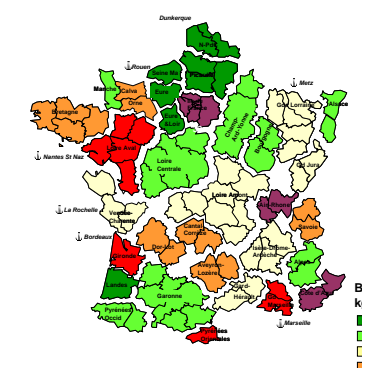


Paris, 9 janvier 2015

Les systèmes hydro-agro-alimentaires aux échelles mondiales et régionales:

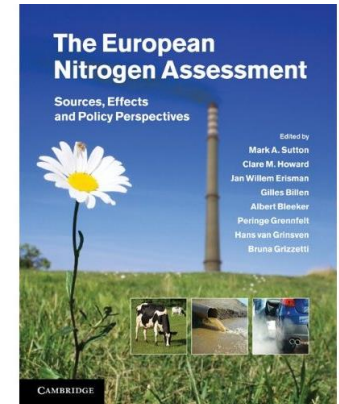
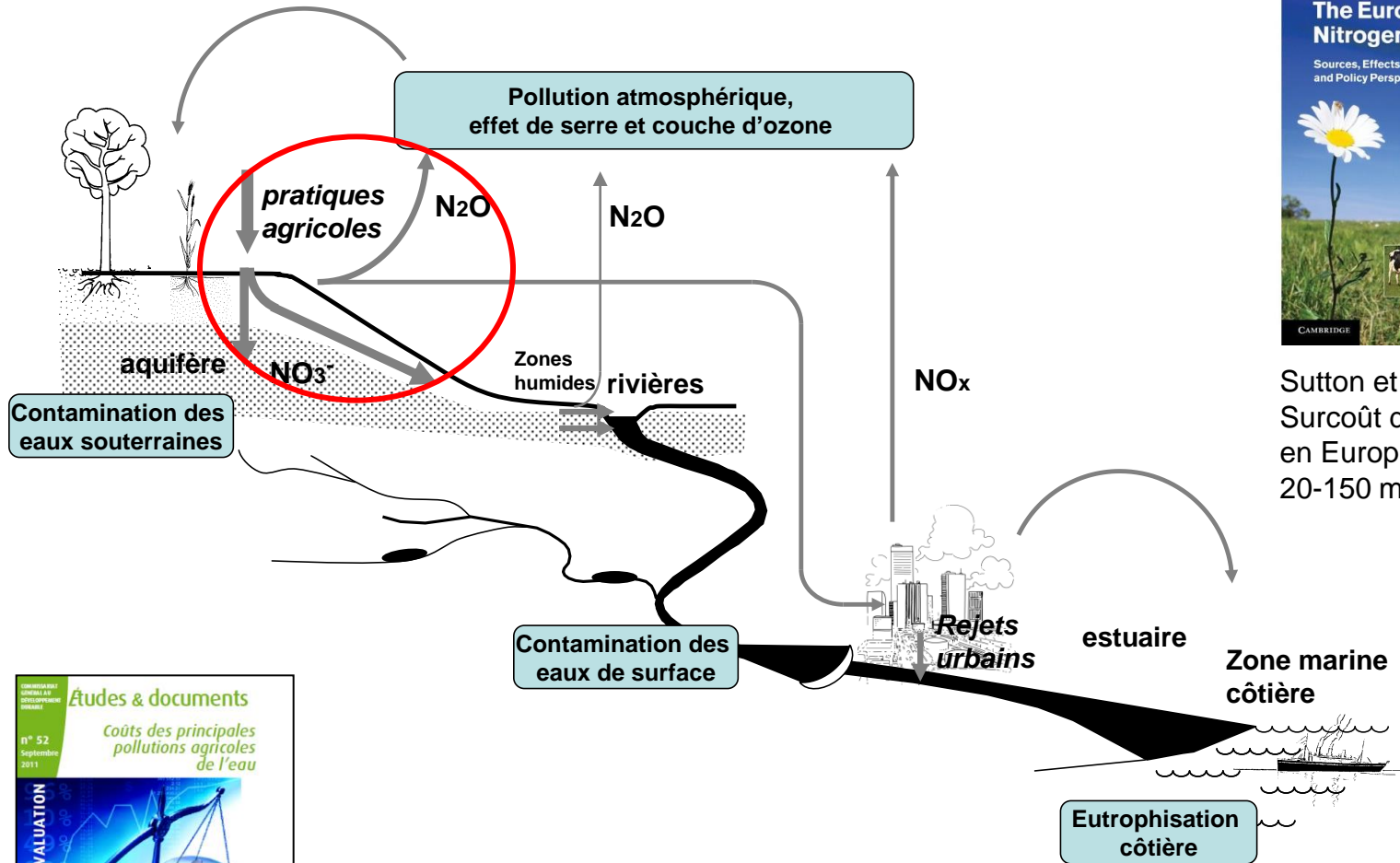
Relations entre rendement, fertilisation, pertes d'azote et alimentation

Gilles Billen, Luis Lassaletta, Josette Garnier, Juliette Anglade, Marie Benoit, Julia Le Noé
 UMR Metis, CNRS/UPMC



Introduction

Les pertes d'azote de l'agriculture et la cascade de transferts qu'elles engendrent



Sutton et al, 2011
Surcoût des pollutions agricoles en Europe
20-150 milliards €/an



Bommelaere & Devaux, 2011
Surcoût des pollutions diffuses agricoles en France
1.1-1.6 milliards €/an

Nourrir une population mondiale qui atteindra 10 milliards en 2050?

e.g. IFA (International Fertilizer Association)

1. La production agricole mondiale doit doubler d'ici à 2050.

Pour cela il faut

- * soit doubler l'étendue des terres cultivées au détriment des milieux naturels
- * soit doubler la productivité des surfaces cultivées actuelles (intensifier la fertilisation)

2. Produire chaque denrée dans les régions disposant des meilleures conditions pour le faire et les transporter ensuite vers leur lieu de consommation...

...est plus avantageux pour l'environnement
que de produire de tout partout pour satisfaire localement la demande
compte tenu du faible coût environnemental du transport maritime



Weber & Matthews (2008) *Food-Miles and the relative Climate Impacts of Food Choices in the US*. *Env.Sci.Tech.* 42:3508-3513

Faible part du transport dans l'ensemble de la chaîne de production alimentaire.

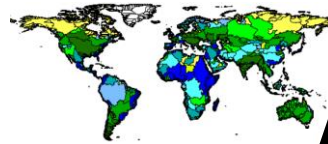
Tout changement dans les modes de production agricole ou dans les habitudes alimentaires (substituant les produits animaux par des produits végétaux) a plus d'impact en termes de réduction des émissions de GES que le recours à l'approvisionnement local.

Toutes les échelles...

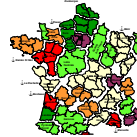
Le système agro-alimentaire mondial



Les macro-régions
mondiales



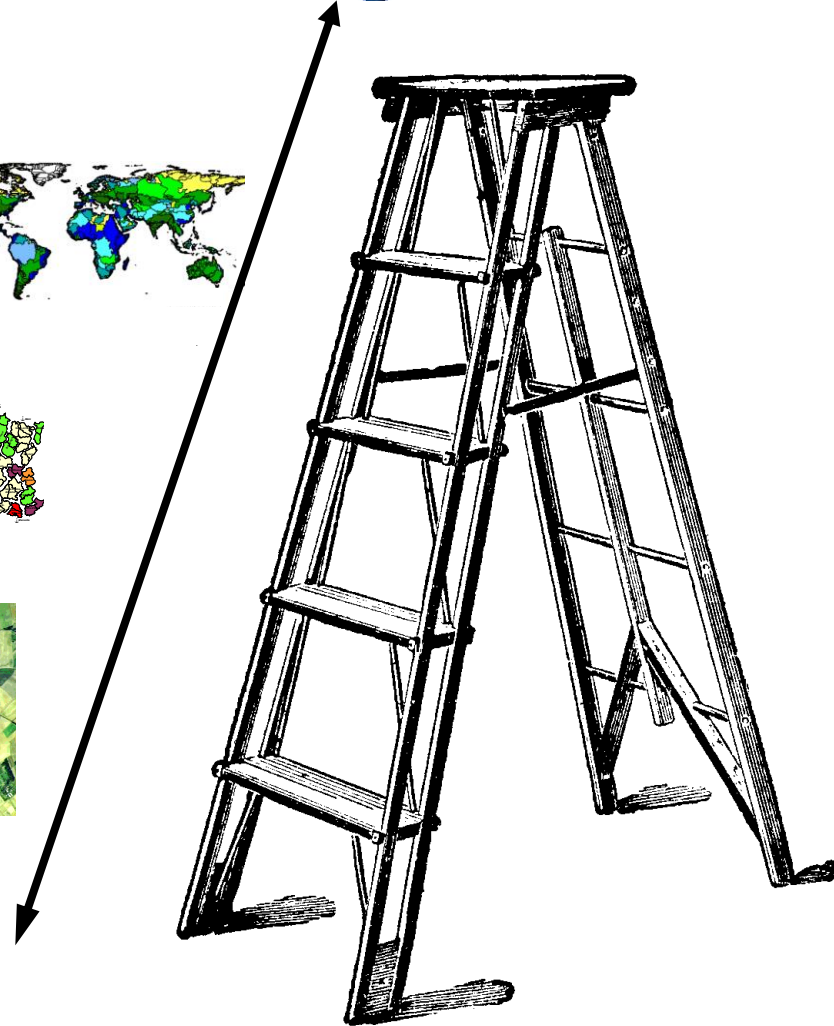
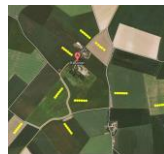
Les systèmes agro-
alimentaires nationaux



Le territoire
(cascade de l'azote)



Le système de culture
(rotation culturale)

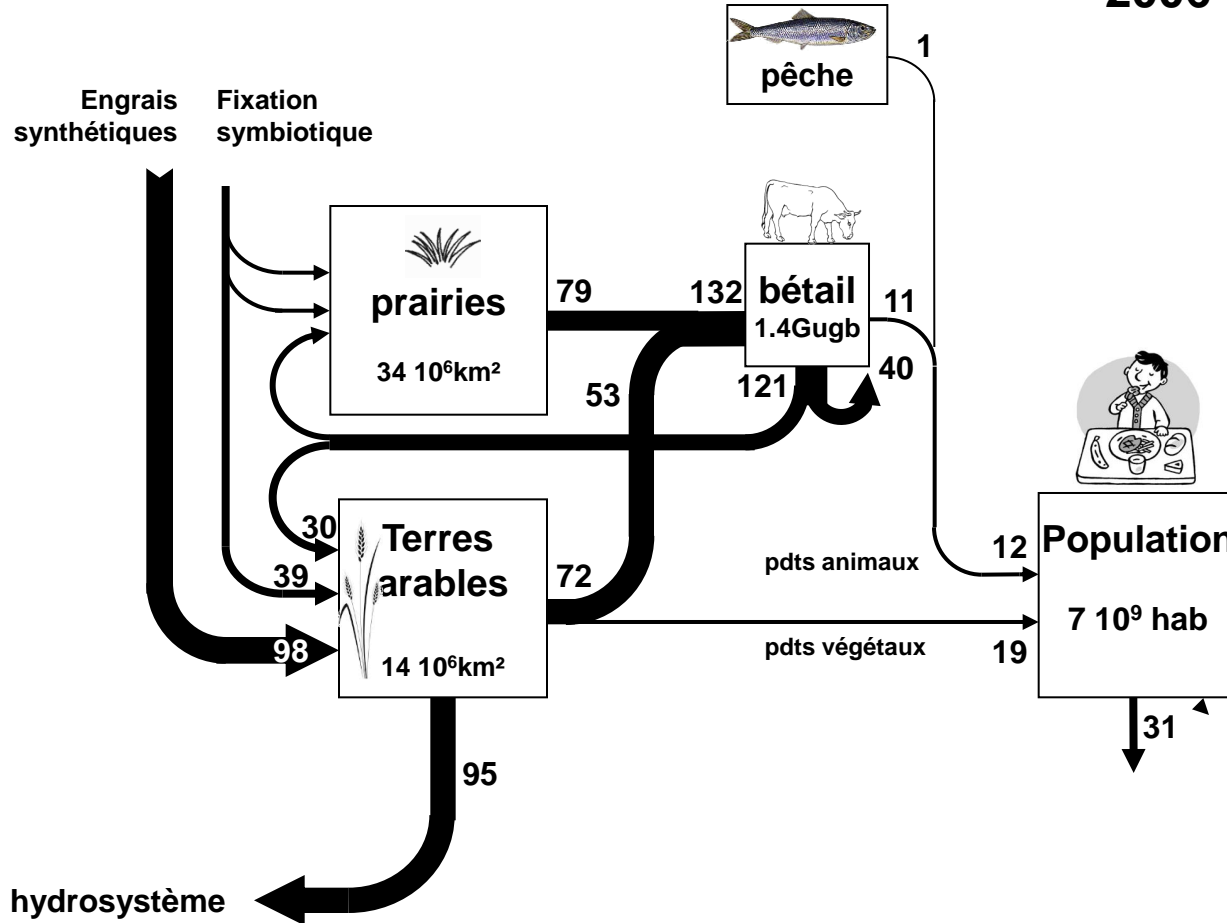


1. Un modèle des systèmes agro-alimentaires

GRAFS: Generalized Representation of Agro-Food Systems

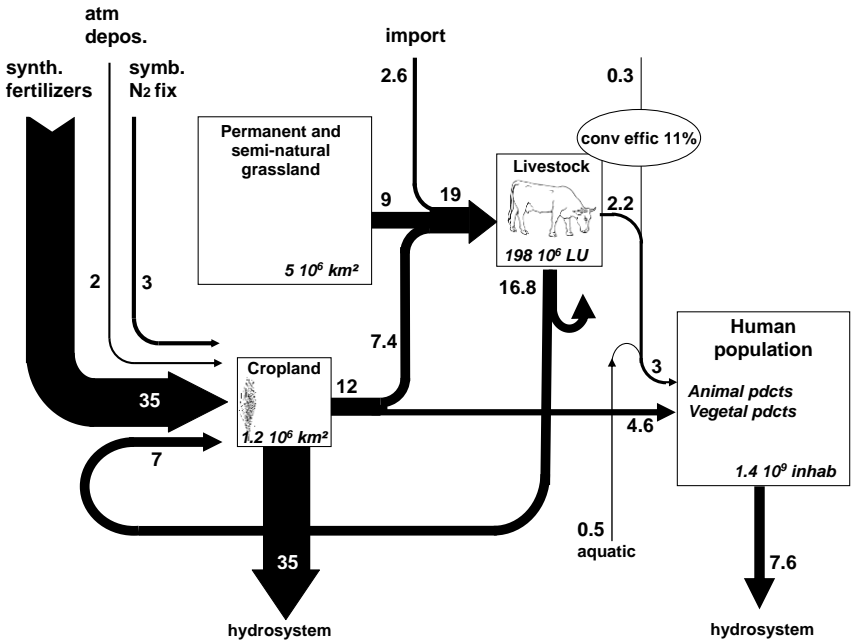
À l'échelle mondiale, TgN/an (millions de tonnes)

2006

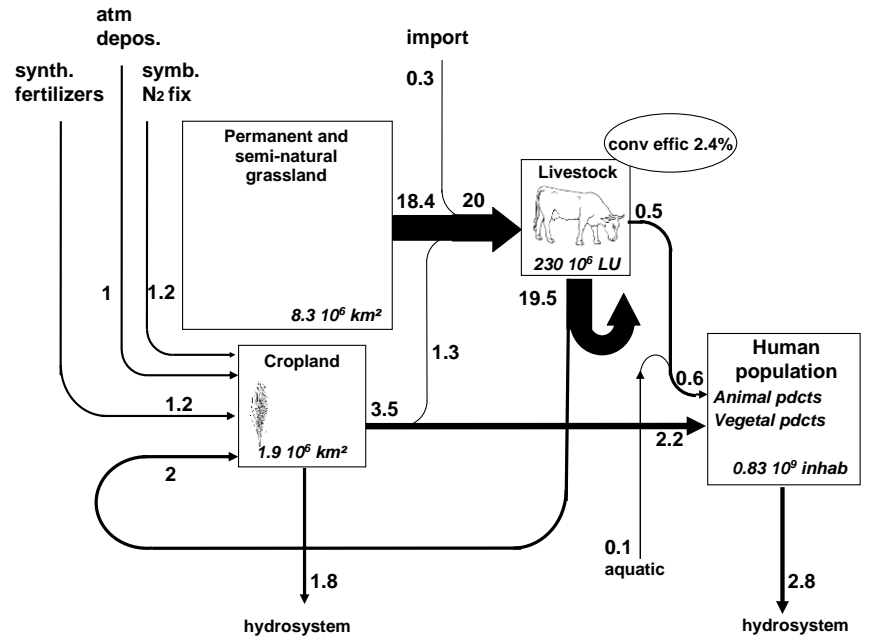


Billen, G; Lassaletta, L & Garnier, J. (2014) *A biogeochemical view of the global agro-food system: Nitrogen flows associated with protein production, consumption and trade*. Global Food Security 3: 209-219

