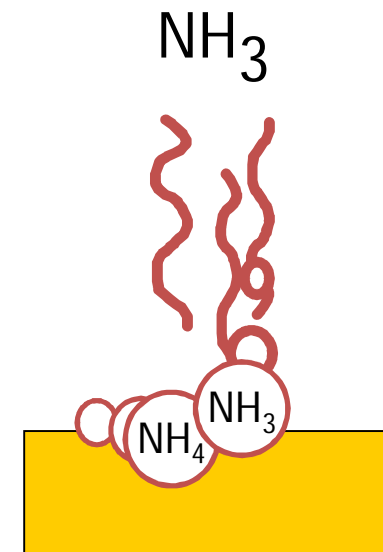


## Facteurs de risques

- *Température > 10°C*
- *Vent*
- *Humidité du sol*
- *Propriétés du sol (pH)*
- *Mauvaise absorption par la culture*



Enfouissement = barrière physique à la volatilisation



# Réseau expérimental volatilisation 2011 – 2012 – (2013/2014)



29 - TON/Lisier porcin surface/Digestat de Lisier porcin en sol nu avant maïs

27 - TON/AMMO/SOL N sur BTH



51 - TON/AMMO/SOL N sur BTH



51 - AMMO/UREE sur BTH et OH



67 - 68 - UREE/CULTAN sur Maïs



56 - TON/Lisier porcin surface/Lisier porcin + enfouissement en sol nu avant maïs



44 - TON/Fumier bovin surface/Fumier bovin + enfouissement en sol nu avant maïs



44 - TON/Lisier bovin surface/Lisier bovin + enfouissement en sol nu avant maïs



86 - AMMO/UREE sur COLZA et BTH





# Méthodologie employée : la modélisation des flux

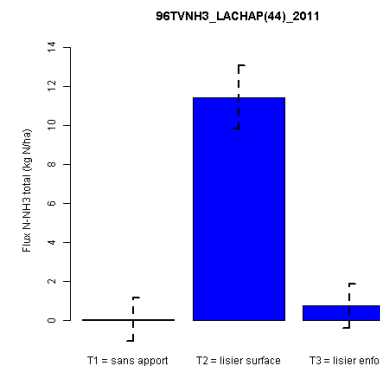
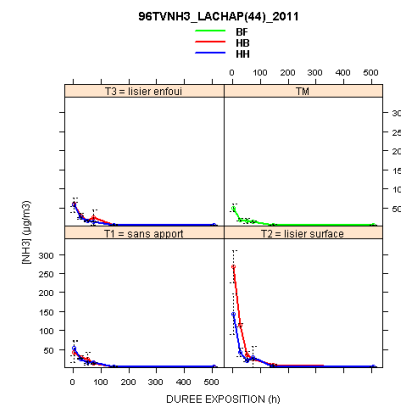
**1<sup>ère</sup> étape** : à partir des quantités émises, on calcule les concentrations en  $\text{NH}_3$  de l'air aux différentes hauteurs.



Données météo

**2<sup>ème</sup> étape** : Calculs des flux de N- $\text{NH}_3$  en kgN/ha au pas de temps horaire.

- Méthodologie initiée par l'INRA EGC (Loubet et al. 2010 et 2011) et testée initialement par l'UNIFA
- Méthodologie validée sur de grandes unités expérimentales (1 ha)





## Les formes d'engrais azotés « classiques »

NOM	U/NH <sub>4</sub> /NO <sub>3</sub> (% N-Total)	N-Total (% masse)	UREE (% masse)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (% masse)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (% masse)	SO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (% masse)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (% masse)
UREE SOLIDE	100/0/0	46	46				
SOLUTION N 390*	50/25/25	30	15	7.5	7.5		
AMMONITRATE 33.5	0/50/50	33.5	0	16.75	16.75		
AMMONITRATE 27	0/50/50	27	0	13.5	13.5		
Di-Ammonium Phosphate**	0/100/0	18	0	18	0		46
Sulfonitrate d'ammoniaque	0/71/29	26	0	18.5	7.5	32.5	
Sulfate d'ammoniaque	0/100/0	21	0	21	0	60	

