



Tours, 13 & 14 novembre 2013

# Qualité de l'eau et production agricole: les performances de l'AB en matière de pollution azotée



Juliette Anglade<sup>1</sup>, Gilles Billen<sup>1</sup>, Josette Garnier<sup>1</sup>, Marie Benoit<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CNRS/UPMC UMR Sisyphe

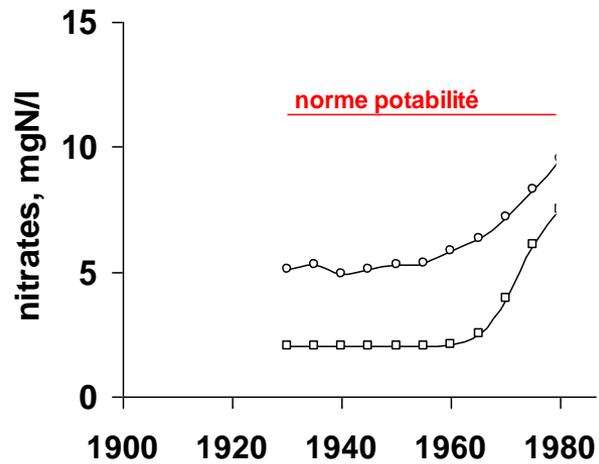
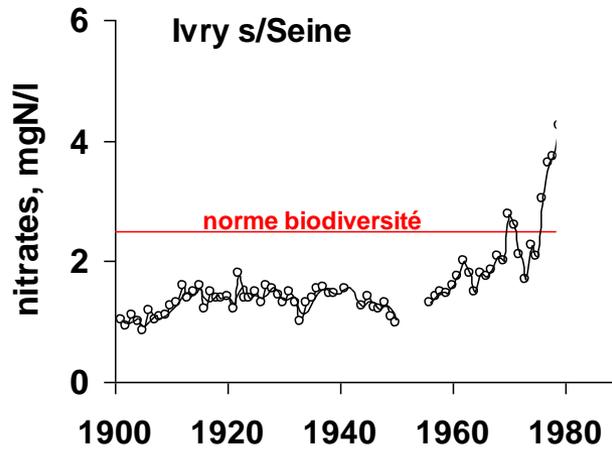


# Une contamination (nitrique) sévère des eaux des surfaces et souterraines

1980



Rapport Hénin

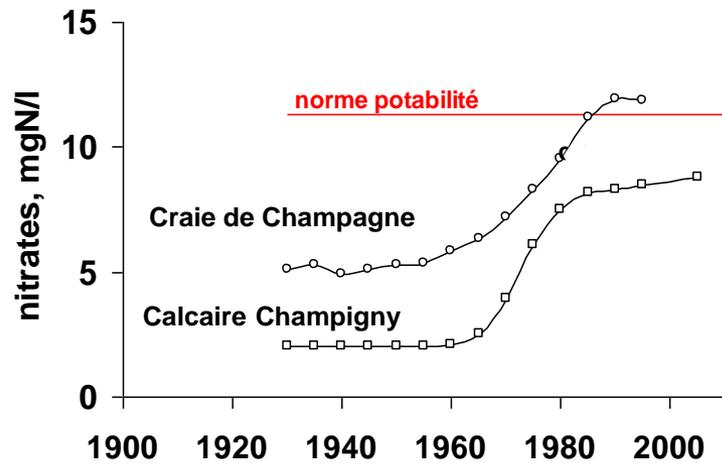
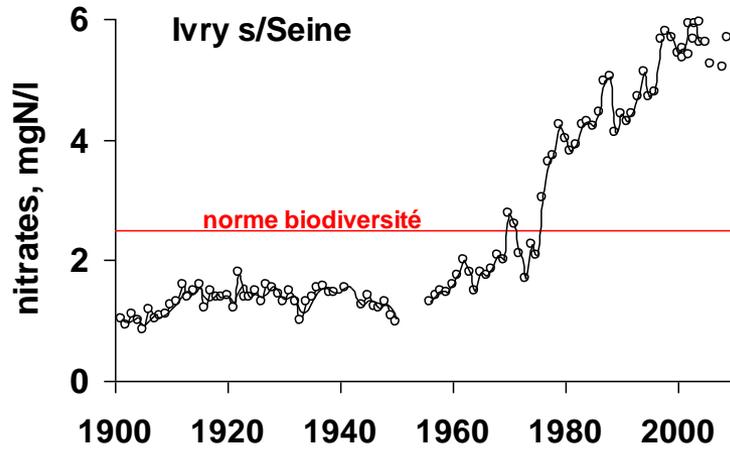


# Une contamination (nitrique) sévère des eaux des surfaces et souterraines

1980



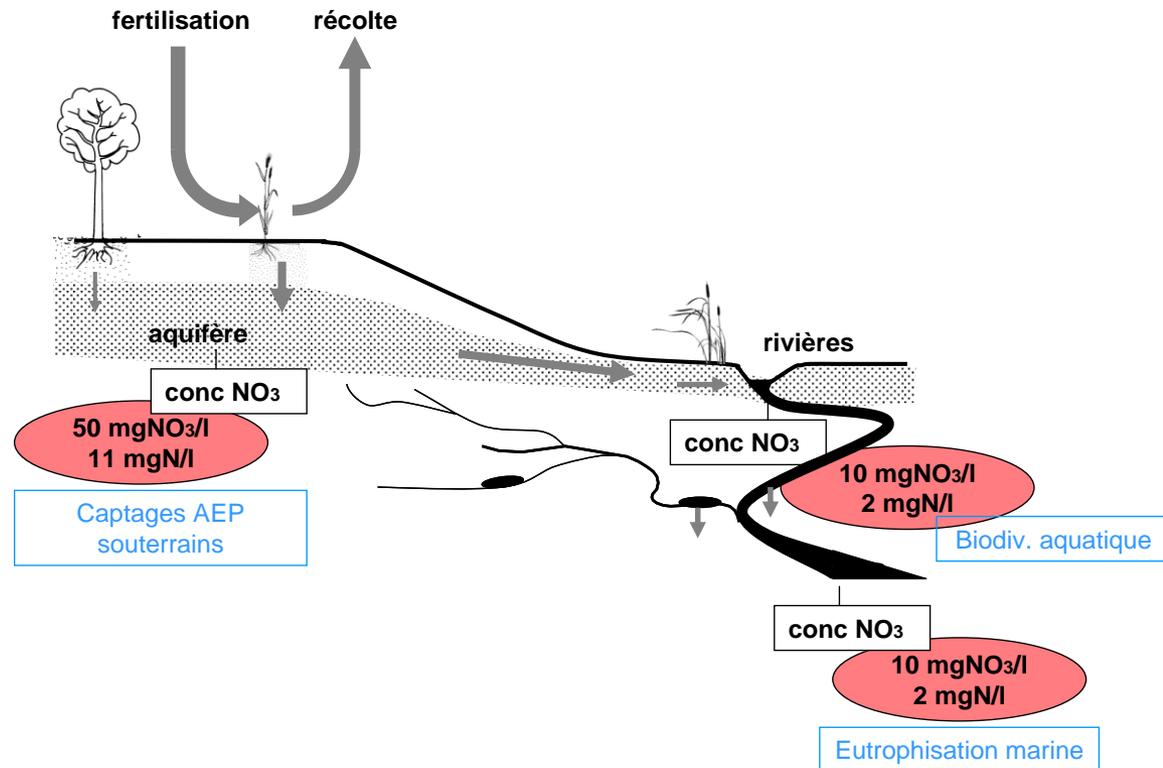
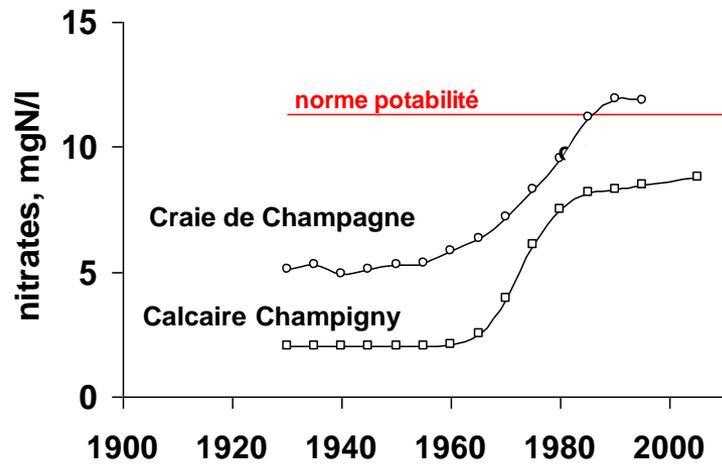
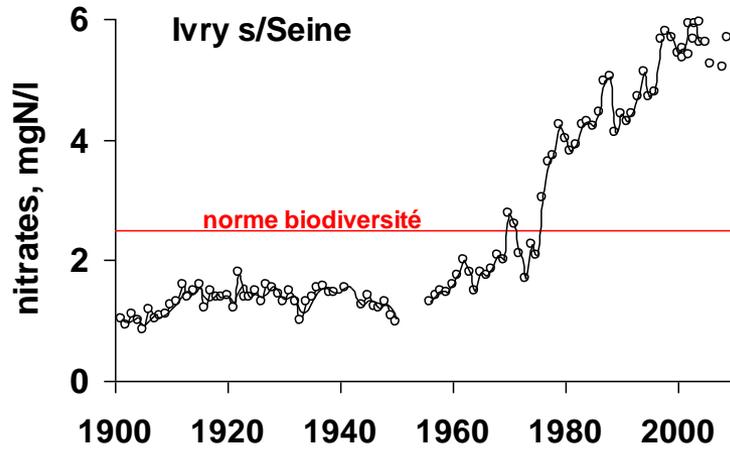
Rapport Hénin



# Une contamination (nitrique) sévère des eaux des surfaces et souterraines

1980

 Rapport Hénin



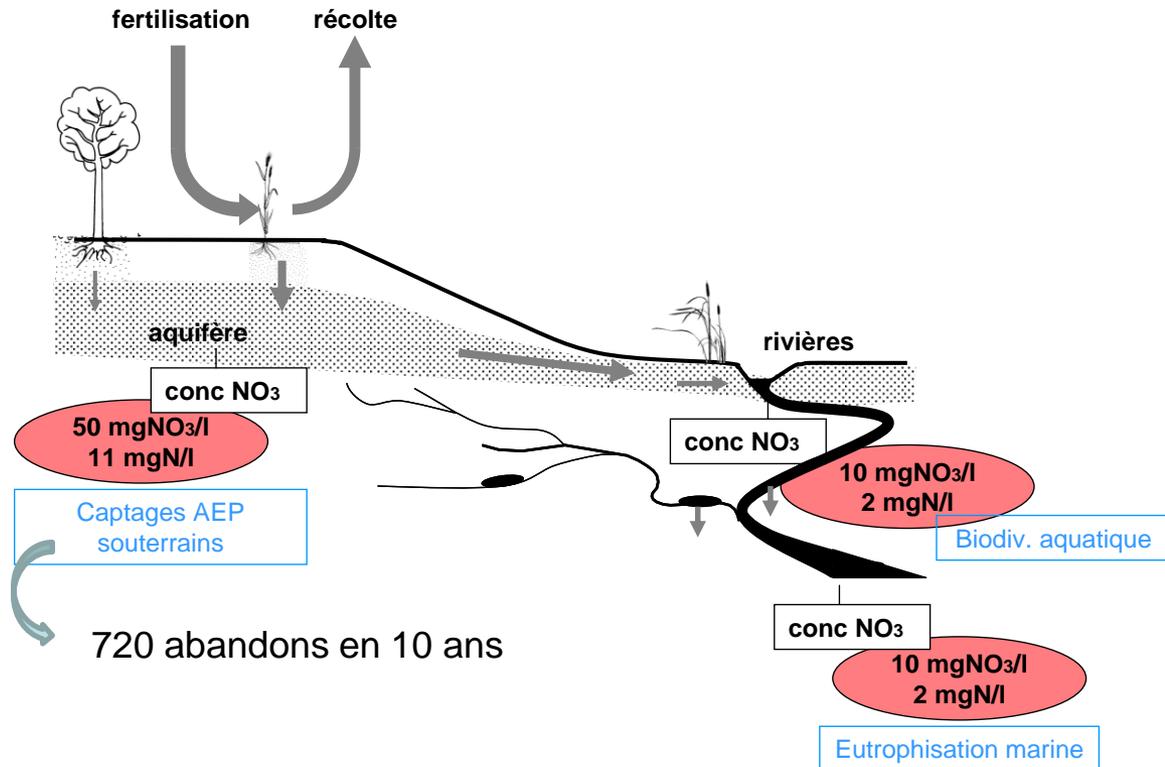
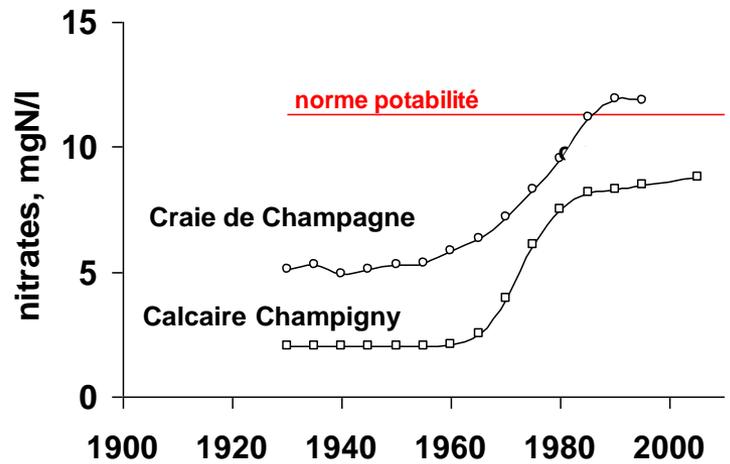
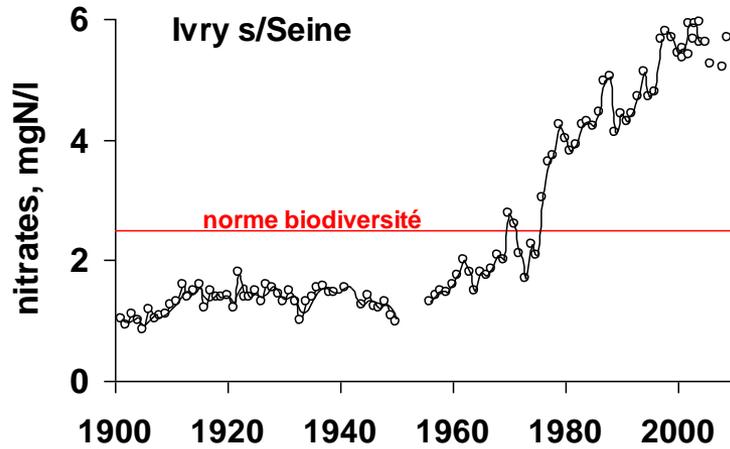
Modifié d'après Billen et al., 2013