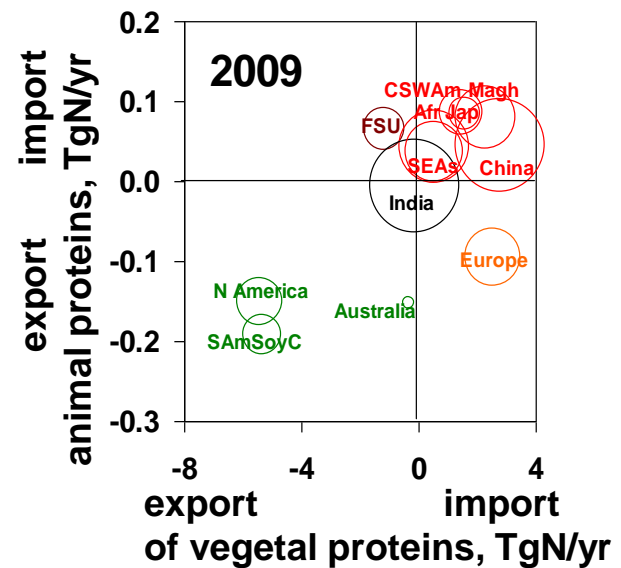
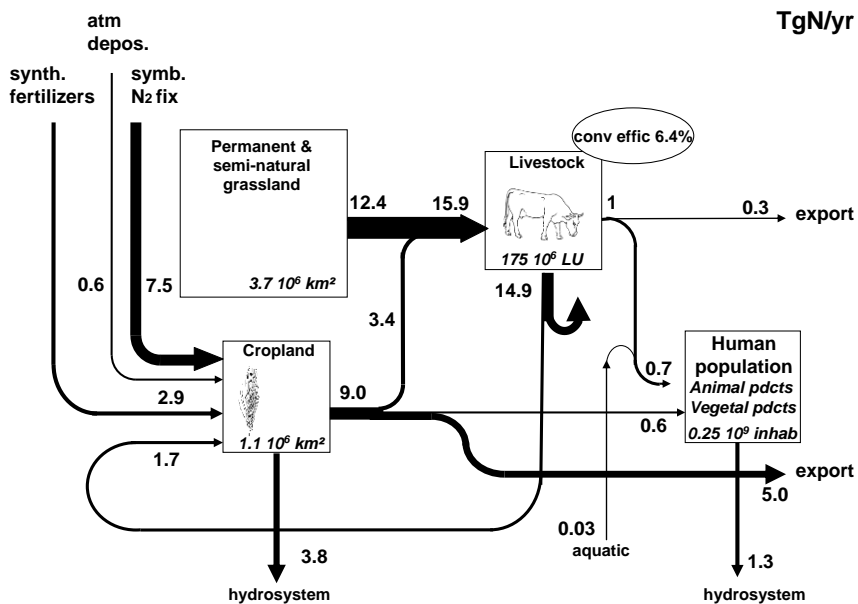
China (2009)



Africa (2009)

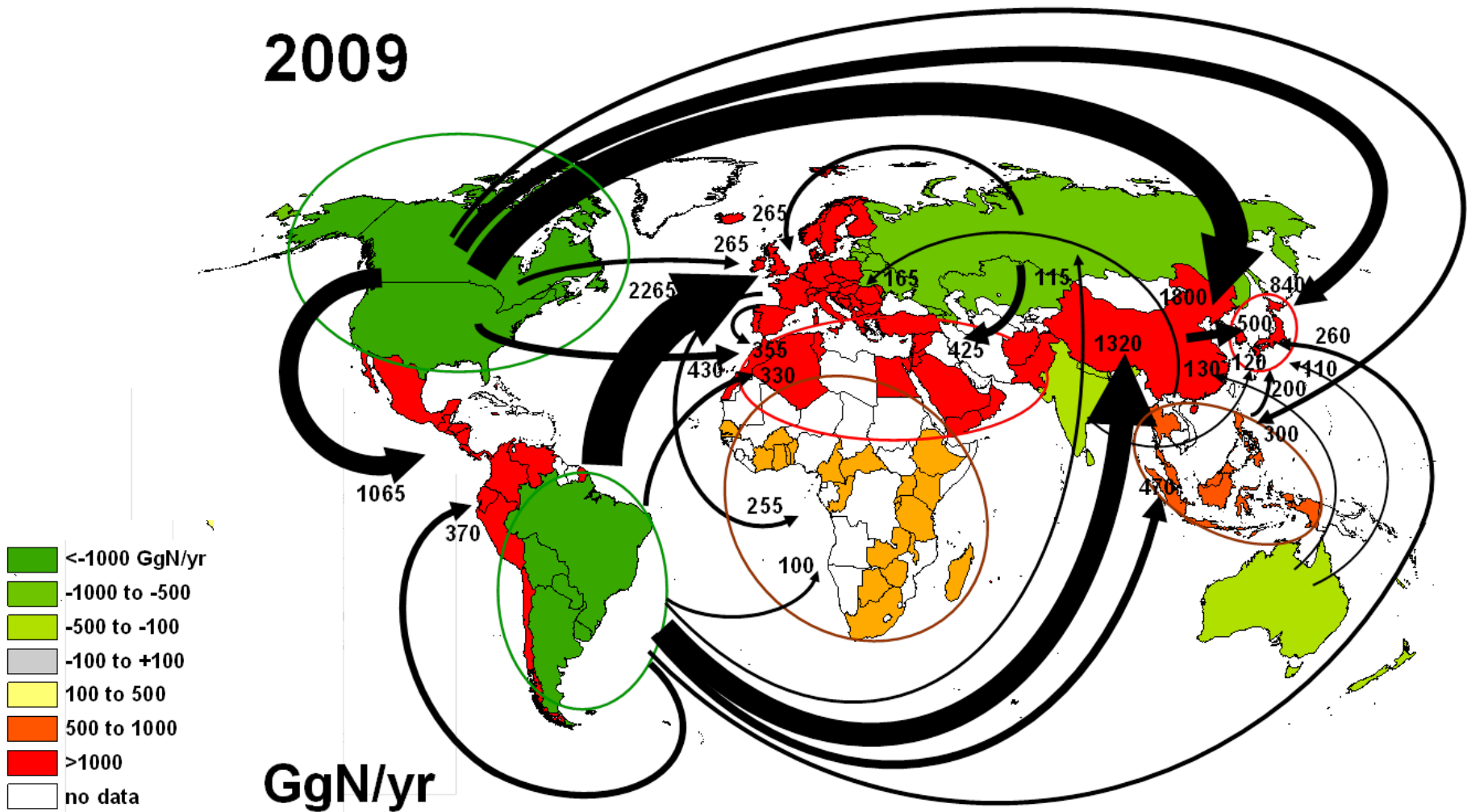


South American Soy countries (2009)



Le système agro-alimentaire est extraordinairement ouvert à l'échelle mondiale...

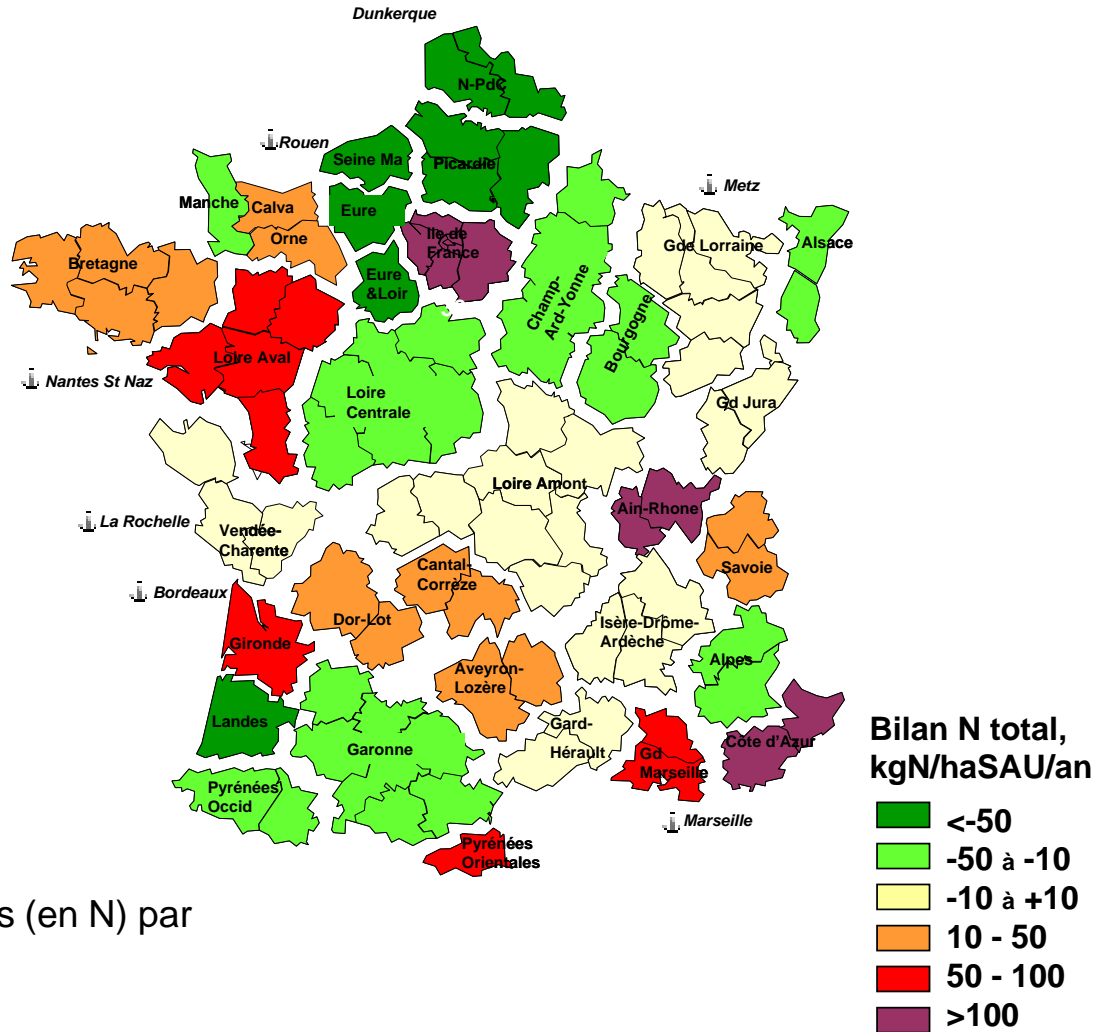
2009



Les échanges internationaux représentent 30% de la production agricole totale

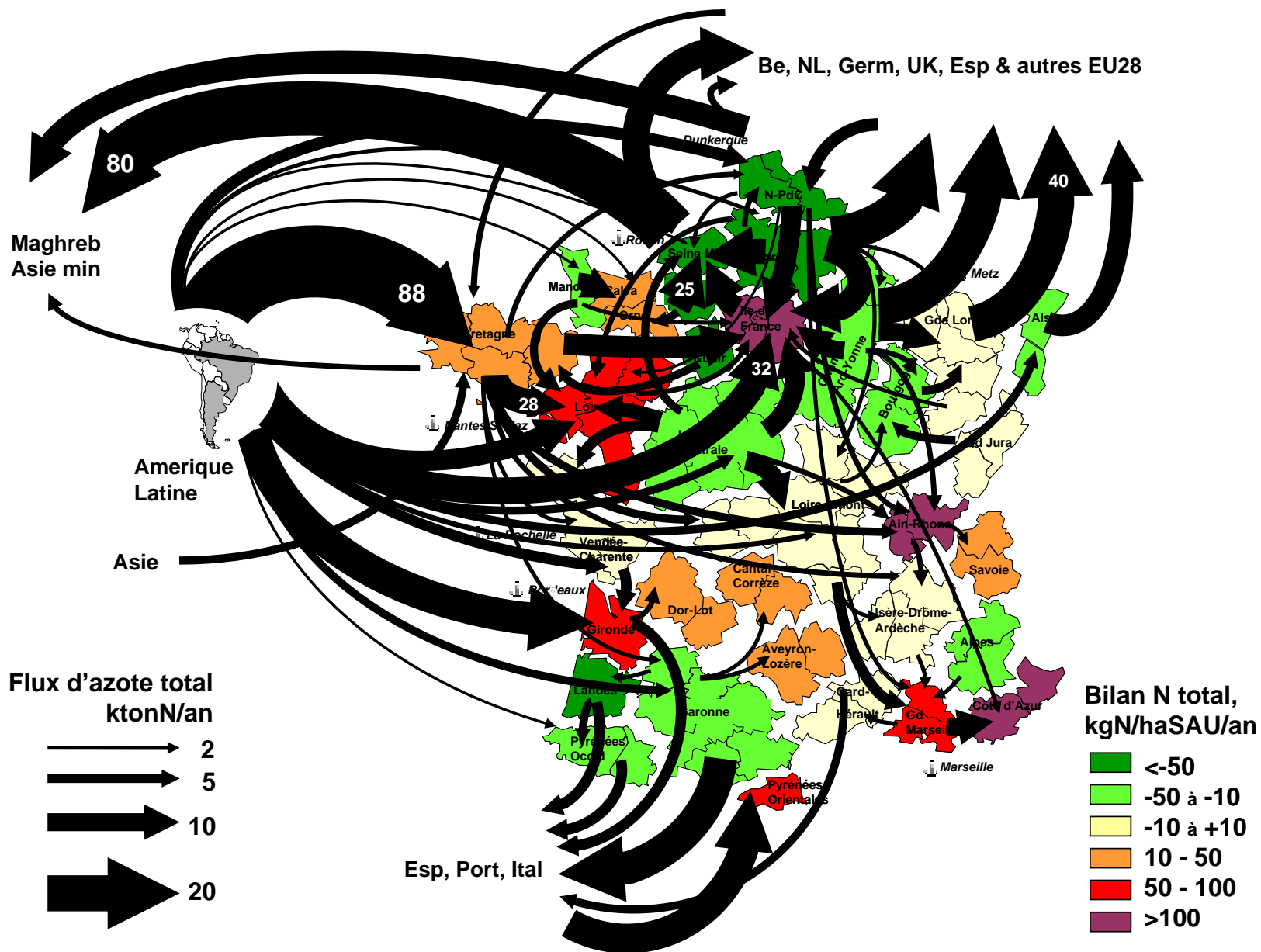
Lassaletta L, Billen G, Grizzetti B, Garnier J, Leach AM, Galloway JN (2014), *Food and feed trade as a driver in the global nitrogen cycle: 50-year trends*. *Biogeochemistry* 118:225–241.

... comme à l'échelle régionale.



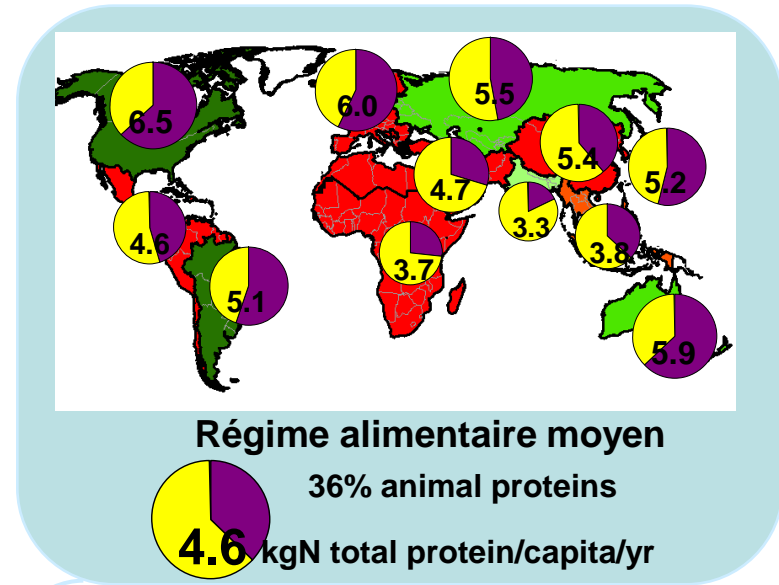
Bilan du commerce de denrées alimentaires (en N) par territoires agricoles

Le commerce de denrées alimentaires représente 2.3 fois la production agricole totale!

