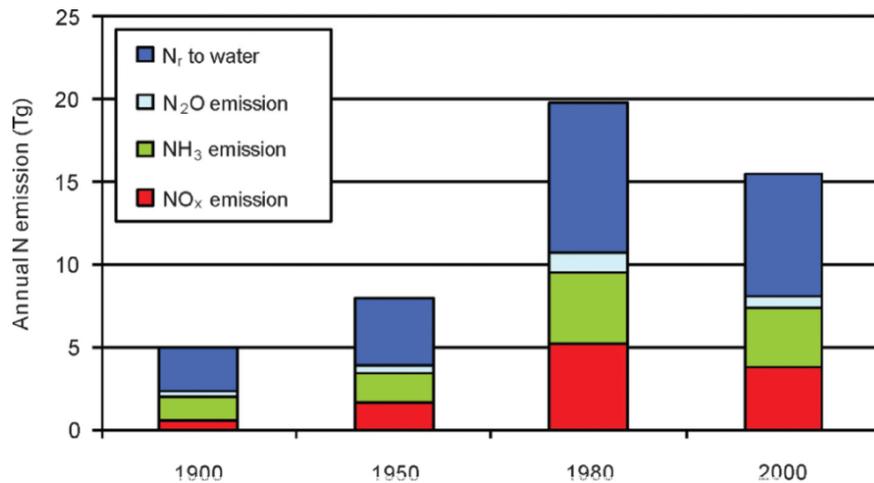
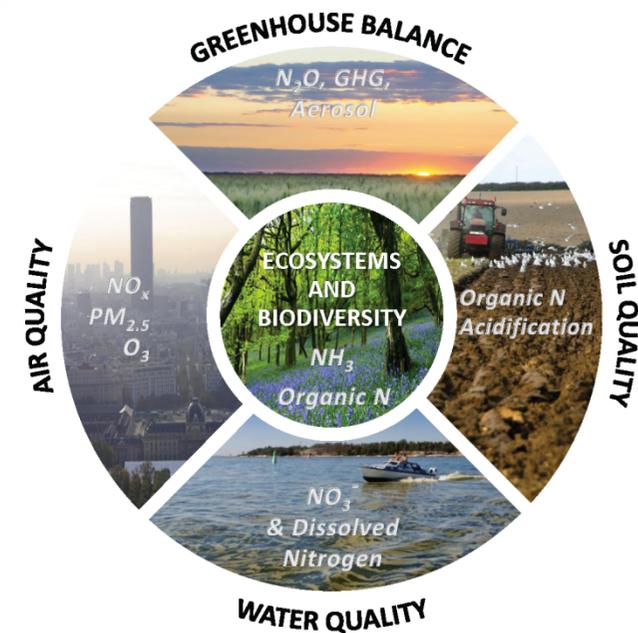
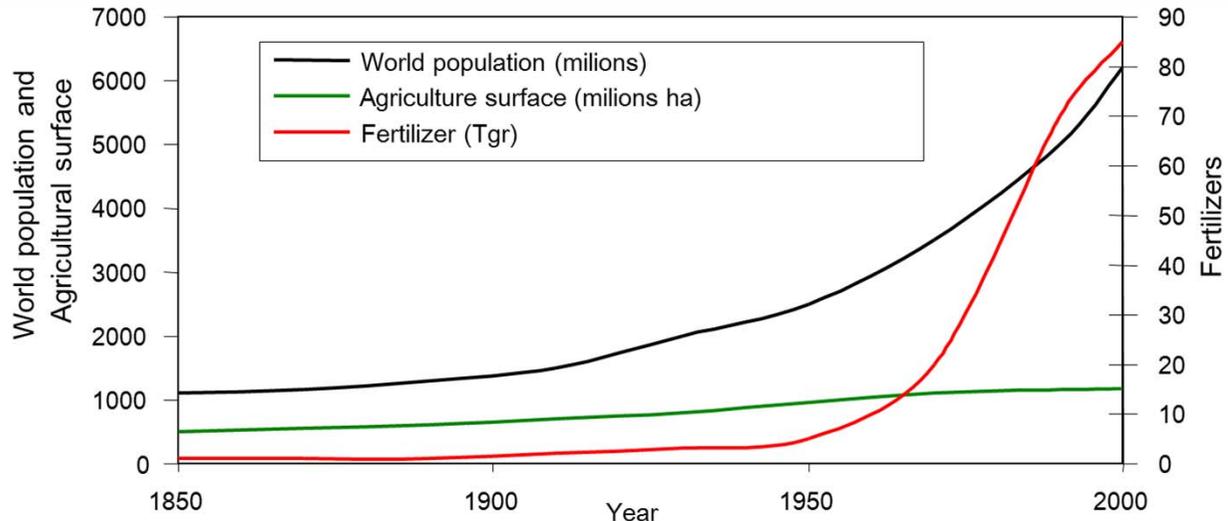


# ESCAPADE : EVALUATION DE SCENARIOS SUR LA CASCADE DE L'AZOTE DANS LES PAYSAGES AGRICOLES ET MODELISATION TERRITORIALE

Débat prospectif  
Approches territoriales des systèmes de cultures et pratiques :  
conséquences sur les flux d'éléments



# Enjeux de l'azote en agriculture

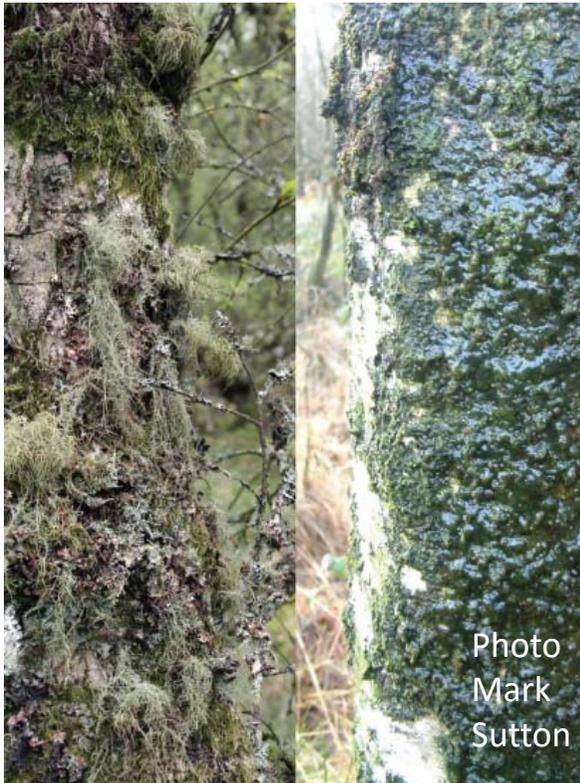


European Nitrogen Assessment (2011)

- Multi-polluants :  $N_2O$ ,  $NO_x$ ,  $NH_3$ ,  $NO_3^-$ ...
- Multi-sources : agriculture, fossile, naturel
- Multi-récepteurs : végétation, sols, eaux, humains...
- Multi-impacts : GHG, air, sols, eaux, biodiversité, santé...

