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

1ère synthèse des résultats acquis dans le cadre du projet CASDAR VOLAT'NH_3

Cohan J.P., Charpiot A., Morvan T., Eveillard P., Trochard R., Champolivier L., De Chezelles E., Heurtaux M., Lorinquer E., Espagnol S., Génermont S., Loubet B.

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 »

gis RELANCE AGRONOMIQUE
ARVALIS Institut du végétal
INRA SCIENCE & IMPACT UMR EGC/UMR SAS
INSTITUT DE L'ELEVAGE
unifa
CETIOM Centre technique interprofessionnel des oléagineux et du chanvre
ACTA
ifip institut du porc

Le contexte technico-économique et réglementaire

Contexte technico-économique :

- Pertes d'azote par volatilisation ammoniacale = une des 1ères causes de pertes d'efficacité de l'azote apporté par les PRO et les engrais minéraux
- L'évolution des charges en intrants des exploitations nécessite une maximisation de l'efficacité de l'azote apporté pour gagner en autonomie vis-à-vis des engrais minéraux et optimiser le recyclage des PRO

Contexte environnemental et réglementaire :

- NH_3 = polluant atmosphérique
- Agriculture = secteur contribuant à 98% des émissions françaises (78% pour les PRO, 20 % pour les engrais minéraux)*
- Emissions plafonnées par la Directive NEC (2001/81/CE)
- + réglementations liées à l'annexe IX du protocole de Göteborg et au plan particules

L'étude de l'impact des techniques culturales sur la volatilisation ammoniacale est un préalable à l'amélioration des performances technico-économiques et environnementales des exploitations dans leurs emplois des engrais azotés

*CITEPA 2012

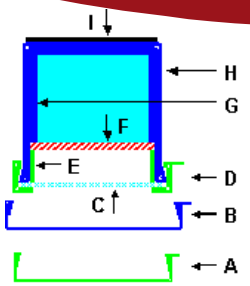
Les enjeux d'une méthode d'évaluation expérimentale des émissions au champ

Techniques de mesures « classiques » :

- **Défaut de bilan par marquage ^{15}N :** pas de différenciation des pertes et pas applicable aux produits organiques solides.
- **Enceintes de mesure :** pas adaptée à des suivis de longue durée car perturbation du couvert et peu adaptées aux suivis NH_3
- **Méthodes micrométéorologiques :** pas adaptées à la comparaison de traitements car nécessitant de grandes unités expérimentales (1 ha et plus)
- **Tunnels de ventilation :** coût financier important et contraintes logistiques de déploiements

Il est nécessaire de disposer d'une technique de mesure fiable et opérationnelle au champ afin de mettre en place de larges réseaux d'acquisition de références.

Méthode employée : le suivi au champ



A bouchon de scellement final
B bouchon supérieur de protection
C membrane PTFE 5 µm (27mm diam.)
D bouchon percé pour la membrane
E anneau de fixation (6 mm hauteur)
F papier filtre imbibé
G anneau interne – support papier filtre
H corps du badge
I velcro pour fixation au support

Principe n°1 : suivi des quantités de NH_3 émis via des pièges portant des filtres imbibés d'acide (badge ALPHA) installés et relevés à pas de temps réguliers au champ.

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.

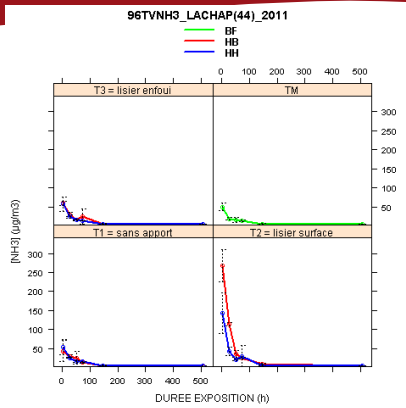
Principe n°3 : Les quantités de NH_3 captés sont extraites et quantifiées par analyses au laboratoire (prestataire du projet = LDAR).

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

Méthode employée : la modélisation des flux

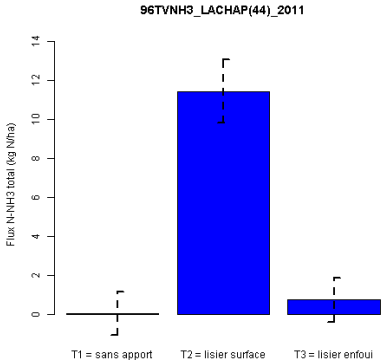
1ère étape : à partir des quantités émises, on calcule les concentrations en NH_3 de l'air aux différentes hauteurs.

Données météo



Plusieurs modèles testés dans le projet

2ème étape : Calculs des flux de N-NH_3 en kgN/ha au pas de temps horaire.

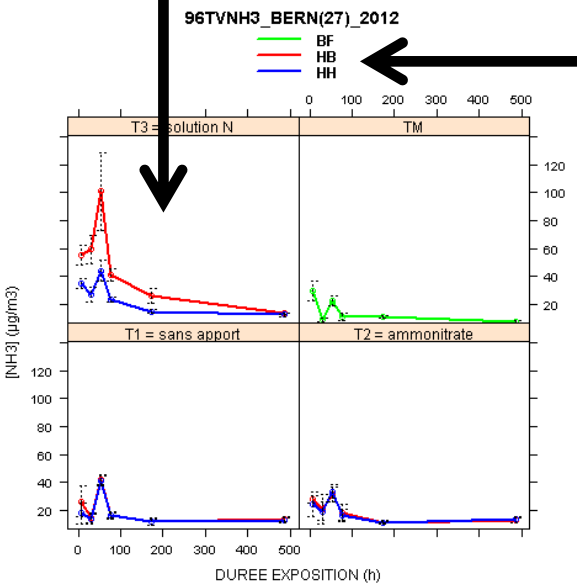


- Méthodologie initiée par l'INRA EGC (Loubet et al. 2010 et 2011) et testée initialement par l'UNIFA
- Méthodologie validée sur de grandes unités expérimentales (1 ha)