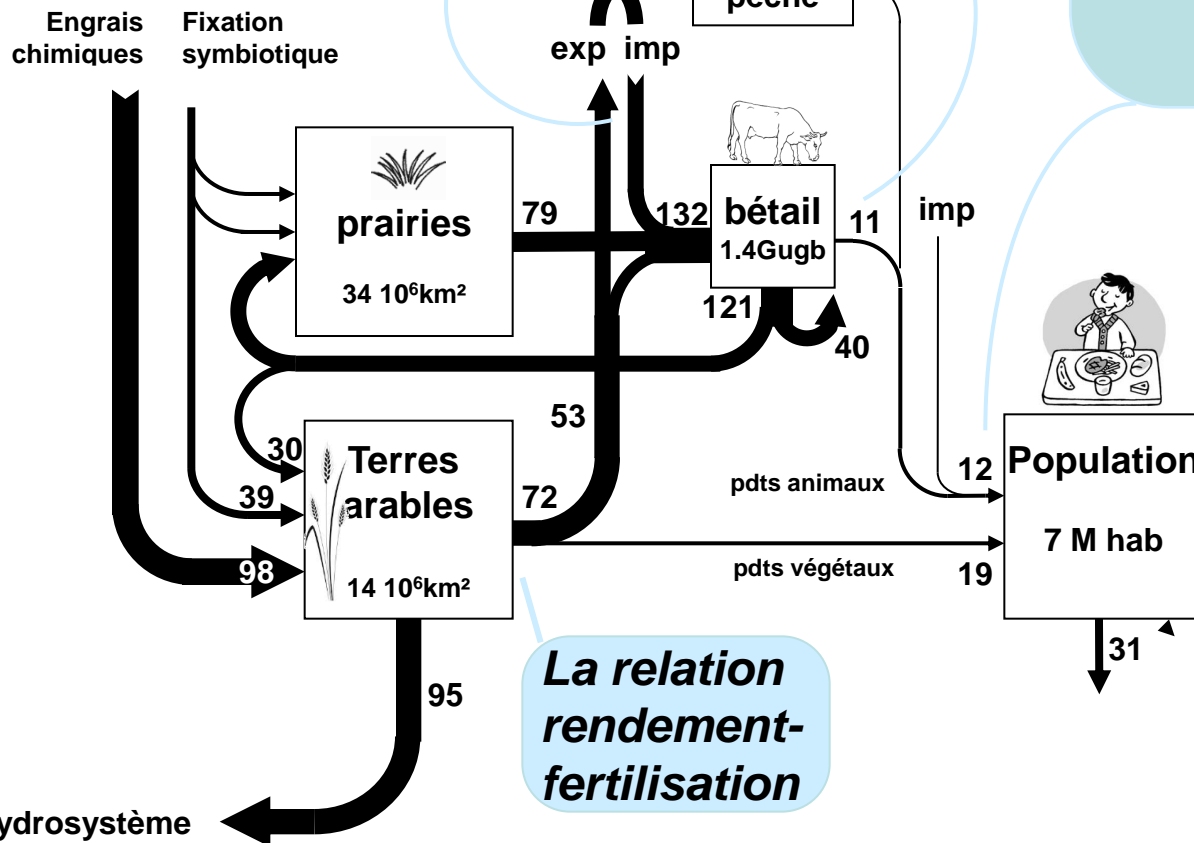


L'efficacité de conversion des protéines végétales en animales varie de 2 à 20 %

Le recours au commerce international

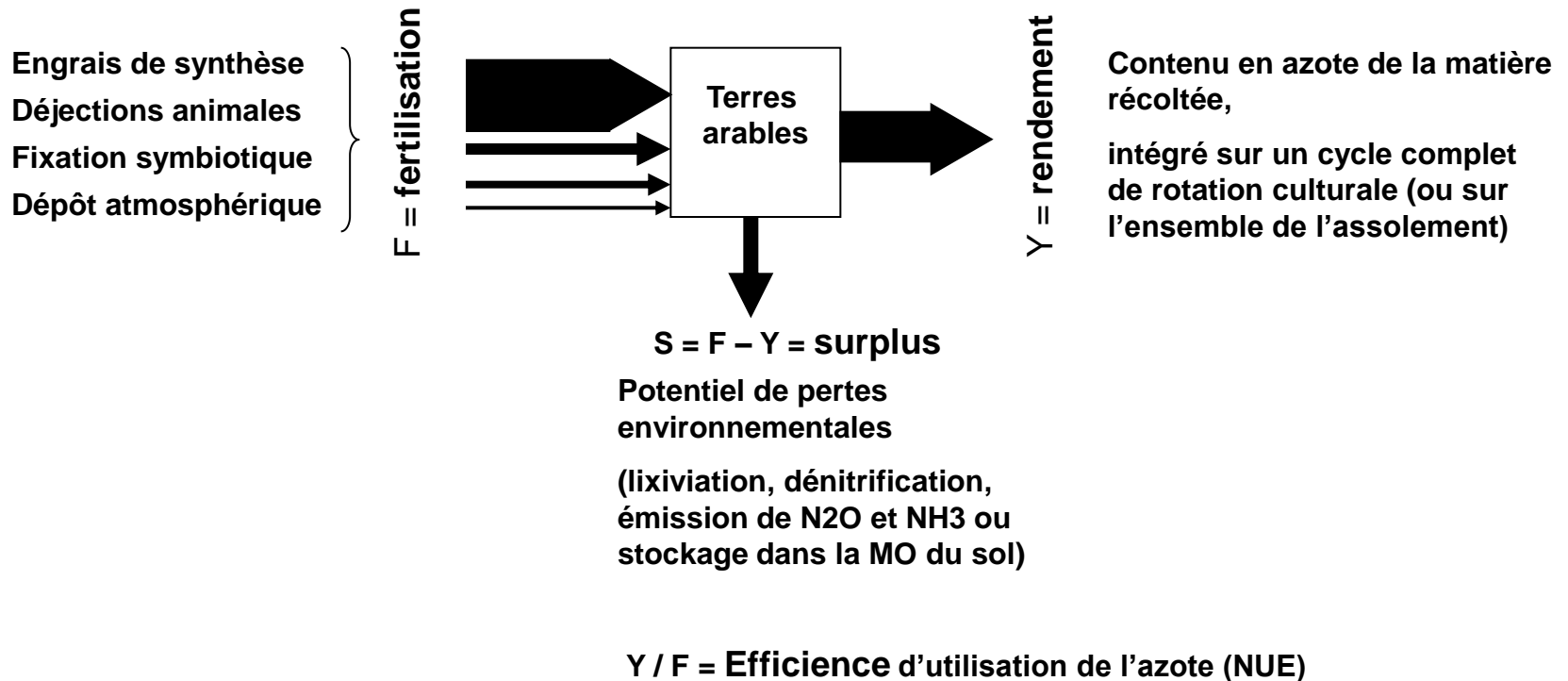


TgN/an

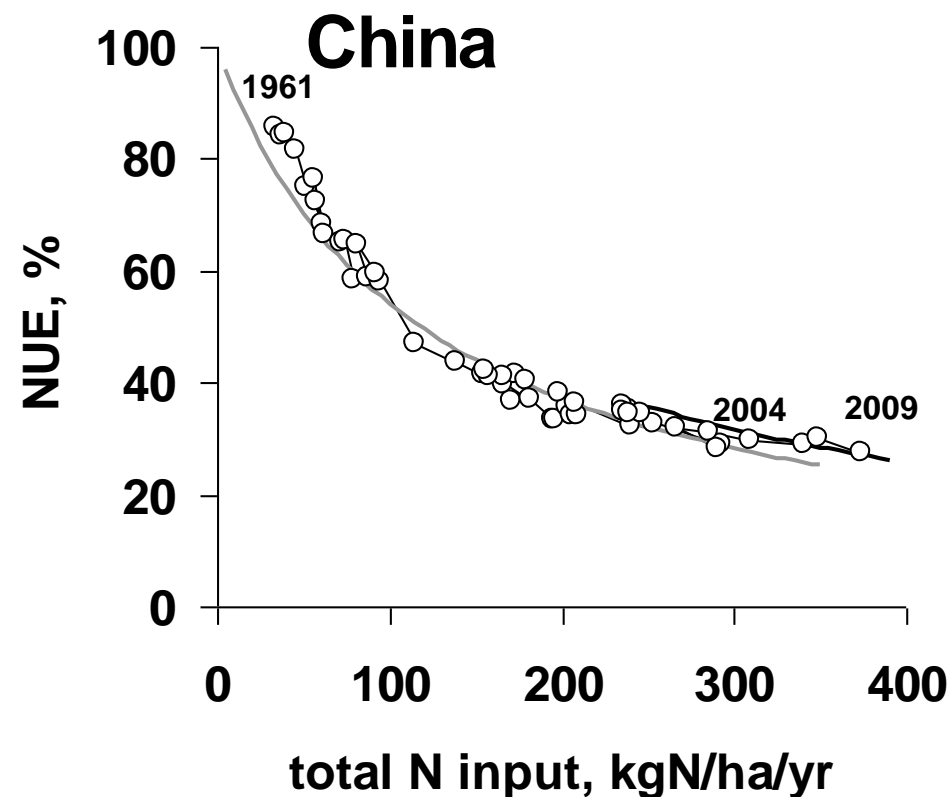
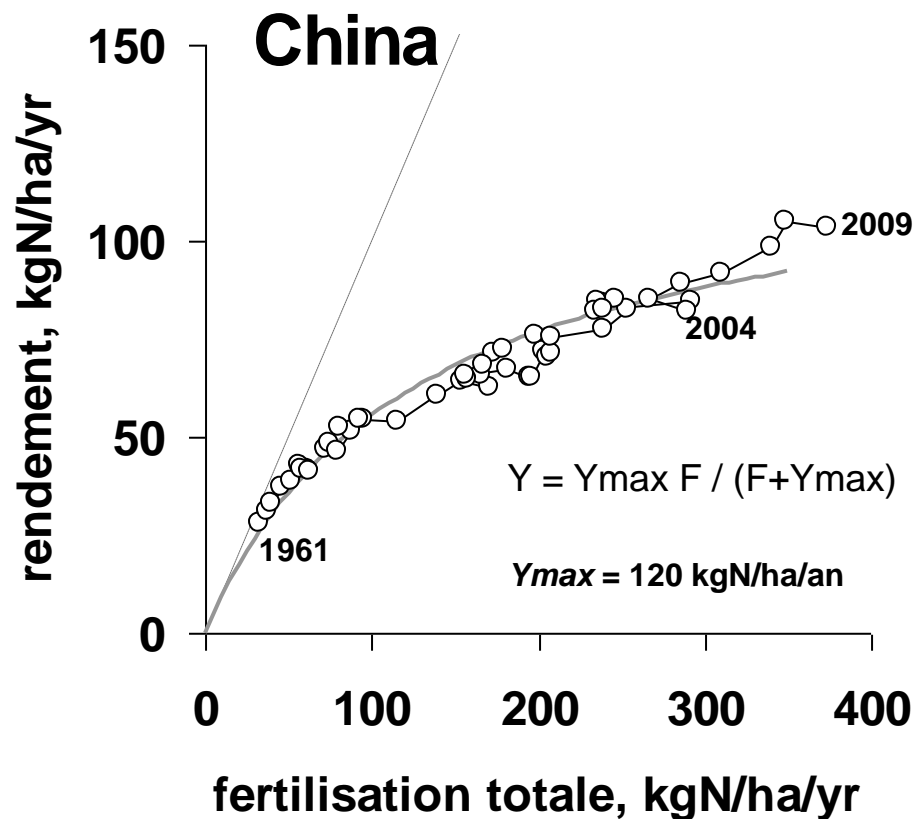
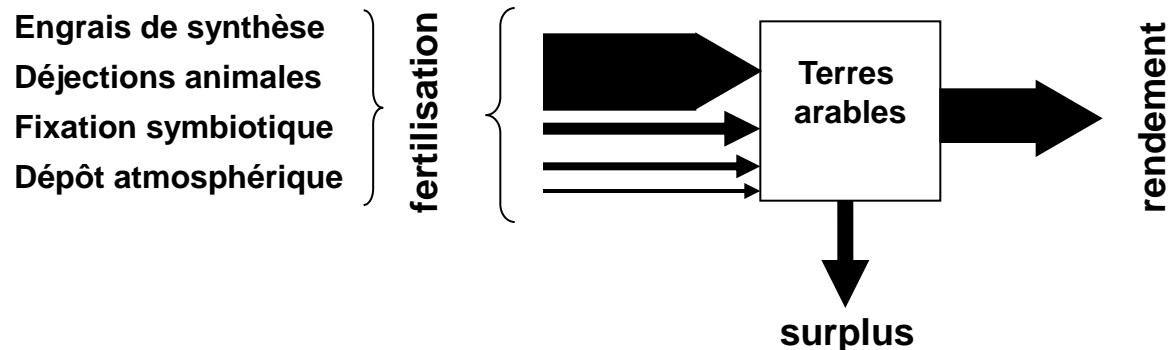


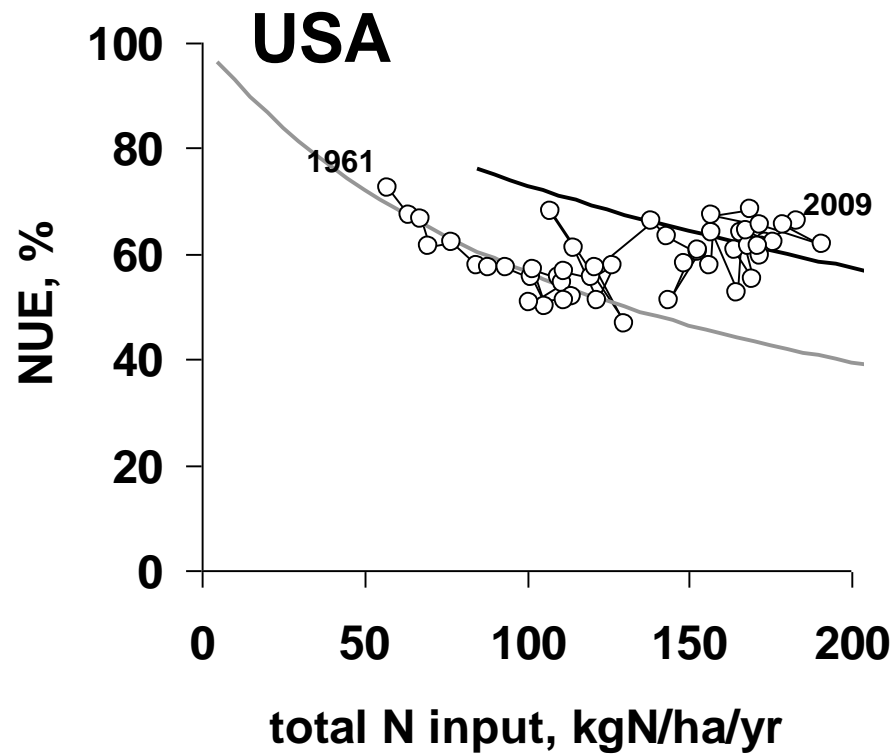
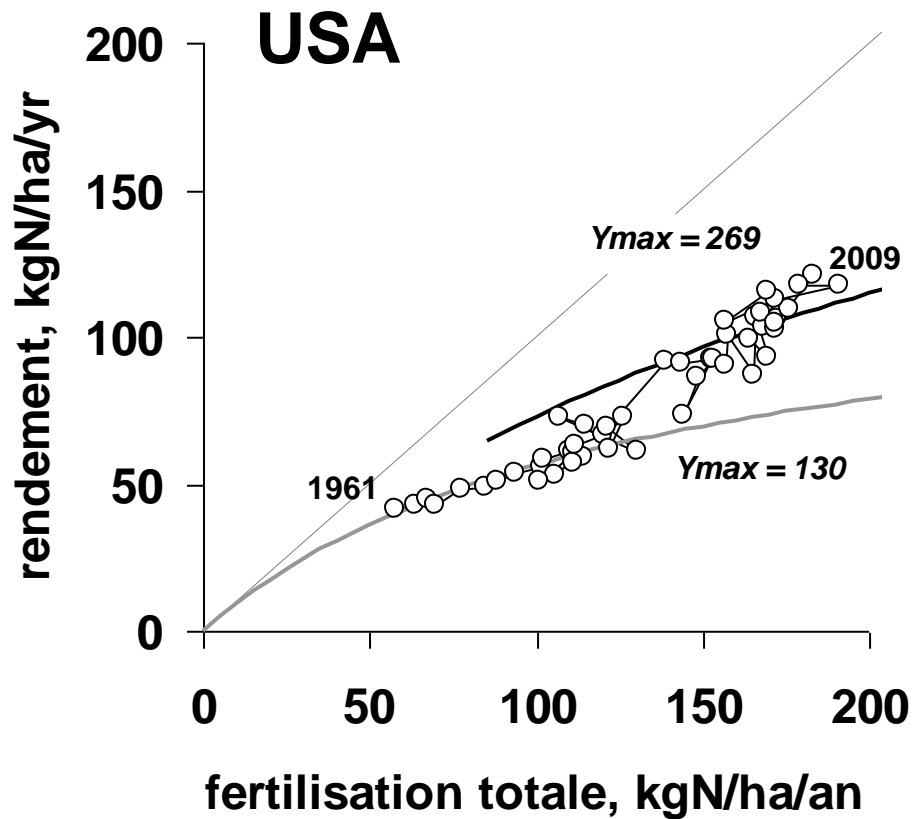
2. La relation rendement - fertilisation

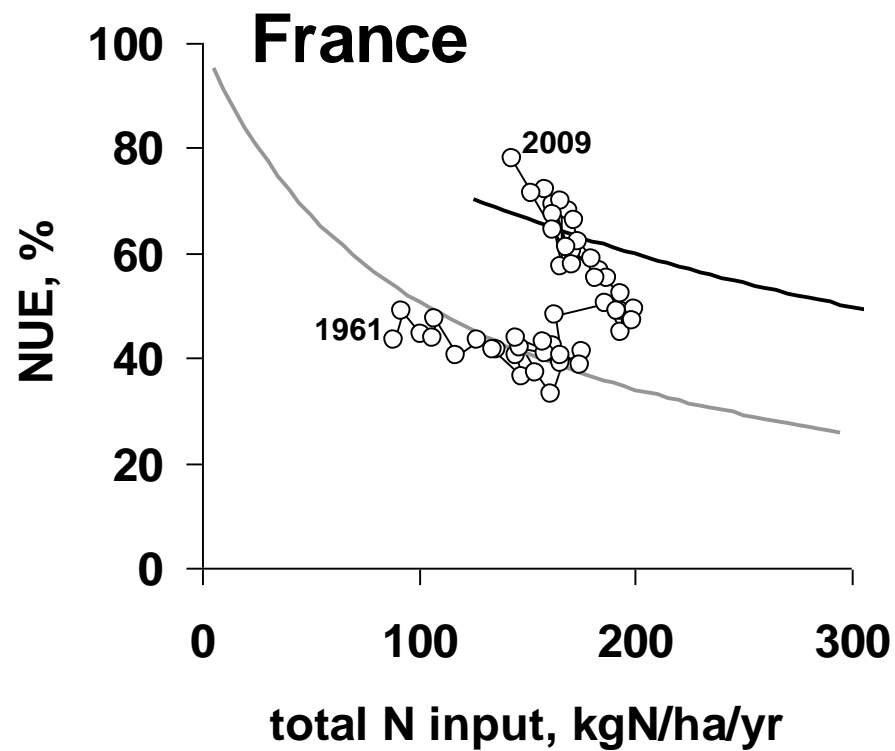
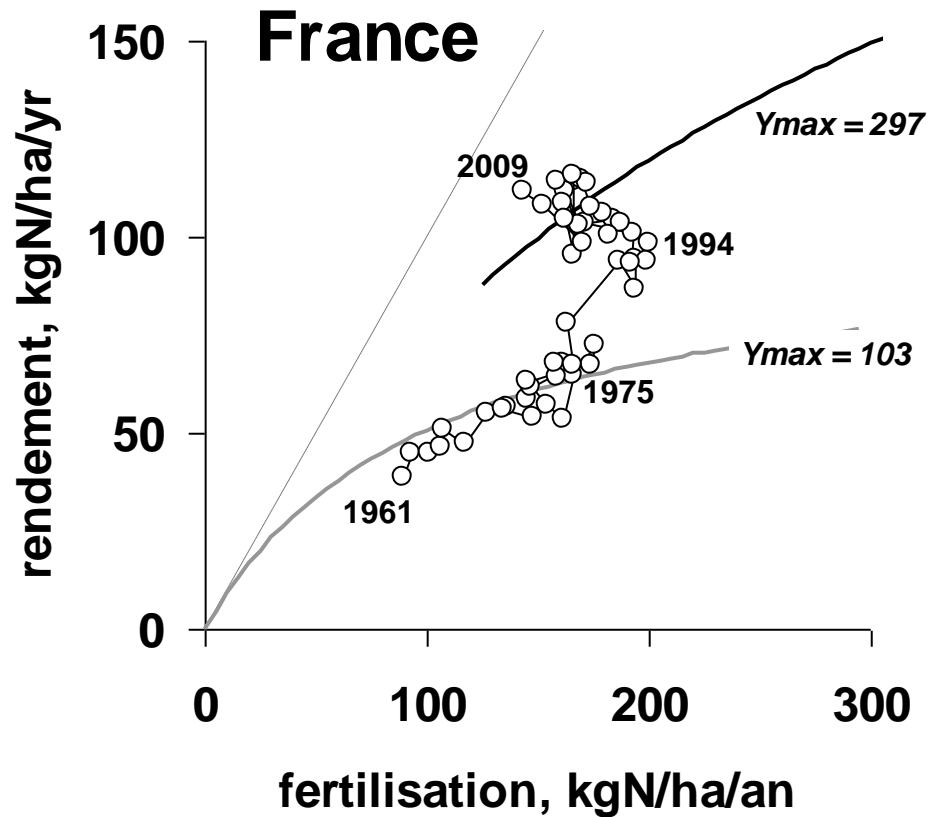
Le bilan d'azote total du sol (SSB)