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

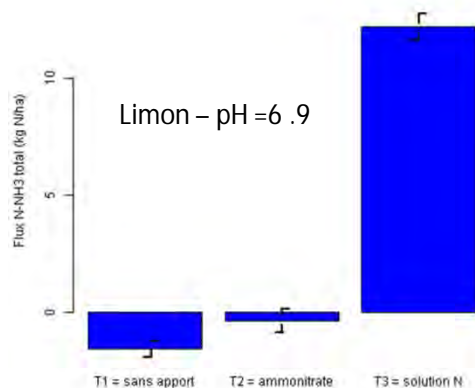
\*\* aussi appelé DAP ou 18-46

**Rq : ALZON 46 = UREE SOLIDE avec inhibiteur de nitrification**

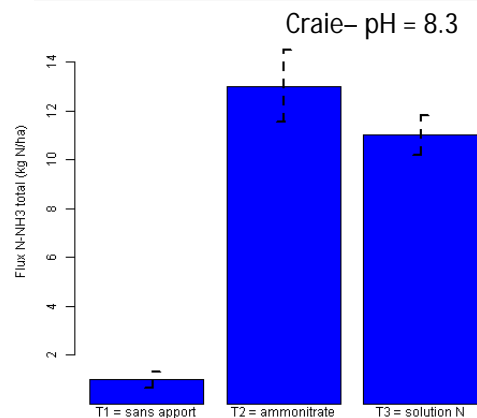


# Ammonitrate / Solution azotée sur céréales

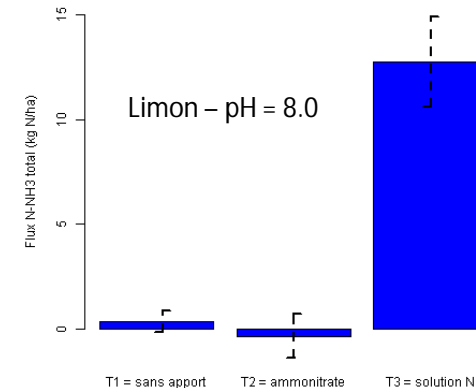
Bernienville (ARVALIS-27) 2011



Vraux (ARVALIS-51) 2011



Bernienville (ARVALIS-27) 2012



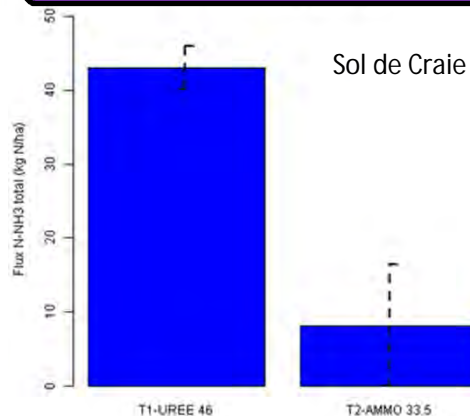
- Apports à épi 1 cm
- Deux années d'expérimentations très contrastées sur le plan météorologique

Essai	Modalité	N-Total épandu (kgN/ha)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> épandu (kgN/ha)	Flux N-NH <sub>3</sub> (kgN/ha)	Flux N-NH <sub>3</sub> (%) N-Total	Flux N-NH <sub>3</sub> (%) N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
BERNIENVILLE (27) 2011	AMMONITRATE	100	50	0	0%	-1%
	SOLUTION N	100	75	12	12%	16%
VRAUX (51) 2011	AMMONITRATE	100	50	13	13%	26%
	SOLUTION N	100	75	11	11%	15%
Essai	Modalité	N-Total épandu (kgN/ha)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> épandu (kgN/ha)	Flux N-NH <sub>3</sub> (kgN/ha)	Flux N-NH <sub>3</sub> (%) N-Total	Flux N-NH <sub>3</sub> (%) N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
BERNIENVILLE (27) 2012	AMMONITRATE	100	50	0	0%	-1%
	SOLUTION N	100	75	13	13%	17%
VRAUX (51) 2012	AMMONITRATE	100	50	4	4%	8%
	SOLUTION N	100	75	8	8%	10%

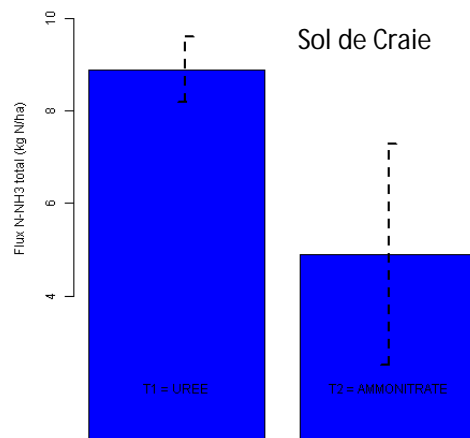
Modèle de flux utilisé: Gradient V2\_2

# Ammonitrate / Urée sur céréales

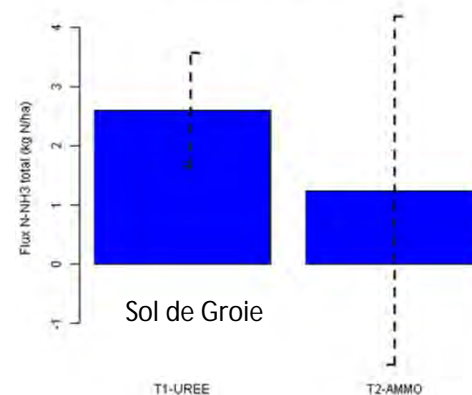
Faux (UNIFA-51) 2011 / Z30



Thibie (UNIFA-51) 2012 / Z31



Jarzay (UNIFA-86) 2012 / Z30



Essai	Modalité	N-Total épandu (kgN/ha)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> épandu (kgN/ha)	Flux N-NH <sub>3</sub> (kgN/ha)	Flux N-NH <sub>3</sub> (% N-Total)	Flux N-NH <sub>3</sub> (% N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )
FAUX (51) 2011 - Z30	UREE SOLIDE	100	100	43	43%	43%
	AMMONITRATE	100	50	8	8%	16%
FAUX (51) 2011 - Z39	UREE SOLIDE	50	50	4	8%	8%
	AMMONITRATE	50	25	2	5%	10%
THIBIE (51) 2012 - Z30	UREE SOLIDE	80	80	9	11%	11%
	AMMONITRATE	80	40	5	6%	12%
JARZAY (86) 2012 - Z30	UREE SOLIDE	65	65	3	4%	4%
	AMMONITRATE	65	32.5	1	2%	4%
JARZAY (86) 2012 - Z39	UREE SOLIDE	50	50	7	15%	15%
	AMMONITRATE	50	25	5	10%	21%