Un des modèles utilisés actuellement : méthode des gradients simplifiée

Flux = f(Δ[N-NH3]; ΔH; VENT; T° ; RG)

Variation de la concentration en N-NH_3 selon la hauteur



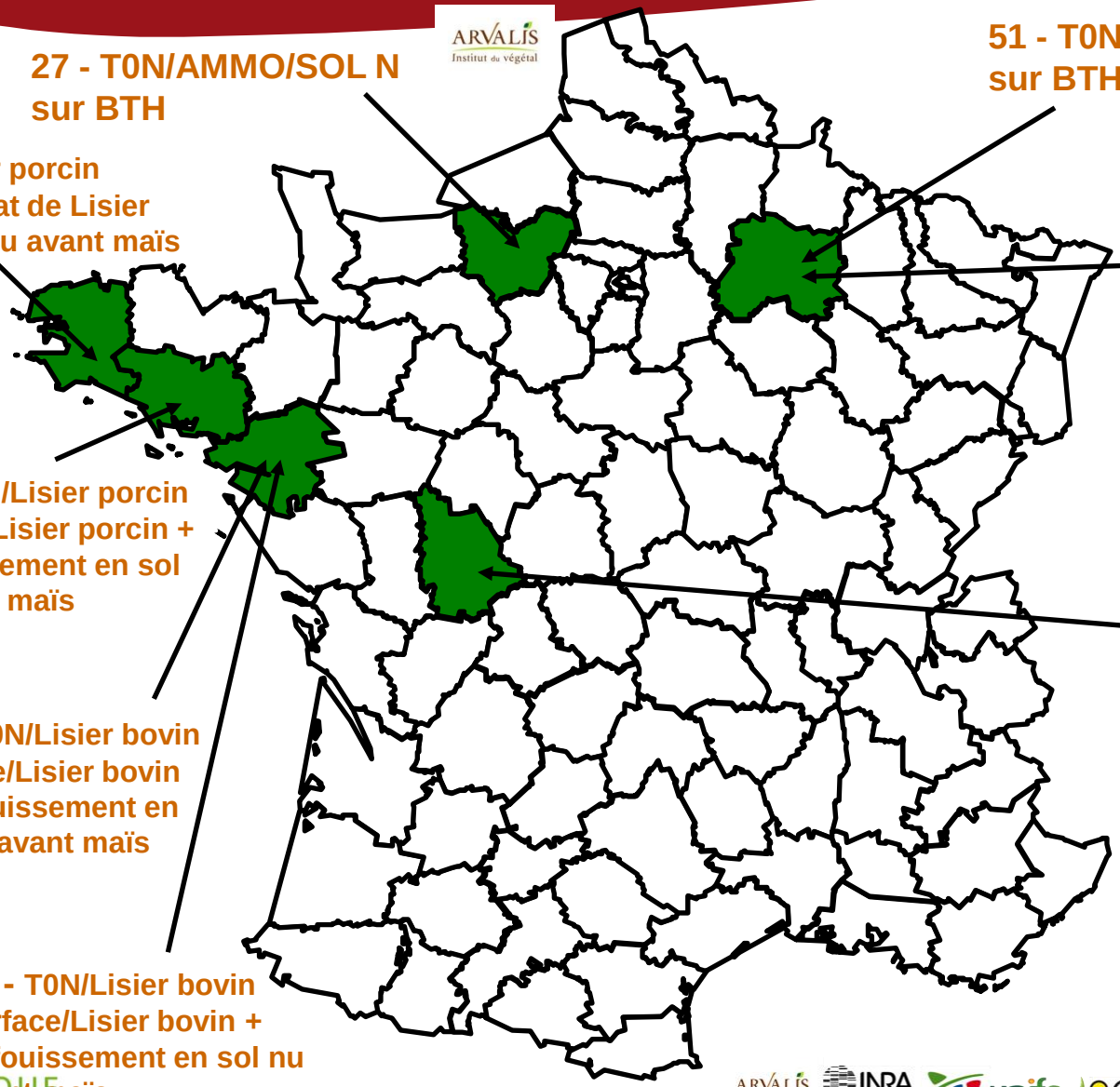
Ecart entre les différentes hauteurs de mesures

Prise en compte des conditions météo dans la détermination de plusieurs paramètres thermodynamiques de l'air