→ **Nécessité d'approches intégrées**

# Impacts des excès d'azote sur les écosystèmes

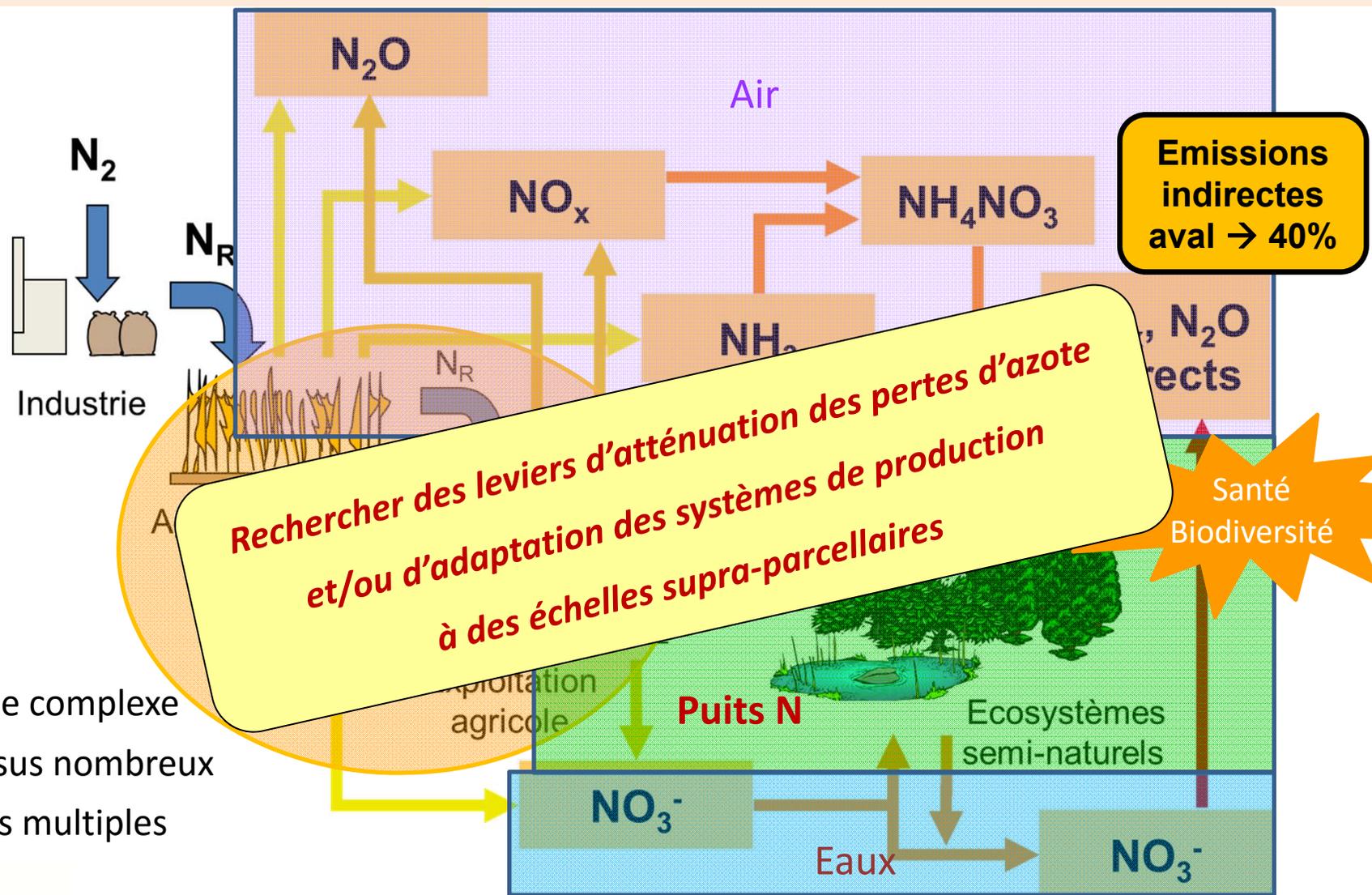


- **Gauche:** lichen dans un environnement naturel
- **Droite:** lichens remplacés par des algues sous l'effet de l'ammoniac



- **Excès d'azote en zone côtière** sur la formation d'algues à l'origine de la formation de mousse gélatineuse

# Cascade de l'azote dans les territoires / paysages



- Système complexe
- Processus nombreux
- Impacts multiples

# Objectifs d'ESCAPADE

➤ **Evaluer les effets de la gestion N, des conditions de sol et de climat et de la structure du paysage sur la cascade N et les pertes d'N**

- **2 échelles spatiales** : sites instrumentés et territoires englobants
- **scénarios – observations – modélisations**

➤ **Proposer des stratégies d'atténuation des pertes N et d'adaptation des agroécosystèmes**

Leviers à différentes échelles :

- parcelles et bâtiments d'élevage : apports N, alimentation...
- exploitations agricoles : successions culturales, cultures intermédiaires...
- sites instrumentés : zones tampons, haies...
- territoires englobants : relocalisations des activités agricoles...

➤ **Construire un partenariat interdisciplinaire**

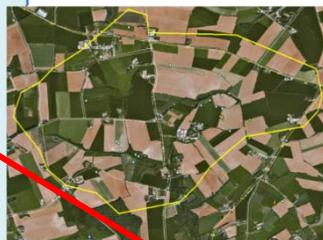
recherche – développement – action

# 4 sites et territoires contrastés (climats, sols, pratiques)

**Kervidy-Naizin** (4.9 km<sup>2</sup>)

→ **Blavet** (2029 km<sup>2</sup>)

Climat tempéré humide  
Sol cristallin  
Polycultures  
Elevage intensif  
Depuis 1992



**T1**

**Scenarios  
Gestion N  
Motifs paysagers**

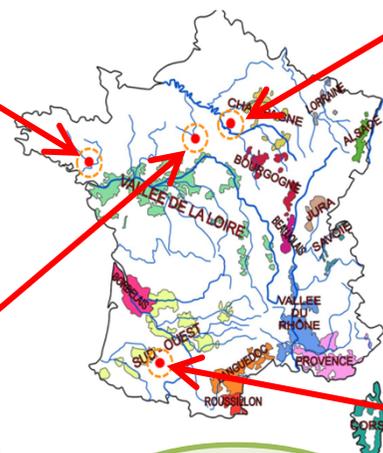
**Avenelles** (50 km<sup>2</sup>)

→ **Grand Morin** (1200 km<sup>2</sup>)

Climat semi-continental  
Sol marneux  
Polycultures-forêt  
Elevage extensif  
Depuis 1962



**T4 & T5**  
**Collecte et gestion  
des données N  
Sites**



**T2**  
**Modélisation  
cascade N  
Sites  
(3-50 km<sup>2</sup>)**

**OS<sup>2</sup>** (10 km<sup>2</sup>)

→ **Haut-Loir**

Climat semi-continental  
Sol sédimentaire drainé  
Polycultures  
Depuis 2008



**T3**

**Modélisation  
cascade N  
Territoires  
(qqs 100-1000 km<sup>2</sup>)**

**Auradé** (3.2 km<sup>2</sup>)

→ **Save** (1115 km<sup>2</sup>)

