



Assemblée générale Bio Centre  
Lycée Agricole de La Saussaye- 04 avril 2019



# Agriculture biologique et qualité de l'eau

## Intérêts de la complémentarité cultures-élevages

*Juliette Anglade, INRA ASTER-Mirecourt*



# Plan de la présentation

## **1. Le cycle de l'azote et l'agriculture**

Comment fonctionne un écosystème?

De quoi sommes nous faits et de quoi avons-nous besoin ?

Une brève histoire de l'agriculture dans le Nord de la France

La cascade de l'azote

## **2. Éléments de méthodologie pour l'évaluation des pertes en nitrates**

Le bilan d'azote des sols agricoles (terres arables et prairies)

L'évaluation de la fixation symbiotique

## **3. Analyse des performances de l'agriculture biologique**

Performances de l'AB dans le bassin de la Seine

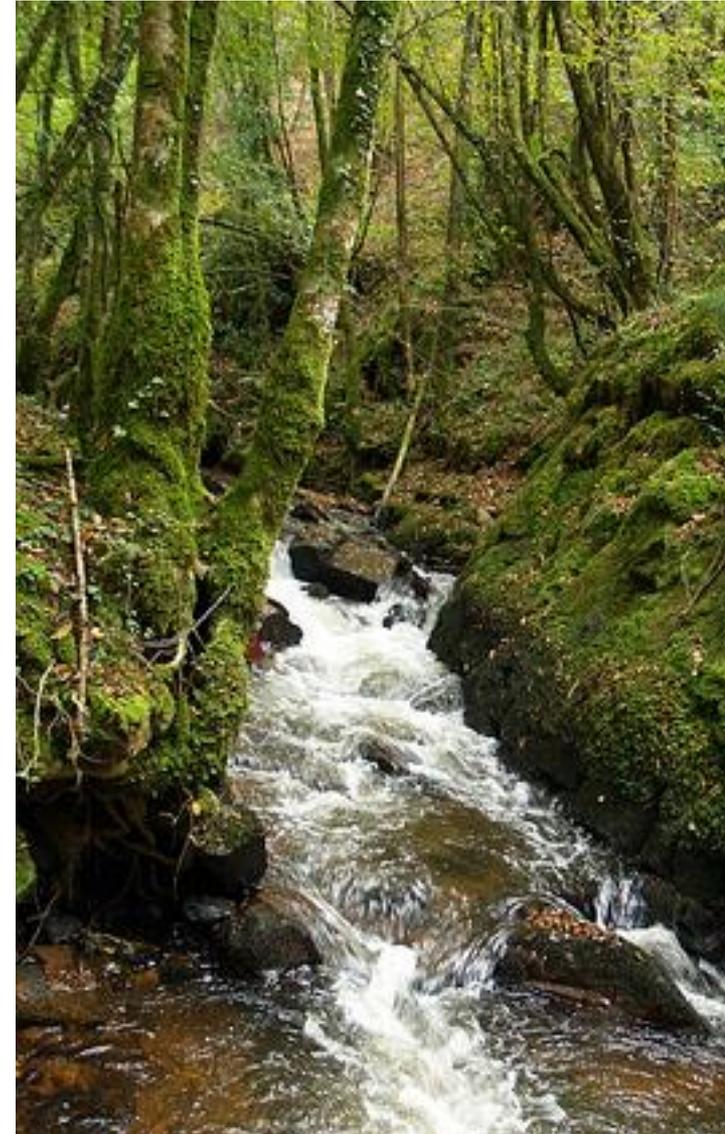
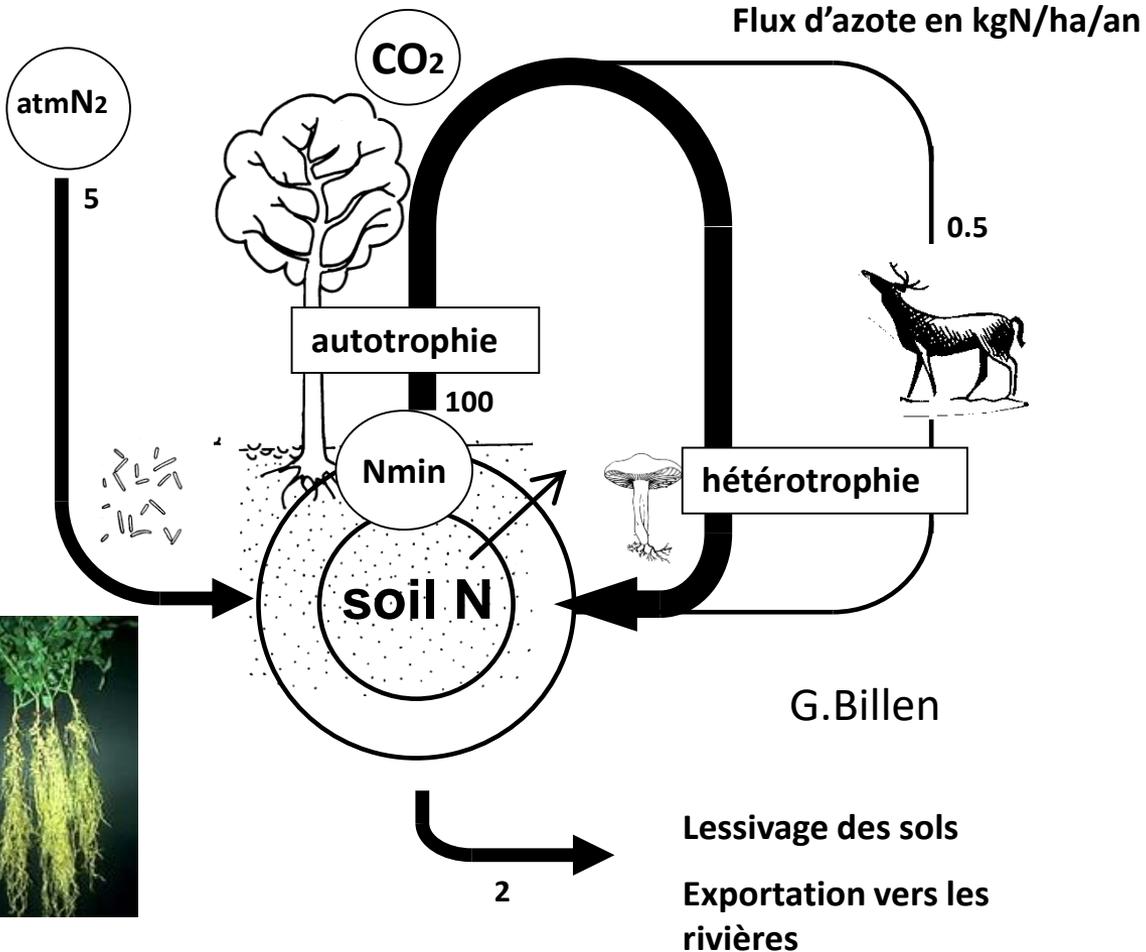
La spécificité de la question du maraîchage

Scénario de reconquête ovine sur un territoire à enjeu eau

# Le fonctionnement d'une forêt

Les pertes d'N sous forêt sont très faibles.

La fixation d'azote atmosphérique compense les pertes locales d'azote réactif.

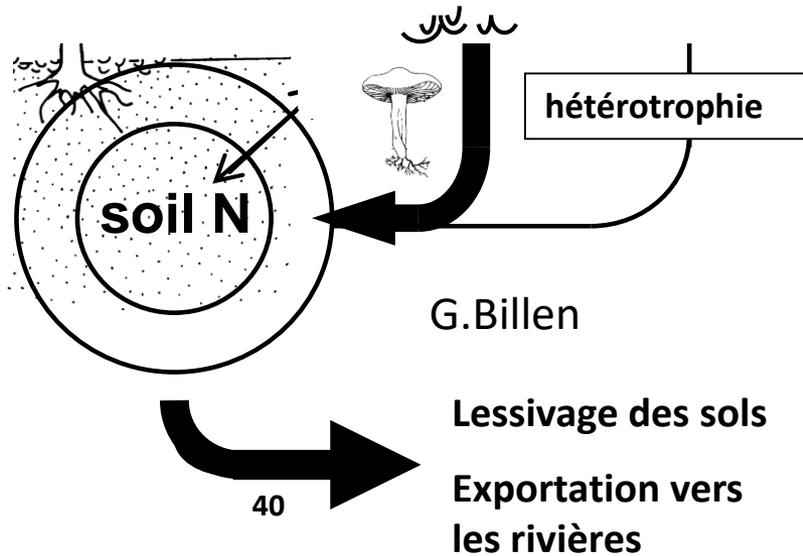


Dans les écosystèmes naturels, la végétation terrestre maintient très faible la concentration en nitrates du sol susceptibles d'être entraînés par l'eau de pluie percolant à travers le sol.

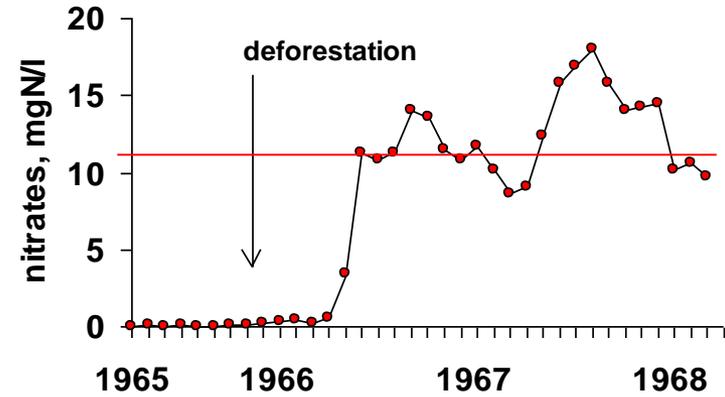
# Ouverture du cycle de l'azote

## Coupe à blanc d'une forêt

Arrêt du  
prélèvement  
d'azote minéral  
par la biomasse



Flux d'azote en kgN/ha



# L'agriculture traditionnelle : un contexte de rareté structurale d'azote réactif dans l'environnement

Capacité à exporter protéines d'un écosystème tout en assurant la restitution au sol d'une quantité d'azote équivalente

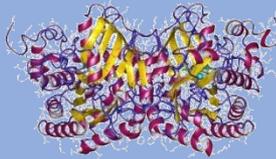


Azote atmosphérique  $N_2$   
inerte

Azote réactif:

$NH_3$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2...$

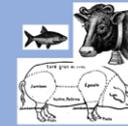
**N organique:** protéines, matériel génétique  
(acides nucléiques)



Fixation  
symbiotique



Méthionine  
Tryptophane  
Thréonine  
Phénylalanine  
Valine  
Leucine  
Isoleucine  
Lysine



Besoins alimentaires minimum:  
2200 kcal / pers. jour  
contenant **60 g protéines / pers. jour**

