

# Les leviers agronomiques disponibles à différentes échelles pour jouer sur la cascade de l'azote

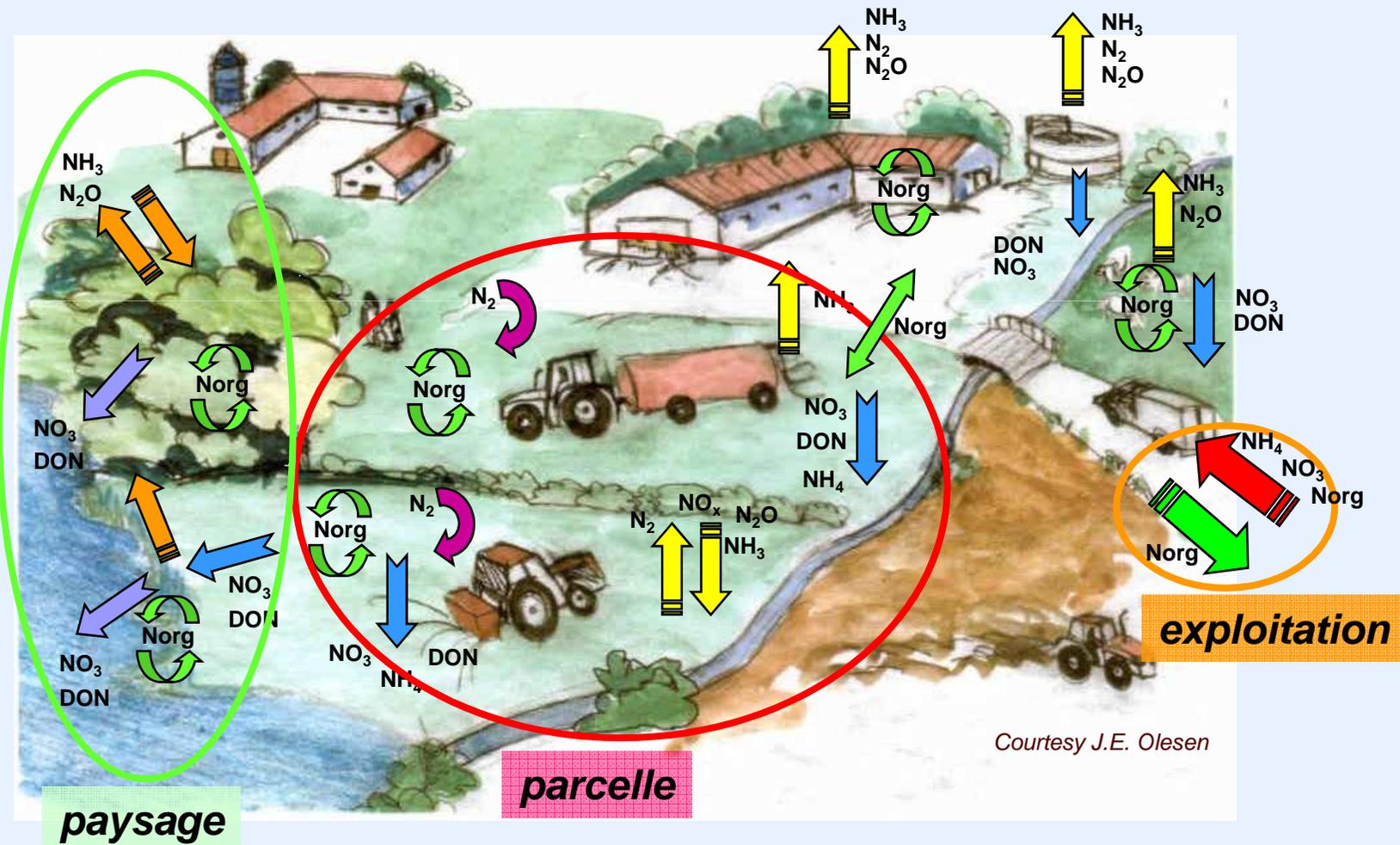
P. Durand

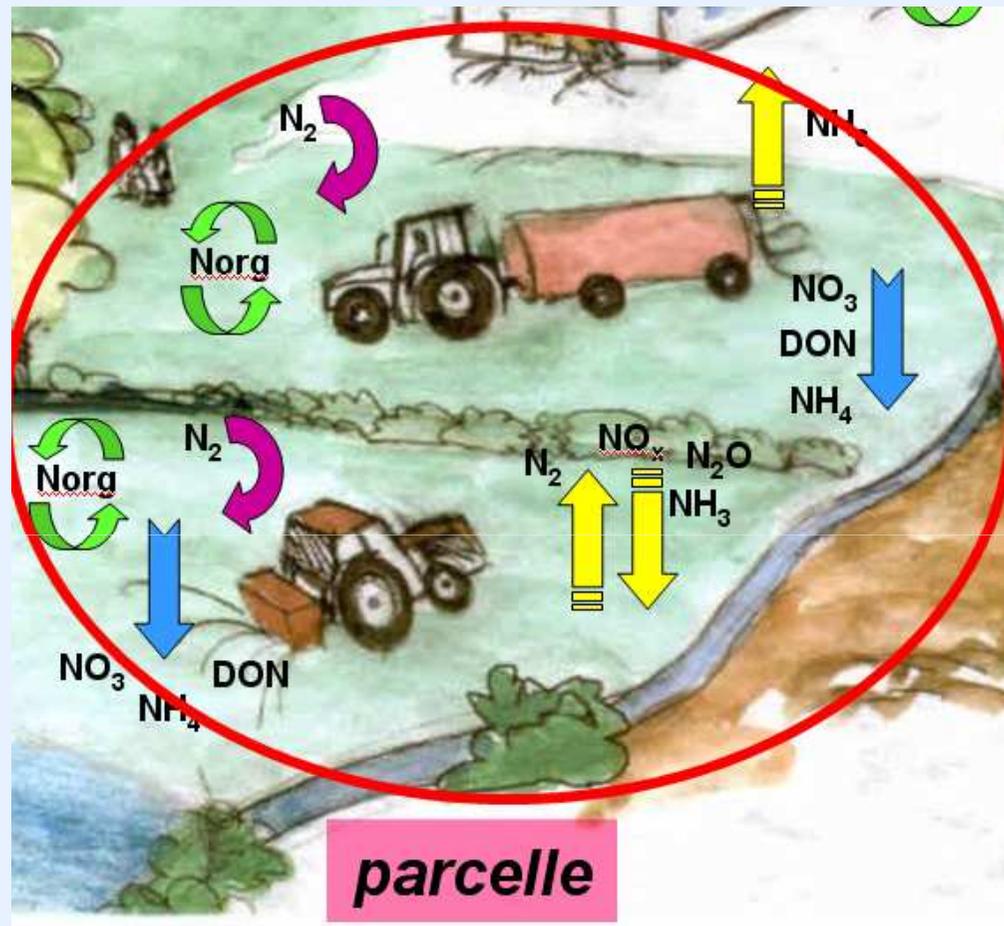
INRA UMR SAS Rennes

Avec l'aide de :

P. Leterme, V. Parnaudeau, P. Cellier, P. Merot, F.  
Vertes...

# Pratiques agricoles et cascade de l'azote



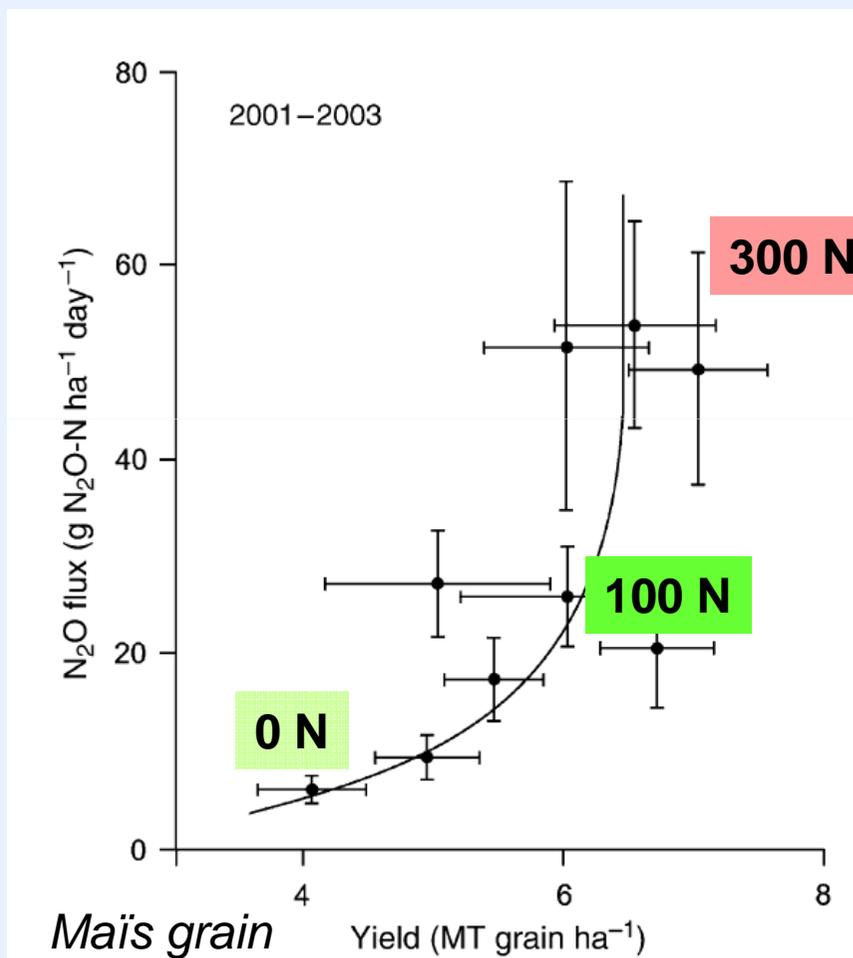


*Itinéraires techniques, fertilisation, travail du sol, variétés, successions, associations*

# Echelle de la culture

- La fertilisation
  - Doses, dates
  - Type de produit : inhibiteurs, CRF, minéral vs organique,
  - Modalités d'apport
- Le travail du sol
  - Des effets complexes
- La plante
  - Efficience d'absorption
  - Efficience d'utilisation
  - Par sélection...ou par association?
- La récolte
  - Récolte localisée
  - Gestion des résidus (pour garder N, il faut garder C...)