Modèle de flux utilisé: Gradient V2\_2



# Les différentes modalités testées dans le cadre du projet INDEE (sur maïs)

	UREE 46 SURFACE	UREE 46 ENFOUIE	CULTAN [SULF AMMO]	CULTAN [ALZON]
ENTZHEIM (67)-2012	X		X	
ENTZHEIM (67)-2013	X			X
ENTZHEIM (67)-2014	X	X		X
RUSTENHART (68)-2013	X			X
ARTZENHEIM (68)-2014	X	X		X

# ENTZHEIM 2012

- **Type de sol** : Limons de loess
- **Modalité CULTAN** : 100 kgN/ha Sulfate d'ammoniac au 03/05/12
- **Modalité UREE SURFACE** : 100 kgN/ha au 03/05/12

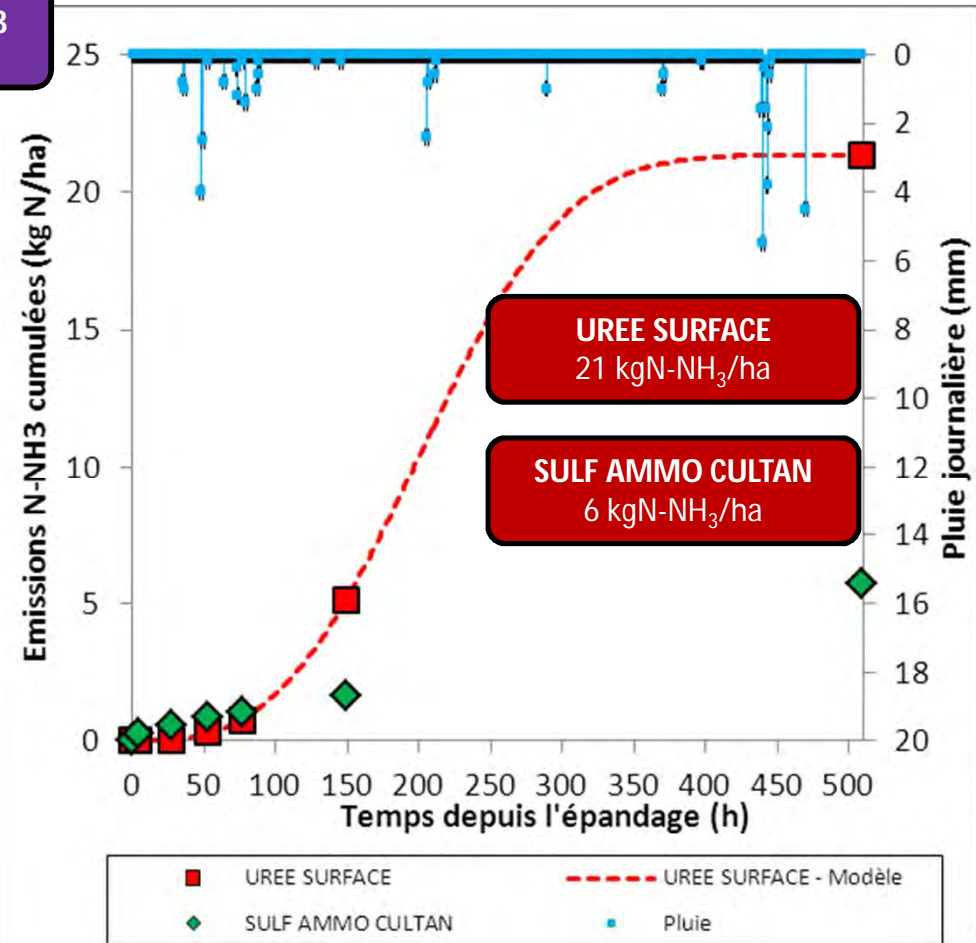
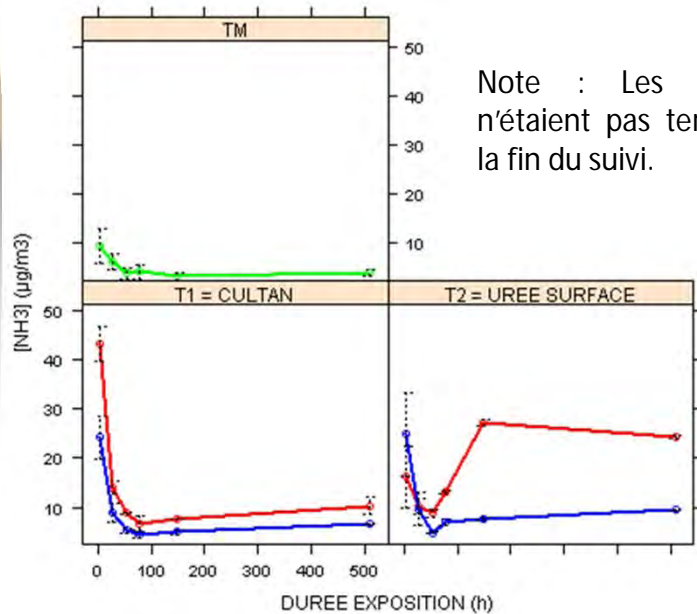
Modélisation des émissions de la modalité UREE SURFACE selon un formalisme de Weibull (ETR= 0.04 kgN/ha)