9 acides aminés  
essentiels à apporter  
par l'alimentation

# Fin XIXe s: Une étroite complémentarité entre agriculture et élevage



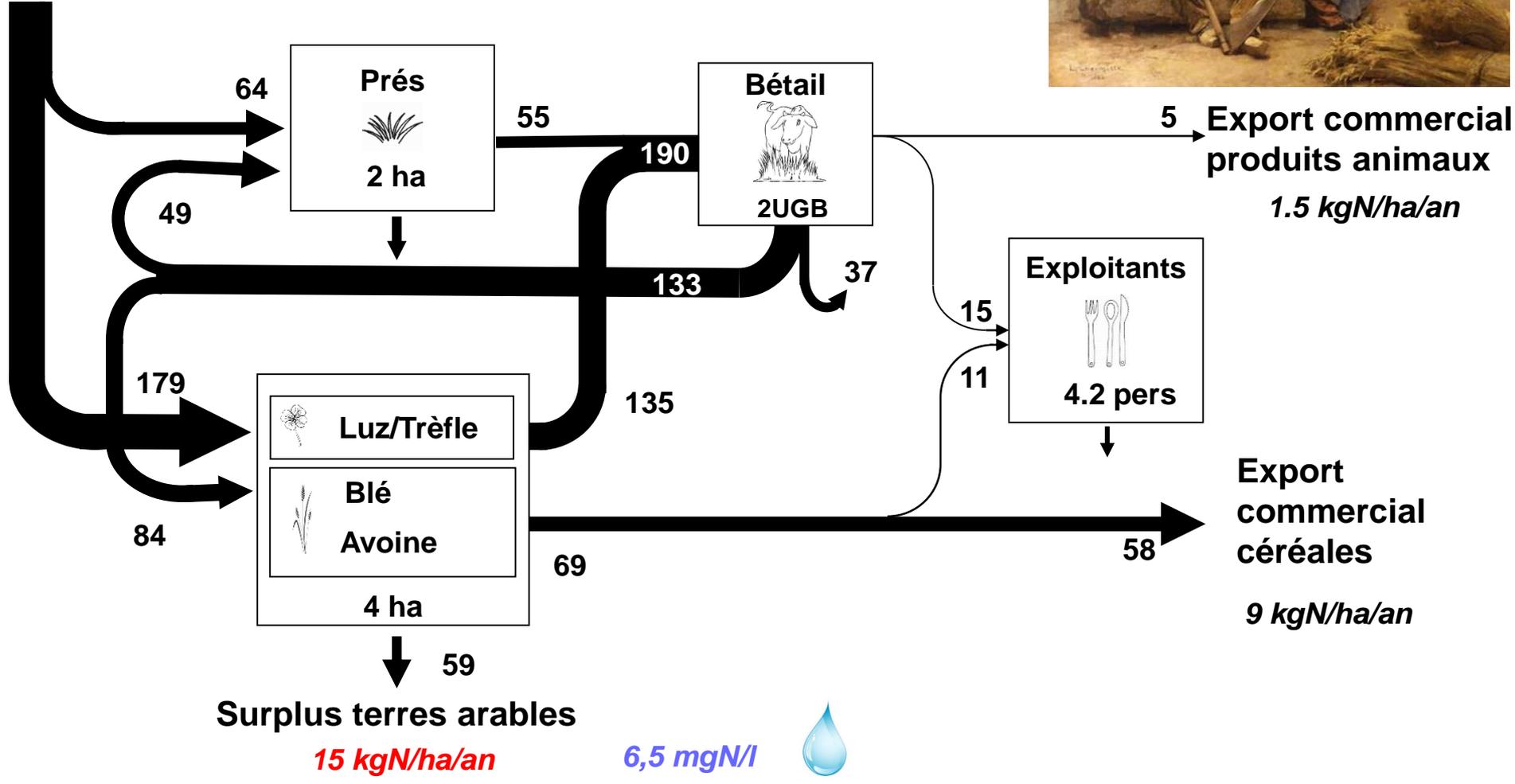
Le bétail permet d'entretenir la fertilité des sols, en restituant l'azote consommé sous forme de fourrages

# Ferme de la famille Buteau 19<sup>ème</sup> siècle

Culture – élevage à assolement triennal sans jachère

Fixation symbiotique

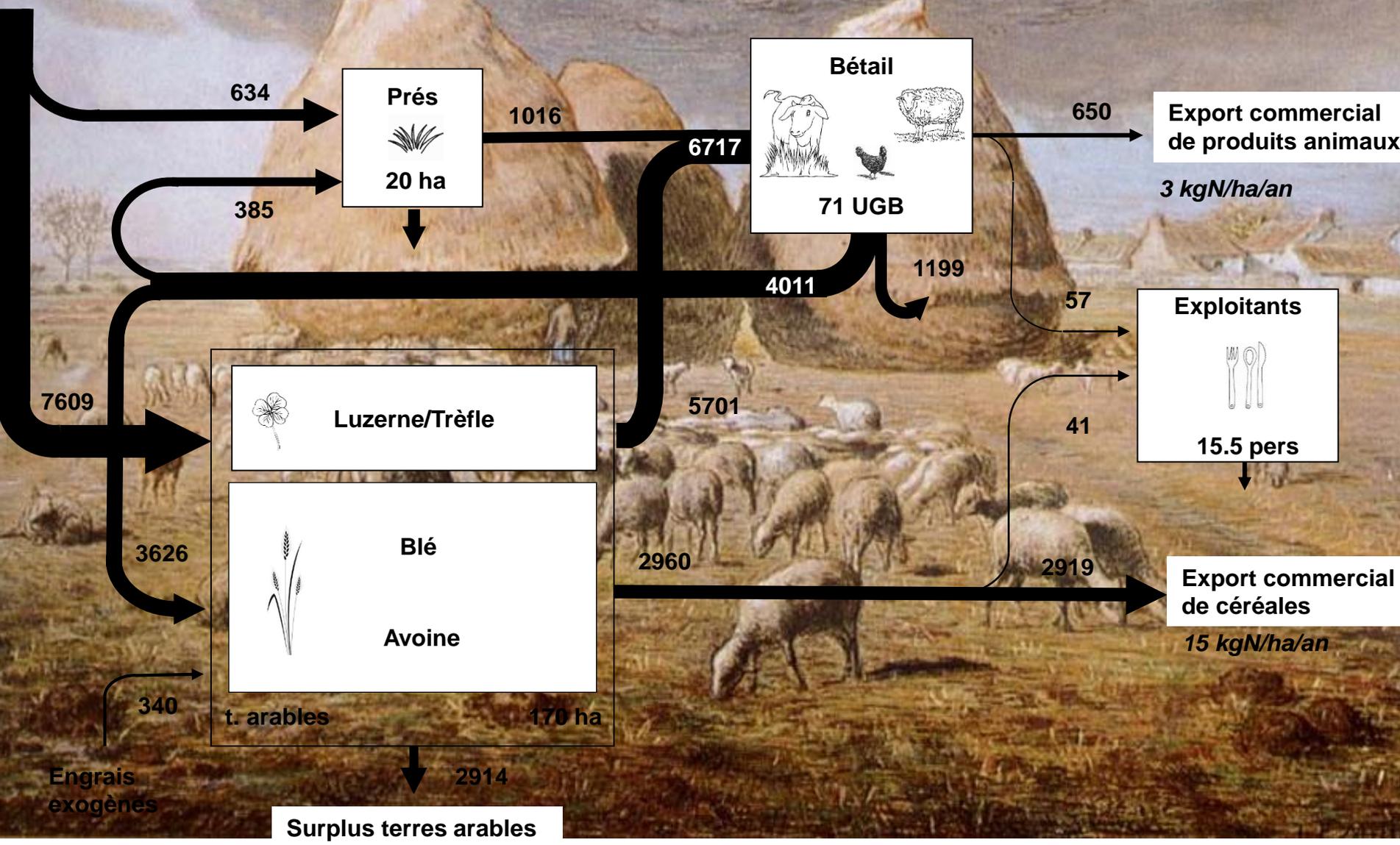
Flux d'azote en kgN/an



# Mais aussi de grands domaines avec des grands troupeaux ovins

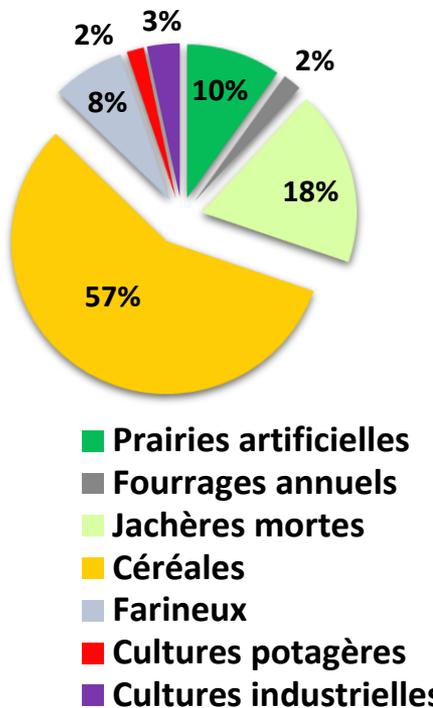
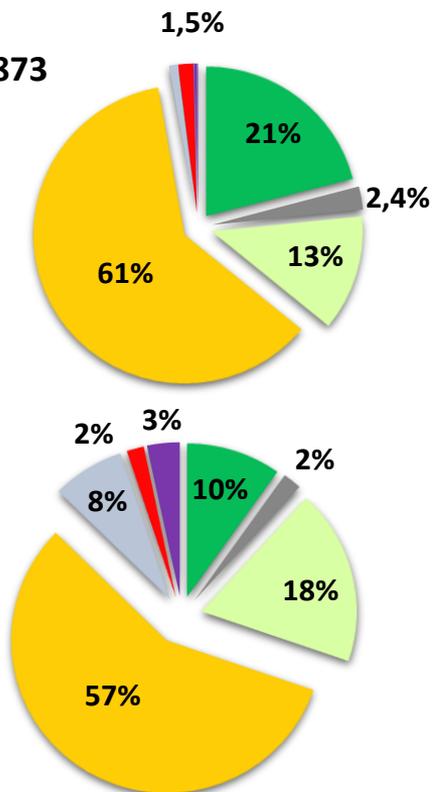
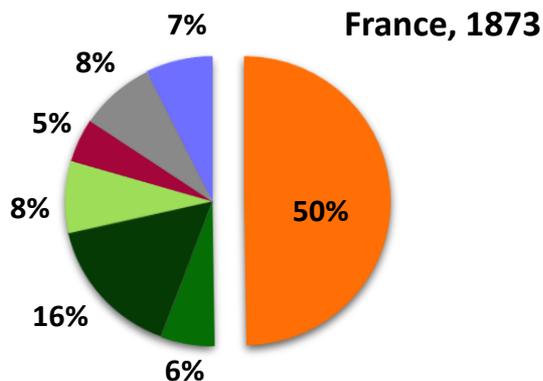
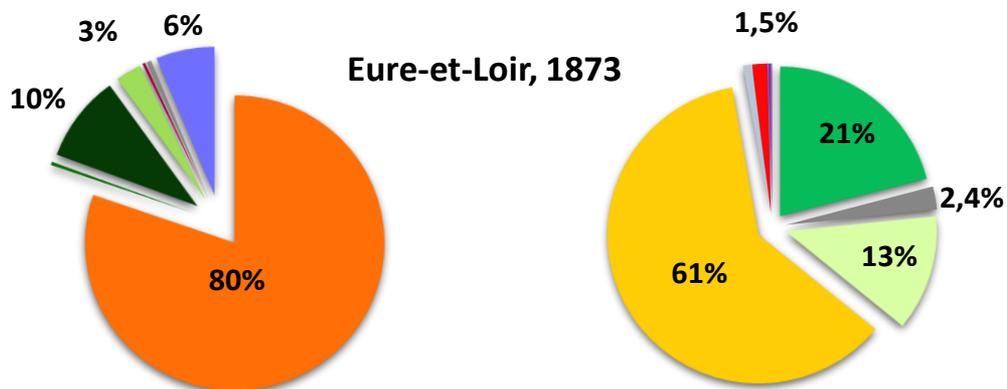
Fixation symbiotique

Flux d'azote en kgN/an



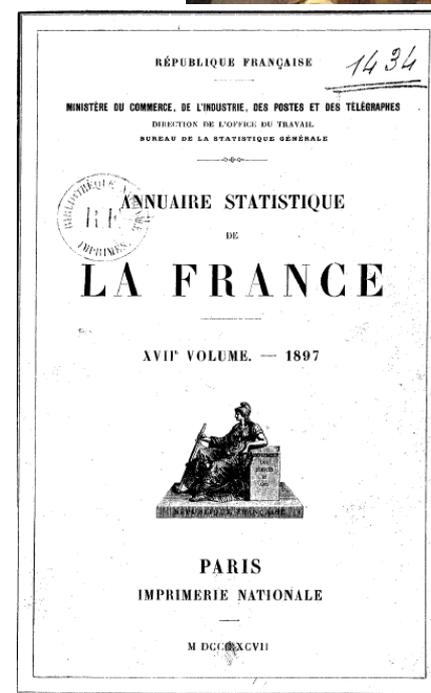
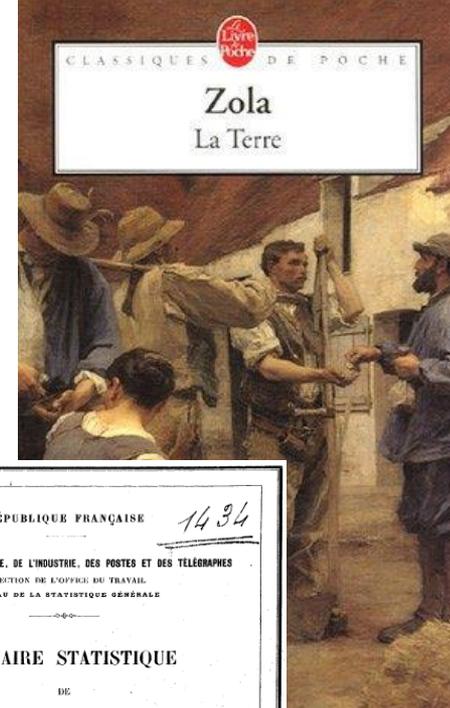
# La Beauce : le grenier à blé de Paris