« La cascade de l'azote dans les territoires de grandes cultures du Nord de la France »

# Une contamination (nitrique) sévère des eaux des surfaces et souterraines

1980

 Rapport Hénin



Modifié d'après Billen et al., 2013

« La cascade de l'azote dans les territoires de grandes cultures du Nord de la France »

# Une contamination (nitrique) sévère des eaux des surfaces et souterraines

1980

1991

2013



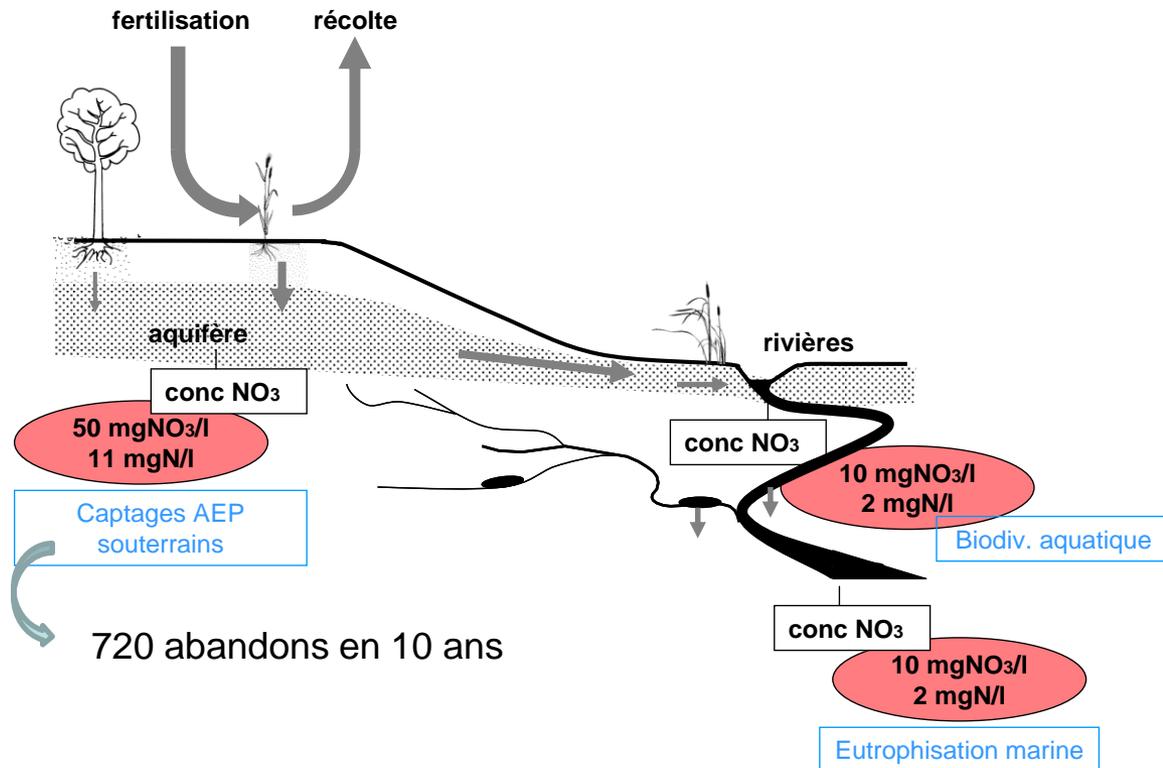
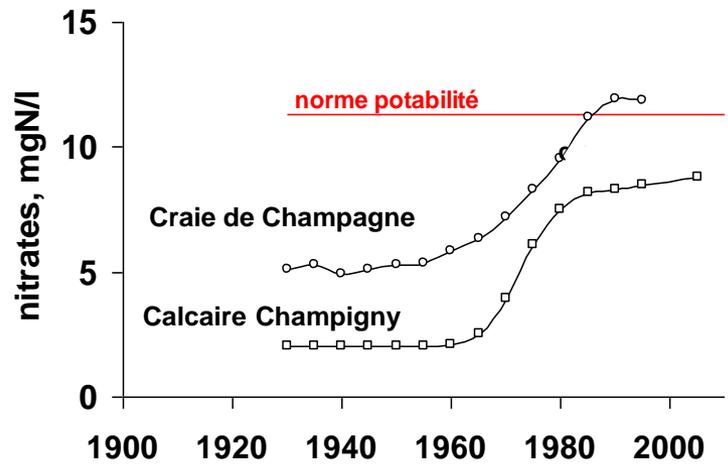
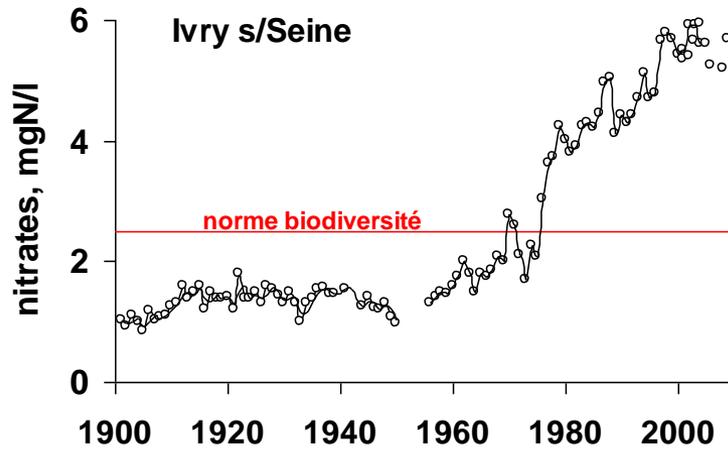
Rapport Hénin

Directive Nitrates



C.J.U.E

- Révision Z.V
- Arrêtés Préfectoraux (régions)



Modifié d'après Billen et al., 2013

« La cascade de l'azote dans les territoires de grandes cultures du Nord de la France »



# Une contamination (nitrique) générale des eaux des surfaces et souterraines

1980 1991 2006 2013 2015-2021 ...



Rapport Hénin

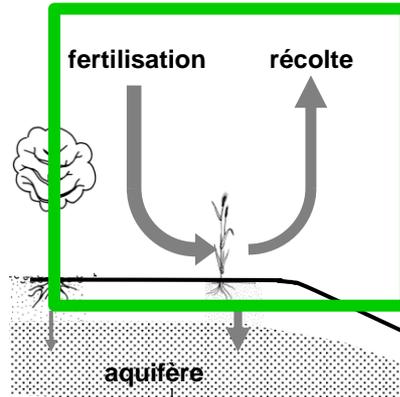
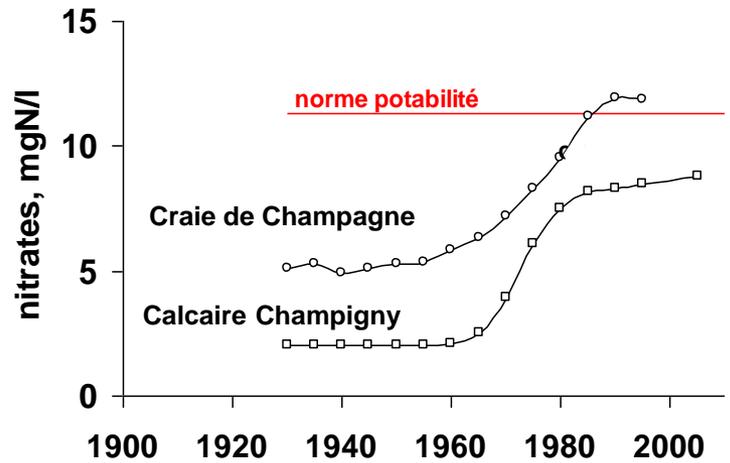
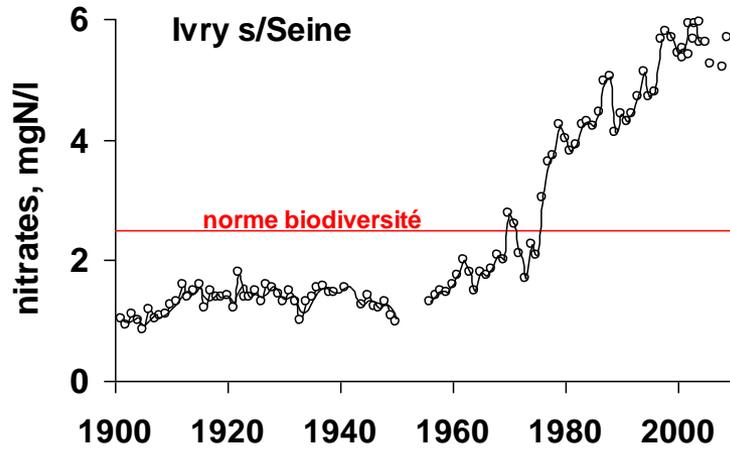
Directive Nitrates

D.C.E

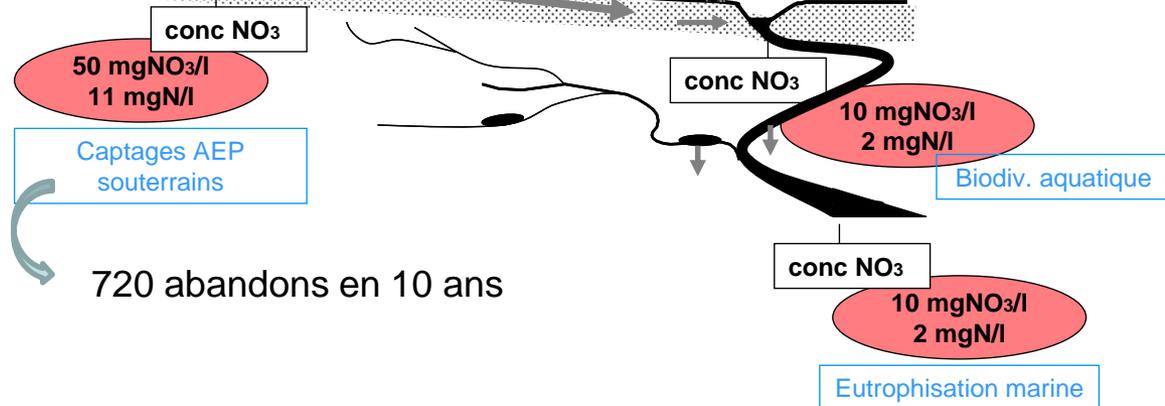


C.J.U.E

- Révision Z.V
- Arrêtés Préfectoraux (régions)



L'AB est-elle une solution ?