[N-NH<sub>3</sub>]  
μg/m<sup>3</sup>

Flux N-NH<sub>3</sub>  
kgN/ha

96TVNH3\_INDEE\_ENTZHEIM(68)\_2012

BF  
HB  
HH



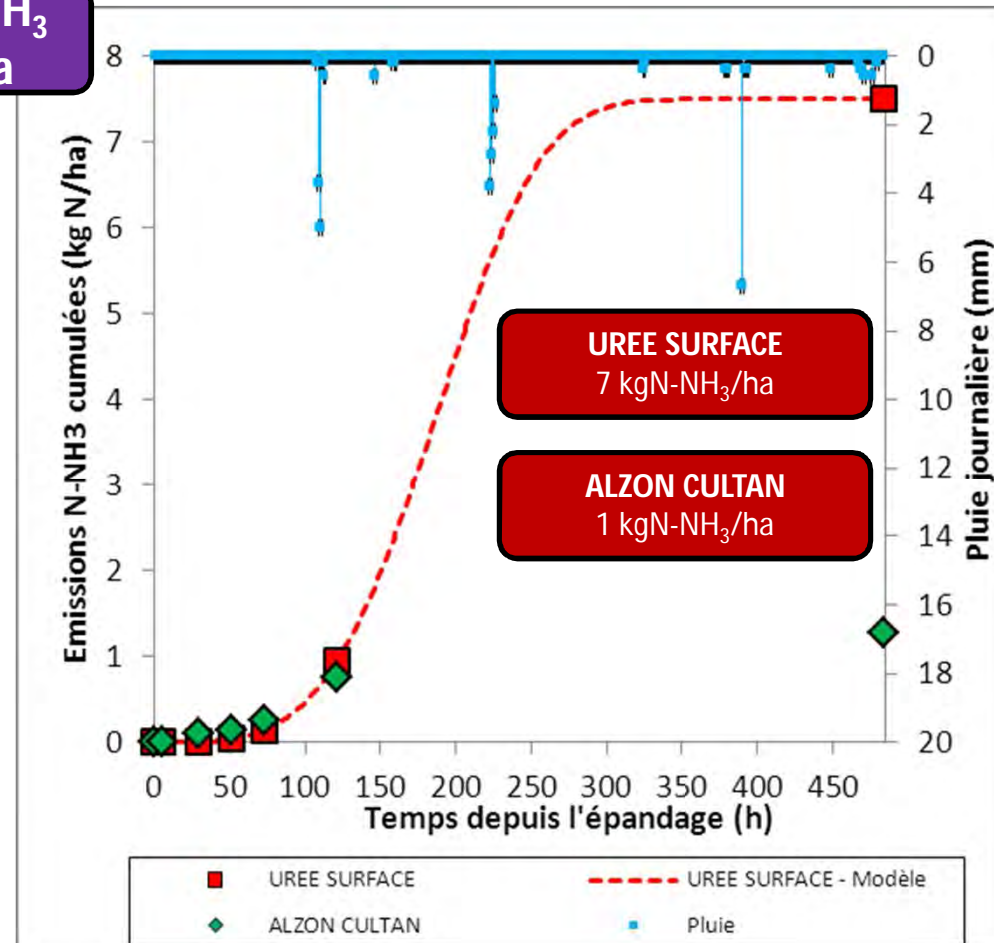
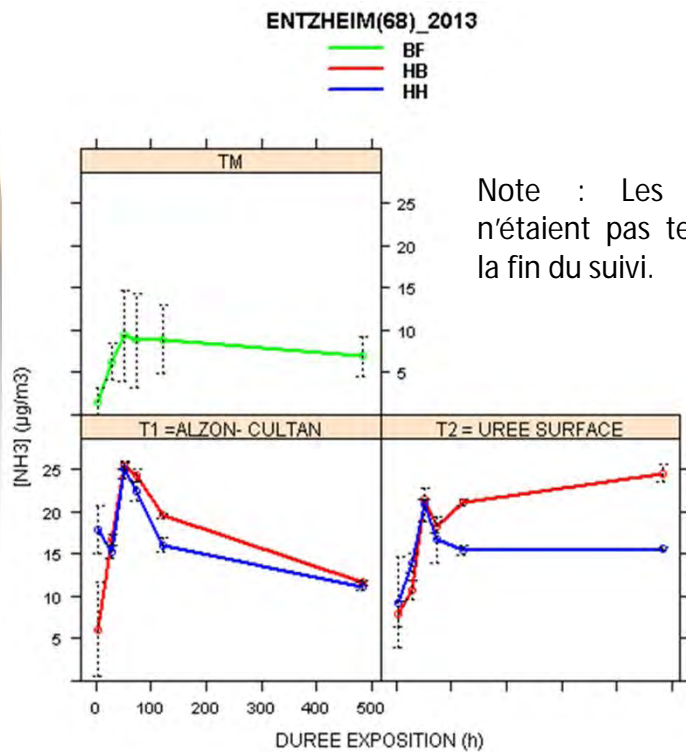
# ENTZHEIM 2013