Variable de sortie : flux de N-NH3 en kgN/ha/h

Flechard and Fowler 1998; Sutton et al. 2000

Réseau expérimental du printemps 2011



27 - T0N/AMMO/SOL N sur BTH

51 - T0N/AMMO/SOL N sur BTH

29 - T0N/Lisier porcin surface/Digestat de Lisier porcin en sol nu avant maïs

51 - AMMO/UREE sur BTH

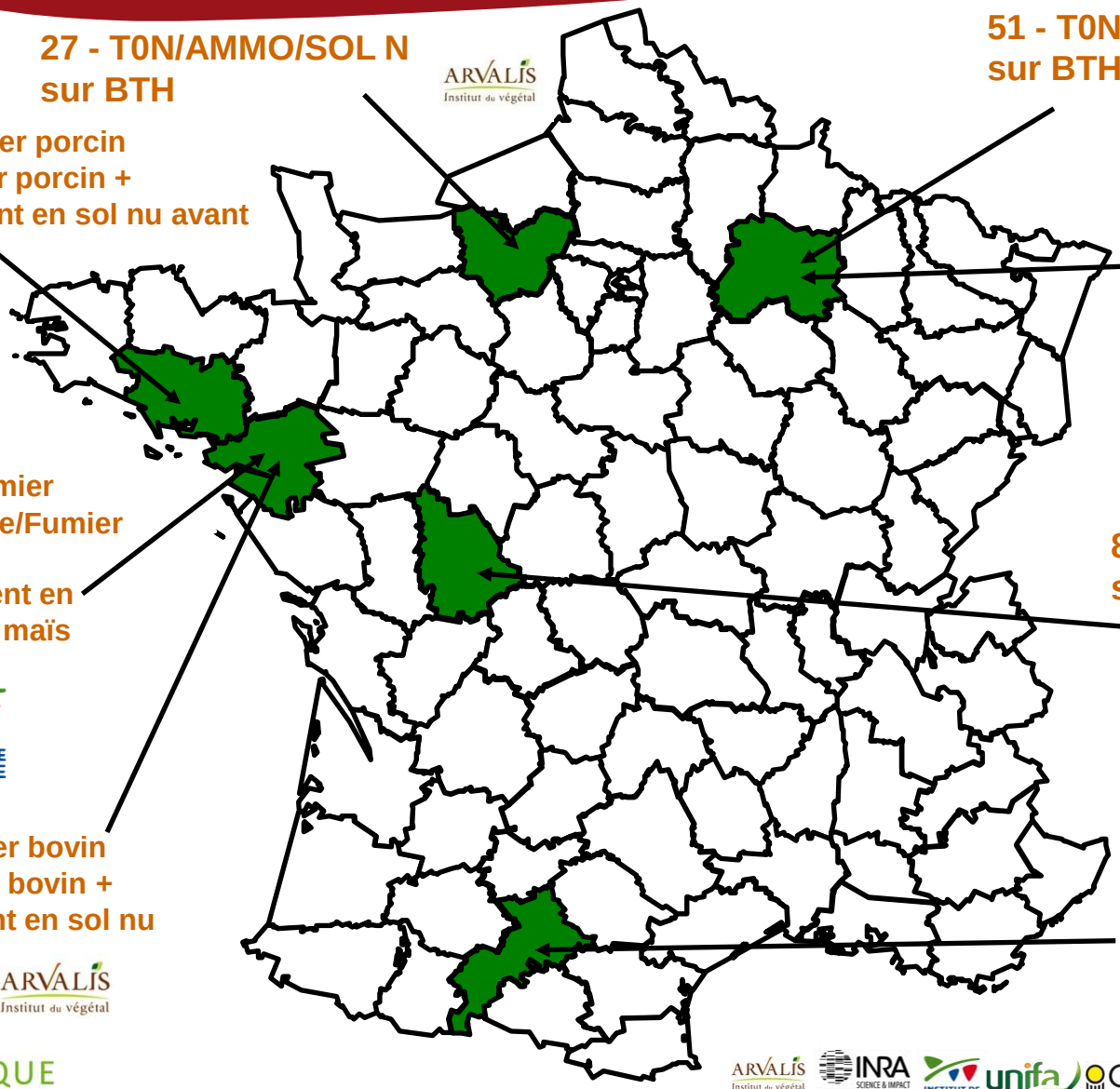
56 - T0N/Lisier porcin surface/Lisier porcin + enfouissement en sol nu avant maïs

86 - AMMO/UREE sur COLZA

44 - T0N/Lisier bovin surface/Lisier bovin + enfouissement en sol nu avant maïs

44 - T0N/Lisier bovin surface/Lisier bovin + enfouissement en sol nu avant maïs

Réseau expérimental du printemps 2012



27 - T0N/AMMO/SOL N sur BTH

51 - T0N/AMMO/SOL N sur BTH

56 - T0N/Lisier porcin surface/Lisier porcin + enfouissement en sol nu avant maïs

51 - AMMO/UREE sur OH

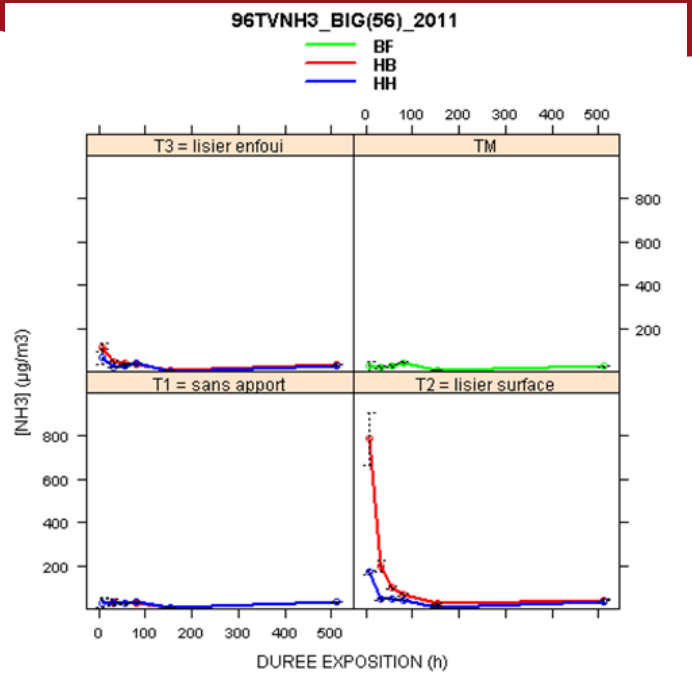
44 - T0N/Fumier bovin surface/Fumier bovin + enfouissement en sol nu avant maïs

