

La volatilisation ammoniacale après fertilisation, un point sur l'état des connaissances

Sophie Générmont, Pierre Cellier
INRA, UMR Environnement et Grandes Cultures, Thiveval-Grignon





Plan

- Importance des pertes gazeuses en agriculture et cas de NH_3
- Déterminisme et variabilité des pertes NH_3
- Devenir de cet azote et implication pour l'agriculture
- Comment mesurer ces pertes?
- Modélisation de la volatilisation NH_3

Pertes d'azote sous différentes formes à différentes échelles

Zone concernée	Source	Unité	N ₂	N ₂ O	NH ₃	NO _x	NO ₃ ⁻
Global	Galloway <i>et al.</i> (2004) ⁽¹⁾	Tg/an	115	11	48	16	48
Europe	Velthof <i>et al.</i> (2009) ⁽²⁾	Gg/an	10441	475	4034	475	3797
Europe	Leip <i>et al.</i> (2011) ⁽³⁾	Gg/an	4450	380	1640	80	5730
France	Velthof <i>et al.</i> (2009) ⁽²⁾	Gg/an	1873	71	672	106	601
France	De Vries <i>et al.</i> (2011) ⁽⁴⁾	Gg/an		71	573	32	
France	Citepa (2012) ⁽⁵⁾	Gg/an		106	518	31	
Canada	Janzen <i>et al.</i> (2003)	Tg/an		0,49			0,43
Etats-Unis	EPA (2011)	Tg/an		0,53	2,6	0,3	4,8

(1) Evaluation pour l'ensemble des surfaces continentales

(2) Modèle Miterra-Europe

(3) Combinaison de bases de données et de modèles (en particulier Capri-DNDC)

(4) Modèle Integrator

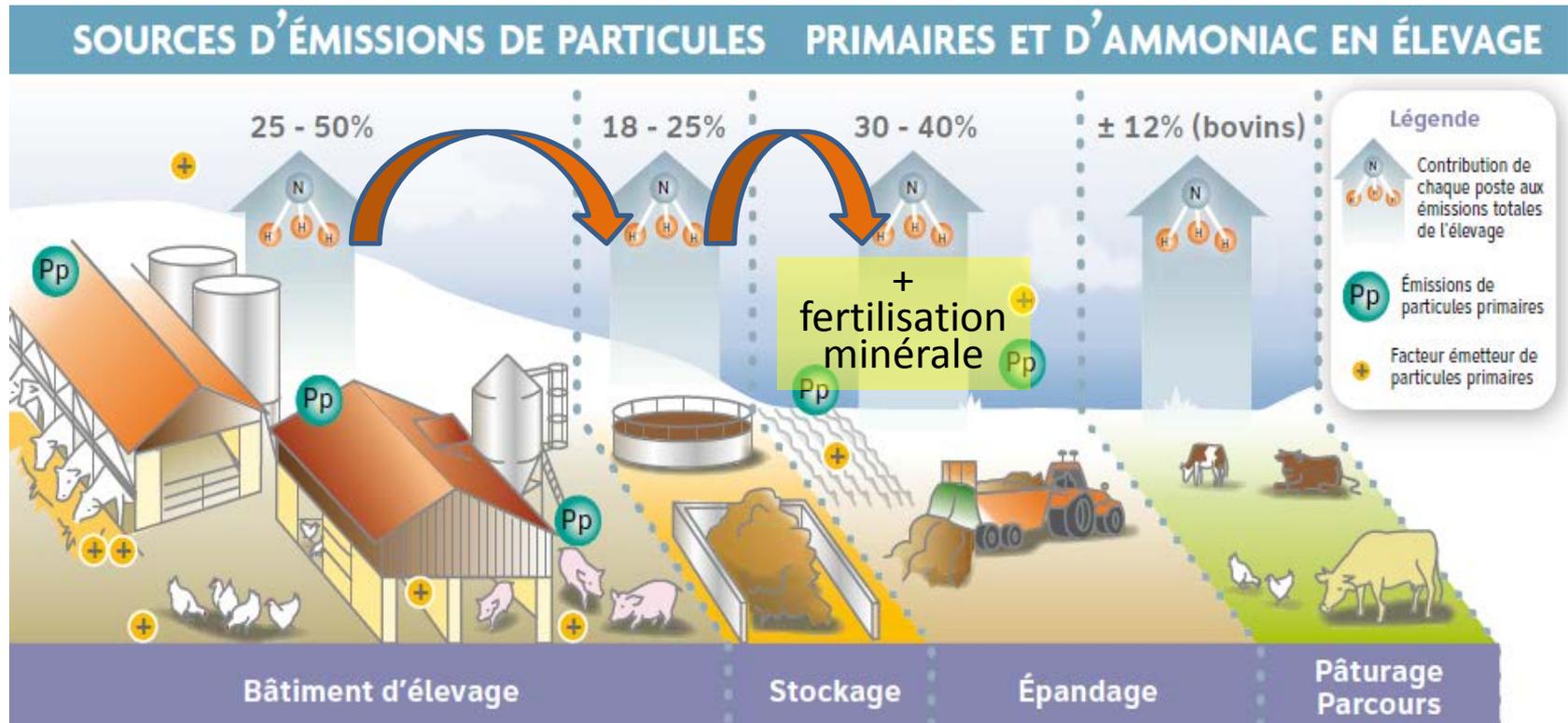
(5) Evaluation selon les procédures officielles de l'UN ECE et du GIEC

↑ Cellier *et al.*, 2013;
Cahiers Agric.

→ Pertes totales ~ ½ apports N

→ Pertes gazeuses ~ pertes hydriques

Principaux postes de pertes par volatilisation d'ammoniac (élevage)



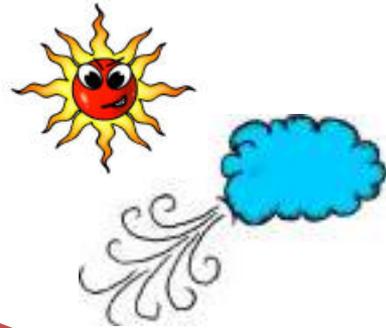
- Importance des pertes à l'épandage : environ 1/3
- Importance vis-à-vis des étapes « amont » (bâtiment, stockage)
- Dépendance forte aux facteurs pédoclimatiques
- aux pratiques
- Phénomène relativement brutal et limité dans le temps



Plan

- Importance des pertes gazeuses en agriculture et cas de NH_3
- Déterminisme et variabilité des pertes NH_3
- Devenir de cet azote et implication pour l'agriculture
- Comment mesurer ces pertes?
- Modélisation de la volatilisation NH_3

Déterminisme de la volatilisation d'ammoniac au champ



Atmosphère

Techniques culturales



Quantité volatilisée

Transfert dans l'atmosphère

Quantité totale apportée

Quantité disponible en surface

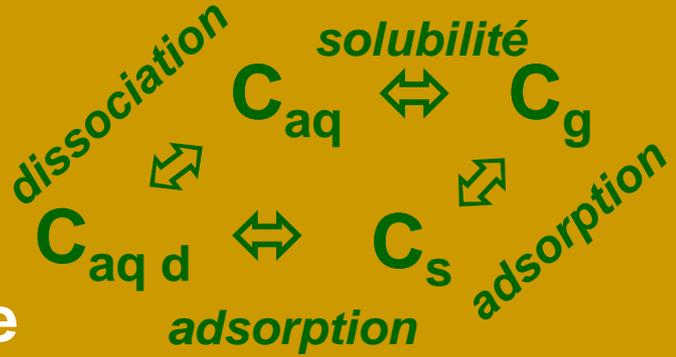
Quantité sous forme gazeuse

Sol

Transferts dans le sol

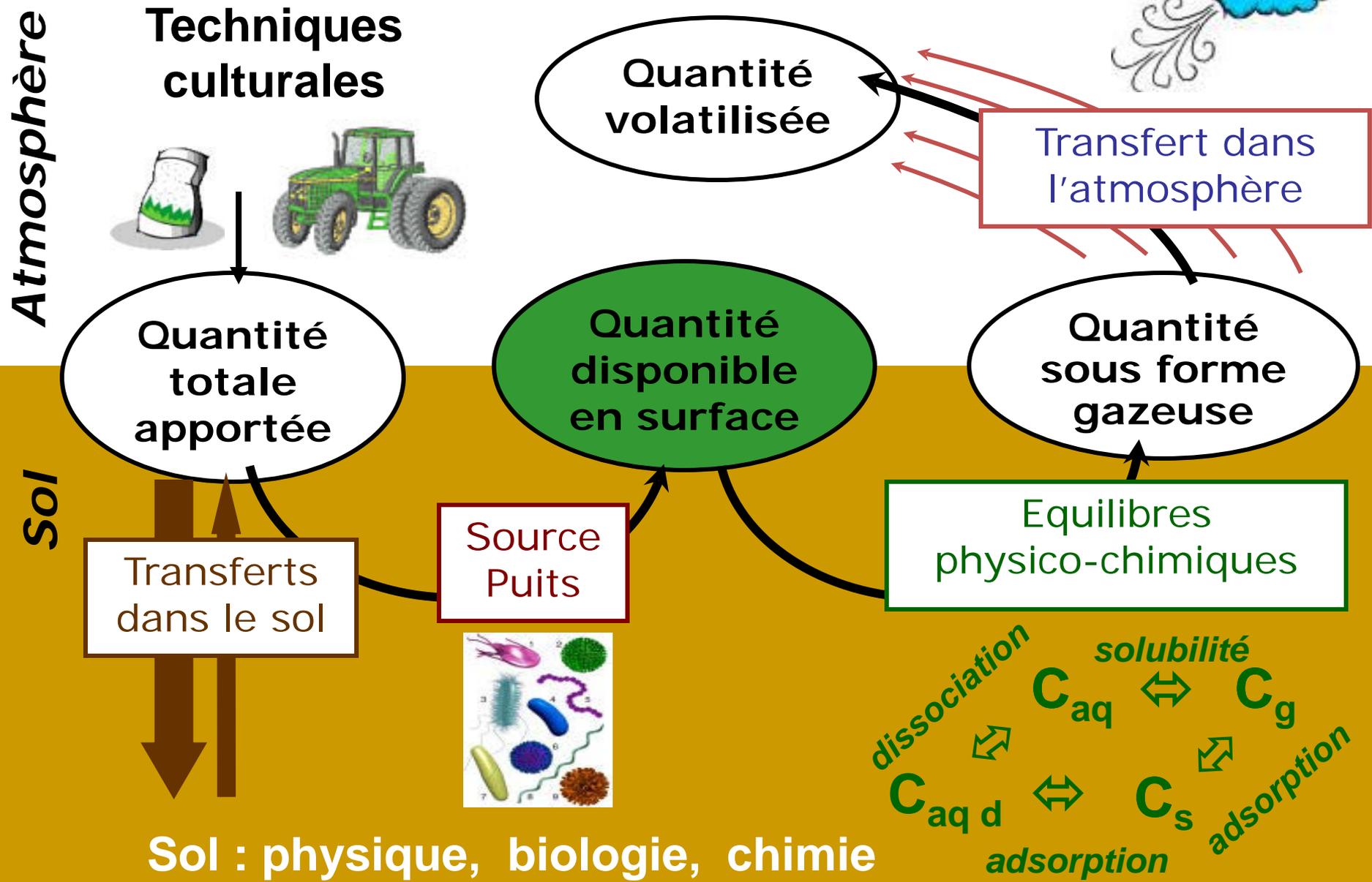
Source Puits

Equilibres physico-chimiques



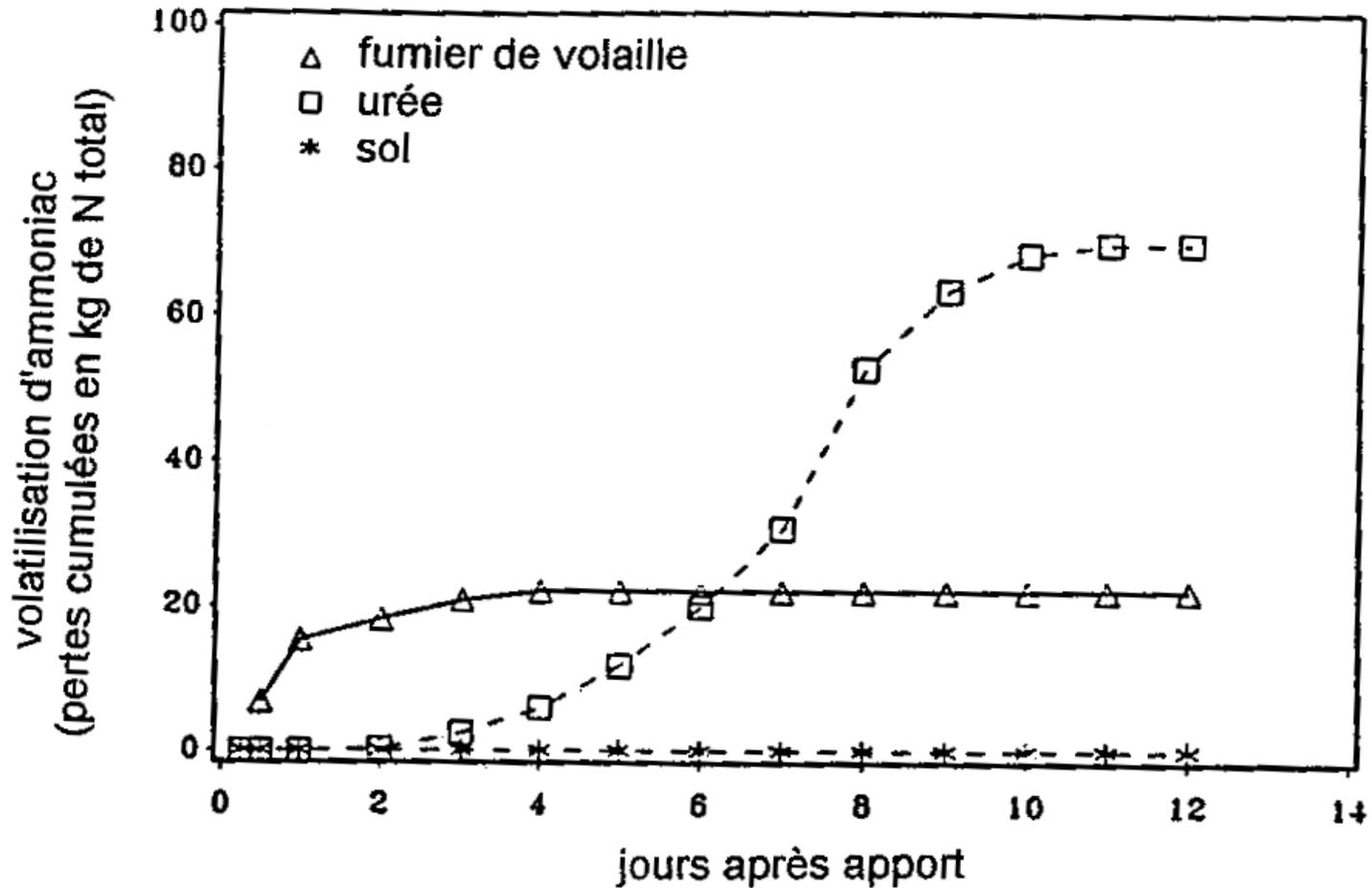
Sol : physique, biologie, chimie

Déterminisme de la volatilisation d'ammoniac au champ



Quantité
disponible
en surface

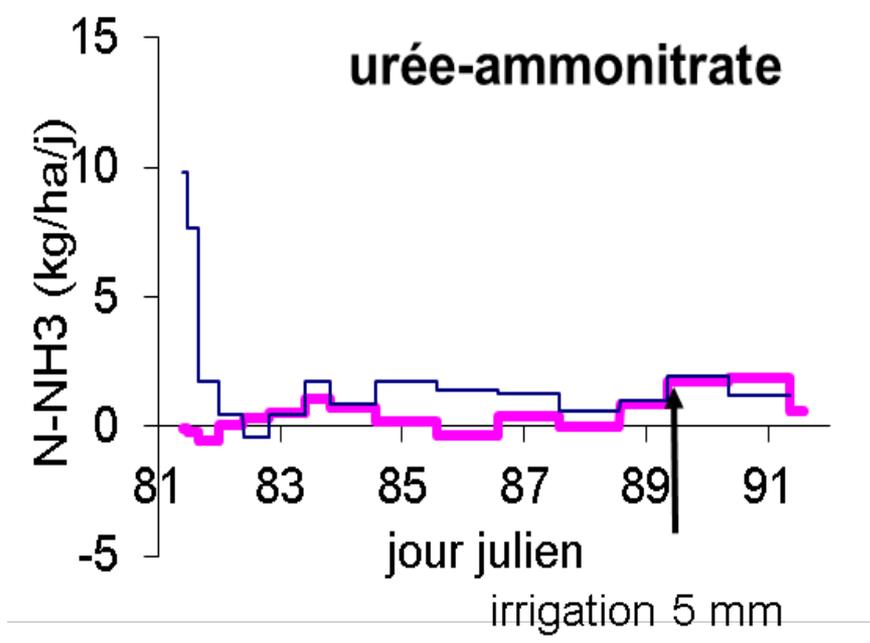
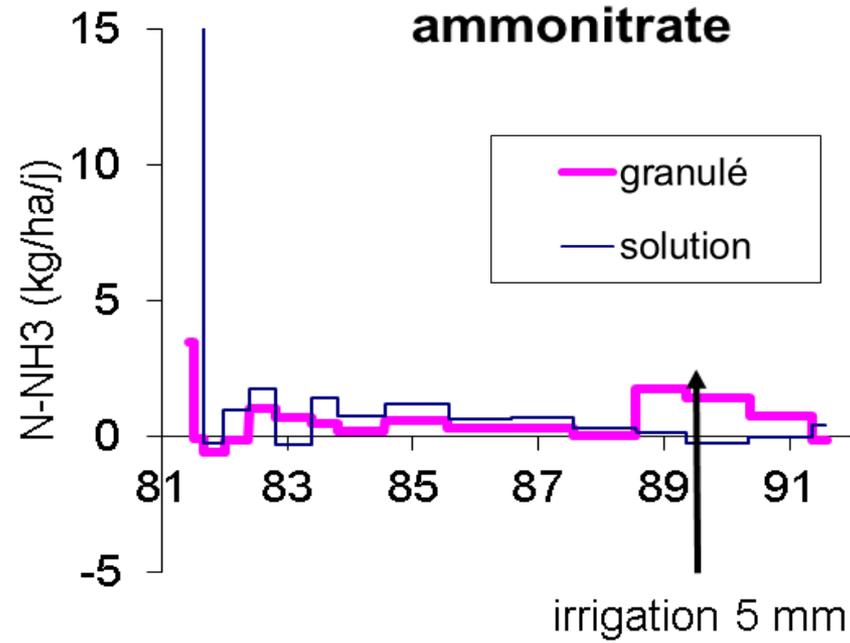
Effet du type d'engrais



D'après Schilke-Gartley et Sims, 1993

Quantité disponible en surface

Formulation et Forme physique de l'engrais

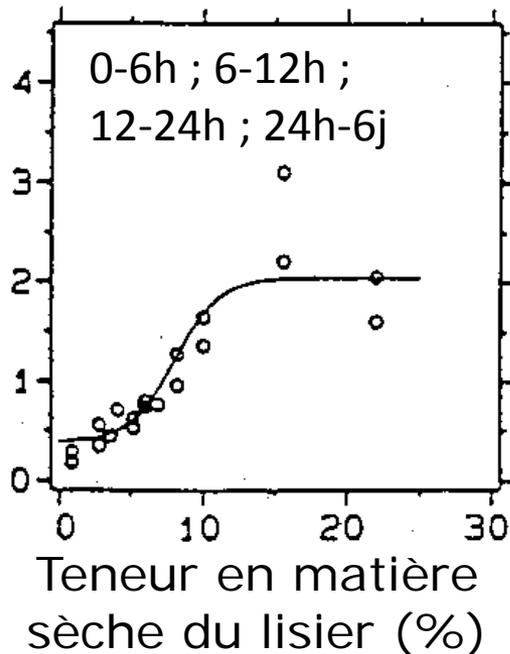


Quantité
disponible
en surface

Rôle de l'infiltration

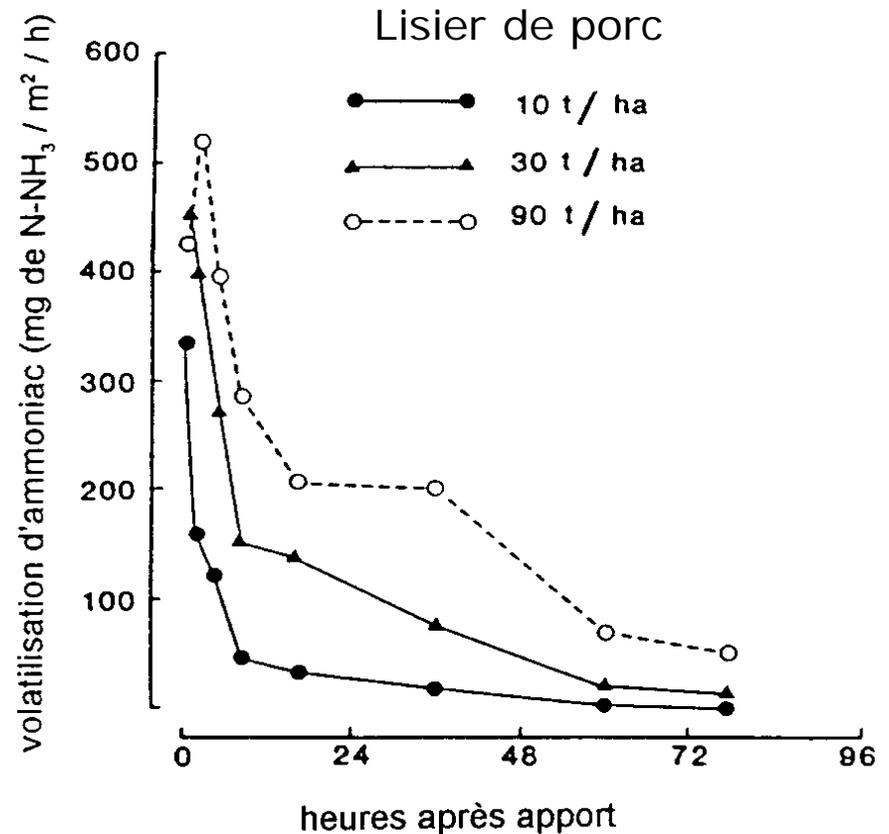
Effet de la %MS

Volatilisation d'ammoniac corrigée des effets du pH et des conditions climatiques