Une région déjà spécialisée dans la production céréalière



- Terres labourables
- Pâturages et pacages
- Bois
- Prairies naturelles et vergers
- Vignes
- Terres incultes
- Bâti, voies de transport

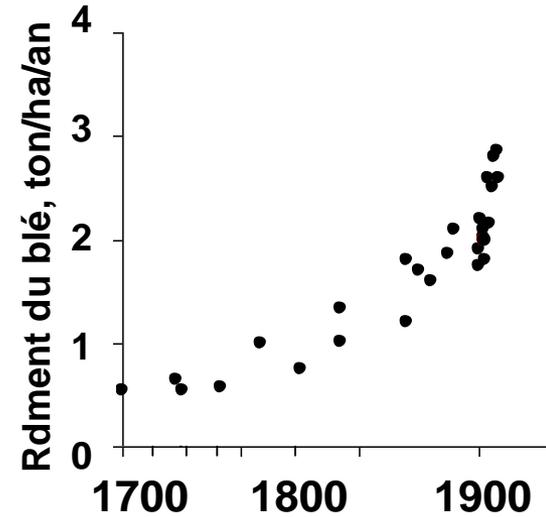
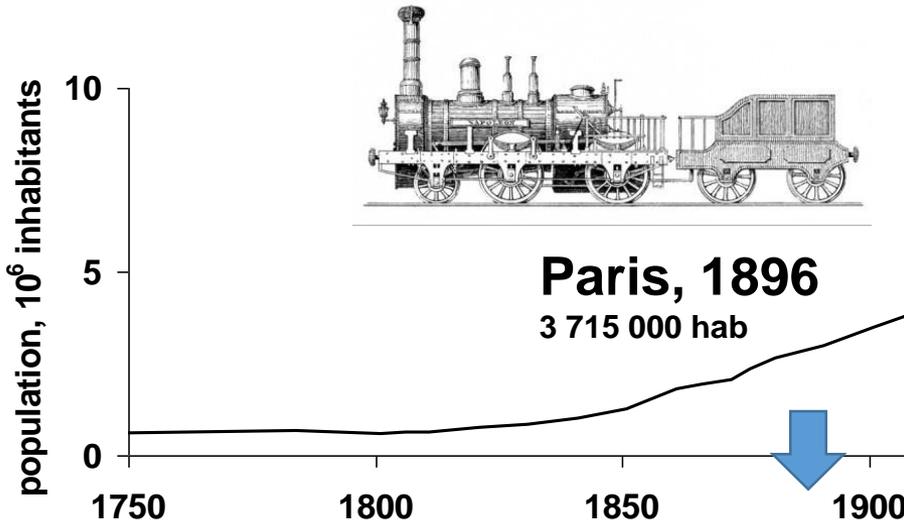
- Prairies artificielles
- Fourrages annuels
- Jachères mortes
- Céréales
- Farineux
- Cultures potagères
- Cultures industrielles



Rdt du blé : 15 à 25 qx/ha/an

« Rien que du blé, sans qu'on aperçût ni une maison ni un arbre, l'infini du blé ! » E. Zola

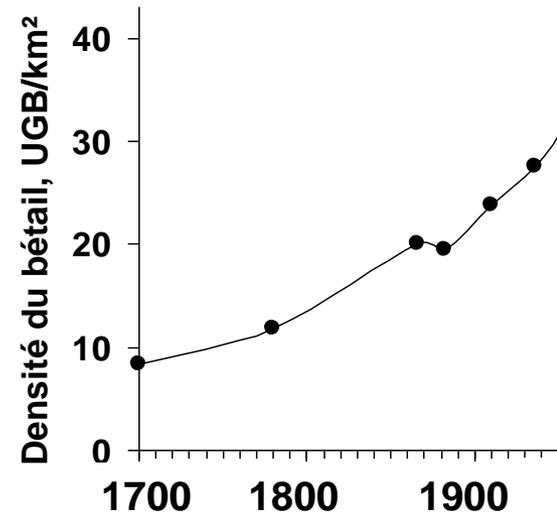
# Nourrir la ville: révolutions agricole et industrielle



□ Augmentation des rendements : assolement triennal sans jachère, plus de terres cultivées

□ Baisse prix du blé : lois du marché (offre-demande), libre-échange avec les USA

□ Augmentation de la densité de cheptel grâce aux cultures fourragères



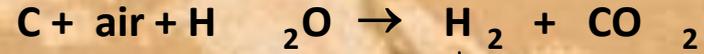
# La révolution Haber-Bosch : des explosifs aux engrais chimiques



Carl Bosch

Fritz Haber

1911: Procédé Haber-Bosch

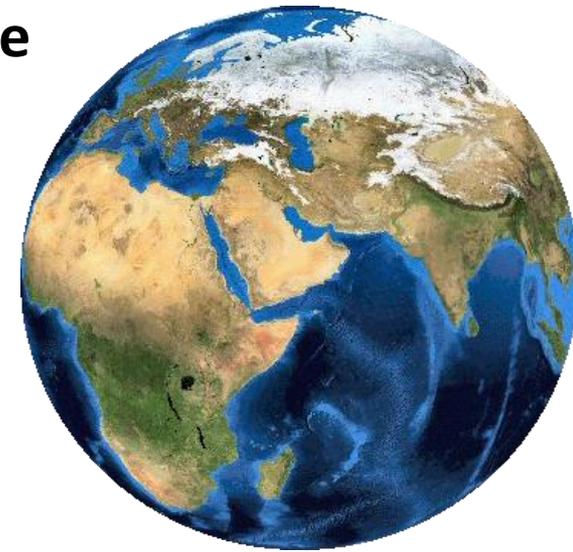
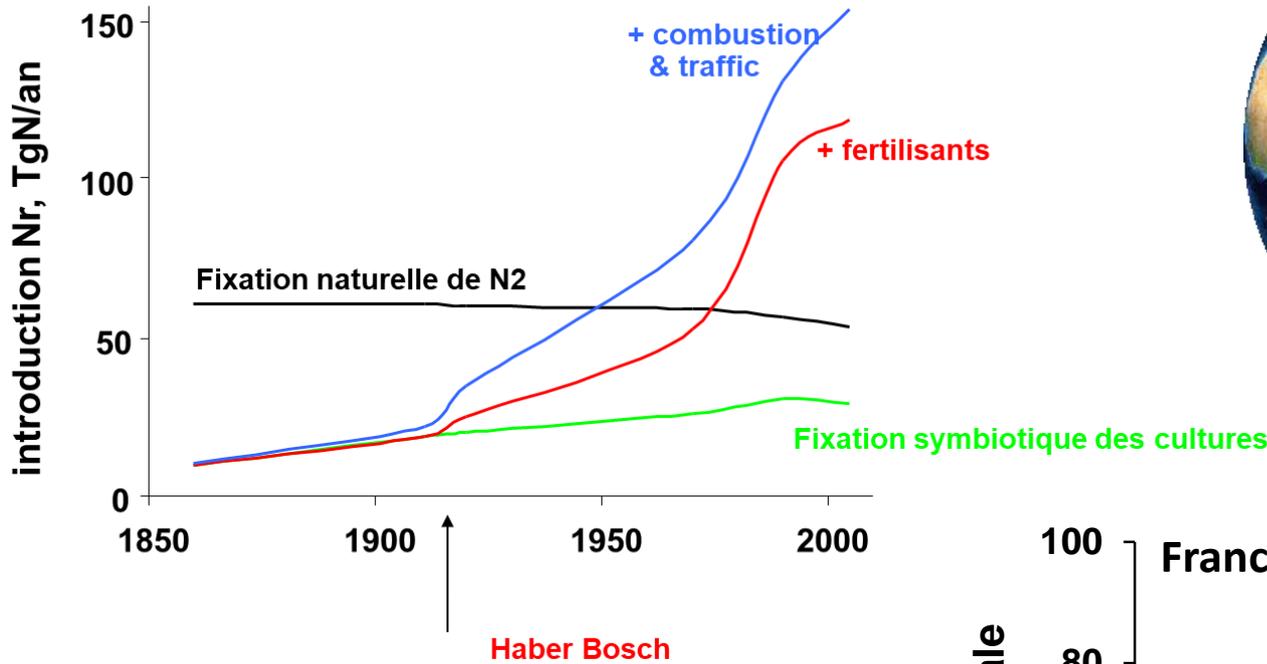


high temperature  
high pressure  
catalyst

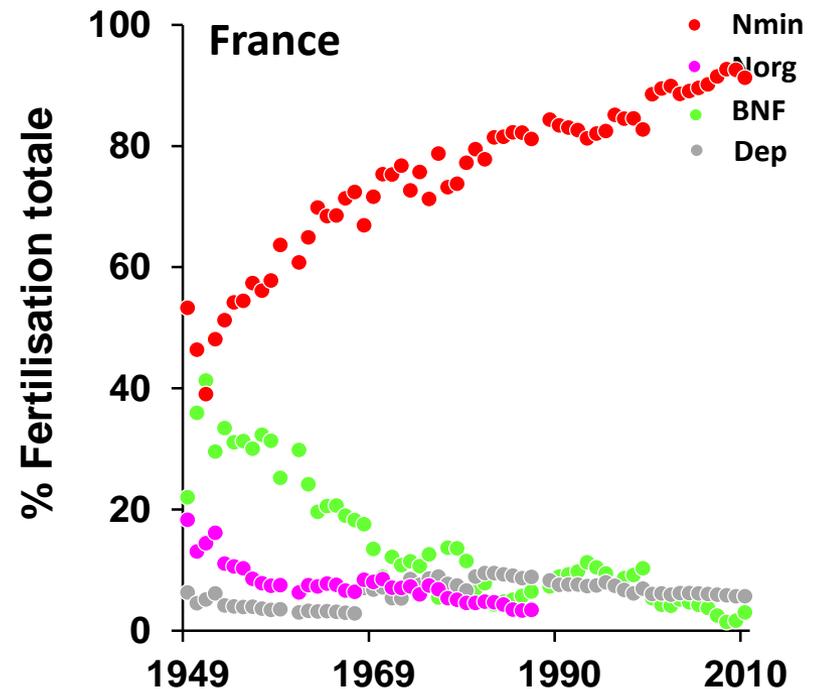
L'industrie devient capable de puiser dans le stock d'azote atmosphérique pour injecter de l'azote réactif dans le cycle biosphérique



# Perturbation du cycle de l'azote à l'échelle globale



- Depuis les années 1950, l'introduction d'azote réactif dans la biosphère par l'action humaine Nr introduction excède les quantités introduites par les processus naturels ...
- Sur les sols agricoles français la fertilisation minérale synthétique > 85 % de la totalité des apports azotés au sol

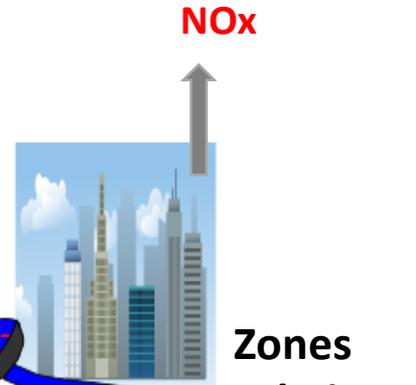
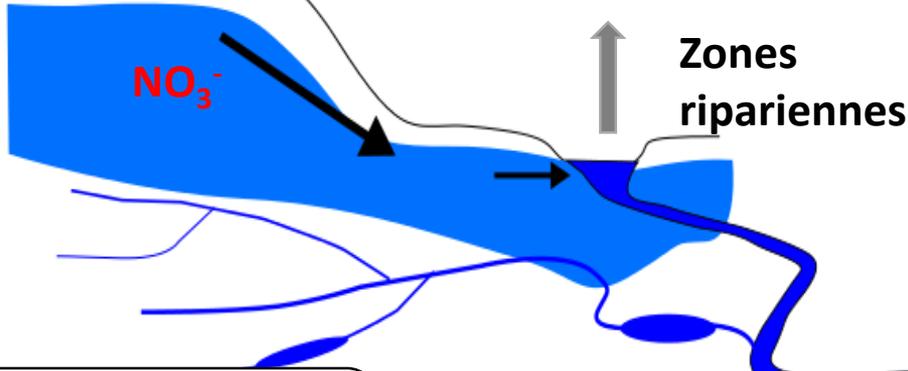
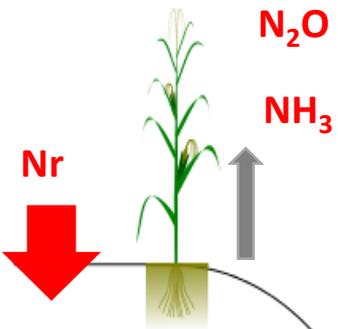