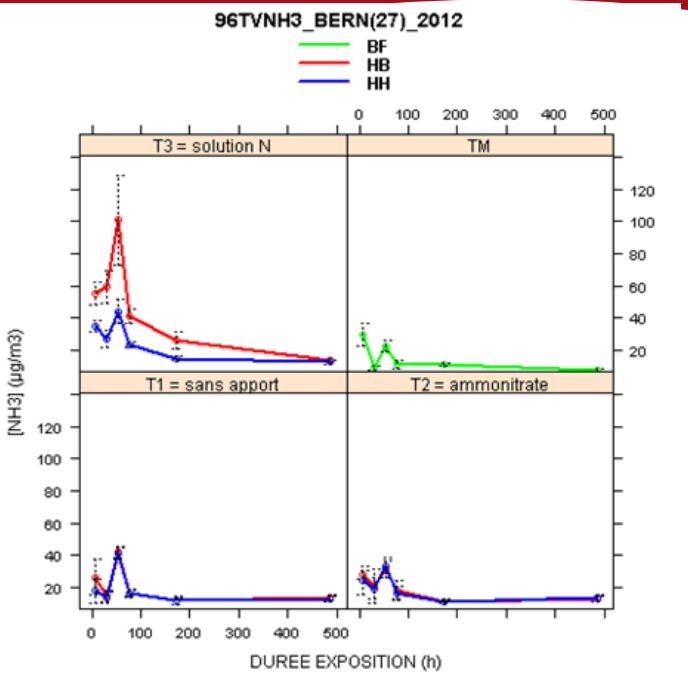
86 - AMMO/UREE sur BTH

44 - T0N/Lisier bovin surface/Lisier bovin + enfouissement en sol nu avant maïs

31- T0N/AMMO/UREE sur Colza

Les enseignements méthodologiques du suivi au champ

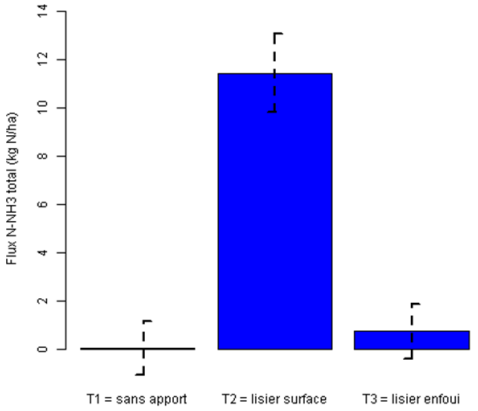




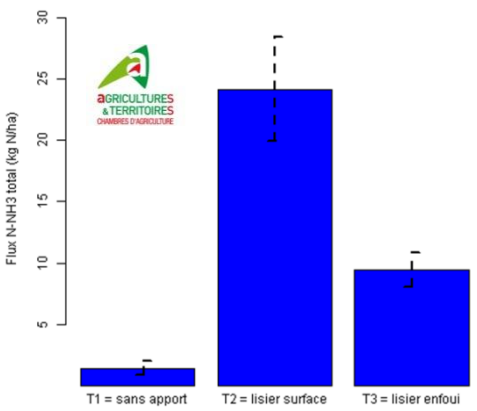
- Une très bonne répétabilité des mesures élémentaires (faible variabilité intra-bloc)
- Sensibilité des capteurs à même de discriminer des concentrations d'ammoniac dans l'air d'ampleurs variées
- Des unités expérimentales (parcelles élémentaires de 400 m²) ne semblant pas engendrer de phénomène de contamination important

Les résultats en lisiers et fumiers de bovins

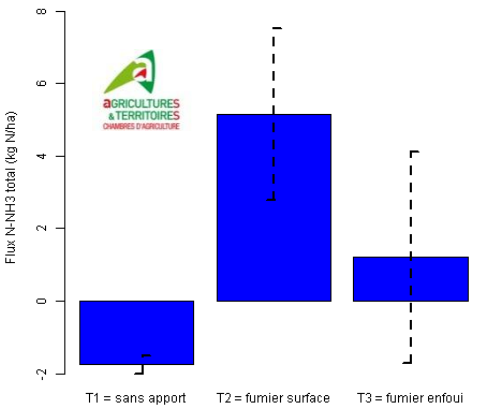
La Jaillière (ARVALIS-44) 2011



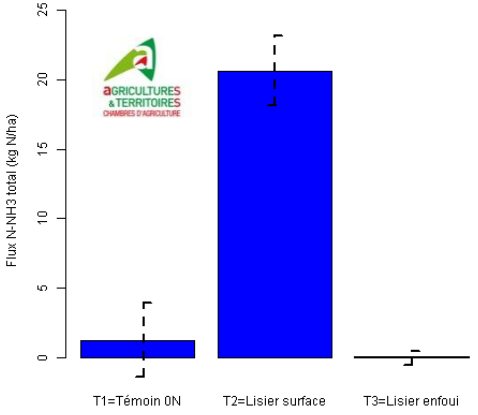
Derval (IDELE – CA 44) 2011



Derval (IDELE – CA 44) 2011



La Jaillière (ARVALIS-44) 2012



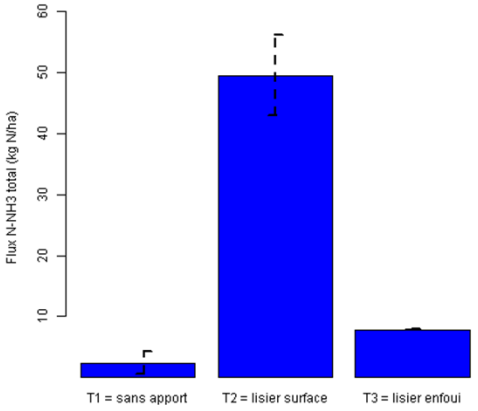
Essai	Modalité	N-Total épandu (kgN/ha)	N-NH_4^+ épandu (kgN/ha)	Flux N-NH_3 (kgN/ha)	Flux N-NH_3 (% N-Total)	Flux N-NH_3 (% N-NH_4^+)
LA JAILLIERE (44) 2011	Lisier bovin surface	114	39	11	10%	29%
	Lisier bovin enfoui	114	39	1	1%	2%
DERVAL (44) 2011	Lisier bovin surface	136	61	24	18%	40%
	Lisier bovin 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_4^+ épandu (kgN/ha)	Flux N-NH_3 (kgN/ha)	Flux N-NH_3 (% N-Total)	Flux N-NH_3 (% N-NH_4^+)
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%