Climat tempéré sec  
Substrat imperméable  
Polycultures  
Depuis 1982

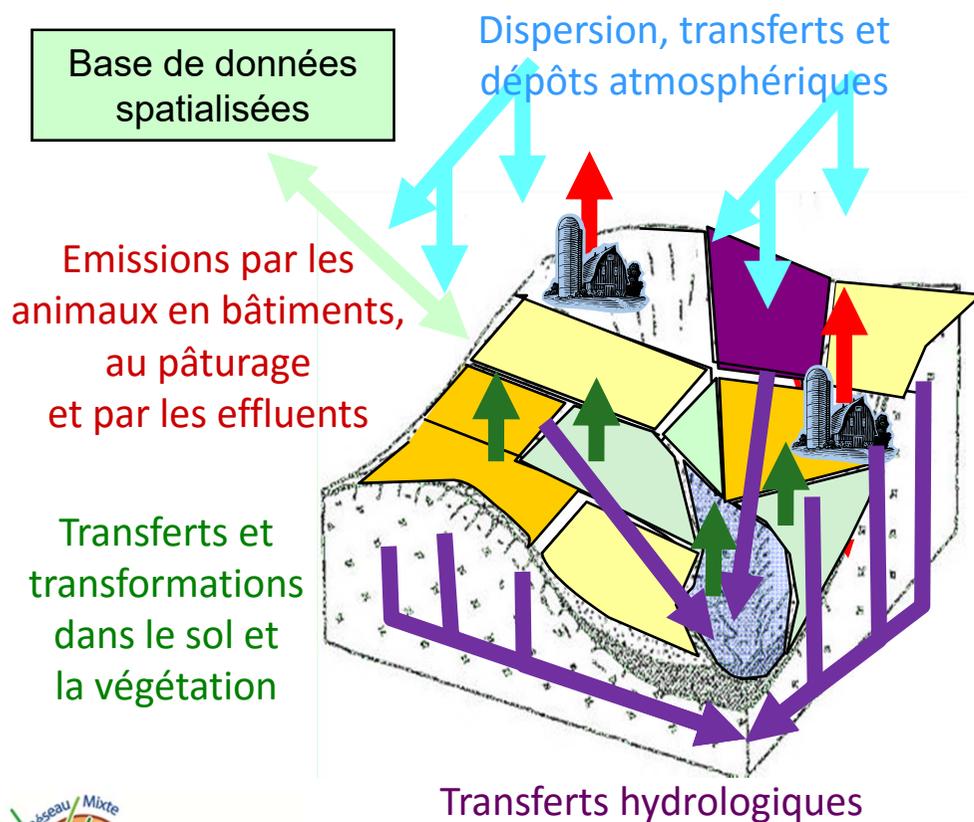


# Modélisation intégrée des processus de la cascade N

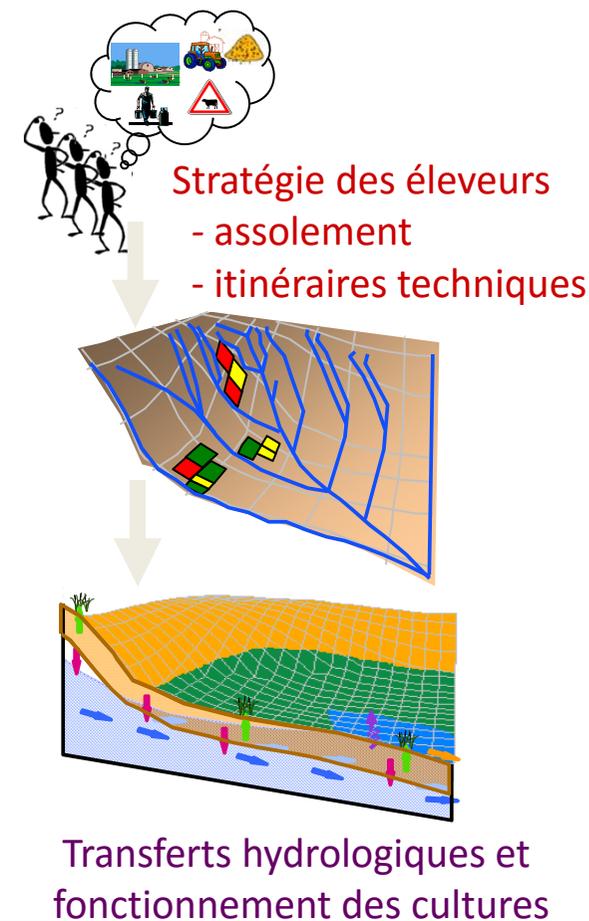
➤ **Objectif** : quantifier les transferts, transformations et pertes d’N (et la production)

➤ **Méthode** : couplage de modèles de processus N

**NitroScape** (Duretz et al., 2011)

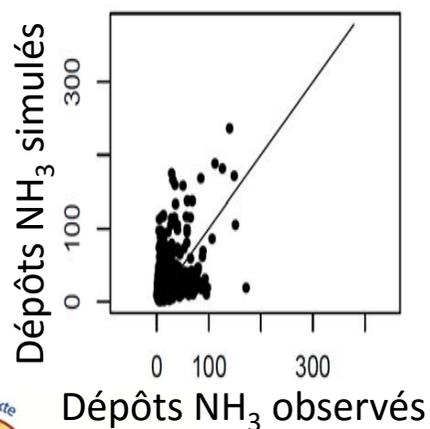
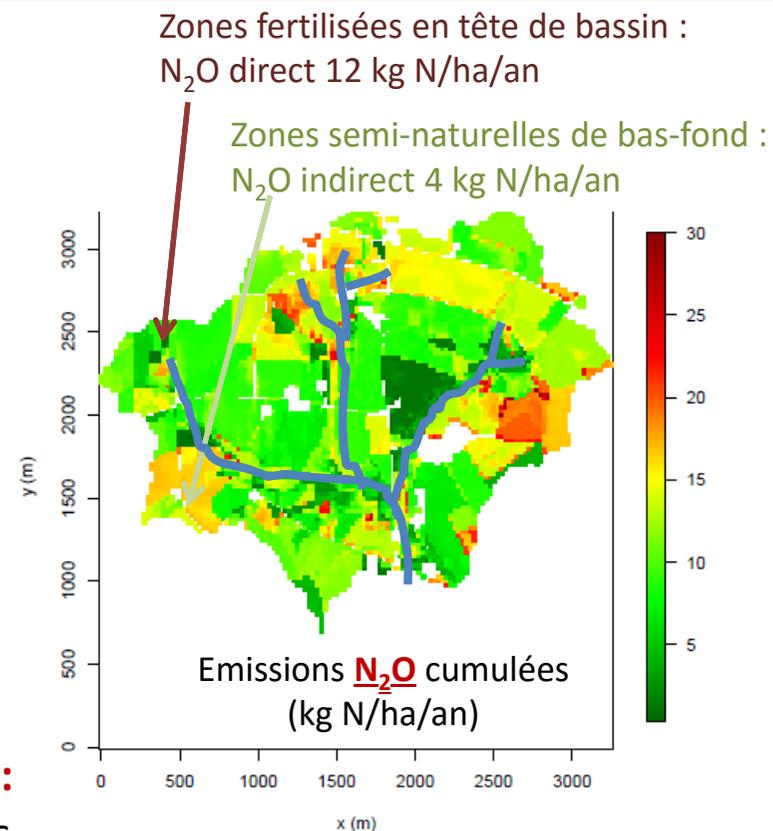
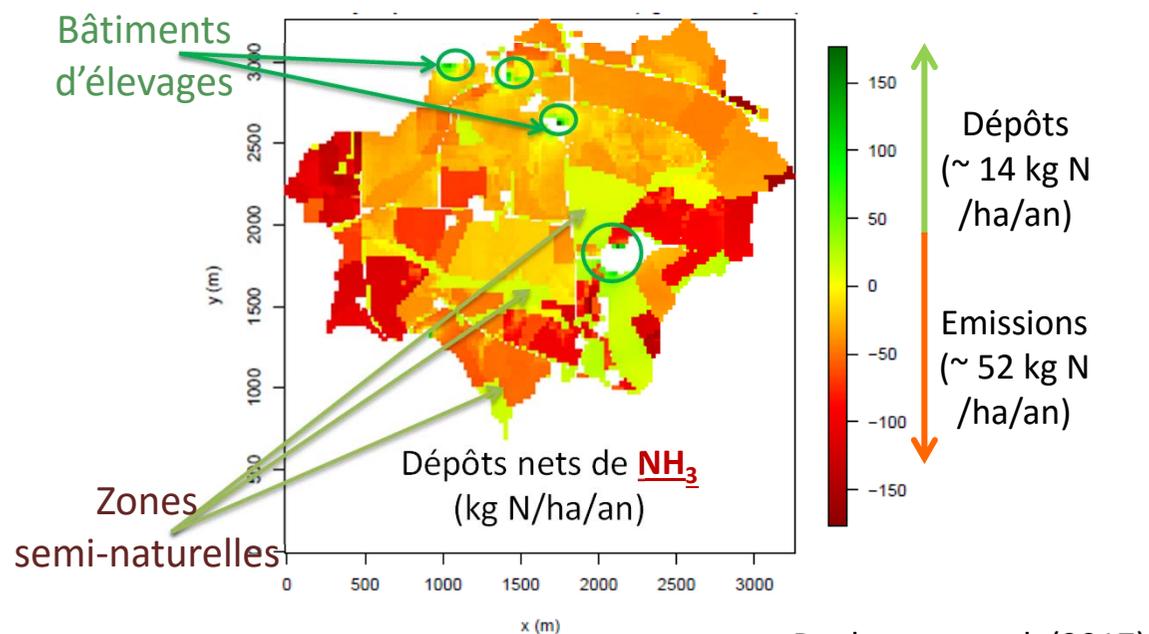