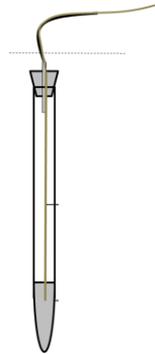


Modifié d'après Billen et al., 2013

« La cascade de l'azote dans les territoires de grandes cultures du Nord de la France »

# Evaluer les performances de l'agriculture biologique

## 1) Mesures

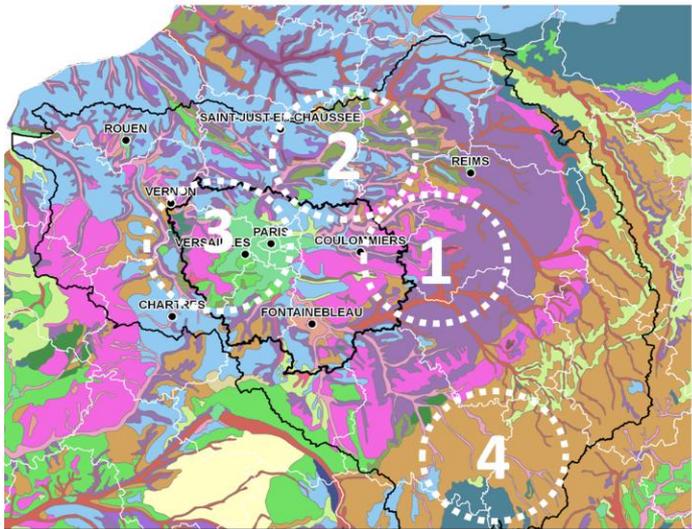


Bougies poreuses :

[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>] eaux  
sous-racinares



Projet « ABAC »  
2012-2015



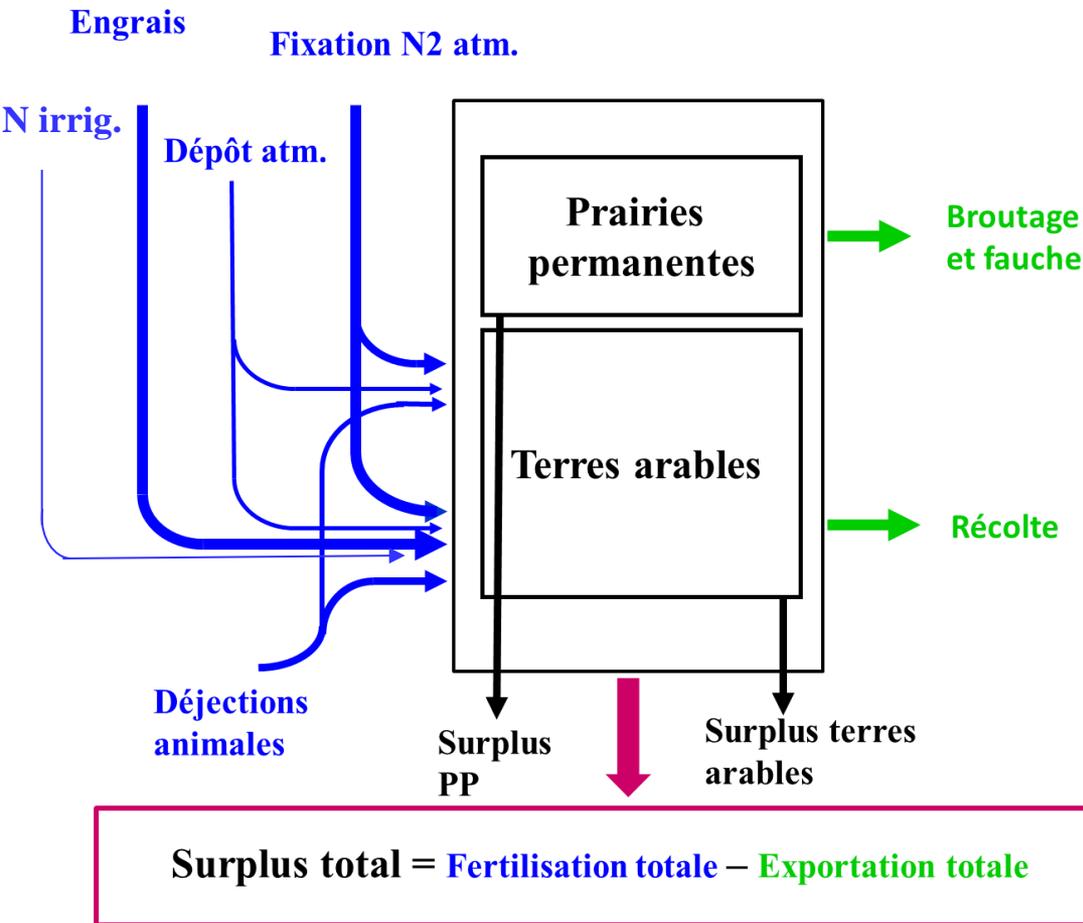
Poster Marie Benoit



# Evaluer les performances de l'agriculture biologique

## 1) Mesures

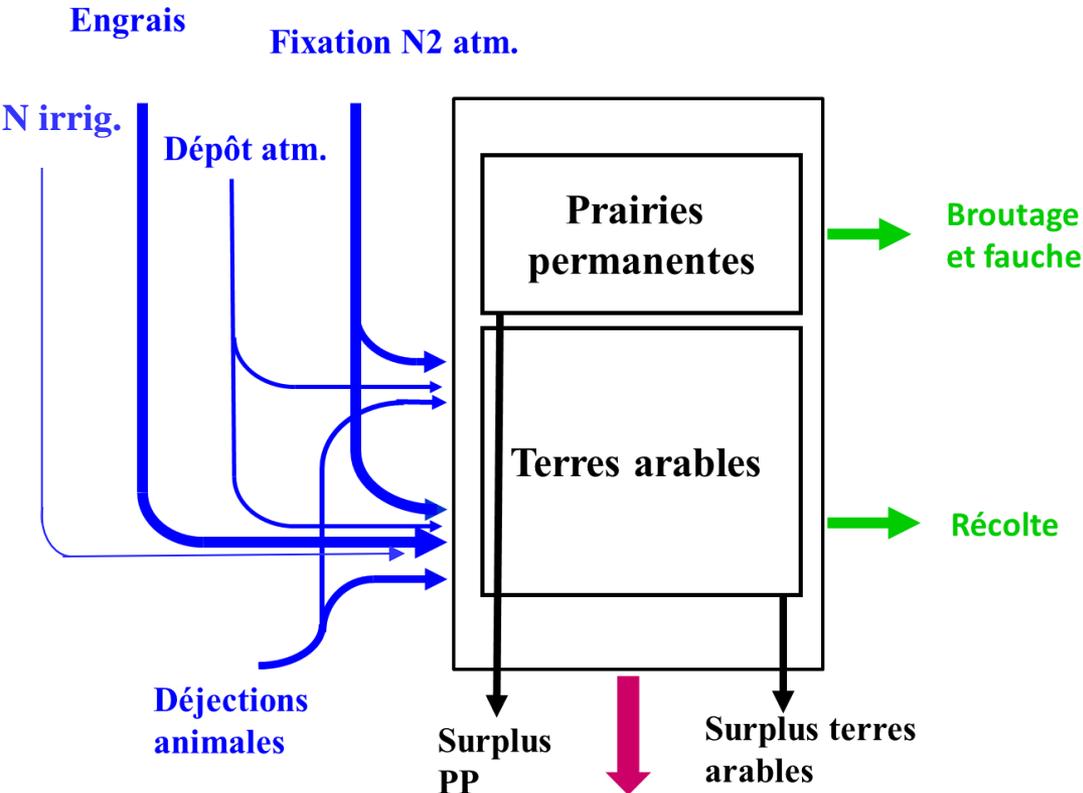
## 2) Bilan d'azote total des sols SSB (Soil Surface Balance)



# Evaluer les performances de l'agriculture biologique

## 1) Mesures

## 2) Bilan d'azote total des sols SSB (Soil Surface Balance)



La méthode SSB, intégrée sur un cycle de rotation, est un outil stratégique pour:

- Evaluer les pertes environnementales d'azote à moyen et long terme
- Vérifier la durabilité des systèmes de culture : Nature des apports, production protéique, efficacité

**Surplus total = Fertilisation totale – Exportation totale**

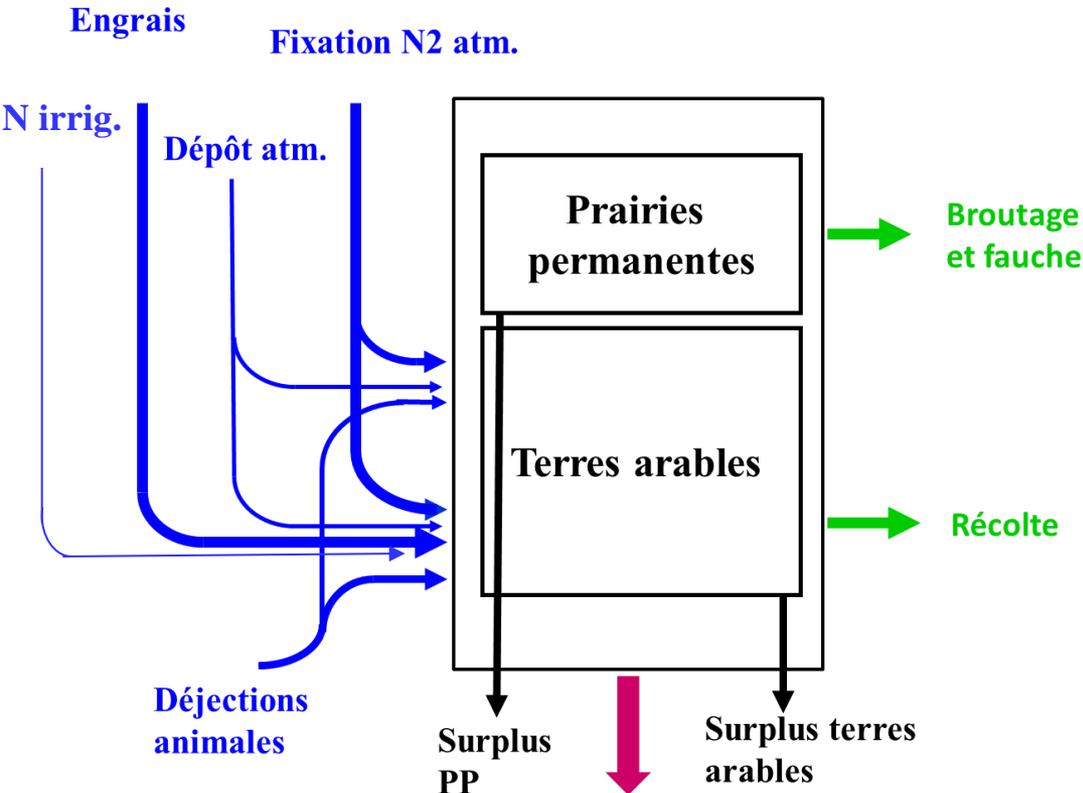
### - Lixiviation

- Accumulation dans le pool de MO du sol
- Volatilisation ou dénitrification

# Evaluer les performances de l'agriculture biologique

## 1) Mesures

## 2) Bilan d'azote total des sols SSB (Soil Surface Balance)



La méthode SSB, intégrée sur un cycle de rotation, est un outil stratégique pour:

- Evaluer les pertes environnementales d'azote à moyen et long terme
- Vérifier la durabilité des systèmes de culture : Nature des apports, production protéique, efficience