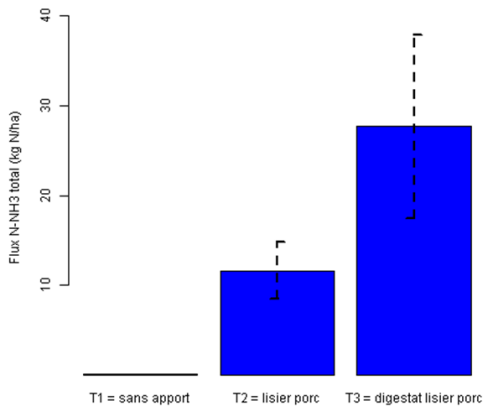
Modèle de flux utilisé: Gradient V2_2

Les résultats en lisiers de porcs

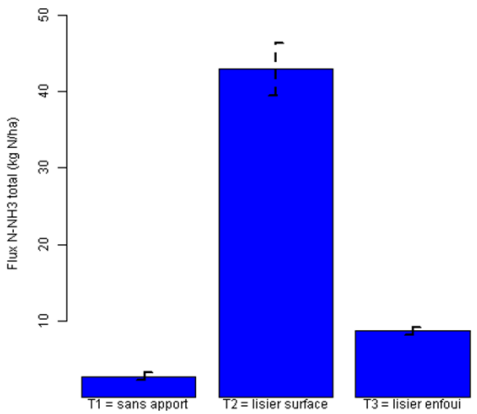
Bignan (ARVALIS-56) 2011



Trévarez (INRA-29) 2011



Bignan (ARVALIS-56) 2012

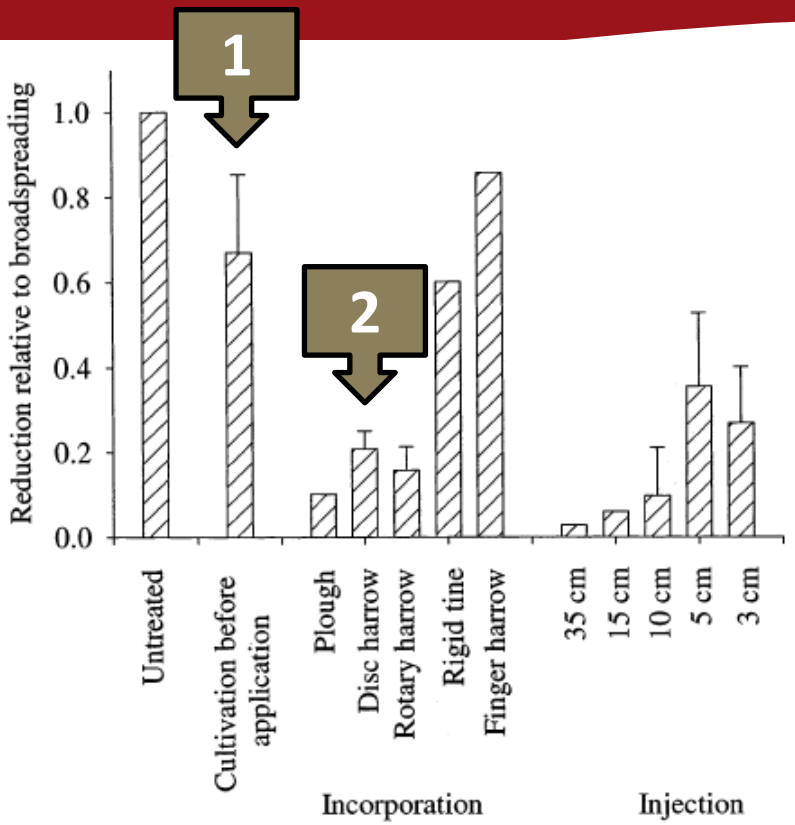


Essai	Modalité	N-Total épandu (kgN/ha)	$N\text{-}NH_4^+$ épandu (kgN/ha)	Flux $N\text{-}NH_3$ (kgN/ha)	Flux $N\text{-}NH_3$ (% N-Total)	Flux $N\text{-}NH_3$ (% $N\text{-}NH_4^+$)
BIGNAN (56) 2011	Lisier porc surface	148	71	50	33%	70%
	Lisier porc enfoui	148	71	8	5%	11%
TREVAREZ (29) 2011	Lisier porc 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

Epandage de PRO : cohérence avec la bibliographie

1 : modalité sans enfouissement testée dans les essais
2 : modalité avec enfouissement testée dans les essais



Sommers et Hutchings 2001

Fig. 5. Reduction in NH_3 emission due to application technique related to ammonia losses from animal slurry broadspread onto soil or a plant covered soil (from Döhler, 1991; Kowalewsky, 1990; Pain et al., 1990c; Klarenbeek and Bruins, 1991; Phillips et al., 1991; Sommer and Petersen, 1992; Larsen et al., 1992; Rubæk et al., 1996; Sommer and Ersbøll, 1994; Bless et al., 1991; Thompson et al., 1987).

