

Etude et modélisation des cycles biogéochimiques à des échelles englobantes: progrès, verrous et perspectives

Pierre CELLIER

*UMR INRA-AgroParisTech Environnement et Grandes Cultures
78850 Thiverval-Grignon*

Plan

- Quelques éléments de cadrage
- Évolution des recherches dans différents domaines
 - Réseaux expérimentaux
 - Modélisation à l'échelle de la culture
 - Modélisation à des échelles intégrantes
 - Vers des "intégrations plus larges"
- Conclusions, perspectives

Échelle englobante ?

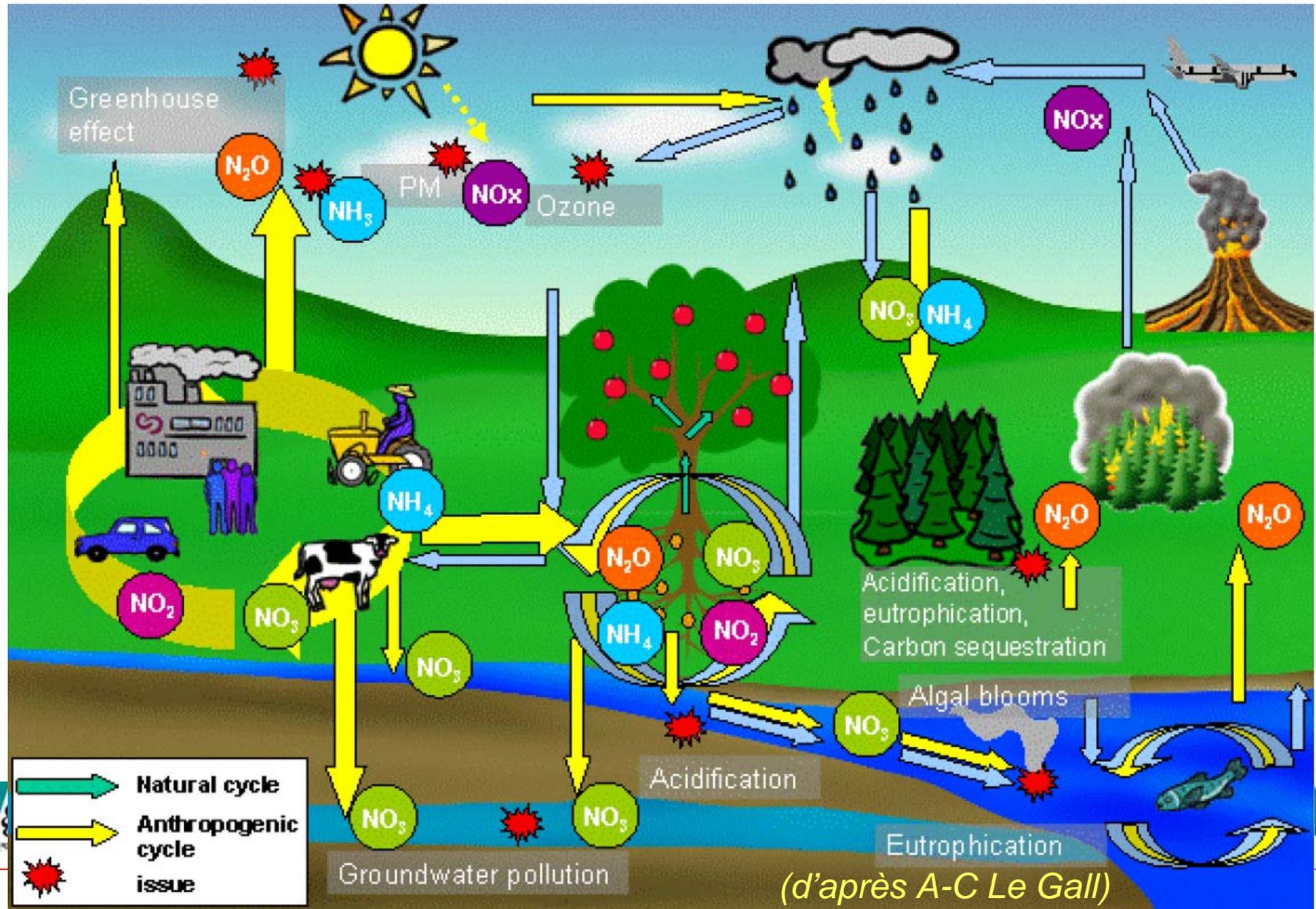
- Échelles supérieures à celles de la parcelle
milieu homogène → *milieu hétérogène, ± organisé; interactions*
 - Intégration spatiale: parcelle → paysage → région → continent
 - Intégration temporelle: cycle de culture → moyen et long terme
- Échelle du fonctionnement des systèmes: exploitation agricole, bassin versant, paysage, ...
- Lien entre les sources et les impacts, évaluation de l'effet de mesures agro-environnementales, ...
- Appréhension globale des problématiques: sources, transferts, impacts de natures diverses, ...

Exposé centré sur l'azote

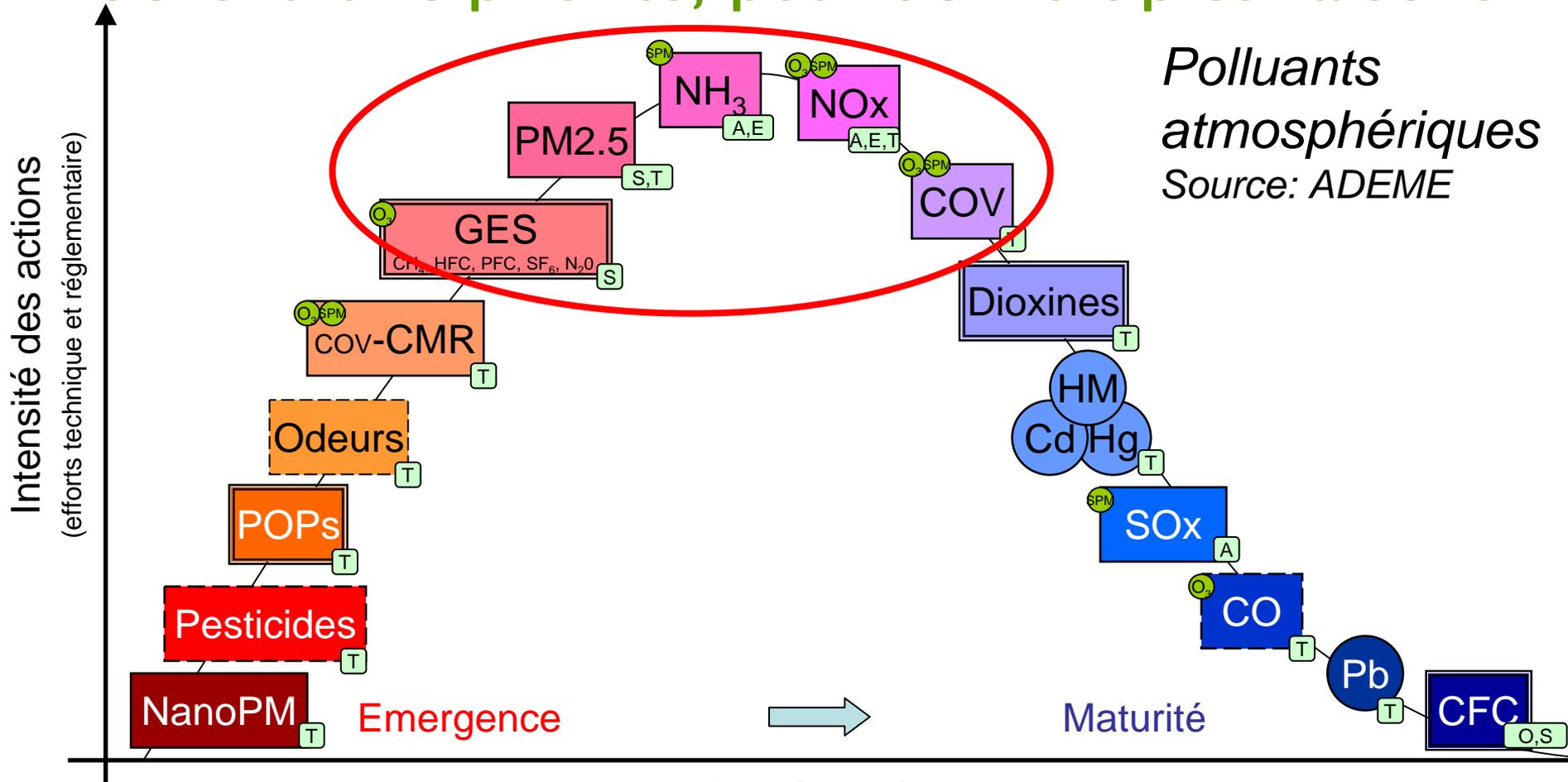
- Fait partie des problématiques du RMT
- L'un des cycles les plus modifiés par l'homme: multiplication par ~10 de la production d'azote réactif (engrais, combustion) par l'homme depuis un siècle
- Ensemble complexe: multi-composés, multi-acteurs, multi-impacts, ... → assez général
- Concerné par un contexte sociétal fort (politiques sur les eaux, les sols, l'air, les milieux, ...) interagissant avec la recherche

Et ... mon domaine de compétence avec une vision particulière (atmosphère, échelle parcelle/région, multi-composé, sorties environnementales, Europe, ...)