Application à l'échelle nationale sur une chronique de 50 ans (données FAO)







3. La relation rendement – fertilisation comme indicateur de performance agro-environnementale des systèmes de culture

Les performances environnementales des grandes cultures en Ile de France (conventionnelles et bio)

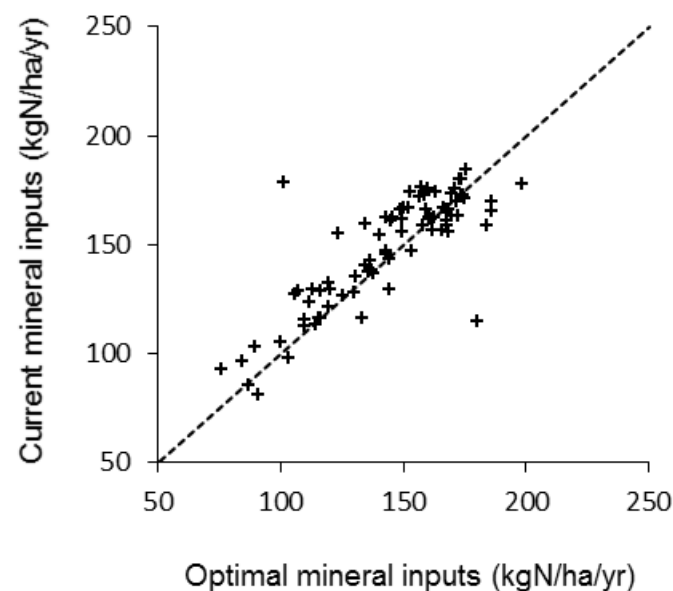
3.1. Les principales rotations conventionnelles dans le bassin parisien

Relevé des principales rotations culturales et des ITK associés

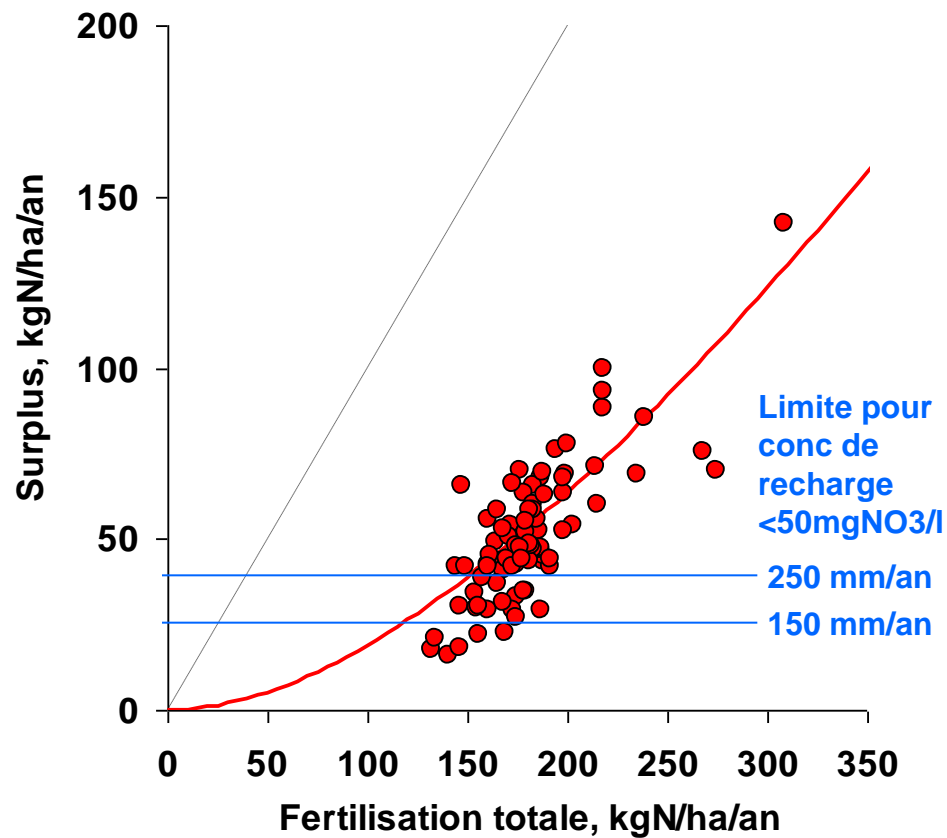
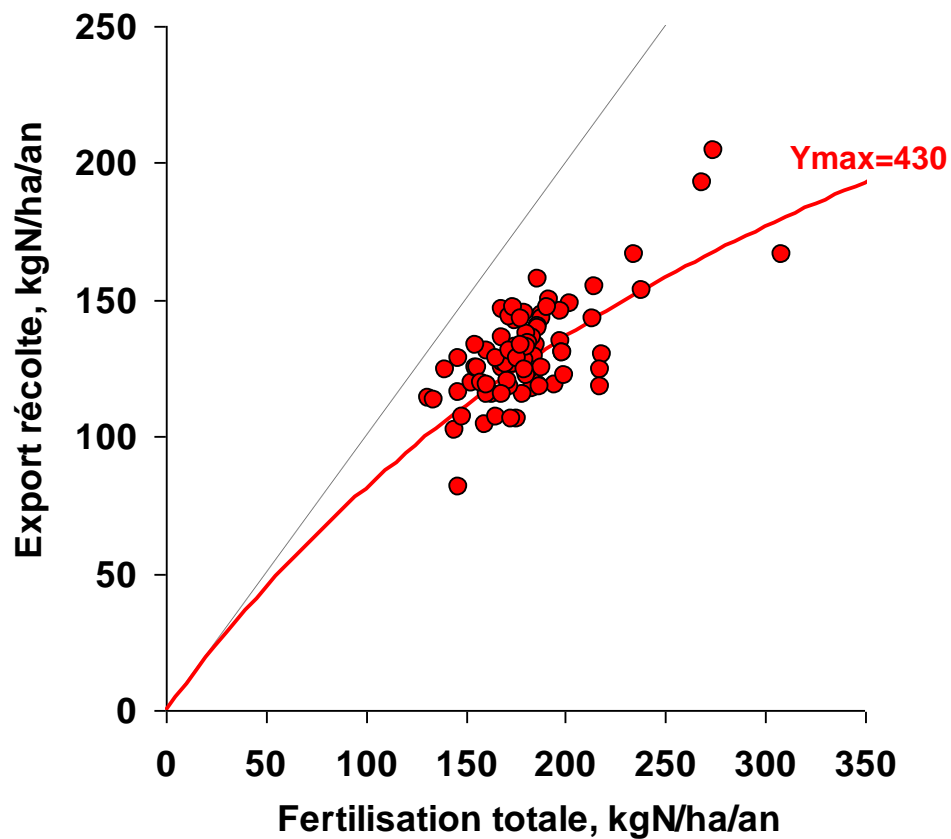
Puech, T., C. Schott, C. Mignolet, P. Viennot, et N. Gallois. 2014. Actualisation de la base de données agricoles sur le bassin Seine-Normandie pour l'analyse de l'évolution récente des pratiques agricoles. Rapport d'activité PIREN-Seine Phase 6.

Co-B-Oh, Co-B-^{Cl}Op, Co-B-^{Cl}Mg-B, Co-B-Po-B-^{Cl}OP, ...

Calcul de la fertilisation équilibrée (prescriptions COMIFER)



Grandes cultures conventionnelles



3.1. Les rotations biologiques dans le bassin parisien

Enquête de 58 fermes bio dans le bassin de la Seine

J. Anglade. Thèse à soutenir en Mars 2015.

Rotations longues: Luz-Luz-(Luz)-B-^{Cl}Trit -Fev-Tri-^{Cl}Op , ...

Rendements

63 tMS/ha/an

123 kgN/ha/an

cf. Co-B-Op conv:

61 tMS/an

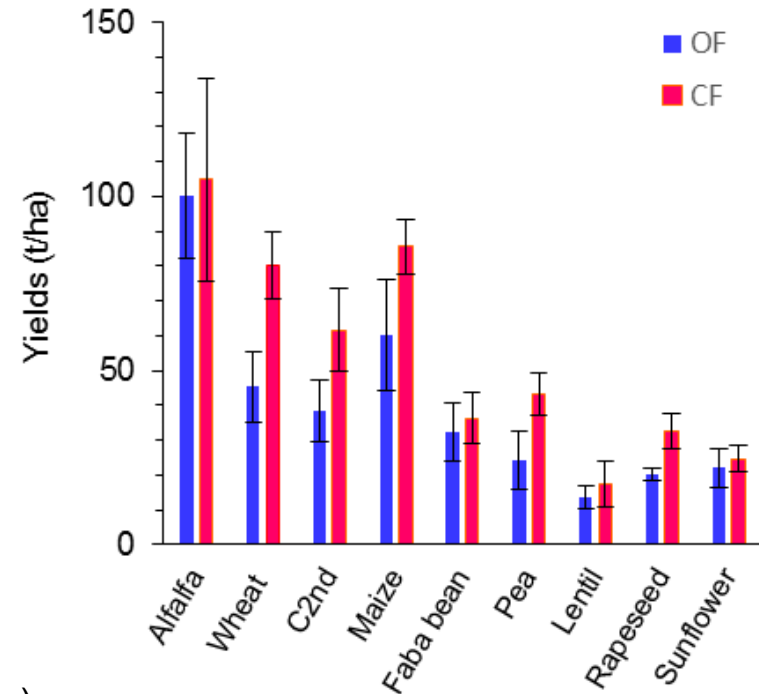
130 kgN/ha/an

Fertilisation

160 kgN/ha/an (75% fixation symbiotique)

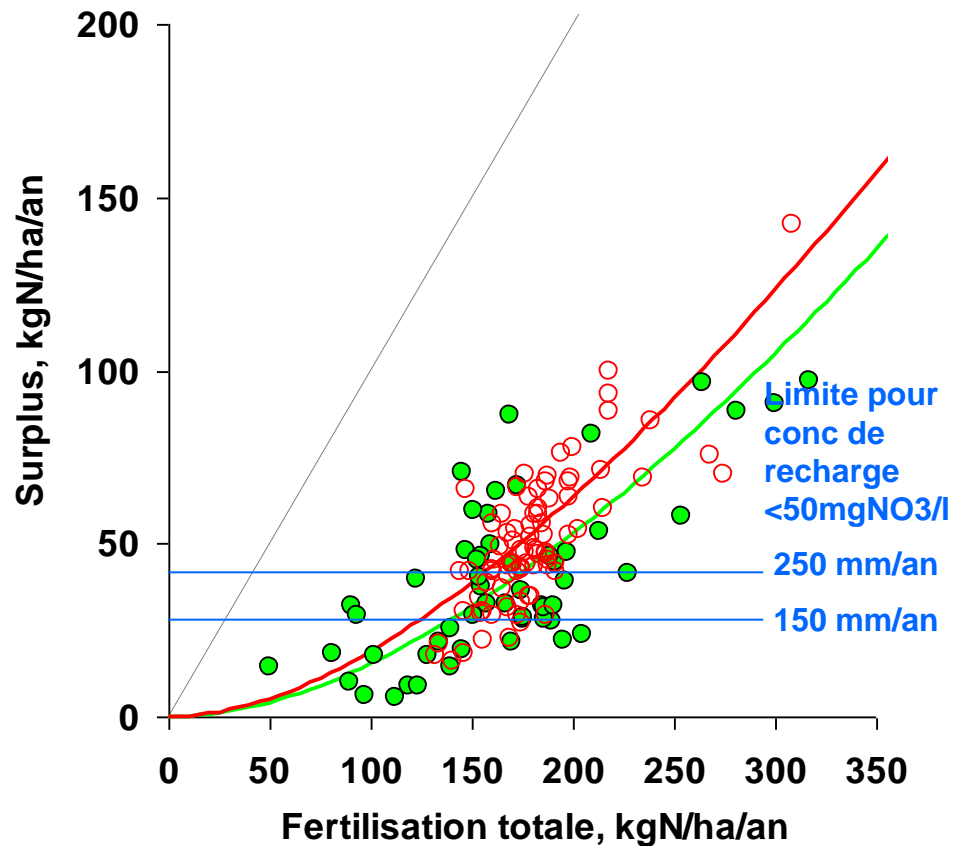
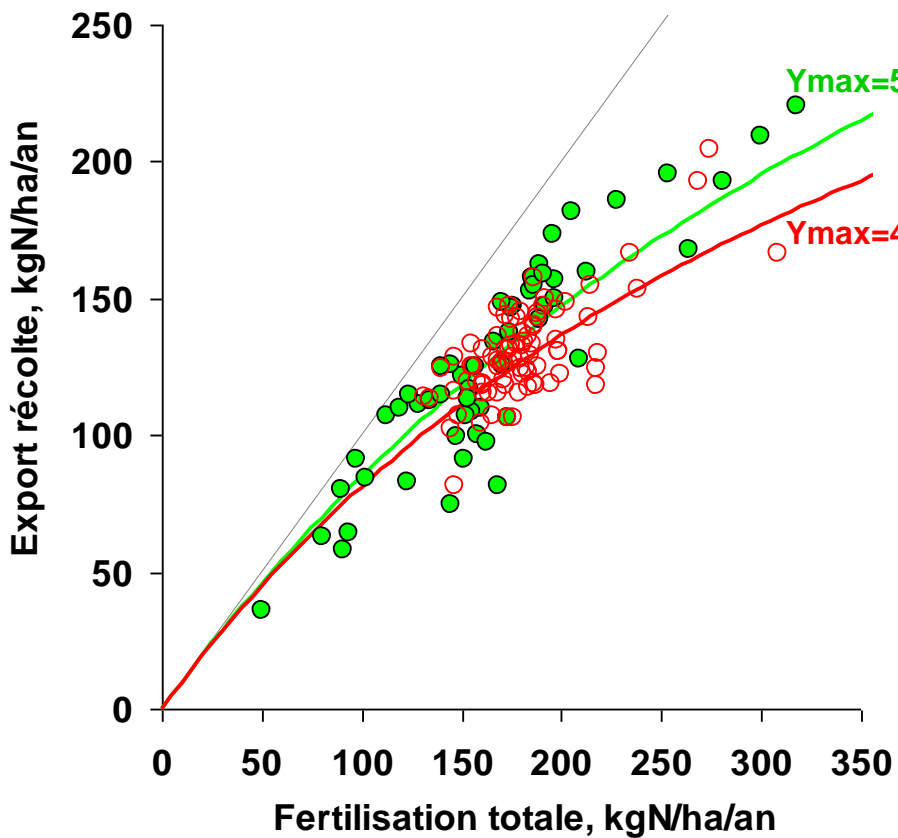
cf. Co-B-Op conv:

180 kgN/ha/an (100% synthétique)