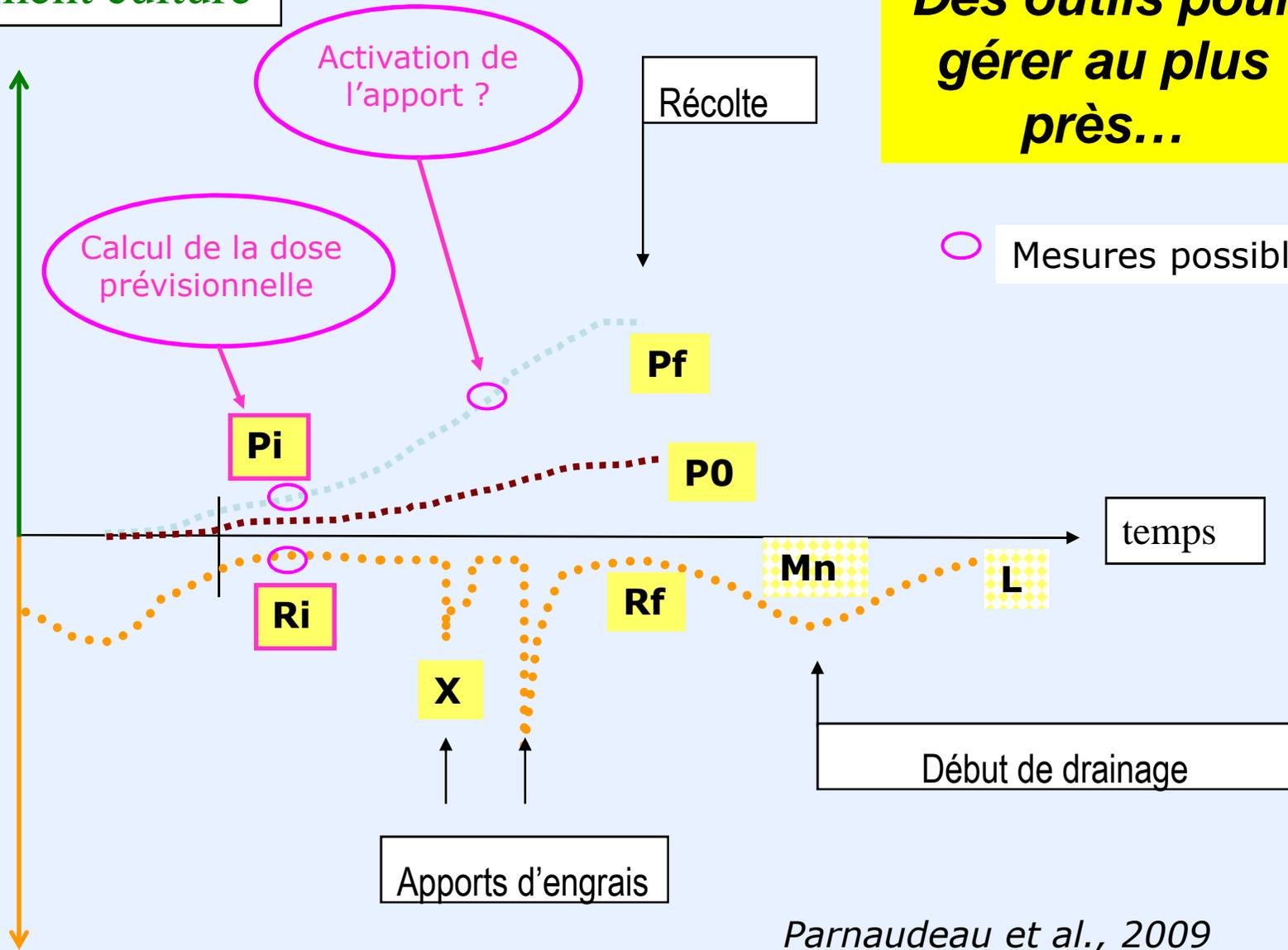
# Une évidence...



*Les émissions (vers l'air, l'eau...) augmentent exponentiellement au-delà de l'optimum agronomique (IPCC?)*

Prélèvement culture

**Des outils pour  
gérer au plus  
près...**

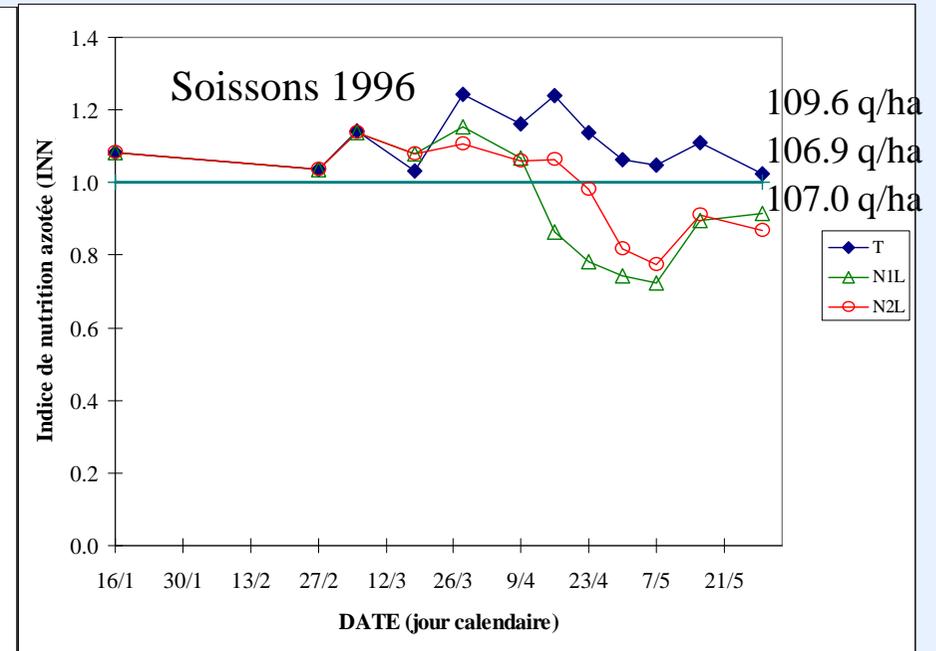
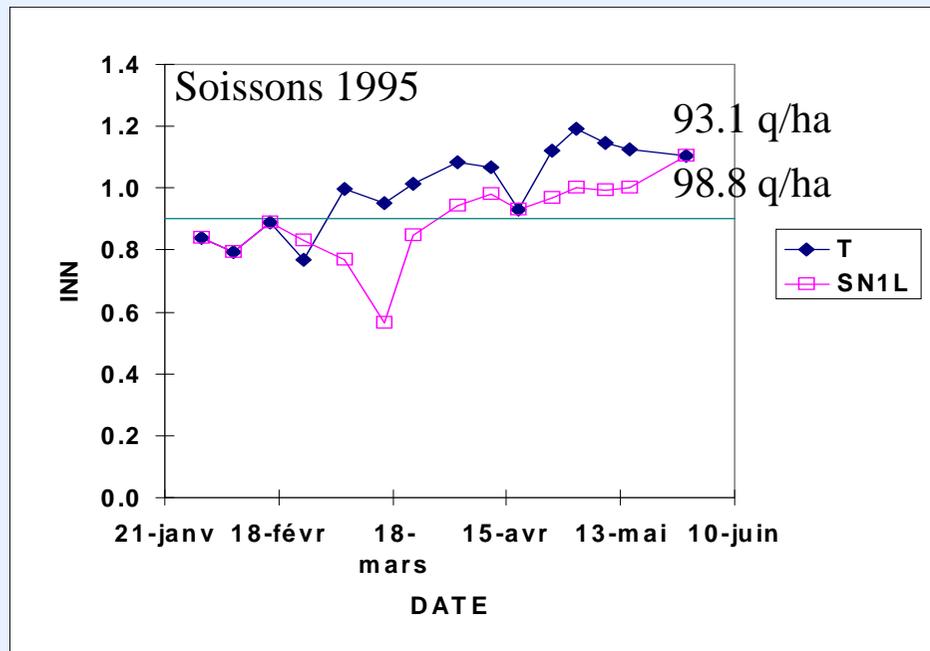