**Surplus total = Fertilisation totale – Exportation totale**

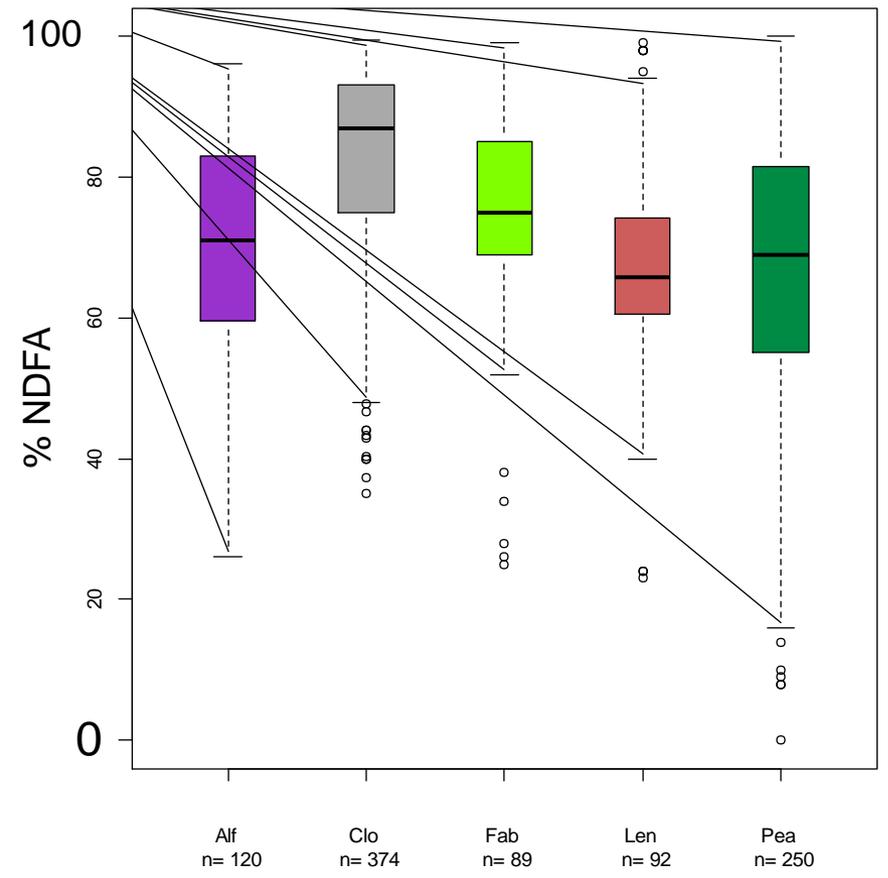
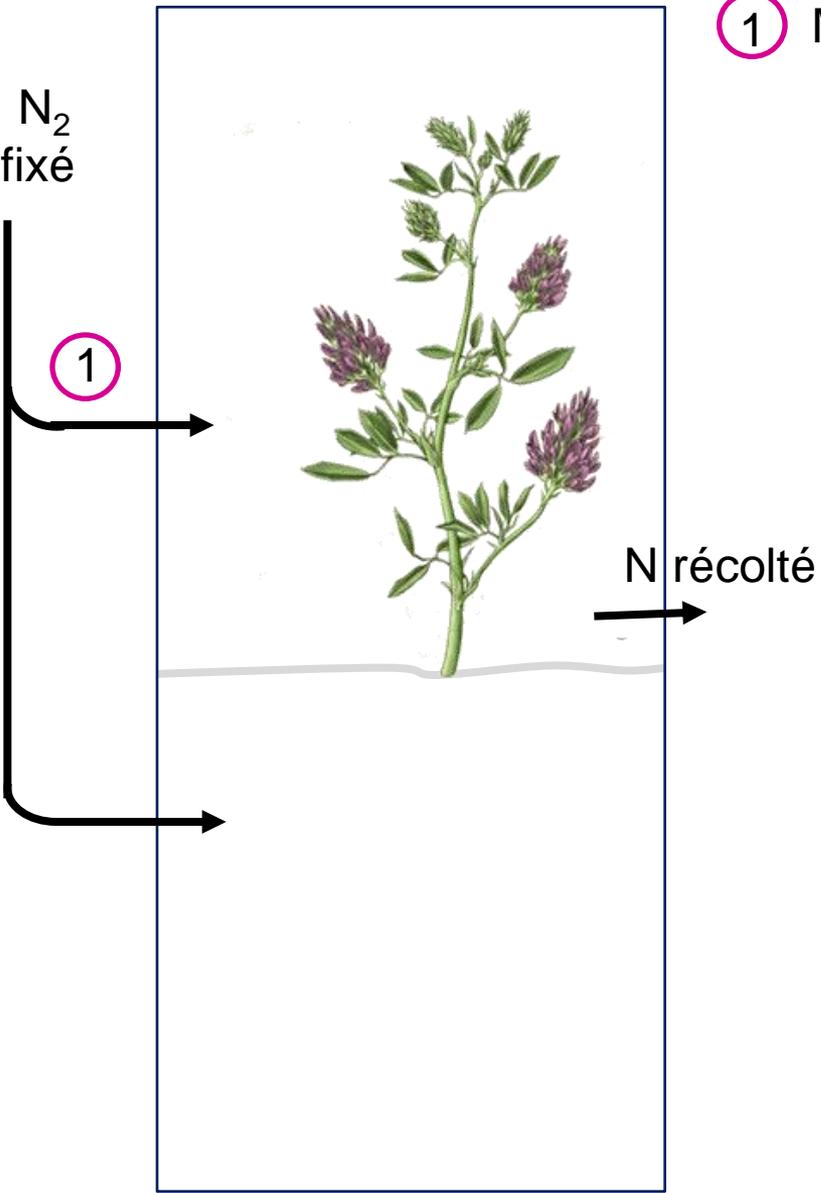
### - Lixiviation

- Accumulation dans le pool de MO du sol
- Volatilisation ou dénitrification

De la parcelle [enquêtes]  
... au territoire [statistiques] !

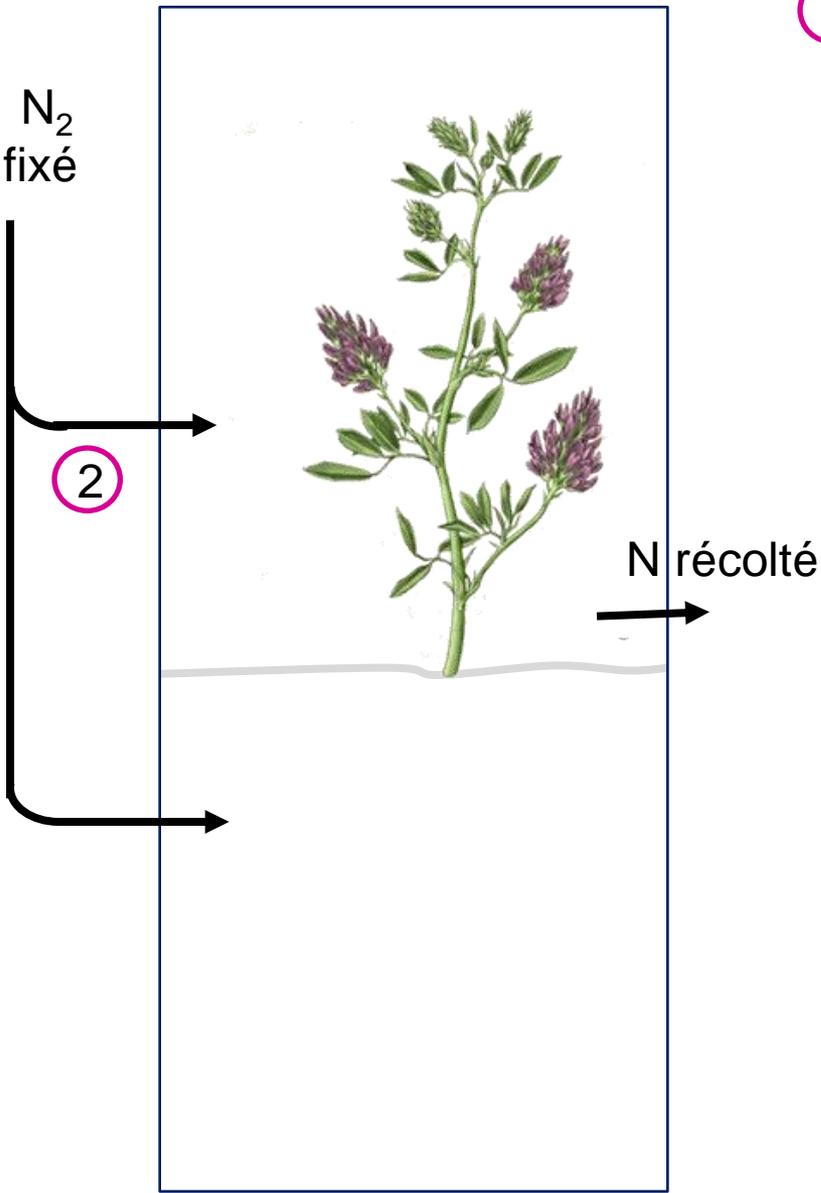
# Estimer la fixation symbiotique par les légumineuses

① Mesures isotopiques de l'N fixé (parties aériennes)

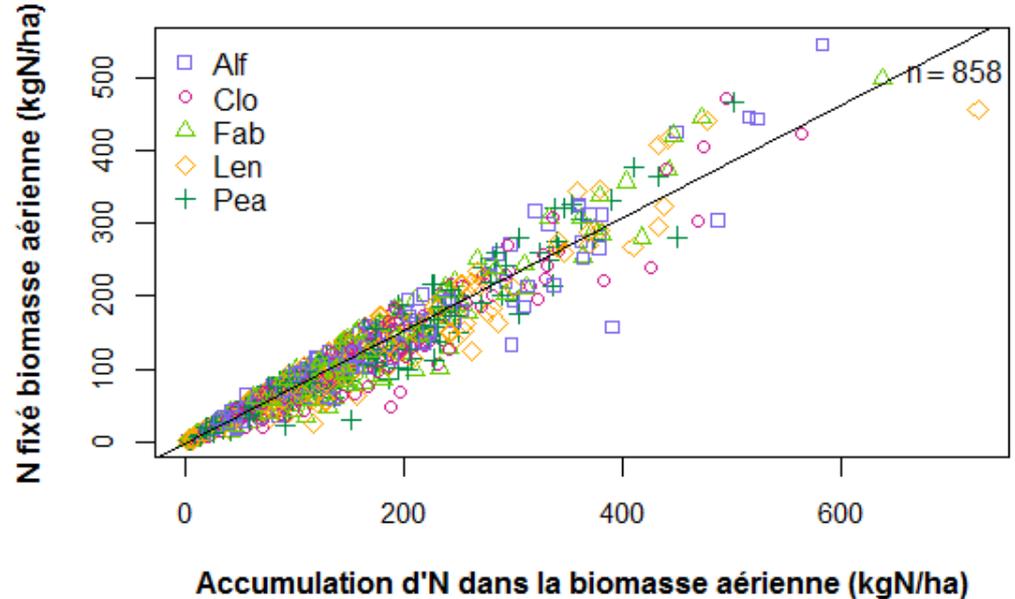
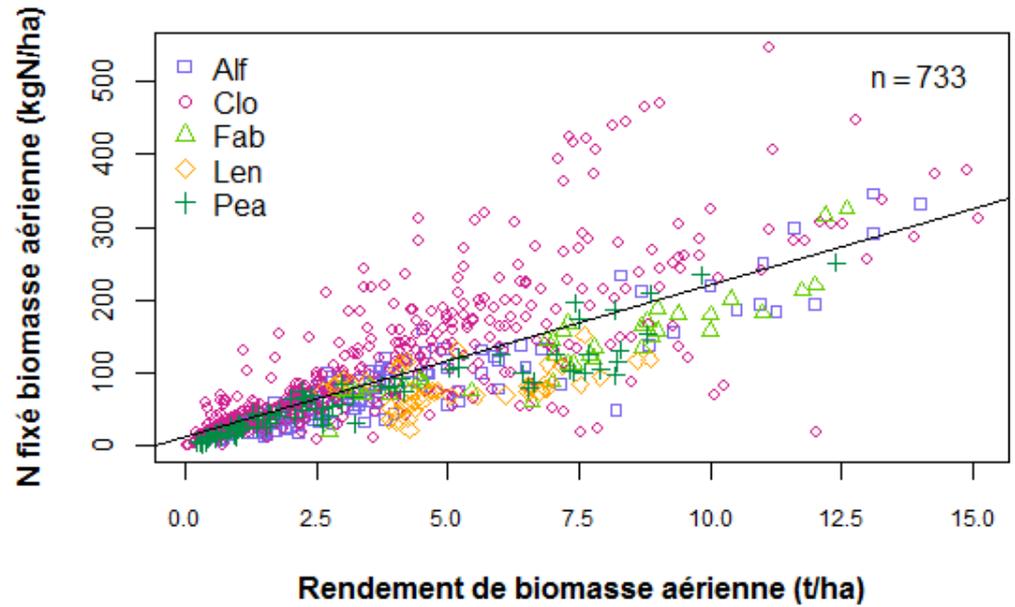