Grandes cultures conventionnelles

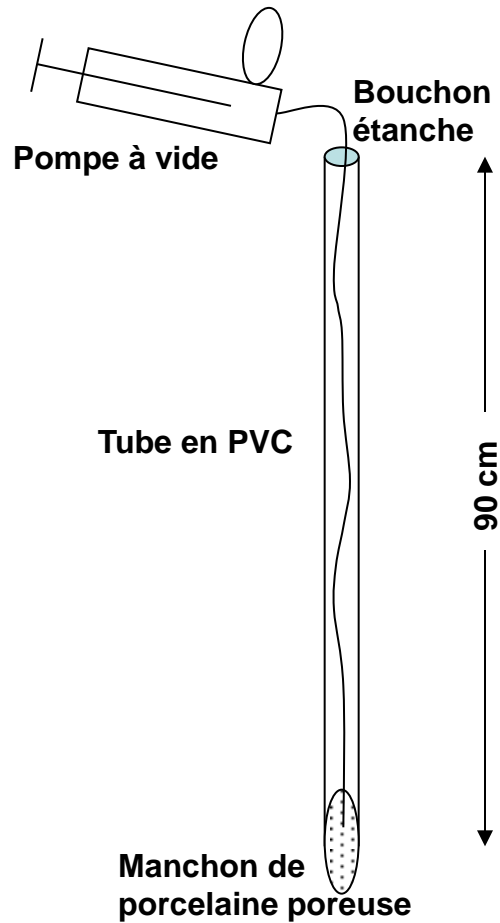
Grandes cultures bio



Mesure directe des concentrations sous-racinaires

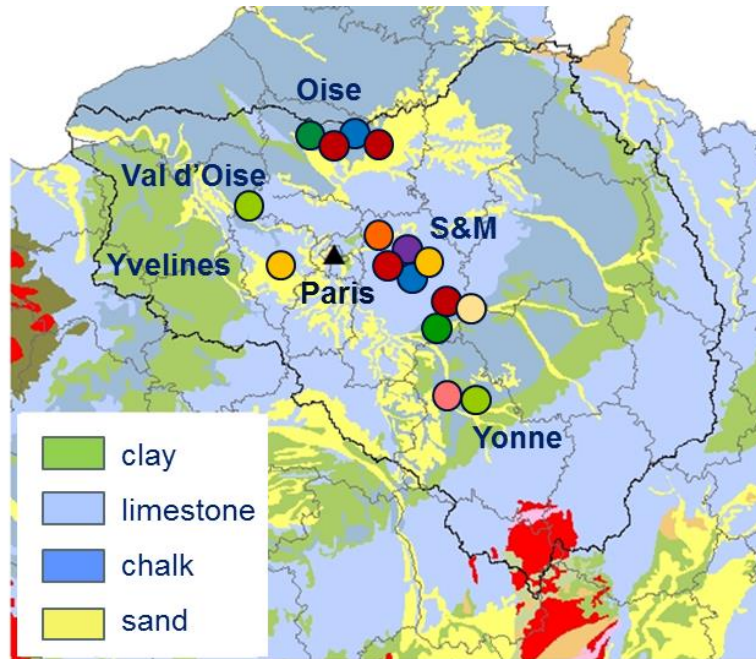
Dispositif de bougies poreuses

Prélèvement et analyse de l'eau s'infiltrant en dessous de la zone racinaire

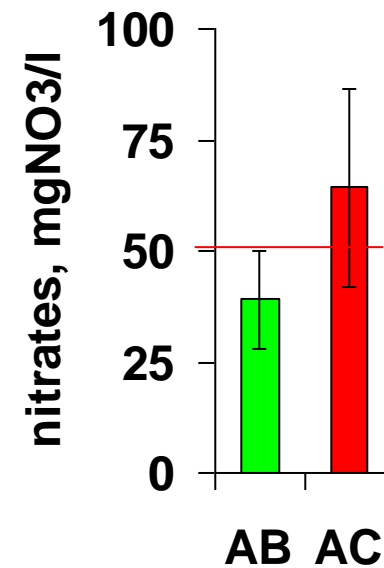


Mesure directe des concentrations sous-racinaires

ABAC: Un réseau de fermes instrumentées

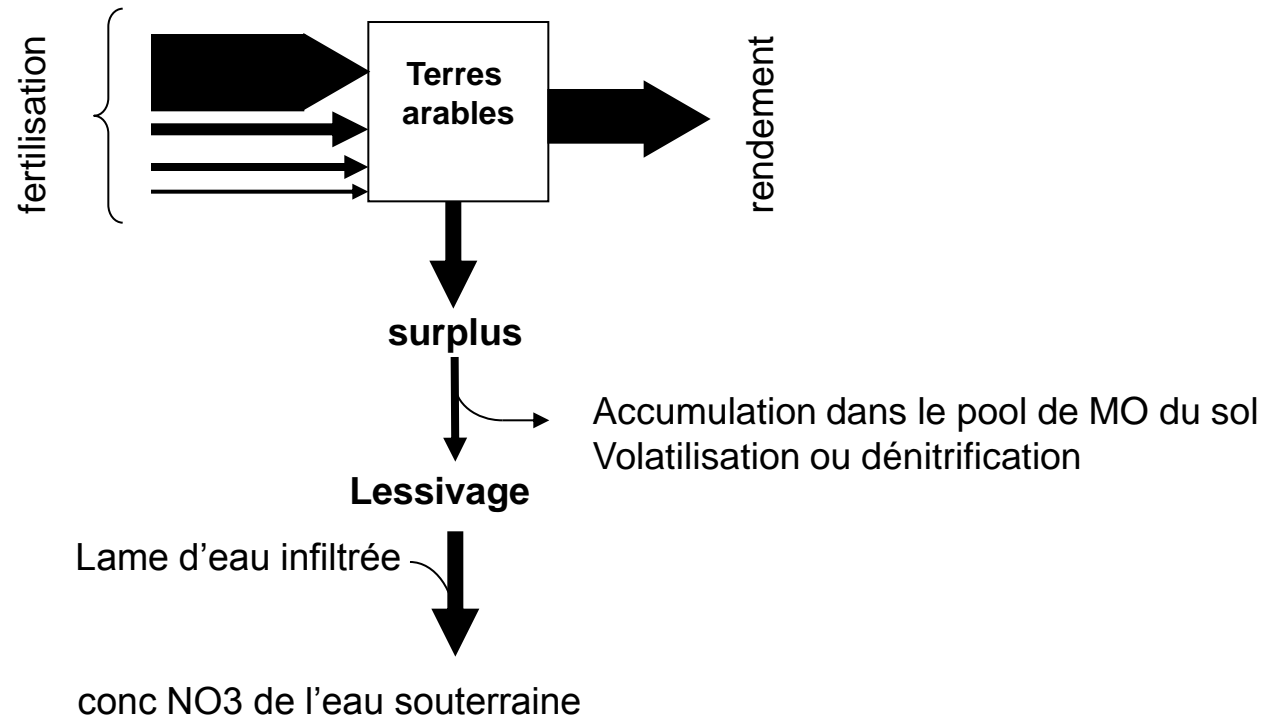


Moyenne des conc sous-racinaires sur l'ensemble des rotations

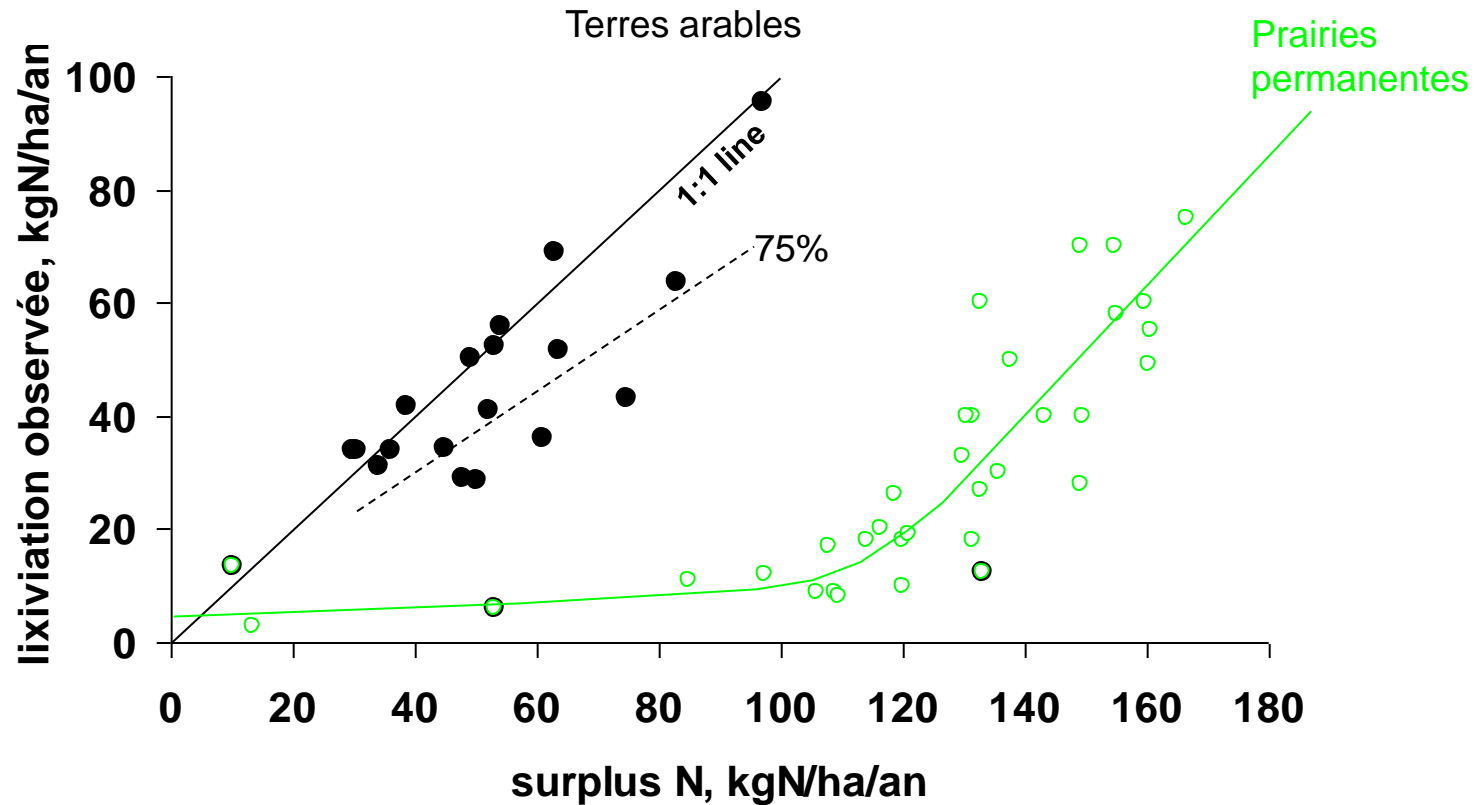


Marie Benoit. Les fuites d'azote en grandes cultures céréalières. Lixiviation et émissions atmosphériques dans des systèmes biologiques et conventionnels du bassin de la Seine (France). Thèse UPMC. 5 déc 2014.

Devenir du surplus



Relation Lixiviation- Surplus



Billen et al. (2013). La cascade de l'azote dans les territoires de grande culture du Nord de la France. Cahiers Agricultures. 22: 272-281

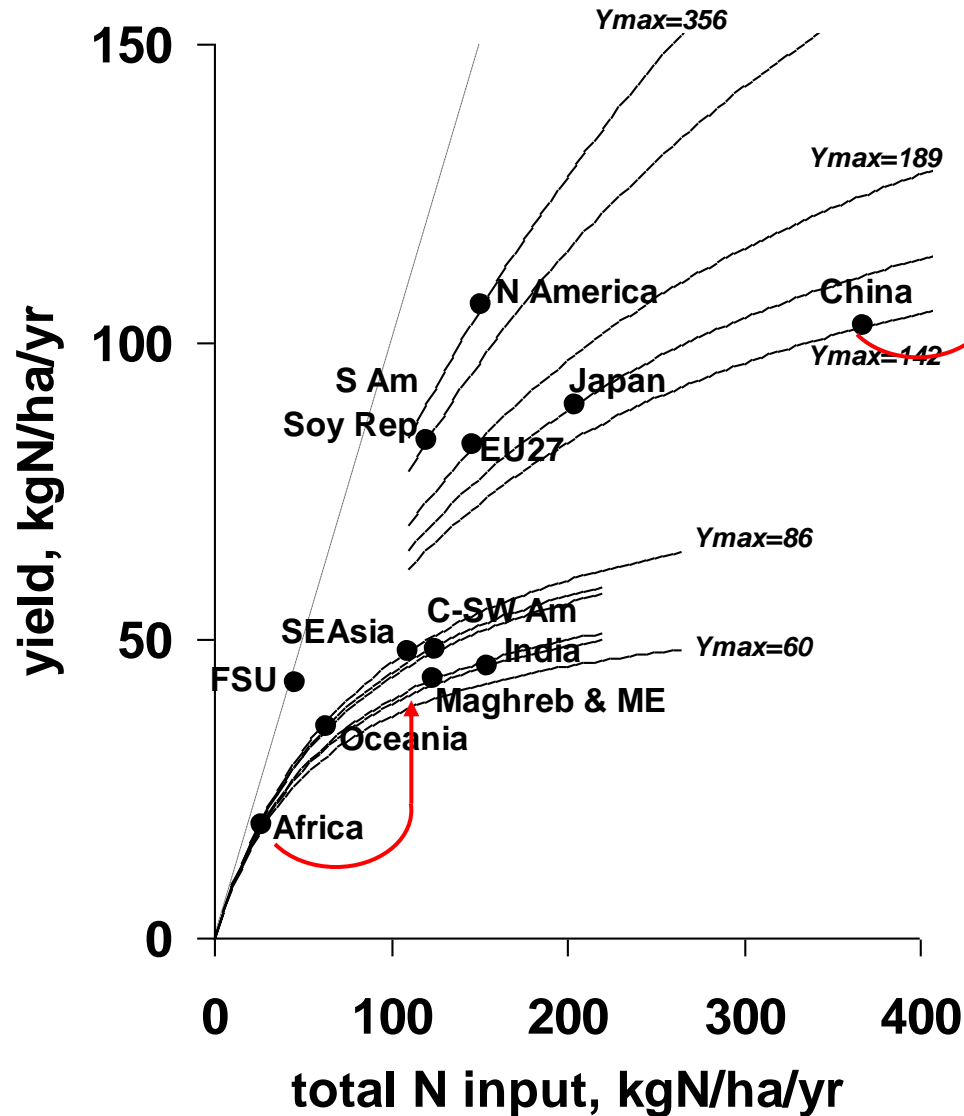
Vertes et al. (2007) Prairies et qualité de l'eau. Evaluation des risques de lixiviation d'azote et optimisation des pratiques. Fourrages 192, 423-440.

4. Exploration des stratégies agro-alimentaires mondiales

Où intensifier ?

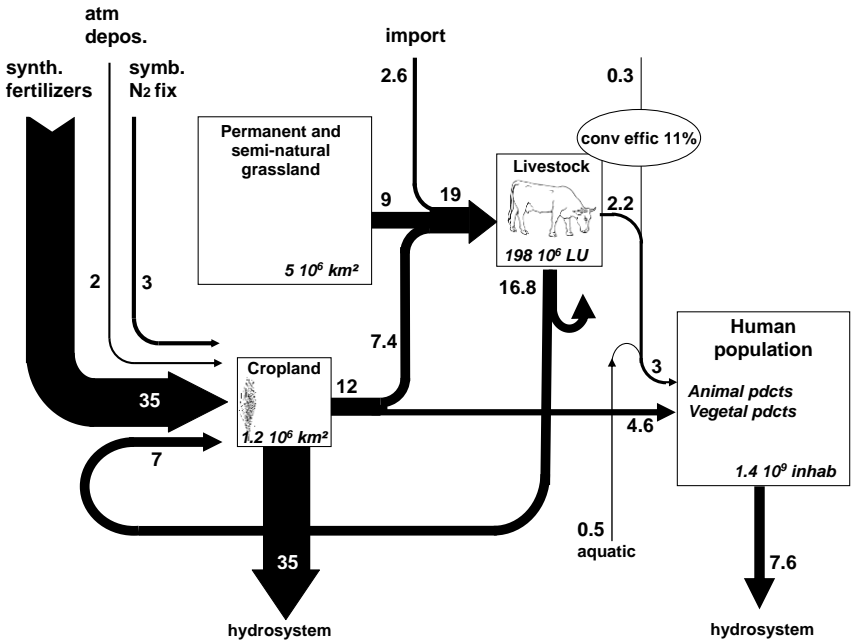


De grandes disparités de potentiel agricole et d'intensification entre régions

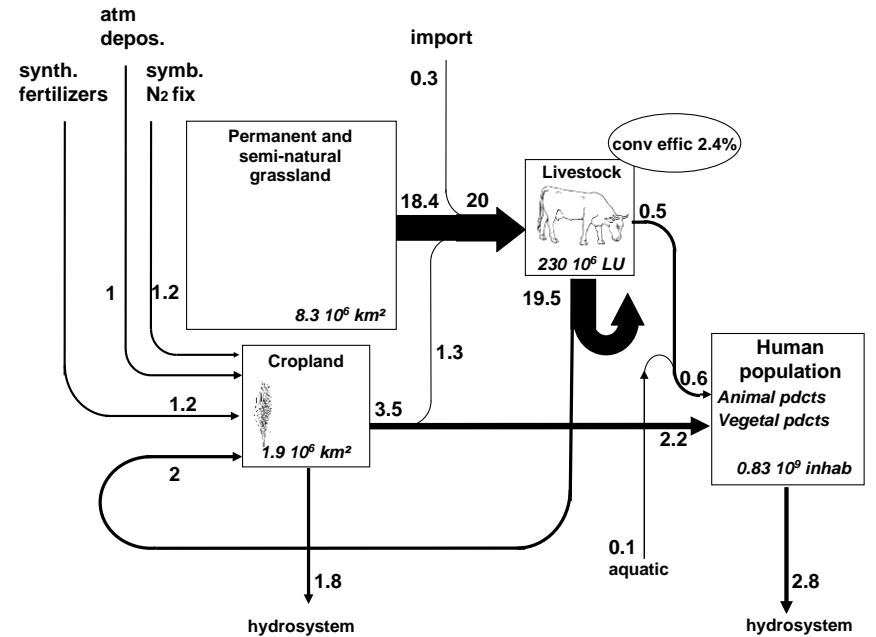


L'intensification de la fertilisation a des effets très différents selon les régions

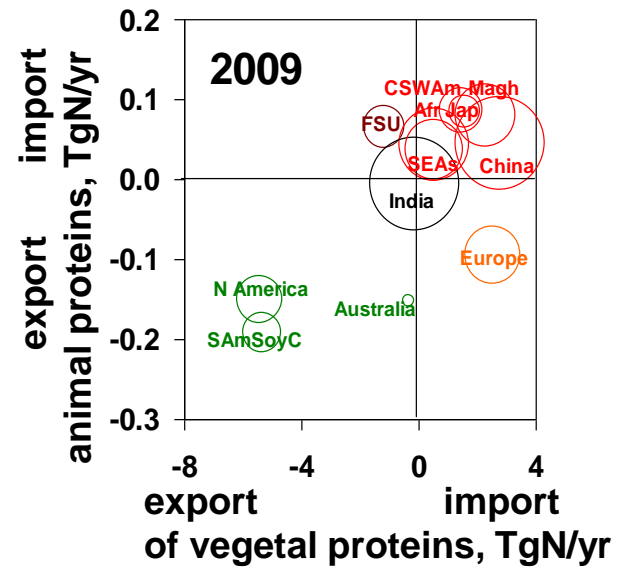
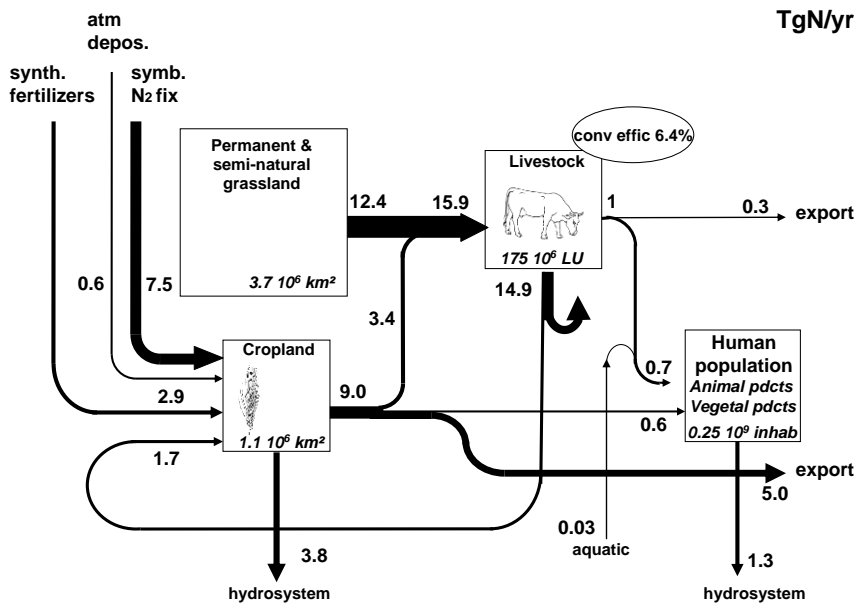
China (2009)



Africa (2009)



South American Soy countries (2009)



Exploration systématique du 'champ des possibles'