D'après Sommer et Olesen, 1991

Effet de la dose de lisier

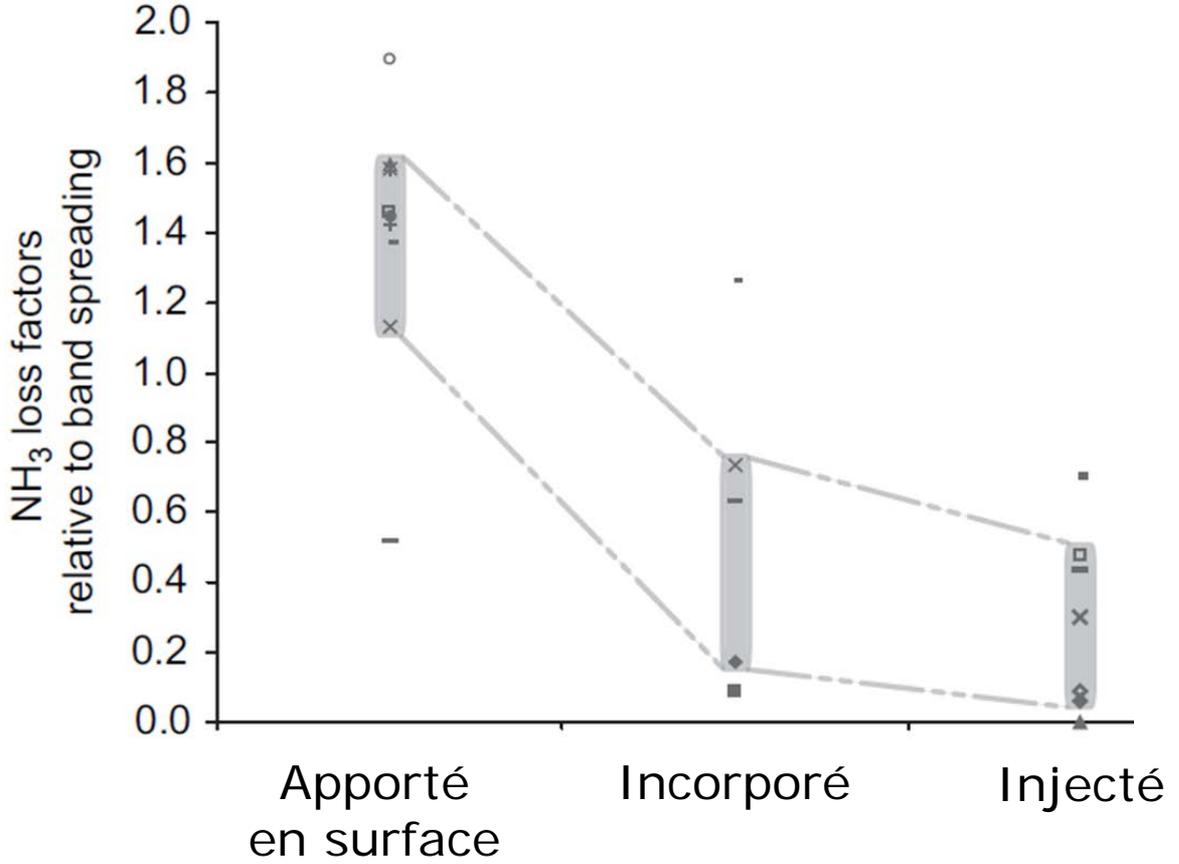


D'après Lockyer et al., 1989

Quantité disponible en surface

Préconisations

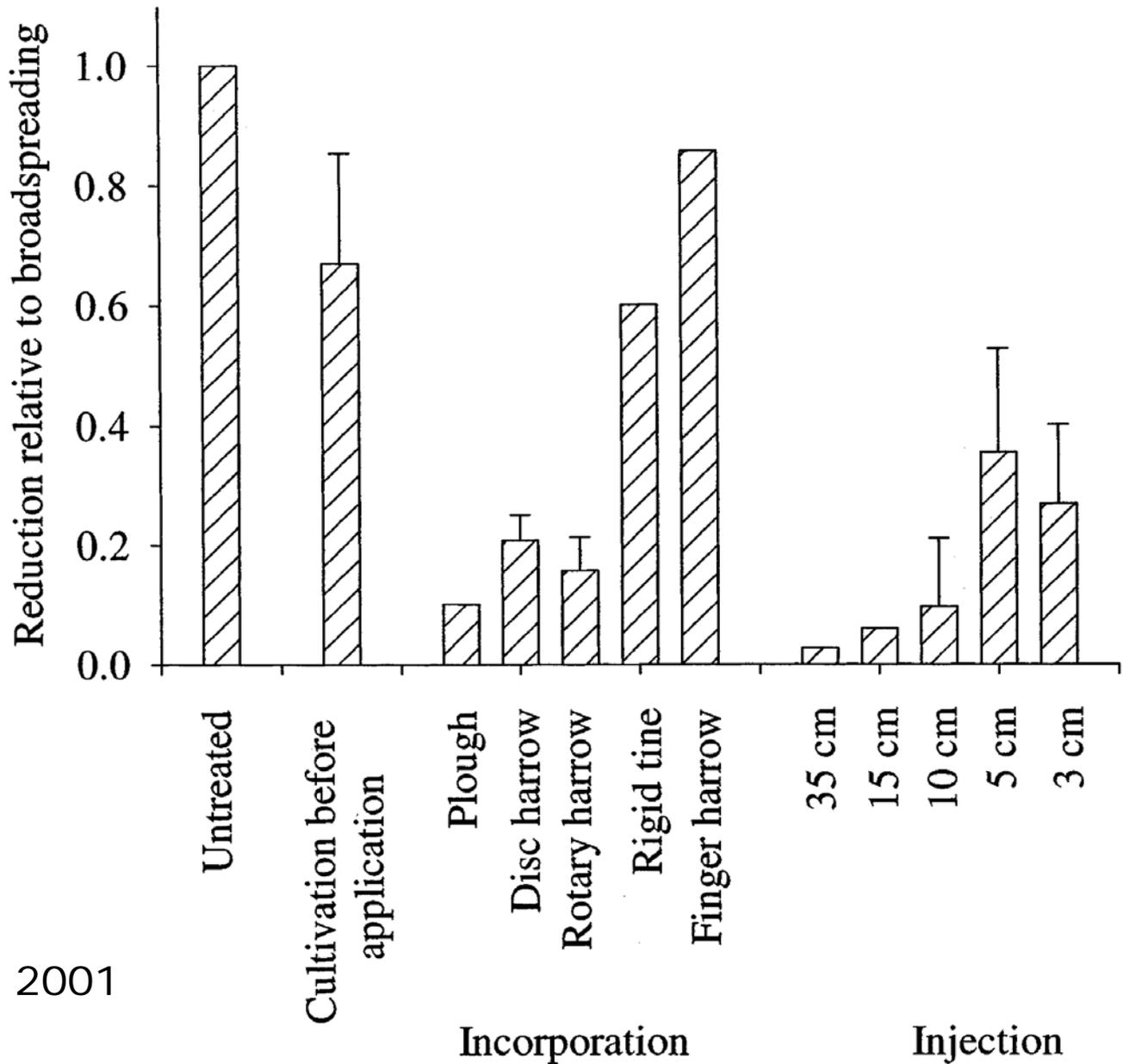
Apports - en bandes
- en profondeur



Quantité disponible en surface

Préconisations

- Travail du sol avant apport
- Incorporation après apport
- Injection



Sommer et Hutchings, 2001

Quantité disponible en surface

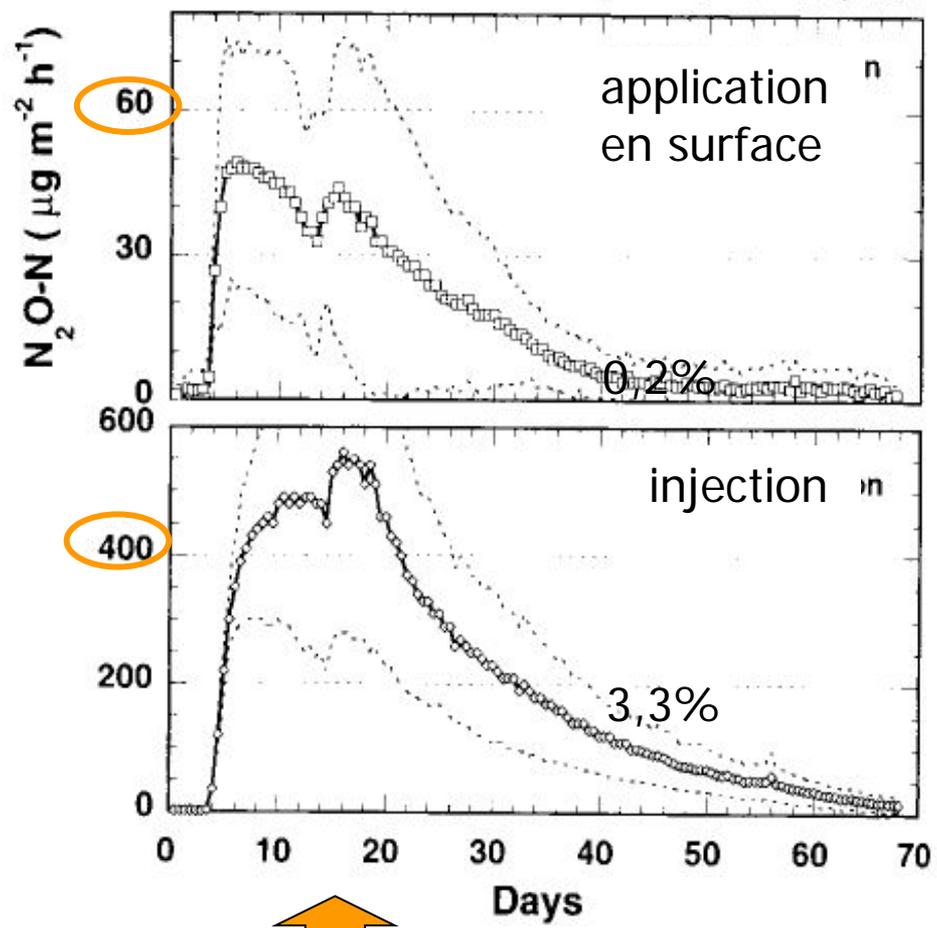
- Travail du sol avant apport
- Incorporation après apport
- Injection

Réduction efficace de la volatilisation d'ammoniac

mais ...

... augmentation des émissions de N₂O

Préconisations

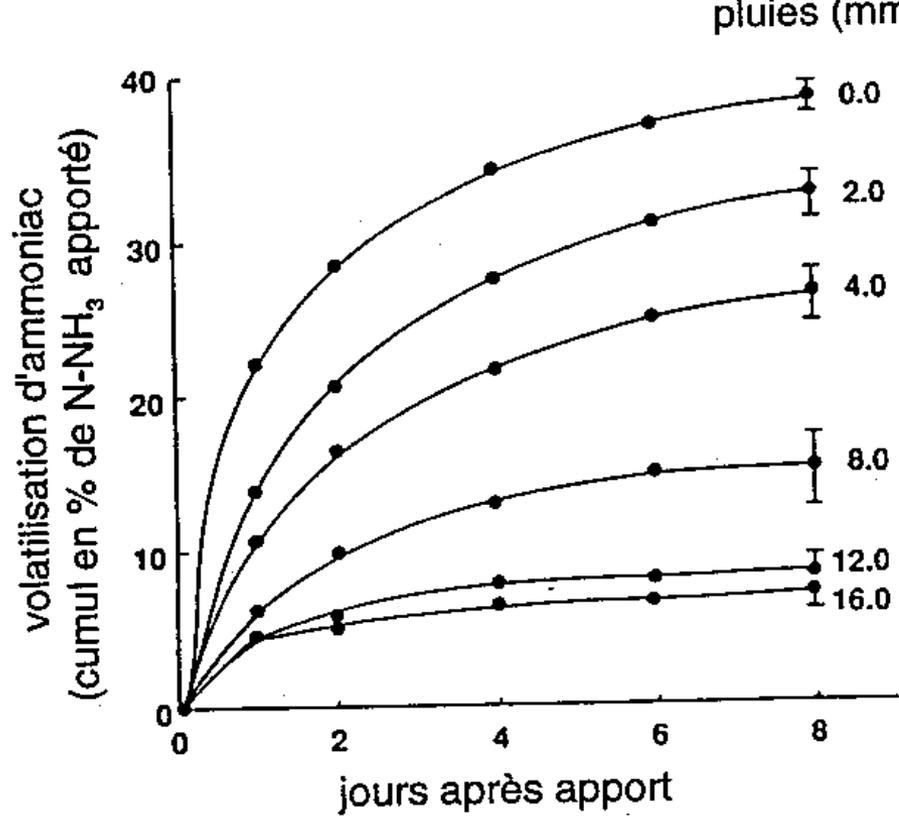


(Flessa et Beese, 2000)

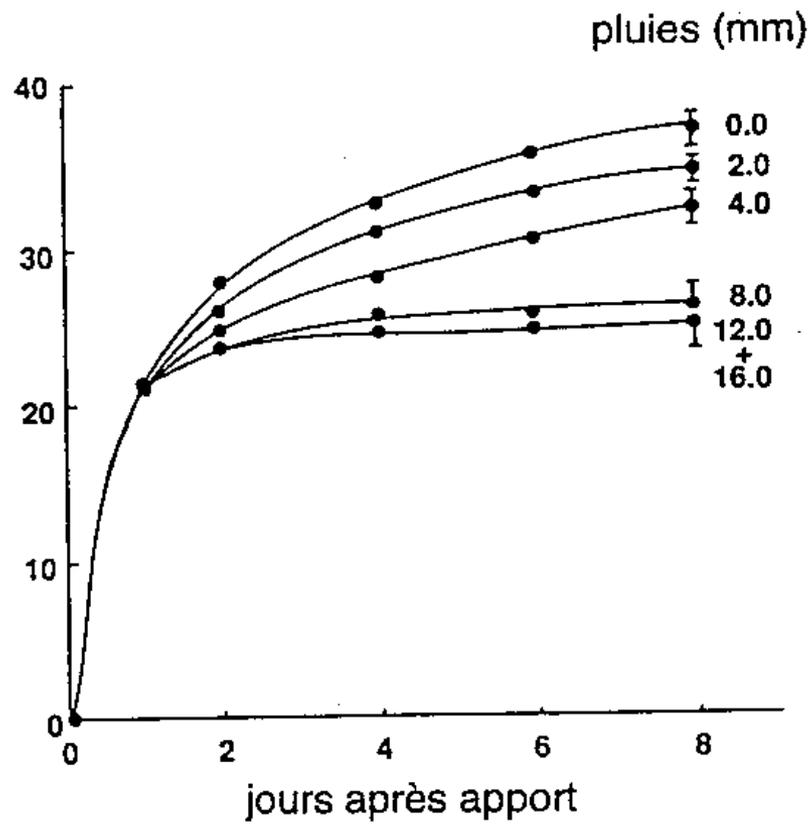
Quantité disponible en surface

Effet de la pluie sur l'infiltration

a) 2 heures après l'apport (urée)



b) 2 jours après l'apport (urée)

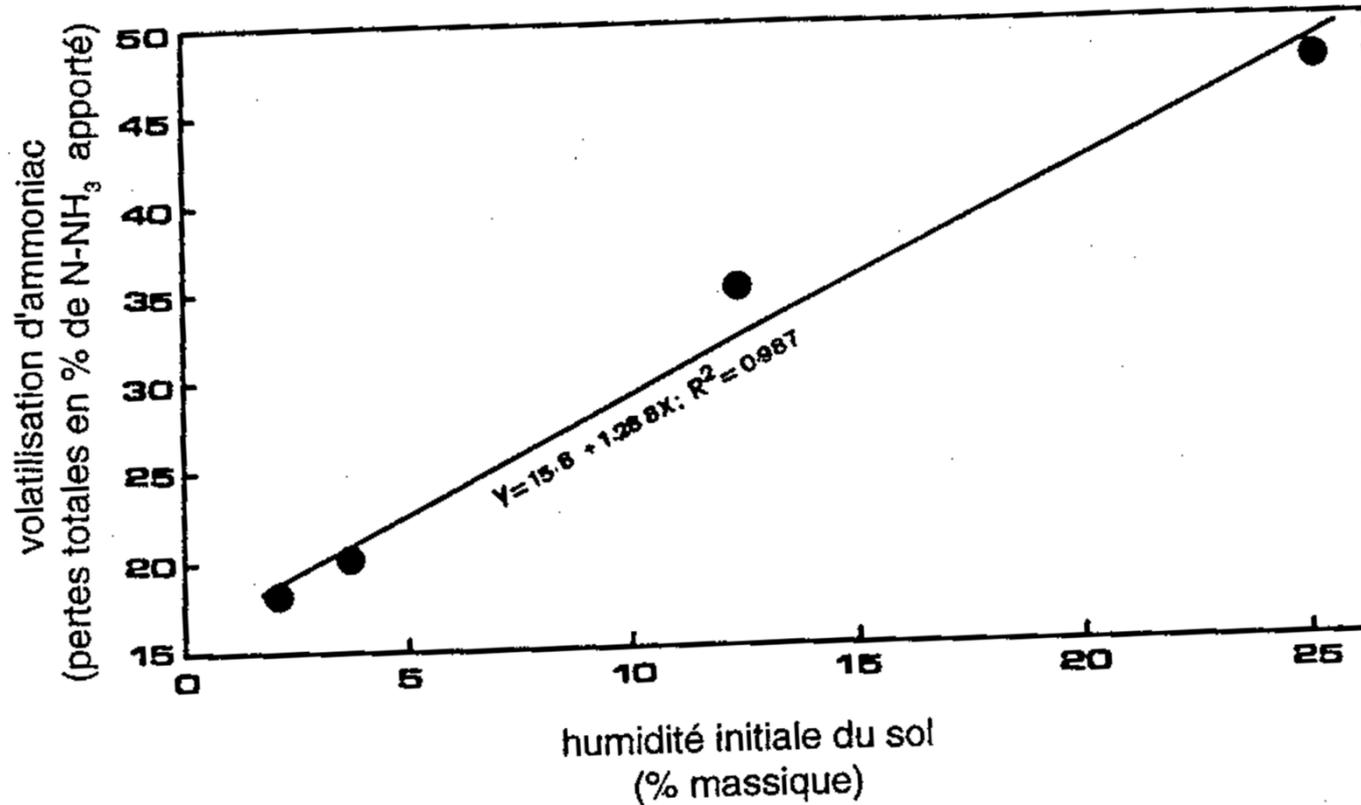


D'après Whitehead et Raistrick, 1991

Quantité
disponible
en surface

Effet de la teneur en eau initiale du sol

Volatilisation sur 10 jours après apport d'urée



D'après Al-Kanani et al., 1991

Déterminisme de la volatilisation d'ammoniac au champ



Atmosphère

Techniques culturales



Quantité volatilisée

Transfert dans l'atmosphère

Quantité totale apportée

Quantité disponible en surface

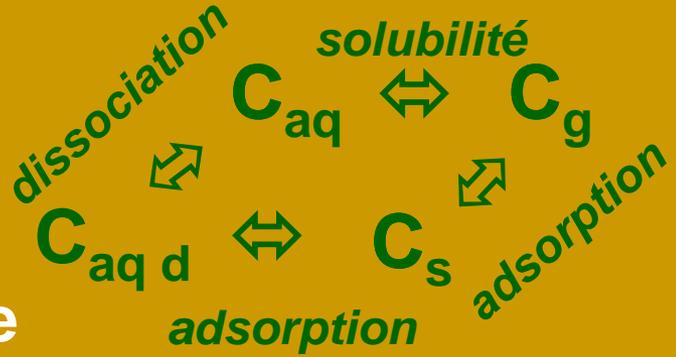
Quantité sous forme gazeuse

Sol

Transferts dans le sol

Source Puits

Equilibres physico-chimiques



Sol : physique, biologie, chimie

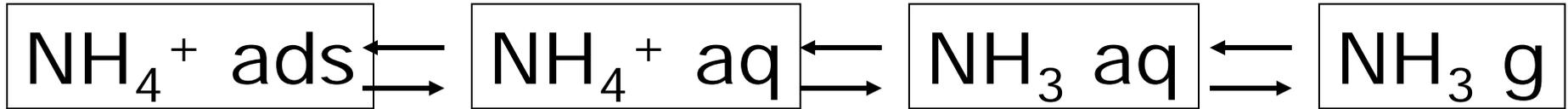
Quantité
sous forme
gazeuse

Equilibres physico-chimiques

CEC
pH, MO

pH, T
I, CO_3^{2-}

T
 θ_v , Φ



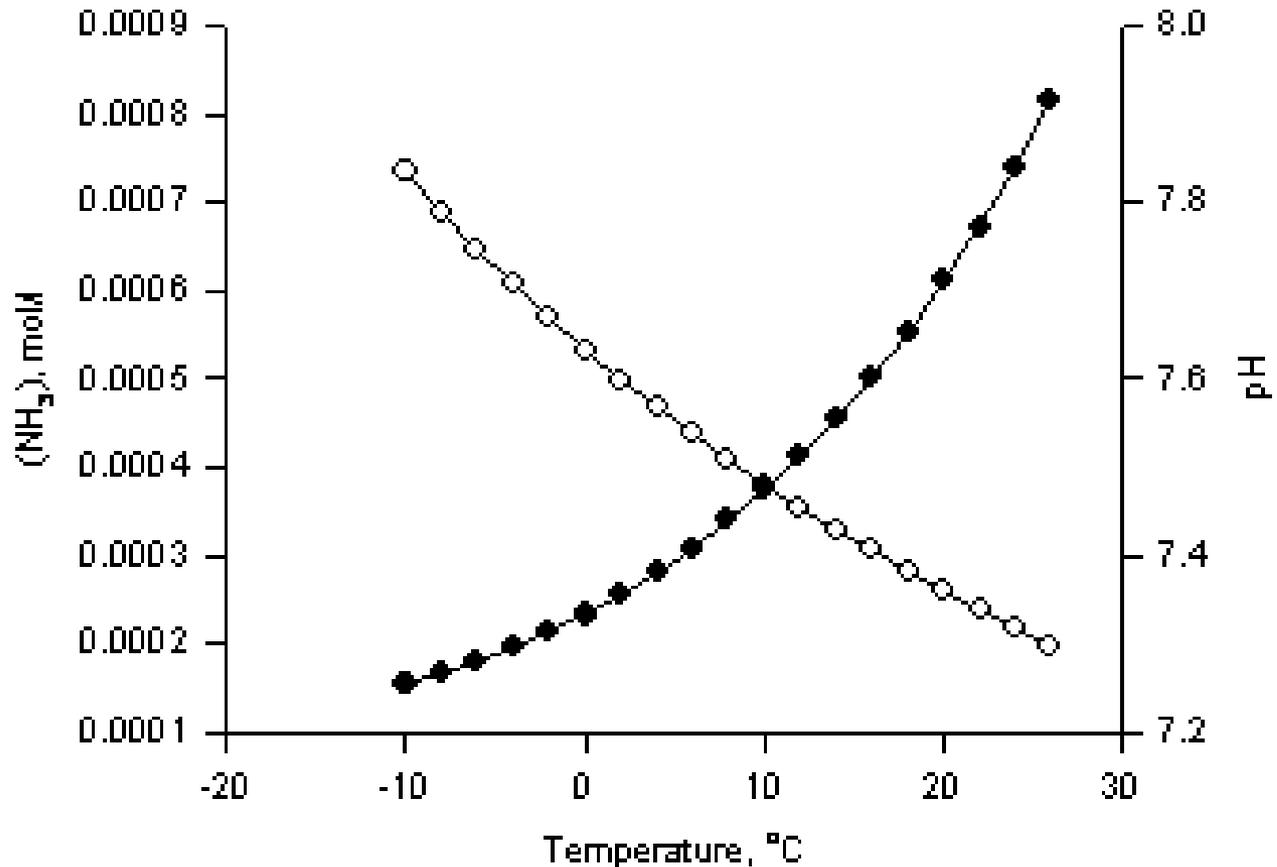
Equilibre
d'adsorption

Equilibre
acido-basique

Equilibre de
solubilité

Quantité
sous forme
gazeuse

Equilibres physico-chimiques



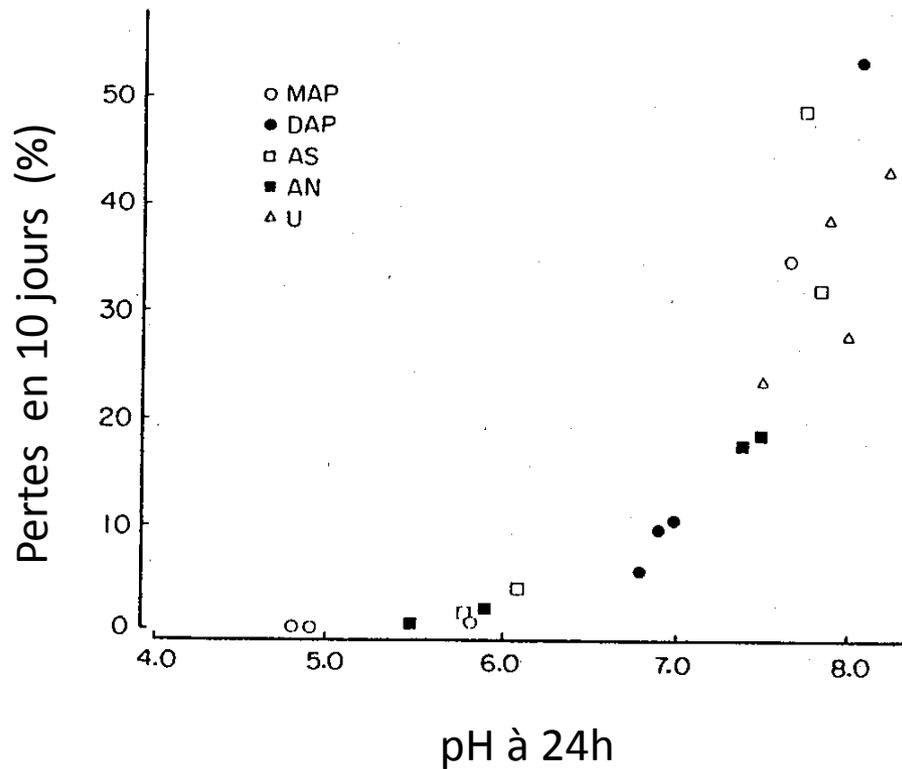
Concentrations en ammoniac (•) et pH (m) calculées à l'équilibre pour un lisier de porc avec des températures variant de -15 à 30°C

Quantité
sous forme
gazeuse

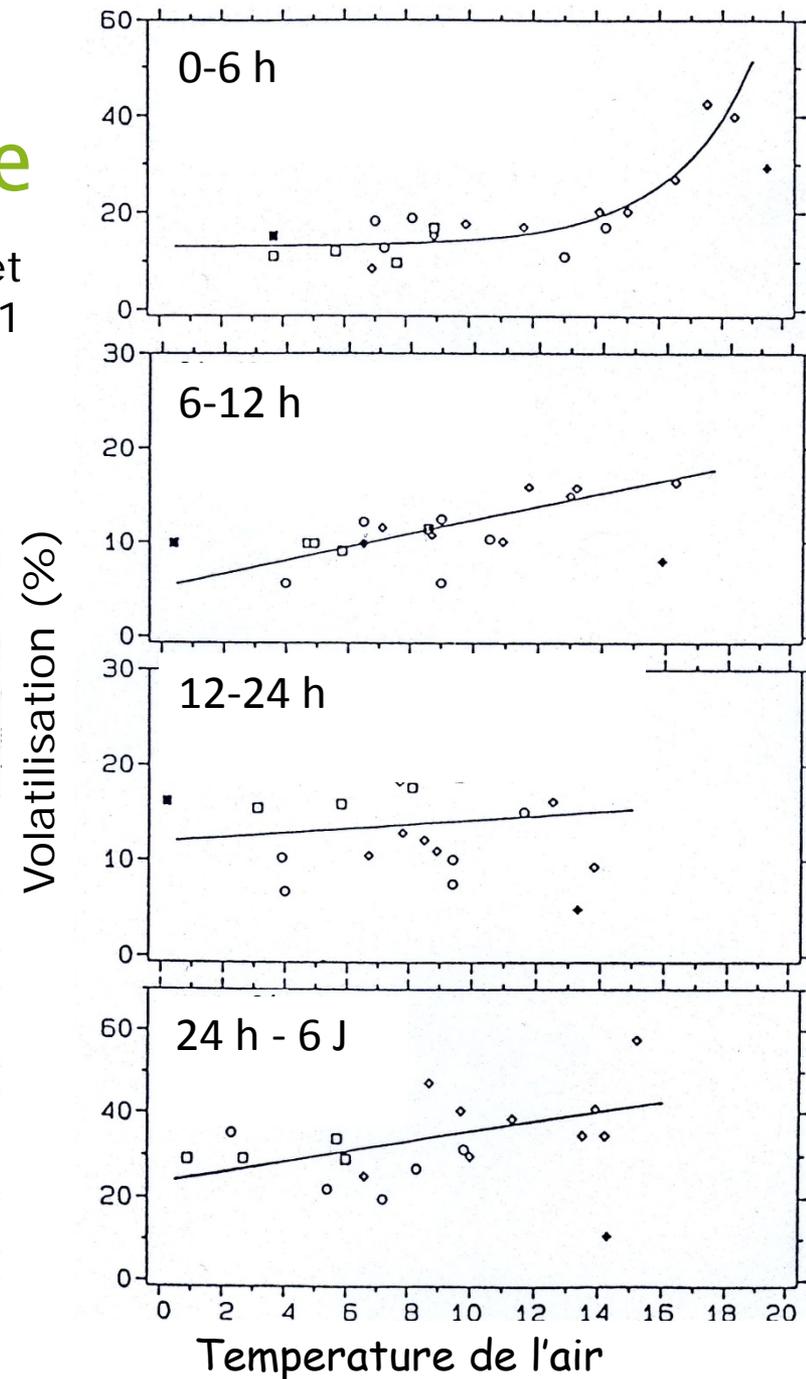
Effet de la température

D'après Sommer et
Olesen, 1991

Effet du pH



Whitehead et Raistrick, 1990



Quantité sous forme gazeuse

Apport d'urée sur 3 sols
se différenciant par leur
pouvoir tampon (β)