L'azote: un cycle complexe, impliquant l'ensemble des milieux et de nombreux acteurs



Dans les politiques publiques, l'azote est devenu une priorité, pour de multiples raisons



Echelle :

- Locale
- ==== Transfrontière
- ===== Globale

Effets : A, E, O, S, T

- Acidification
- ==== Eutrophisation
- ===== Ozone stratosphérique (détruit l')
- Serre (effet de)
- Toxicité humaine

Degré de résolution
(connaissance, techniques de réduction, réglementations)

Polluants secondaires :

- O₃ Ozone troposphérique
- SPM Particules secondaires

“The Nitrogen Challenge”

- **Multi-sources → multi-acteurs**

agriculture, combustion (énergie, transport, résidentiel), déchets, sources naturelles

- **Multi-polluants**

N_2O , NO_x , NH_3 , NO_3^- , formes gazeuses et dissoutes, aérosol, etc

- **Multi-problème**

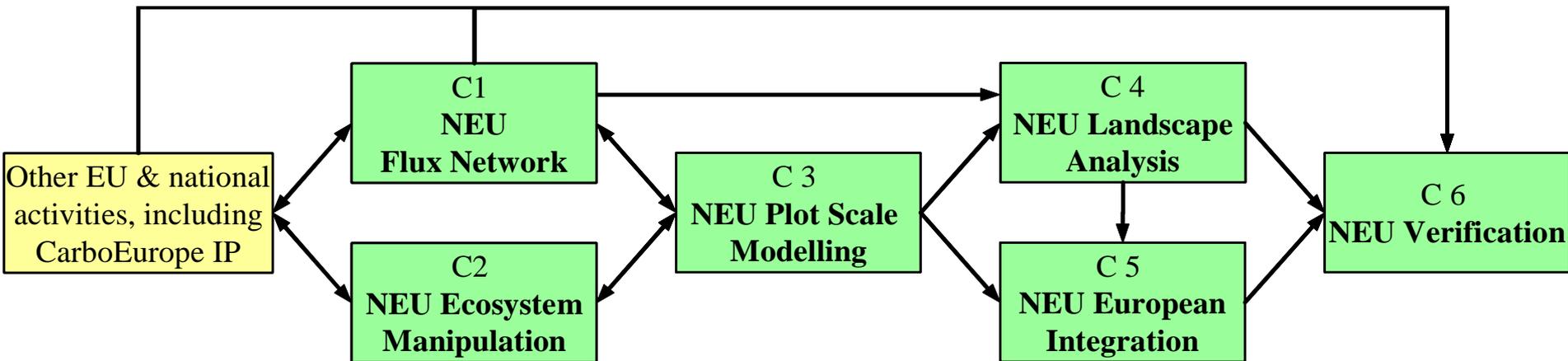
effet de serre, biodiversité, qualité de l'air et de l'eau, santé humaine, stratosphère, ...

- **Multi-récepteur**

Forêts et autres écosystèmes terrestres, agriculture, rivières, stratosphère, urbain, côtier & marin, humains

Démarche de recherche intégrée: exemple du projet NitroEurope (6^e PCRDT)

Question: quel est l'effet de l'azote réactif sur la direction et la grandeur des bilans de gaz à effet de serre en Europe ?



Plus 4 composantes de soutien:

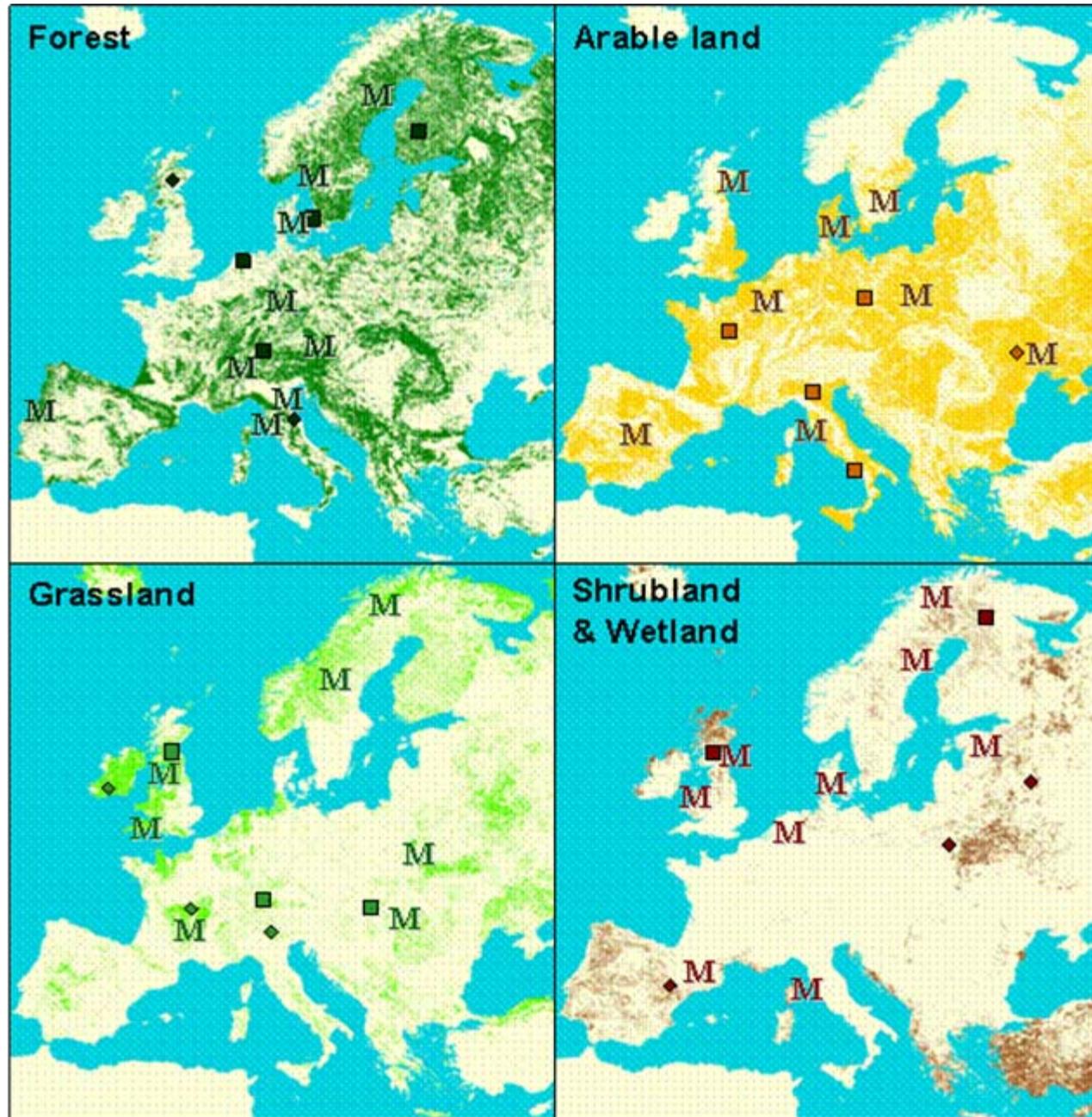
C7. Standards and Data Management

C8. NEU Management

C9: NEU Training

C10: NEU Dissemination

NitroEurope: Flux network (C1) & Manipulation network (C2)