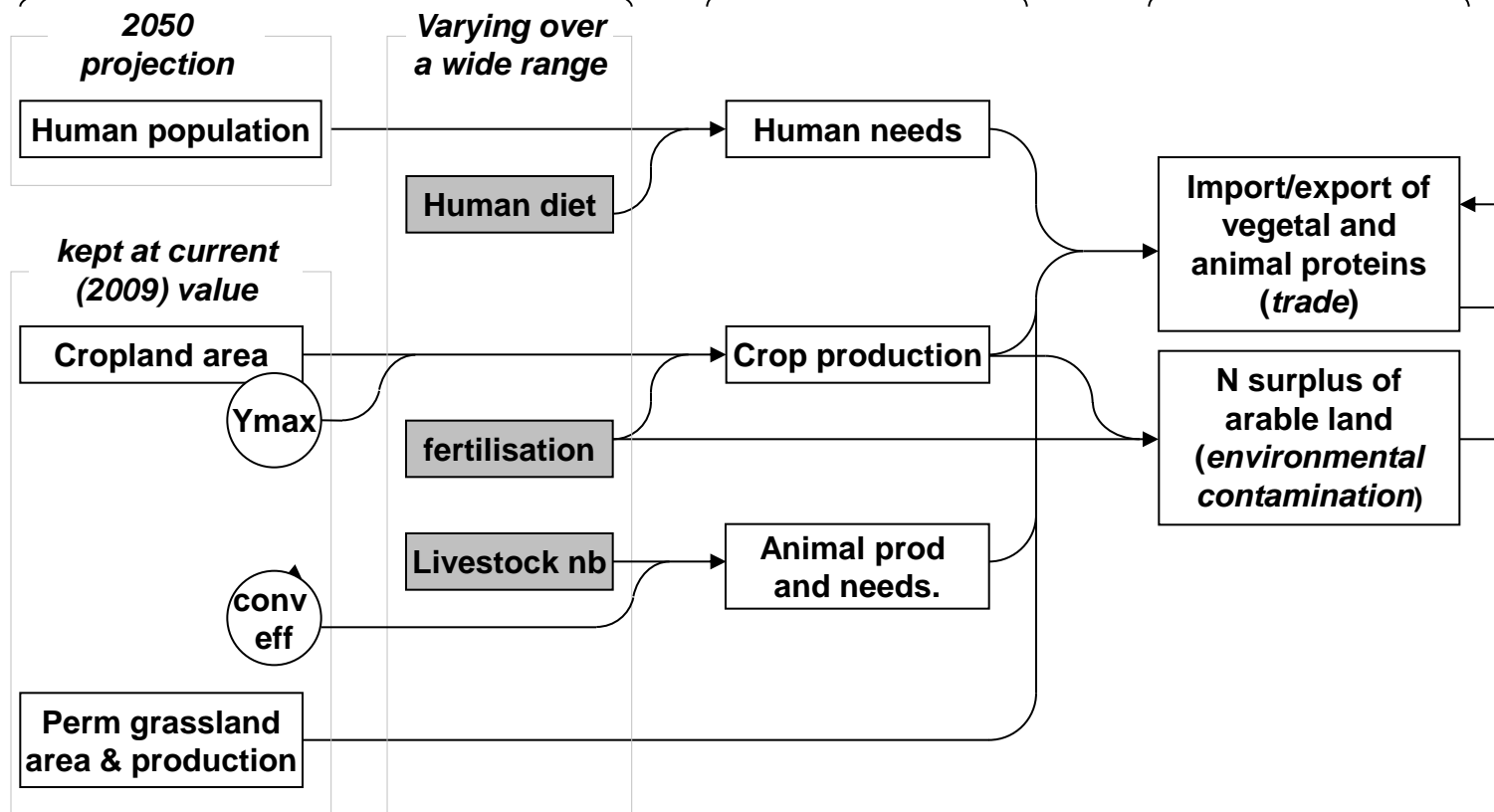
For each 12 regions

n³ scénarios par région

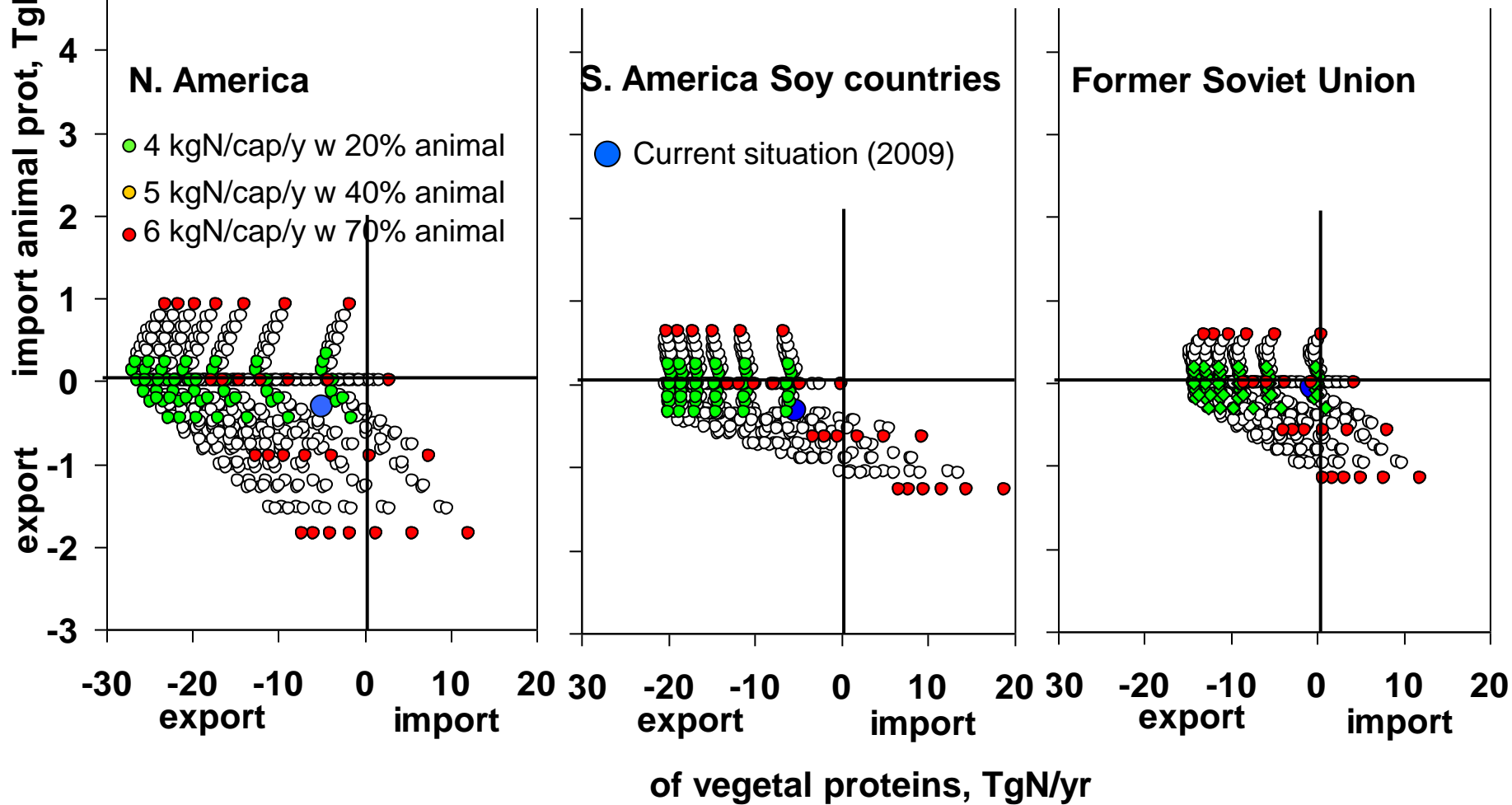
Driving variables and parameters

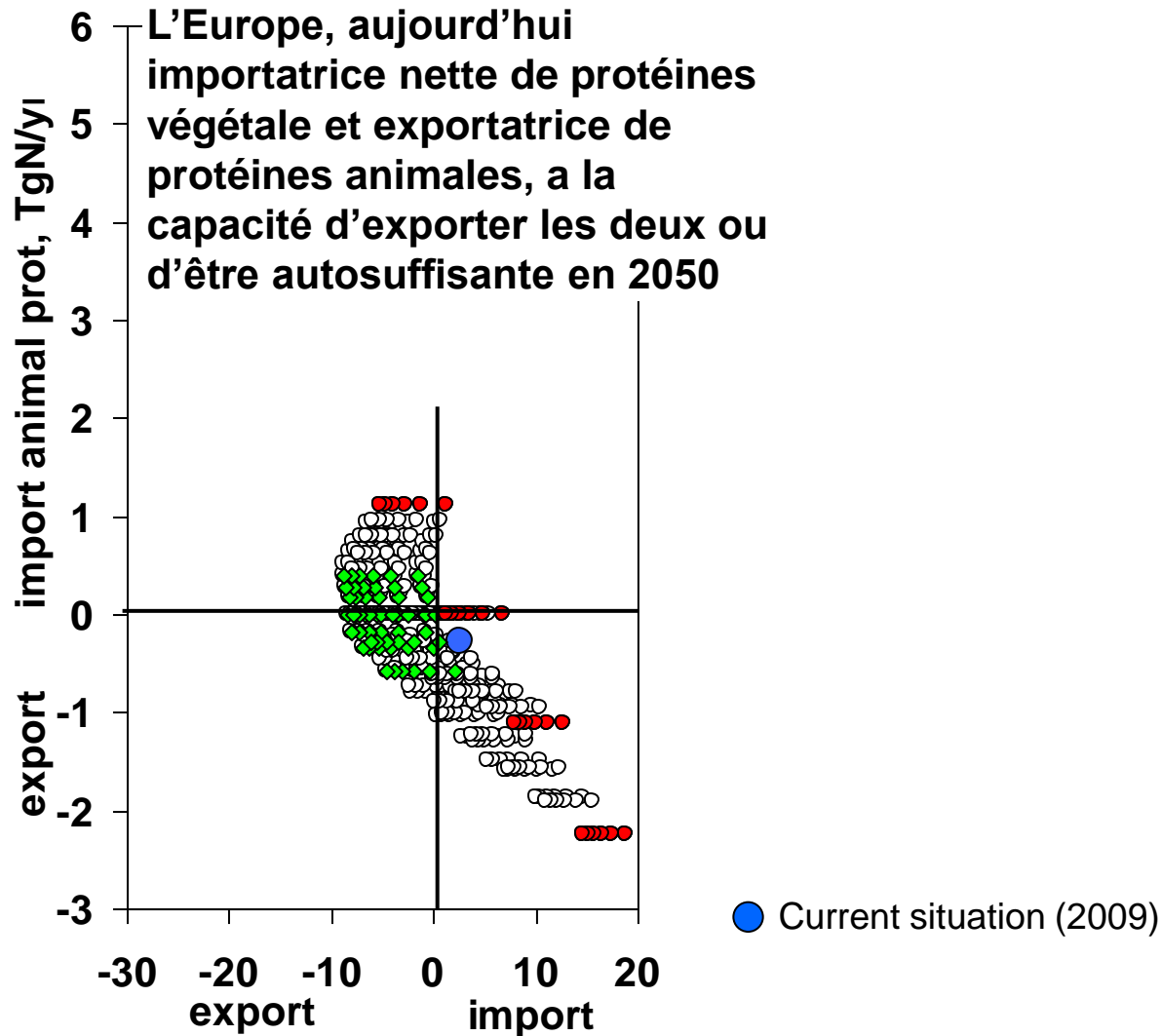
Calculated intermediate variables

Calculated variables



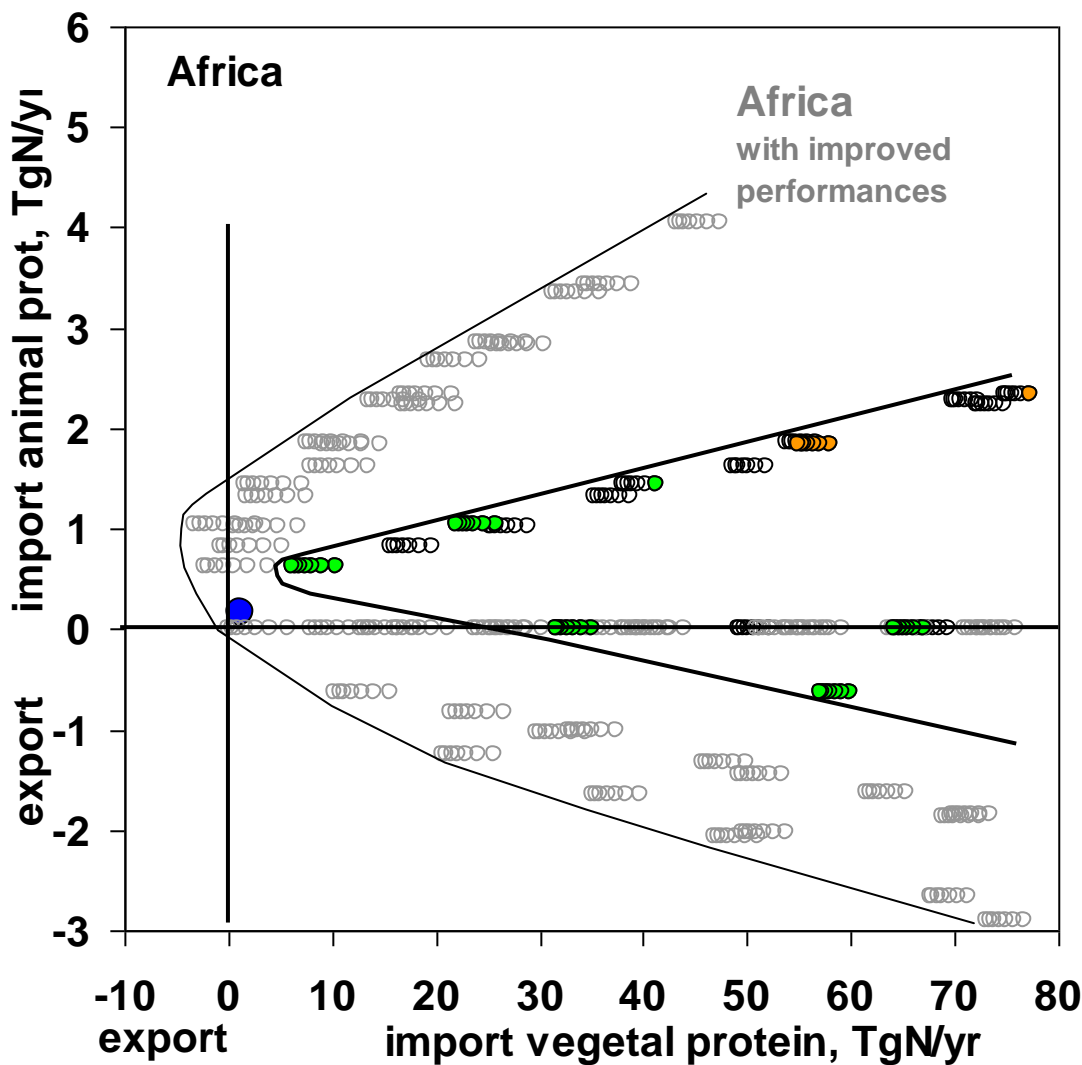
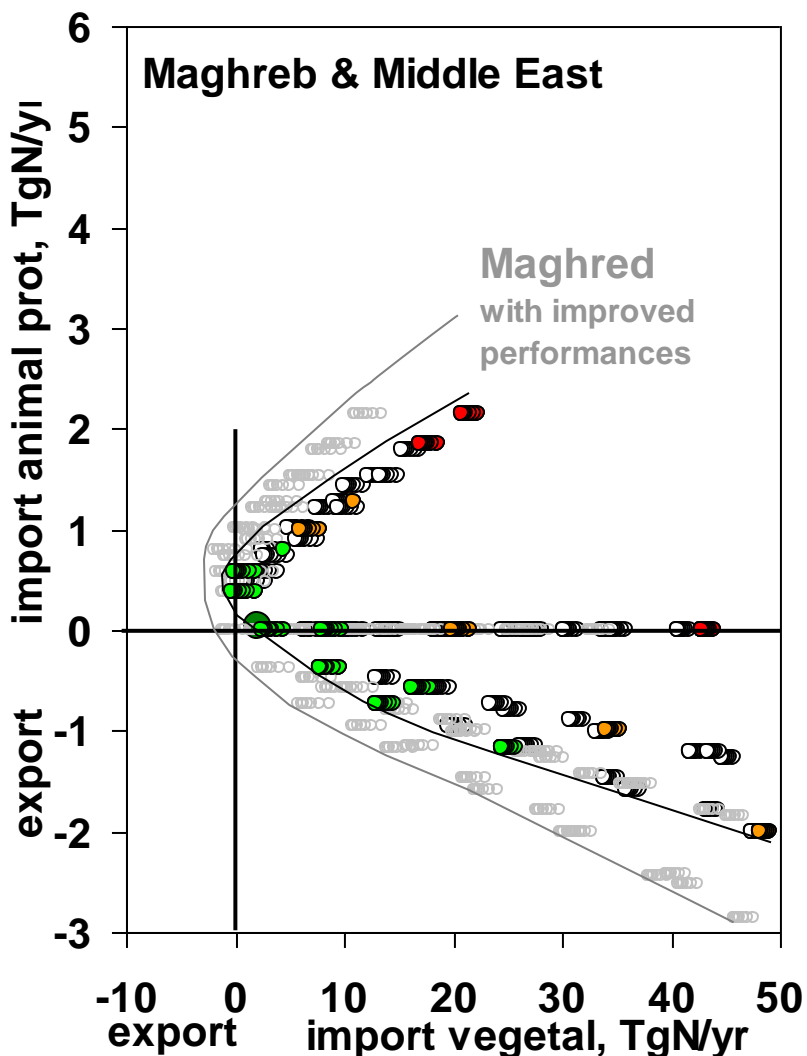
3 regions ont déjà, et auront encore en 2050, la capacité d'exporter des protéines végétales et animales, en quantité dépendante de leur régime alimentaire



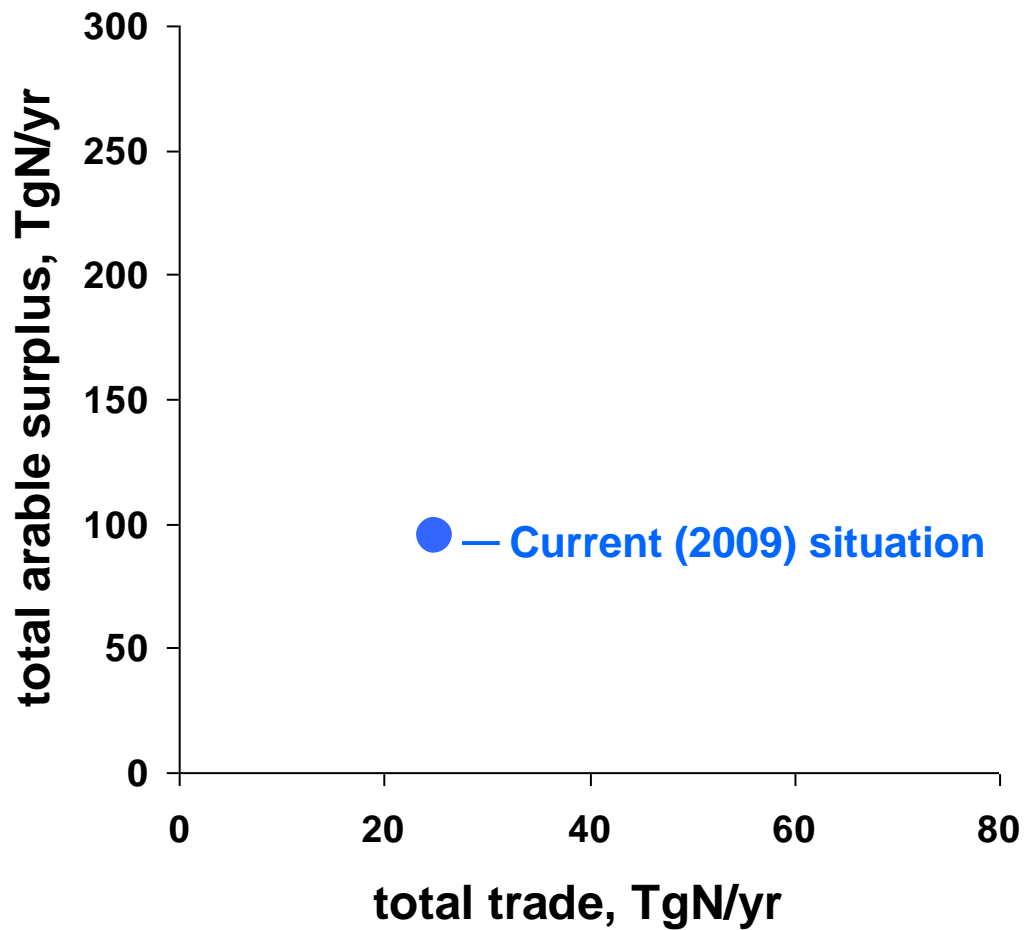


3 macro-regions (Afrique Sub-Saharienne, Inde, Maghreb and Moyen Orient) n'auront pas la capacité d'être autosuffisantes en 2050.