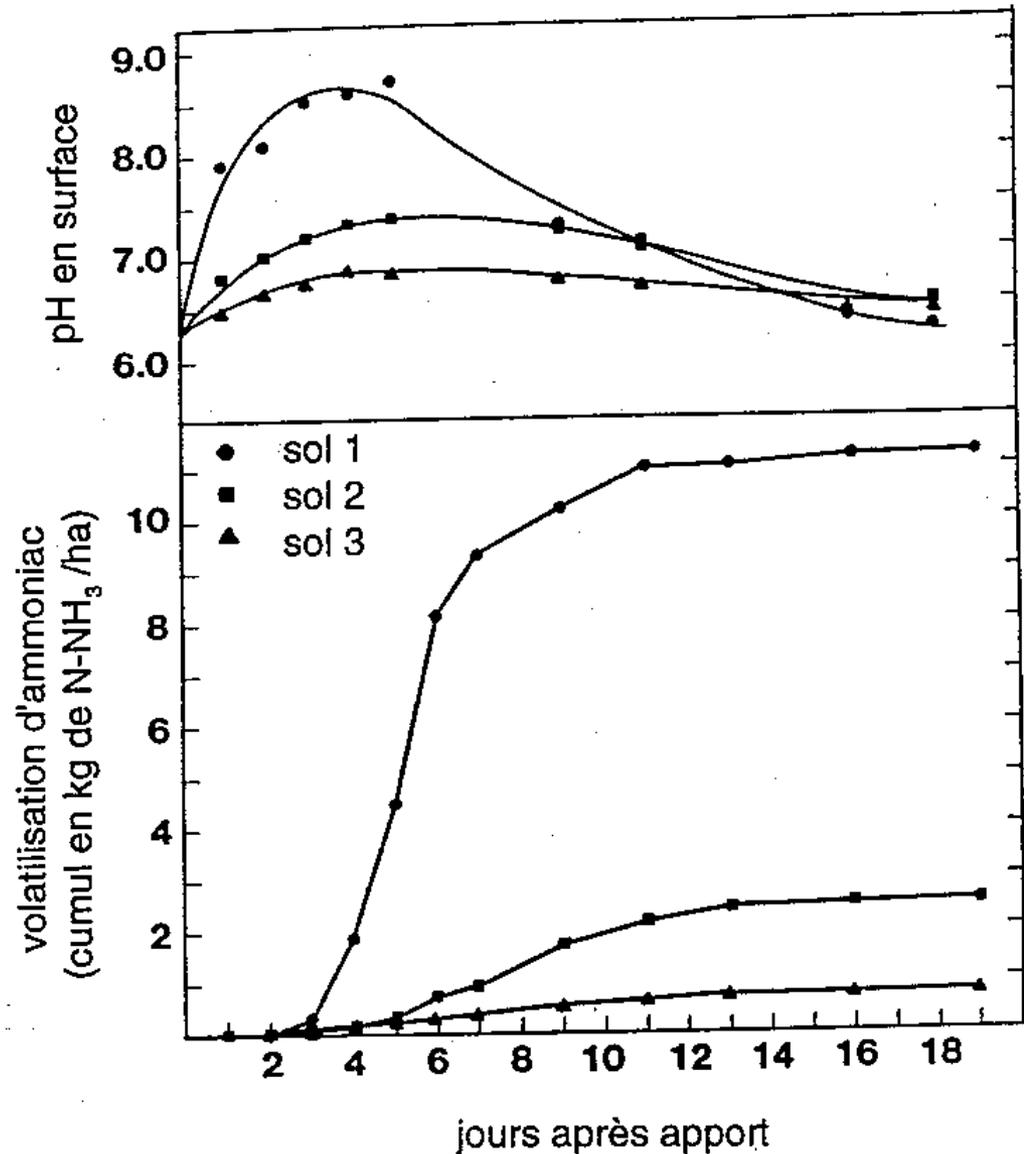
Sol 1 : β faible

Sol 2 : β moyen

Sol 3 : β fort

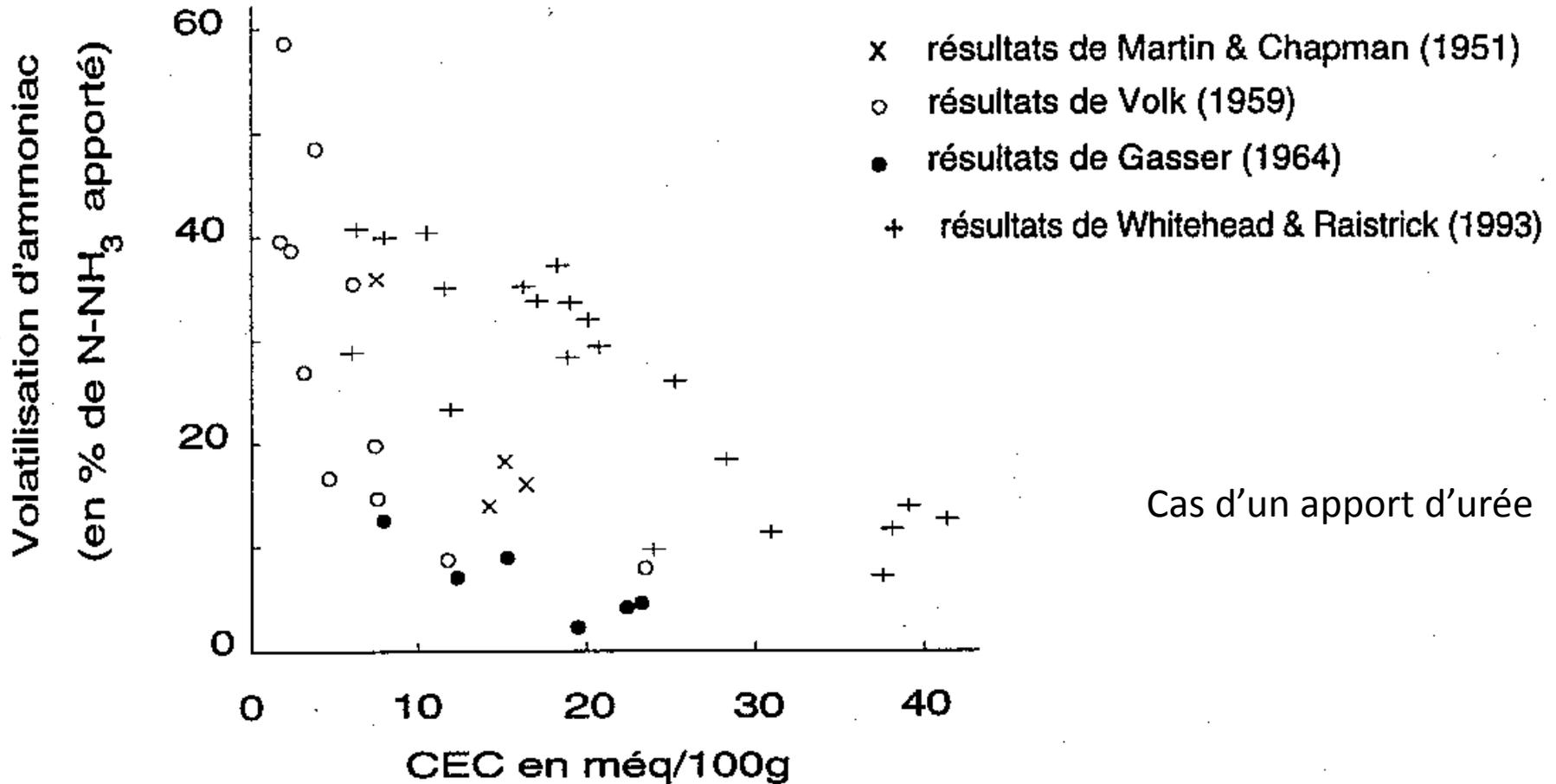
Fergusson et al., 1984

Effet du pouvoir tampon

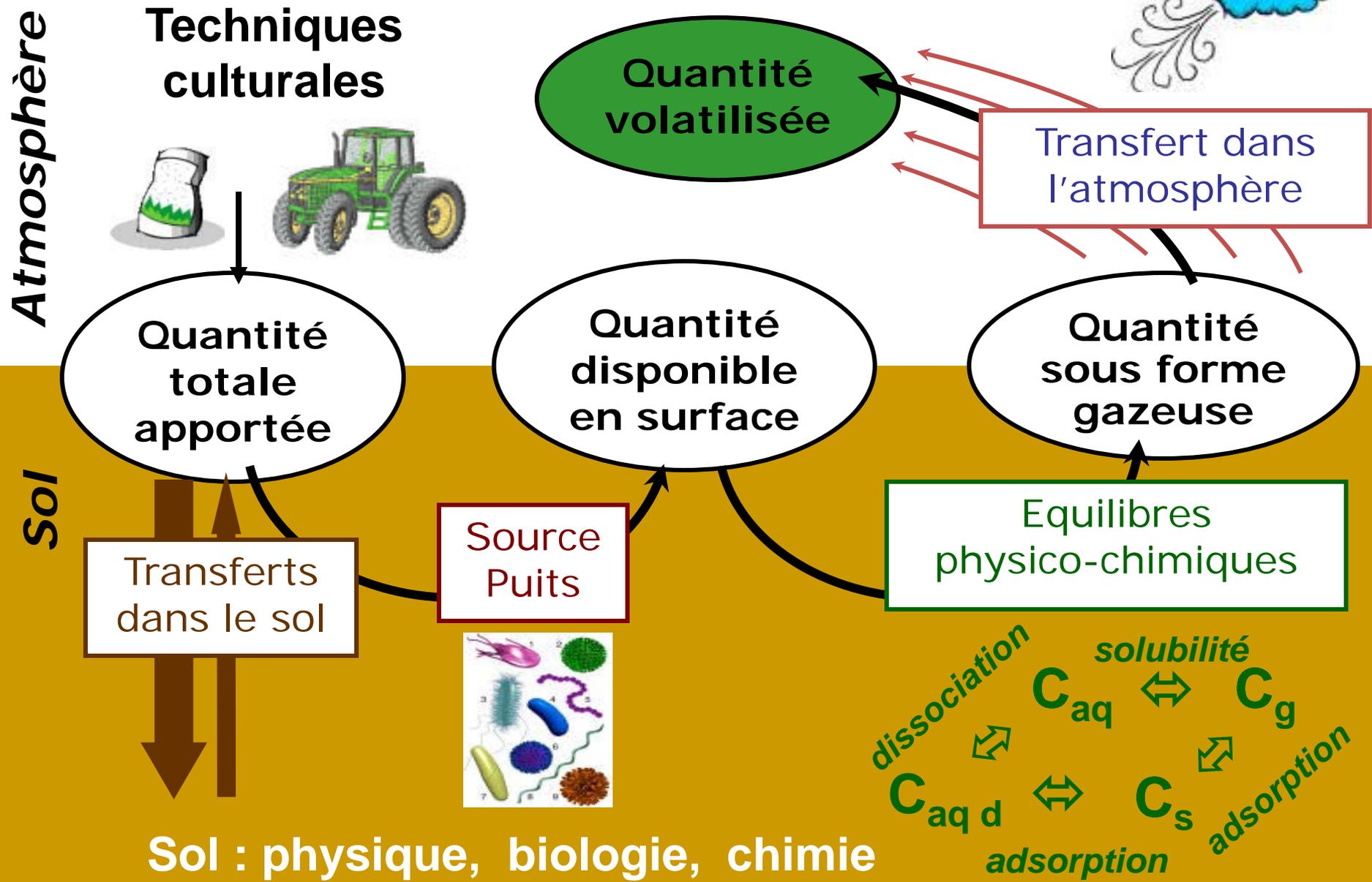


Quantité
sous forme
gazeuse

Effet de la capacité d'échange cationique

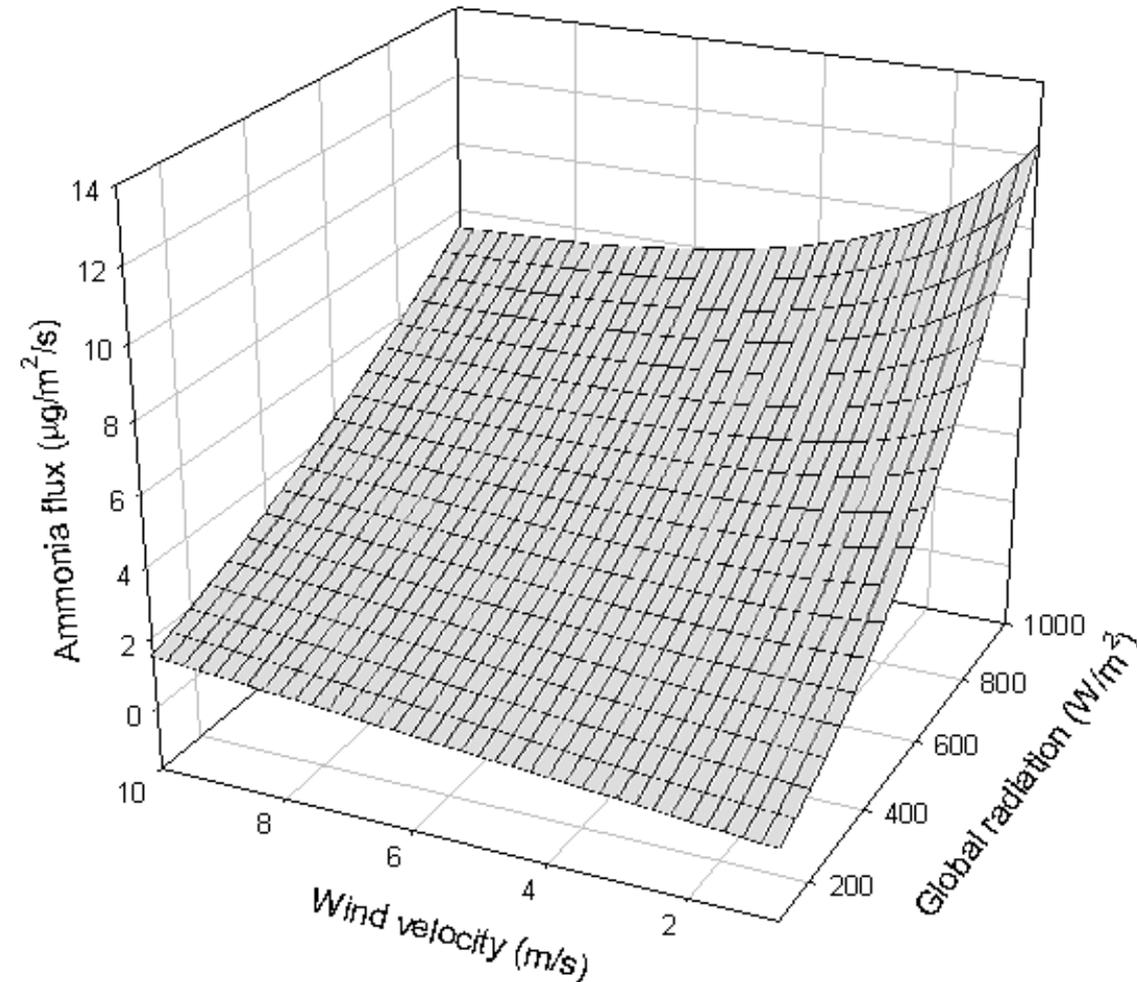


Déterminisme de la volatilisation d'ammoniac au champ



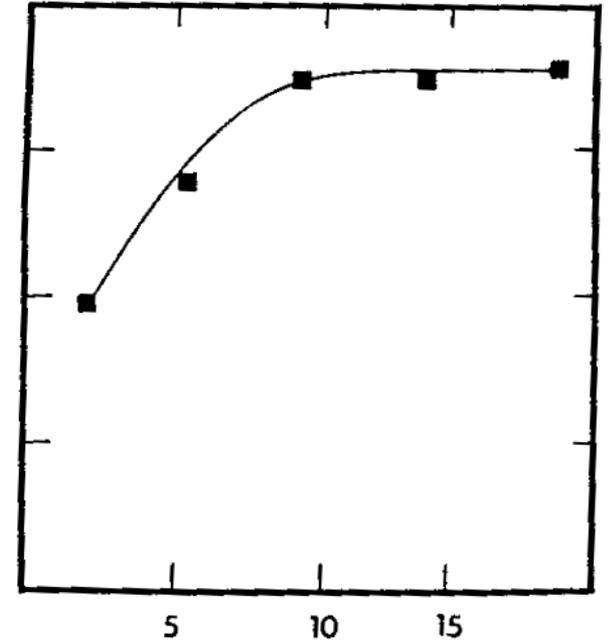
Dispersion par le vent

Quantité
volatilisée



Sommer et al., 2003

volatilisation d'ammoniac
(pertes relatives)



taux de renouvellement d'air
dans les enceintes (volumes/mn)

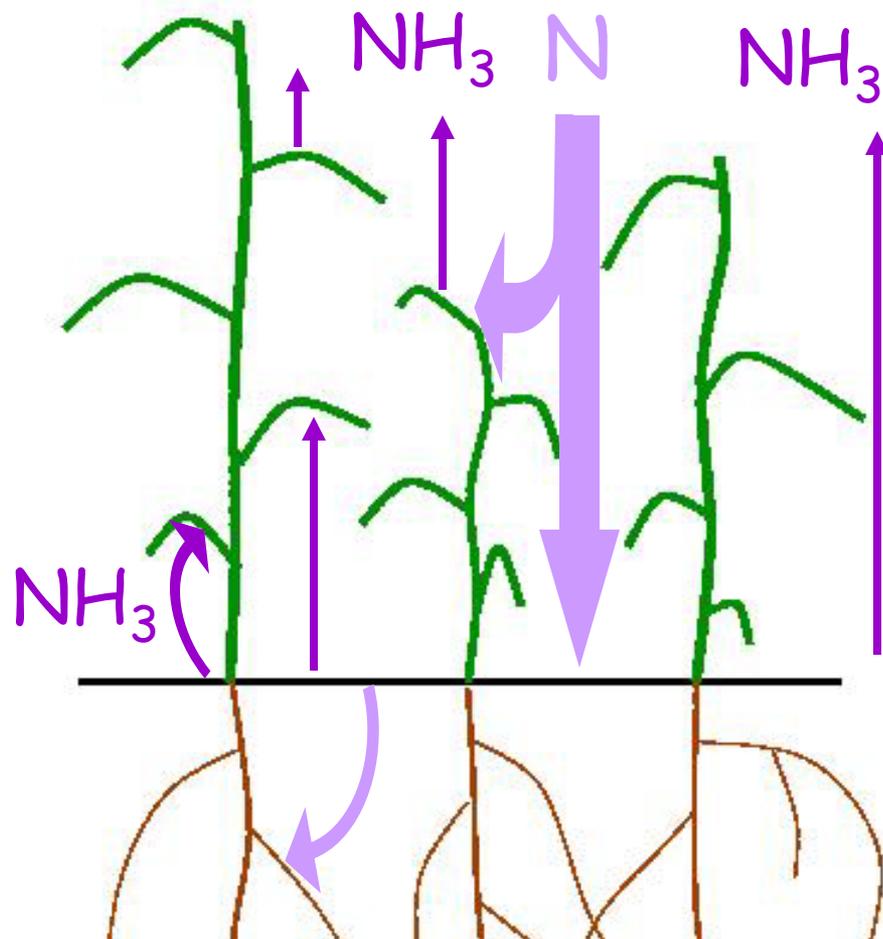
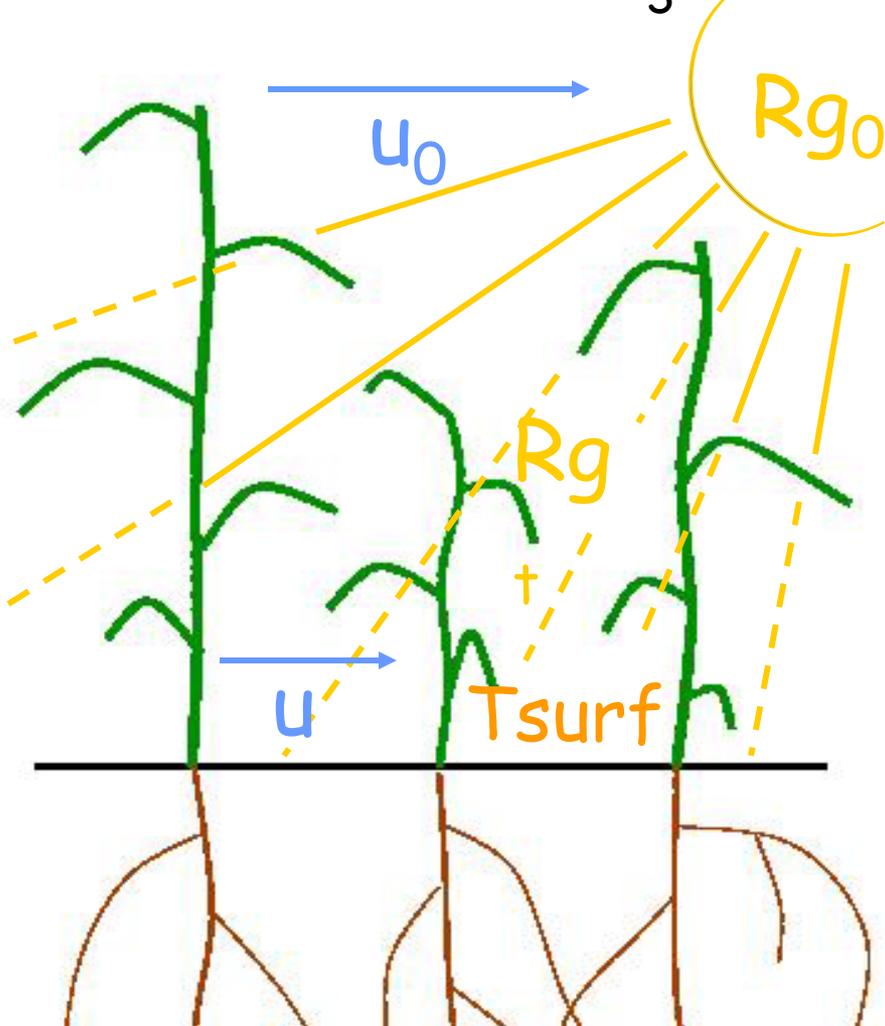
Kissel et al., 1977

Quantité
volatilisée

Présence d'un couvert végétal

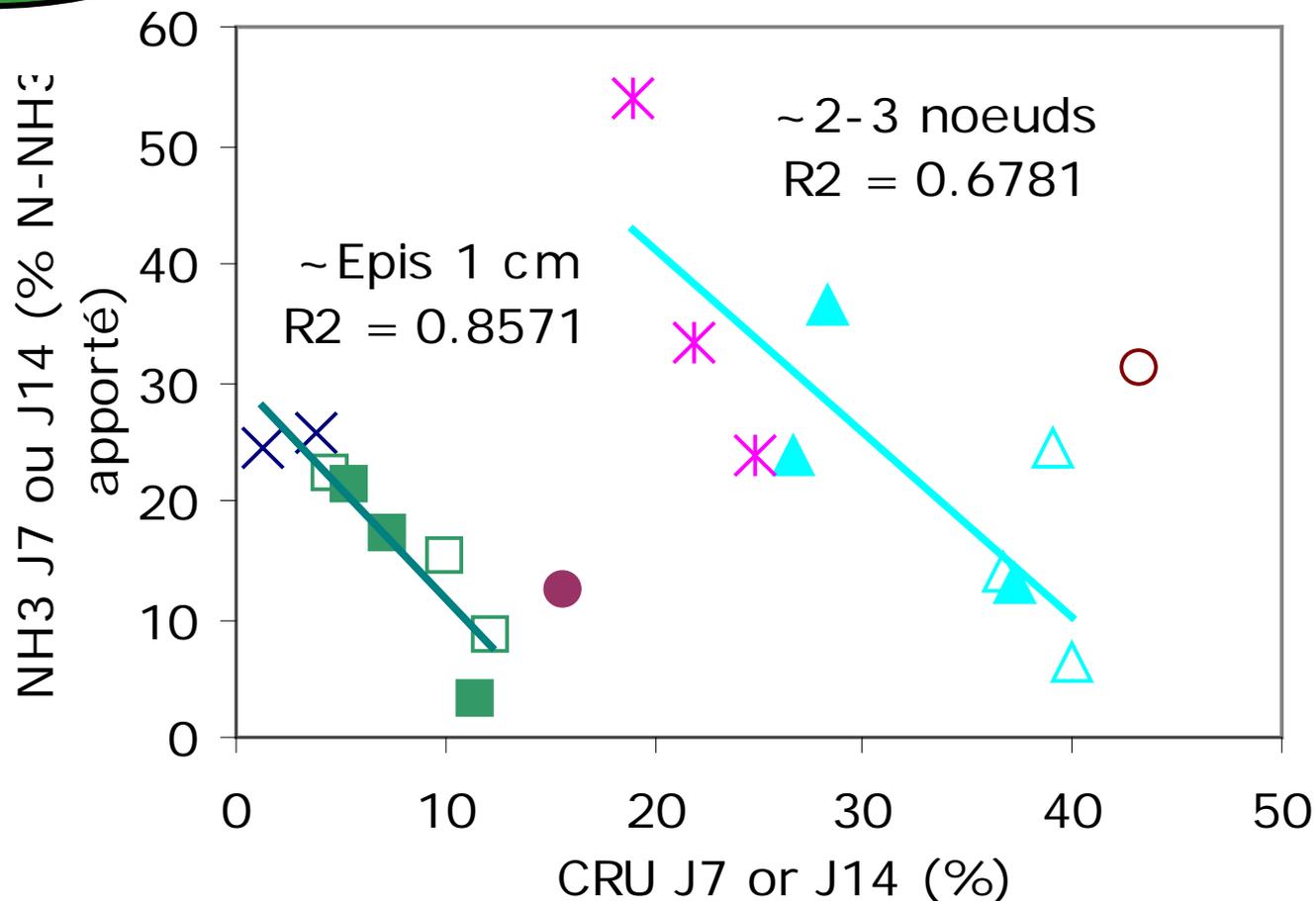
Microclimat : $\text{NH}_3 \downarrow$

Absorption d'N : $\text{NH}_3 \downarrow$



Quantité
volatilisée

Présence d'un couvert végétal



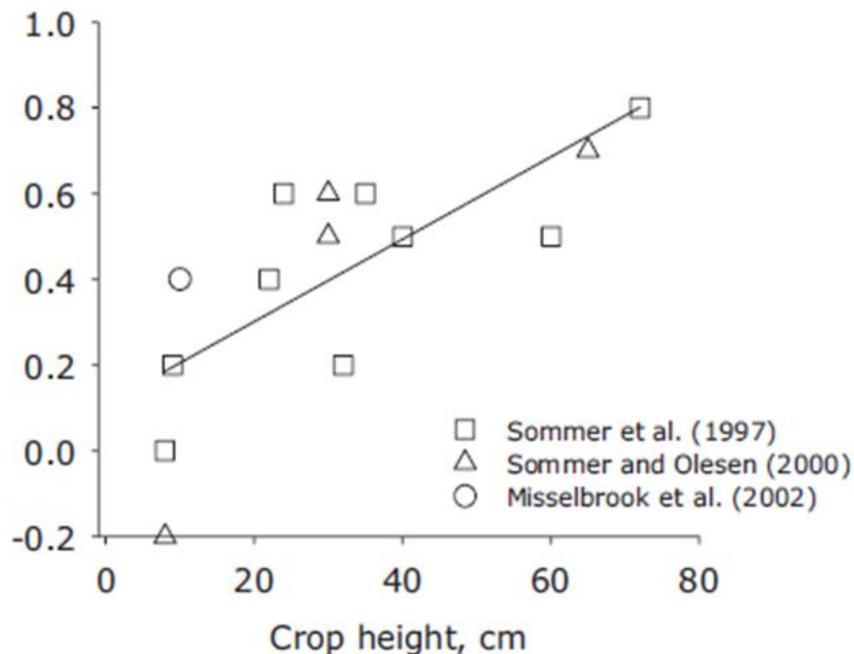
Après apport de 100 kgN/ha de UAN ou AN solution
sur du blé à différentes densités