13 Super Sites (*lien avec les sites CarboEurope*)

9 Regional Sites

50 Inferential Sites

22 Core Manipulation Sites

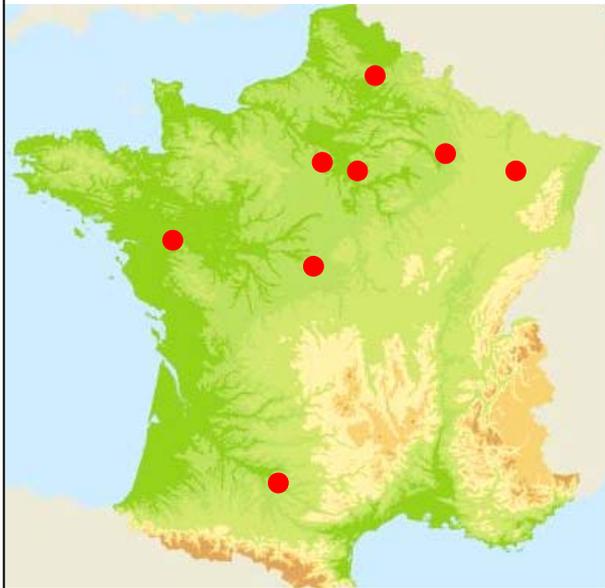
14 Assoc. Manipulation Sites

Programme de travail

Action 1 : Étude expérimentale

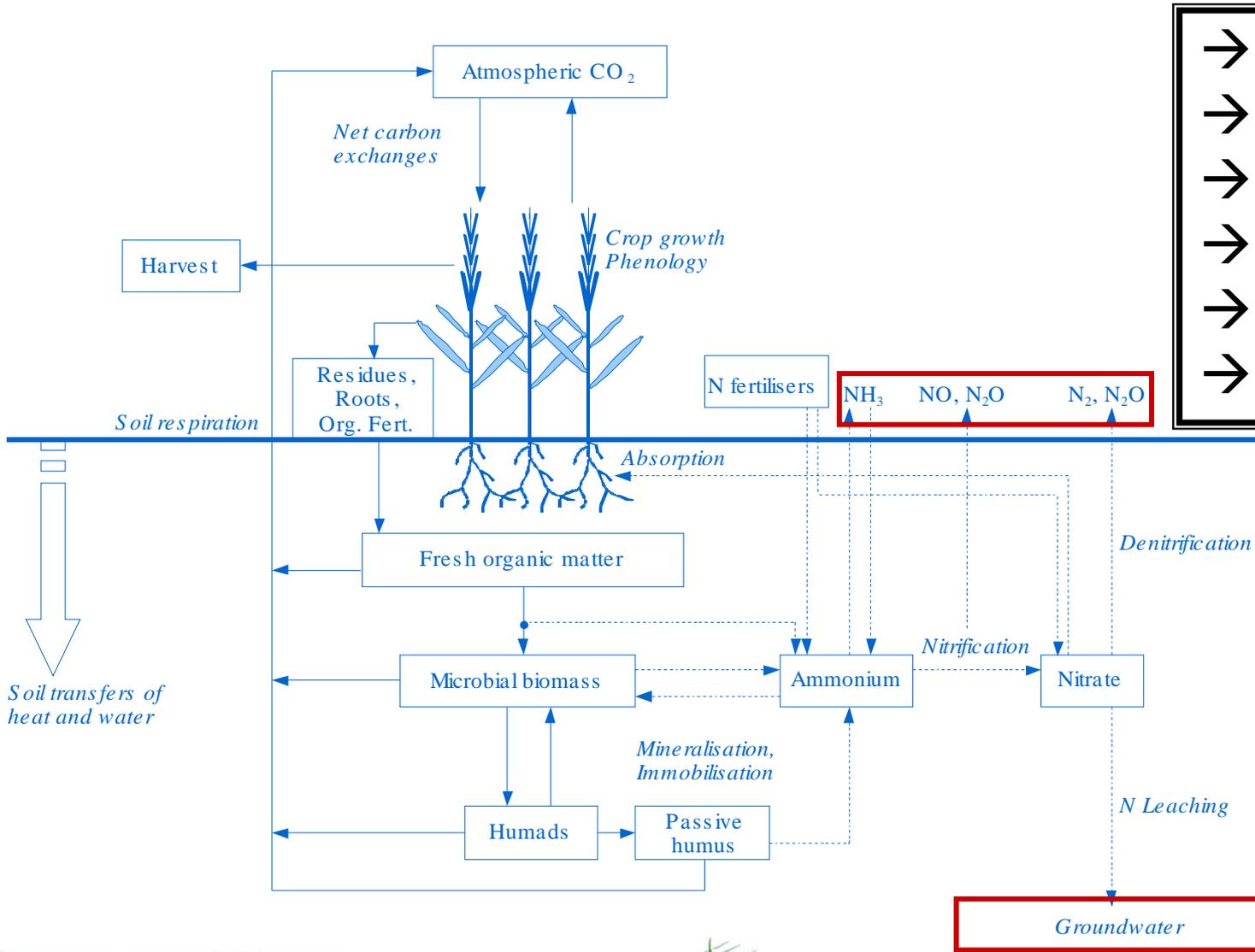
Principaux résultats 2010 : mise en place des expérimentations dans 9 sites

Sites de France métropolitaine



Sites d'étude	Région	Type de sol	Cultures étudiées	Facteurs étudiés
Mons	Picardie	Lim.	Bl – Be – <u>Co</u>	Cultures
Fagnières	Ch.-Ard.	Craie	Bl – Be – <u>Co</u>	Cultures
Nancy	Lorraine	Arg.	<u>Co</u>	Travail sol
Boigneville	Île France	Lim. arg.	Bl – Be – Po – Op	Travail sol & cultures
Grignon	Île France	Lim. arg.	Maïs – Bl – <u>Co</u>	Cultures
Subdray	Centre	Arg-calc.	<u>Co</u>	Travail sol
Jaillièrre	Pays Loire	Lim. hydro.	Maïs – Bl – <u>Co</u>	Cultures
En Crambade	Midi-Py.	Lim. arg.	Bl – <u>Co</u> – To	Cultures
Sinnamary	Guyane	Sab-Arg.	Soja – Maïs	Travail sol & cultures