Revue bibliographique mondiale  
170 références (n=925) depuis 1986

# Estimer la fixation symbiotique par les légumineuses

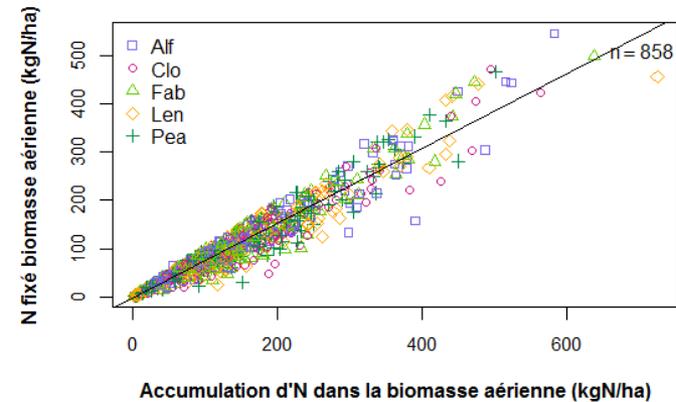
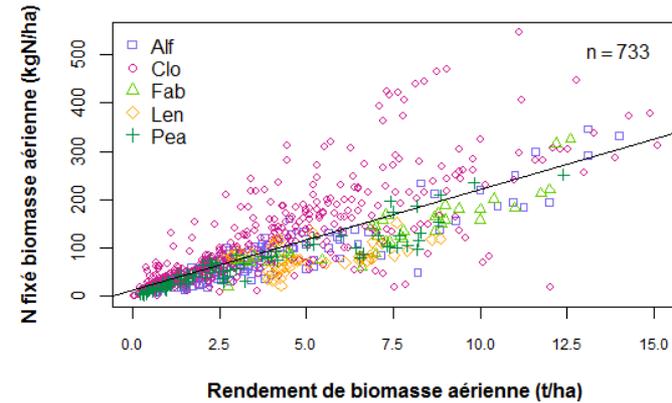
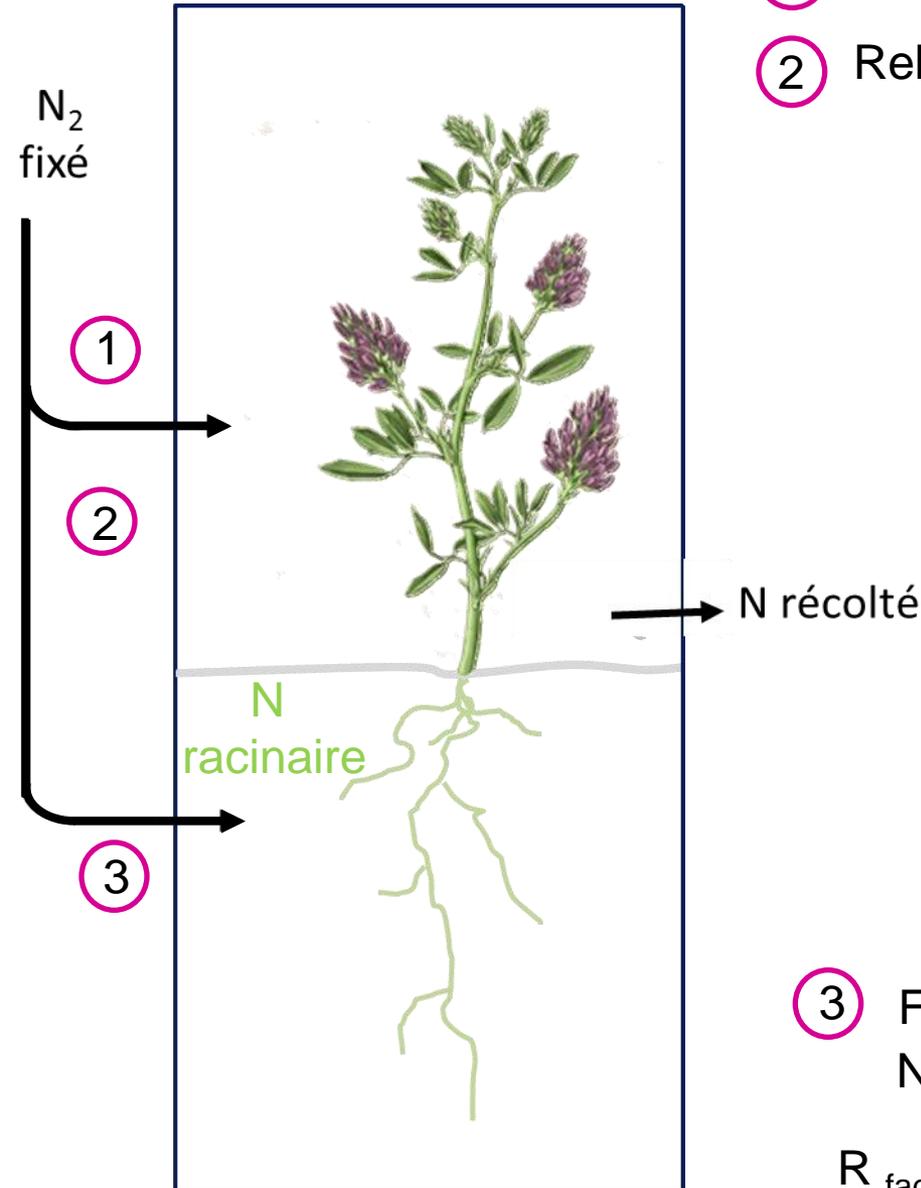


② Relation  $N_{\text{fixé}} = f(N \text{ biomasse aérienne})$



# Estimer la fixation symbiotique par les légumineuses

- 1 Mesures isotopiques de l'N fixé (parties aériennes)
- 2 Relation  $N_{shoot_{fixé}} = f(N \text{ biomasse aérienne})$

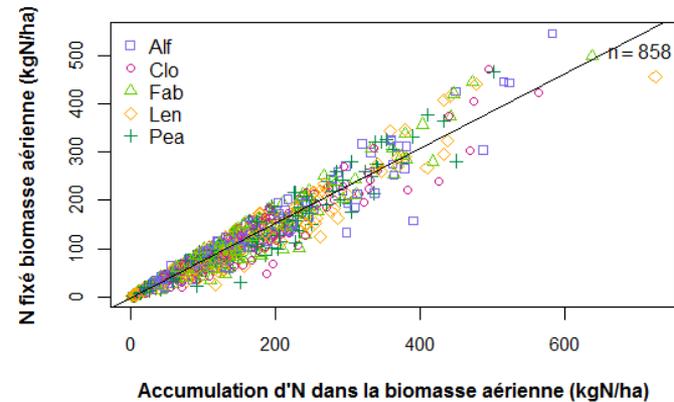
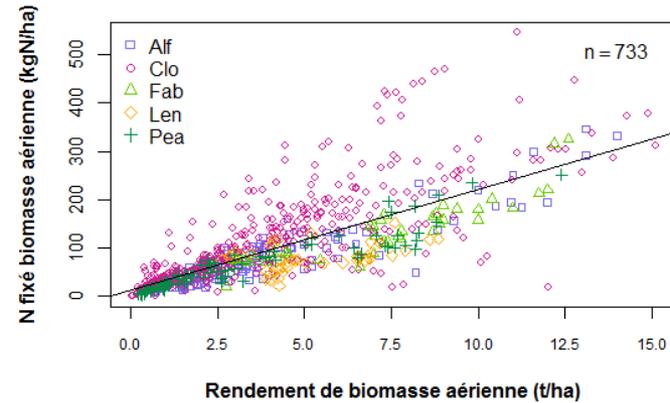
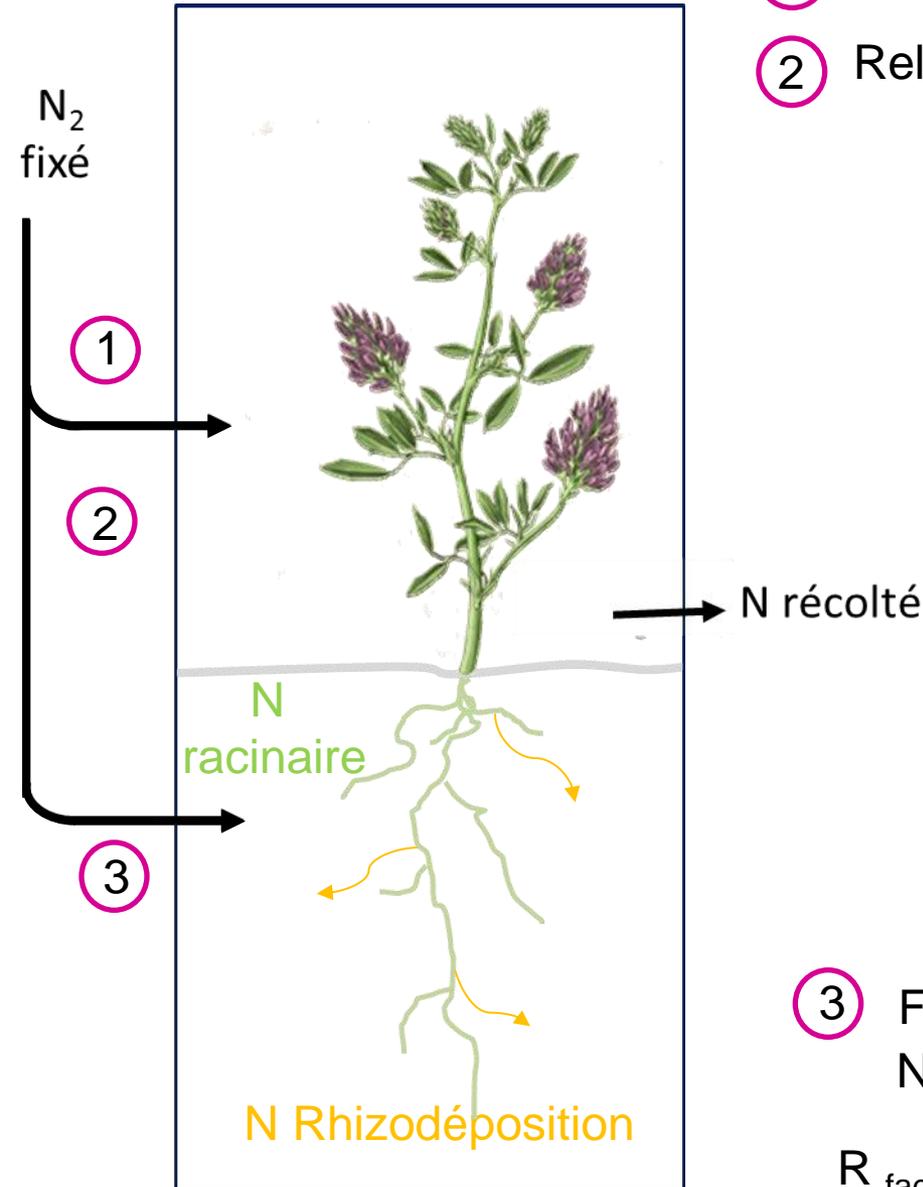


- 3 Fixation symbiotique totale  
 $N_{tot} = N_{shoot} * R_{factor}$

$$R_{factor} = 1 + [ (Root N + rhizodeposited N) / shootN ]$$

# Estimer la fixation symbiotique par les légumineuses

- 1 Mesures isotopiques de l'N fixé (parties aériennes)
- 2 Relation  $N_{shoot_{fixé}} = f( N \text{ biomasse aérienne})$