Quantité
volatilisée

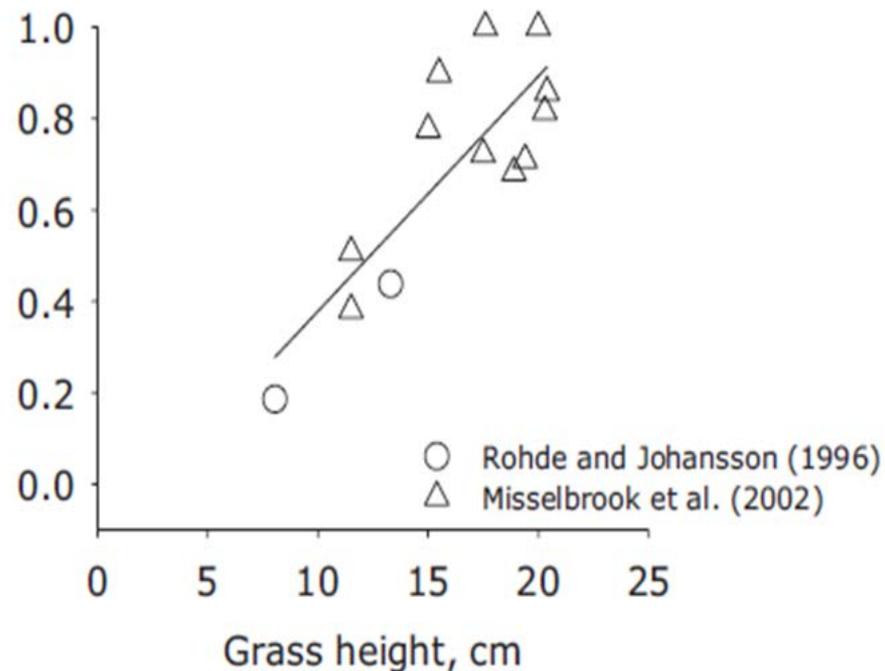
Présence d'un couvert végétal

Réduction de la volatilisation d'ammoniac
après un apport de lisier avec pendillards et/ou sabots
en présence d'un couvert végétal relativement à un sol nu



Sur céréales d'hiver

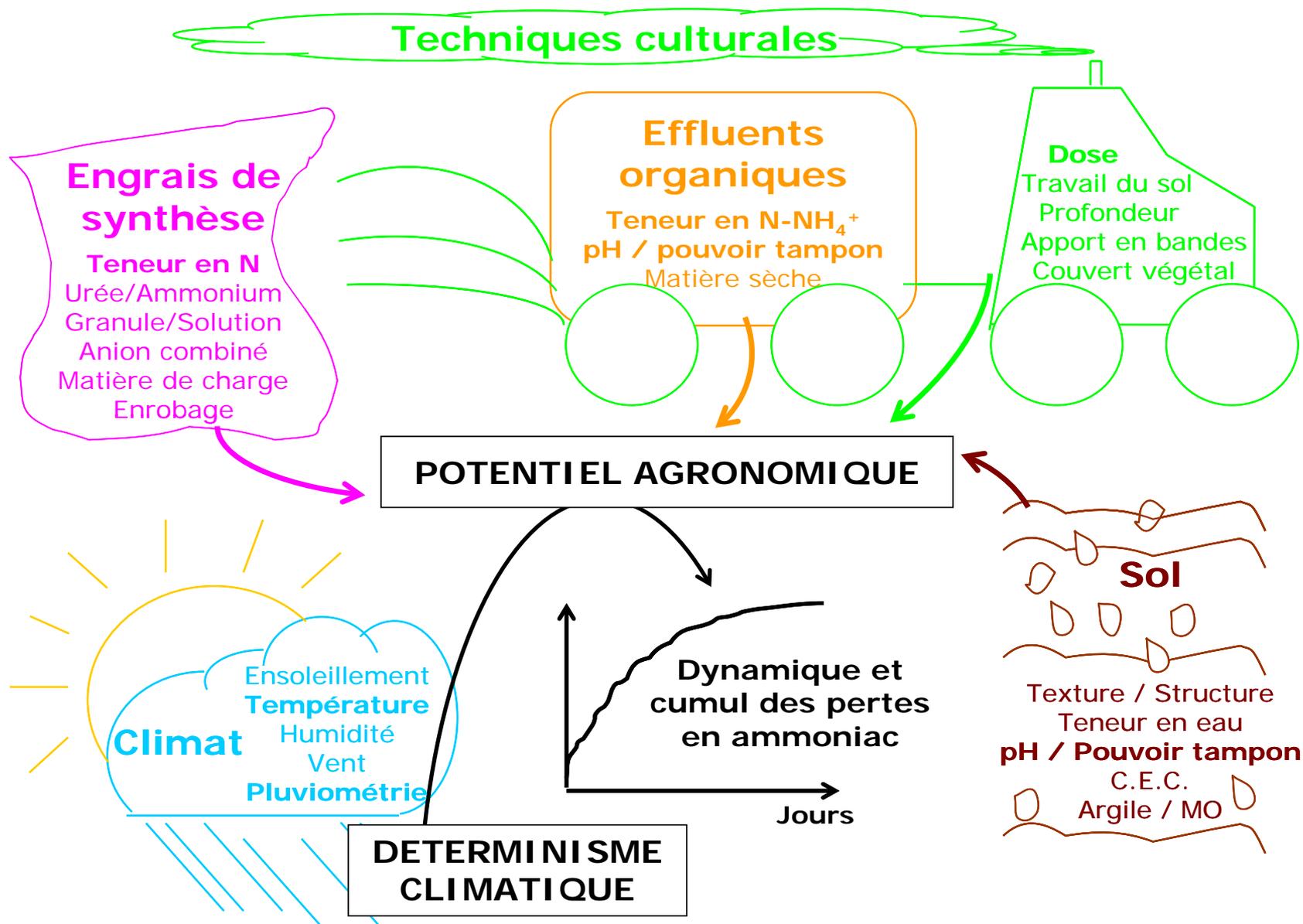
$$F(x) = 0.12 + 0.01x, r^2 = 0.57$$



Sur prairies

$$F(x) = -0.14 + 0.05x, r^2 = 0.69$$

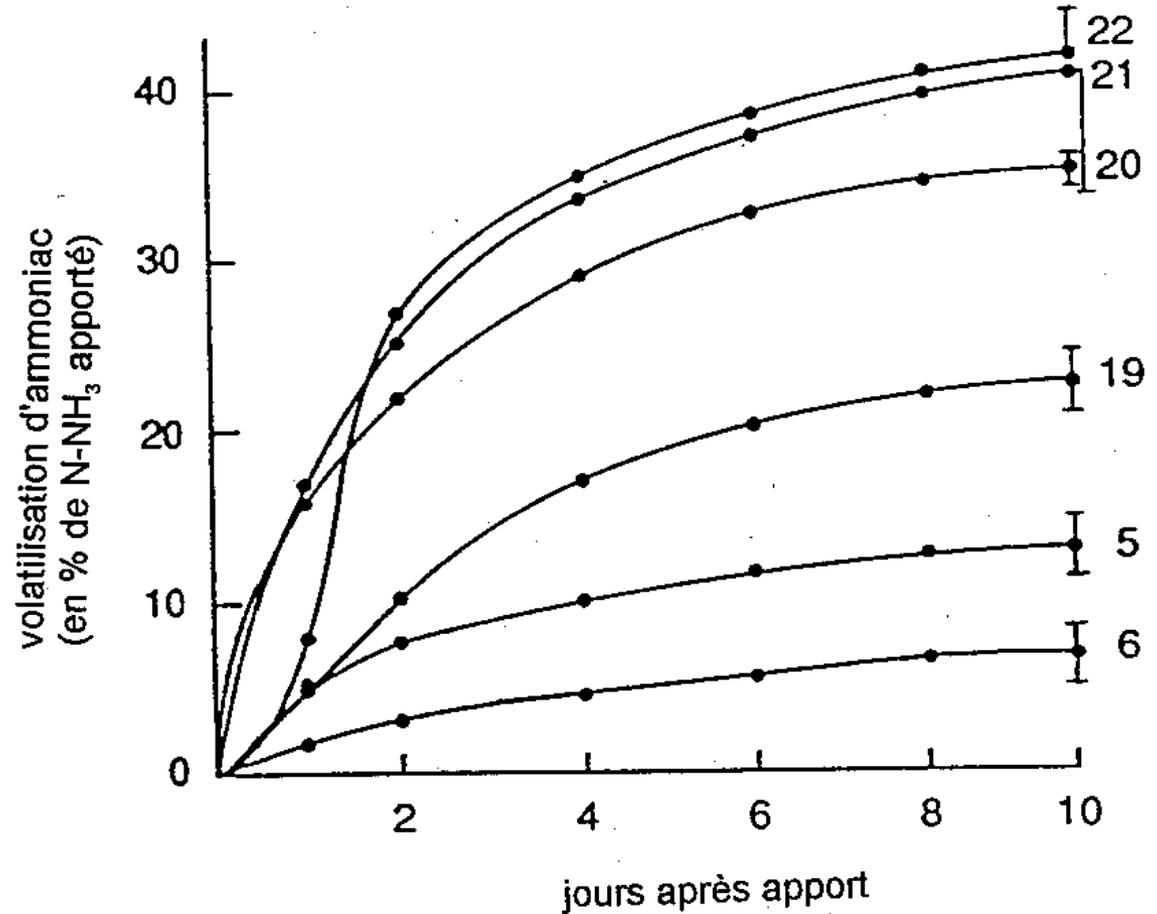
Déterminisme de la volatilisation d'ammoniac au champ : récapitulation



Déterminisme de la volatilisation d'ammoniac au champ : récapitulation

Ex : Effet sol

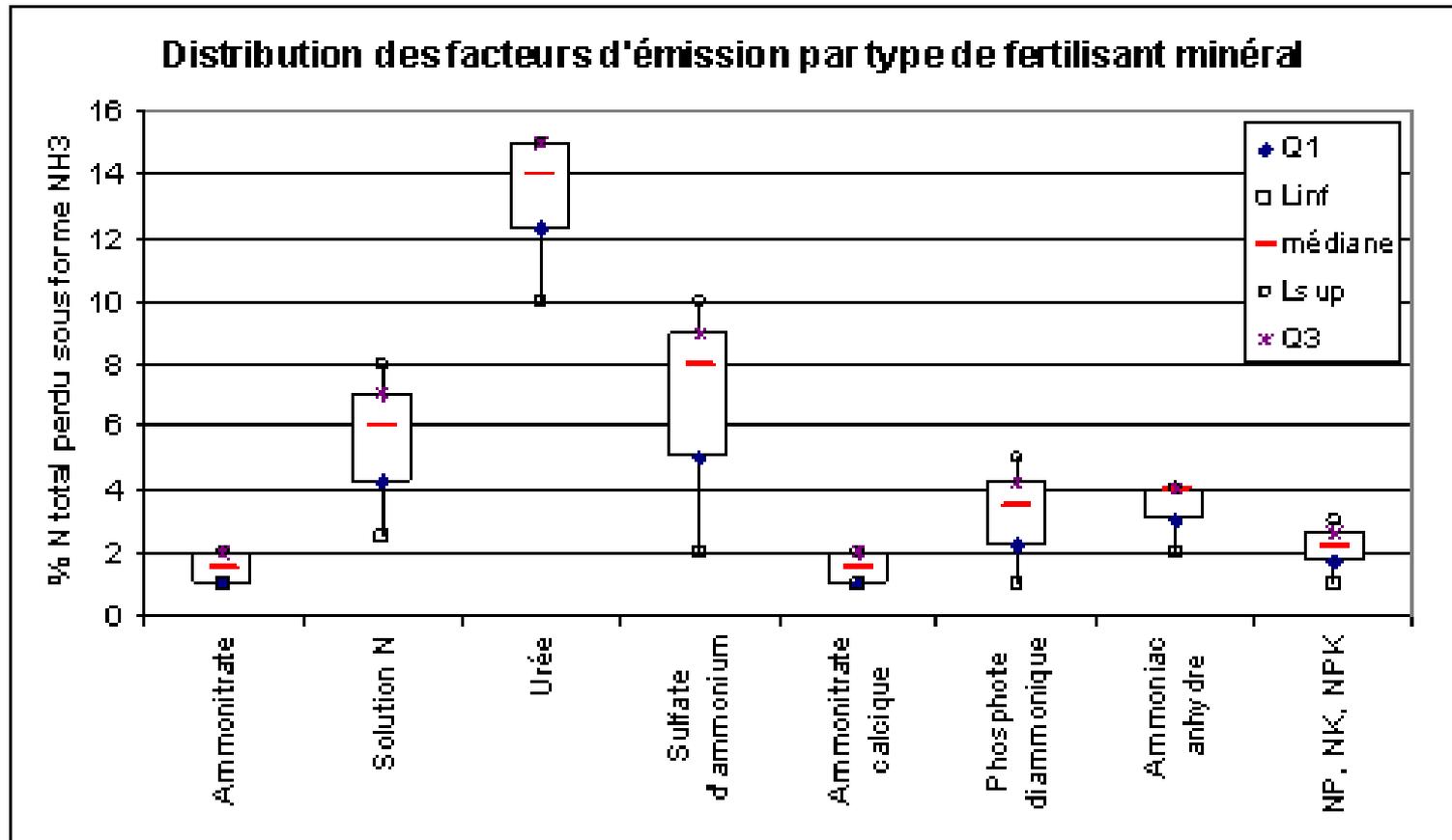
sol 22 > 6 * sol 6
(urine de vache)



Whitehead et Raistrick, 1993

Déterminisme de la volatilisation d'ammoniac au champ : récapitulation

Ex : Effet type d'engrais

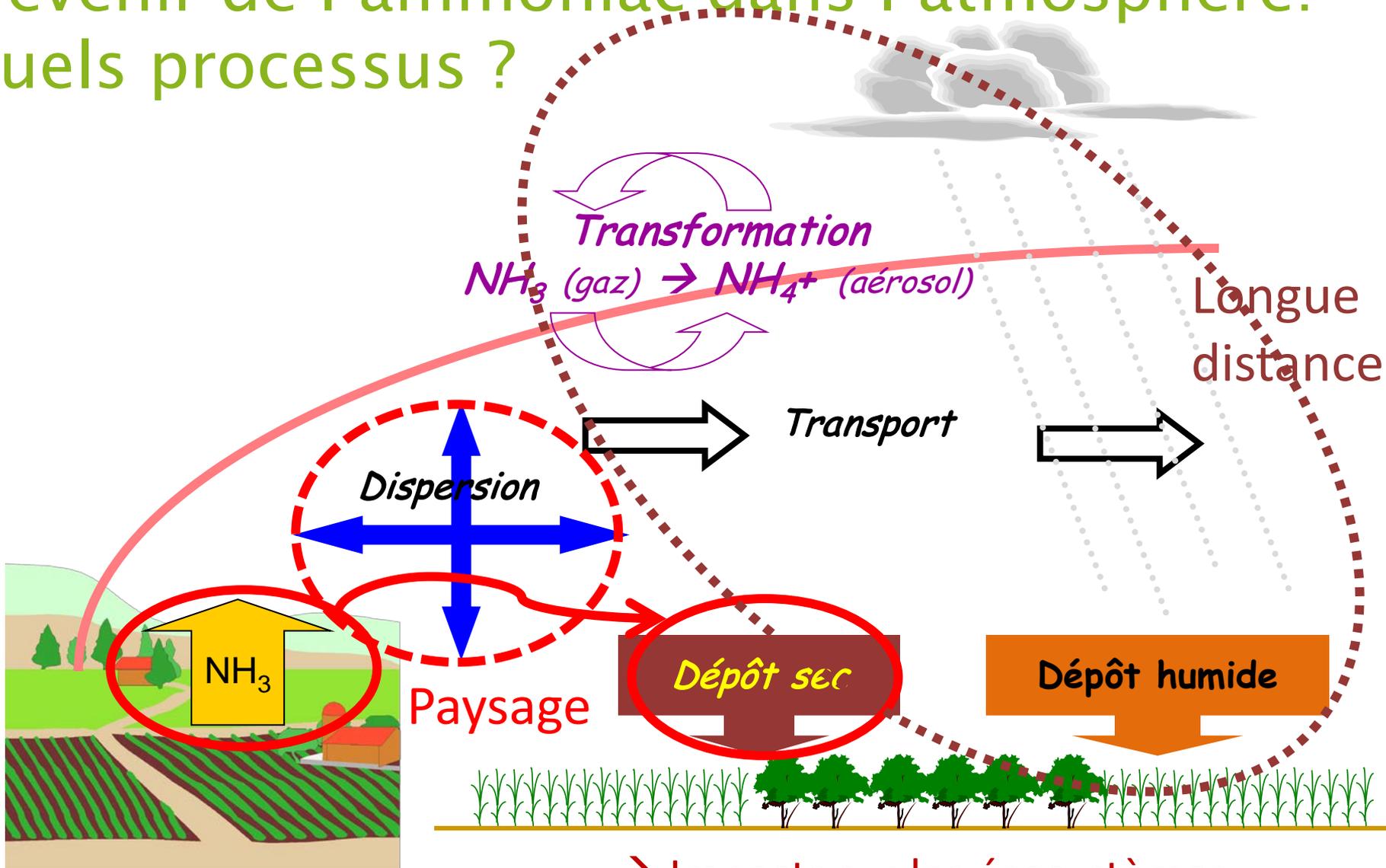




Plan

- Importance des pertes gazeuses en agriculture et cas de NH_3
- Déterminisme et variabilité des pertes NH_3
- Devenir de cet azote et implication pour l'agriculture
- Comment mesurer ces pertes?
- Modélisation de la volatilisation NH_3

Devenir de l'ammoniac dans l'atmosphère: quels processus ?



→ Impacts sur les écosystèmes, émissions indirectes de N_2O , ...

Motivations de l'étude des émissions et du devenir de l'ammoniac

- Pertes significatives d'azote dans les SdC
 - *Échelle de temps = cycle de culture*
- Formation d'aérosols et impacts sur la santé
 - *Temps courts: jour, heure (plan Particules)*
- Dépôts atmosphériques et impacts sur les écosystèmes
 - *Temps longs (année, décennie)*

Motivations de l'étude des émissions et du devenir de l'ammoniac

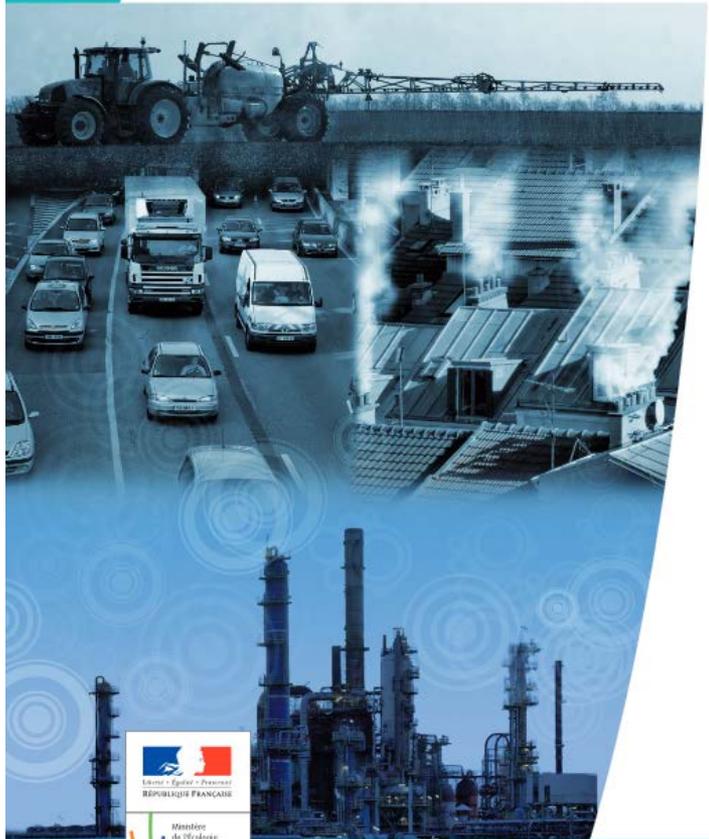
Direction générale de l'énergie et du climat

GRANDE ENVIRONNEMENT
ENTRONS DANS LE MONDE D'APRES

Le plan particules

Des mesures nationales et locales pour améliorer la qualité de l'air

Juillet 2010



Ressources, territoires, habitats et logement
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

Présent pour l'avenir

Ministère de l'écologie, de l'énergie, du Développement durable et de la Mer



Ministère de l'écologie, de l'énergie, du Développement durable et de la Mer



Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships

Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010

Review
revision of
empirical
critical loads

Editors:
W.K. Hicks, C.P. Whitfield, W.J. Bealey, and M.A. Sutton

Nitrogen Deposition and Natura 2000

Science and Practice in Determining Environmental Impacts

Findings of a European workshop linking scientists, environmental managers and policy makers



Dépôt atmosphérique d'azote ammoniacal en fonction de la distance à la source

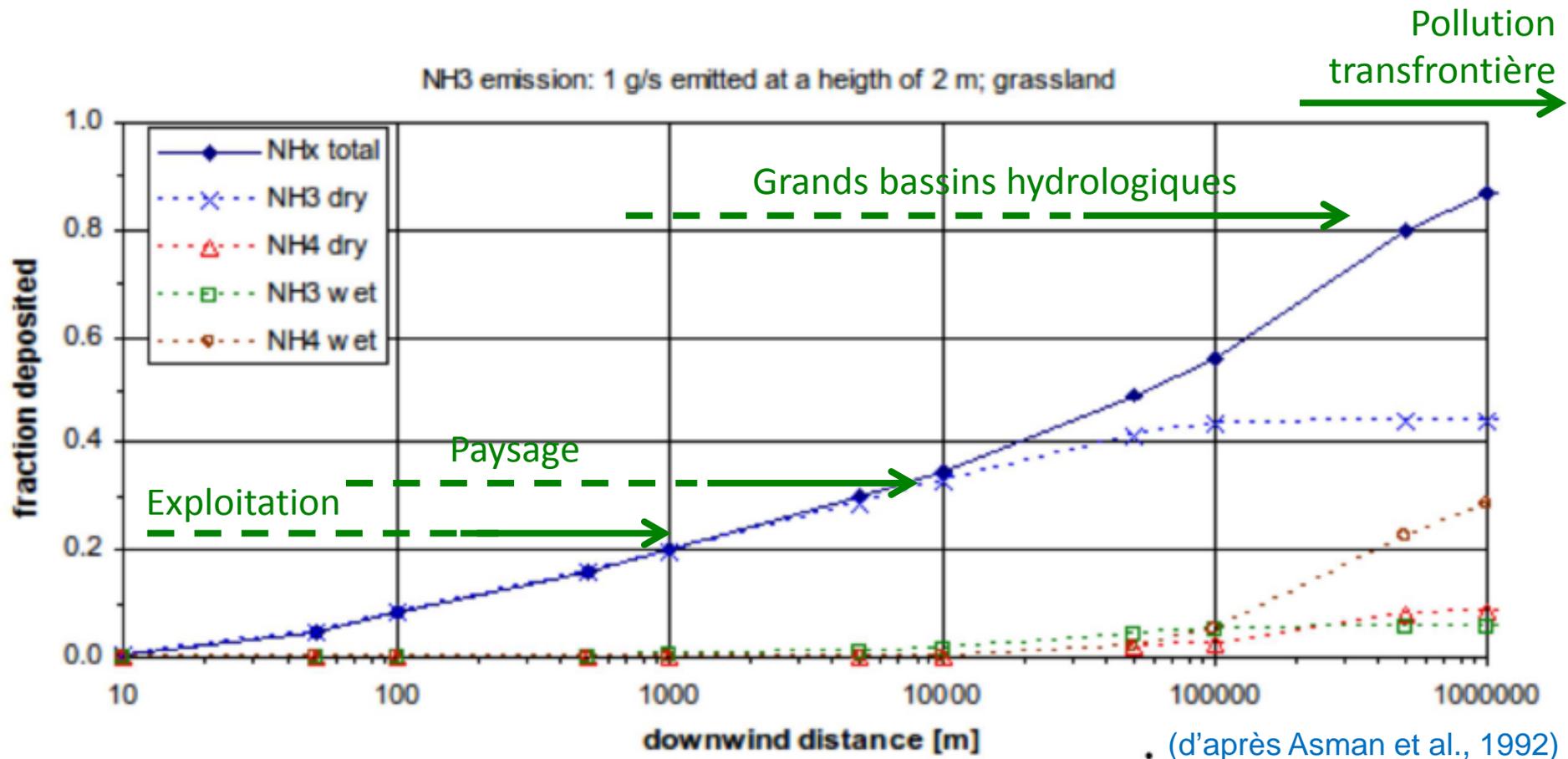
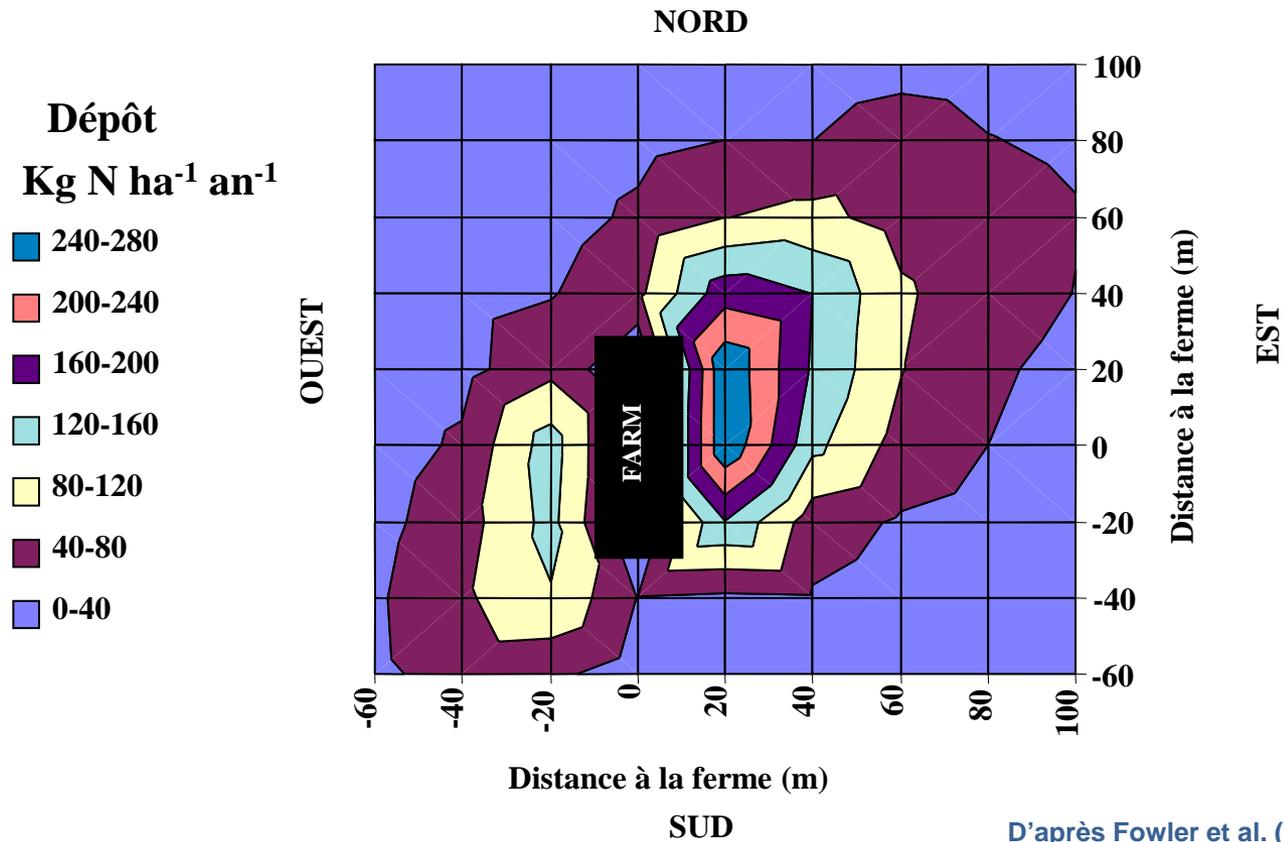


Figure 14.8: Annual mean cumulative deposition of NH_x species as a function of downwind distance, calculated with the OPS model.