# La cascade de l'azote dans l'environnement

Excès d'apports organiques en zones d'élevage



Excès d'apports minéraux en zones de grandes cultures



**1** Contamination eaux souterraines

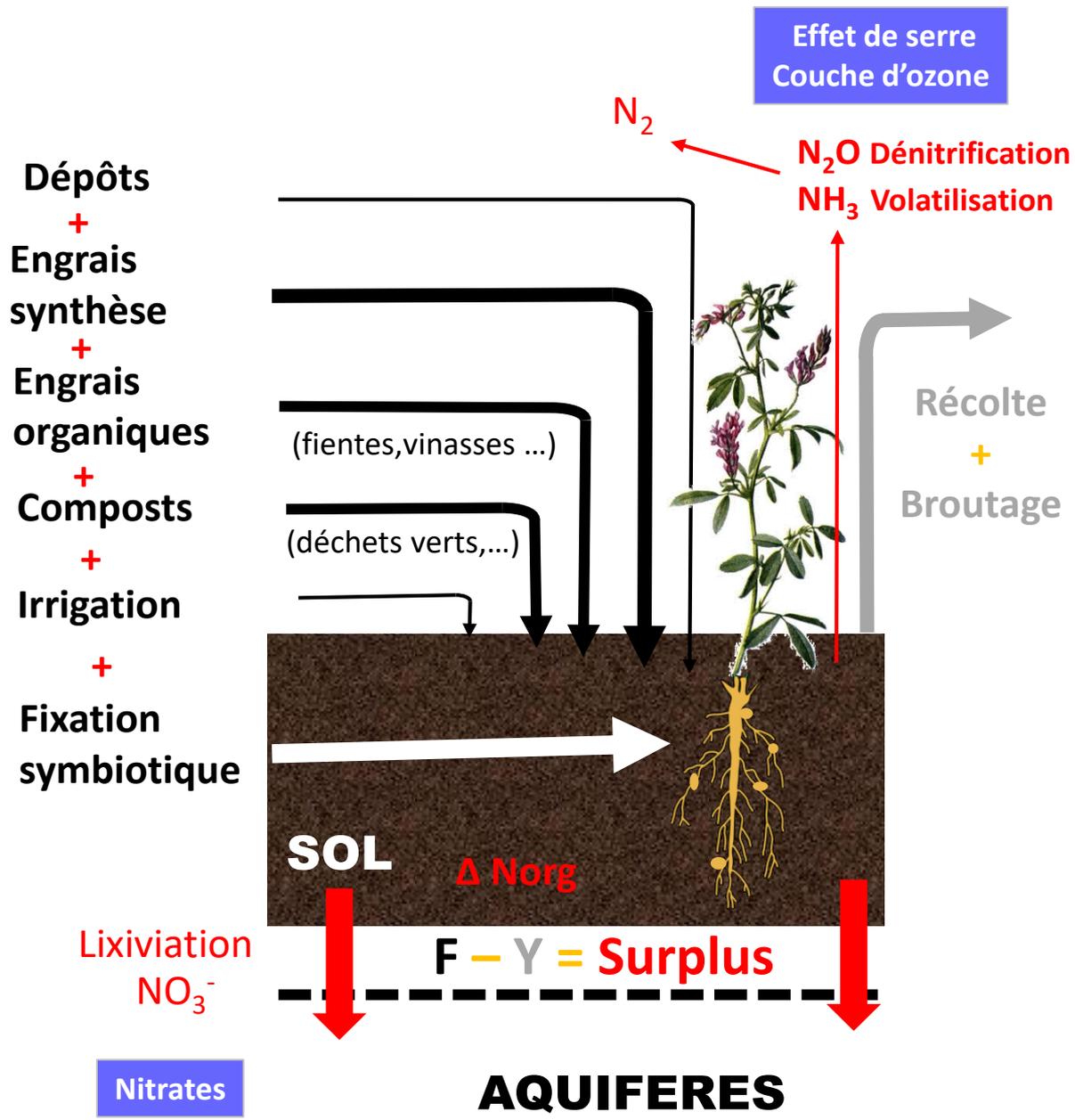
11.3 mgN/l  
ou 50 mgNO3/l

**2** Contamination eaux de surface

> 2 mgN/l

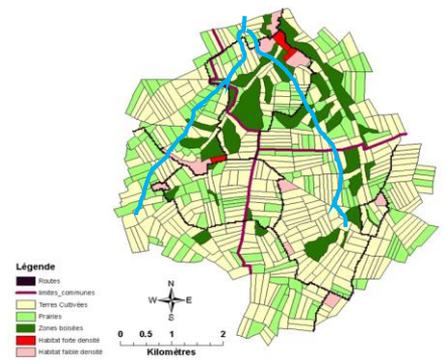
**3** Eutrophisation côtière

# Evaluer les pertes environnementales d'azote

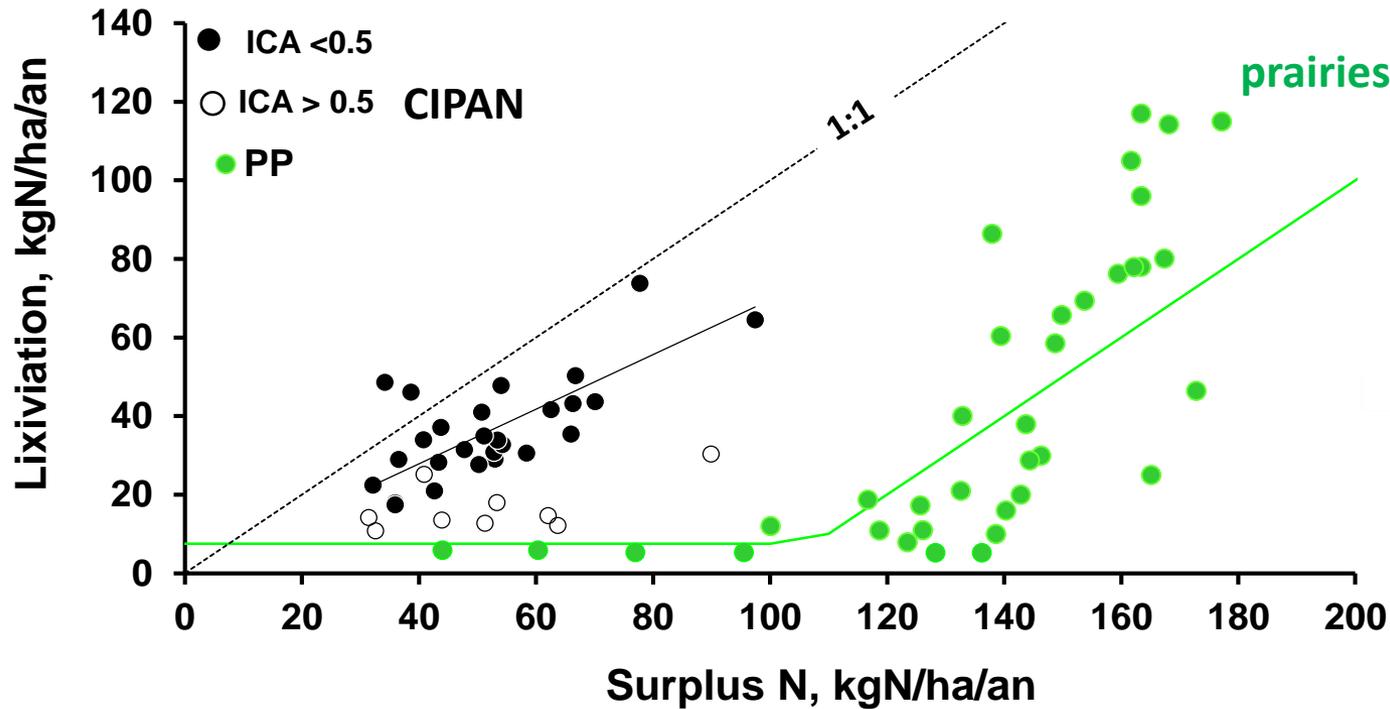


## Indicateur multi-échelle

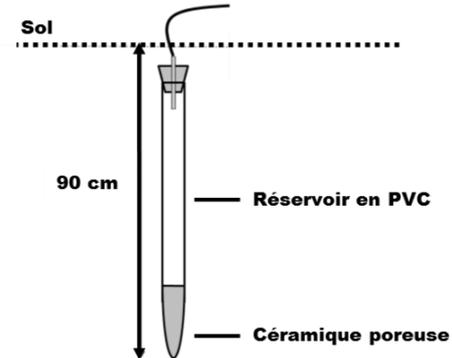
- Parcelle
- Exploitation
- Territoire (ex: AAC)



# Du surplus en N au lessivage des nitrates



## Bougies poreuses



- Sur terres arables 70 % du surplus est lixivié
- La couverture automnale des sols (ICA) réduit efficacement la lixiviation
- La lixiviation sous prairies permanentes (PP) est faible pour des surplus inférieurs à 120 kgN/ha/an (stockage pool de MO)



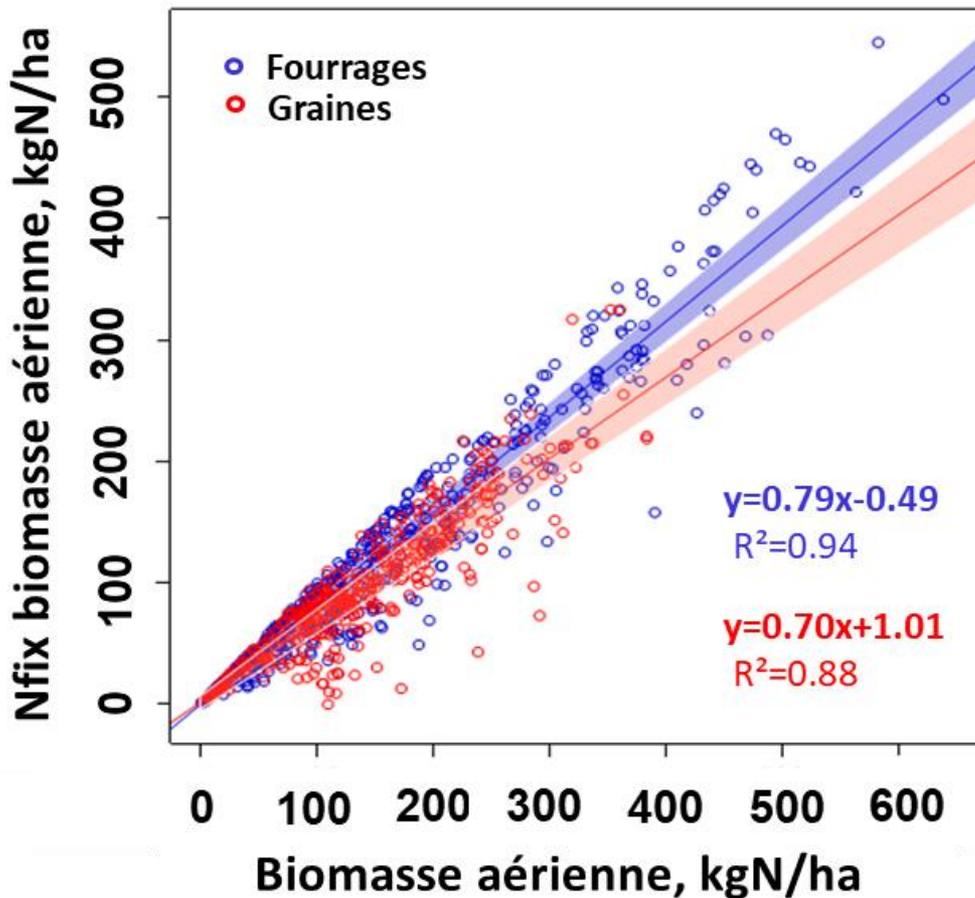
Lysimètres

Drains

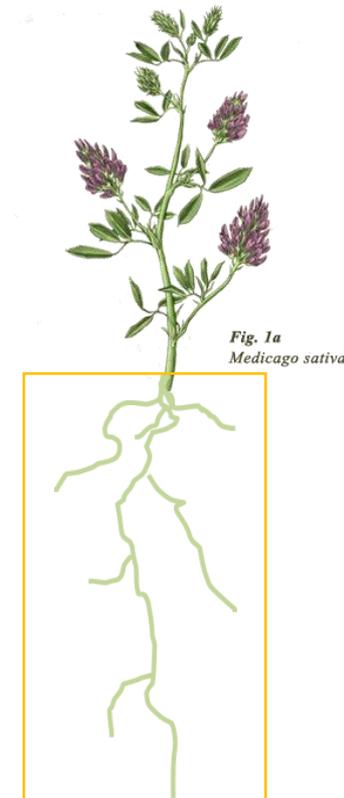


# La fixation symbiotique : la clé de la fertilité systèmes bio

Anglade et al., 2015 -ECOSPHERE



La quantité d'azote fixée dépend de la biomasse de la culture et peut s'estimer facilement à partir du rendement