**Casimod’N** (Moreau et al., 2013)



- N<sub>2</sub>
- N<sub>2</sub>O
- NO<sub>x</sub>
- NH<sub>3</sub>
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
- NO<sub>3</sub><sup>-</sup>
- DON
- N<sub>org</sub>

# Simulation des pertes d'N spatialisées



## ➤ Verrous à la modélisation :

- disponibilité des modèles
- cohérence entre modèles élémentaires / processus
- cohérence des échelles spatiales, des échelles temporelles
- disponibilité des données d'entrée et des données pour l'évaluation des simulations

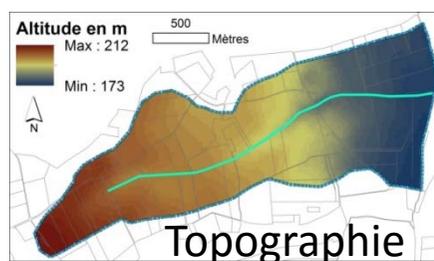
# Collecte des données sur les 4 sites

## Données d'entrée des modèles

- **Objectifs** : initialisation, paramétrisation, calibration,
- **Méthodes** : cartes, enquêtes, mesures terrain

## Mesures biophysiques

évaluation des modèles



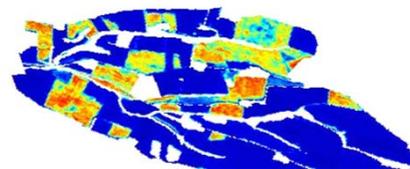
Météorologie



Eau  
 $\text{NO}_3^-$   
 $\text{NH}_4^+$



Télédétection



$\text{NH}_3$



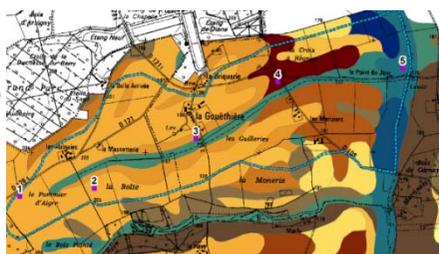
Biomasse  
%N

$\text{N}_2\text{O}$



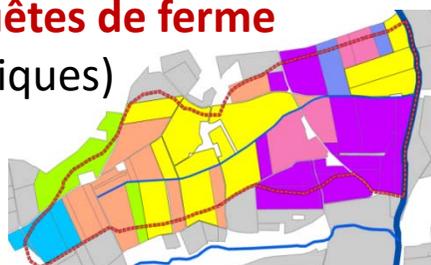
## Cartes

Sols

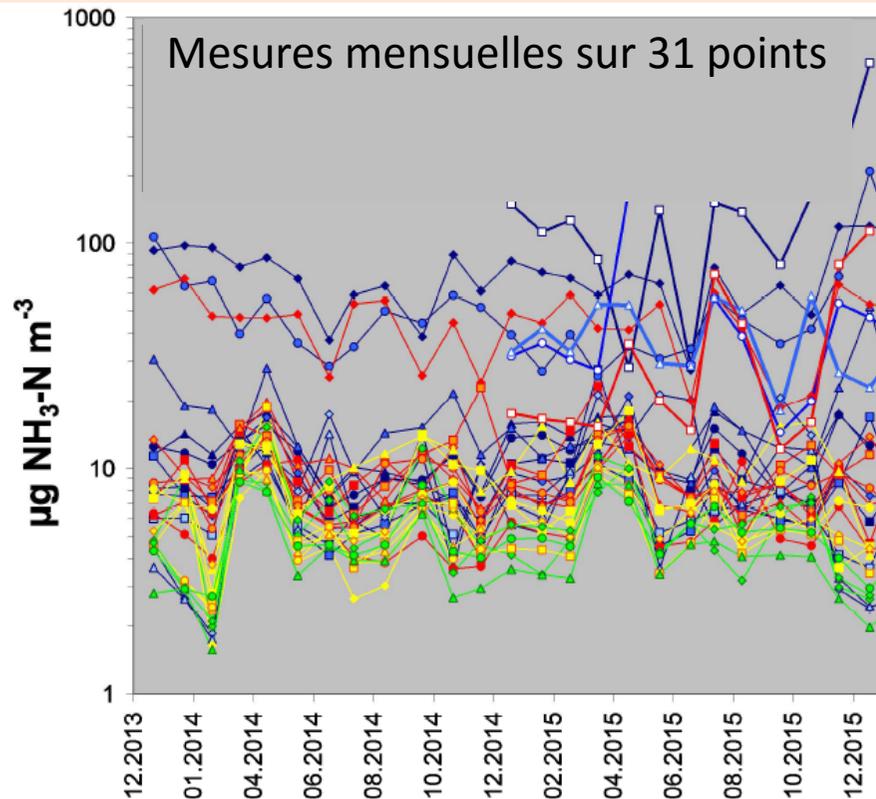


## Enquêtes de ferme

(Pratiques)



# Variations temporelles et spatiales des concentrations en $\text{NH}_3$



*[Variations spatiales]*

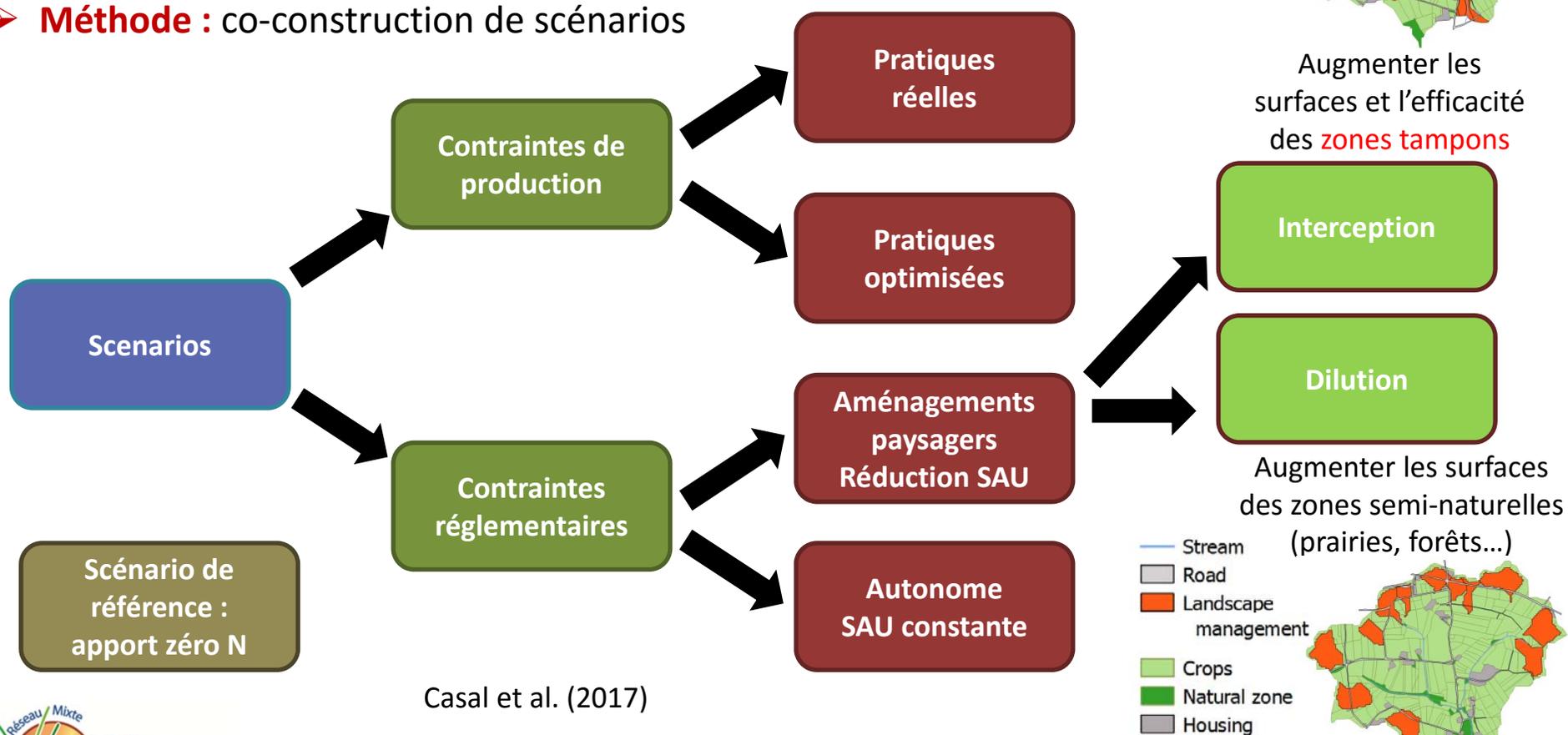
## ➤ Verrous :