Dépôt d'ammoniac à proximité immédiate d'une source intense (poulailler : 4-5 t N-NH₃/an)



Dépôt atmosphérique d'azote ammoniacal en fonction de la distance à la source

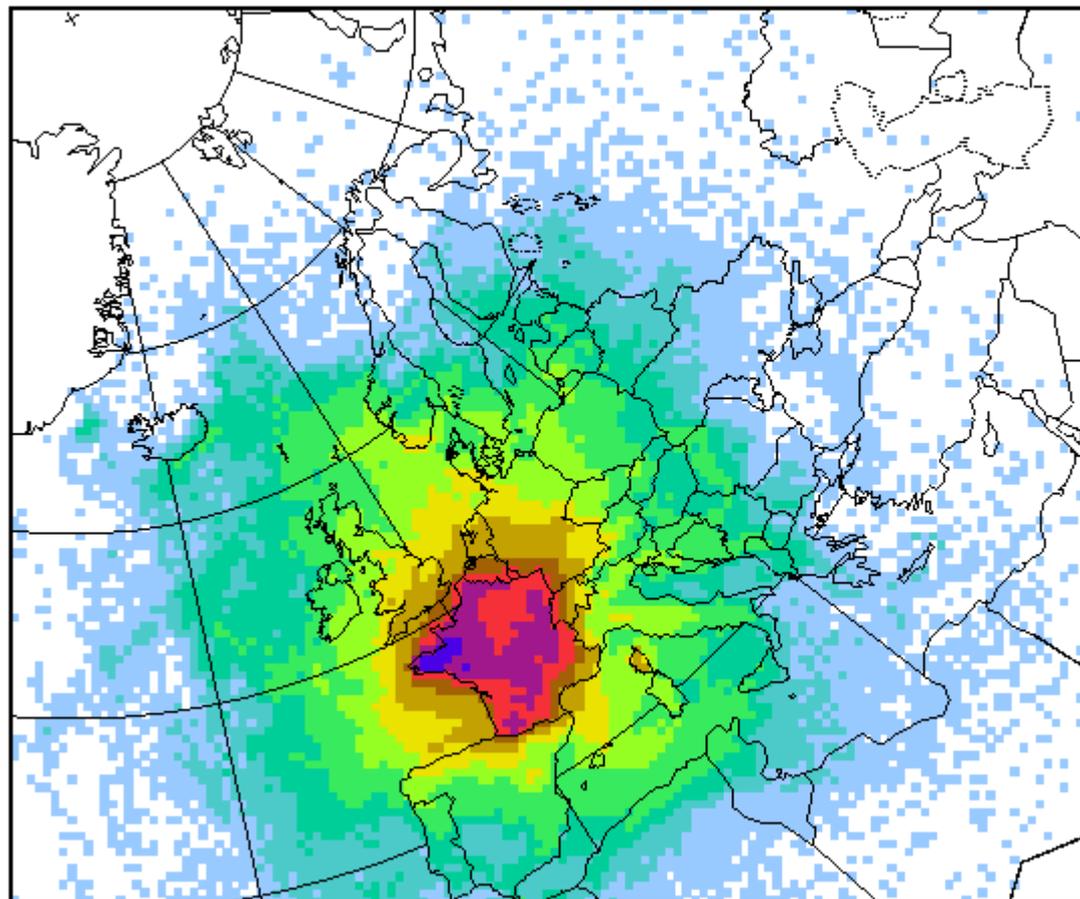
Le dépôt en aval d'une source dépend aussi des

- Types de couverts végétaux, en particulier son extension spatiale (sol nu, forêt, cultures, prairies, ...)
- Conditions microclimatiques (température, humidité, vent)
- L'état de nutrition azoté du couvert/culture (point de compensation)
- Contexte de pollution de l'air (conversion $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4^+$)

Que deviennent ces émissions ?

Transfert à longue distance (Unece/TFIAM, protocole de Göteborg)

Dépôts d'azote ammoniacal en provenance
du territoire français (1 mg N / m²) = 10 g/ha



mg N/m²

"Responsabilité"
de la France
dans l'impact sur
le pays X

Plafonds
d'émissions

→ 5-10 kg/ha



Plan

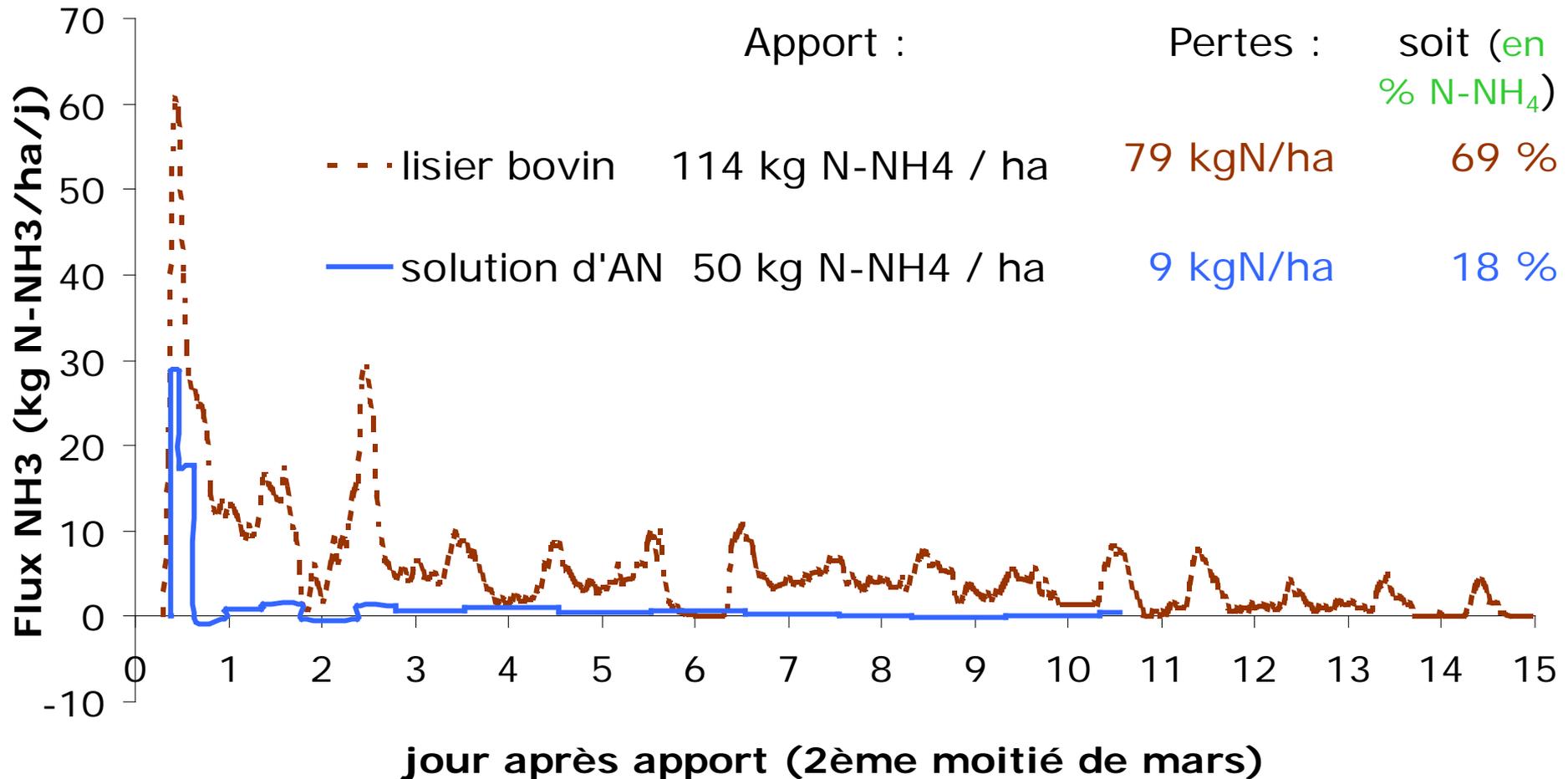
- Importance des pertes gazeuses en agriculture et cas de NH_3
- Déterminisme et variabilité des pertes NH_3
- Devenir de cet azote et implication pour l'agriculture
- Comment mesurer ces pertes?
- Modélisation de la volatilisation NH_3

Pourquoi mesurer des flux d'ammoniac ?

- ✓ comprendre et analyser les processus conduisant aux émissions
- ✓ mettre au point ou valider des modèles d'émission ou dépôt
- ✓ évaluer des techniques de réduction des émissions
- ✓ estimer des facteurs d'émission pour des inventaires

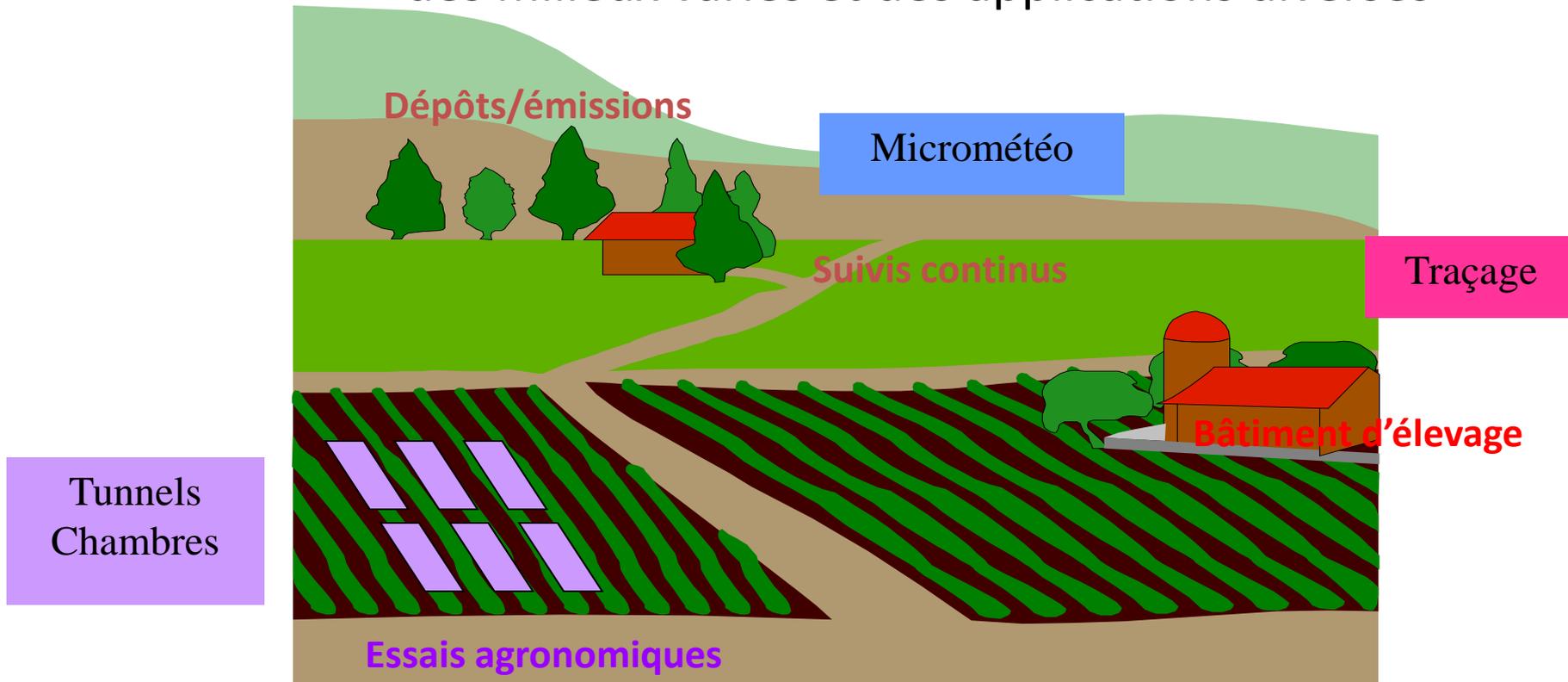
Mesures de flux d'ammoniac

(méthodes micrométéorologiques et tunnels de ventilation au champ)
sur sol nu après apport de lisier et fertilisation minérale



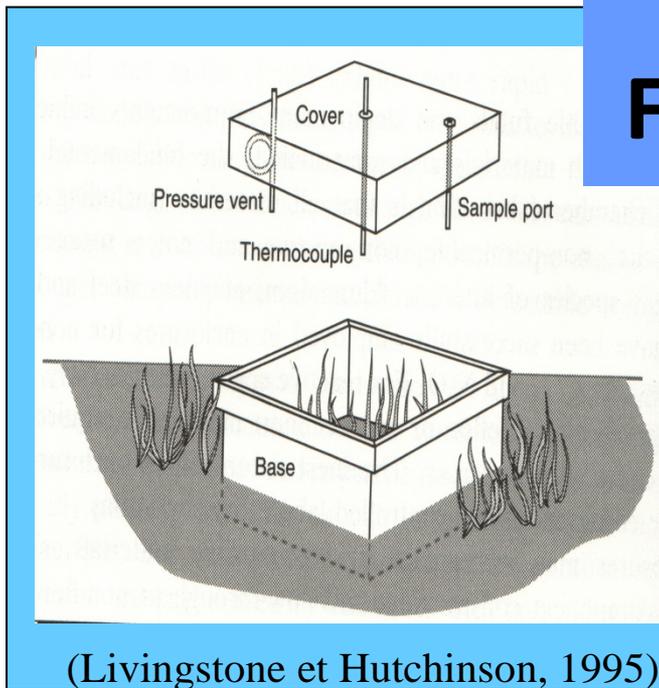
Mesure des émissions et dépôts de polluants dans l'environnement

Des méthodes adaptées à des milieux variés et des applications diverses



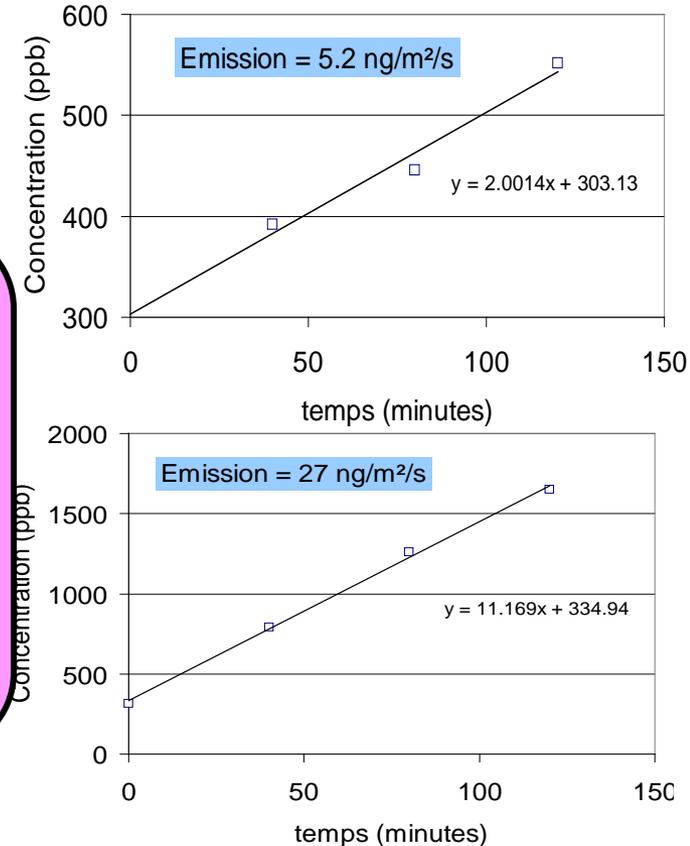
Méthode de chambre statique

Principe = mesure de l'accumulation de gaz dans une enceinte fermée



$$F = - \frac{V}{A} \frac{d\chi}{dt}$$

Mesures de concentrations à différents instants ou en continu après la fermeture de la chambre

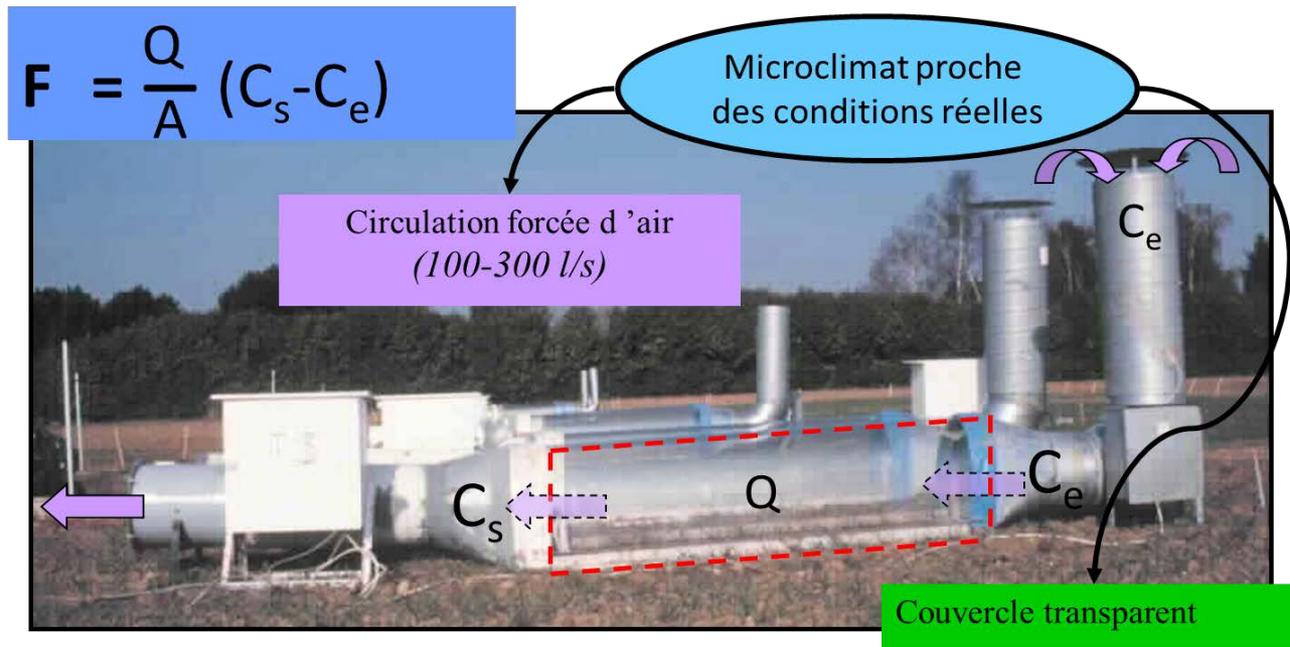


→ Bien adapté pour les émissions de N_2O et CO_2

→ Peu adapté aux émissions de NH_3 (effets de paroi)

Tunnel de ventilation

Principe = bilan de masse d'une surface ($\sim 1 \text{ m}^2$)
en conditions semi-naturelles

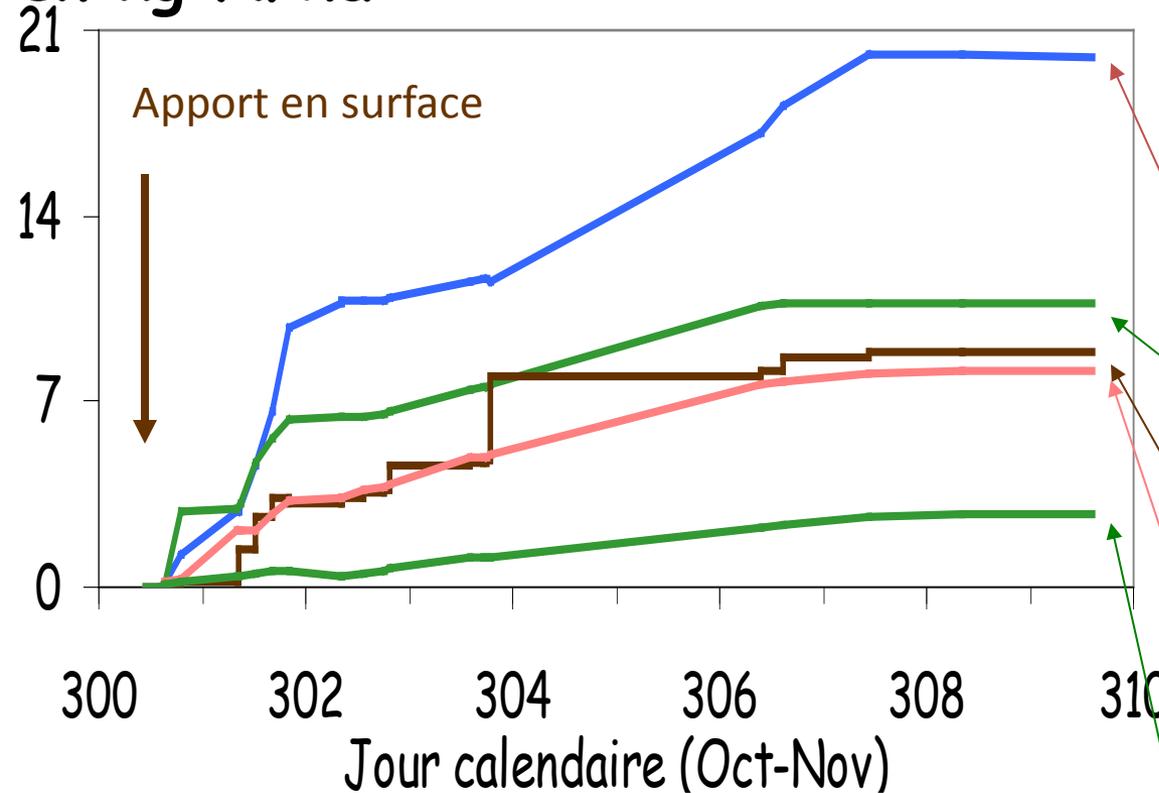


→ A été largement utilisé pour établir des références
et des facteurs d'émission pour NH_3 (peu d'effet de
paroi, microclimat peu modifié, ...)