○ Mesures possibles

N sol disponible

*Parnaudeau et al., 2009*

# Y compris en sub-optimal?

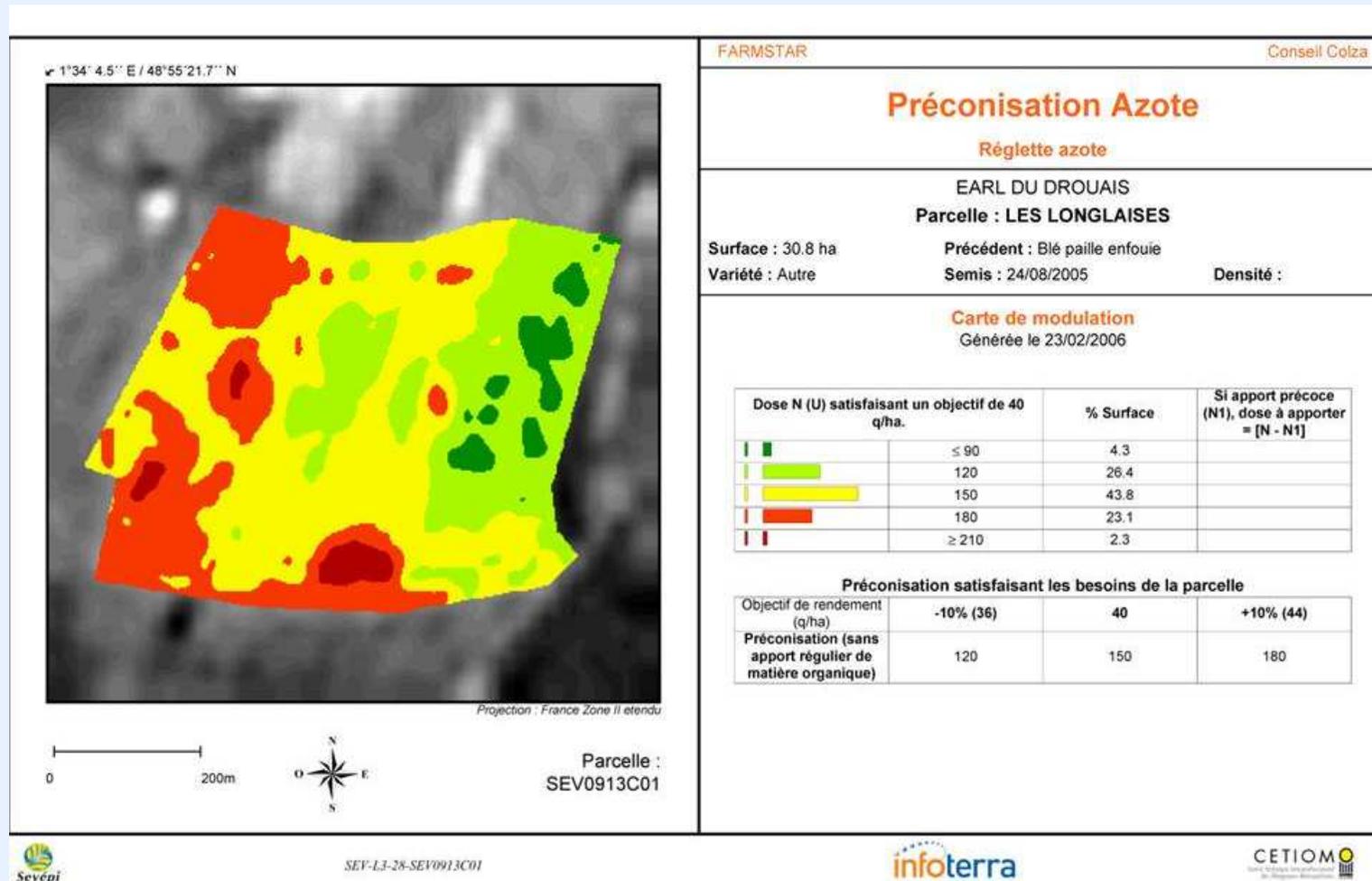


(Jeuffroy and Barbottin, 2004)

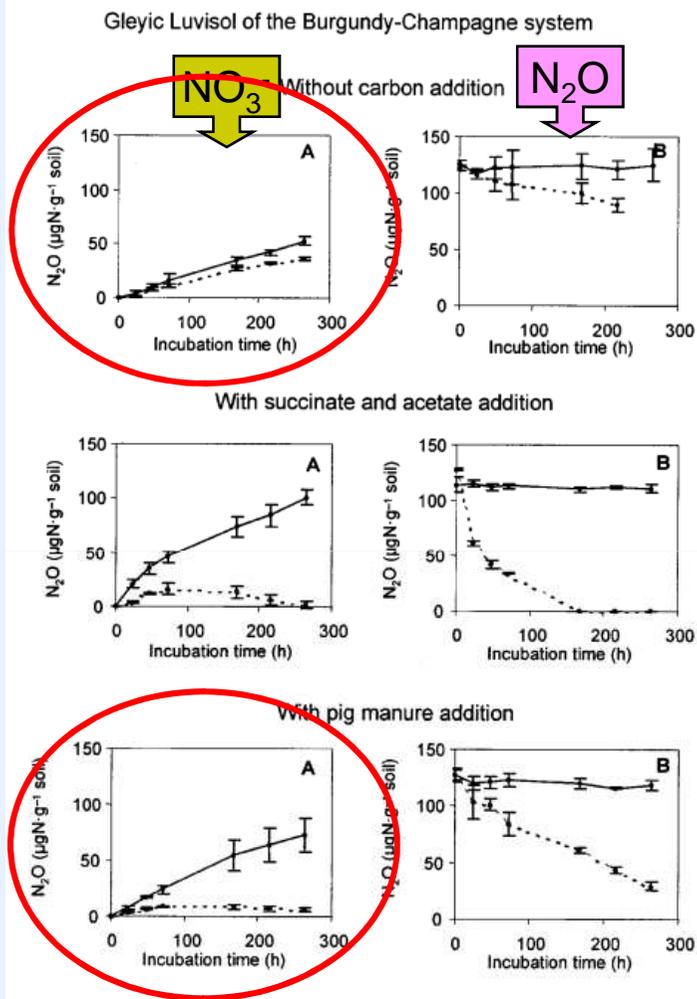
parcelle

# Agriculture de précision : des gains réels..

500000 ha de colza suivis



# Les apports de lisiers favoriseraient la dénitrification et diminueraient les pertes de N<sub>2</sub>O ...



**Figure 5.** Anaerobic kinetics of N<sub>2</sub>O production (A) and consumption (B) by soil slurries from the Gleyic Luvisol of the Champagne system. The figure shows the effect of different carbon sources (succinate and acetate, pig manure) and the presence of C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> on N<sub>2</sub>O production and consumption. **In vitro, court terme...** Henault et al., 2001

Table 4

Estimation of N<sub>2</sub>O emissions for 1 year using different methods and the corresponding emission factors

Site	Treatment	Method of calculation		
		Interpolation <sup>a</sup>	Modified NOE <sup>b</sup>	IPCC <sup>c</sup>
Annual N <sub>2</sub> O emission (g N ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )				
Champ Noël	AN	2167 (475) a	3750	2375
	PS	1028 (273) a	1399	3250
	CT	1000 <sup>d</sup>	2538	1000
Le Rheu	AN	872 (57) a	820	3250
	MPM	851 (75) a	854	2650
	CT	344 (16) b	485	1225
N <sub>2</sub> O emission factor (%)				
Champ Noël	AN	1.07	1.10	1.25
	PS	0.02	-0.63	1.25
	CT	0.00	0.00	0.00
Le Rheu	AN	0.29	0.19	1.25
	MPM	0.38	0.28	1.25
	CT	0.00	0.00	0.00

Numbers in brackets are the standard errors of the emissions ( $n = 8$ ).

*Dambreville et al., 2008*

**Au champ, sur 1 an...**

# Echelle de la culture

- La fertilisation
  - Doses, dates
  - Type de produit : inhibiteurs, CRF, minéral vs organique,
  - Modalités d'apport
- Le travail du sol
  - Des effets complexes
- La plante
  - Efficience d'absorption
  - Efficience d'utilisation
  - Par sélection...ou par association?
- La récolte
  - Récolte localisée
  - Gestion des résidus (pour garder N, il faut garder C...)

## Le rôle du travail du sol

- Sur les émissions de  $N_2O$ :
  - Ça dépend du contexte pédoclimatique, du type de pratiques, de l'échelle de temps...
- Sur la gestion de N en général:
  - Conservation de la M.O.S.
  - limiter volatilisation  $NH_3$  des lisiers
  - destruction des résidus de cultures et des CIPAN
    - *glyphosate -> 10% pertes N plante :  $NH_3$ ? (Manderscheid et al., 2005, Damin et al., 2009)*
    - *Mais enfouissement -> 10 % pertes N plante : dénitrification,  $N_2O$  ? (Ruijter et al., 2010)*

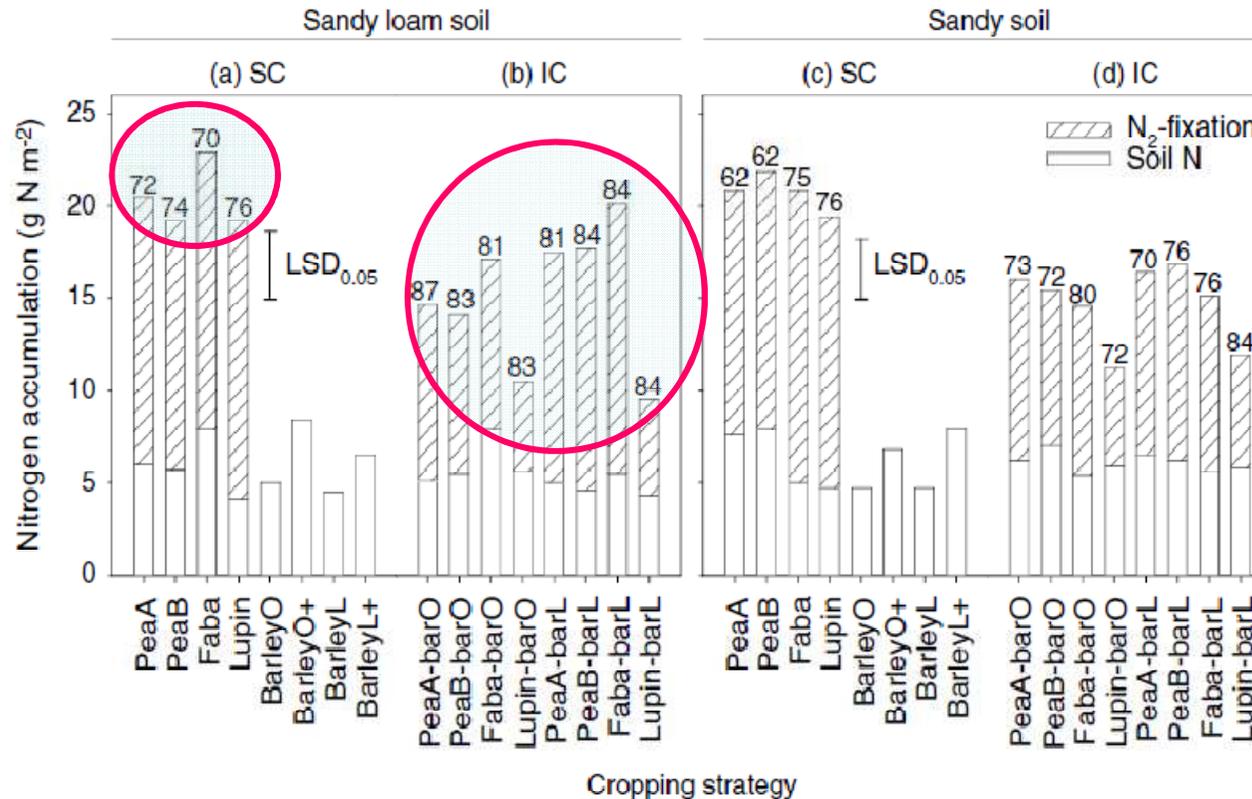
# Echelle de la culture

- La fertilisation
  - Doses, dates
  - Type de produit : inhibiteurs, CRF, minéral vs organique,
  - Modalités d'apport
- Le travail du sol
  - Des effets complexes
- La plante
  - Efficience d'absorption
  - Efficience d'utilisation
  - Par sélection...ou par association?
- La récolte
  - Récolte localisée
  - Gestion des résidus (pour garder N, il faut garder C...)