Epandage de PRO : cohérence avec la bibliographie

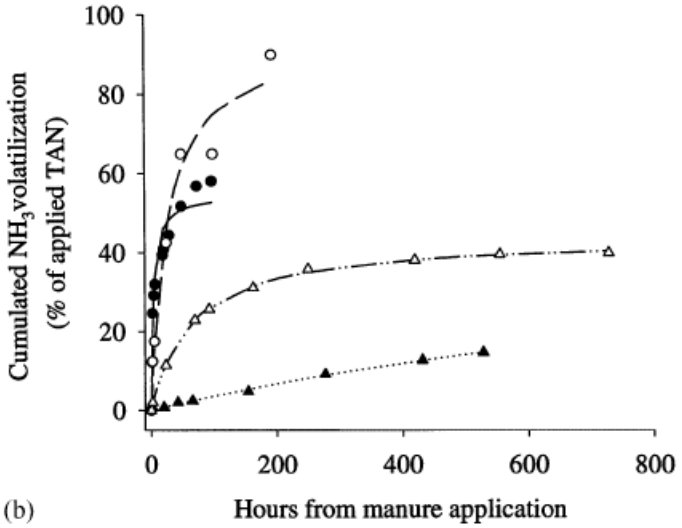
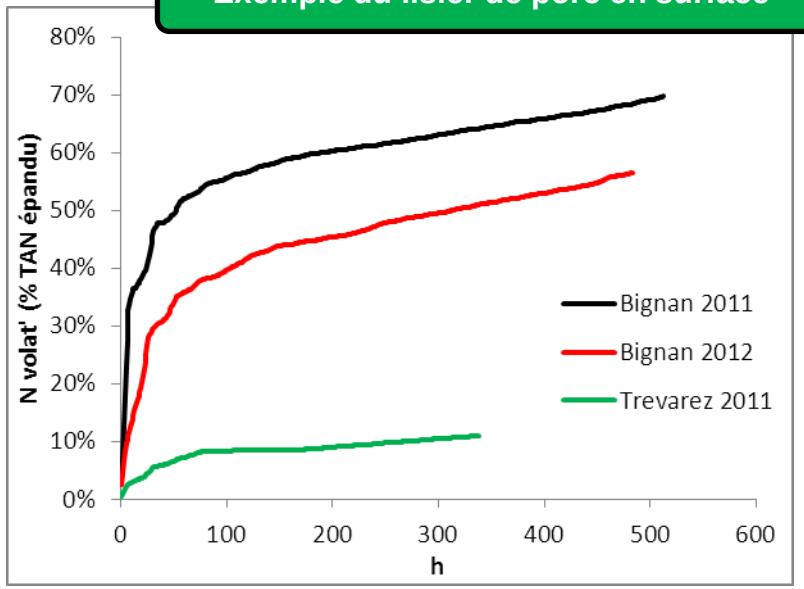


Fig. 3. NH_3 emission after surface application of manure to stubble, expressed as: (a) the mean hourly rate; or (b) the cumulative emission. Emissions are expressed as % of TAN or TAN + ureic acid applied. Pig slurry (adapted from Bless et al., 1991), pig farmyard manure, layer manure and broiler litter (adapted from Chambers et al., 1997).

Sommers et Hutchings 2001

Exemple du lisier de porc en surface

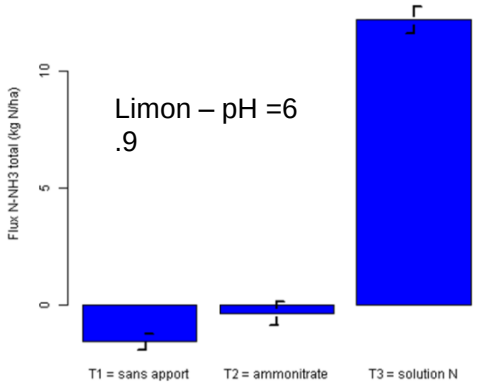


A venir : modélisation selon le formalisme de Michaelis-Menten (Sommer et Ersboll 1994)
➔ Accès à la vitesse de volatilisation et au niveau de volatilisation maximale

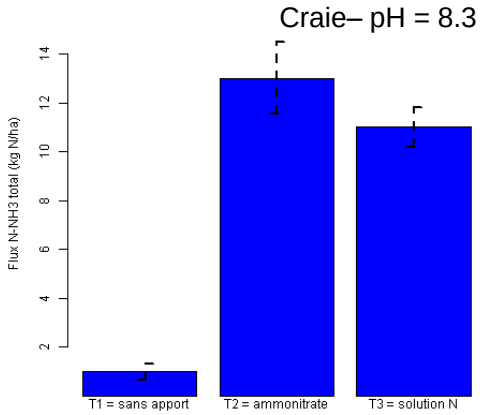
Modèle de flux utilisé: Gradient V2_2

Les résultats ammonitrate x solution azotée sur céréales

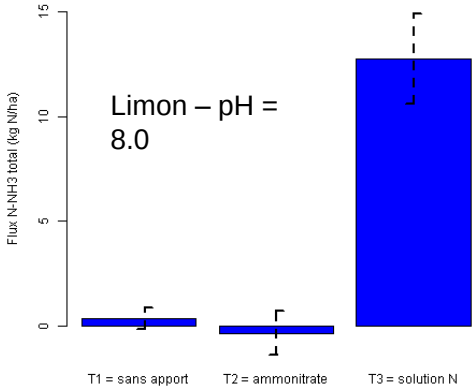
Bernienville (ARVALIS-27) 2011



Vraux (ARVALIS-51) 2011



Bernienville (ARVALIS-27) 2012



- **Apports à Z30-Z31**
- **Deux années d'expérimentations très contrastées sur le plan météorologique**

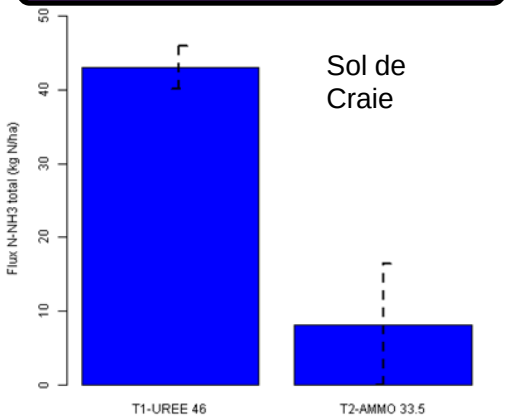
Essai	Modalité	N-Total épandu (kgN/ha)	$N\text{-}NH_4^+$ épandu (kgN/ha)	Flux $N\text{-}NH_3$ (kgN/ha)	Flux $N\text{-}NH_3$ (% N-Total)	Flux $N\text{-}NH_3$ (% $N\text{-}NH_4^+$)
BERNIENVILLE (27) 2011	AMMONITRATE	100	50	0	0%	-1%
	SOLUTION N	100	75	12	12%	16%
VRAUX (51) 2011	AMMONITRATE	100	50	13	13%	26%
	SOLUTION N	100	75	11	11%	15%