- coût des mesures : temps, matériel
- quelle stratégie d'échantillonnage : espèces N, temporelle, spatiale
  - évaluation de la cohérence des grandeurs simulées
  - pas d'évaluation précise du modèle intégré

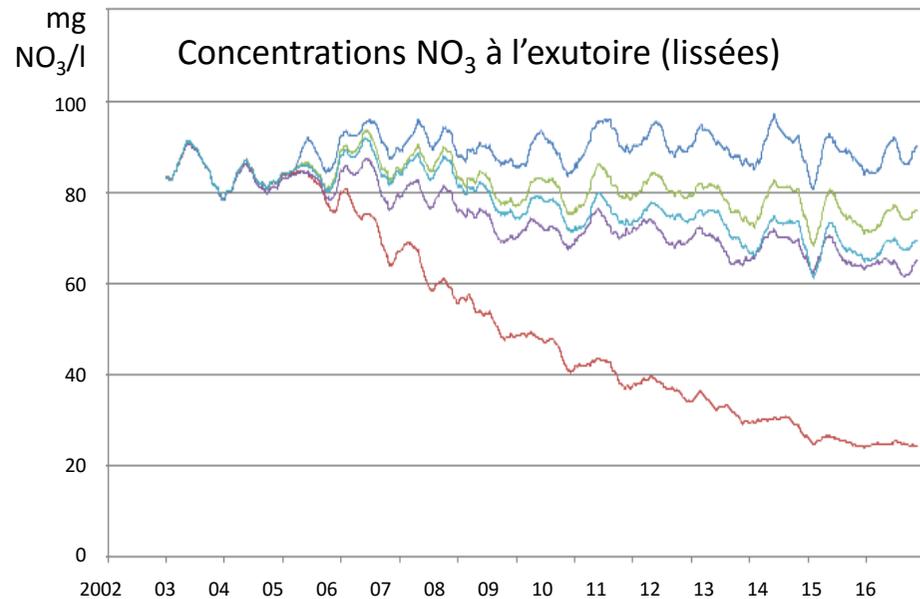
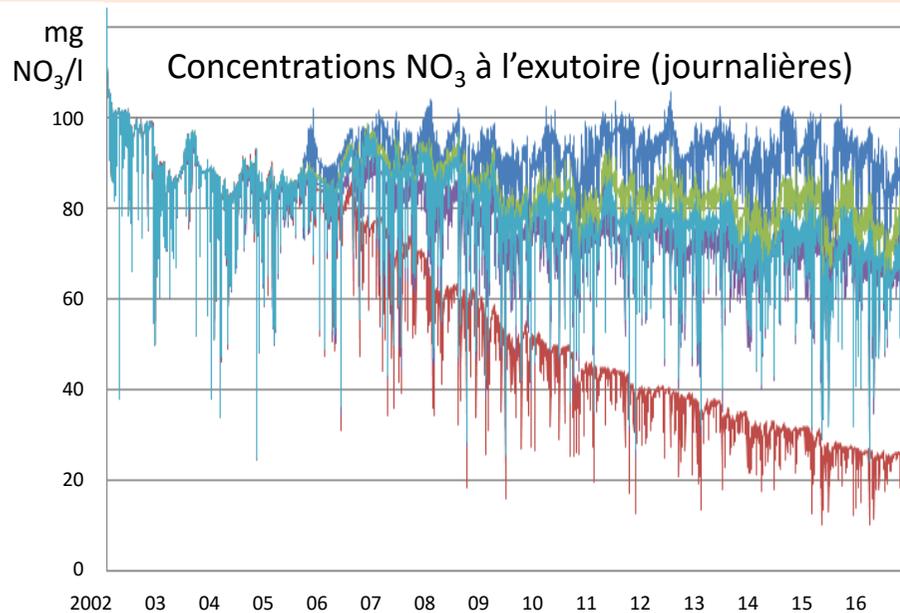
# Scénarios de gestion de l'azote et des paysages

- **Objectif :** évaluer des leviers aux échelles parcelle-exploitation-site-territoire pour
  - augmenter la NUE et la rétention/capture d'N par les paysages
  - réduire les pertes d'N et les transferts de pollution

- **Méthode :** co-construction de scénarios



# Scénarios : premiers résultats



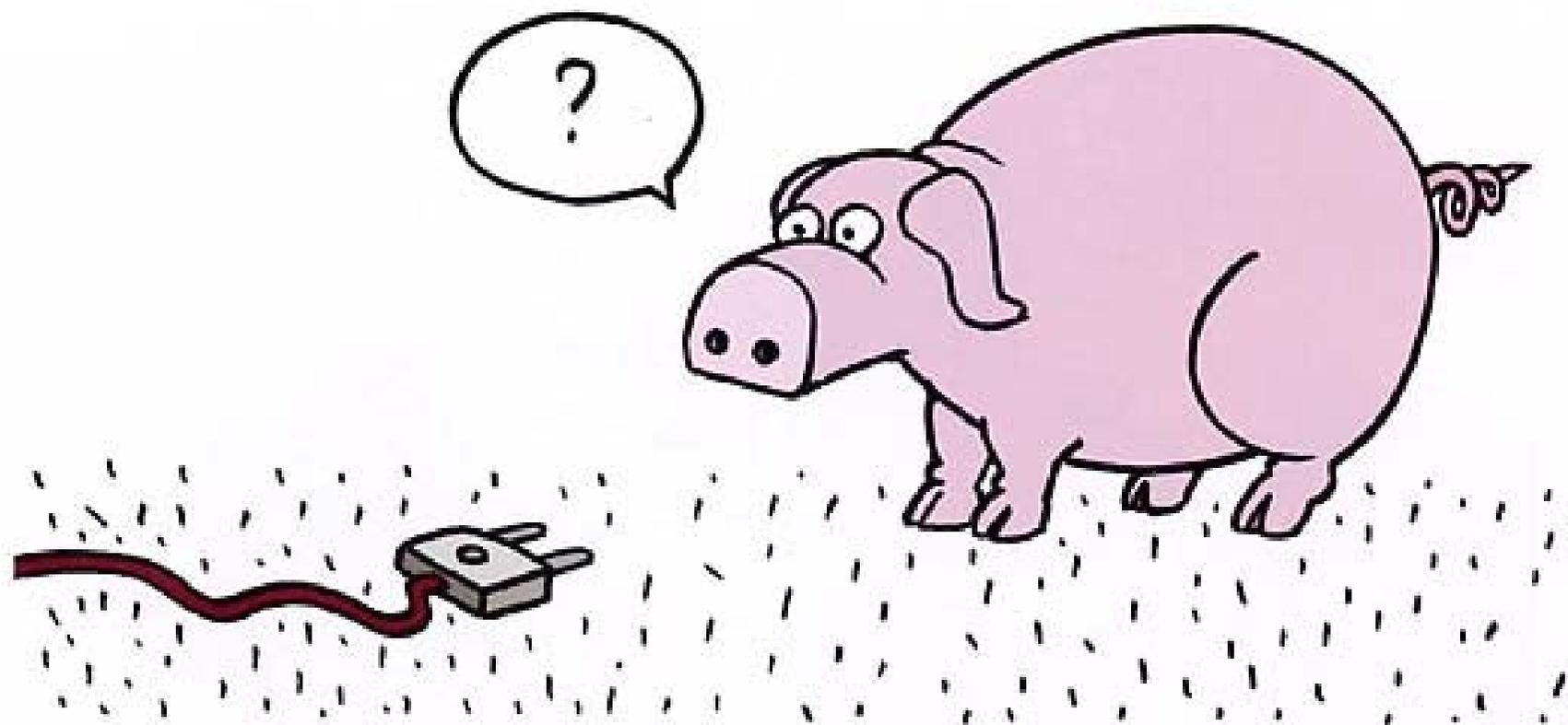
## ➤ Verrous :