Modèle d'agro-écosystème / de culture

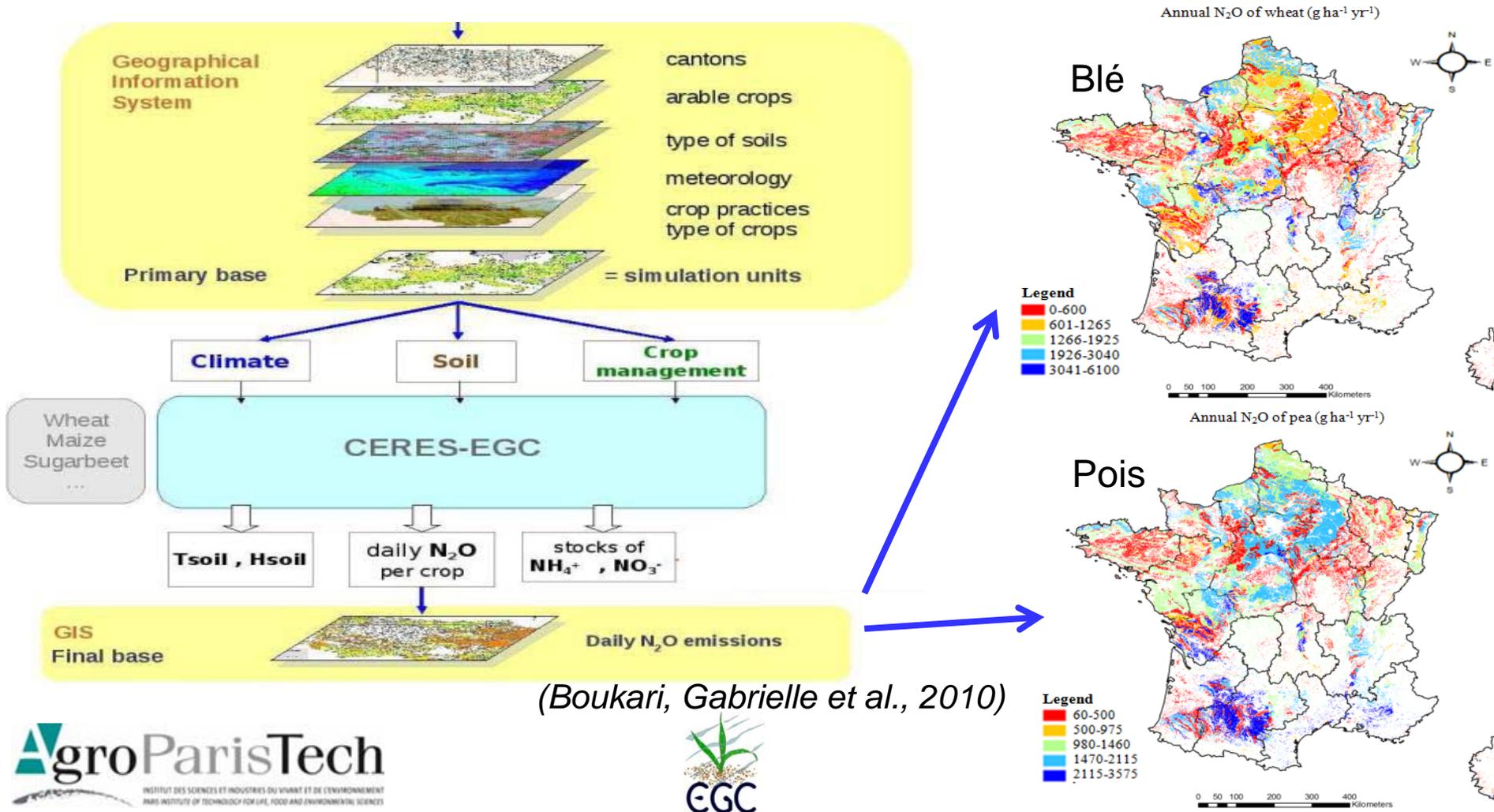


- STICS
- CERES-EGC
- DNDC
- DayCent
- Century
- ...

Modèles d'écosystèmes / culture

- Fort développement de ces modèles → outils de base, complémentaires de l'expérimentation, pour raisonner, comparer et évaluer
- Multi-composés: NO_3^- , N_2O , NO_x , NH_3 , autres éléments (C, P, ...)
- Outils de support pour l'intégration spatiale (variabilité des milieux et pratiques) et temporelle (année, rotation, long terme);
→ *couplage avec des bases de données.*
- Renforcement des procédures de calibration/validation
(Ex: calibration bayésienne)
- Plateformes multi-écosystèmes (Ex: Record, Mobile-DNDC)
- Dissémination, transfert vers le développement.

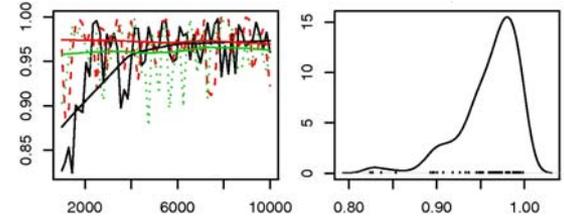
Utilisation de modèles de culture pour réaliser des cadastres dynamiques d'émission



Vers plus de "solidité" de la démarche

Ex: Principe général de la calibration Bayésienne

Mesures



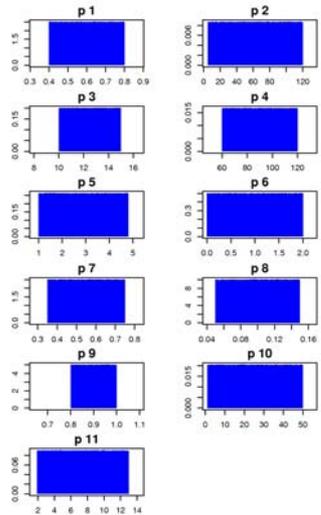
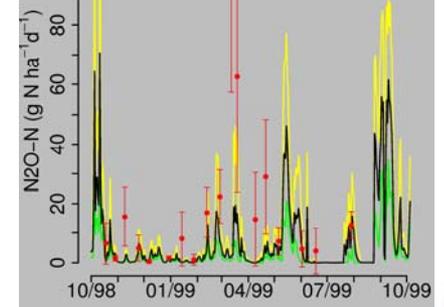
Calibration bayésienne

Distribution des paramètres calibrés

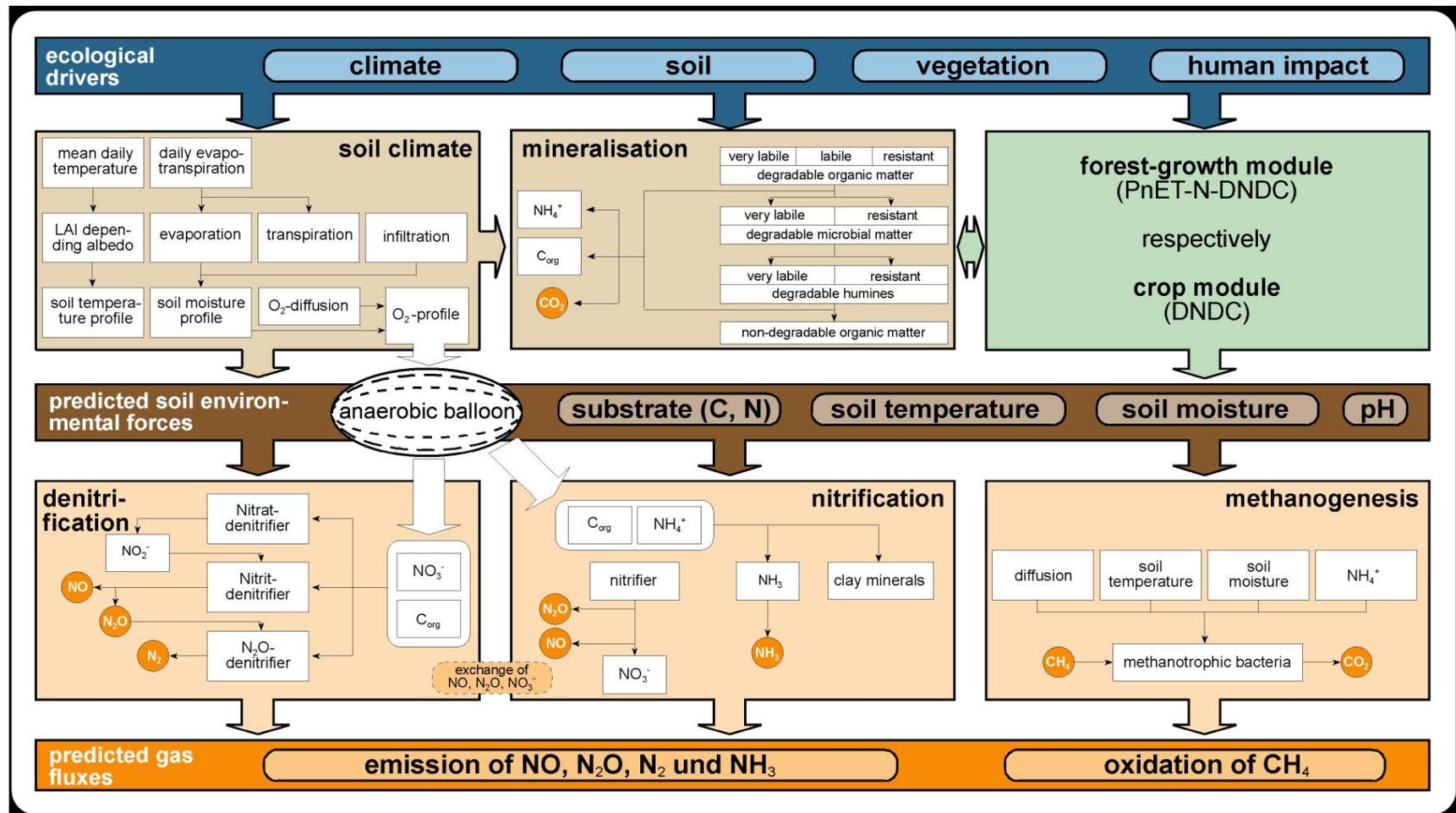
Information *a priori* sur la distribution des paramètres

(Lehuger, 2009)

Incertitude sur les sorties des modèles



Des plateformes de modélisation en développement (Ex: Mobile-DNDC, Record)



Modélisation à des échelles supérieures: vers une prise en compte plus explicite des niveaux d'organisation et de décision