Tunnel de ventilation

Type d'effluents agro-industriels (AGREDE 98)

en kg N/ha



en % N-NH₄⁺ apporté

effluent d'amidonnerie de pomme de terre (190 kg N/ha) (E9) 47%

solution azotée (excès) 6%

effluent de déshydratation de luzerne (E'4) 48%

boue de distillerie de blé (B2a) 78%

effluent d'amidonnerie de pomme de terre (E8) 16%

effluent de déshydratation de luzerne (E'3) 12%

en kg N :

→ flux faibles (sauf E9)

→ dose et [N-NH₄⁺]

⇒ liquides > boues

en % :

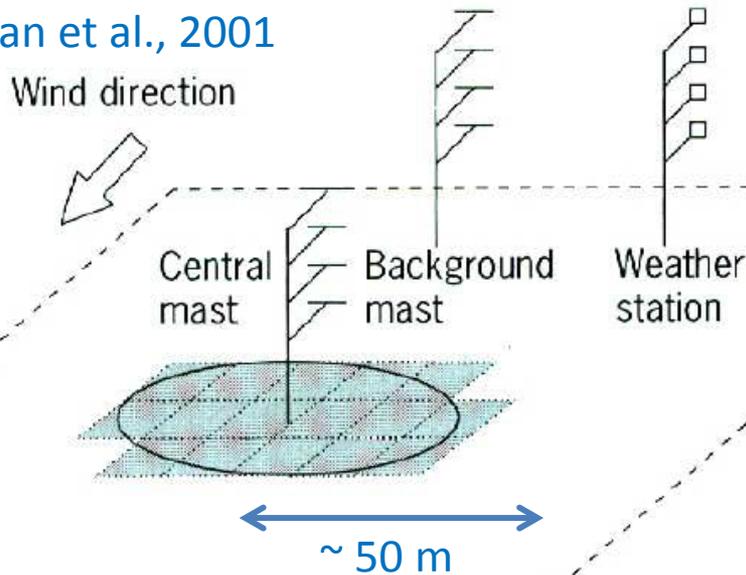
→ infiltration ⇒ boues > liquides

→ grande variabilité :

⇒ pas de typologie *a priori*

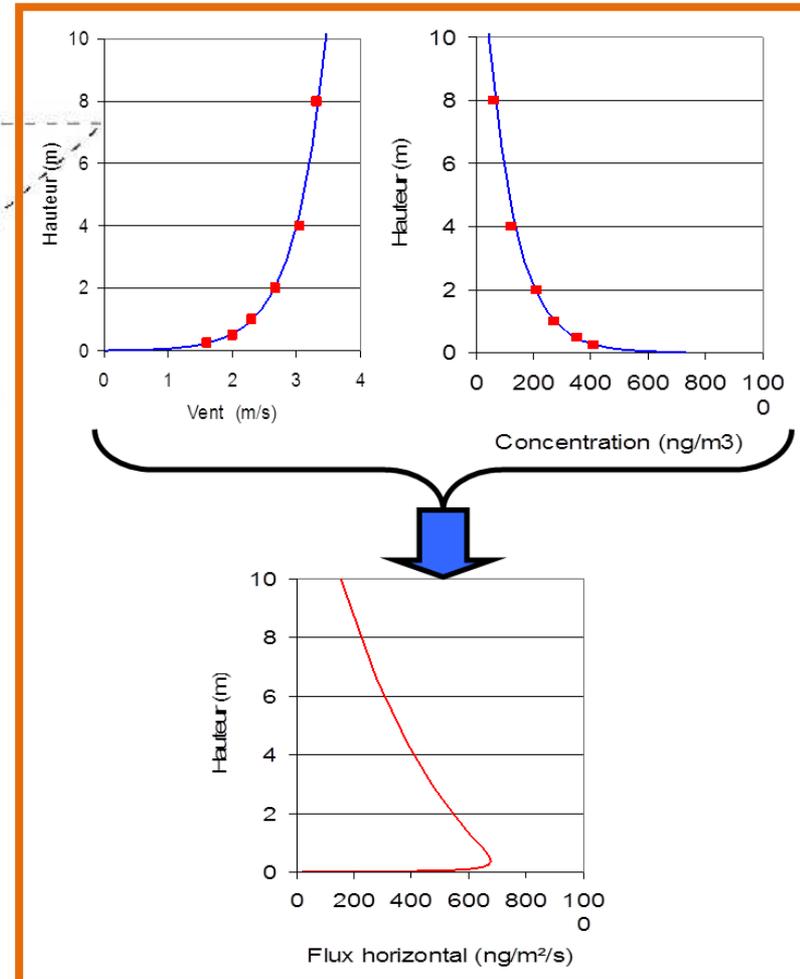
Méthode du bilan de masse (IHF = integrated horizontal flux)

Huijsman et al., 2001



$$\text{Flux} = \int_0^{H_{cl}} U(z)C(z)dz$$

→ Méthode de référence
aux Pays-Bas



Méthodes micrométéorologiques

Les **méthodes micro-météorologiques** estiment le transfert vertical de matière depuis la surface vers l'atmosphère (mais aussi l'inverse)

- à partir de **mesures** de concentrations et de variables micro-météorologiques (vent, température)
- en se basant sur des **théories de transfert turbulent** dans les basses couches de l'atmosphère

Elles permettent d'estimer le transfert d'un polluant dans l'atmosphère :

- ✓ dans les conditions naturelles
- ✓ sur de grandes surfaces : ha, km², ...
- ✓ sur des bases de temps courtes : 15 mn à qq heures
- ✓ sur de longues périodes ± en continu

Deux méthodes principales:

- Méthode des covariances
- Méthode des gradients

Méthodes micrométéorologiques

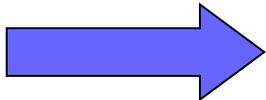
Méthodes de gradient :

$$F = \rho K(dU/dz, dT/dz, z) \frac{\partial C}{\partial z}$$

Mesures de

- vitesse du vent
- température de l'air
- concentration

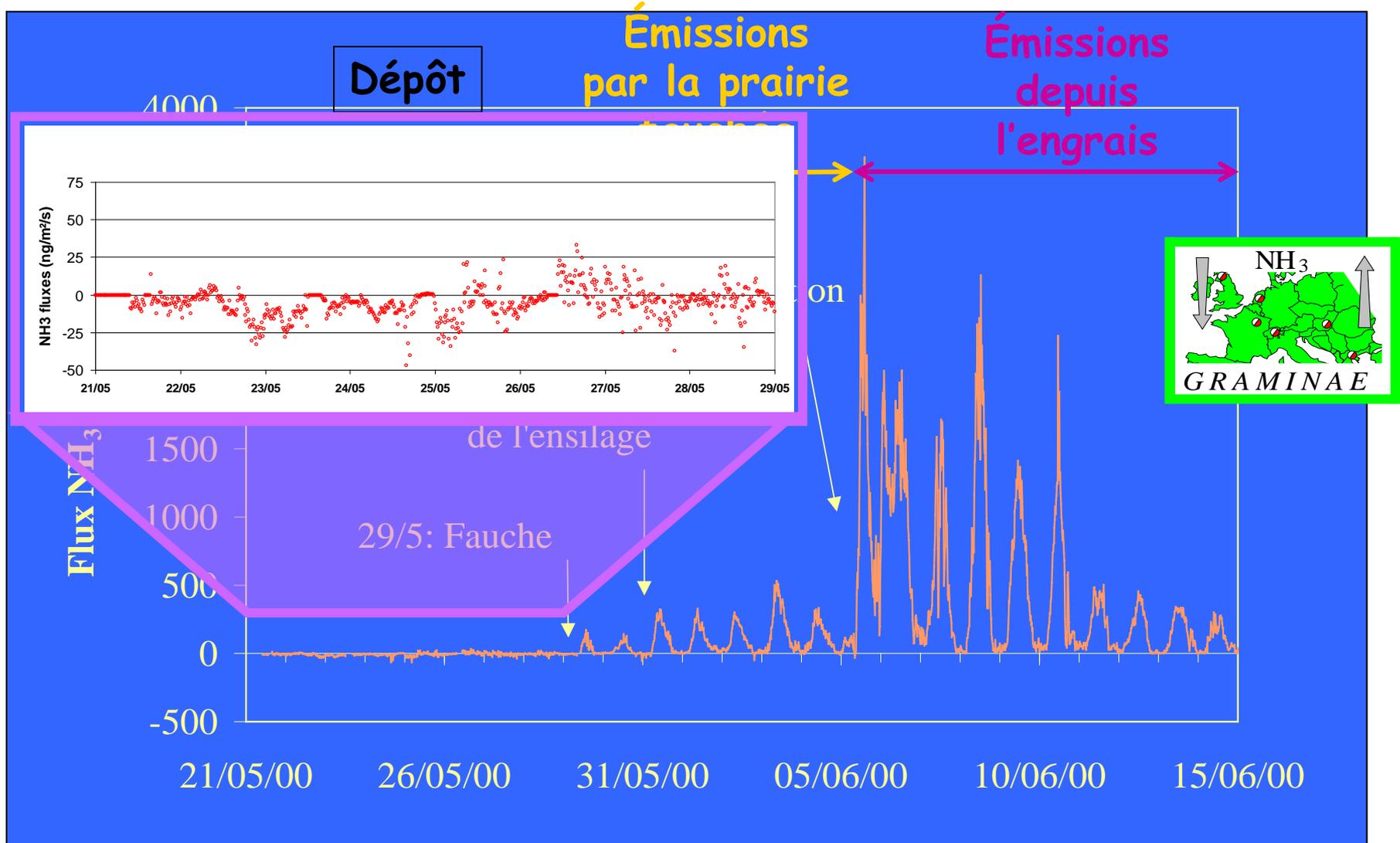
(moyennes sur 15-60 minutes)
à différentes hauteurs



Valeurs horaires d'émissions ou dépôts

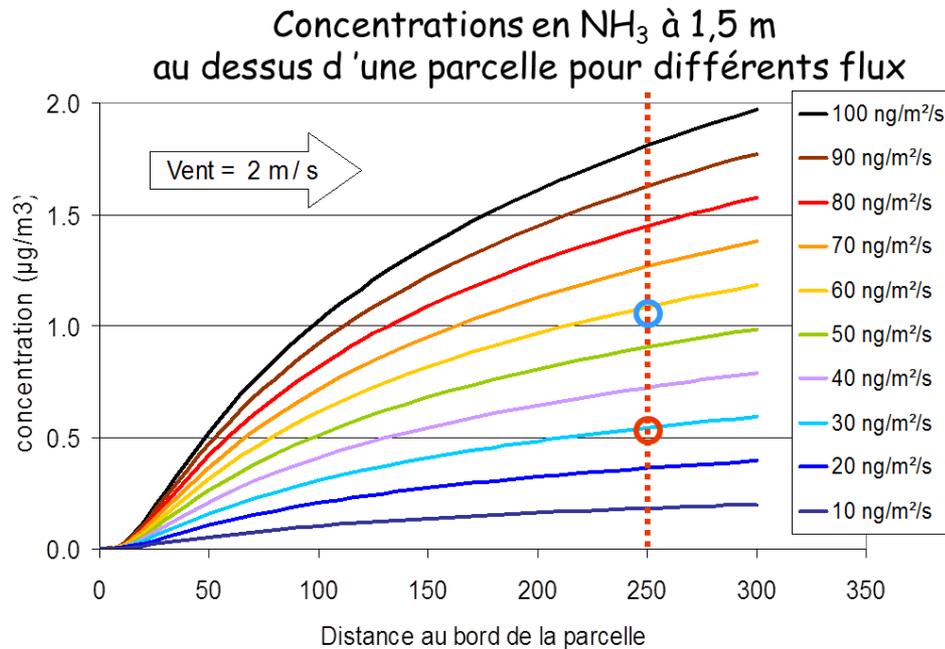


Un exemple complexe : Flux d'ammoniac sur un cycle croissance-fauche-fertilisation sur une prairie à Braunschweig (Milford et al., 2009)



Inversion d'un modèle de dispersion

Idée générale: quel est le flux d'émission qui permet d'expliquer la concentration mesurée connaissant les conditions météorologiques et d'environnement ?



Taille de la parcelle
Position des points de mesure

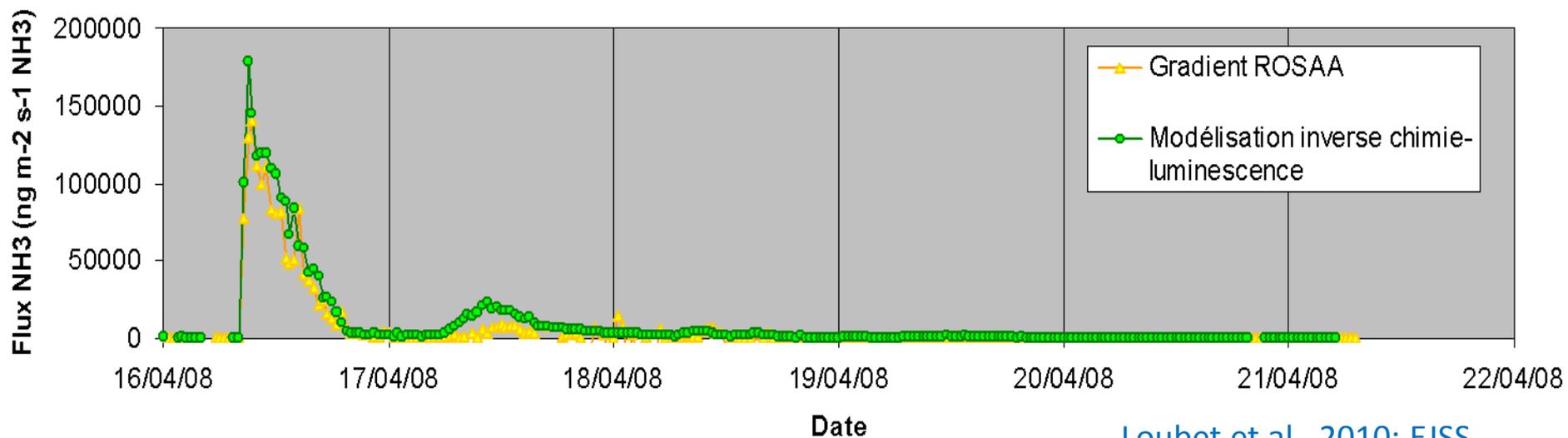
Mesures de concentration
Données météo

Modèle de dispersion
(Ex: Fides-2D ou -3D)

→ applicable sur la source ou à proximité

→ Voir présentation de J.-P. Cohan

Comparaison entre méthode de gradient et modélisation inverse

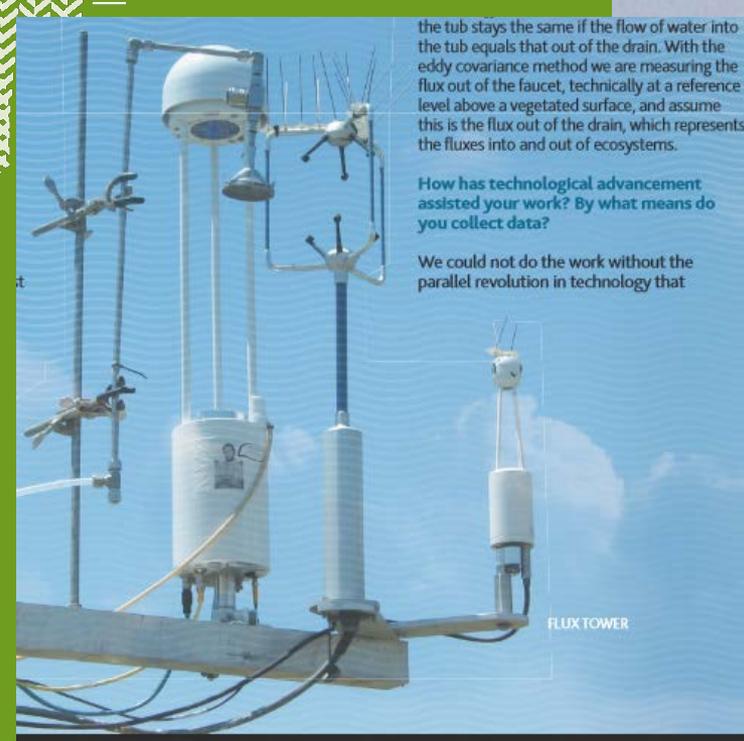


Progrès récents dans les mesures de flux

Développement continu d'analyseurs rapides et de haute précision pour mesurer des flux de N_2O , CH_4 , NH_3 , ... QCL

- CRDS
- PTRMS
- TOF-MS
- ...

Amélioration de la fiabilité, de la précision et de la facilité de mise en œuvre



the tub stays the same if the flow of water into the tub equals that out of the drain. With the eddy covariance method we are measuring the flux out of the faucet, technically at a reference level above a vegetated surface, and assume this is the flux out of the drain, which represents the fluxes into and out of ecosystems.

How has technological advancement assisted your work? By what means do you collect data?

We could not do the work without the parallel revolution in technology that

FLUX TOWER



Trace Ammonia Analyzers available in both Fast and High-Accuracy versions to exactly meet the needs of your application

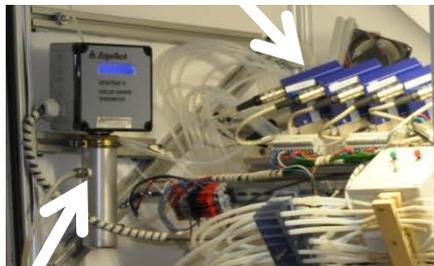
Quelle méthode choisir ?

Méthode	Qualités / défauts	Domaine d'application
Chambres statiques	<p>Simplicité</p> <p>Comparaison de traitements</p> <p>Réseau de mesure</p> <p>Modification du milieu</p> <p>Effets de paroi</p>	Pas vraiment applicable pour NH3 (effets de parois, humidité)
Tunnel de ventilation	<p>Comparaison de traitements</p> <p>Peu de modification du milieu</p> <p>Mise en œuvre ± lourde</p>	Méthode de référence depuis 80's
Micrométéo gradient	<p>Plein champ, suivi fin</p> <p>Pas de modification du milieu</p> <p>Coût, technicité</p> <p>Comparaison de traitements difficile</p>	Encore du domaine de la recherche Mais évolution rapide des analyseurs
Bilan de masse (IHF)	<p>Plein champ, Comparaison de traitements</p> <p>Pas de modification du milieu</p> <p>Mise en œuvre ± lourde</p>	Méthode de référence aux Pays-Bas
Méthode inverse	<p>Plein champ</p> <p>Mise en œuvre facile</p> <p>Sensibilité faible (??)</p> <p>Effets de bord</p>	En devenir pour comparaison de traitement (petites parcelles)



Compartiment technique

Contrôle et régulation
du débit (3.5 L min^{-1})



Mesure
humidité air
entrant

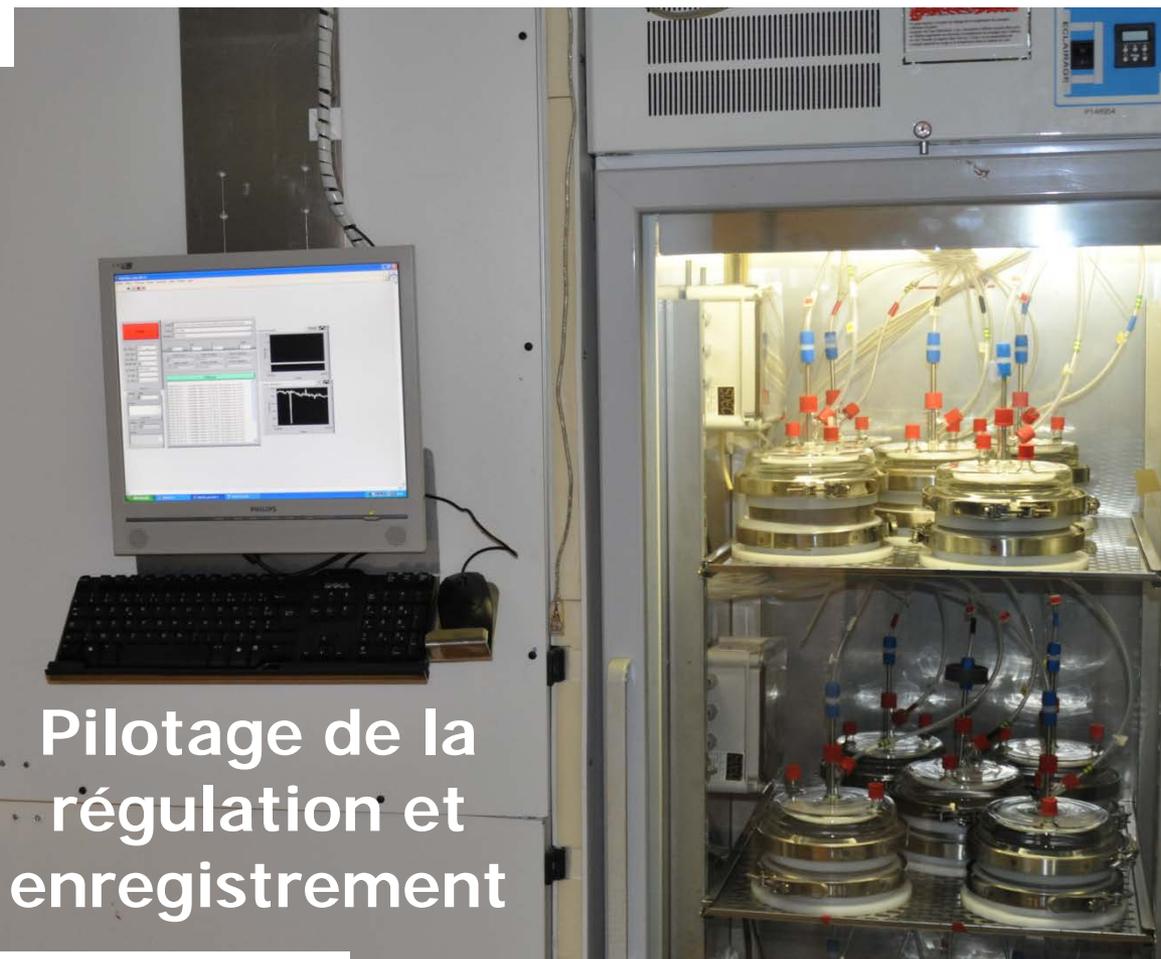


Barbotage
acide



Génération d'air pur ($\text{NH}_3 = 0 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
et humide (HR=95%)

Incubateur thermostaté (15°C)

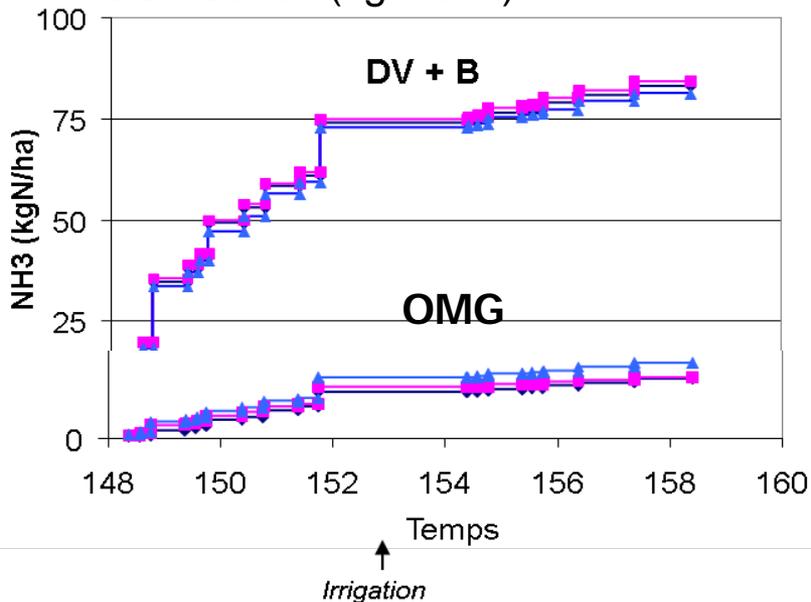


Pilotage de la
régulation et
enregistrement

12 cellules de volatilisation
3 témoins (177 cm^2)

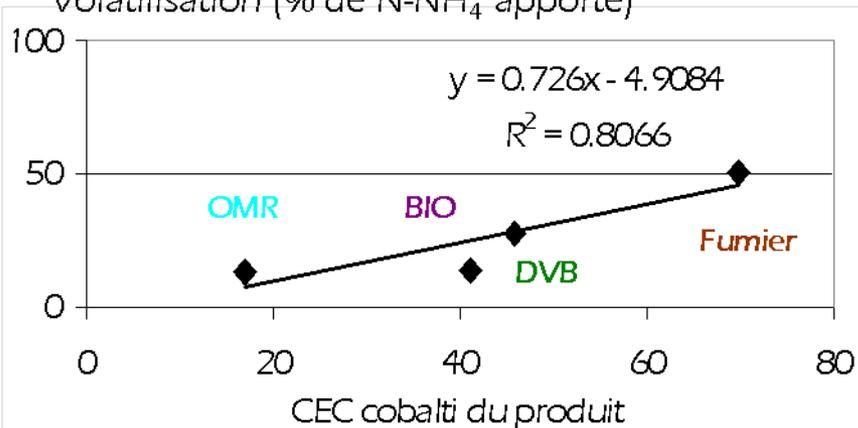
Exemples de résultats obtenus / attendus

Volatilisation (kg N /ha)

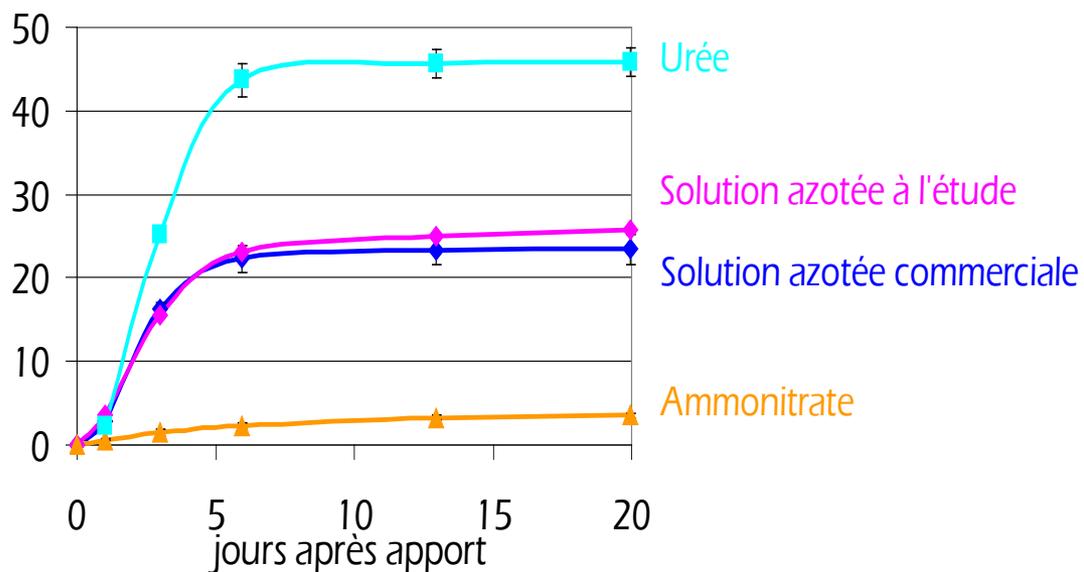


composts Qualiagro sans sol
dose eq. champ = 4t C / ha
air humide, 18°C, irrigation

Volatilisation (% de N-NH₄ apporté)



Volatilisation (kg/ha = % de N apporté)



Engrais GPN

sol argilo-limoneux de Grignon
50g de sol sec, 100 kg N/ha
air humide, 18°C, sol à la CC

➔ Mise en évidence de relations

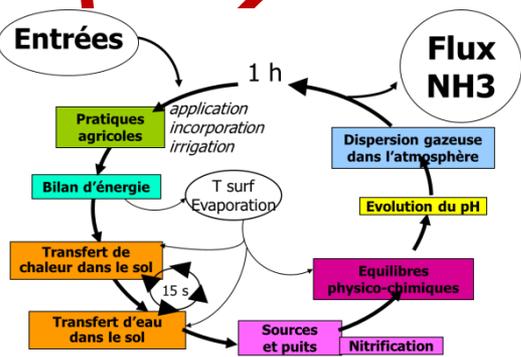
Transposition aux conditions du champ

Conditions agro-pédo-Climatiques
À définir

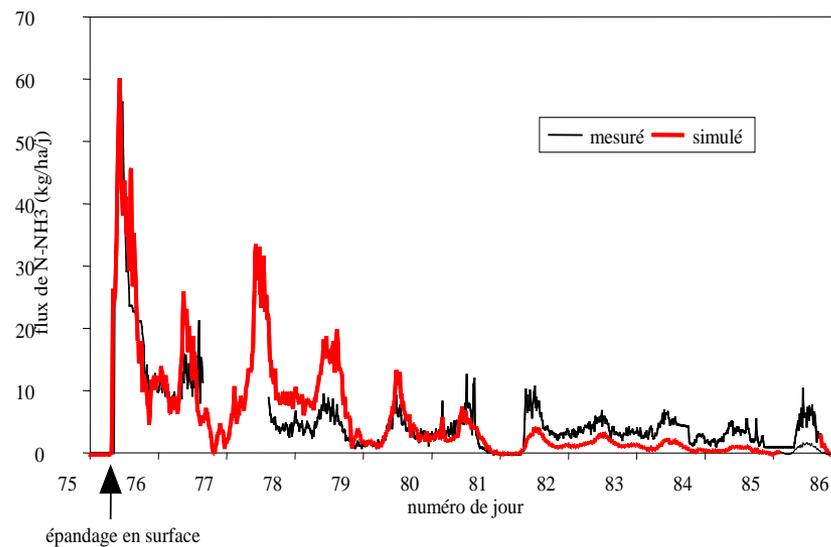
Plate-forme de laboratoire
de caractérisation de la volatilisation d' NH_3
dans des conditions contrôlées / standard
« **Potentiel** » « **Screening** »



Outil d'extrapolation au champ
sur la base du modèle **Volt'Air**
et caractérisation des conditions
d'échange dans les cellules
avec mesures complémentaires
(ex : infiltration)



Volatilisation NH_3
en conditions de la parcelle
➔ « **Facteurs d'émission** »





Plan

- Importance des pertes gazeuses en agriculture et cas de NH_3
- Déterminisme et variabilité des pertes NH_3
- Devenir de cet azote et implication pour l'agriculture
- Comment mesurer ces pertes?
- Modélisation de la volatilisation NH_3

Modélisation des émissions d'ammoniac

Modèles empiriques

Etablissement de relations statistiques entre

- les émissions mesurées et
- certains facteurs de l'environnement

$$E = (19.41 \text{ TAN} + 1.10 \text{ SD} - 9.51) \times (0.02 \text{ AR} + 0.36)$$