- cohérence des scénarios entre sites / spécificités par site
- scénarios extrêmes / acceptabilité
- traduction des scénarios littéraires en valeurs quantitatives pour les bases de données et les modèles
- compatibilité scénarios / processus modélisés
- transposition scénarios sites (gestion exploitation, paysage) → territoires (filières)

- Pratiques réelles (observées)
- Scénario témoin (prairie)
- Pratiques optimisées
- Scénario d'interception
- Scénario de dilution

Casal et al. (2017)

# Comment connecter les approches « sites » et « territoires » ?

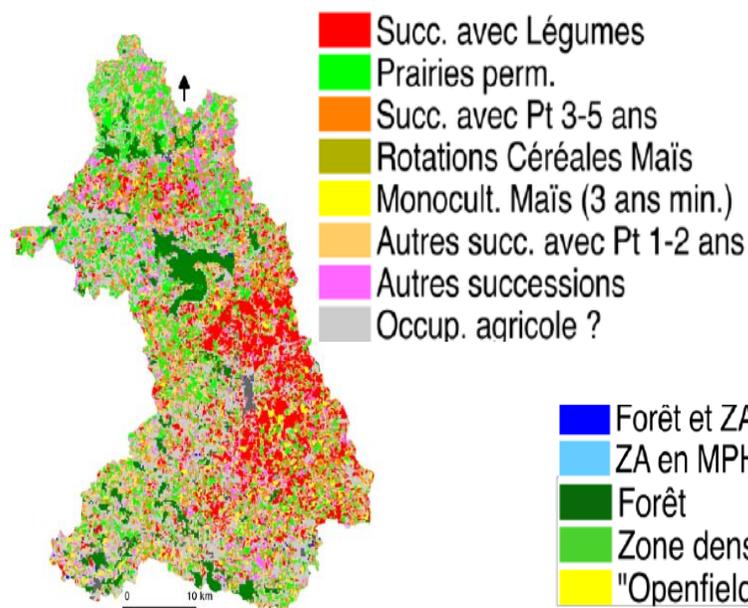


Les connexions improbables (Ph. Geluck)

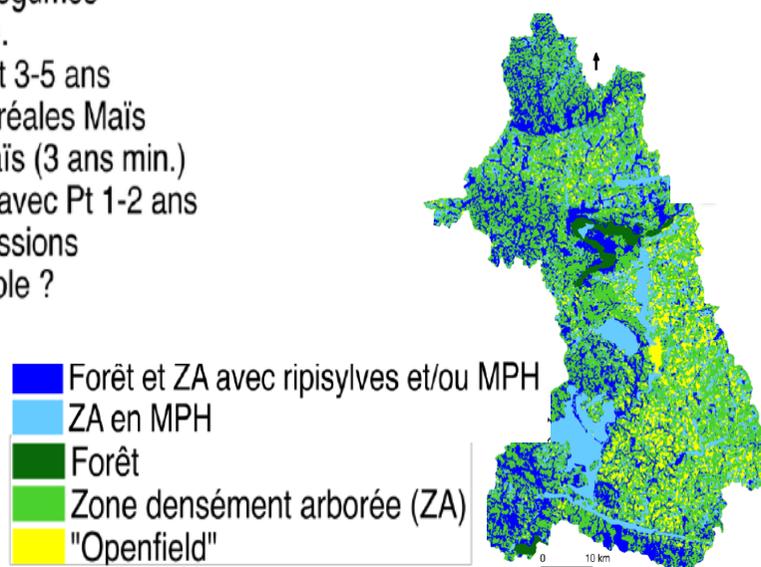
# Typologies paysagères sur les 4 territoires

- **Objectif** : disposer des occupations des sols (et des pratiques) à l'échelle des 4 territoires
- **Méthode** : produire des typologies paysagères = segmenter les territoires en unités paysagères pertinentes pour les sources et puits d'N

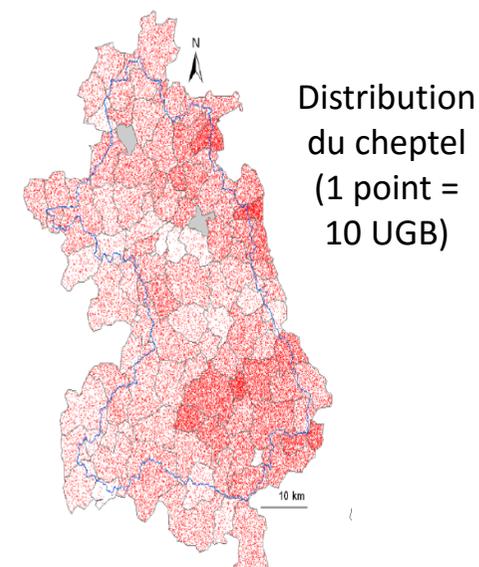
## Successions culturales



## Zones de rétention des flux d'N hydriques



## Sources d'N atmosphériques



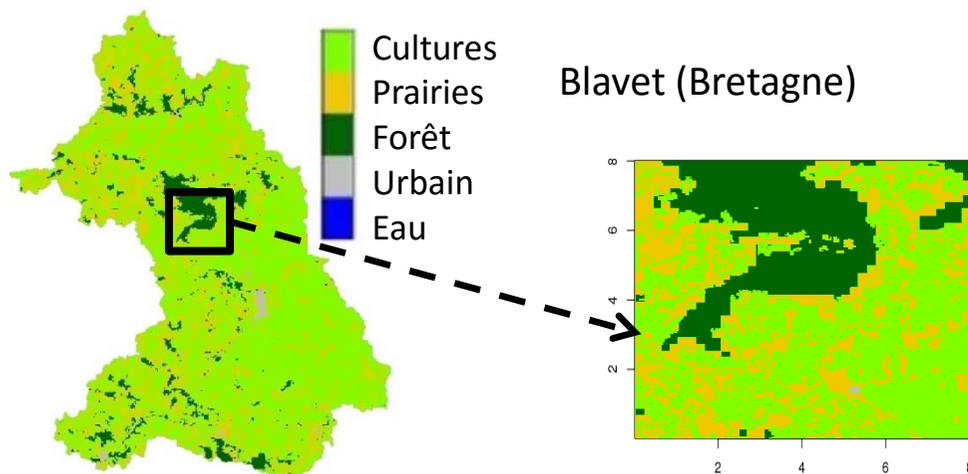
## ➤ Verrous :