Essai	Modalité	N-Total épandu (kgN/ha)	$N\text{-}NH_4^+$ épandu (kgN/ha)	Flux $N\text{-}NH_3$ (kgN/ha)	Flux $N\text{-}NH_3$ (% N-Total)	Flux $N\text{-}NH_3$ (% $N\text{-}NH_4^+$)
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%

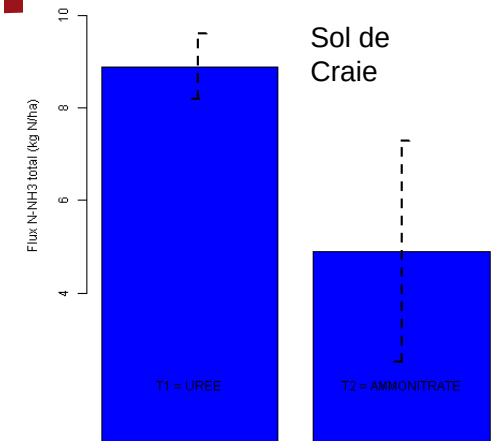
Modèle de flux utilisé: Gradient V2_2

Les résultats ammonitrate x urée sur céréales

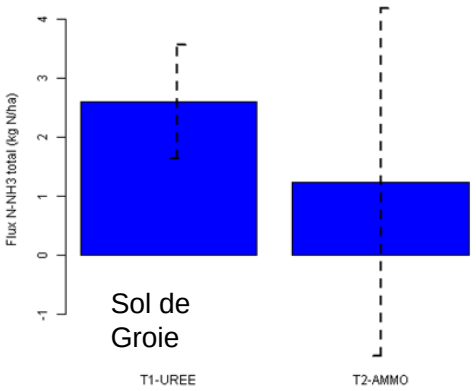
Faux (UNIFA-51) 2011 / Z30



Thibie (UNIFA-51) 2012 / Z31



Jarzay (UNIFA-86) 2012 / Z30

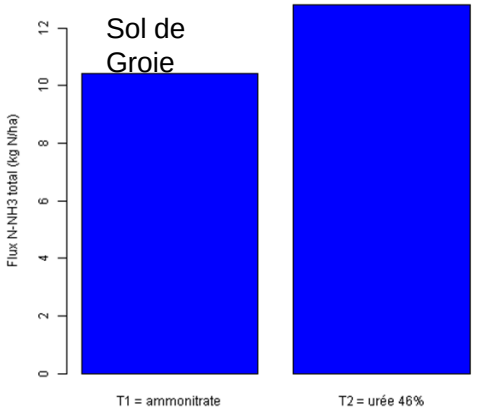


Essai	Modalité	N-Total épandu (kgN/ha)	$N\text{-}NH_4^+$ épandu (kgN/ha)	Flux $N\text{-}NH_3$ (kgN/ha)	Flux $N\text{-}NH_3$ (% N-Total)	Flux $N\text{-}NH_3$ (% $N\text{-}NH_4^+$)
FAUX (51) 2011 - Z30	UREE SOLIDE	100	100	43	43%	43%
	AMMONITRATE	100	50	8	8%	16%
FAUX (51) 2011 - Z39	UREE SOLIDE	50	50	4	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%