# Echelle de la succession culturale

- Priorité : conservation M.O.S.
- Les couverts hivernaux
  - CIPAN : oui, mais...
    - Destruction
    - Prise en cpte pour suivant
  - Cultures dérochées
- Les légumineuses
  - En rotation
  - En association
- Le retour de l'agronomie...

# Les légumineuses en association fixent plus d'azote



**Figure 2.** Total above-ground nitrogen (N) accumulation in SC and IC of grain legumes and barley partitioned in crop soil N, and leguminous symbiotic N<sub>2</sub>-fixation at two separate locations during 2001–2003 (for further information see Fig. 1). Measures of percentage of N accumulated in above-ground grain legume originated from fixation are given on the top of bars. LSD<sub>0.05</sub> between cropping strategies is given by floating bars.



*Bilans, efficacité N, recyclage, stockage, complémentarité*

# Bilan apparent de l'azote

## « farm gate budget »

Simon, 2008

$$\text{BILAN} = \Sigma \text{ENTREES} - \Sigma \text{SORTIES}$$

« Excédent »  
« surplus »

ENG Engrais minéraux  
DEE Déjections achetées  
ALI Aliments pour animaux  
ANI Animaux de remplacement  
FIX Fixation symbiotique

VEG Produits végétaux vendus  
LAIT Lait vendu  
VIA Viande vendue  
OEU Œufs vendus  
DES Déjections vendues

**Indice d'efficacité :**

$$\Sigma \text{SORTIES N} / \Sigma \text{ENTREES N}$$

**Indice de conversion :**

$$\Sigma \text{SORTIES consommables N} / \Sigma \text{ENTREES N}$$

**= NUE (N use efficiency)**

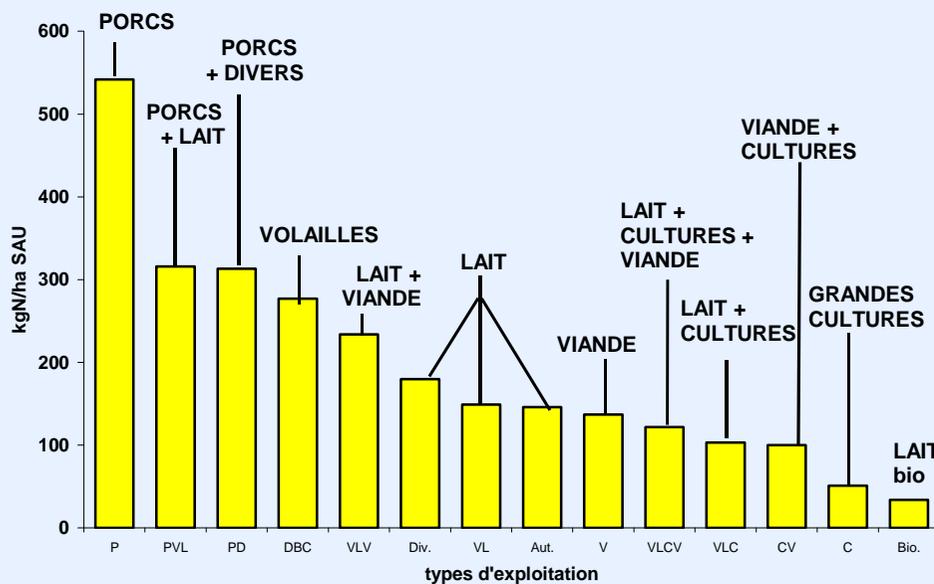
**Indice de gaspillage :**

$$\text{EXCEDENT N} / \Sigma \text{SORTIES UTILES N}$$

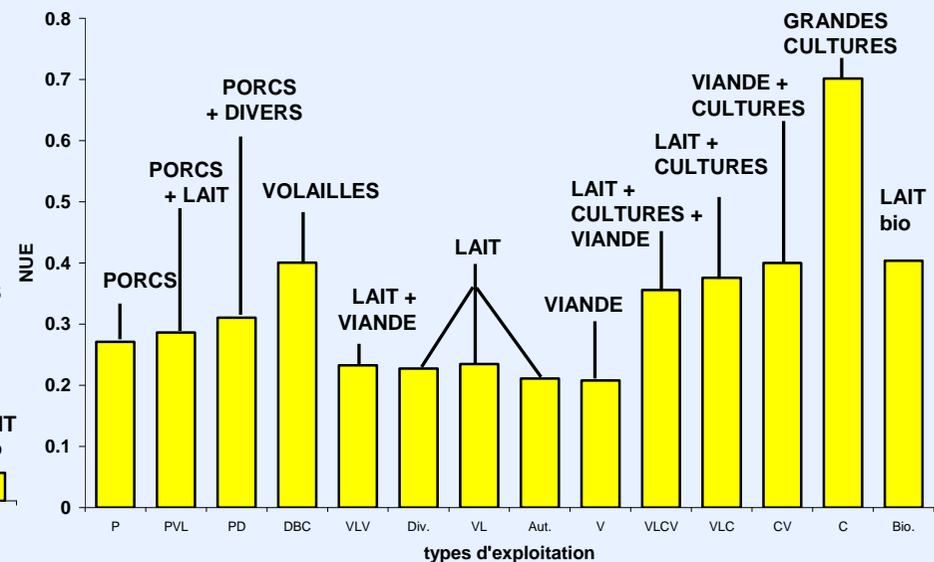
**Indice de perte:**

$$\text{EXCEDENT N} / \Sigma \text{ENTREES N}$$

# Excédents moyens d'azote (kg N/ha/an) et N.U.E. pour différents types d'exploitations



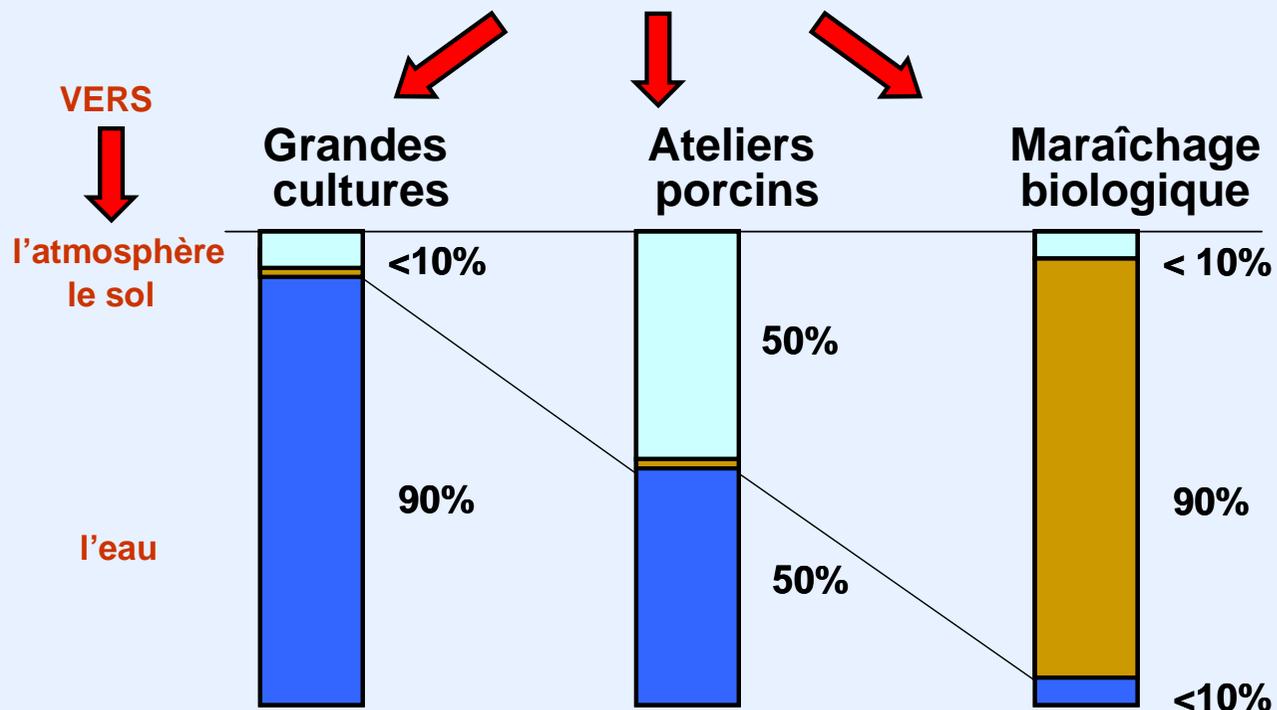
« *PRESSION POLLUANTE* »