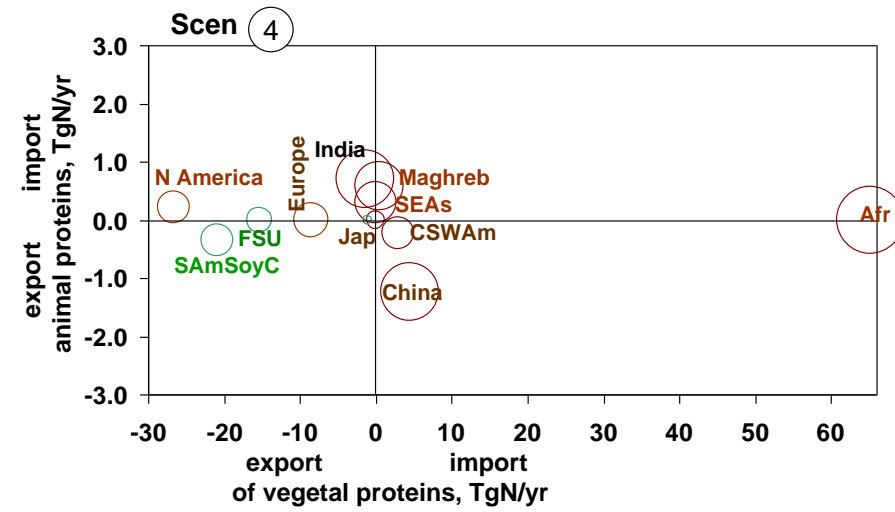
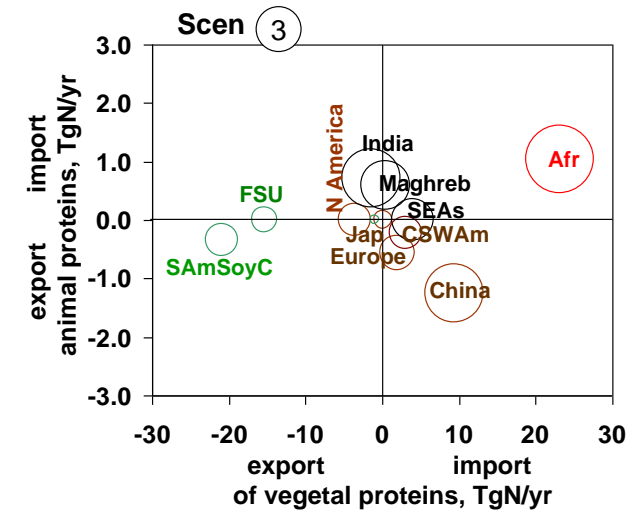
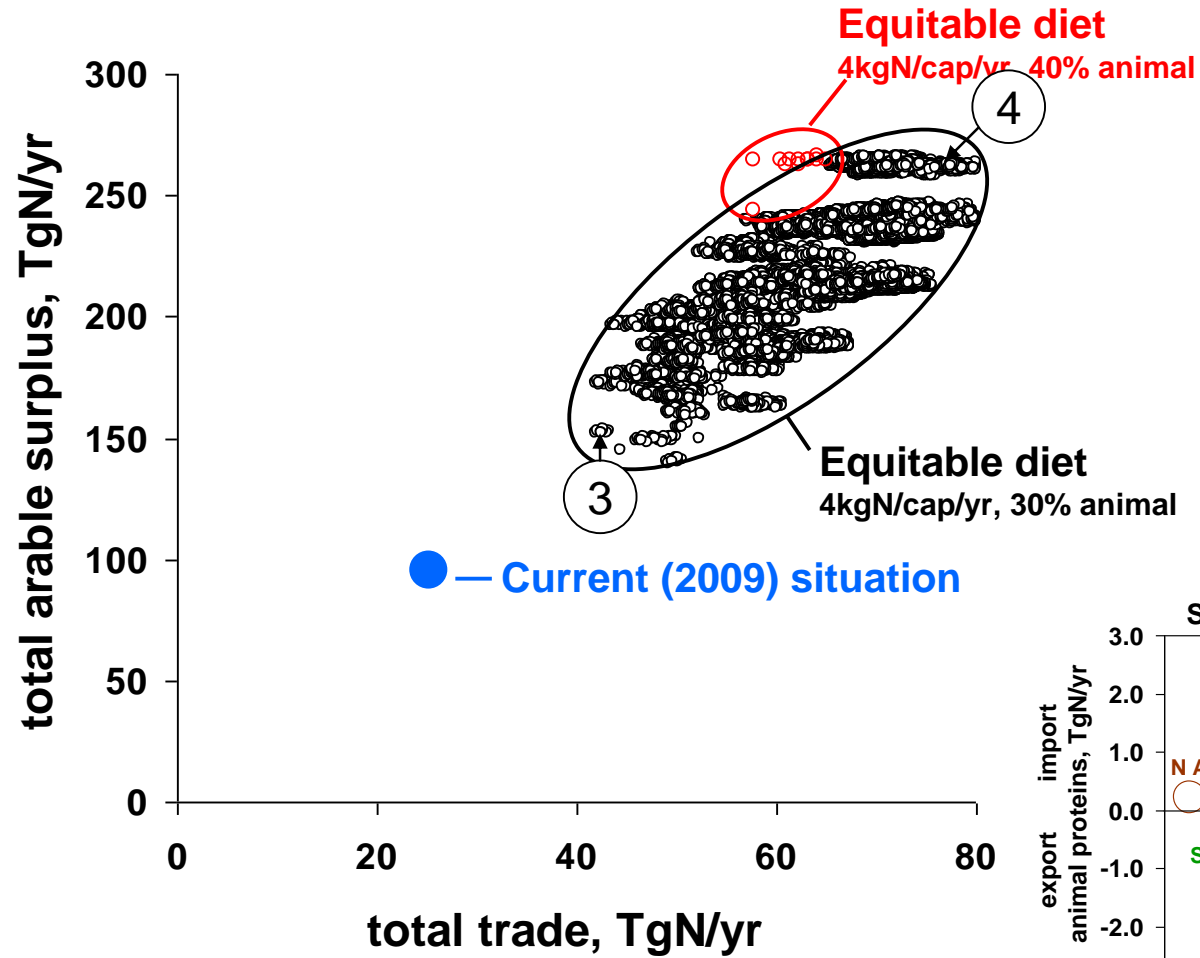
Une légère amélioration des performances agronomiques (Y_{max} à 75 kgN/ha/yr, v-a conv à 10%, 6% and 7.5% respectively) leur permettrait d'être autosuffisantes pour un régime de 4 kgN/cap/an & 20% protéines animales.



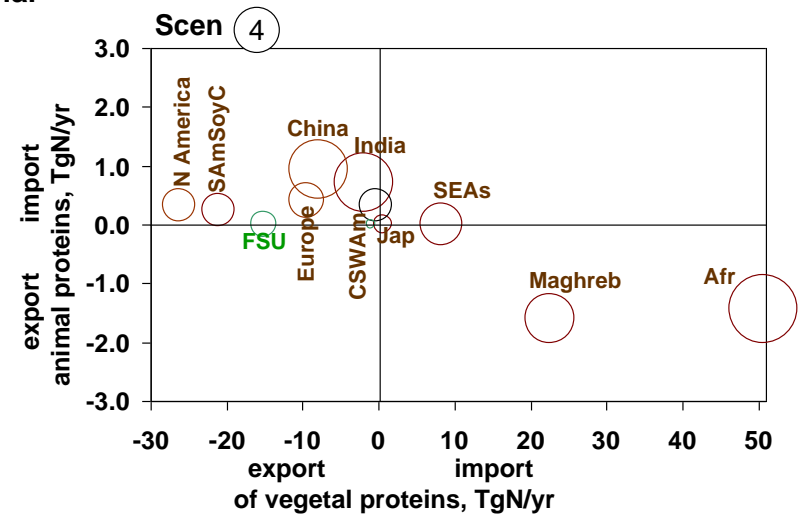
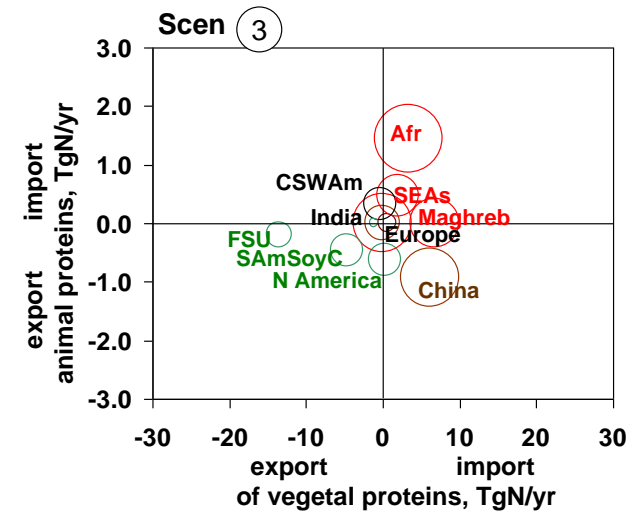
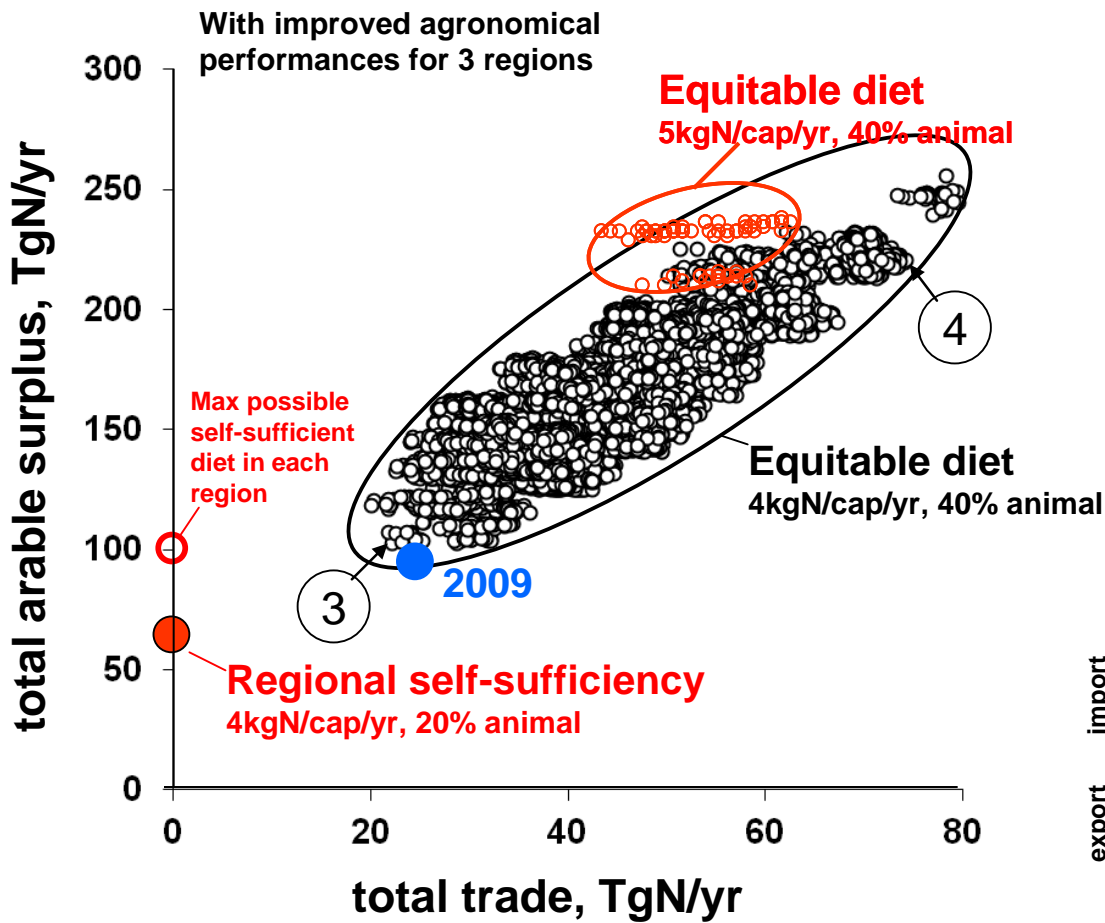
Les combinaisons éligibles de scénarios régionaux,



Les combinaisons éligibles de scénarios régionaux, avec un régime équitable



Les combinaisons éligibles de scénarios régionaux, avec un régime équitable et une amélioration des performances des 3 régions les plus déficientes (Afr SubS, Inde, Maghreb-MO)

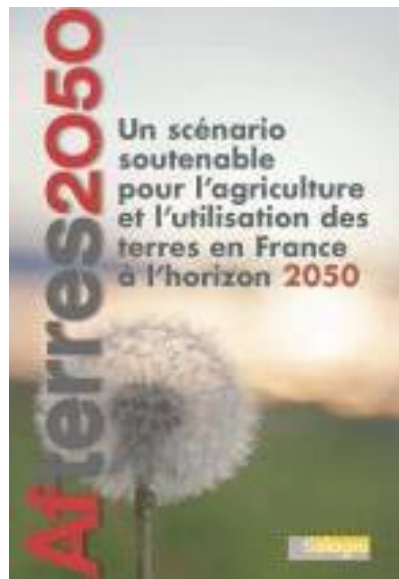
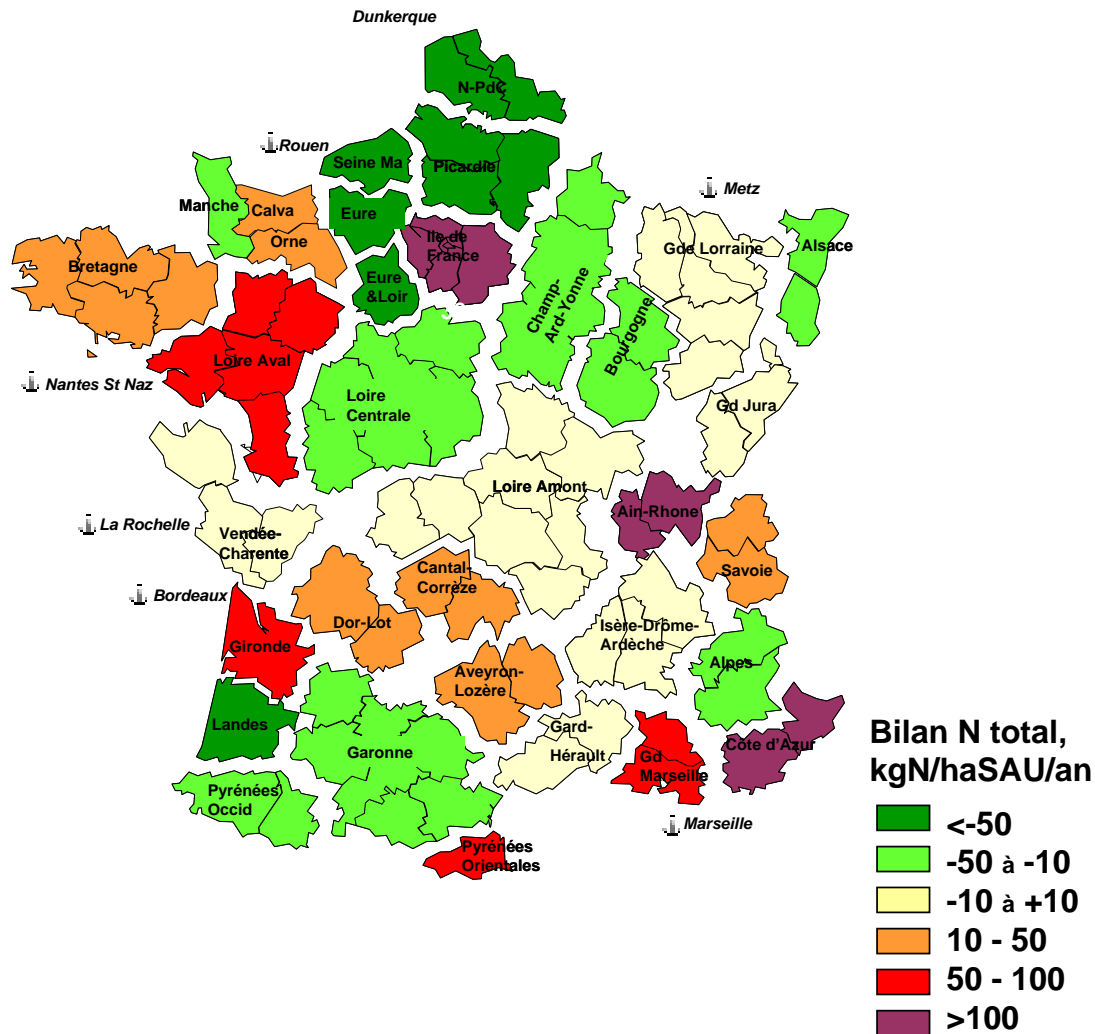