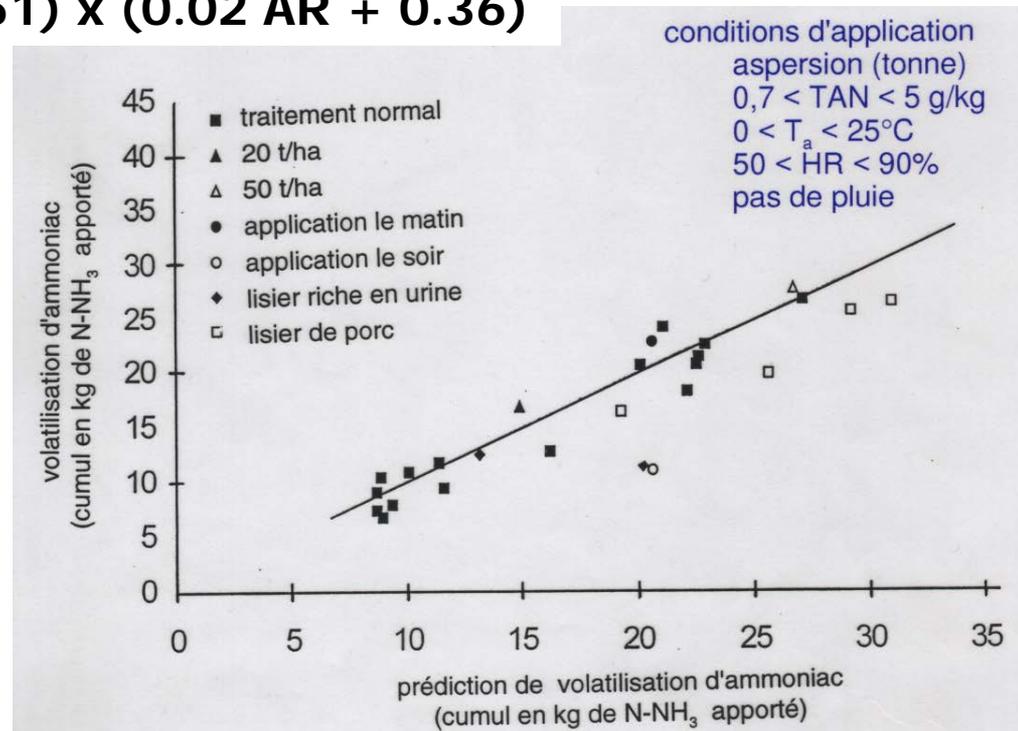
TAN = azote ammoniacal total (g/kg)

SD = déficit de saturation de l'air (mbar)

AR = taux d'application (t/ha)

Séries
d'expérimentations

→ Principale limite =
modèles peu extrapolables



(d'après Menzi et al., 1998)

Modélisation des émissions d'ammoniac

Modèles empiriques => facteurs d'émission FE

Guide book EMEP (2009) à partir de Misselbrook et al. (2004)
(modèle anglais NARSES) adapté par Chadwick et al. (2005)

$$FE = (FE_{\max} \text{ ou } FE_{\text{moy}}) \times FR_{\text{Agrotain}} \times FR_{\text{pH}} \times FR_{\text{placement}} \times FR_{\text{quantité}} \times FR_{\text{pluvio}} \times FR_{\text{temp}}$$

Engrais	FE max	FE moy	FR Agrotain	FR pH	FR pluvio (si pluie > 5 mm)	FR _{temp} (si pH sol > 7)
AN, CAN...	-	1.8	-	1	1	1
U...	45	-	0.3	1	<24h : 0.3 ↗ >5 j : 1	$e^{(0.1386 \times (T_{\text{mois}} - T_{\text{Année}}))} / 2$
UAN	23	-	0.56	1	<24h : 0.3 ↗ >5 j : 1	$e^{(0.1386 \times (T_{\text{mois}} - T_{\text{Année}}))} / 2$
AS DAP	45	-	-	pH sol > 7 : 1 pH sol ≤ 7 : 0.04	pH sol > 7 : idem pH sol ≤ 7 : 1	$e^{(0.1386 \times (T_{\text{mois}} - T_{\text{Année}}))} / 2$

apport en surface : $FR_{\text{placement}} = 1$
incorporation : $FR_{\text{placement}} = 0,2$

quantité > 150 kgN/ha : $FR_{\text{quantité}} = 1$
30 < quantité < 150 kgN/ha : $FR_{\text{quantité}} = (0,0032 \times \text{quantité}) + 0,5238$
quantité < 30 kgN/ha, $FR_{\text{quantité}} = 0,62$

Modélisation des émissions d'ammoniac

Modèles mécanistes

Simulant les processus de production
d'équilibre
de transfert

à partir des lois de la physique
la chimie
la biologie

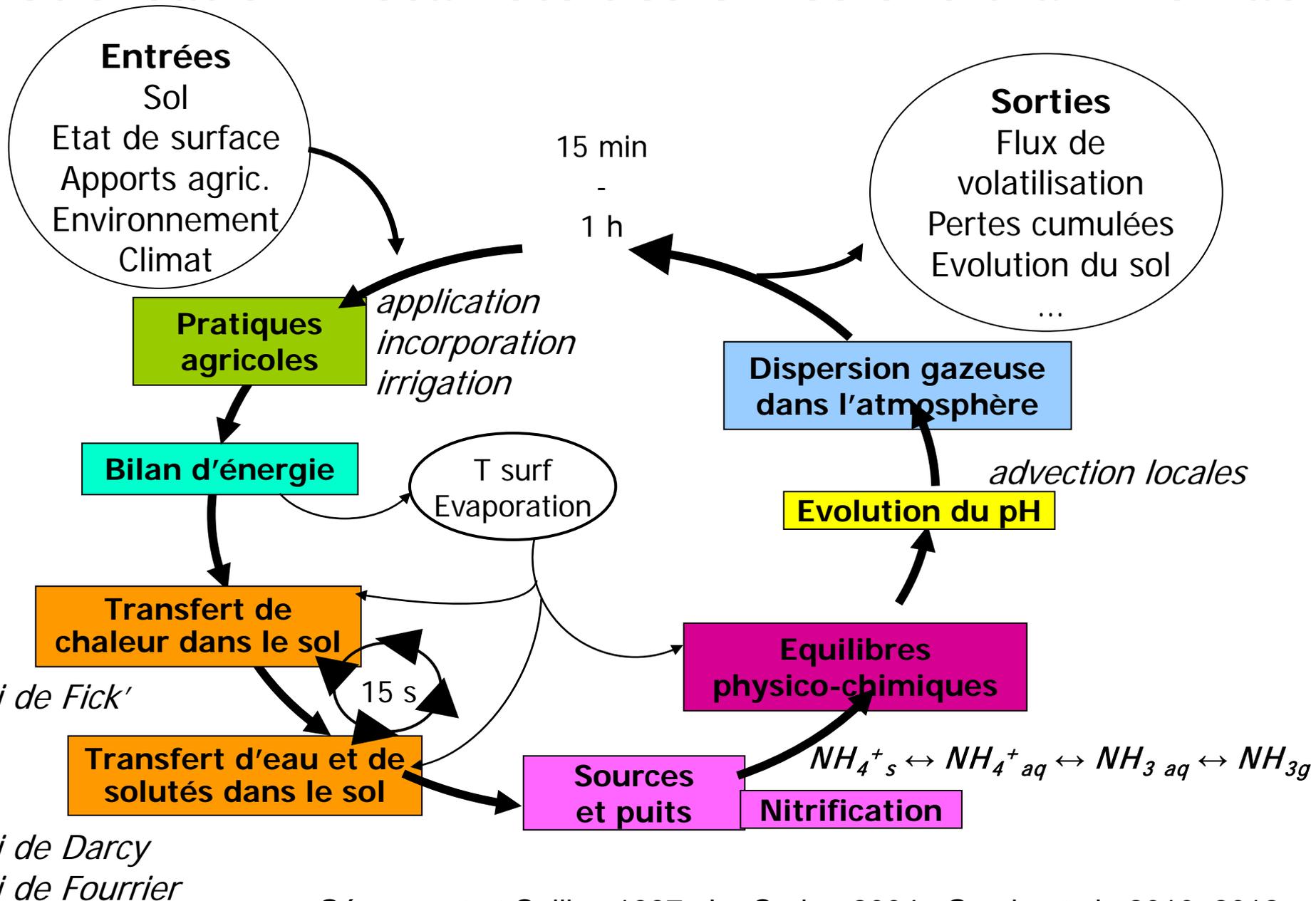
(+ mathématiques et informatique)

Modélisation des émissions d'ammoniac

Modèles mécanistes

Models	vd Molen 1990	Wü 2003	Agrin Beuning 2008	BAM Jury 1983	PEM Scholtz 2002	Yates 2006	Volt'Air 1997, 2009
Compound	NH3-N			Pesticides			NH3-N pesticides
Application	Dilution 1st layer	Pig slurry layer	Cattle slurry reservoir	Dilution 1st layer	Dilution 1st layer	Dilution 1st layer	Dilution 1st layer
Water transfers	0	+	+	0	+	+	+
Heat transfers	0	+	Partial coupling	0	Partial coupling	+	+
Energy budget	0	0	+	0	+	+	+
Compound transfers	Aqueous: convection/dispersion			Gaseous: diffusion			
Equilibriums	aqueous/gaseous and aqueous/adsorbed, no gaseous adsorption						

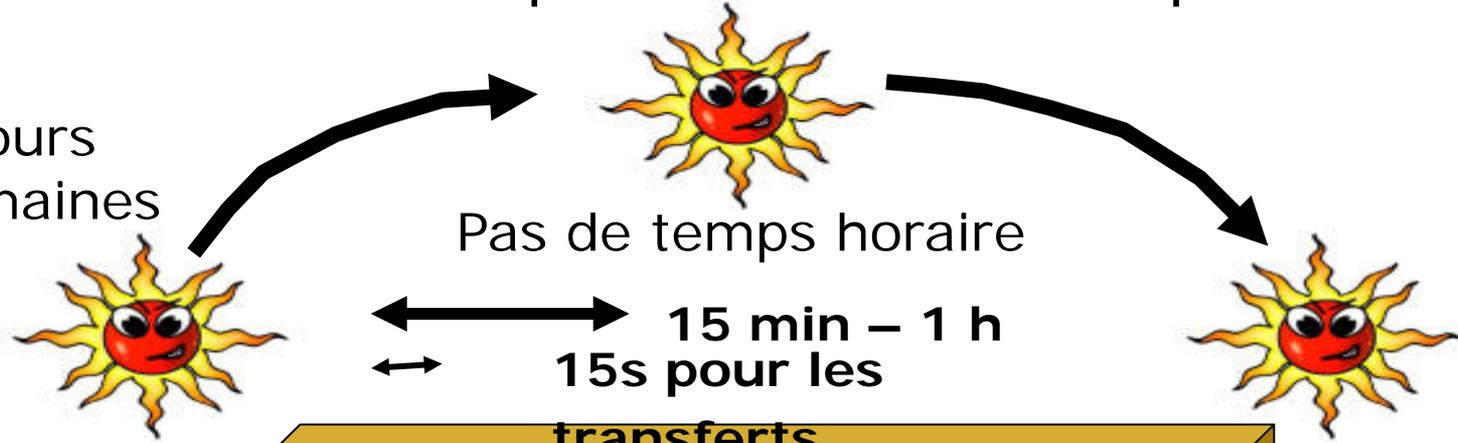
Modélisation mécaniste des émissions d'ammoniac



Echelles de temps et d'espace de Volt'Air

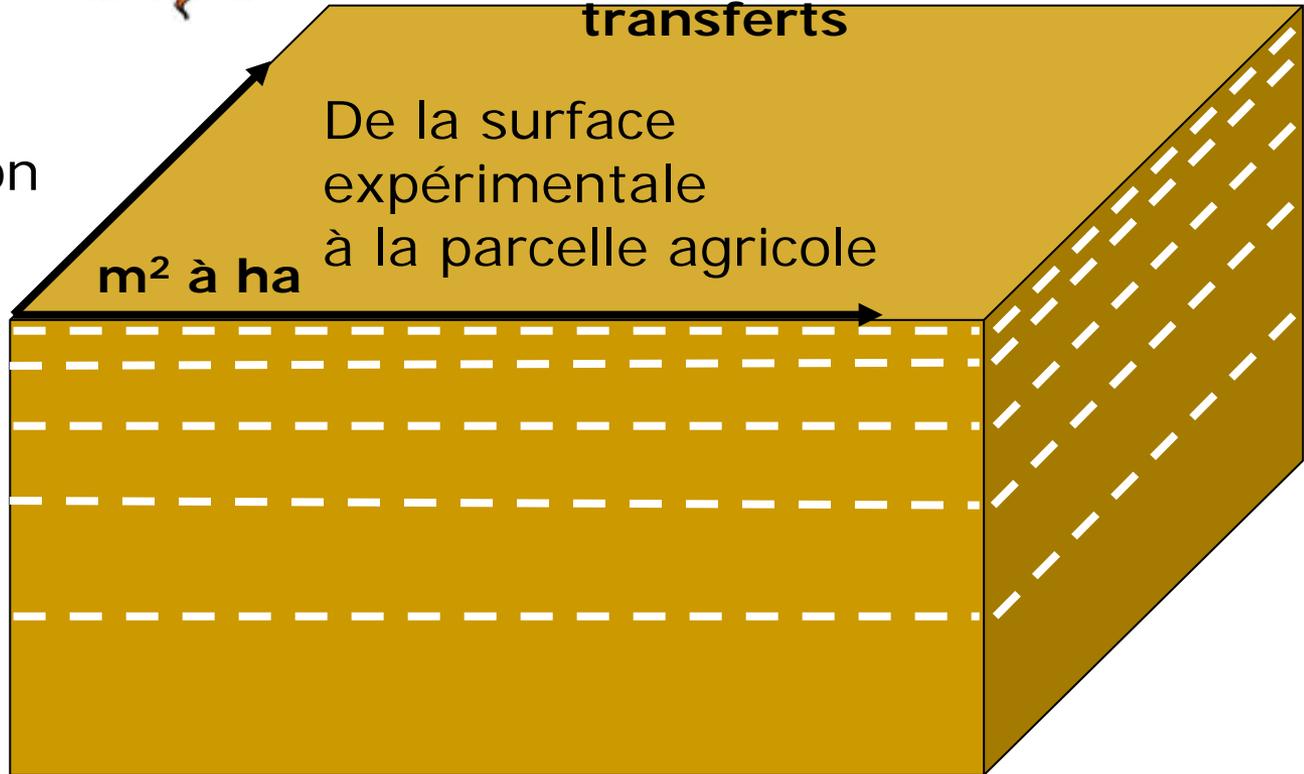
Discrétisation dans l'espace et dans le temps

Simulations
sur plusieurs jours
à quelques semaines



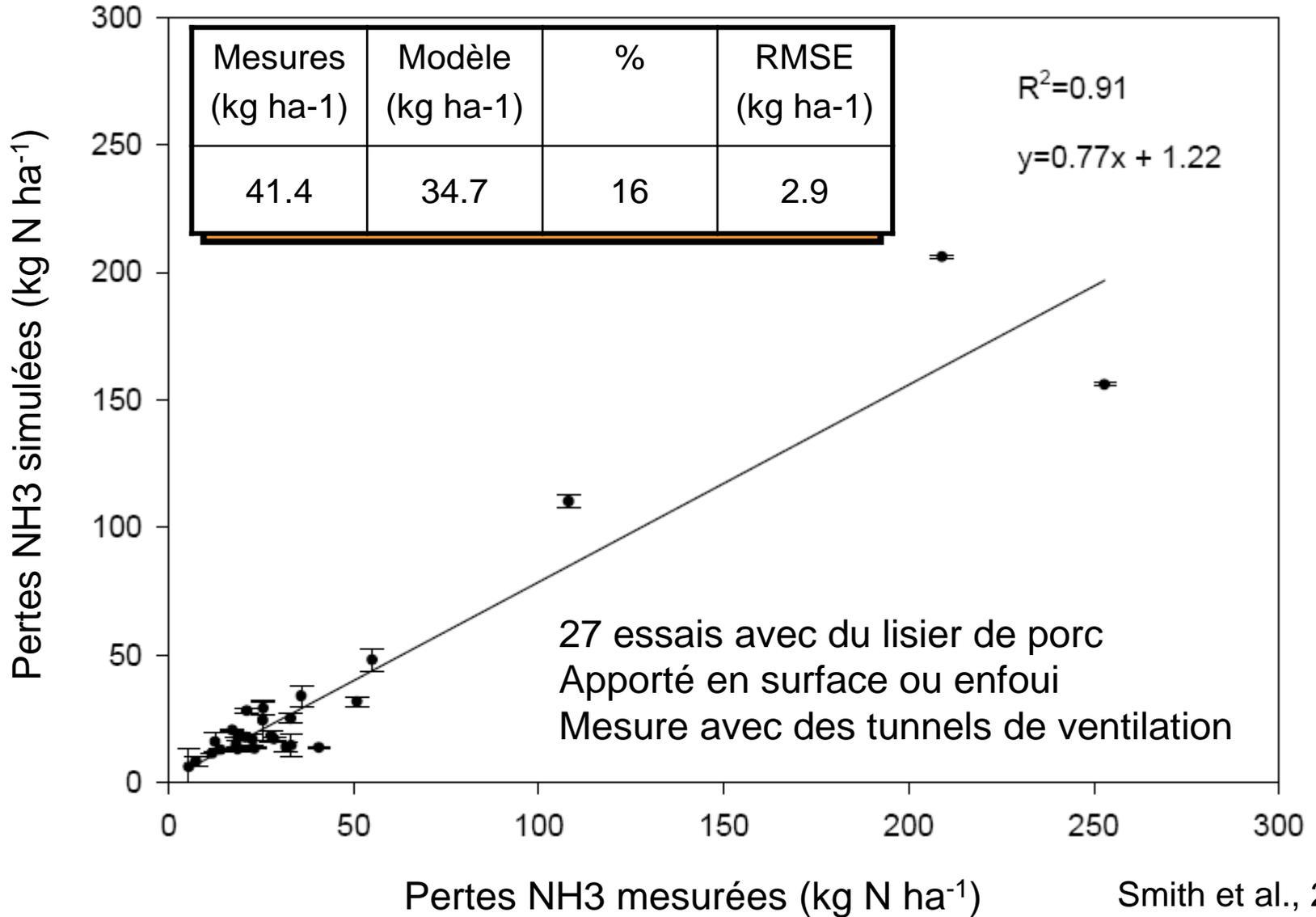
Discrétisation
fine du sol

- 0 m
- 0.02 m
- 0.05 m
- 0.10 m
- 0.25 m
- 0.50 m
- 1.00 m



Validation de Volt'Air

Cas du lisier



Utilisation de Volt'Air comme un outil de déconvolution : Analyse de l'interaction de la volatilisation d'ammoniac avec les processus chimiques et biologiques du sol

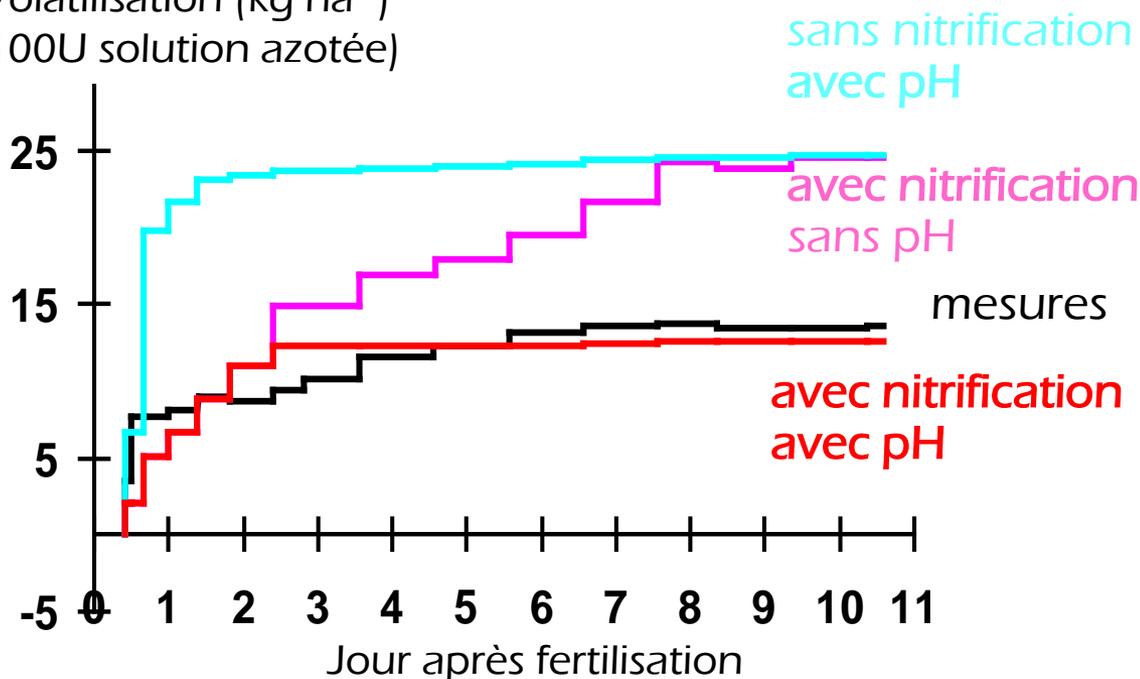
pH : facteur auquel la volatilisation est la plus sensible

bilan de protons (hydrolyse de l'urée, volatilisation, nitrification) * pouvoir tampon

nitrification : principal processus concurrentiel de la volatilisation

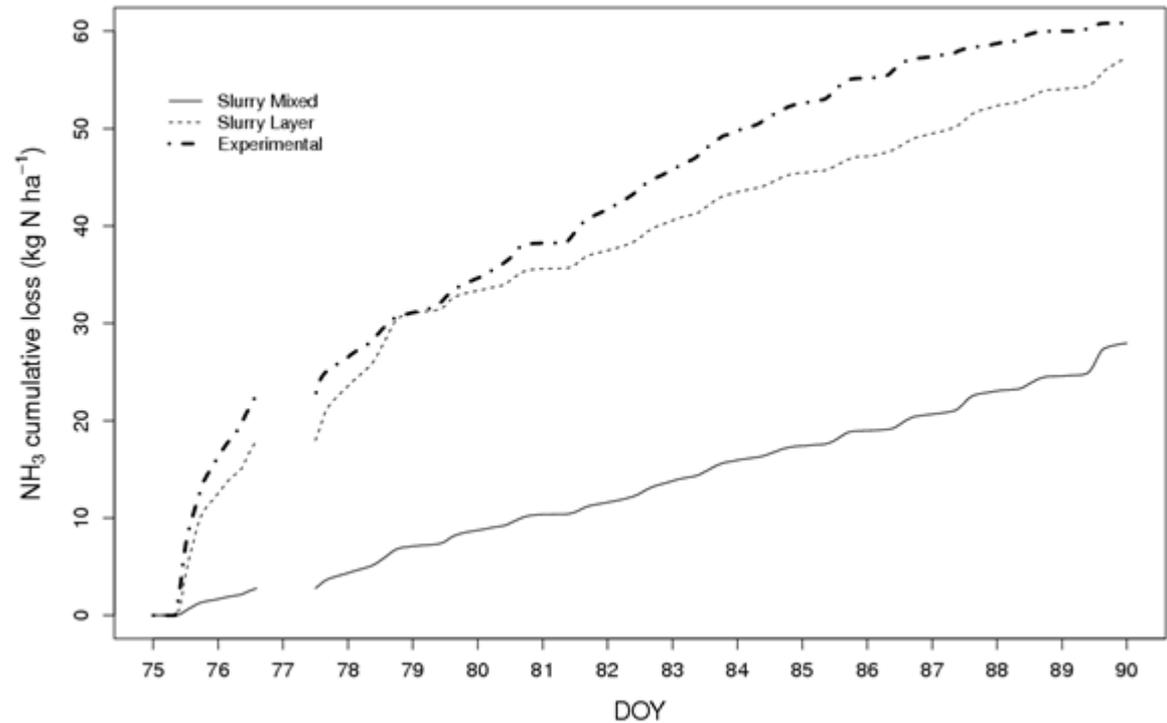
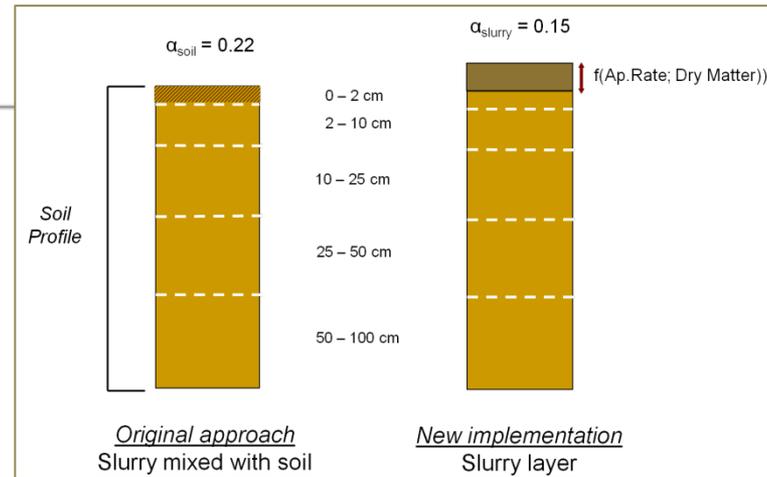
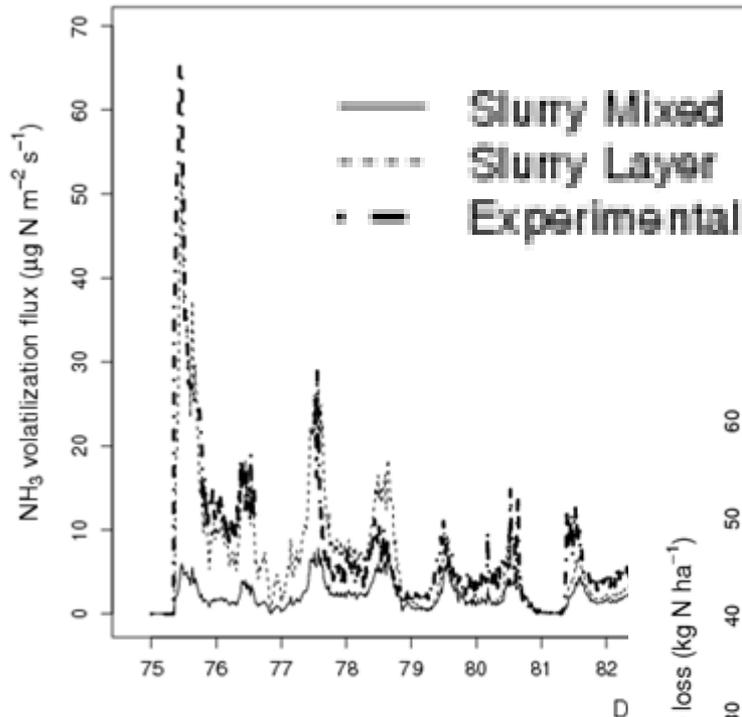
loi exponentielle, effet T et pH (Le Cadre et al., 2008), latence de 2 jours