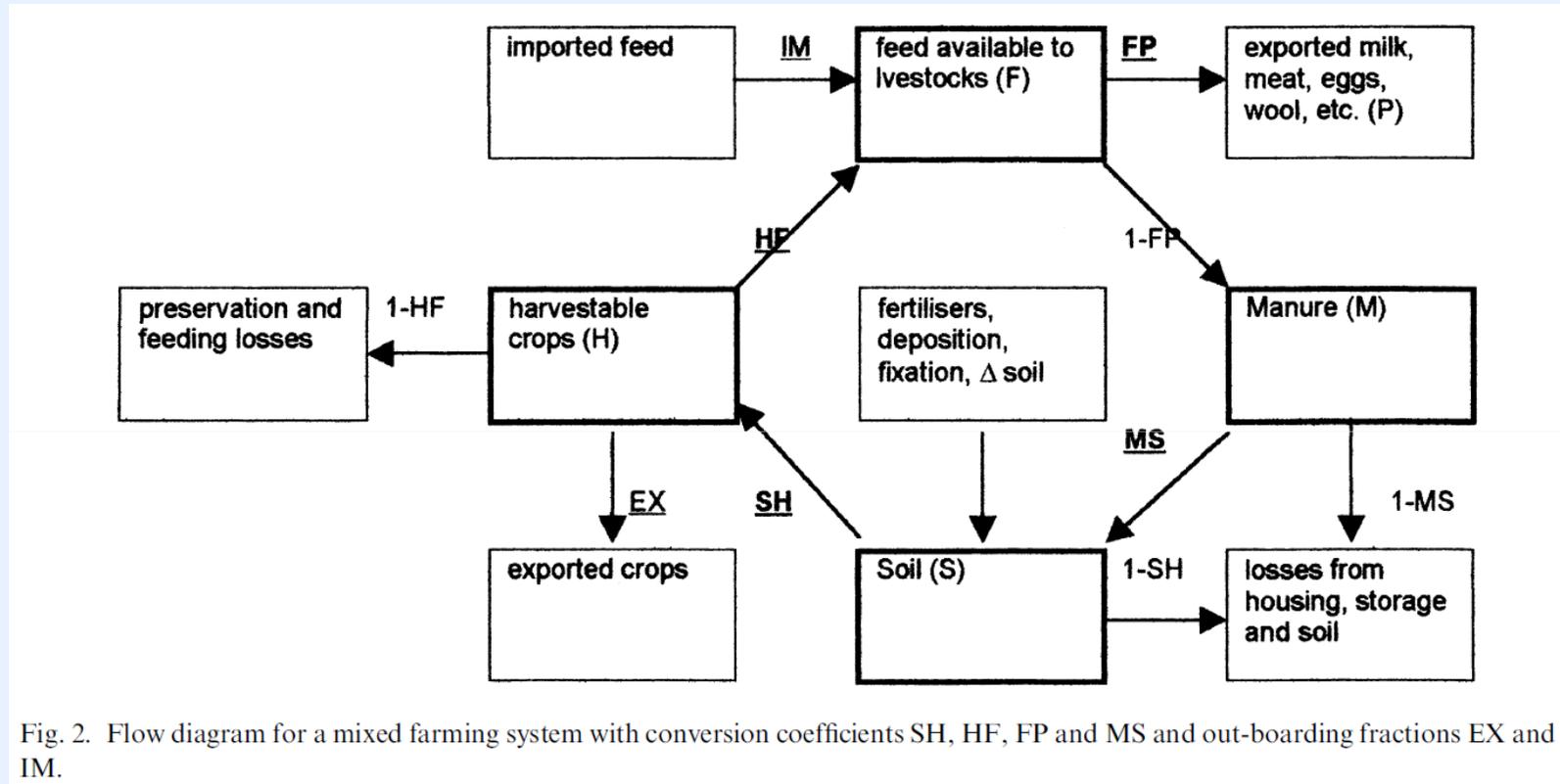
« *EFFICACITE DE CONVERSION* »

*Recyclage? Stockage MOS?*

# Pour un même excédent d'azote, des impacts environnementaux différents...

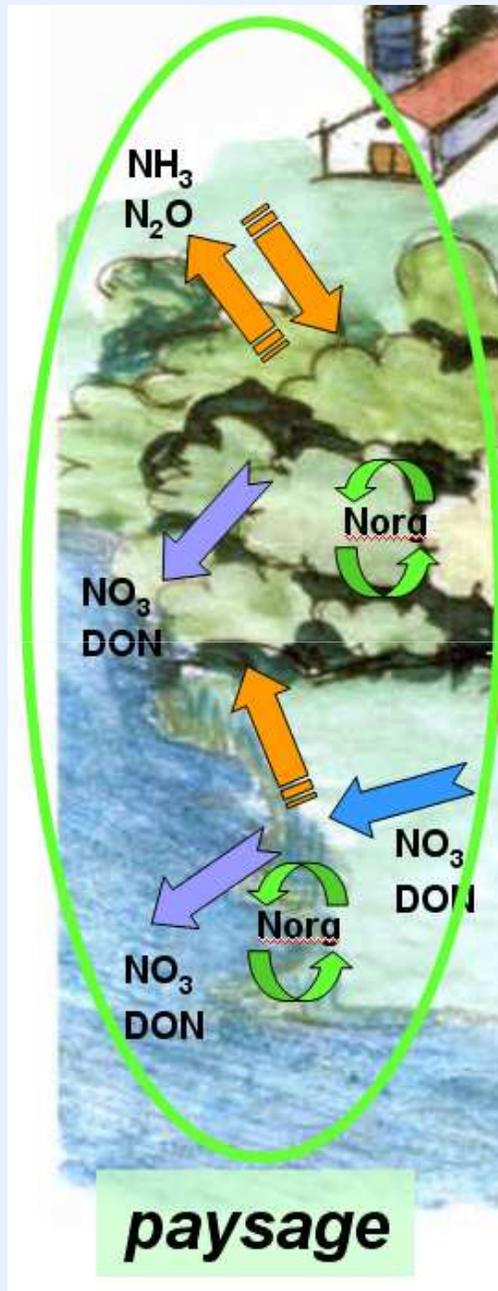


## Et des voies de progrès différentes



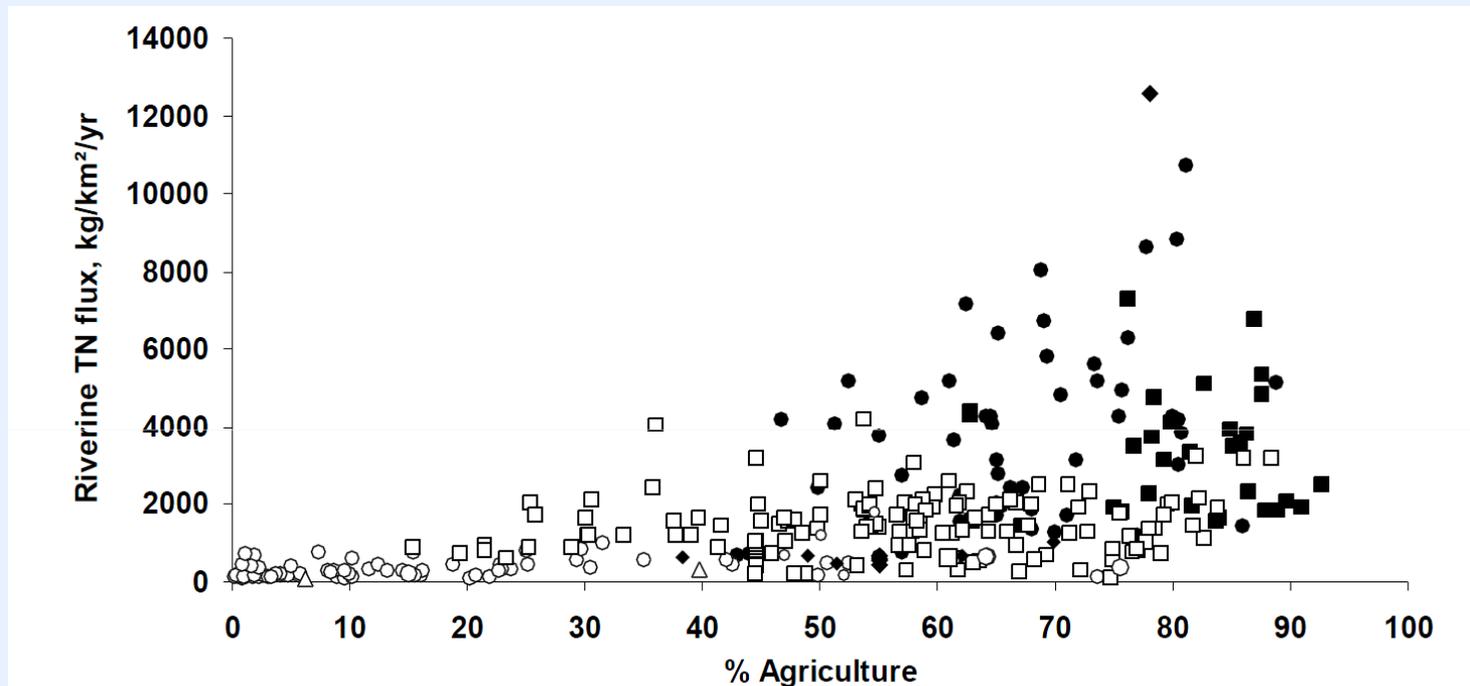
*Schröder et al., 2003*

*Jouer à la fois sur les efficacités individuelles, sur la cohérence et la complémentarité de l'ensemble*



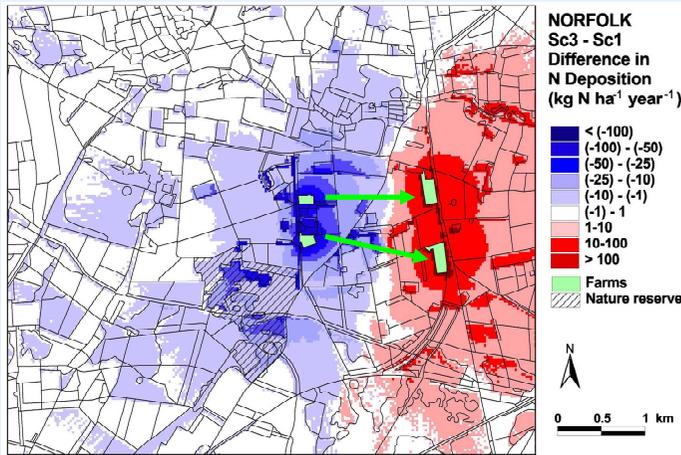
*Zones tampons, dilution, structure  
du paysage, allocation spatiale des  
cultures*