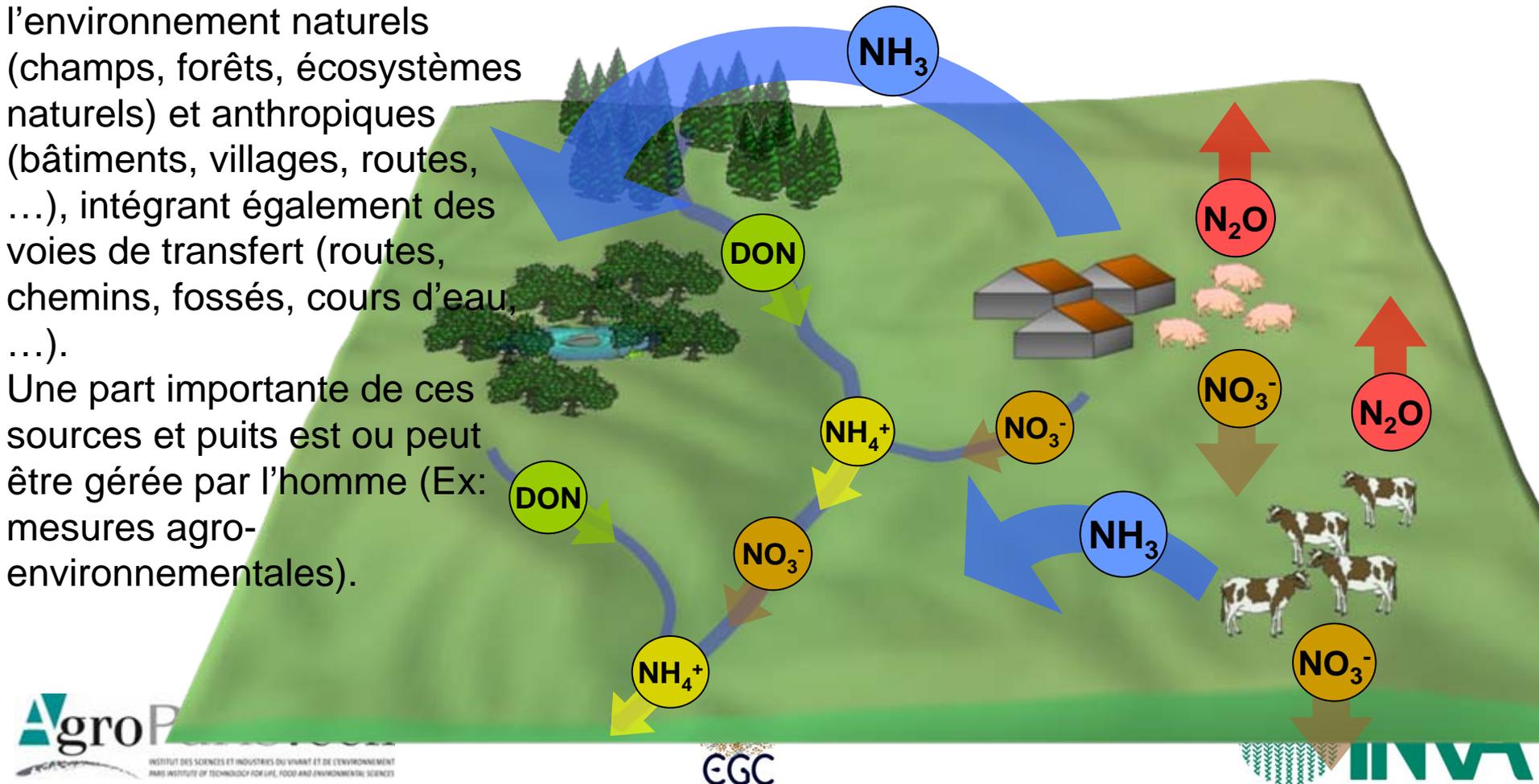
- Mieux prendre en compte l'organisation des activités agricoles et les interactions entre facteurs humains et environnementaux → leurs conséquences sur les sorties environnementales
- Deux cas principaux:
 - Modèles d'exploitation agricole: FarmSim, Fasset, Mélodie
 - Échelle du paysage: interactions entre processus de gestion agricole et milieu (\pm) naturel.

→ *Développement de méthodes de couplage*

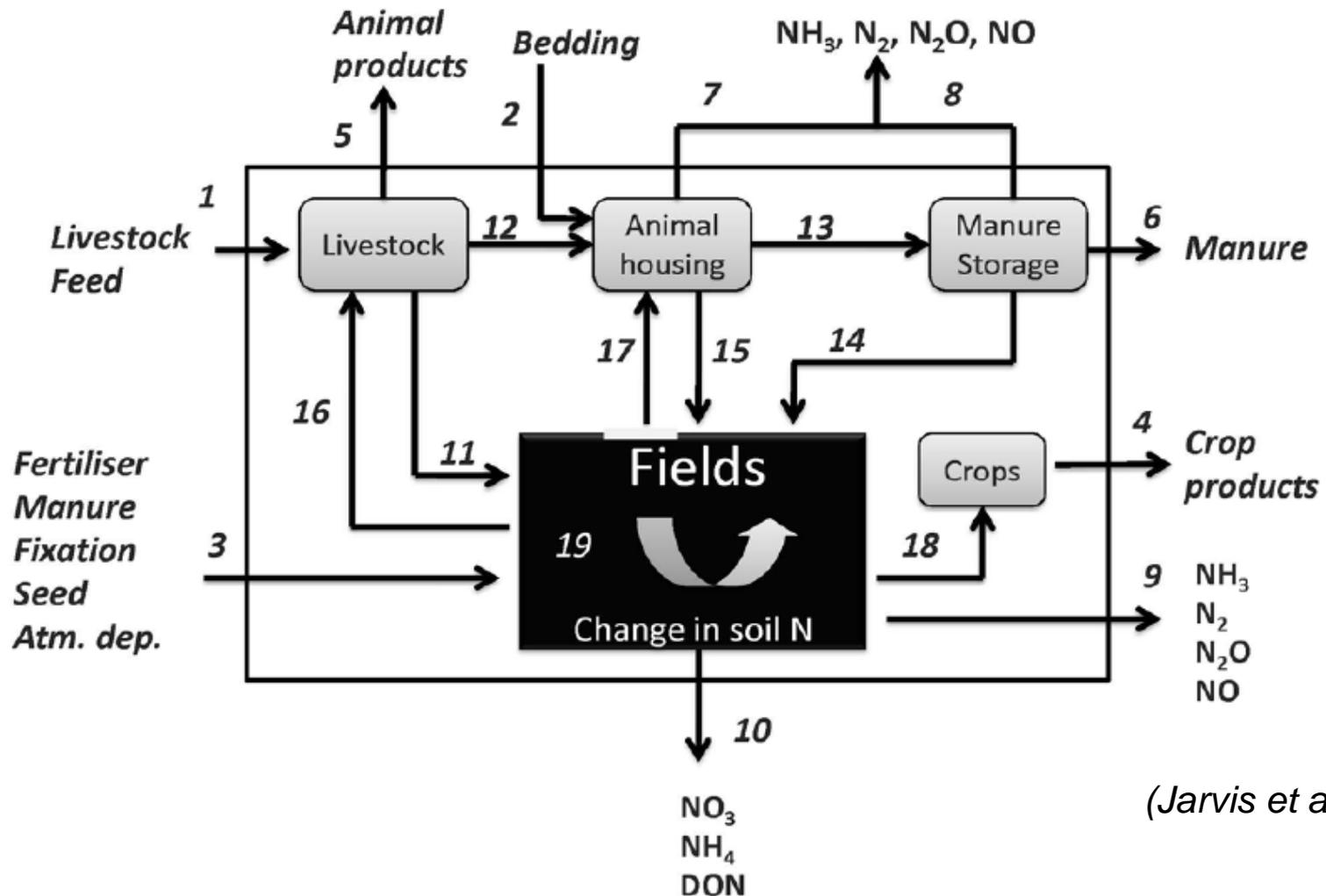
Transferts et transformations d'azote dans un paysage rural

Paysage rural = mosaïque de sources et puits d'azote dans l'environnement naturels (champs, forêts, écosystèmes naturels) et anthropiques (bâtiments, villages, routes, ...), intégrant également des voies de transfert (routes, chemins, fossés, cours d'eau, ...).

Une part importante de ces sources et puits est ou peut être gérée par l'homme (Ex: mesures agro-environnementales).