Contributions souterraines

= azote contenu dans les racines + rhizodéposition:

40 % de l' $N_{tot}$  fixé pour les légumineuses fourragères (luz, trèfle)

25 % de l' $N_{tot}$  fixé pour les légumineuses graines (pois, féverole, lentille)

# Des quantités fixées considérables ! ... mais souvent négligées

Après Récolte



	Rdt	Nfix aérien	Nfix total	Nfix net
	t/ha	kgN/ha	kgN/ha	kgN/ha
Lentille	0,8	32,8	41	8
	2	82	101	19
Féverole	2,5	95	117	22
	5	190	232	42
Luzerne	8	248	310	62
	14	434	543	109

# Réalisation d'enquêtes en exploitation 2011-2016

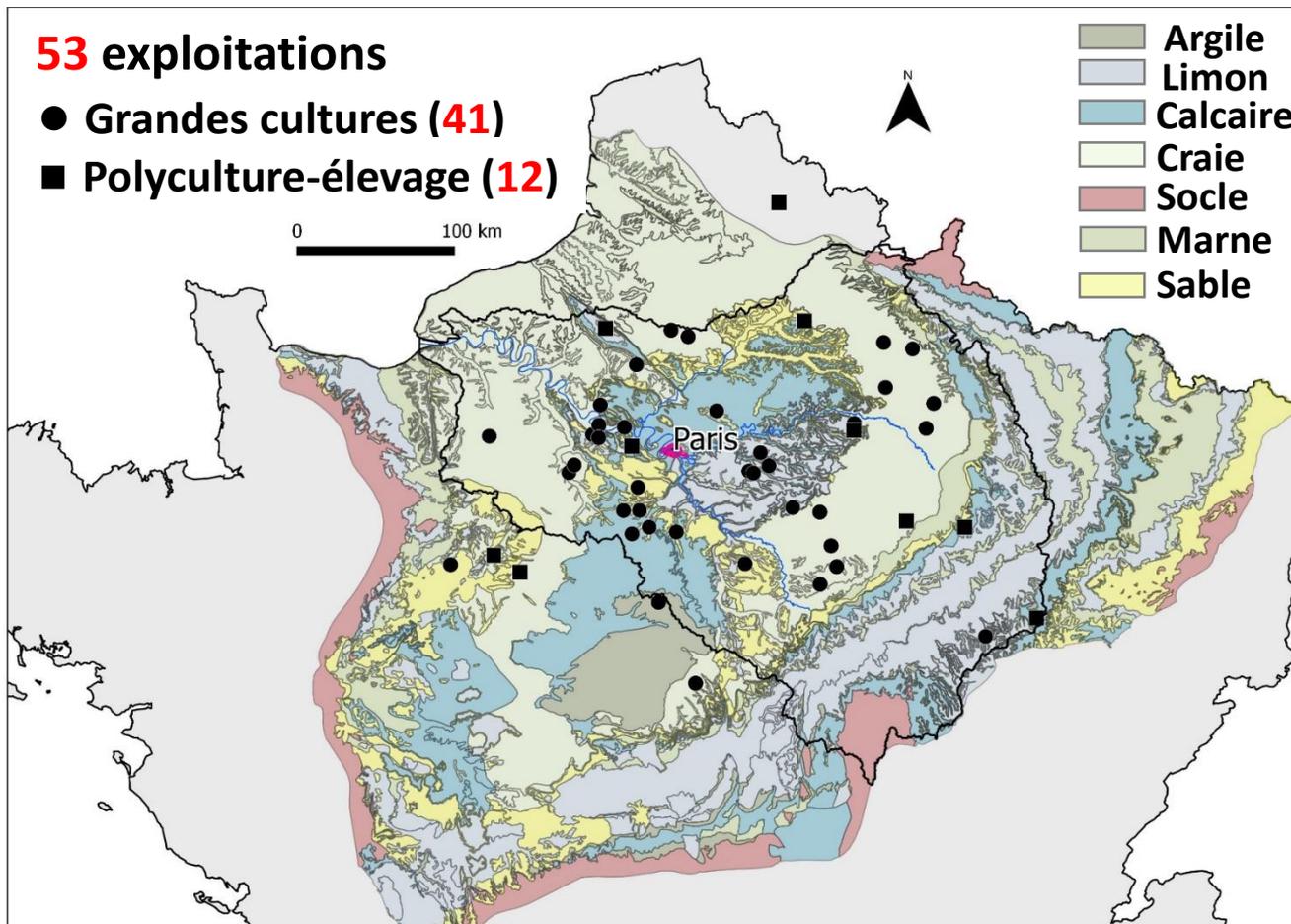


**53** exploitations

● Grandes cultures (**41**)

■ Polyculture-élevage (**12**)

0 100 km

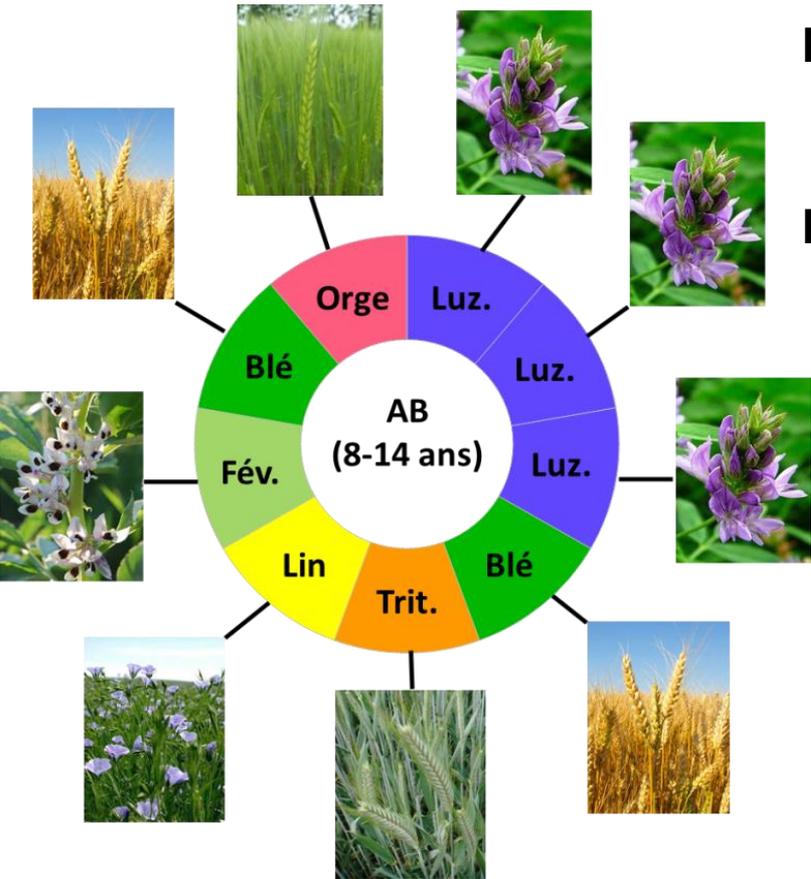


**68** systèmes de cultures AB

**7** exploitations maraîchères spécialisées

Thèse J. Anglade 2015

# Produire autrement c'est produire autre chose ...



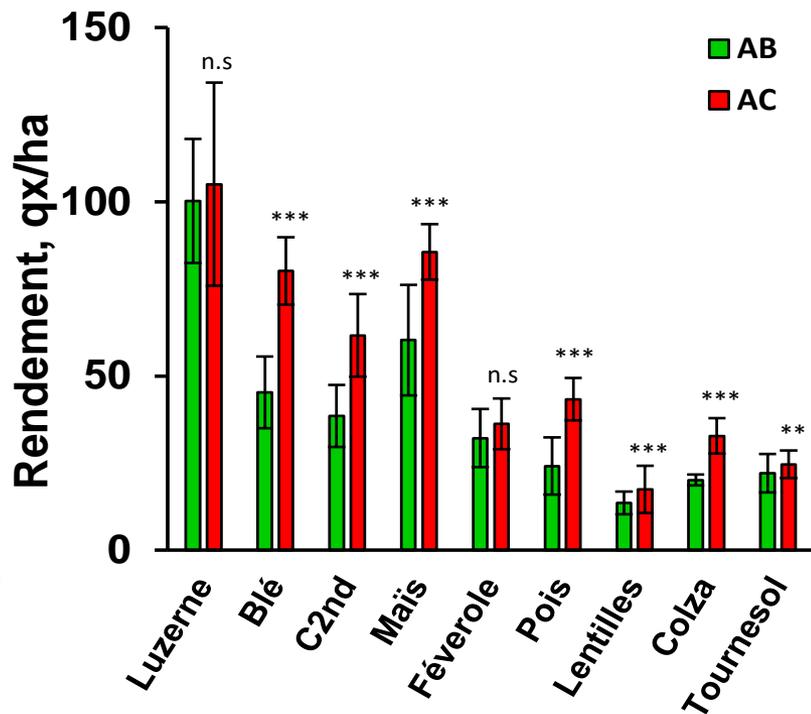
**Production:** 63 tMS/ha/an  
123 kgN/ha/an