*Les surfaces non agricoles ont un effet « diluant » et « épurateur »*



**Figure 7.** Exported total nitrogen fluxes at the outlet of small to medium sized watershed from different area of Europe as a function of the share of agricultural land in total land cover. (data from Baltic countries (○), Germany and Czech Rep (□), United Kingdom (■), France (●) and the Netherlands (◆))

## Des solutions locales



*Éloigner une source de NH<sub>3</sub>  
d'une zone naturelle*

### Crop type

- Fodder
- Cereal
- Extensive set aside
- Grazing

### Fertilisation (kg total-N)

- 1 dot=200 kg manure
- 1 cross=200 kg fertiliser

### Nitrate leaching (kg N/ha)

- 0-25
- 26-50
- 51-75
- 76-100
- 101-

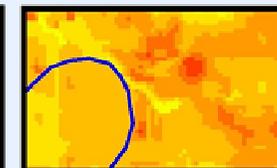
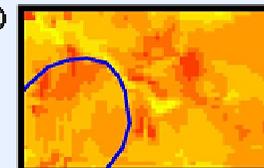
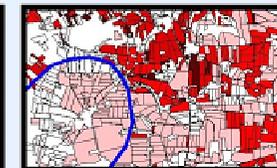
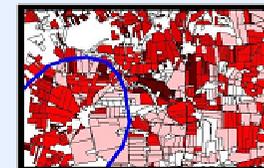
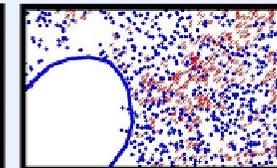
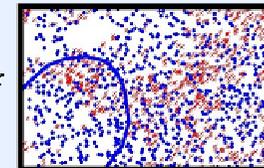
### Nitrate in groundwater (mg/l)

- 0-10
- 10-25
- 25-50
- 50-75
- 75-100
- 100-200
- 200-

Before



After



*Protéger un captage*

## La « capacité tampon » (ou d'autoépuration, ou de rétention) du paysage

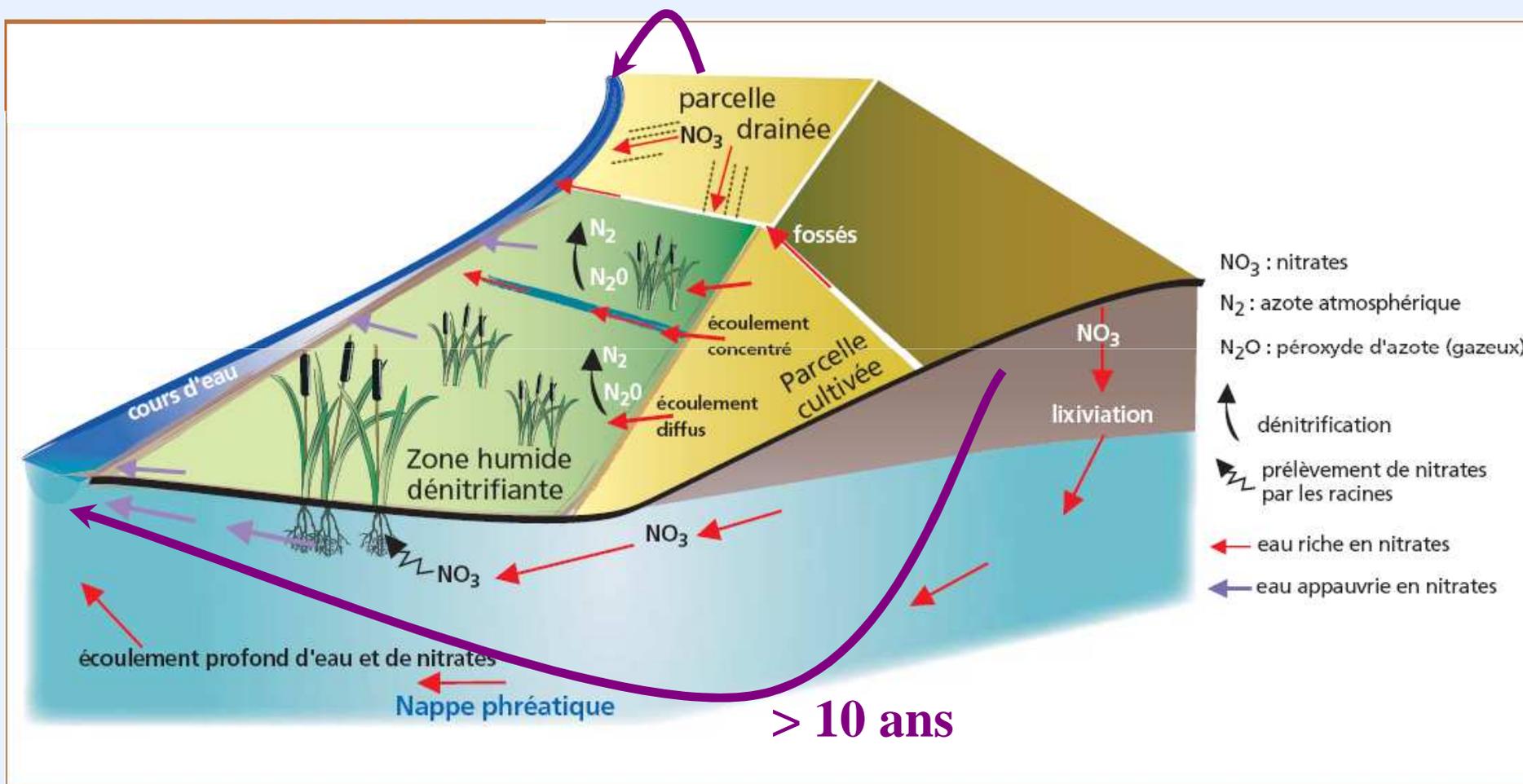
- En théorie, une affaire de bilan :

$$\text{Retention N} = \Sigma(\text{émissions de polluants}) - \Sigma(\text{flux vers l'environnement})$$

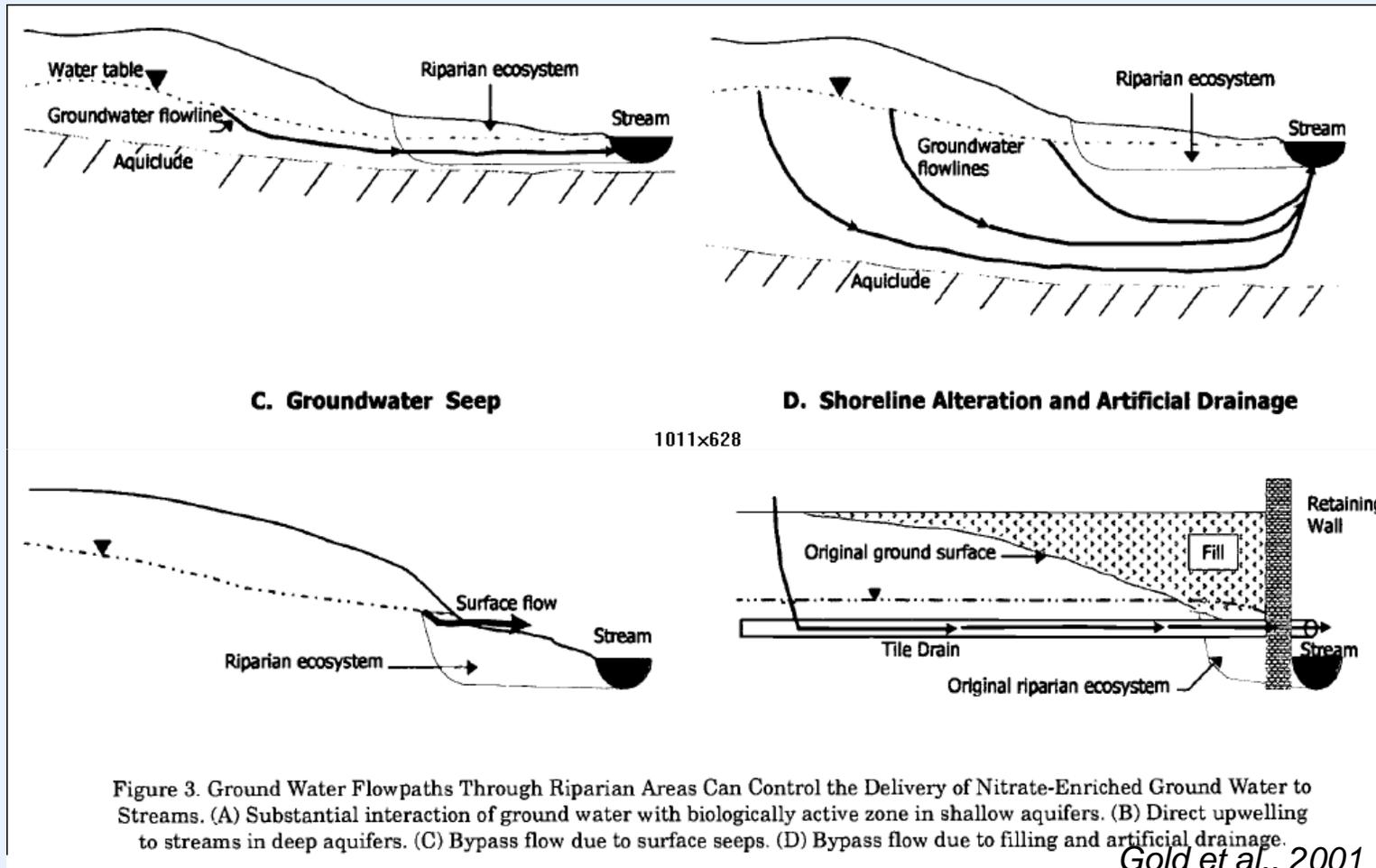
- En pratique :
  - *Les émissions sont « potentielles » (bilan N sol)*
  - *Les flux sortants sont hydrologiques, et souvent restreints à  $\text{NO}_3$*
  - *Le calcul est annuel ou sur quelques années*
- Donc, la rétention inclut :
  - *L'incertitude sur les émissions réelles*
  - *De la destruction de  $\text{Nr}$  (dénitrification)*
  - *Du stockage plus ou moins prolongé et plus ou moins stable (biomasse pérenne, humus,  $\text{NO}_3$  dans nappe ou zone vadose)*
  - *Du transfert de pollution vers l'atmosphère ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ )*
  - *Des fuites non prises en compte (DON, N particulaire...)*