- **Type de sol** : Limons de loess
- **Modalité CULTAN** : 130 kgN/ha ALZON au 04/06/13 (2-3F)
- **Modalité UREE SURFACE** : 130 kgN/ha au 04/06/13 (2-3F)

Modélisation des émissions de la modalité UREE SURFACE selon un formalisme de Weibull (ETR= 0.004 kgN/ha)

[N-NH<sub>3</sub>]  
μg/m<sup>3</sup>

Flux N-NH<sub>3</sub>  
kgN/ha



# ARTZENHEIM 2014

- **Type de sol** : Sol superficiel de Hardt
- **Modalité CULTAN** : 220 kgN/ha ALZON au 28/05/14 (7F)
- **Modalités UREE SURFACE et ENFOUIE** : 110 kgN/ha au 28/05/14 (7F) puis 110 kgN/ha au 10/06/14 (12F)

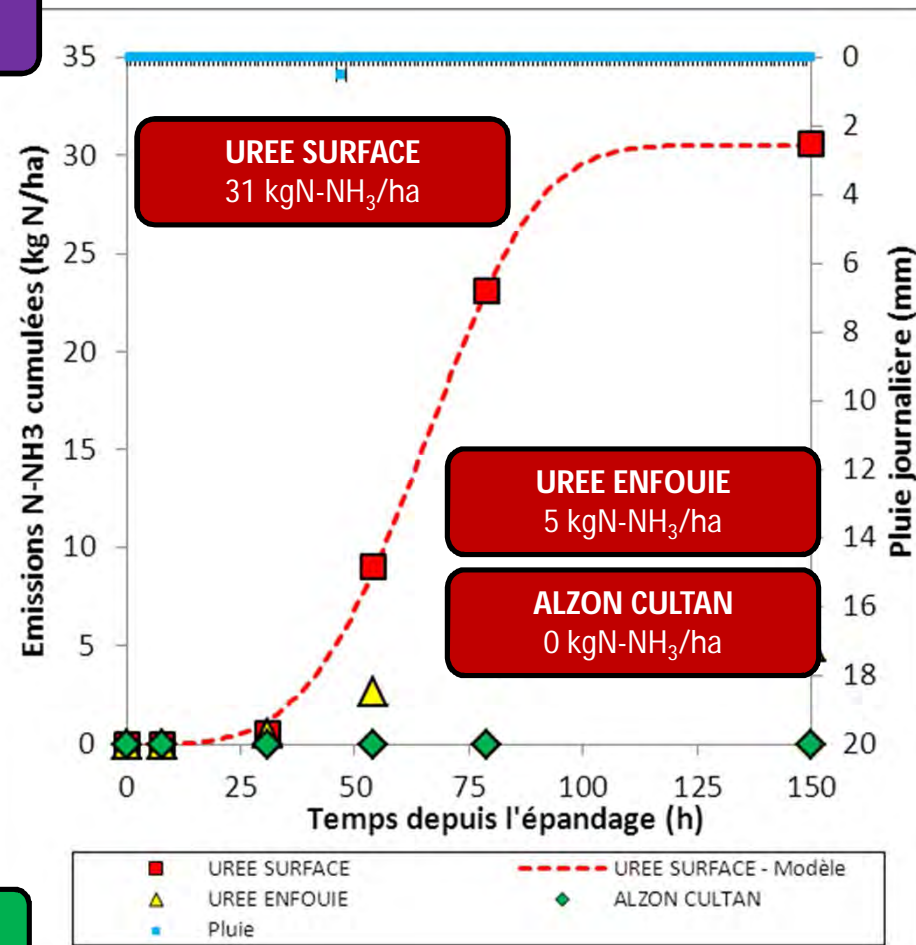
Modélisation des émissions de la modalité UREE SURFACE selon un formalisme de Weibull (ETR= 0.4 kgN/ha)