Volatilisation (kg ha^{-1})
(100U solution azotée)



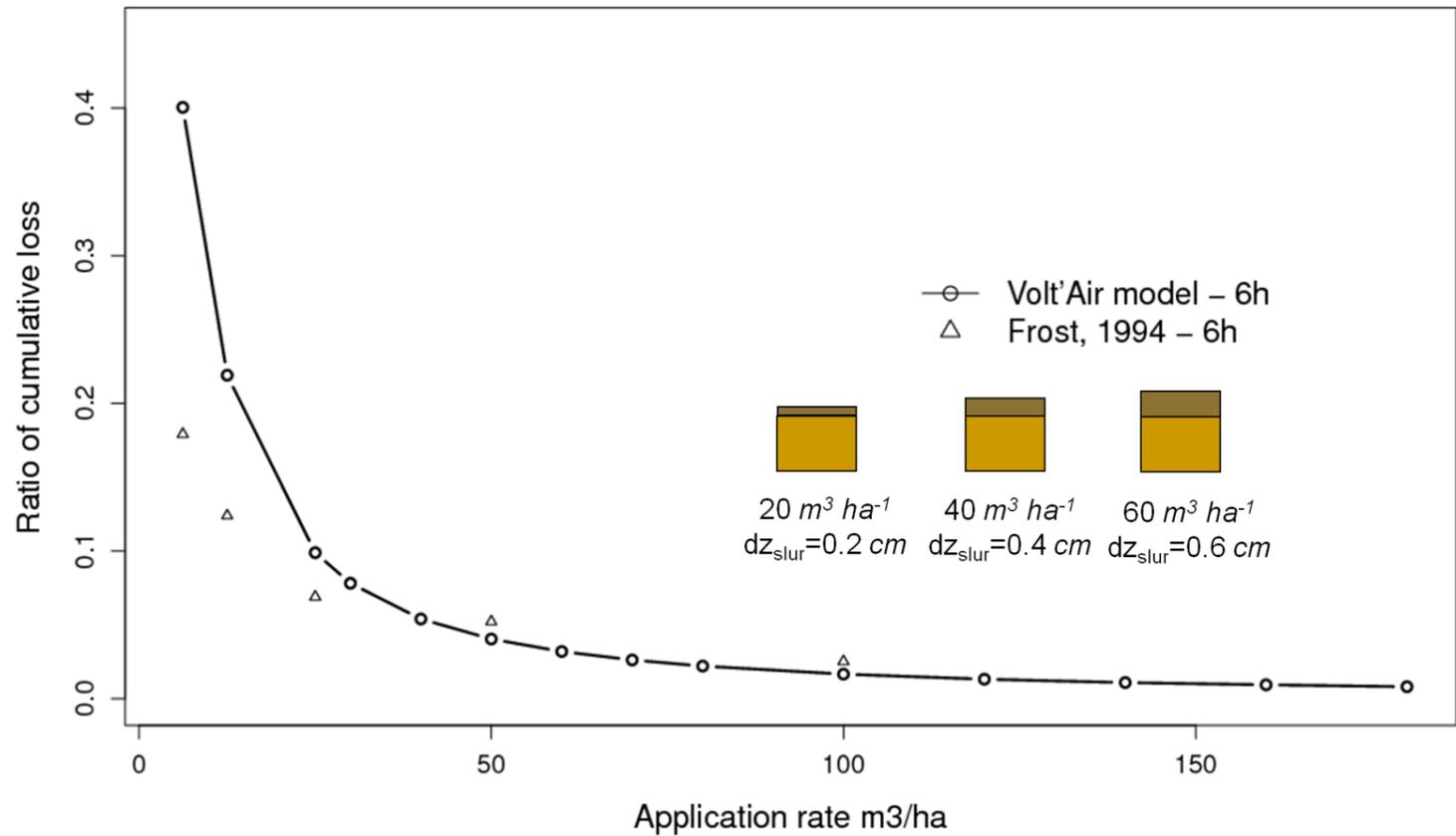
Le Cadre, 2004, thèse
Le Cadre et al., 2008

Utilisation de Volt'Air comme un outil de déconvolution : Le lisier comme une couche additionnelle de « sol »



Garcia et al., 2012

Utilisation de Volt'Air comme un outil de déconvolution : prise en compte de la dose d'application



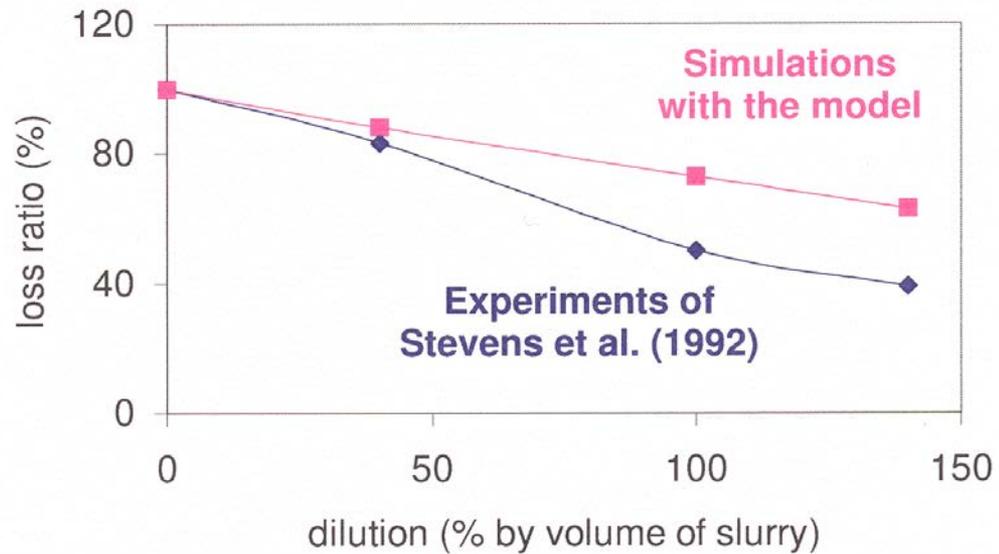
Garcia et al., 2012

Utilisation de Volt'Air

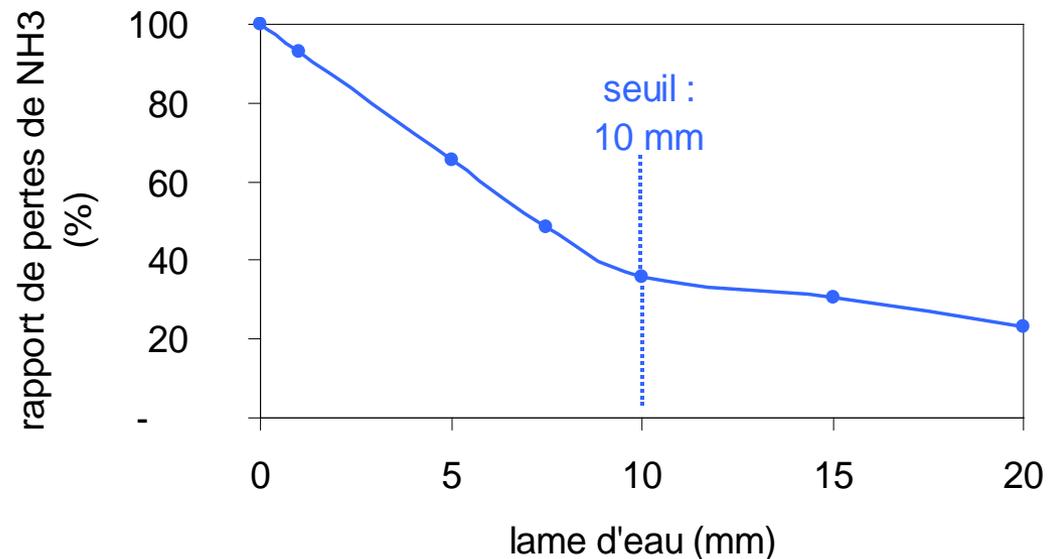
Pour le conseil en agriculture

Proposer ou évaluer
des méthodes de
réduction des
émissions

Ex 1 : dilution du lisier



Ex 2 : irrigation après
apport de lisier



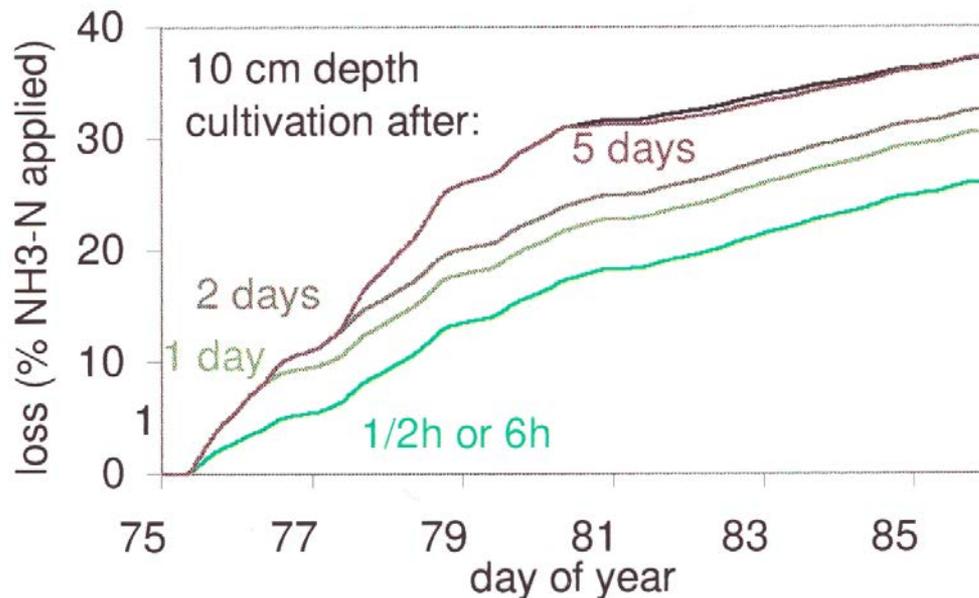
Utilisation de Volt'Air

Pour le conseil en agriculture

Proposer ou évaluer des méthodes de réduction des émissions

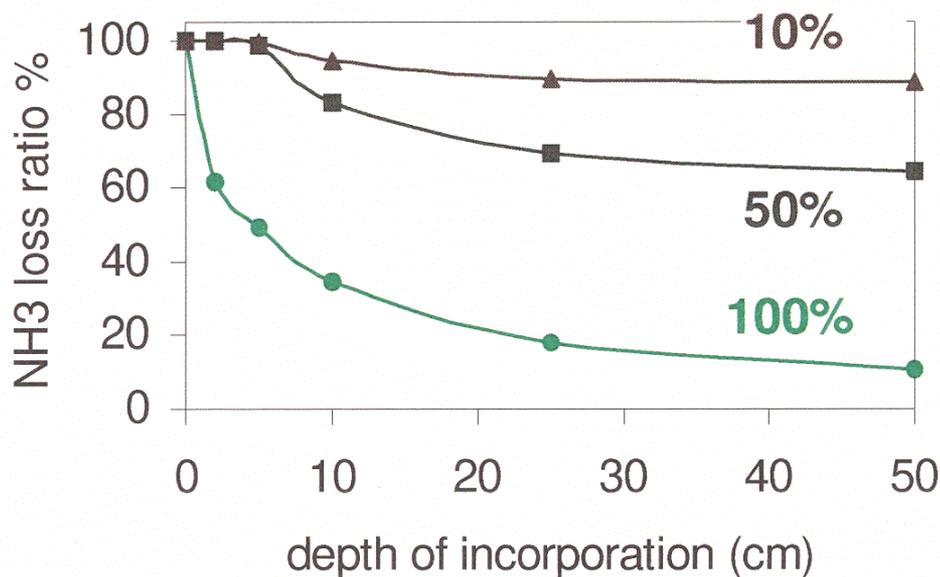
Ex 3 : incorporation après apport de lisier

délai



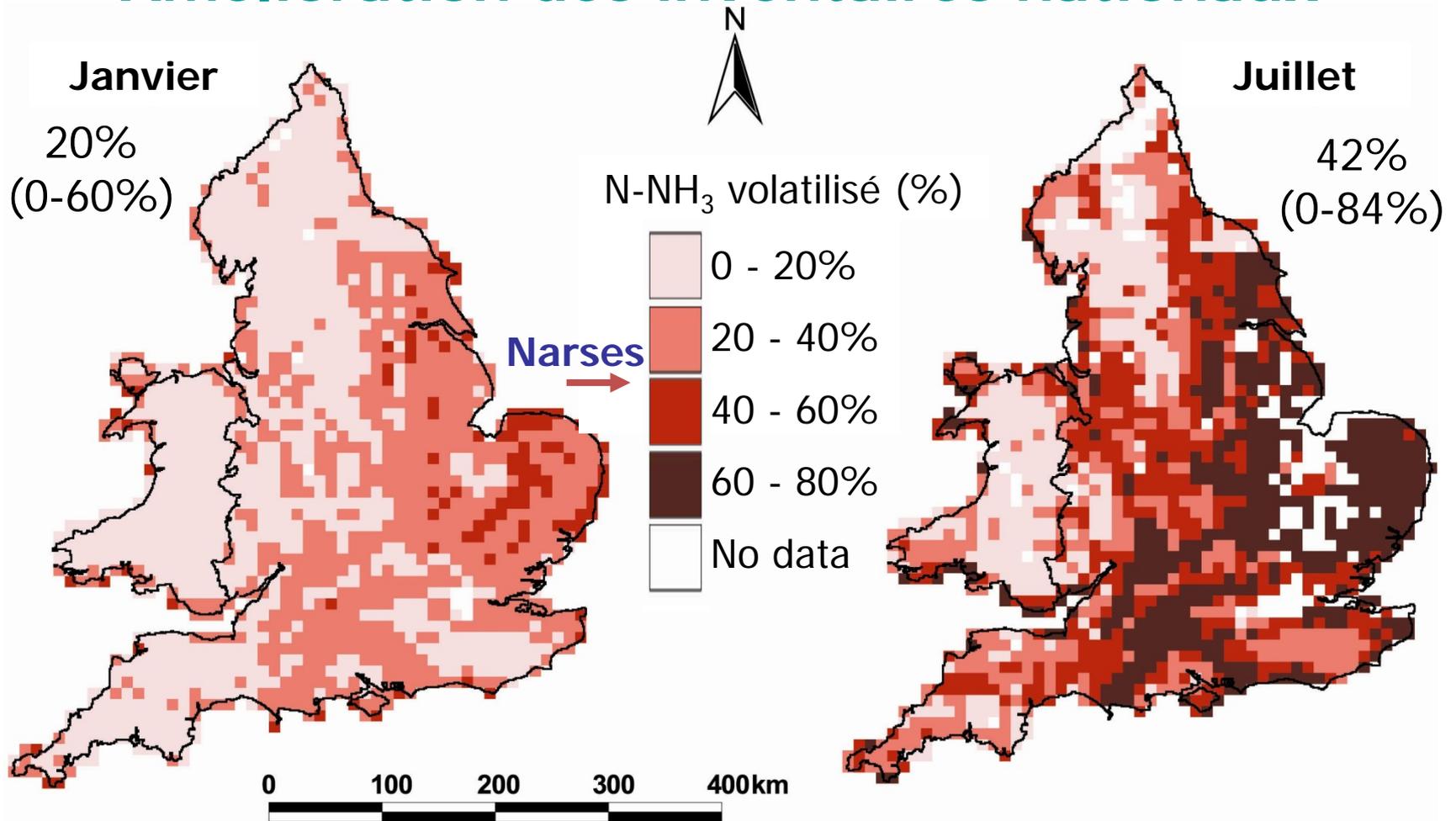
Efficacité :

- profondeur
- proportion



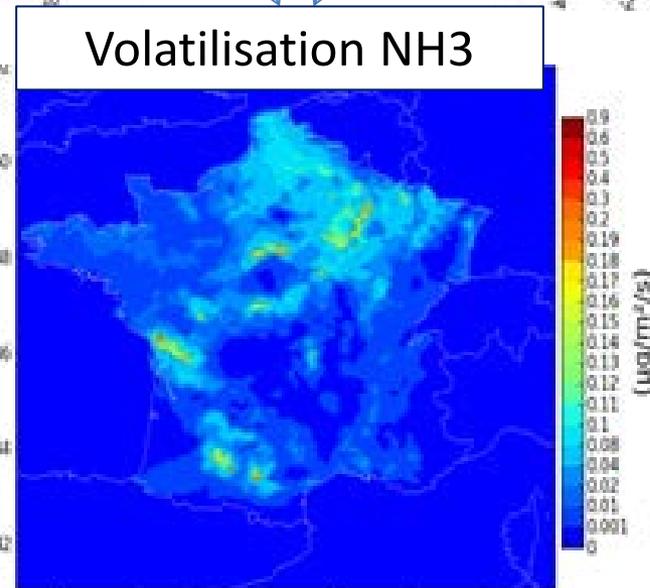
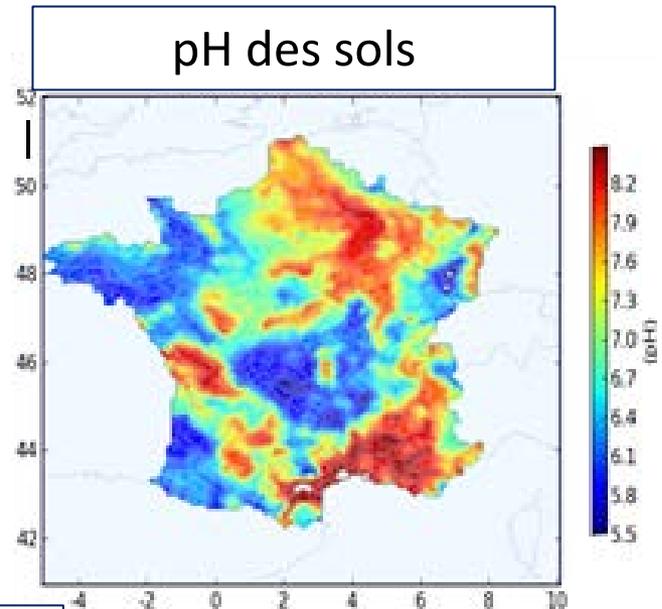
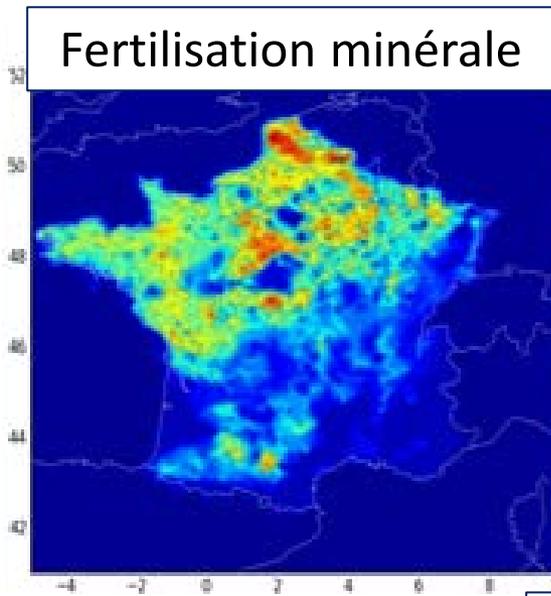
Génermont, 1996

Applications opérationnelles : Amélioration des inventaires nationaux



➔ Distribution des émissions dans le temps et l'espace

Amélioration de la prise en compte spatiale et temporelle des émissions d'ammoniac dans les modèles de chimie-transport



Couplage
CHIMERE-Volt'Air

Période mi Février-
mi Avril 2007

INERIS

→ Spatialisation des impacts
→ Contribution à la formation des PM10 et PM2.5

Hamaoui-Laguel
et al. 2012.

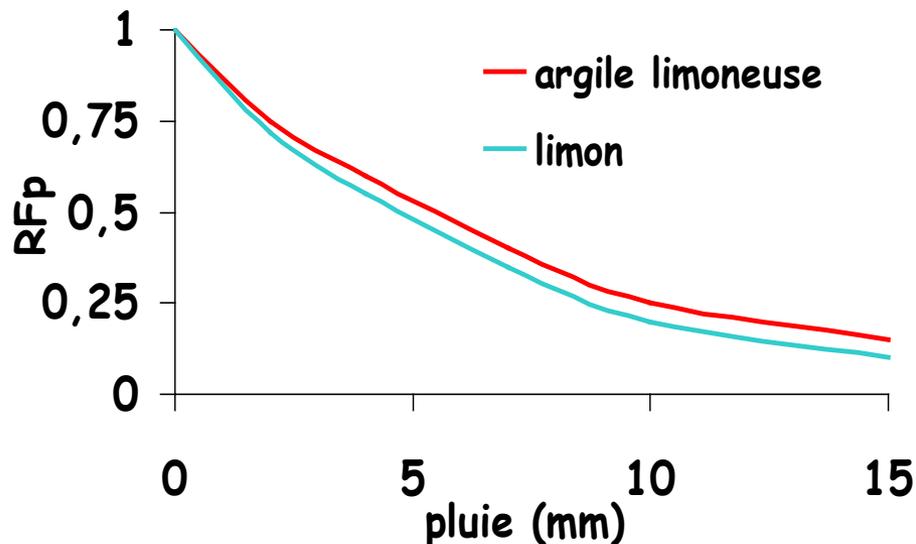
Intégration de la volatilisation d'ammoniac dans d'autres types de modèles

Calcul de facteurs/coefficient d'émission

Génération de fonctions / modèles simples :

Fonction de réduction de la volatilisation par une pluie dans le modèle STAL (Morvan, 1999)

Fonction « pH » dans le modèle Syst'N (Parnaudeau et al., 2010)
(projet Azosystem, RMT Fertilisation et Environnement)



« **Plates-formes** »

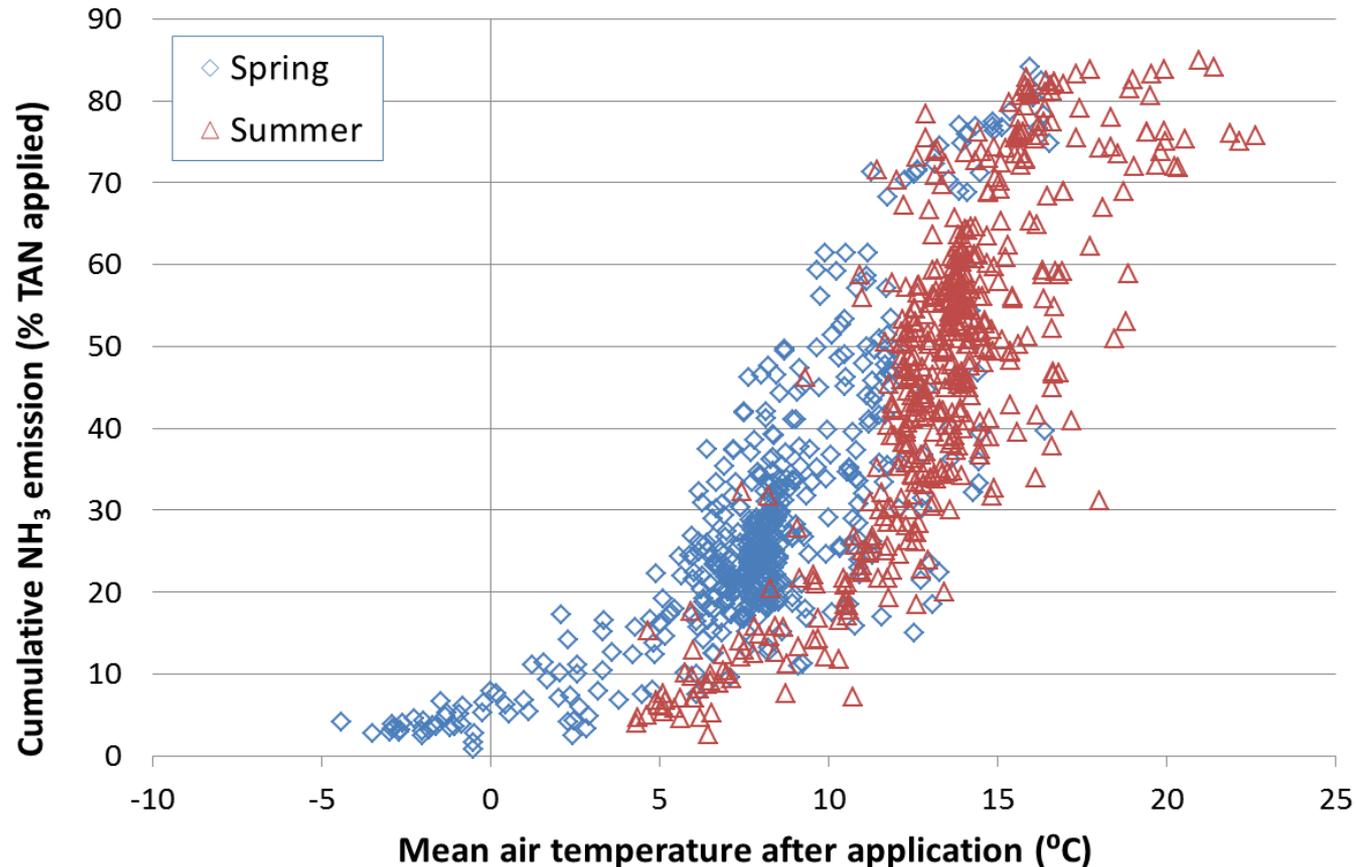
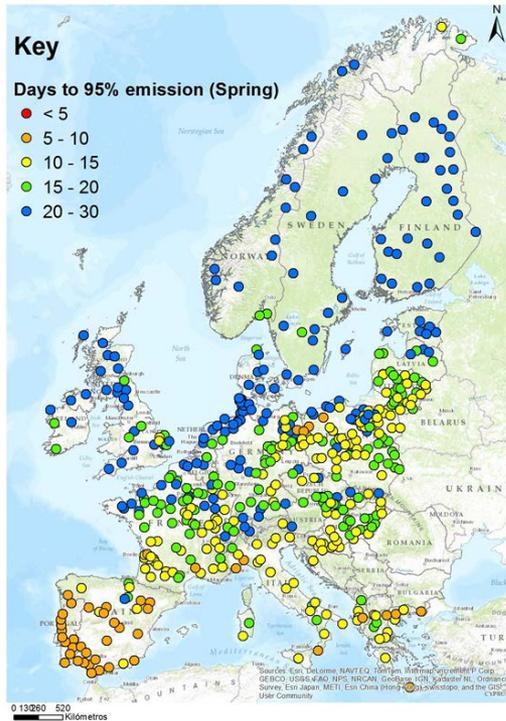
Sol Virtuel Départ EA

Modèle BioAtm avec IPSL

Intégration de la volatilisation dans d'autres types de modèles

Approche de méta-modélisation

Ex : simulations multiples pour un apport du même lisier bovin sur 522 sites en Europe à 2 périodes (printemps et été)



éclairé

Effects of climate change on air pollution impacts and response strategies for European ecosystems

Merci de votre attention

Pour en savoir plus ...