# Comment l'azote lessivé se transfère...

< 6 mois



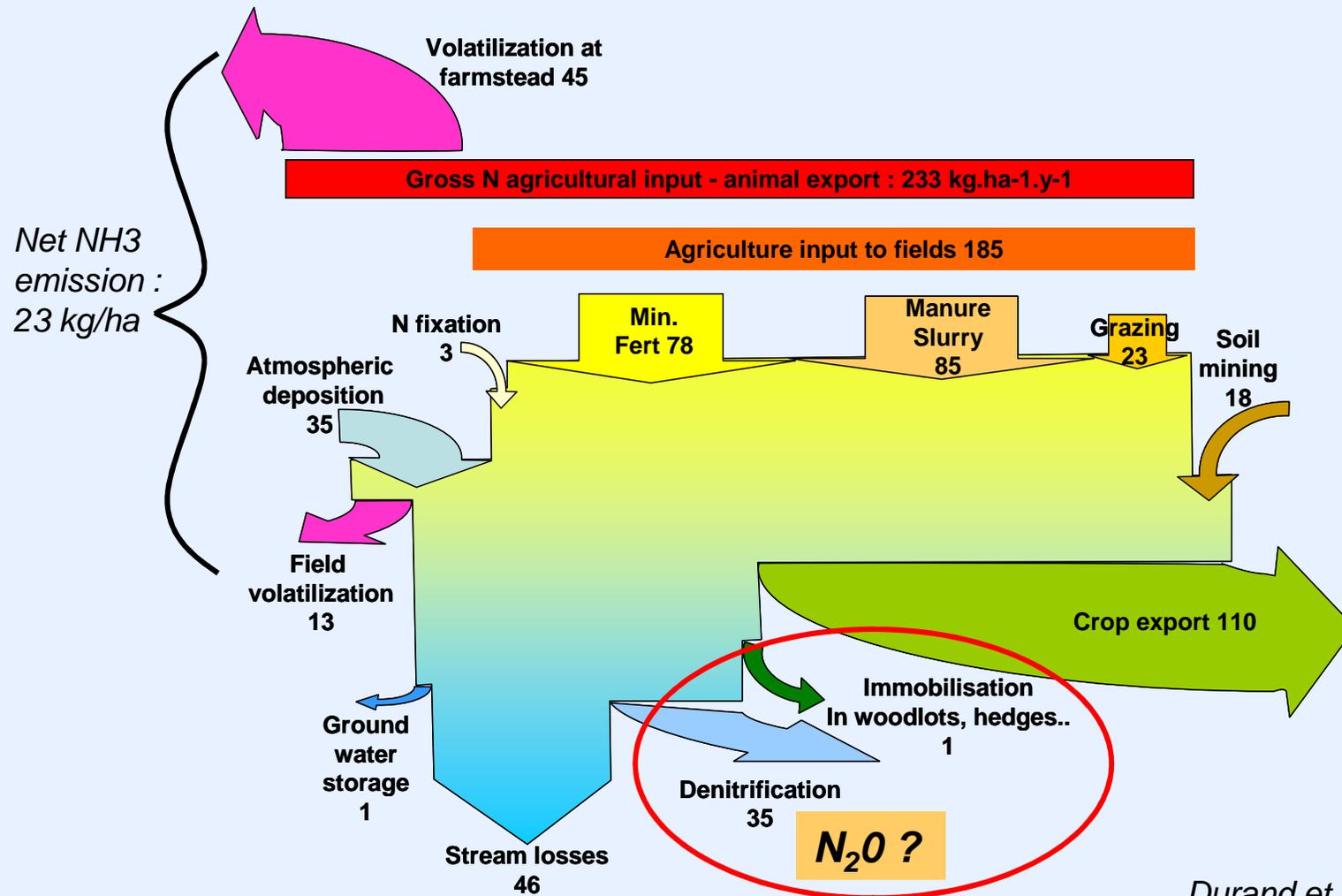
*Le potentiel d'épuration des zones ripariennes dépend surtout de la géométrie des circulations d'eau*



*La conductivité hydraulique (et son hétérogénéité) et le régime hydrologique sont aussi très importants*

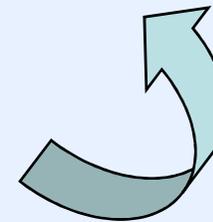
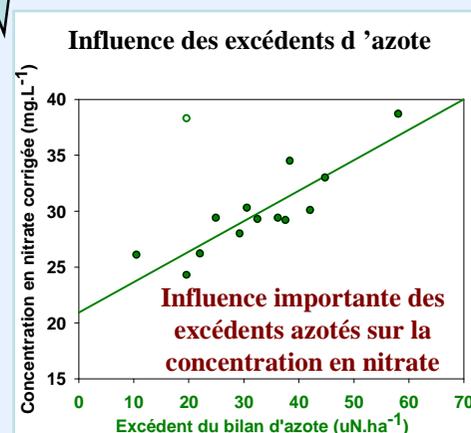
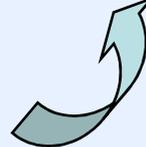
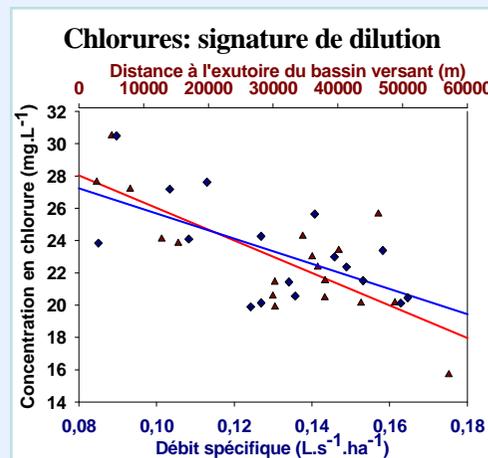
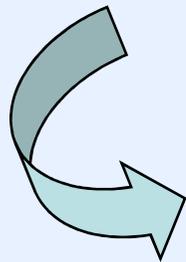
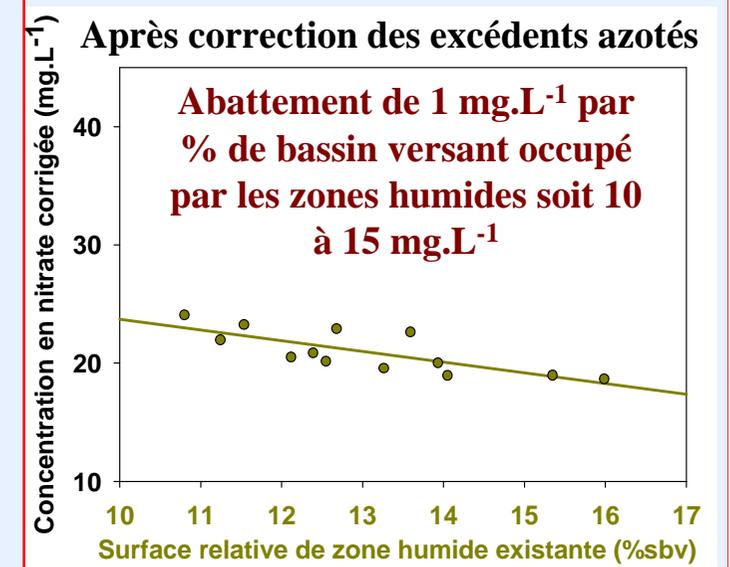
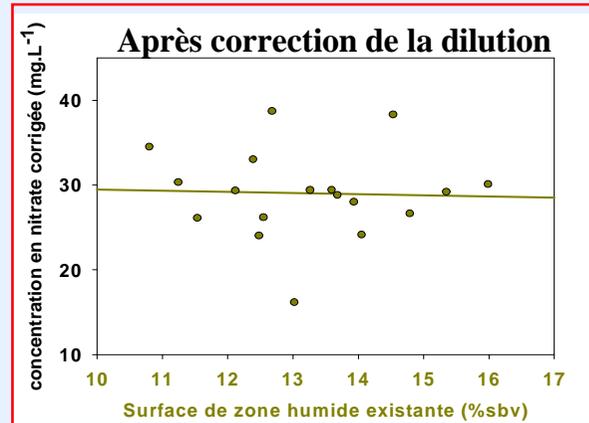
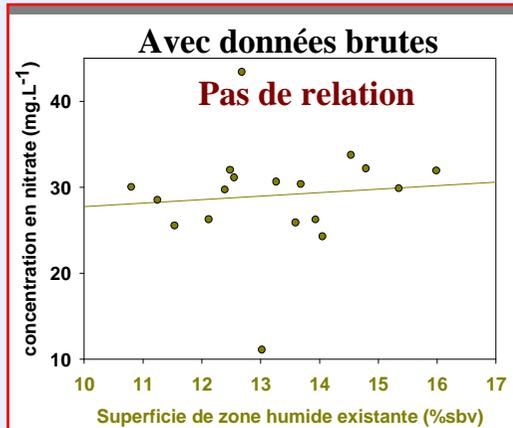
# paysage

*L'estimation de l'épuration passe souvent par la modélisation :  
Application de TNT2 à bassin versant très « chargé » (Kervidy, ORE Argrhys)*