- disponibilité des données
- interprétation des typologies pour produire des données d'entrée aux modèles

Lazrak et al. (2013)

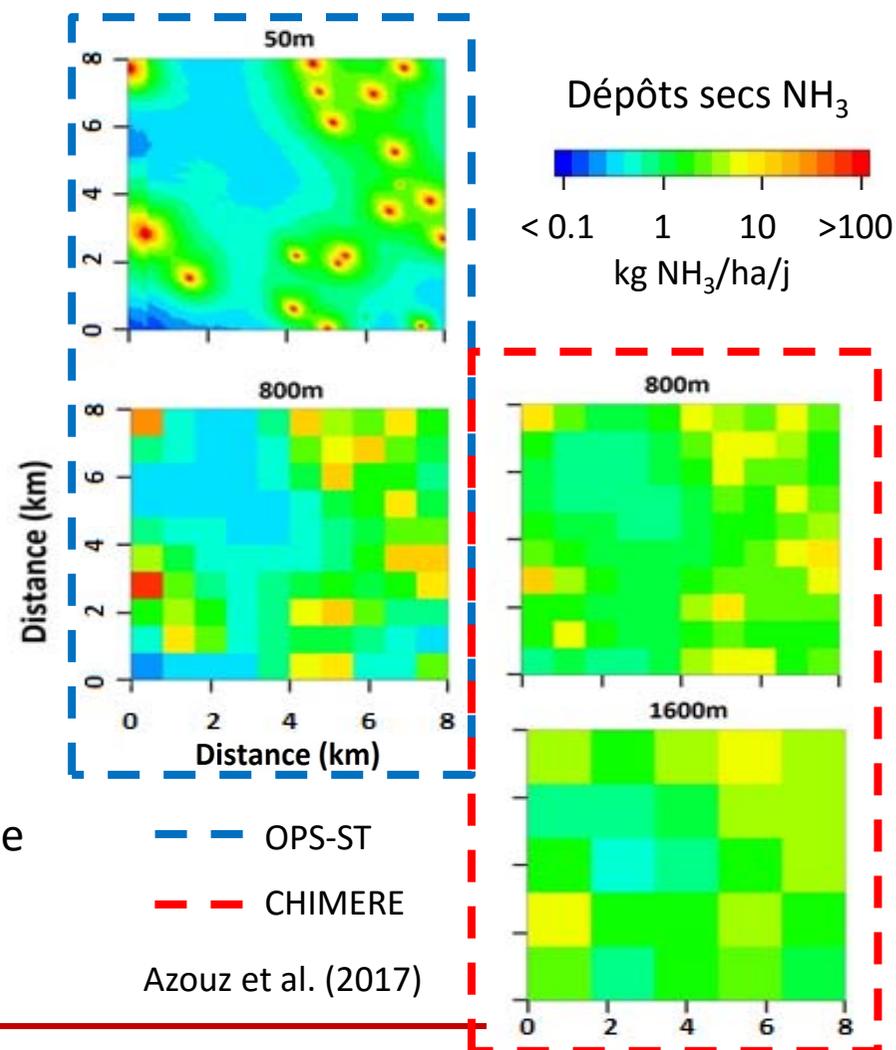
# Modélisation territoriale des flux d’N par voie atmosphérique

- **Objectif** : évaluer les pertes territoriales d’N en tenant compte des hétérogénéités spatiales des sources et puits d’N
- **Méthode** : intégrer les connaissances des modèles « sites » dans les modèles territoires »  
→ comparer les comportements des 2 modèles



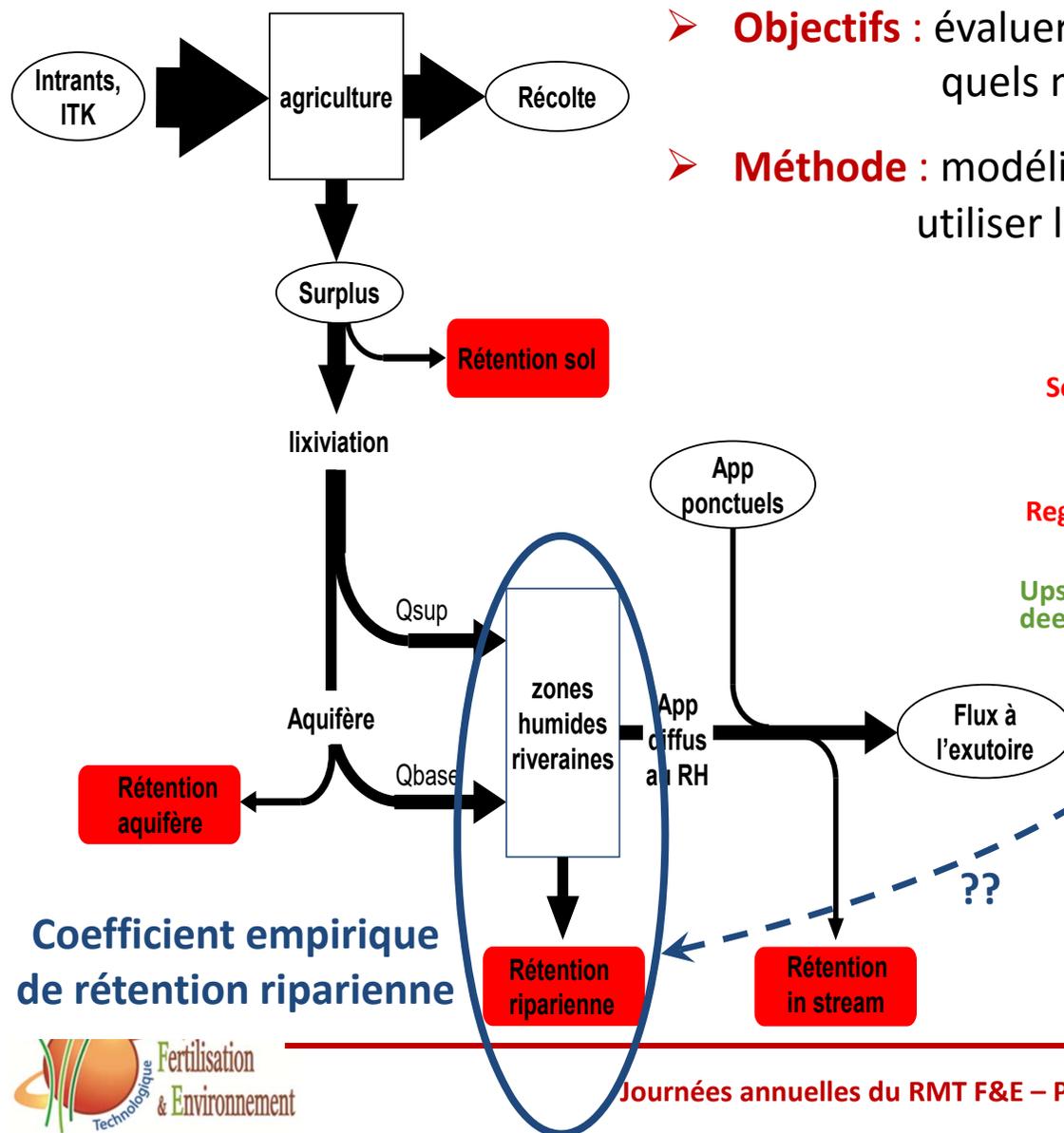
Variations spatiales des dépôts secs de  $\text{NH}_3$   
fonction de résolution spatiale et type de modèle