Leçons tirées de l'exploration systématique du 'champ des possibles'

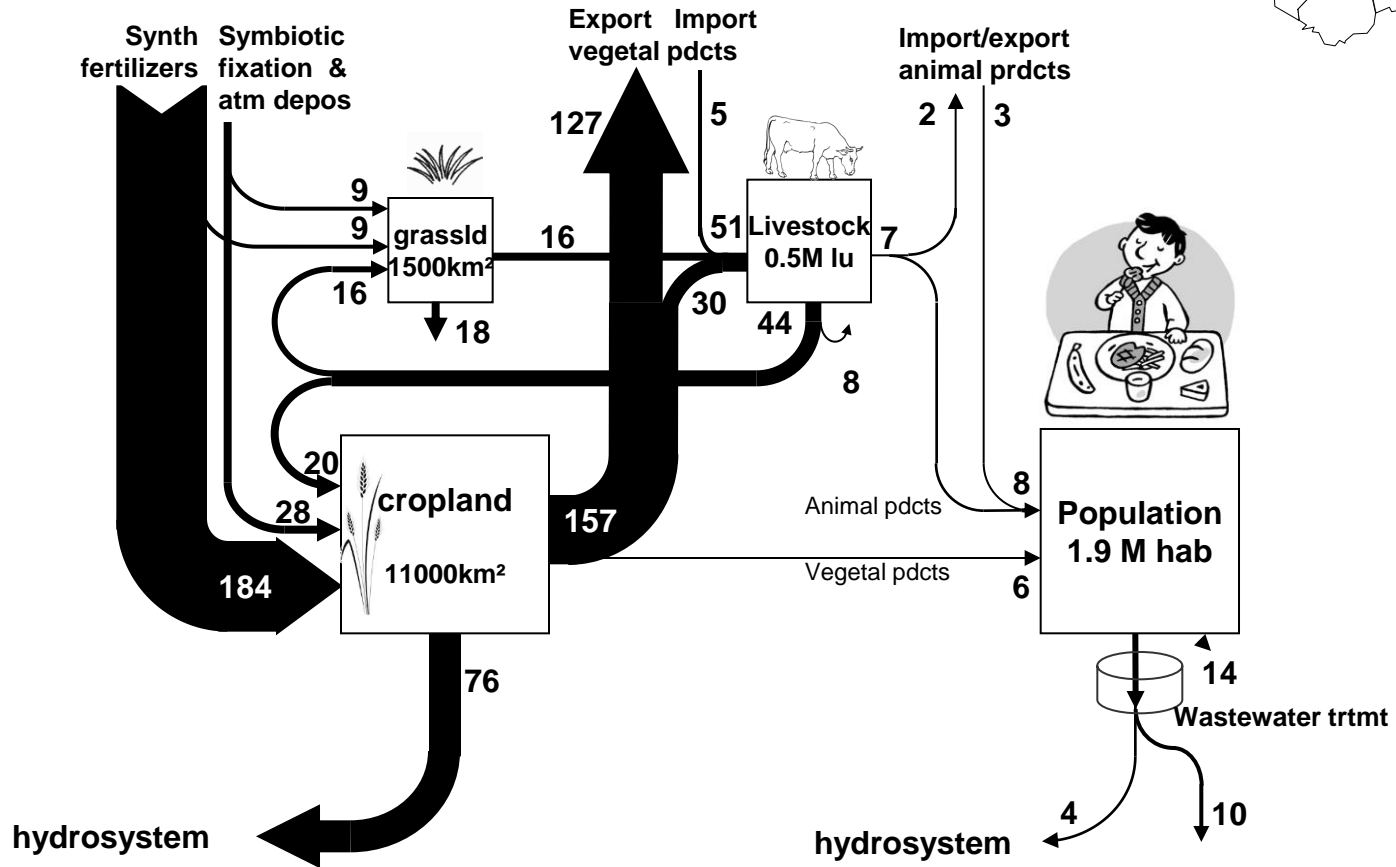
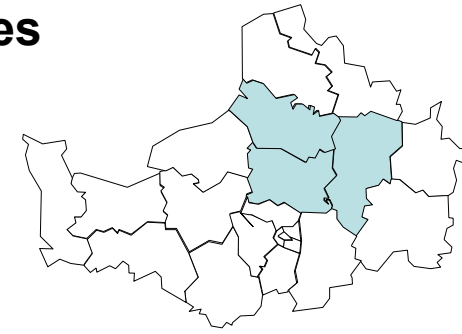
1. Il est possible de nourrir la population mondiale prévue en 2050 sans accroissement des surfaces cultivées, ni changement radical des caractéristiques des systèmes de cultures
2. Le régime alimentaire équitable ne peut dépasser 4 kgN/capita/an avec 40% de protéines animales (ou 5 kgN/capita/an et 20% de protéine animales)
3. Un accroissement considérable des flux d'échanges inter-régionaux de denrées agricoles, et de la contamination azotée de l'environnement risque de se produire. Toutefois, plus les régions seront proches de l'autonomie alimentaire, plus faible sera la contamination environnementale globale.
4. L'amélioration des performances agronomiques (Y_{max} , v-a conv) des 3 régions les plus déficientes (Maghreb/Moy Orient, Afrique SubS et Inde) permettrait de nourrir le monde avec beaucoup moins de commerce international (plus de souveraineté alimentaire) et moins d'intensification agricole (moins de contamination azotée).

5. Relocaliser l'approvisionnement alimentaire en France

Bilan du commerce longue distance de denrées alimentaires
(en N) par territoires agricoles, rapporté à la SAU

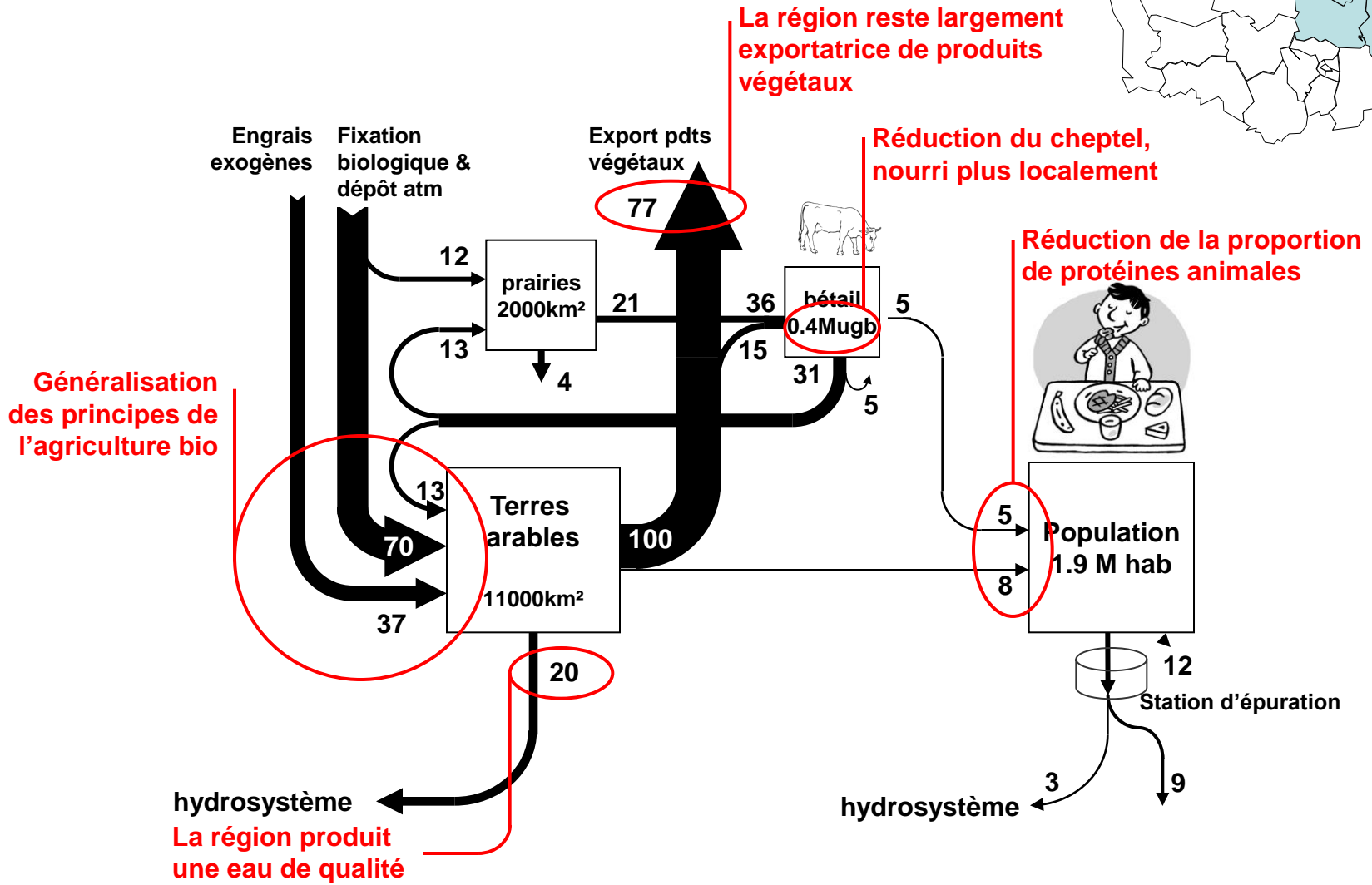
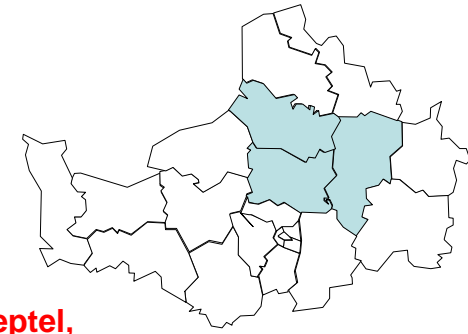


La Picardie: l'exemple d'un territoire exportateur de céréales



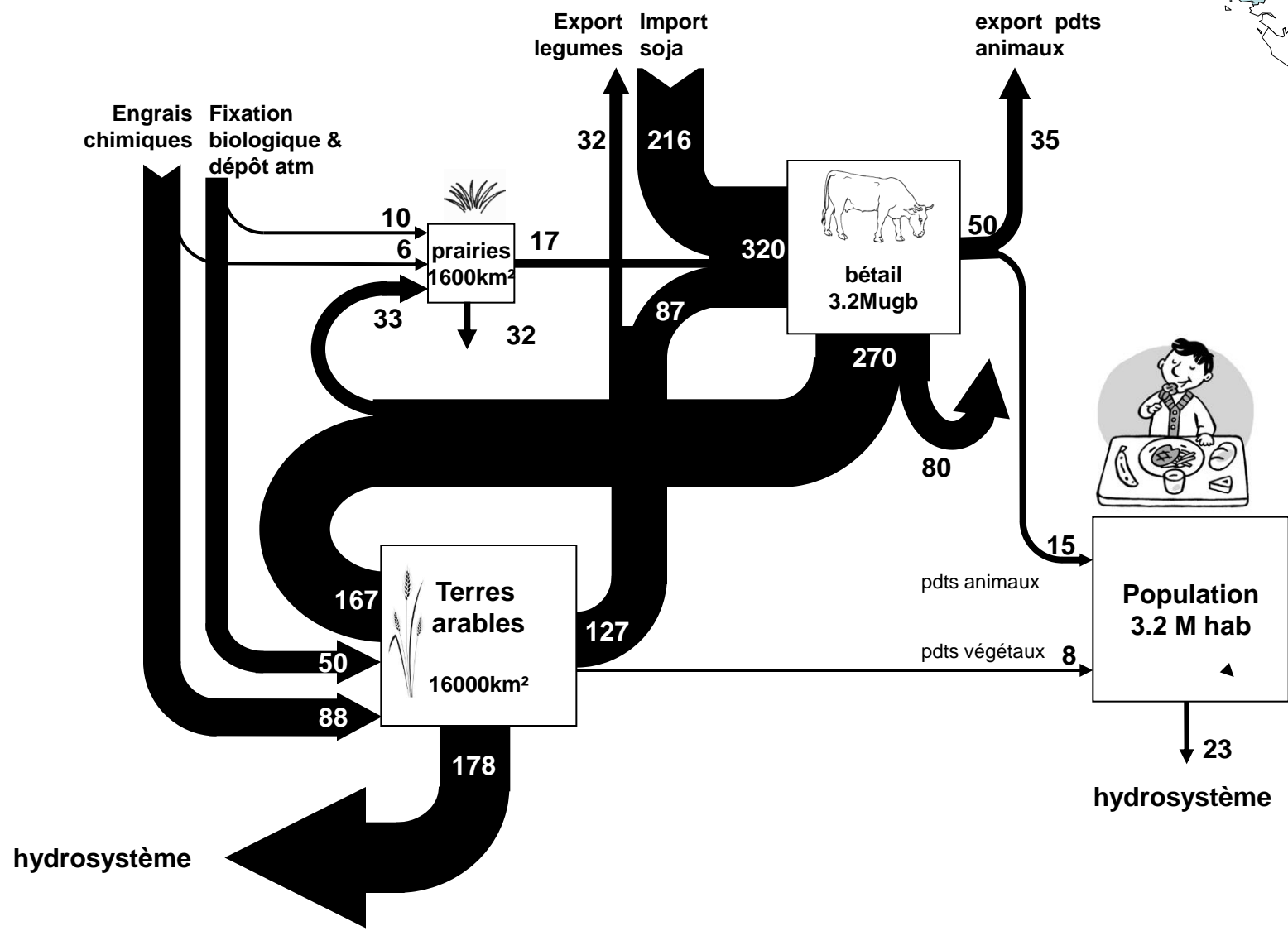
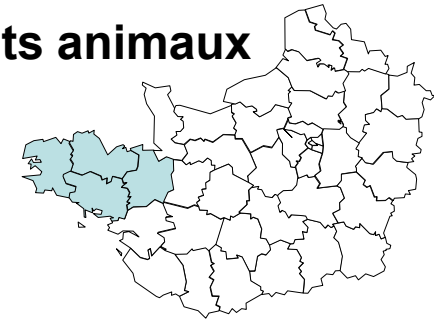
Picardie 2006, 1000 tons N / yr

Un scénario pour la Picardie en 2050?



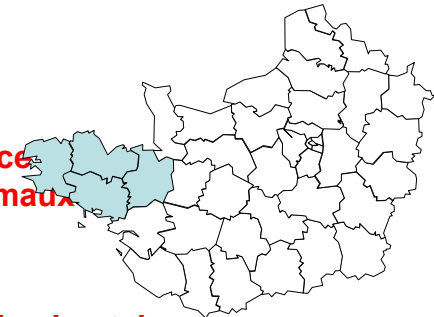
Picardie, milliers de tonnes d’N / an

La Bretagne: l'exemple d'un territoire voué à l'export de produits animaux

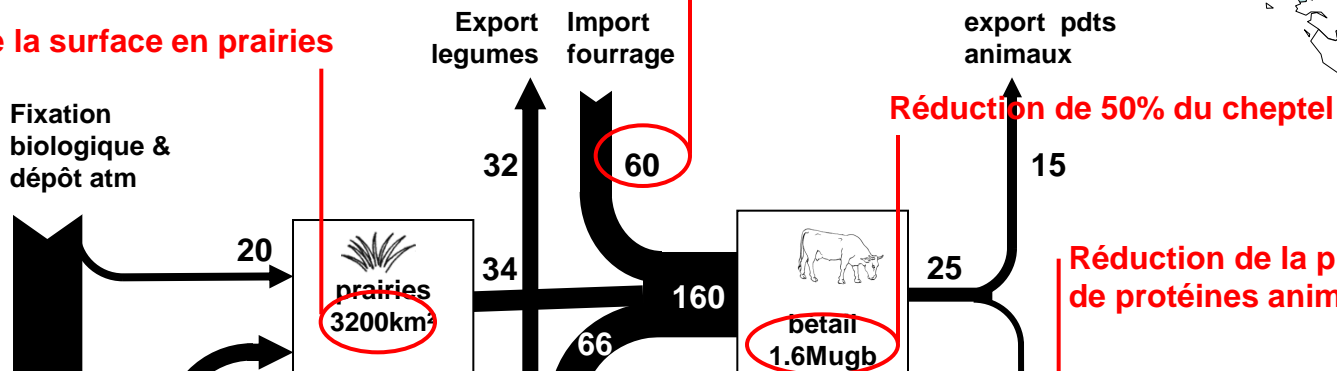


Bretagne 2006, 1000 tons N / yr

Bretagne 2050 ? milliers de tonnes d'N / an



Doublment de la surface en prairies



Réduction par 4 de la dépendance importations d'aliment pour animaux

Réduction de 50% du cheptel

Réduction de la proportion de protéines animales



Généralisation des principes de l'agriculture bio

hydrosystème

hydrosystème

Réduction de moitié de la pollution azotée

Conclusions

1. L'intensité de la fertilisation azotée reste le principal déterminant de la production agricole, mais aussi des pertes environnementales d'azote.
Il existe une relation robuste entre apport total d'azote au sol, rendement et pertes d'azote.
2. Un accroissement de l'efficacité d'utilisation de l'azote n'a été le plus souvent possible que grâce à une réduction de la fertilisation, même si les progrès agronomiques permettent parfois d'améliorer les paramètres de la relation rendement fertilisation.
3. A l'échelle mondiale comme à l'échelle régionale, l'accroissement de l'autonomie alimentaire locale et de la complémentarité des systèmes de culture et d'élevage se révèle une stratégie préférable pour l'environnement à la spécialisation régionale des productions et l'accroissement des échanges longue distance.