**Co-B-Oh conv:**  
61 tMS/an  
130 kgN/ha/an

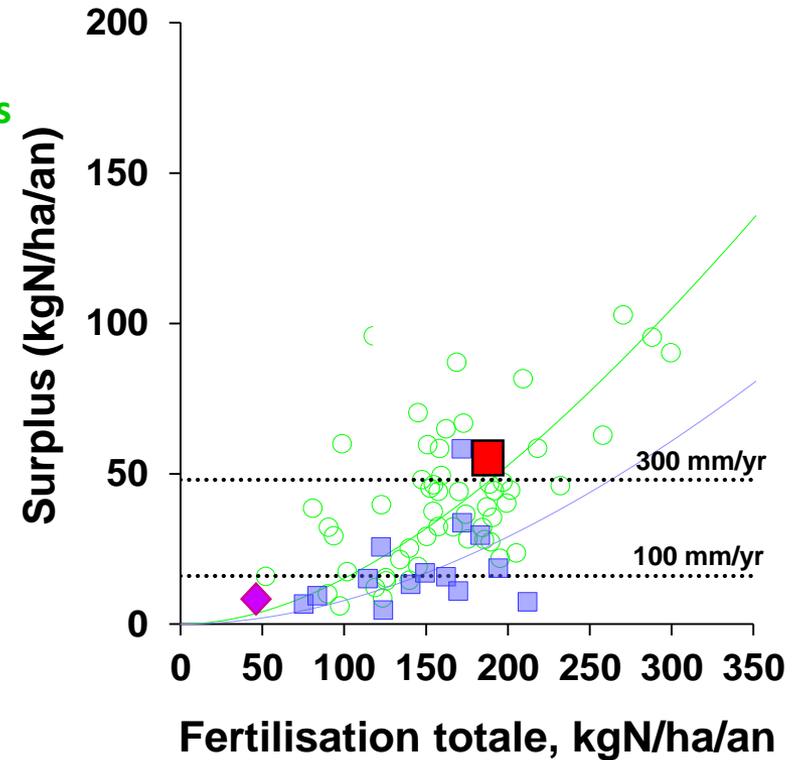
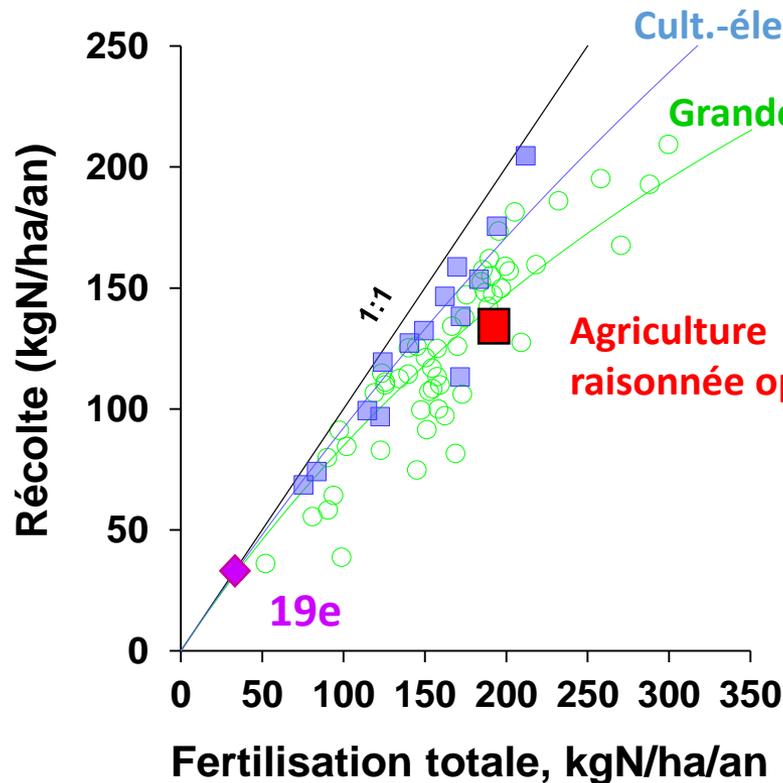
**Fertilisation:** 160 kgN/ha/an  
(70% fixation symbiotique)

180 kgN/ha/an  
(90% synthétique)



- Les légumineuses fourragères constituent **52%** des récoltes en protéines AB
- La fertilisation AB est assurée par la fertilisation symbiotique essentiellement

# Une grande diversité de pratiques biologiques

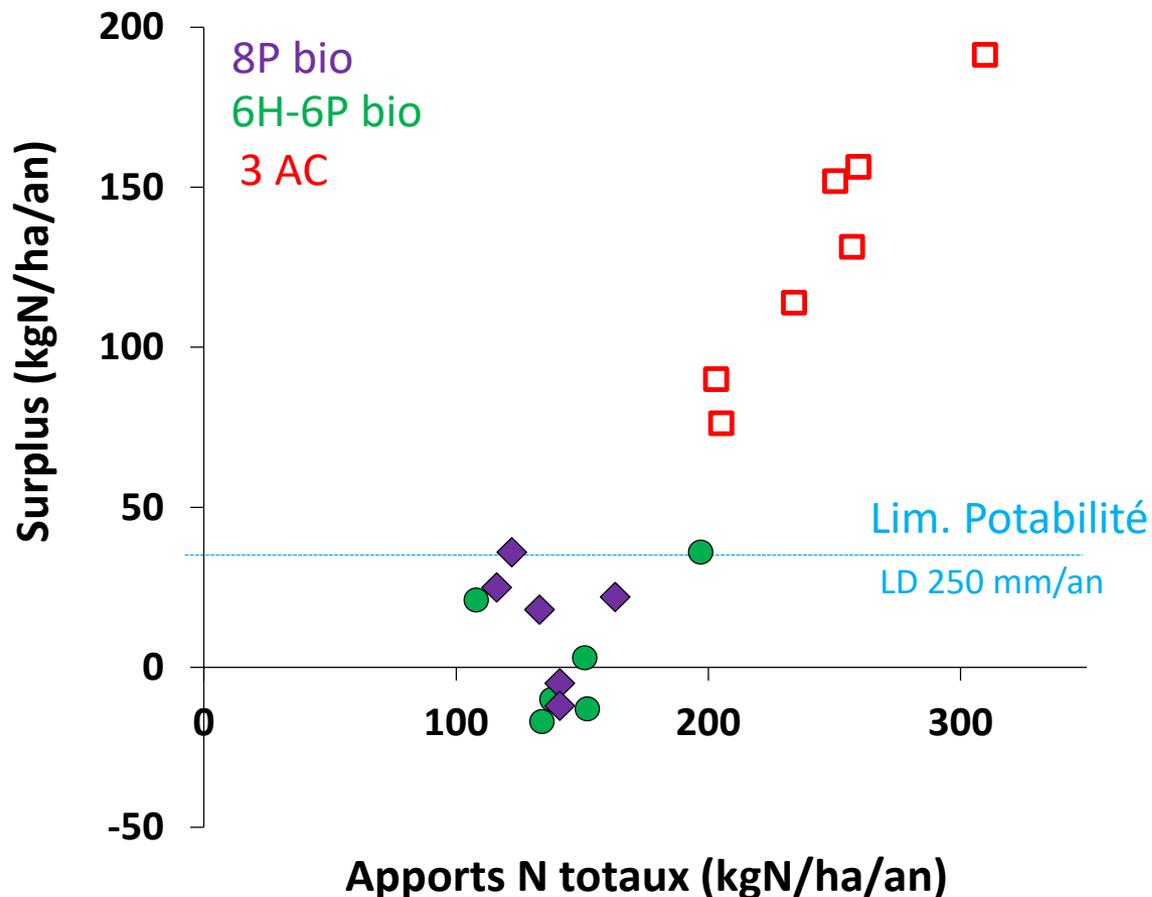


- Grande diversité de pratiques de fertilisation et de rendement (Plus on augmente les rendements plus on diminue l'efficacité)
- Les systèmes de polyculture-élevage sont plus efficaces
- Les bénéfices de l'AB pour la qualité de l'eau sont notables mais pas toujours suffisants (attention aux apports exogènes et à l'enfouissement de la luzerne !)
- Les prescriptions de fertilisation équilibrée réglementaires ne garantissent pas un surplus nul et ne permettent pas de satisfaire aux exigences de potabilité.

# Bilan d'azote des sols pour les parcelles cultivées INRA Mirecourt



1 point = 1 rotation complète



Surplus d'N des sols moyen:  
**8.7 kgN/ha/an en AB**  
**130 kgN/ha/an en AC**

2007-2014

## Rotation 8 ans:

- 3 ans PT (base luz)
- Blé d'hiver
- Céréale 2<sup>de</sup> hiver
- Culture intermédiaire*
- Céréale 2<sup>de</sup> prtps + protéag.
- Blé d'hiver
- Culture intermédiaire*
- Céréale 2<sup>de</sup> ptps

## Rotation 6 ans:

- 3 ans PT (base trèfle)
- Blé d'hiver
- Culture intermédiaire*
- Céréale 2<sup>de</sup> ptps
- Céréale 2<sup>de</sup> hiver

**40 à 75 % N fix. symb**

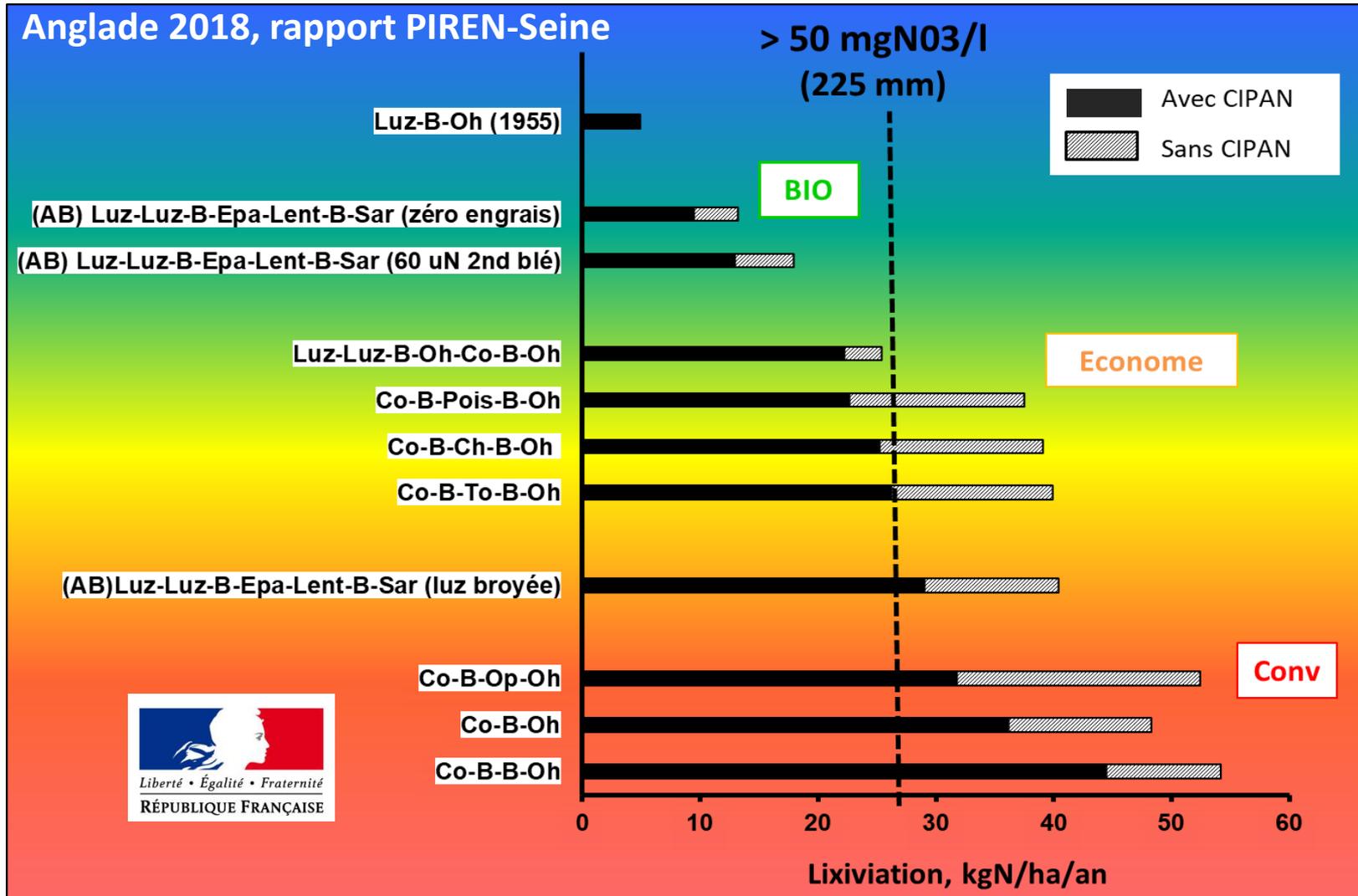
2000-2002

## Rotation 3 ans:

- Colza (2.9 t/ha)  
ou Maïs ens. (13.1 tMS/ha)
- Blé d'hiver (6.6 t/ha)
- Orge d'hiver (6.2 t/ha)

**50 % ferti min.**

# Scénarios d'évolution des systèmes de culture sur l'aire d'alimentation de captage de la Plaine du Saulce (Auxerre)



NB: Les scénarios conventionnels sont calculés selon les préconisations réglementaires d'équilibre de fertilisation minérale

# Vers une reconnexion cultures-élevage ?

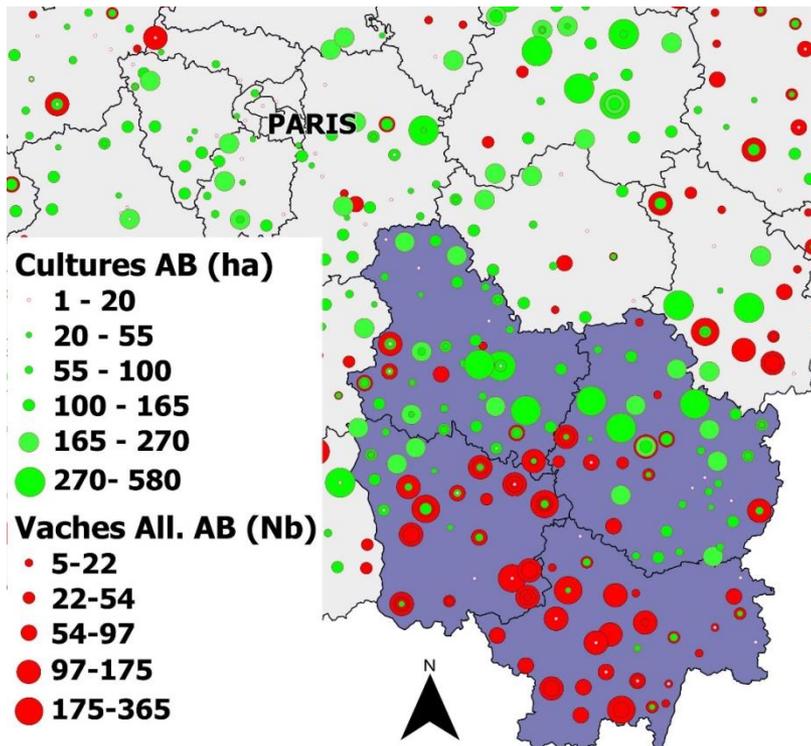
## 1. Retour innovant du cheptel ovin AB

- Enherbement permanent des zones les plus vulnérables
- Valorisation des légumineuses fourragères
- Opportunité de diversification, installations JA ...