Durand et al., 2010

*Ou par l'analyse statistique spatiale:  
Évaluation pour des bassins versant d'amont du Scorff (56)*



**Soit de 350 à 560 kg/ha/an pour 10 à 16% de ZH ds un bv de 100 ha**

*Montreuil & Merot, 2006, J.Env.Qual.*

## Pas forcément que du positif...

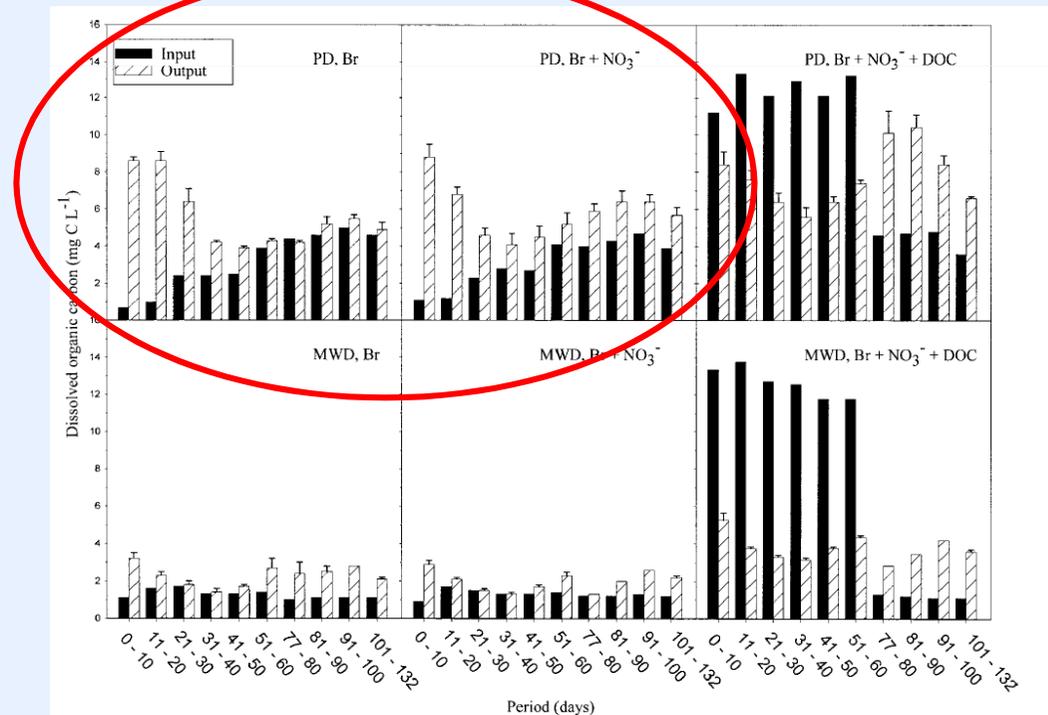
**Table 8.** Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O-N) fluxes, their <sup>15</sup>N atom%, and ratios of N<sub>2</sub>O-N : N<sub>2</sub> in wetland waters sampled over a 48-h study period. Flux is computed as the difference in concentration of dissolved gases between each sampling period per time interval during this period. Values are means ± standard deviations. n.a., N<sub>2</sub>O concentrations declined while negligible N<sub>2</sub> generated during sampling interval

Time (h)	N <sub>2</sub> O-N fluxes (µg/L.day)		<sup>15</sup> N atom %		N <sub>2</sub> O-N : N <sub>2</sub> ratios	
	Surface water	Subsurface water	Surface water	Subsurface water	Surface water	Subsurface water
1	19.9 ± 14.2	404.2 ± 313.2	38.7 ± 18.2	53.6 ± 25.1	0.33 ± 0.056	4.6 ± 7.0
2	259.4 ± 275.9	1162.0 ± 424.5	69.6 ± 17.5	87.3 ± 2.8	188.4 ± 370.7	4.1 ± 3.0
3	143.1 ± 273.8	1561.9 ± 988.6	77.1 ± 15.1	90.3 ± 1.2	99 : 1 <sup>B</sup>	5.0 ± 4.9
4	-94.0 ± 317.7 <sup>A</sup>	-24.2 ± 1297.7 <sup>A</sup>	59.1 ± 19.6	70.6 ± 20.6	n.a.	n.a.
24	-15.8 ± 8.9 <sup>A</sup>	-119.8 ± 118 <sup>A</sup>	39.4 ± 7.3	69.7 ± 17.7	n.a.	n.a.
48	-0.5 ± 0.4 <sup>A</sup>	-29.2 ± 33.8 <sup>A</sup>	21.2 ± 5.1	45.1 ± 16.6	n.a.	n.a.

<sup>A</sup>All these values generated under NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N limiting conditions with <1 mg N/L.

<sup>B</sup>N<sub>2</sub> generation was negligible during sampling interval.

Zaman et al., 2008



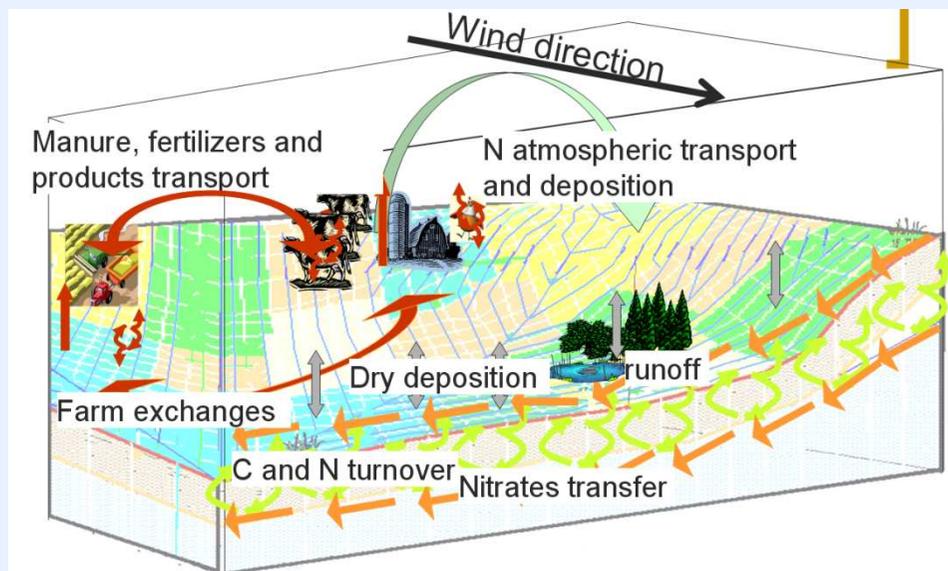
5. Dissolved organic carbon (DOC) concentrations in the inflow and outflow of poorly drained (PD) and moderately well-drained (MWD) mesocosms. Vertical bars represent standard deviation of the mean ( $n = 6$  to 27 observations).

L'apport important de NO<sub>3</sub> dans les zones humides peut avoir des effets non voulus:

- augmentation du ratio N<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub>
- émission accrue de COD (donc NOD), P<sub>2</sub>O<sub>4</sub>...
- respiration accrue (destockage C)

...

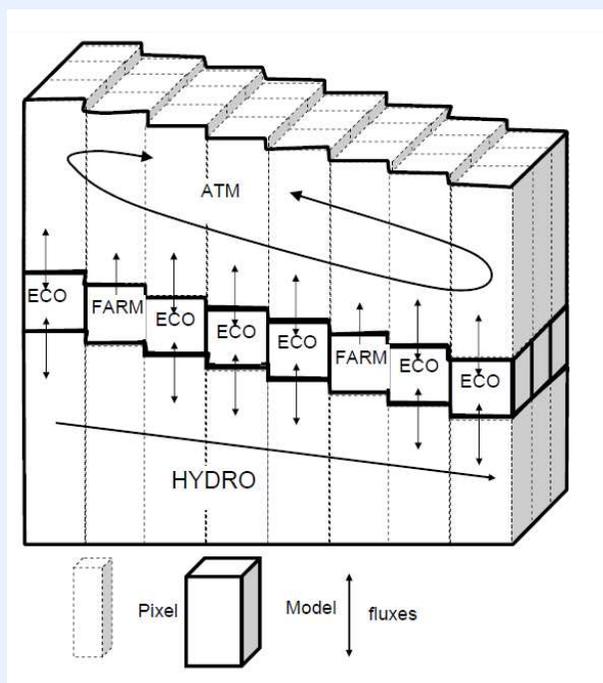
Jacinthe et al., 2003



## Nitroscape : NEU C4 component

Coord. P. Cellier

- Coupler des modèles simulant toutes les composantes du système et les flux d'azote sous toutes leurs formes
- vérifier sur 6 sites européens très instrumentés
- Tester des scénarios de changements de pratiques et de changements de structure spatiale pour estimer le rôle des interactions spatiales



Duret et al., 2010

## En vrac...

- Zones humides construites : plus prévisibles, plus efficaces, mais coût et maintenance?
  - *Intéressantes pour les exutoires bien localisés (réseau de drainage...)*
- Bandes enherbées en bordure de cours d'eau
  - *Bof*
- Haies, bocage
  - *Intérêt pour  $\text{NH}_3$  et, potentiellement, pour  $\text{NO}_3$  si nappe accessible*
- Fossés, réseau hydrologique amont
  - *Temps de résidence trop faible en périodes critiques.*

# Conclusions

- Des leviers existent à tous les niveaux, et ils sont plus diversifiés et plus efficaces que ne le laisse supposer la lenteur des progrès actuels, mais:
- Les outils, connaissances et références scientifiques permettant de les quantifier font souvent défaut.
- Leur maîtrise technique par l'agriculteur ou le gestionnaire de l'espace n'est pas toujours garantie.

*Outre l'enjeu environnemental et, à terme, économique, c'est un défi scientifique et technique, à la croisée de nombreuses disciplines et savoir-faire, qui mériterait mieux que l'application a minima de la directive Nitrate...*



Action 869

## Mitigation options for nutrient reduction in surface water and groundwaters

<http://www.cost869.alterra.nl/>



<http://cost729.ceh.ac.uk/>