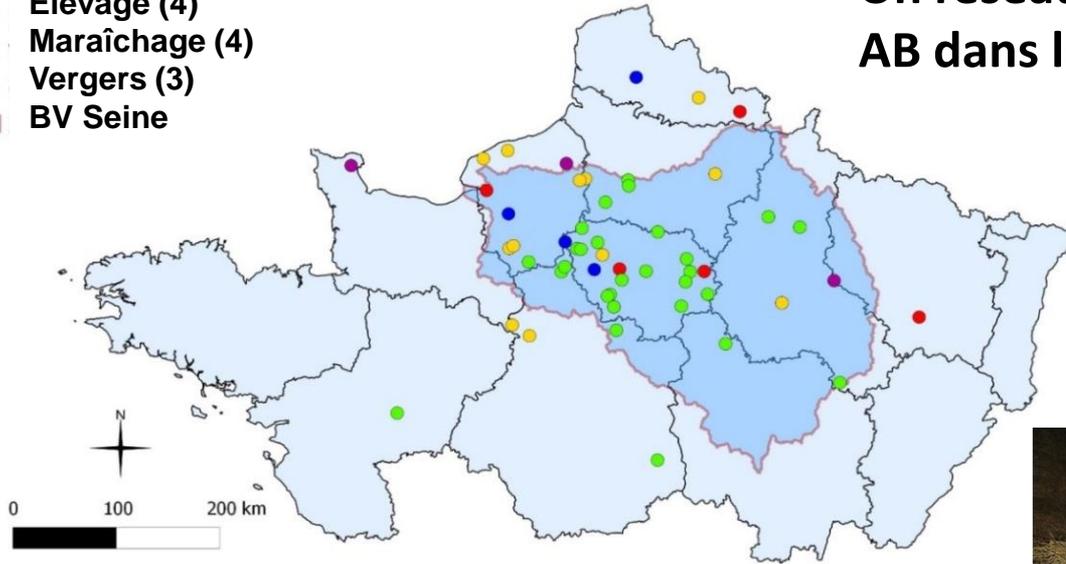


- 3 Fixation symbiotique totale  
 $N_{tot} = N_{shoot} * R_{factor}$

$$R_{factor} = 1 + [ (Root N + rhizodeposited N) / shootN ]$$

# Diversité des pratiques AB

- Grandes cultures (32)
- Polyculture-élevage (12)
- Elevage (4)
- Maraîchage (4)
- Vergers (3)
- BV Seine



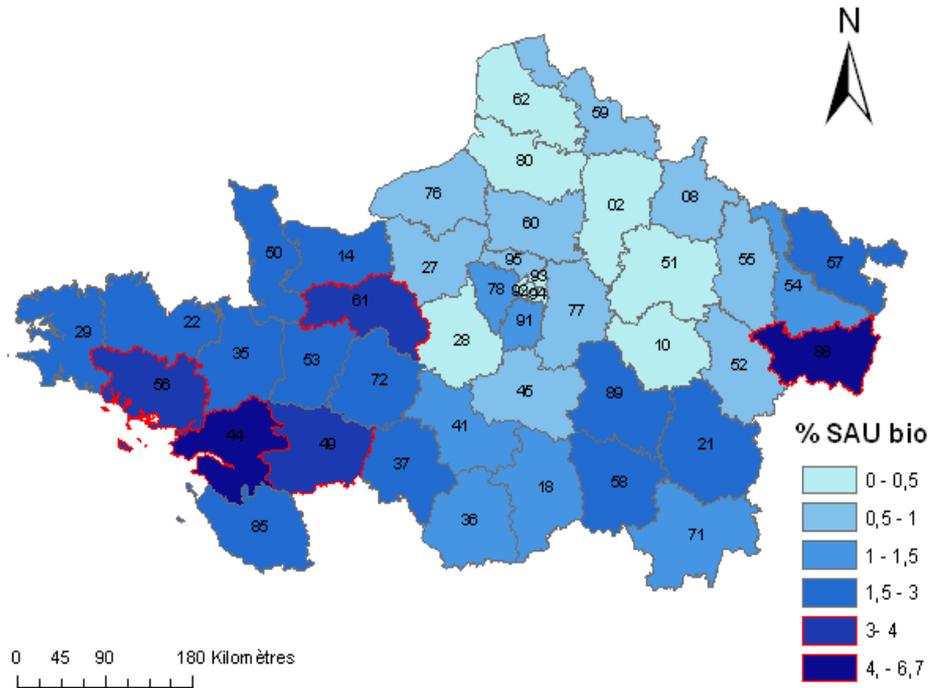
Un réseau de 55 fermes commerciales  
AB dans le bassin de la Seine « élargi »

Etablissement des relations :  
[surplus-fertilisation-rendement](#)

- Caractéristiques de l'exploitation
- Successions culturales
- Pratiques de fertilisation
- Rendements
- Conduite des troupeaux



# Diversité des pratiques AB



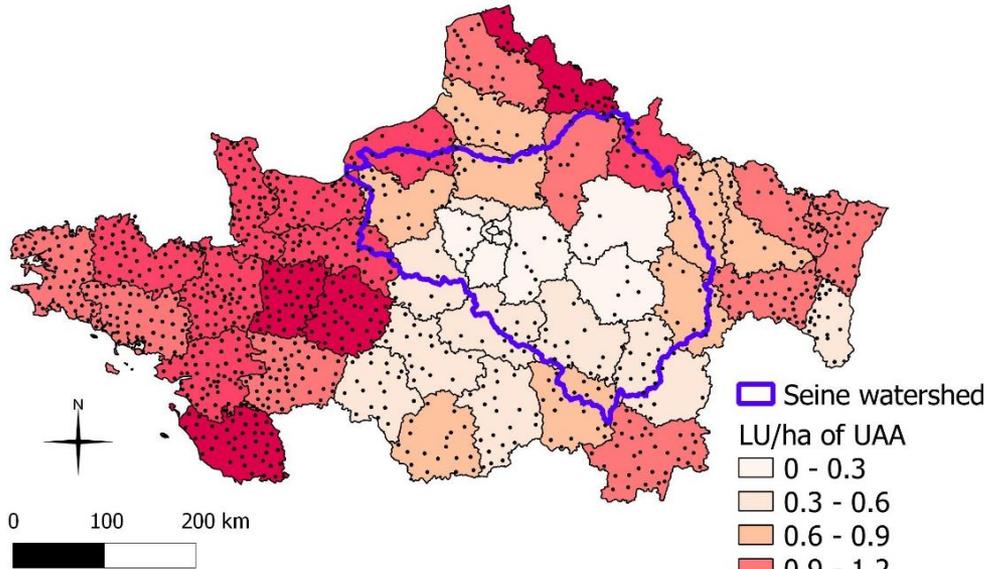
Un réseau de 55 fermes commerciales AB dans le bassin de la Seine « élargi »

Etablissement des relations :  
[surplus-fertilisation-rendement](#)

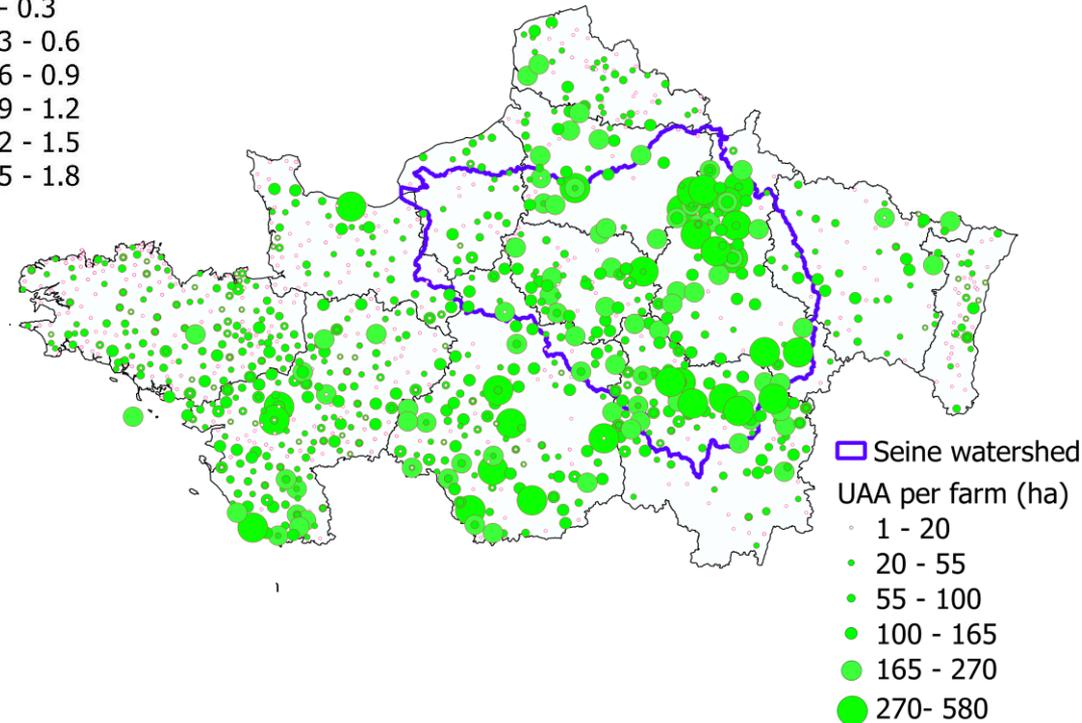
- Caractéristiques de l'exploitation
- Successions culturales
- Pratiques de fertilisation
- Rendements
- Conduite des troupeaux



# Organisation spatiale des productions en AB



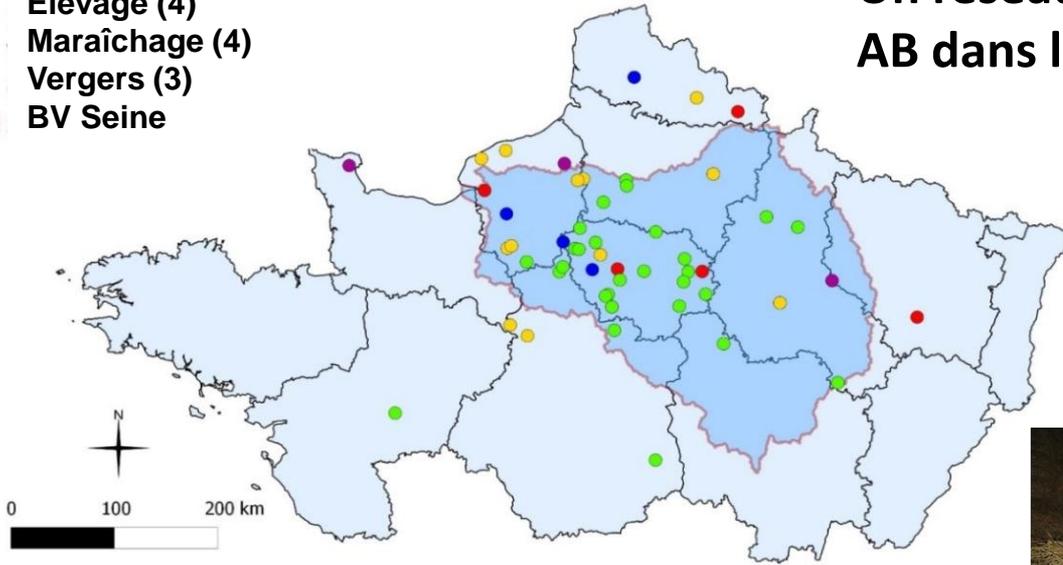
## Découplage entre culture et élevage



Une spécialisation territoriale  
qui les tendances AC

# Diversité des pratiques AB

- Grandes cultures (32)
- Polyculture-élevage (12)
- Elevage (4)
- Maraîchage (4)
- Vergers (3)
- BV Seine



Un réseau de 55 fermes commerciales  
AB dans le bassin de la Seine « élargi »

Etablissement des relations :  
[surplus-fertilisation-rendement](#)

« Entretiens » ou « rencontres »

- Caractéristiques de l'exploitation
- Successions culturales
- Pratiques de fertilisation
- Rendements
- Conduite des troupeaux



*Des réalités locales indices des freins  
techniques, économiques, sociaux,  
institutionnels ...*

# Diversité des pratiques AB : Rotations

## Des légumineuses des dans rotations céréalières

- ❑ Blé, Orge, Triticale, Avoine, Seigle
- ❑ Luzerne , Trèfle blanc ou violet → « fourragère »  
Lentille, Féverole, Pois → « graine »

**Succession culturale « typique ? » du bassin de la Seine :**



# Diversité des pratiques AB : Rotations

## Des légumineuses des dans rotations céréalières

- ❑ Blé, Orge, Triticale, Avoine, Seigle
- ❑ Luzerne , Trèfle blanc ou violet → « fourragère »  
Lentille, Féverole, Pois → « graine »

## Succession culturale « typique ? » du bassin de la Seine :

### Grandes cultures [5-12 ans]

Luzerne * 2-3 (ou TV)	Légumineuse graine
Blé	Blé
Céréale 2 nd	Céréale 2 nd
Légumineuse graine	Maïs
Blé	
Céréale 2 nd	

# Diversité des pratiques AB : Rotations

## Des légumineuses dans des rotations céréalières

- ❑ Blé, Orge, Triticale, Avoine, Seigle
- ❑ Luzerne, Trèfle blanc ou violet → « fourragère »  
Lentille, Féverole, Pois → « graine »