- 88 % du cheptel icaunais  
entre 1970 et 2011

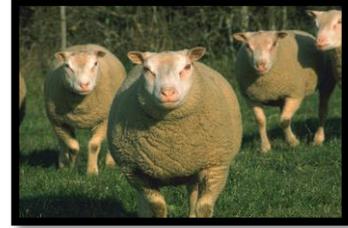
## 2. Equilibre régional culture-élevage AB



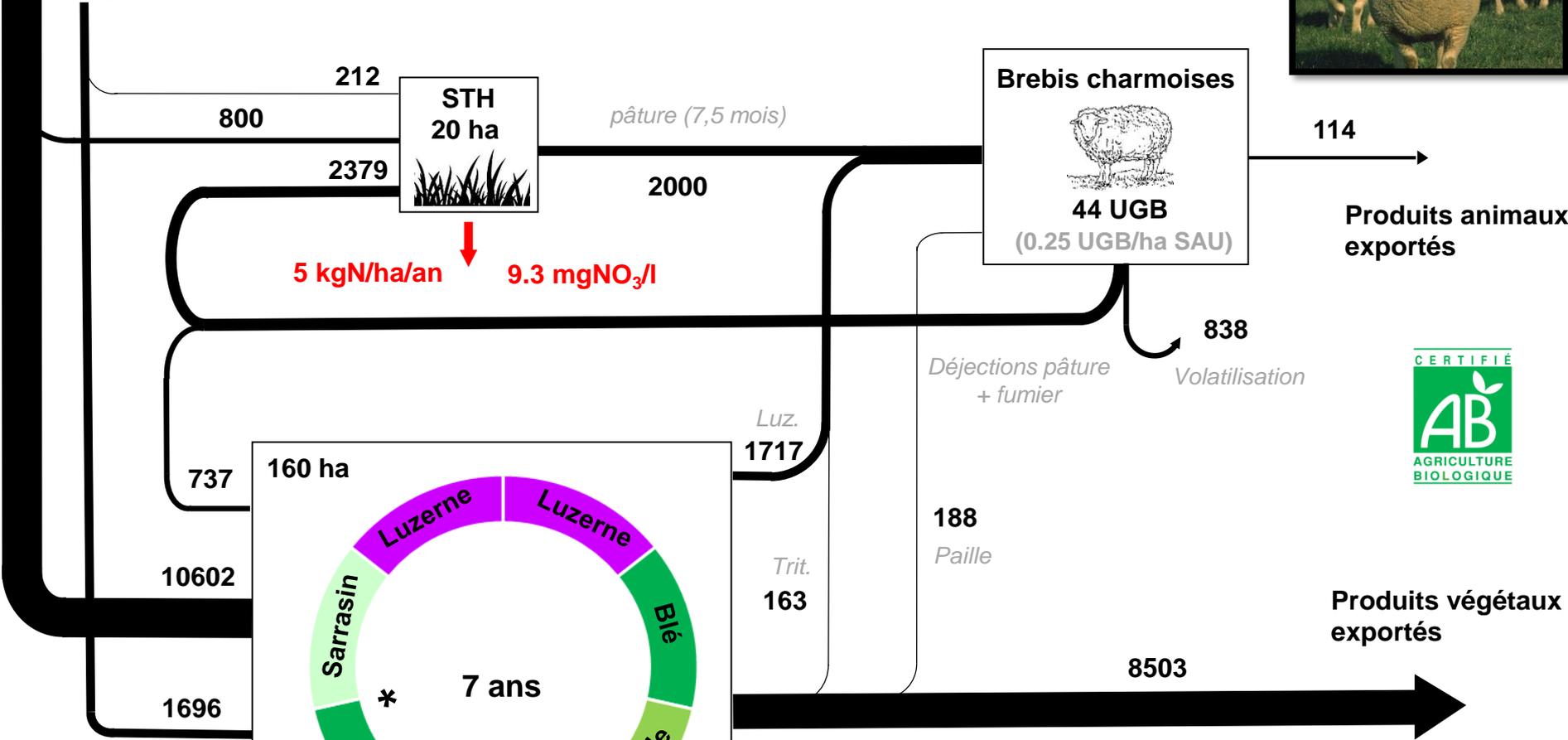
**Soutien collectivité nécessaire :**

- + Séchage en grange solaire collectif
- + Achat luzerne pour méthanisation (gaz urbain) ?
- + Viande bio en restauration-collective

# Polyculture-élevage ovin herbager bio (180 ha)



Flux d'azote, kgN/an



Produits animaux exportés



Produits végétaux exportés

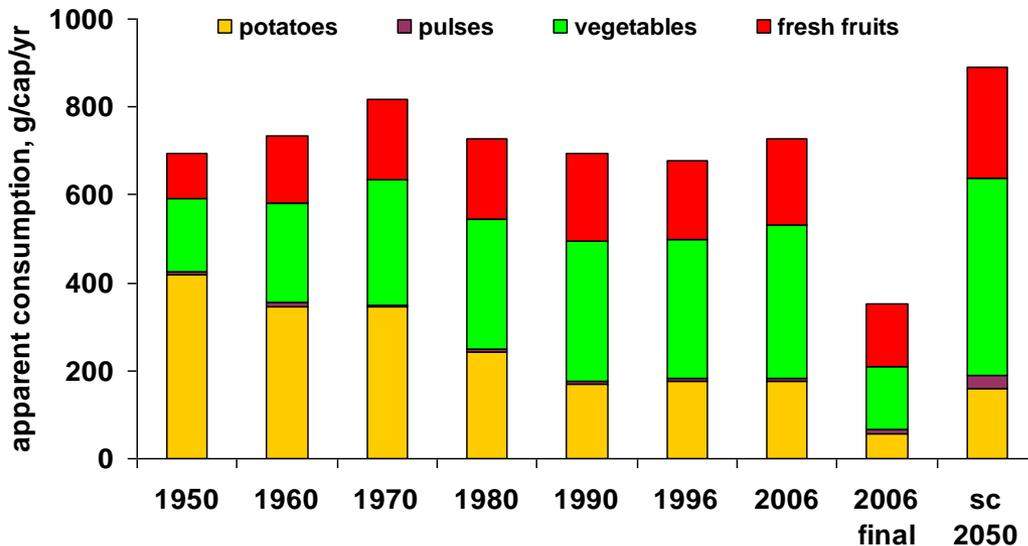
Lixiviation moyenne exploitation  
 7.6 kgN/ha/an  
 14.2 mgNO<sub>3</sub>/l

# Le cas particulier du maraîchage

Anglade, J., Medina, M. R., Billen, G., & Garnier, J. (2018). Organic market gardening around the Paris agglomeration: agro-environmental performance and capacity to meet urban requirements. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(24), 23373-2338

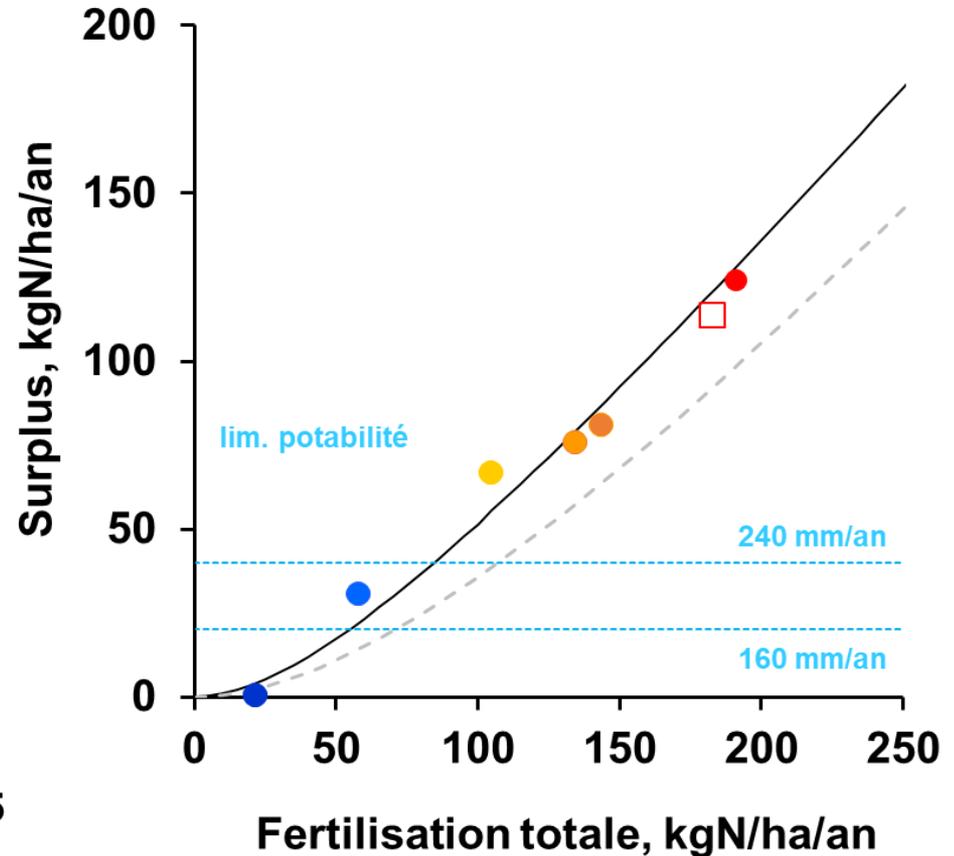
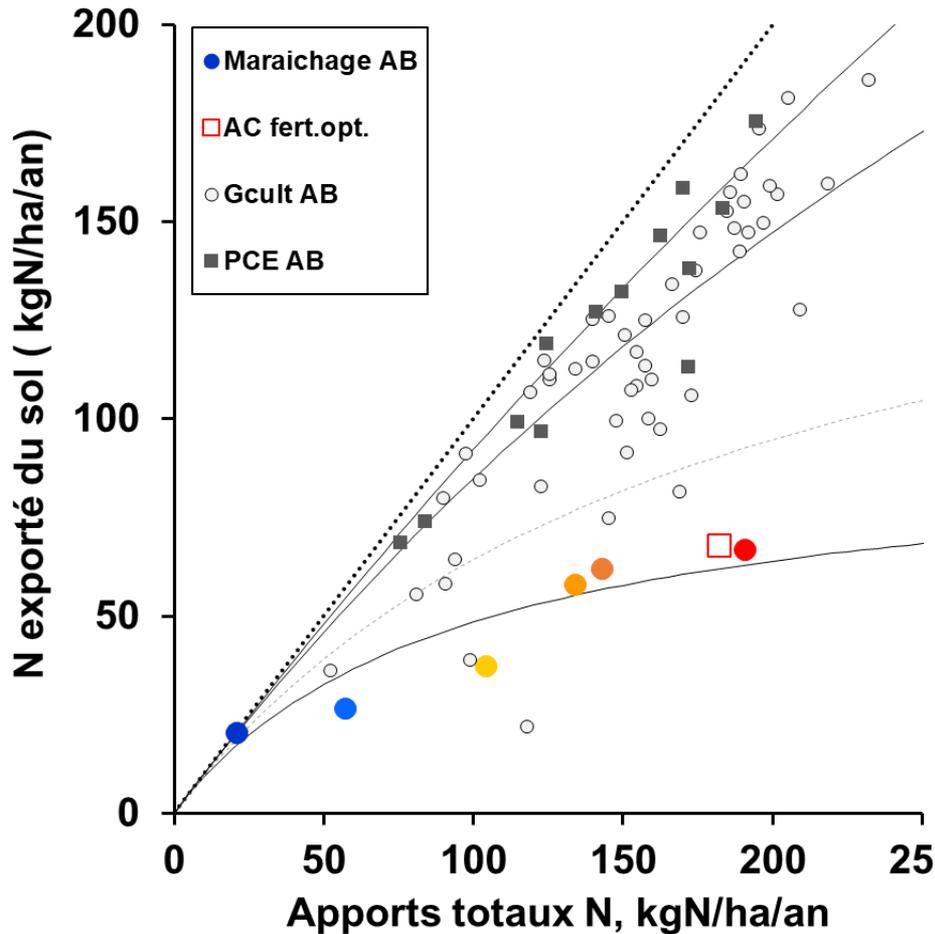