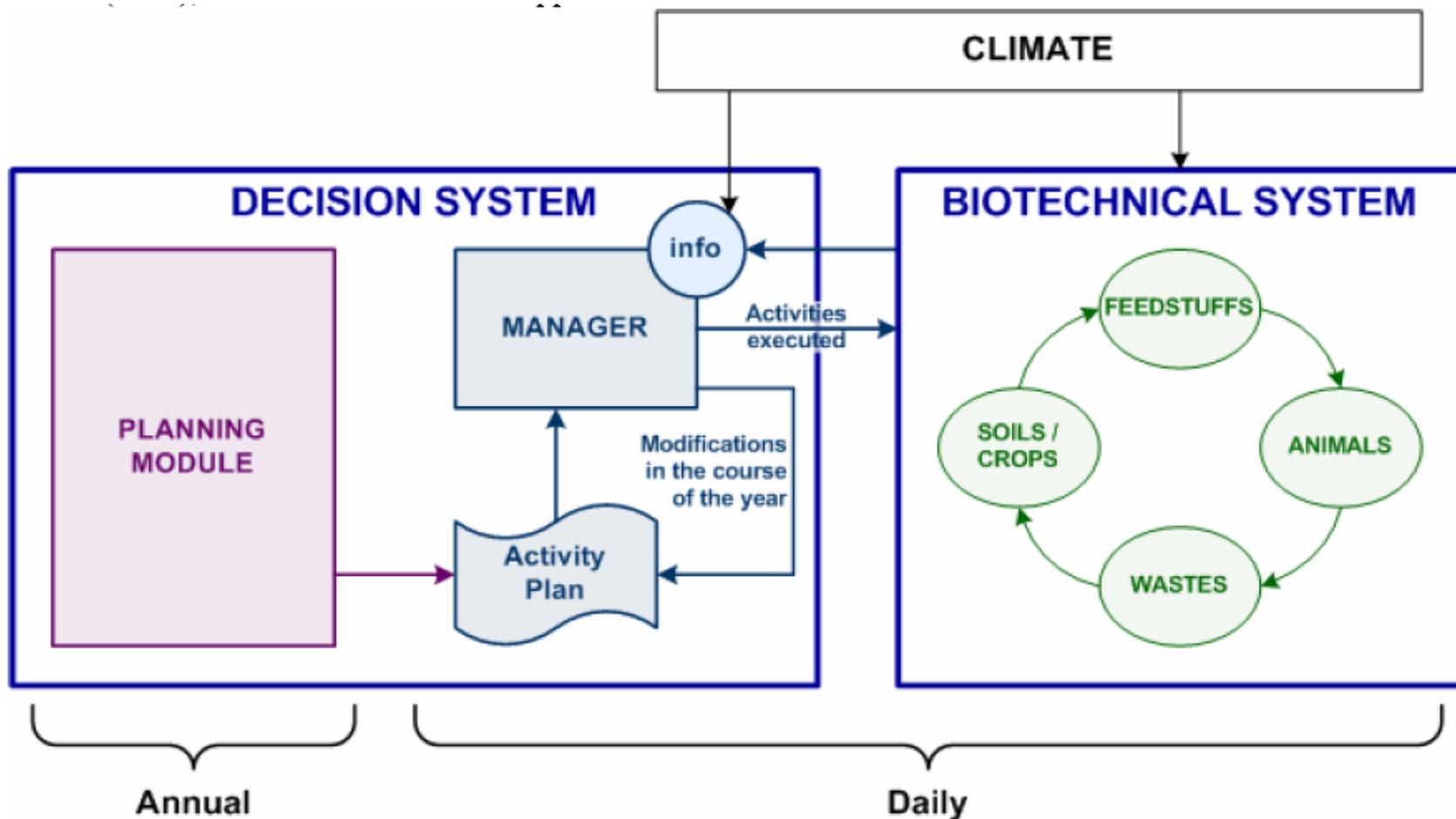
Flux et bilans d'azote à l'échelle d'une exploitation d'élevage



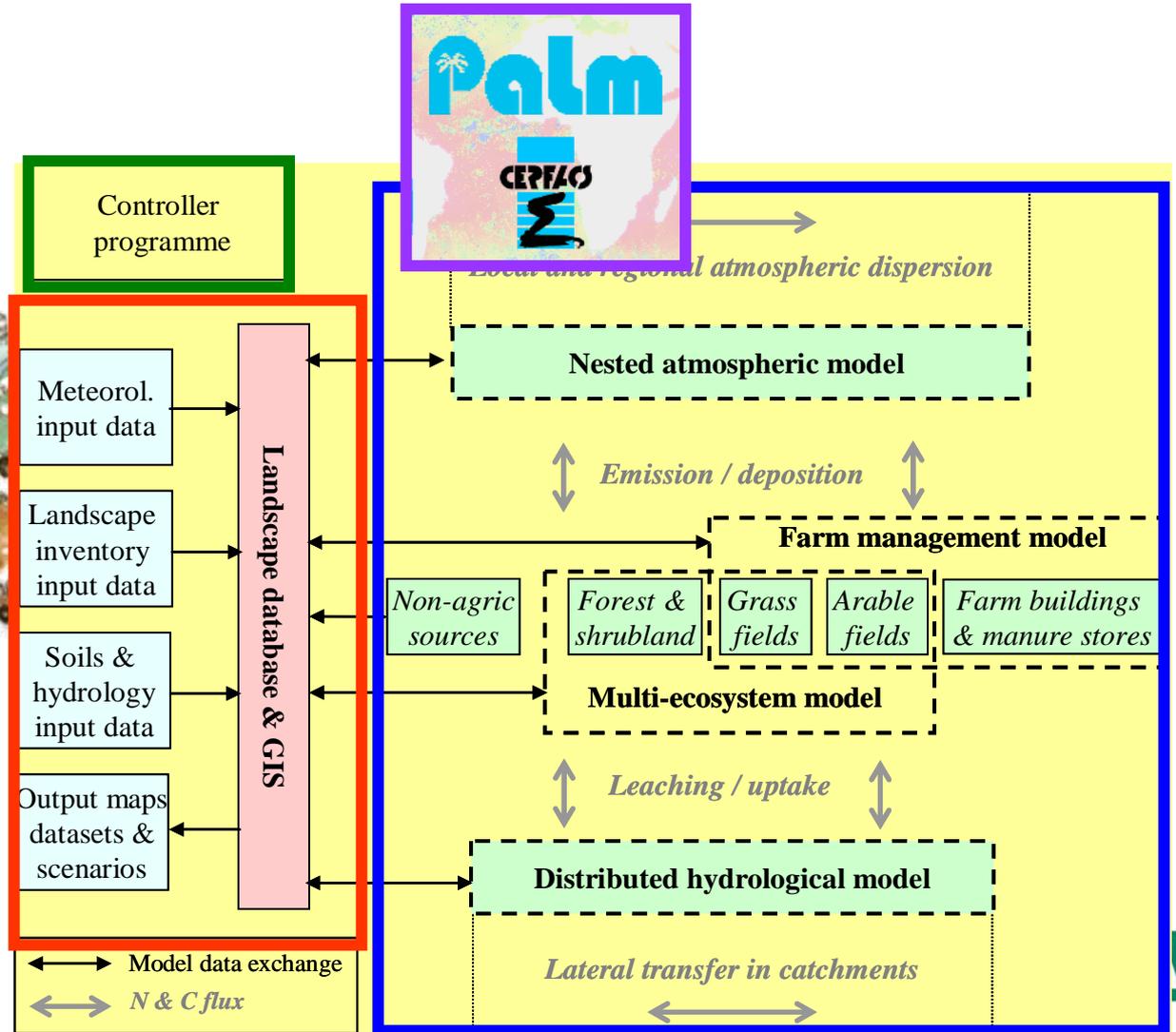
(Jarvis et al., 2011)

Processus biotechniques et processus de décision à l'échelle de l'exploitation

MéloDie, un simulateur d'une exploitation d'élevage pour étudier les relations entre conduite et risques pour l'environnement



Modélisation intégrée des transferts et transformations d'azote dans un paysage agricole, incluant le fonctionnement agronomique