## Succession culturale « typique ? » du bassin de la Seine :

### Grandes cultures [5-12 ans]

Luzerne * 2-3 (ou TV)	Légumineuse graine
Blé	Blé
Céréale 2 nd	Céréale 2 nd
Légumineuse graine	Maïs
Blé	
Céréale 2 nd	

CIPAN : moutarde

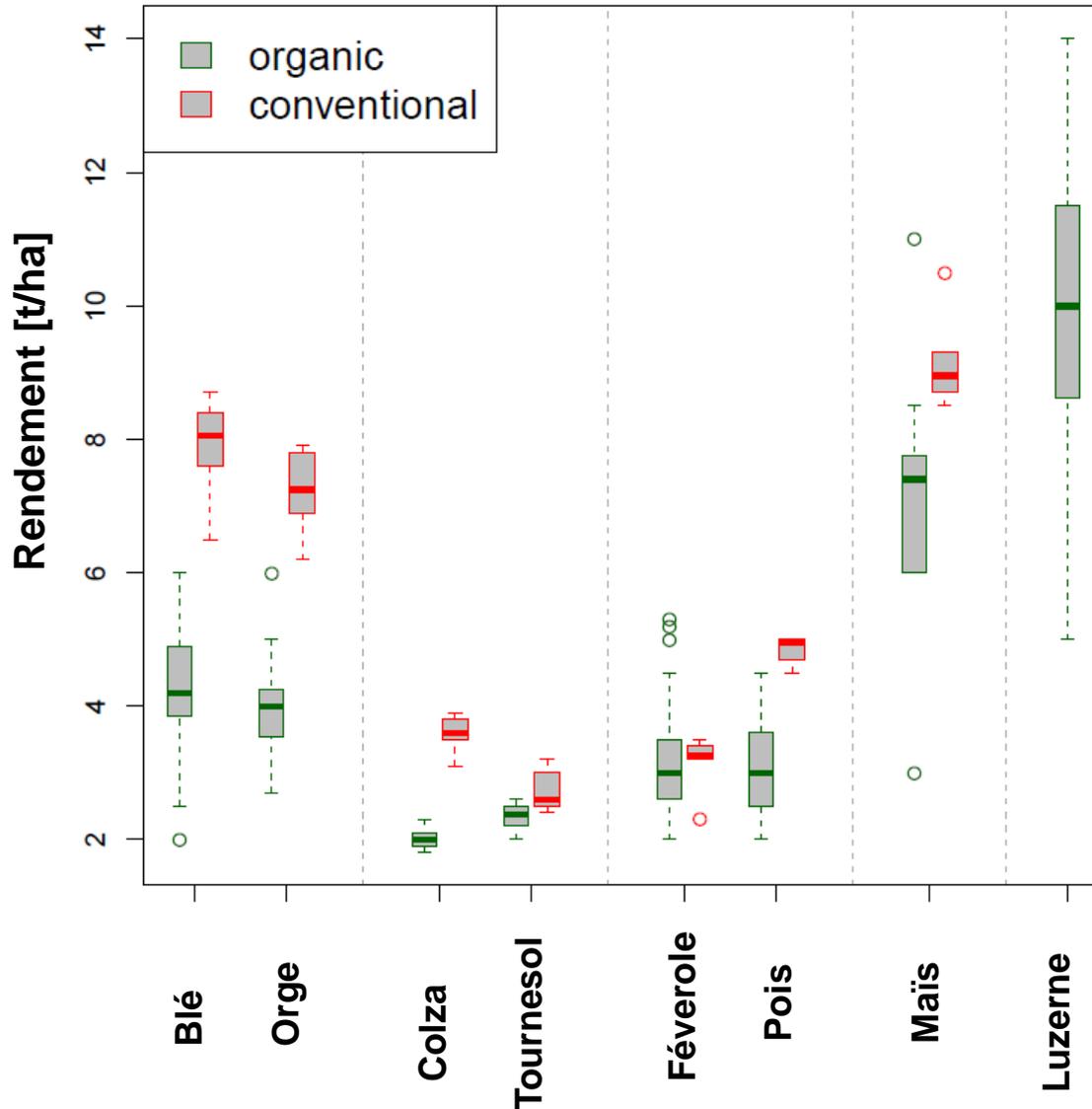
### Polyculture-élevage [5-7ans]

PT \* 4 (graminée, légumineuse)  
Blé  
Céréales - pois

Engrais verts : TB ou mélanges

# Performances agronomiques = « Rendements » ?

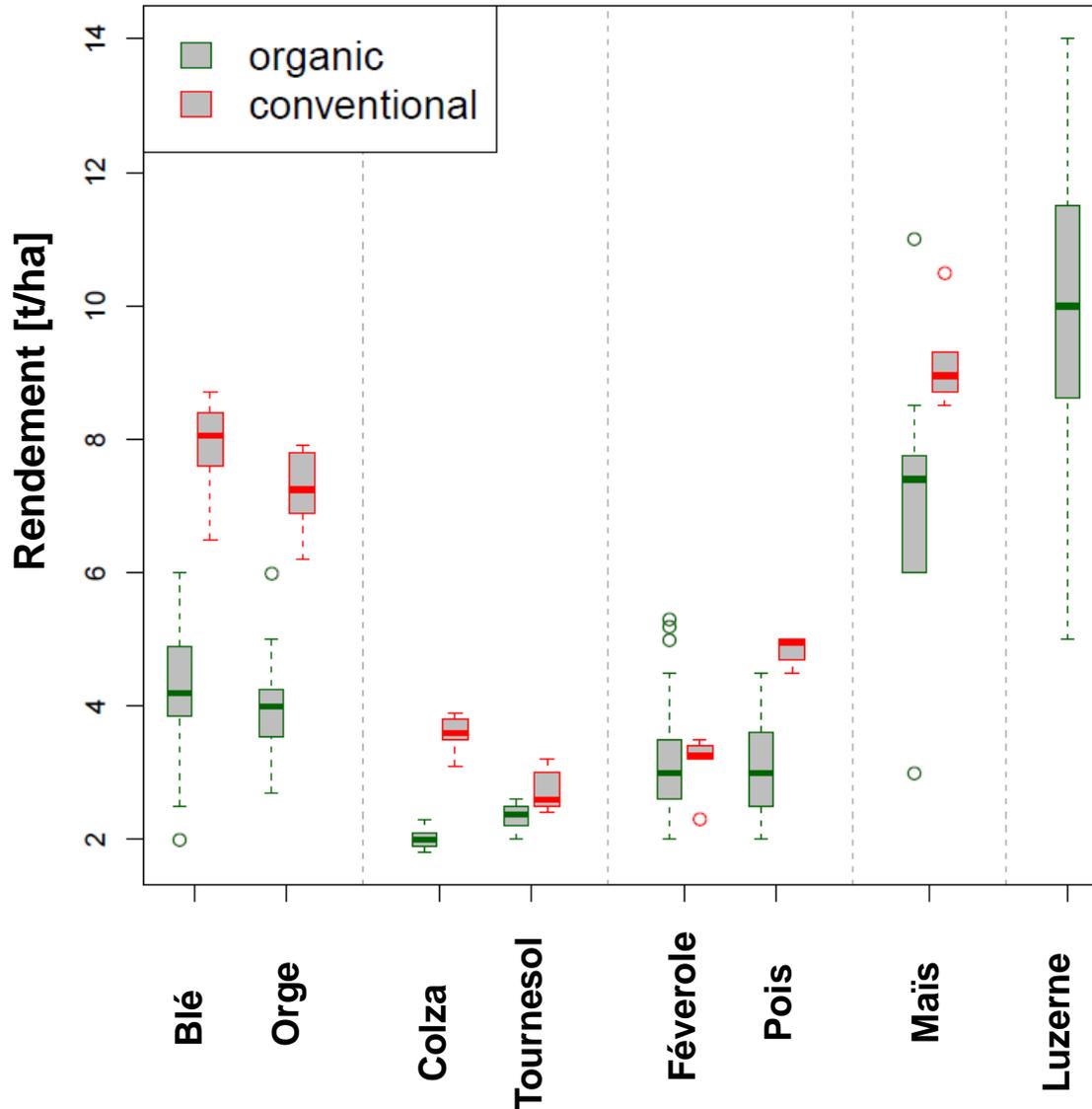
AB ( enquêtes réseau) vs AC (statistiques départementales)



On note une baisse de rendement d'en moyenne **40 %** pour les céréales

# Performances agronomiques = « Rendements » ?

AB ( enquêtes réseau) vs AC (statistiques départementales)

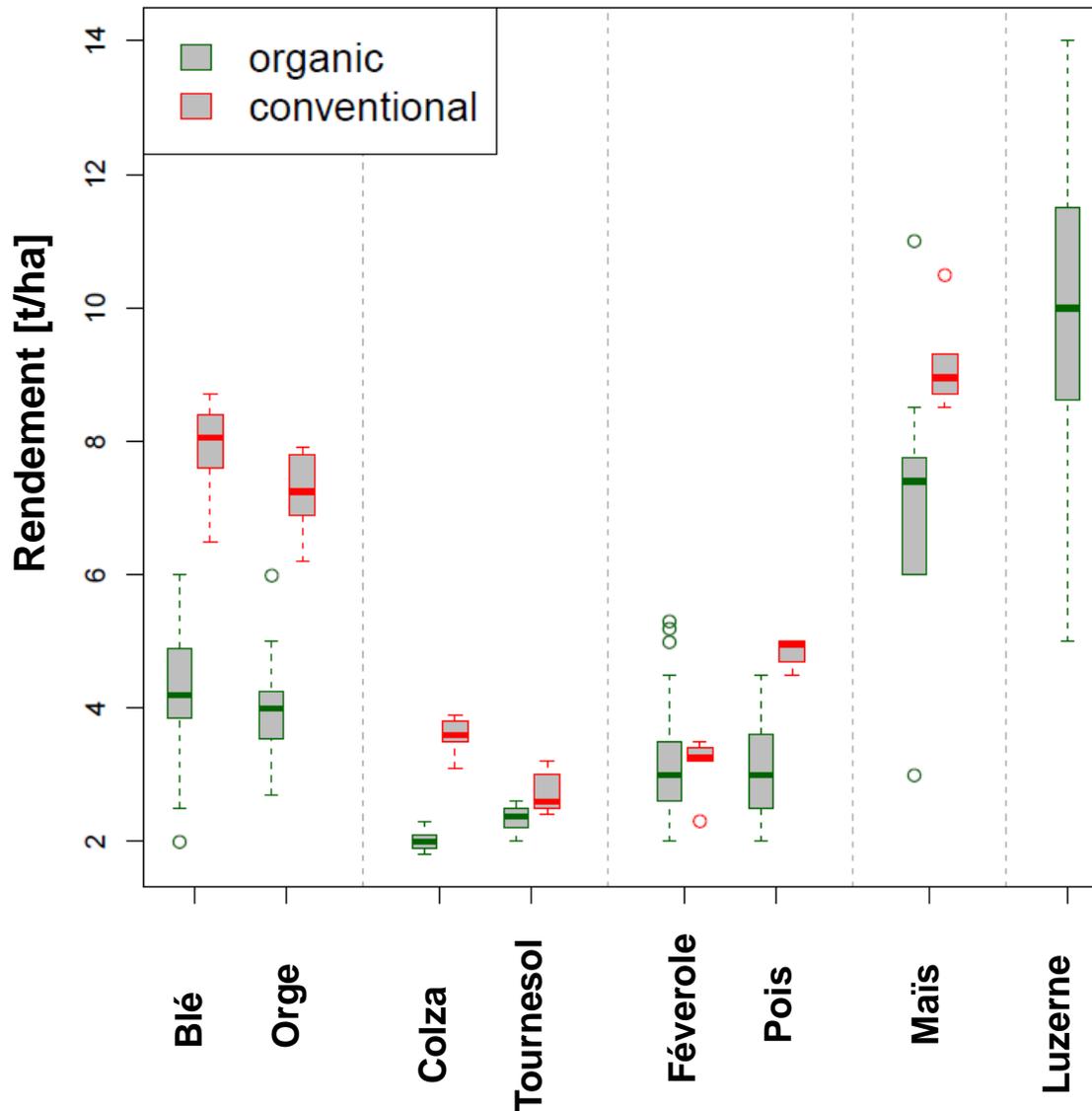


On note une baisse de rendement d'en moyenne **40 % pour les céréales**

MAIS ...

# Performances agronomiques = « Rendements » ?

AB ( enquêtes réseau) vs AC (statistiques départementales)

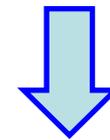


On note une baisse de rendement d'en moyenne **40 % pour les céréales**

MAIS ...