Flux N-NH<sub>3</sub>  
kgN/ha

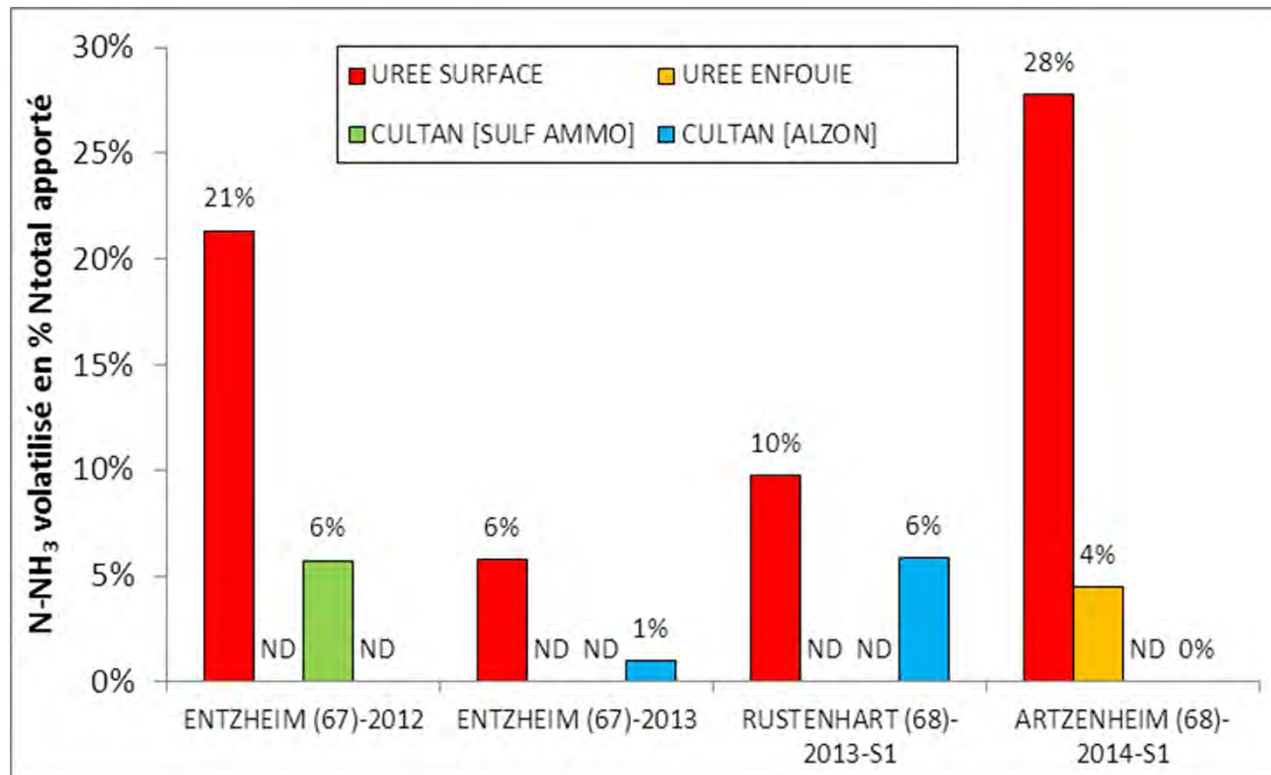
1<sup>er</sup> suivi à partir  
du 28/05

Qtés N apportées ≠  
entre modalités !

Modèle utilisé:  
Gradient V2\_2



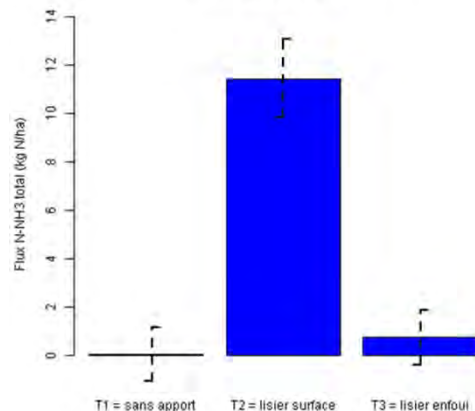
# SYNTHESE INDEE 2012-2014



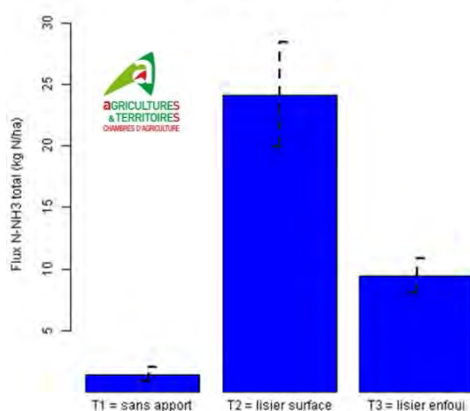
- Un apport d'urée en surface en début de cycle du maïs est soumis à des pertes par volatilisation ammoniacale dont l'ampleur varie selon les sites et les années.
- L'apport d'engrais à forte teneur en urée et/ou  $\text{NH}_3$  par la technique CULTAN permet de limiter voire annuler ces pertes à condition que la fermeture du sillon soit correctement réalisée.
- Il n'est pas possible de déterminer pour l'instant si la technique CULTAN est plus efficace que la technique classique d'enfouissement de l'urée sur ce point (trop peu de références).