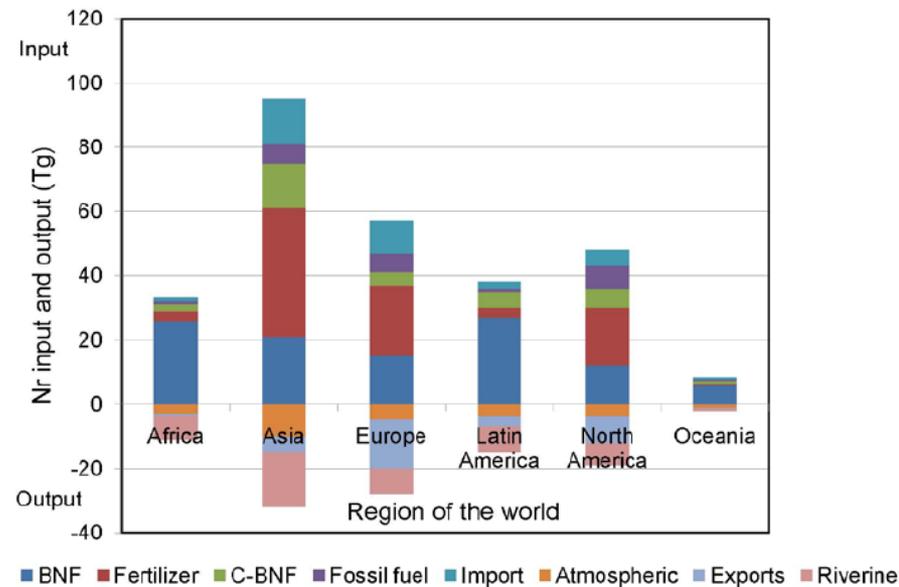
Vers des approches plus intégrées à des échelles plus larges

- Vers une vision nationale, continentale et globale du cycle de l'azote; réalisation de bilans
- Prise en compte des échanges d'intrants et de produits; conséquences des décisions locales et globales
- Intégration des coûts environnementaux et des prix

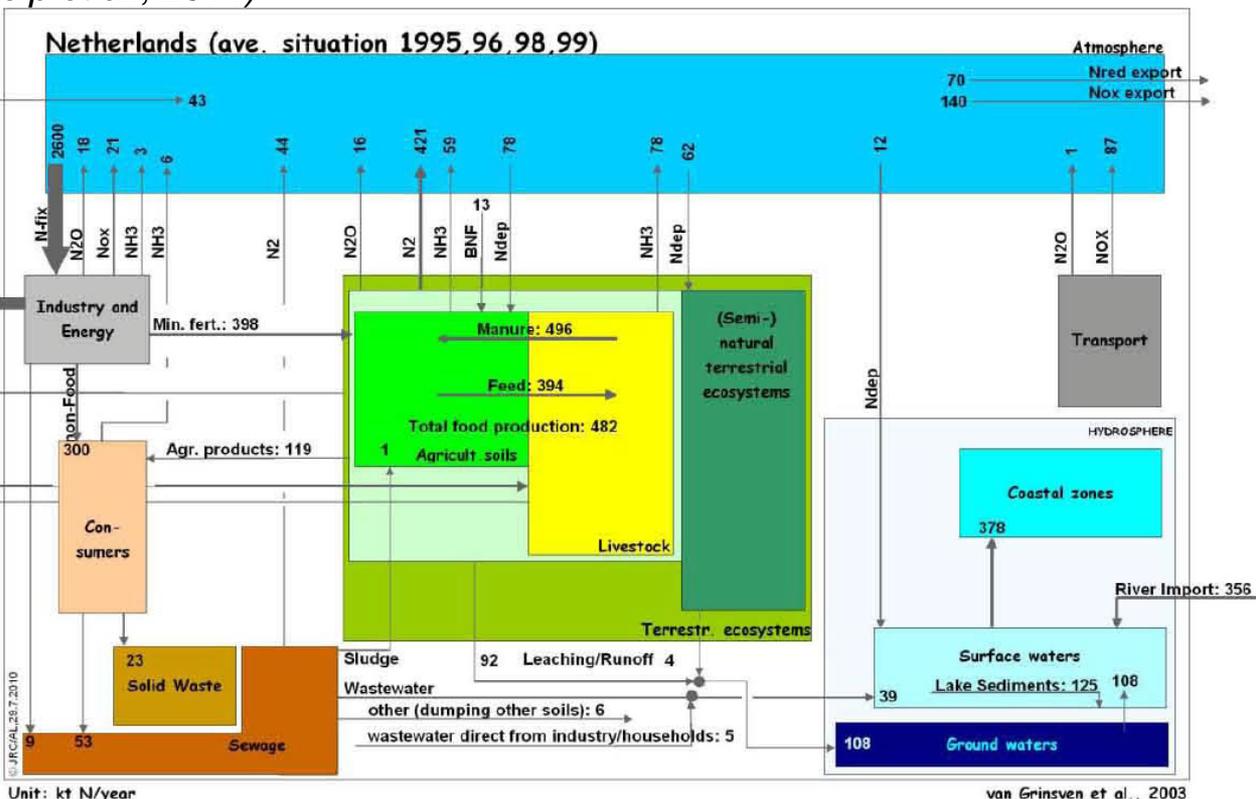
→ *Création de groupes de travail et projets à l'interface entre science et décision publique*

Des bilans d'azote nationaux/continentaux, incluant toutes les sources et les imports/exports

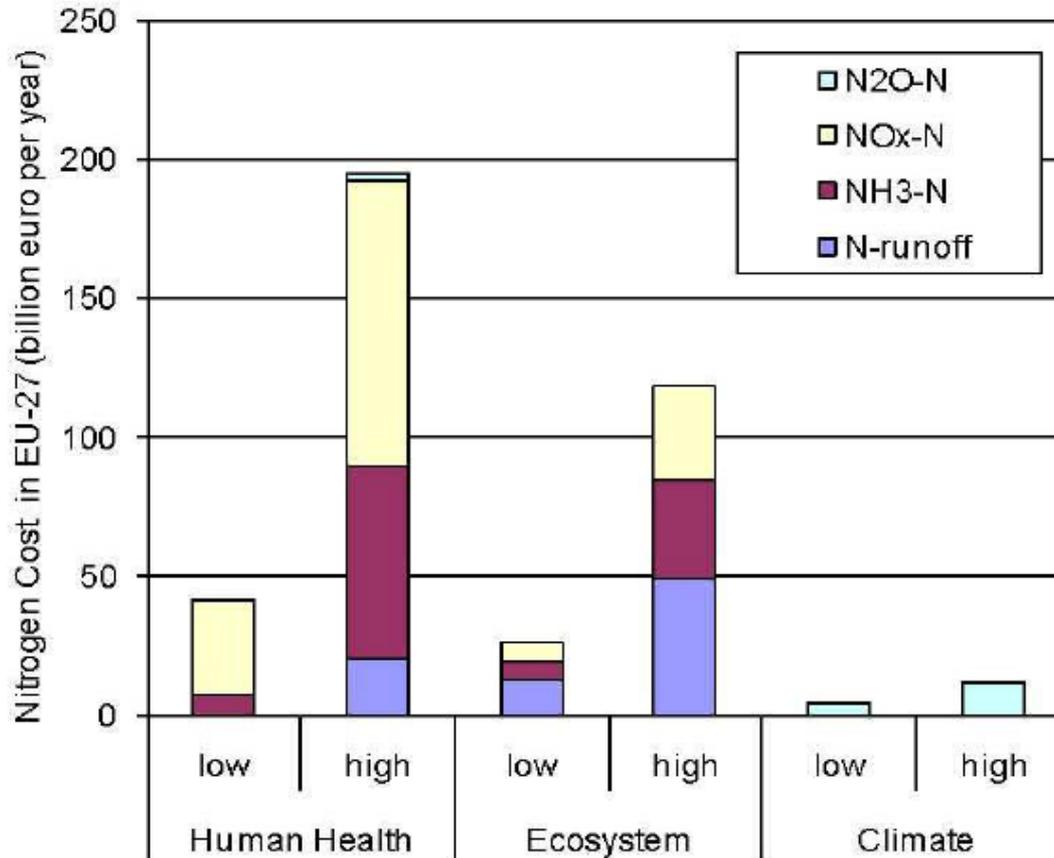
Bilan d'azote pour les Pays-Bas
(dans Leip et al., 2011)



Termes du bilan d'azote pour différentes régions du monde
(d'après Galloway et al., 2004)