*Le carreau des Halles V.G. Gilbert 1880*  
© Musée Malraux



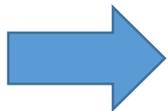
Vers un changement de régime alimentaire plus riche en fruits et légumes

# Maraîchage bio spécialisé

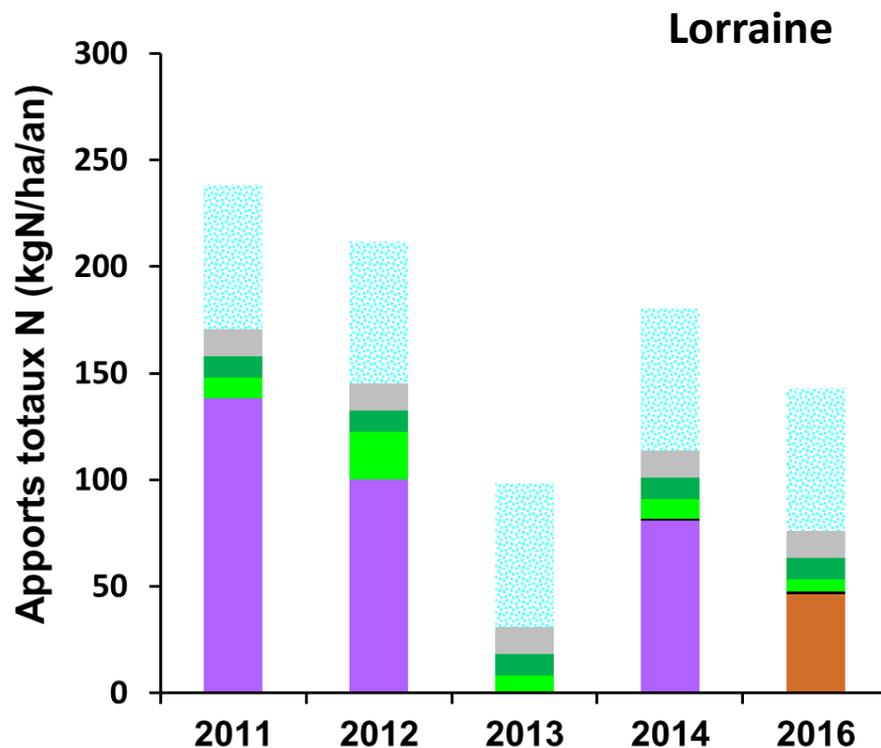
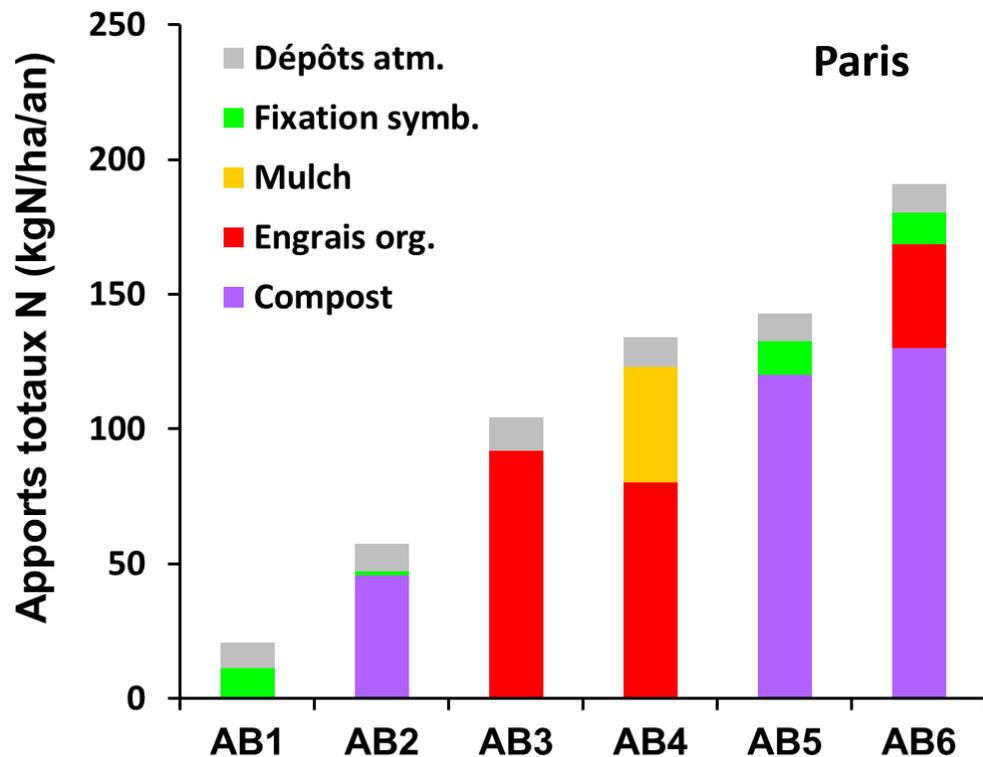


Un risque de contamination nitrique lié à des pratiques maraîchères intensives

Privilégier l'installation dans des zones naturelles de dénitrification (nappes alluviales) et l'insertion dans des exploitations de polyculture-polyélevage



# Une diversité de pratiques et des transferts de fertilité en maraîchage spécialisé bio



- Une fertilité dominée par des apports exogènes
- La pollution des eaux source de fertilité : un paradoxe non durable !

Irrigation  
 Nfix intercult  
 Guano chauve-souris  
 Compost bovin  
 Dépôts atm.  
 Nfix cult  
 Lombricompost

35 ha de haies pour 1 ha fertilisé

**Enjeu de la complémentarité culture-élevage !**

# Conclusions

- **Les pratiques AB observées dans le bassin de la Seine conduisent à une contamination nitrique nettement moindre que l'agriculture conventionnelle, dans une large mesure déjà raisonnée.**
- **Mais le cahier des charges AB ne garantit pas à lui seul le respect des normes de potabilité et de qualité de l'eau. Les excès de fertilisation organique (ex. fientes de poules) et l'enfouissement des luzernes sont des pratiques à risques.**
- **La présence de légumineuses fourragères essentielles pour l'équilibre agronomique des systèmes bio plaide en faveur d'un retour à l'équilibre culture-élevage, pour le respect de la qualité de l'eau, et pour la valorisation des protéines produites.**
- **Les systèmes maraîchers biologiques sont souvent intensifs en intrants exogènes ce qui génère des transferts de fertilité et d'importants surplus azotés. Il conviendrait de privilégier leur insertion dans des exploitations de polyculture-élevage et en zones de dénitrification.**

**La question des nitrates dans les eaux souterraines...  
une question de réduction des pressions azotées**

*(seuil 50 mgNO<sub>3</sub>/L)*

**La question des pesticides ...  
une question de suppression**

*(seuil 0,1 microgramme/L)*



**La qualité de l'eau : un défi  
qu'aujourd'hui seul le cahier des  
charges de l'agriculture biologique  
peut relever !**



# Reconquérir la qualité de l'eau en régions de grandes cultures : agriculture biologique et reconnexion avec l'élevage

J. Anglade<sup>1,2</sup>, G. Billen<sup>2</sup>, J. Garnier<sup>2</sup>

Environmental Science & Policy 63 (2016) 76–90



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

## Environmental Science & Policy

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/envsci](http://www.elsevier.com/locate/envsci)



### Reconnecting crop and cattle farming to reduce nitrogen losses to river water of an intensive agricultural catchment (Seine basin, France): past, present and future



Josette Garnier<sup>a,b,\*</sup>, Juliette Anglade<sup>b</sup>, Marie Benoit<sup>b</sup>, Gilles Billen<sup>a,b</sup>, Thomas Puech<sup>c</sup>, Antsiva Ramarson<sup>b</sup>, Paul Passy<sup>d</sup>, Marie Silvestre<sup>d</sup>, Luis Lassaletta<sup>b</sup>, Jean-Marie Trommenschlager<sup>c</sup>, Céline Schott<sup>c</sup>, Gaëlle Tallec<sup>e</sup>

## Polyculture-élevage ou hyper-spécialisation territoriale? Deux scénarios prospectifs du système agro-alimentaire français

Billen G.<sup>1</sup>, Le Noë J.<sup>1</sup>, Anglade J.<sup>1,2</sup>, Garnier J.<sup>1</sup>

Demeter 2017

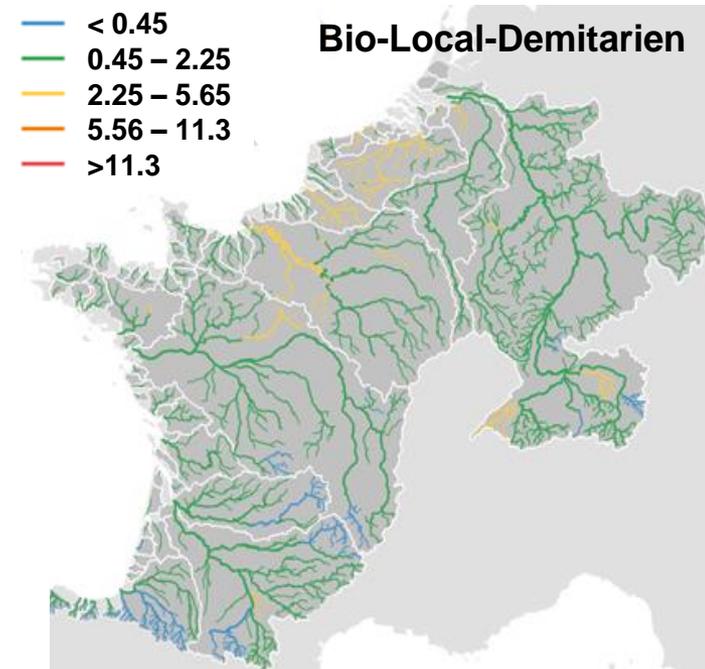
**Et si la France passait au régime  
« bio, local et demitarien » ?**

*Un scénario radical de sobriété alimentaire  
et d'autonomie protéique et azotée  
pour l'agriculture et l'élevage*

NO<sub>3</sub>, mgN/l

- < 0.45
- 0.45 – 2.25
- 2.25 – 5.65
- 5.56 – 11.3
- >11.3

**Bio-Local-Demitarien**



A large flock of sheep and a few cows are gathered around a grey cylindrical water tank in a green field. The tank is mounted on a metal frame and has the number '25' on its side. The scene is set under a bright blue sky with scattered white clouds. In the background, there are some trees and a building.

# Merci de votre attention

Retrouvez les publications citées sur ResearchGate:  
[https://www.researchgate.net/profile/Anglade\\_Juliette](https://www.researchgate.net/profile/Anglade_Juliette)

Contact : [juliette.anglade@inra.fr](mailto:juliette.anglade@inra.fr)