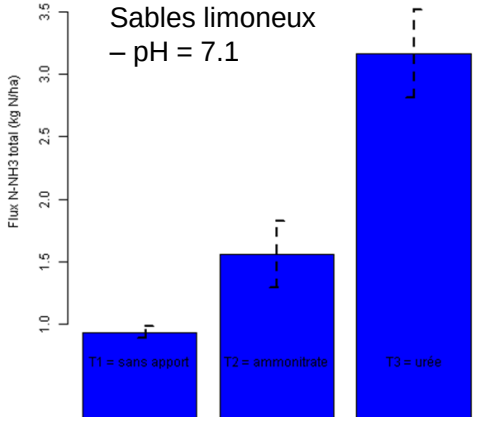
Modèle de flux utilisé: Gradient V2_2

Les résultats ammonitrate x urée sur colza

Massognes (UNIFA-86) - 2011



En Crambade (CETIOM-31) - 2012



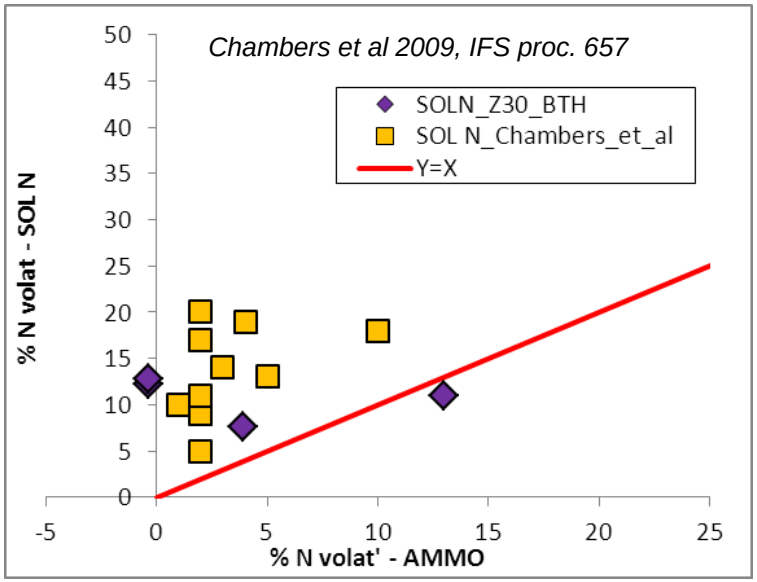
- **Apports à C1 – D1**

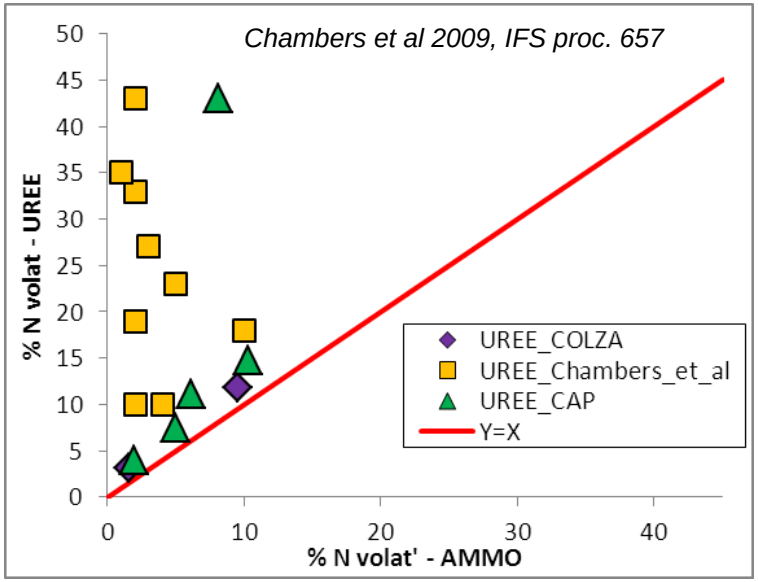
Essai	Modalité	N-Total épandu (kgN/ha)	$N\text{-}NH_4^+$ épandu (kgN/ha)	Flux $N\text{-}NH_3$ (kgN/ha)	Flux $N\text{-}NH_3$ (% N-Total)	Flux $N\text{-}NH_3$ (% $N\text{-}NH_4^+$)
MASSOGNES (86) 2011	AMMONITRATE	110	55	11	10%	19%
	UREE SOLIDE	110	110	13	12%	12%
EN CRAMBADE (31) 2012	AMMONITRATE	100	50	2	2%	3%
	UREE SOLIDE	100	100	3	3%	3%

Modèle de flux utilisé: Gradient V2_2

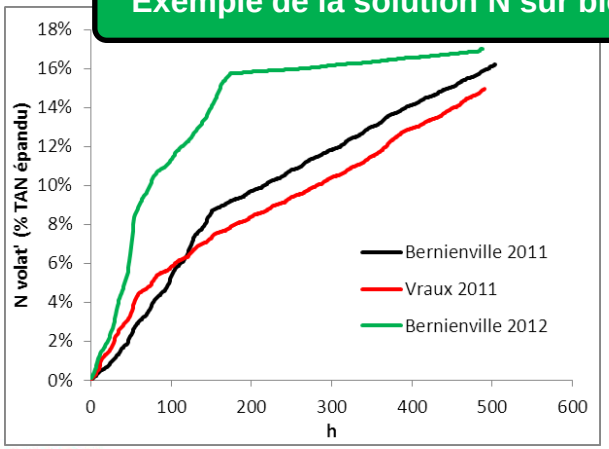
GIS RELANCE AGRONOMIQUE
ARVALIS Institut du végétal · INRA SCIENCE & IMPACT UMR EGC/UMR SAS · INSTITUT DE L'ELEVAGE · unifa · CETIOM · ACTA · ifip

Epandage d'engrais minéraux : cohérence avec la bibliographie





Exemple de la solution N sur blé



A venir : modélisation selon un formalisme logistique

➔ Accès à la vitesse de volatilisation et au niveau de volatilisation maximale

Conclusions et perspectives

Une méthode prometteuse:

- Une très bonne répétabilité des mesures élémentaires (faible variabilité intra-bloc).
- Une sensibilité des capteurs à même de discriminer des concentrations d'ammoniac dans l'air d'ampleurs variées.
- Des unités expérimentales (parcelles élémentaires de 400 m^2) ne semblant pas engendrer de phénomène de contamination important.
- Des modèles d'interprétation des flux toujours en phase de perfectionnement mais donnant déjà des résultats cohérents avec les connaissances antérieures.

Conclusions et perspectives

Des résultats cohérents avec les connaissances antérieures :

- Cinétiques d'émissions rapides des lisiers.
- Forte efficacité de l'enfouissement des PRO pour limiter les pertes.
- Différence de sensibilité entre l'AMMONITRATE d'un côté et l'UREE/SOLUTION N de l'autre.
- L'étude de la compréhension des phénomènes mesurés va se poursuivre.

Conclusions et perspectives

De nouvelles expérimentations sont envisagées :

- PRO (lisiers sur blé, fientes de volailles, digestats de méthanisation…)
- Comparaison tri-produits AMMO/UREE/SOLUTION N
- Tests des nouvelles formes d'engrais azotés
- Effets de l'enfouissement d'UREE…

Conclusions et perspectives

Communications des sorties du projet :

- Synthèse présentée au congrès du COMIFER-GEMAS 2013 (téléchargeable sur www.comifer.asso.fr)
- Présentations à trois colloques internationaux en 2012 et 2013
- Nombreuses présentations en réunions techniques lors de l'hiver 2013 et lors de portes ouvertes de fermes expérimentales (publics agriculteurs et techniciens)
- Publications techniques hiver/printemps 2014
- Publications scientifiques 1er semestre 2014

Conclusions et perspectives

Valorisation de la méthode de mesure

- Projet « INTERREG » INDEE 2012-2013-2014
- Projet « ADEME DOSTE » PROLAB 2014-2015
- Réseaux expérimentaux internes des partenaires en 2014
- Réflexions entre partenaires se poursuivent pour un montage de projet en 2015

Merci de votre attention

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 »

gis RELANCE AGRONOMIQUE

ARVALIS Institut du végétal
INRA SCIENCE & IMPACT UMR EGC/UMR SAS
INSTITUT DE L'ELEVAGE
unifa
CETIOM Centre technique interprofessionnel des oléagineux et du chanvre
ACTA
ifip