# Les résultats en lisiers et fumiers de bovins

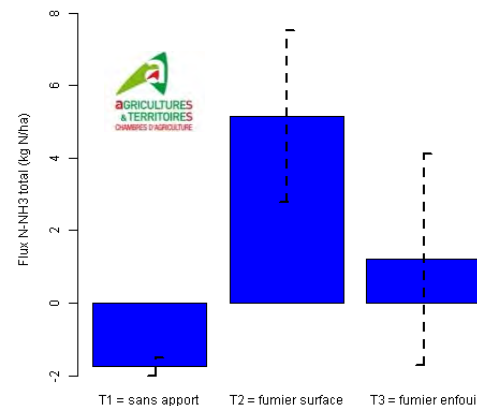
La Jaillière (ARVALIS-44) 2011



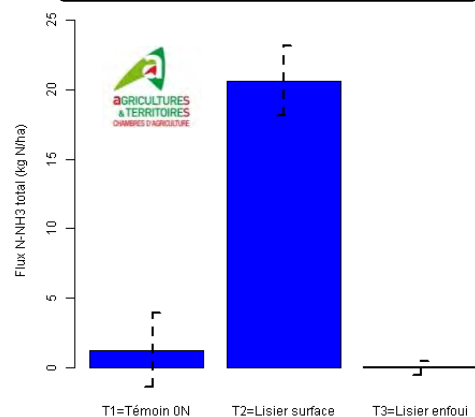
Derval (IDELE - CA 44) 2011



Derval (IDELE - CA 44) 2011



La Jaillière (ARVALIS-44) 2012



Essai	Modalité	N-Total épandu (kgN/ha)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> épandu (kgN/ha)	Flux N-NH <sub>3</sub> (kgN/ha)	Flux N-NH <sub>3</sub> (% N-Total)	Flux N-NH <sub>3</sub> (% N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )
LA JAILLIERE (44) 2011	Lisier bovin surface	114	39	11	10%	29%
	Lisier bovin enfoui	114	39	1	1%	2%
DERVAL (44) 2011	Lisier bovin surface	136	61	24	18%	40%
	Lisier bovin enfoui	136	61	9	7%	15%
LA JAILLIERE (44) 2012	Lisier bovin surface	75	27	21	28%	76%
	Lisier bovin enfoui	75	27	0	0%	0%

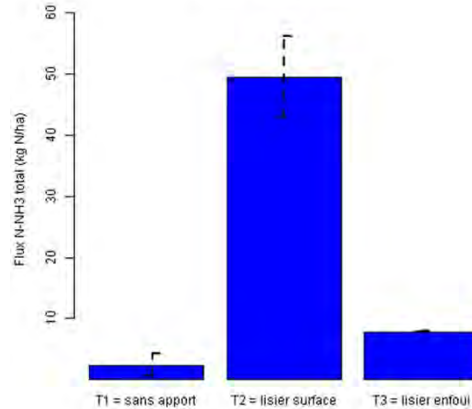
Essai	Modalité	N-Total épandu (kgN/ha)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> épandu (kgN/ha)	Flux N-NH <sub>3</sub> (kgN/ha)	Flux N-NH <sub>3</sub> (% N-Total)	Flux N-NH <sub>3</sub> (% N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )
DERVAL (44) 2012 Bloc 1	Fumier bovin surface	102	23	3	3%	15%
	Fumier bovin enfoui	68	15	-1	-1%	-6%
DERVAL (44) 2012 Bloc 2	Fumier bovin surface	130	29	7	5%	24%
	Fumier bovin enfoui	130	29	3	3%	11%