→ Impact sur l’évaluation des dépassements  
des charges critiques en  $\text{NH}_3$



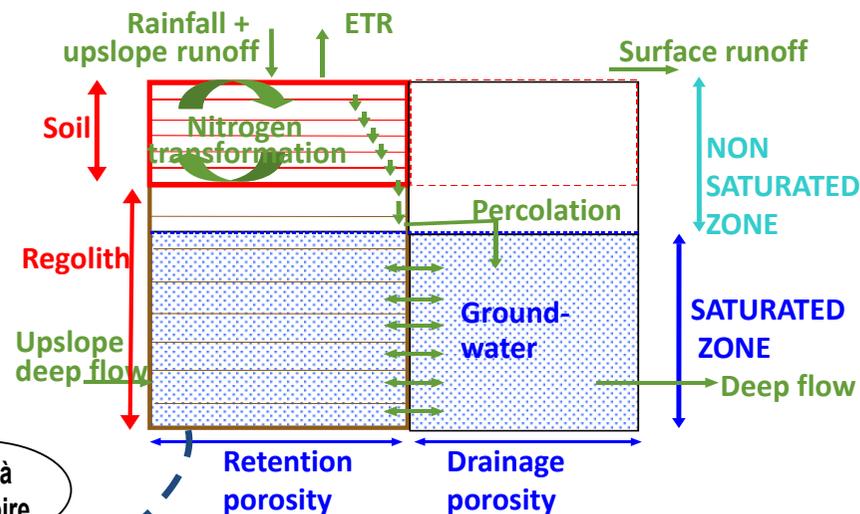
Azouz et al. (2017)

# Modélisation territoriale des flux d’N par voie hydrique



Coefficient empirique de rétention riparienne

- **Objectifs** : évaluer les pertes territoriales d’N  
quels motifs paysagers pour retenir l’N ?
- **Méthode** : modélisation territoriale  
utiliser les connaissances des modèles « sites »



- **Verrous** :
  - méthodologie changement échelle
  - typologies paysagères
  - données d’évaluation

# Conclusion

## ➤ Résultats :

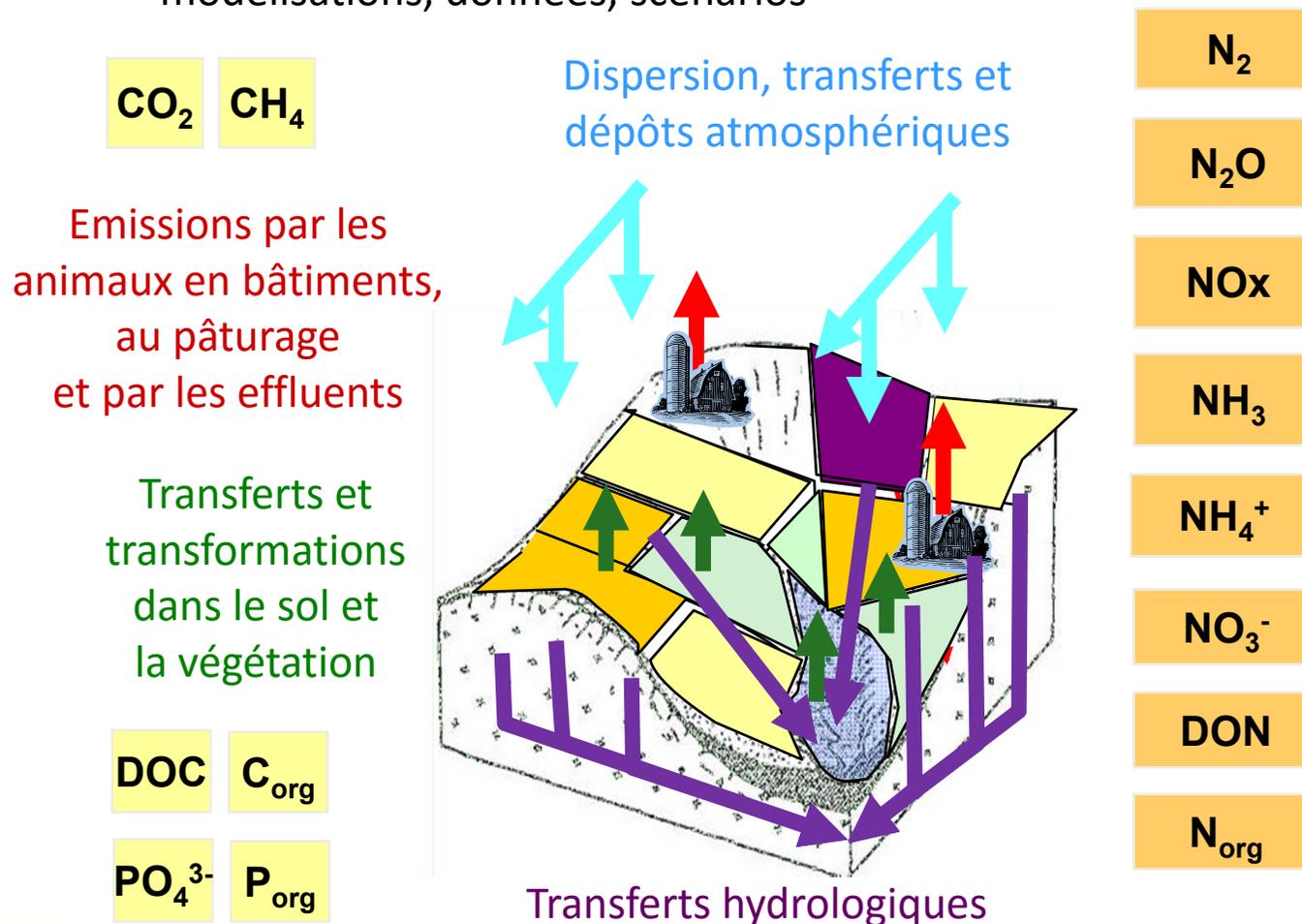
- modèles opérationnels de cascade de l'N dans les paysages
- quantification des flux et pertes d'N dans les paysages (modèles et données)
- interdisciplinarité recherche – développement – action
- co-construction et évaluation de scénarios de gestion de l'N et des paysages

## ➤ Verrous :

- **quelles échelles / leviers / indicateurs pour mieux gérer l'N et les paysages ?**  
parcelle – exploitation – paysage – territoire
- **comment changer d'échelle ?**  
scénarios – données – modèles
- **comment transférer les résultats et outils ?**  
vers les acteurs du développement et économiques, agriculteurs... ?  
et aider à construire les politiques d'atténuation et d'adaptation ?
- **comment repenser les aménagements paysagers et les organisations territoriales ?**  
pour atténuer les pertes d'N et maintenir la production

# Couplage des cycles / cascades C-N-P dans les paysages

- **Méthodes** : approches intégrées, spatialisées  
modélisations, données, scénarios



# Couplage des cycles / cascades C-N-P dans les paysages

## ➤ Verrous – questions :

- connaissances sur les processus / hiérarchisation
- rôle des interactions spatiales dans les paysages hétérogènes, émissions indirectes
- couplage / découplage des processus : stœchiométrie (C:N, N:P, C:P)  
pas de temps courts / longs
  
- méthodologie de couplage de modèles
- couplages C-N-P pour flux hydrologiques : liens avec les flux atmosphériques
- disponibilité des données C et N et P : initialisation, calibration, évaluation
- changement d'échelle spatiale
  
- couplage interdisciplinaire : mono-élément → multi-éléments  
recherche – développement – action



*Merci de*

*votre attention*

[www.n-escapade.fr](http://www.n-escapade.fr)

[jean-louis.drouet@inra.fr](mailto:jean-louis.drouet@inra.fr)