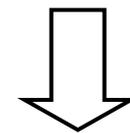


Évaluation des coûts des impacts et des mesures agro-environnementales



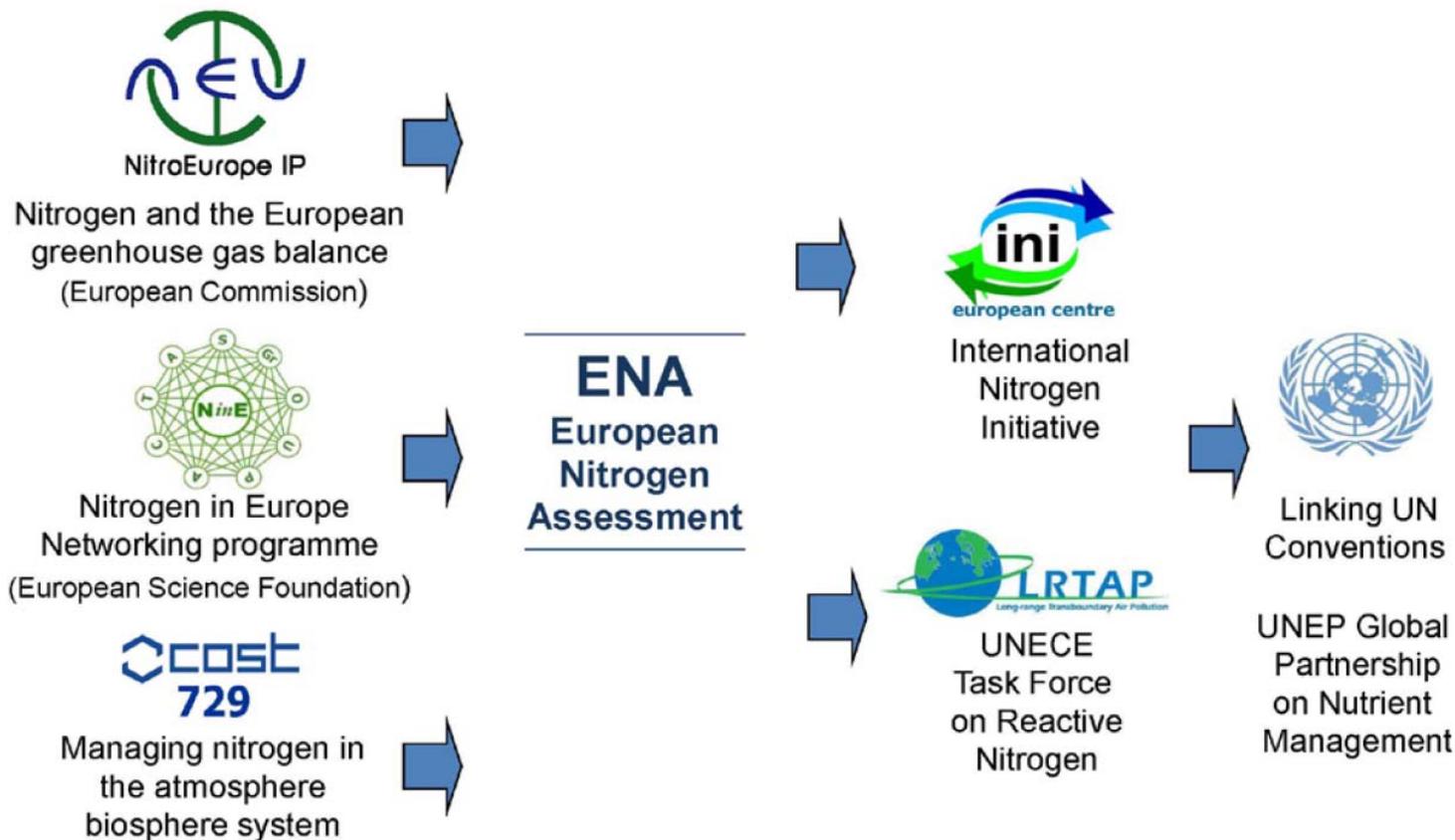
(Brink, van Grinsvend et al., 2011)

Estimation des coûts environnementaux dus aux émissions d'azote réactif dans l'air et les eaux au niveau de l'Europe-27



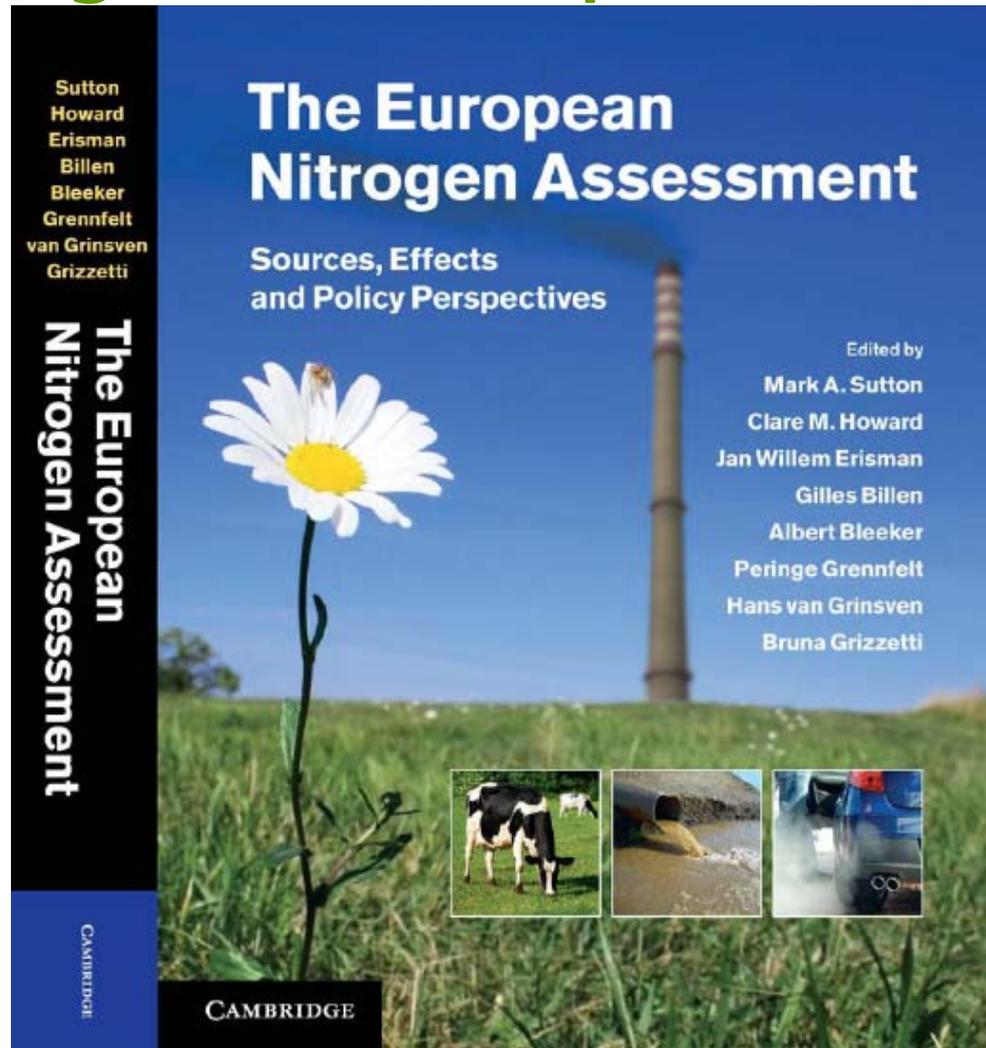
Quelles priorités en terme de décision publique?

Des actions internationales associant recherche et décision publique



(d'après Sutton et al., 2011, European N Assessment)

Une recherche d'intégration plus complète (flux, gestions, impacts, économie)



*À paraître
en avril 2011*

Conclusions – perspectives

- Un fort développement des travaux aux « échelles englobantes »:
 - *Évaluation des sources et des impacts à différentes échelles: prise en compte de processus et interactions à des échelles supra-parcelle, lien entre sources et impacts, ...*
 - *Prise en compte de la gestion des systèmes (exploitation, bassin, territoire, ...) et du milieu dans sa complexité*
 - *Nouvelles visions des cycles biogéochimiques (échelles, compartiments, acteurs, implications) et nouvelles questions*

NB: *En lien avec les développements de nouveaux concepts et de nouveaux outils de modélisation*

- Nécessité d'approches collaboratives, multidisciplinaires. Vers une plus grande intégration nationale et européenne.
 - *Où la recherche française se positionne-t-elle? Quelle place pour l'agronomie vis-à-vis des autres sciences de l'environnement, et de l'élaboration de la décision publique?*
 - *Quelles relations contruire entre recherche et développement?*
- Orientation « Recherche finalisée »: quels liens entre science et décision publique; implications pour les futures orientations de programmes?
- Communication: quels messages simples faire passer vers le public et les décideurs?