Modèle de flux utilisé: Gradient V2\_2

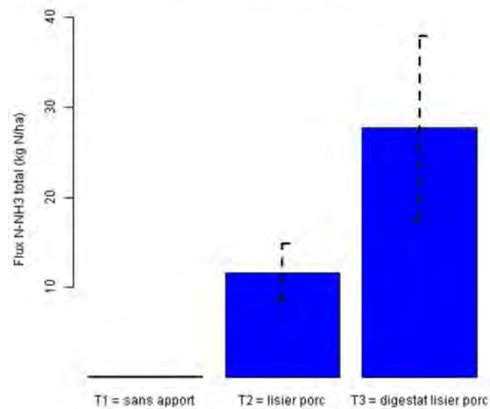


# Les résultats en lisiers de porcs

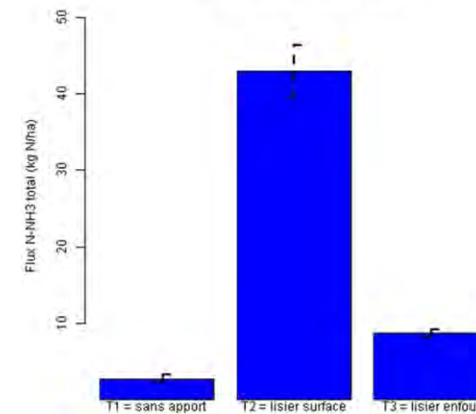
Bignan (ARVALIS-56) 2011



Trévarez (INRA-29) 2011



Bignan (ARVALIS-56) 2012

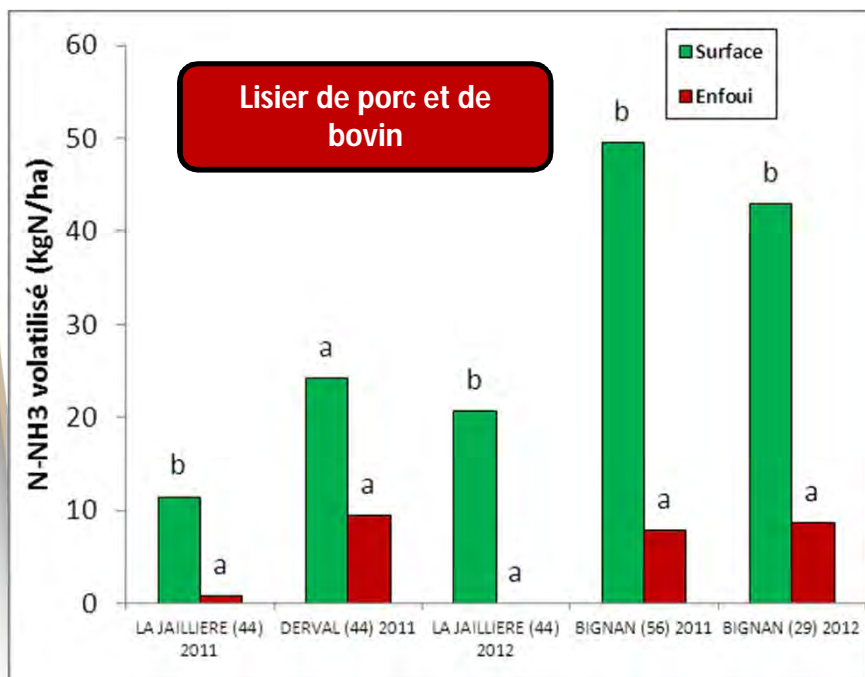


Essai	Modalité	N-Total épandu (kgN/ha)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> épandu (kgN/ha)	Flux N-NH <sub>3</sub> (kgN/ha)	Flux N-NH <sub>3</sub> (% N-Total)	Flux N-NH <sub>3</sub> (% N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )
BIGNAN (56) 2011	Lisier porc surface	148	71	50	33%	70%
	Lisier porc enfoui	148	71	8	5%	11%
TREVAREZ (29) 2011	Lisier porc surface	151	106	12	8%	11%
	Digestat lisier porc surface	171	123	28	16%	22%
BIGNAN (29) 2012	Lisier porc surface	150	76	43	29%	56%
	Lisier porc enfoui	150	76	9	6%	11%

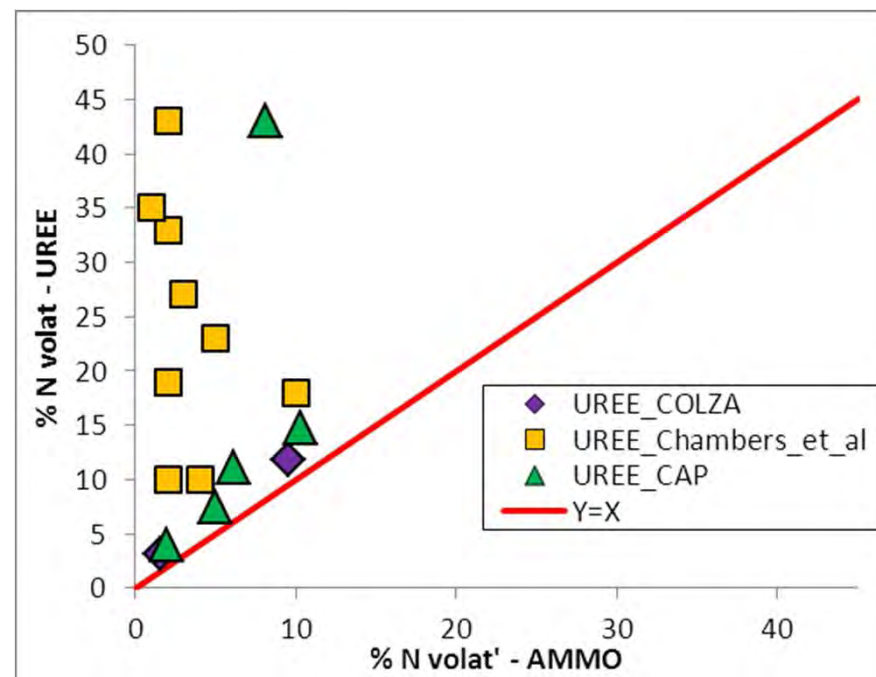
Modèle de flux utilisé: Gradient V2\_2

# L'enfouissement est bien le 1<sup>er</sup> levier à mettre en oeuvre

# De fortes différences entre les formes d'engrais minéraux



Projet CASDAR Volat'NH3 – Essais ARVALIS-IDELE/CA44-INRA



Chambers et al 2009, IFS proc. 657

## Conclusions et perspectives

### **Des résultats cohérents avec les connaissances antérieures :**

- **Différence** de sensibilité entre l'AMMONITRATE d'un côté et l'UREE/SOLUTION N de l'autre.
- Injection par la **méthode Cultan** très efficace pour limiter la volatilisation
- Cinétiques d'émissions **rapides des lisiers**.
- Forte **efficacité de l'enfouissement** des PRO et des engrais minéraux pour limiter les pertes.