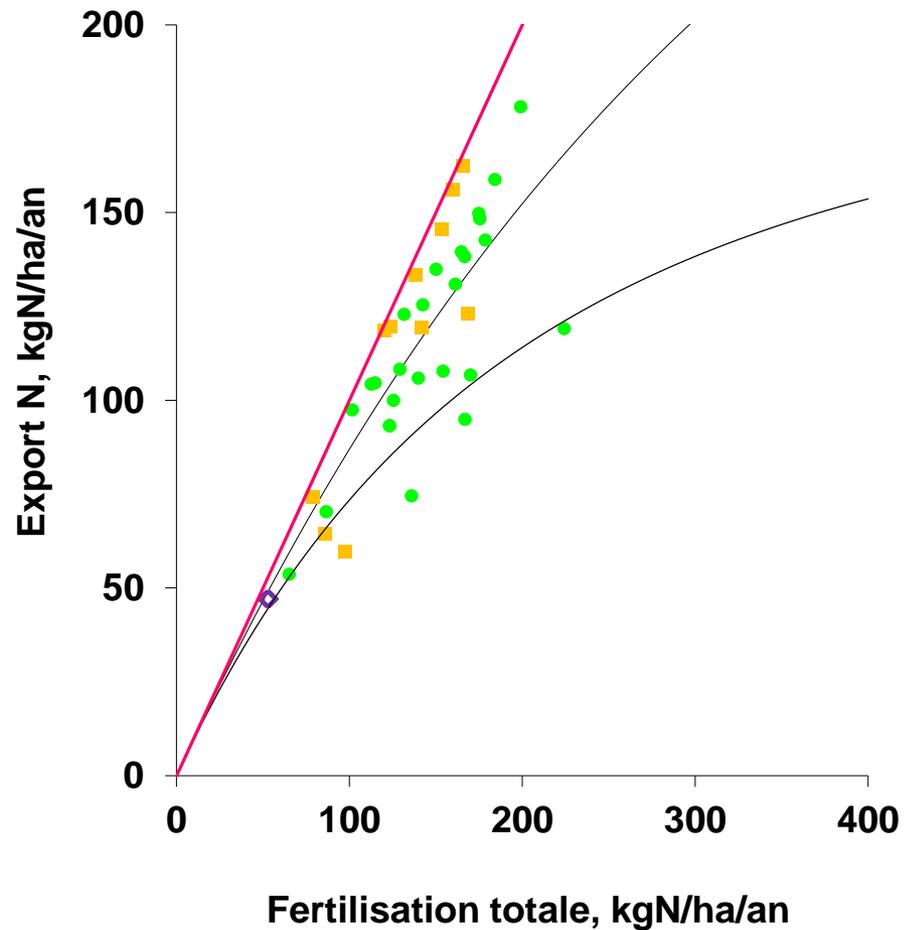
AB est caractérisée par des rotations longues et diversifiées

Turnover de l'N



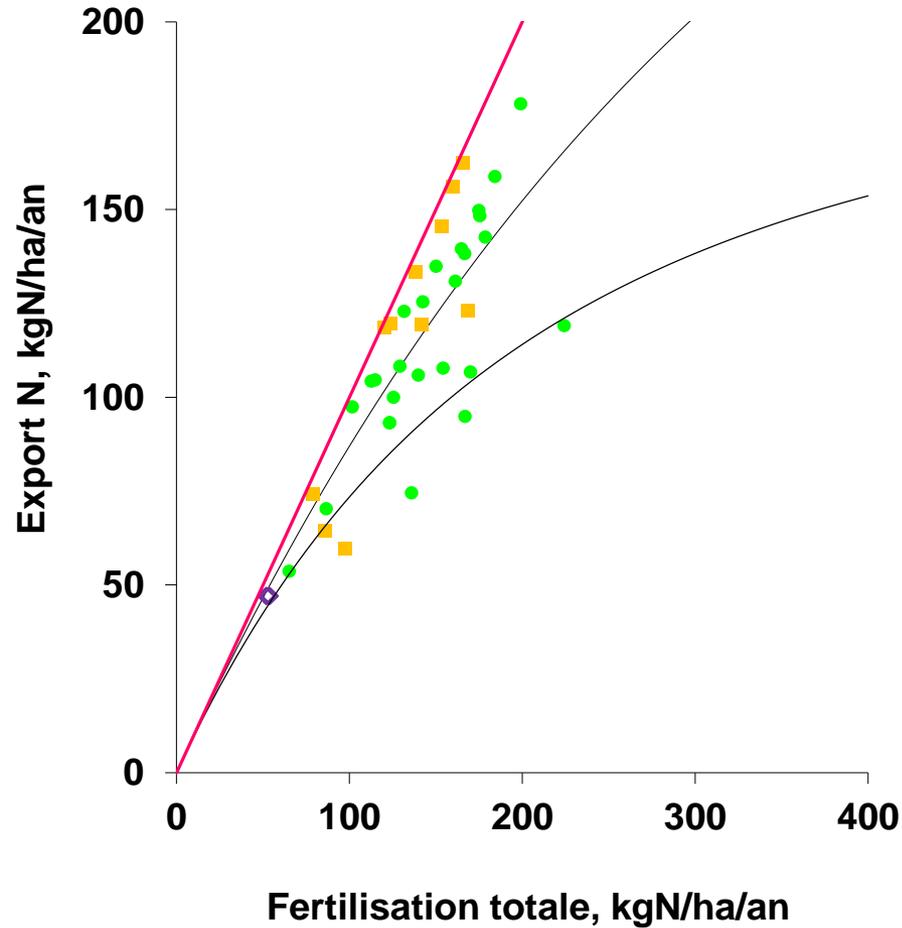
**Comparaison systémique de la production (protéique = N), à l'échelle de la rotation → SSB**

# Relation fertilisation totale-rendement-surplus



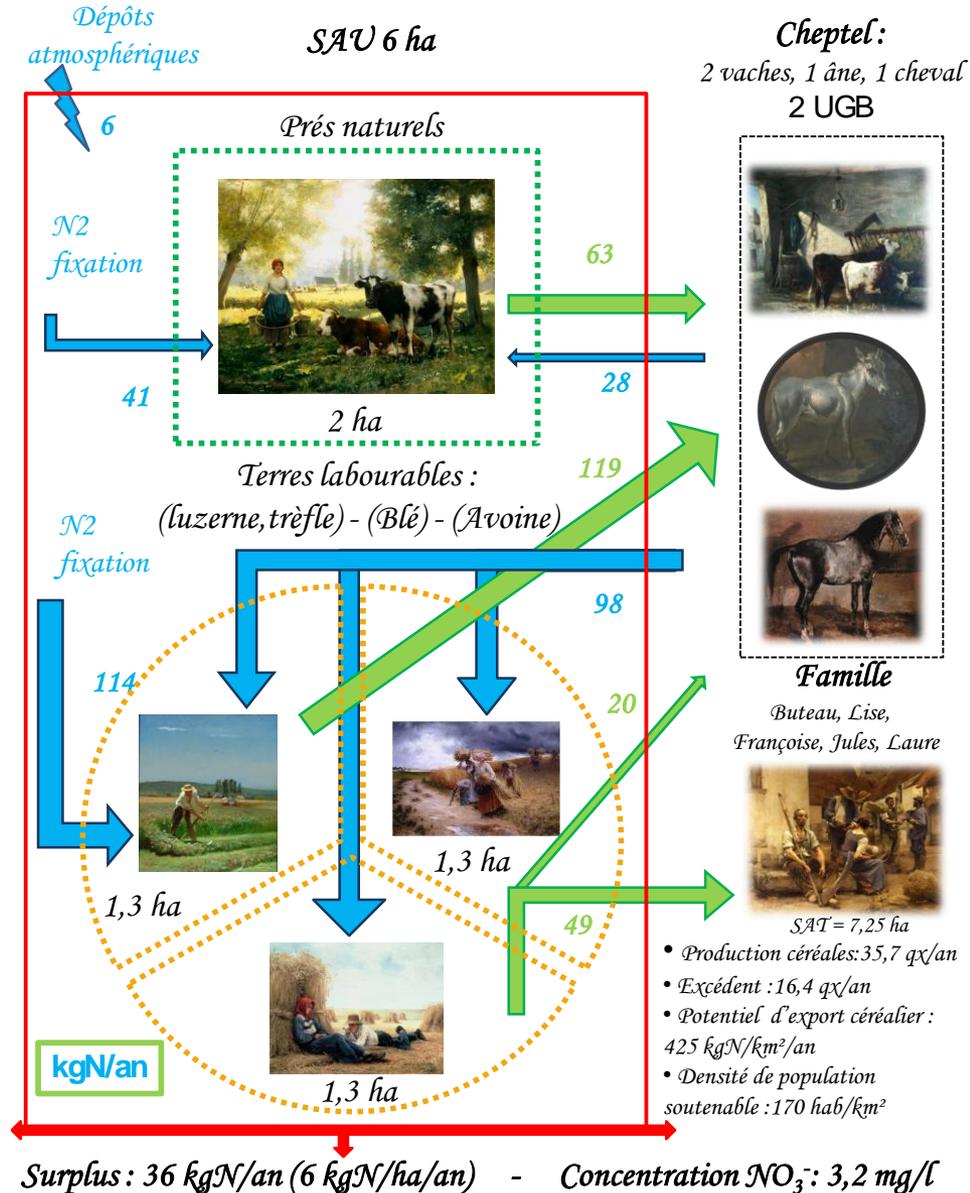
- Grandes cultures AB
- Polyculture-élevage AB
- ◇ Polyculture-élevage 1870

# Relation fertilisation totale-rendement-surplus



- Grandes cultures AB
- Polyculture-élevage AB
- ◇ Polyculture-élevage 1870

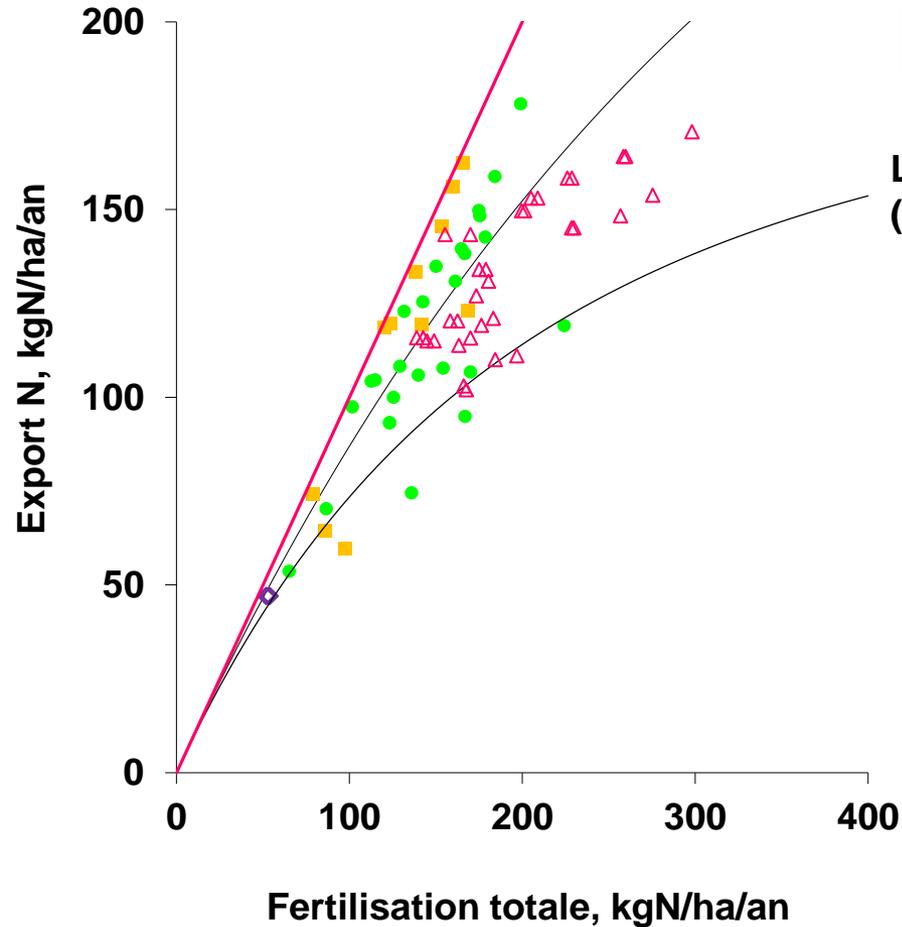
## Flux d'azote dans l'exploitation de la famille Buteau (1870)



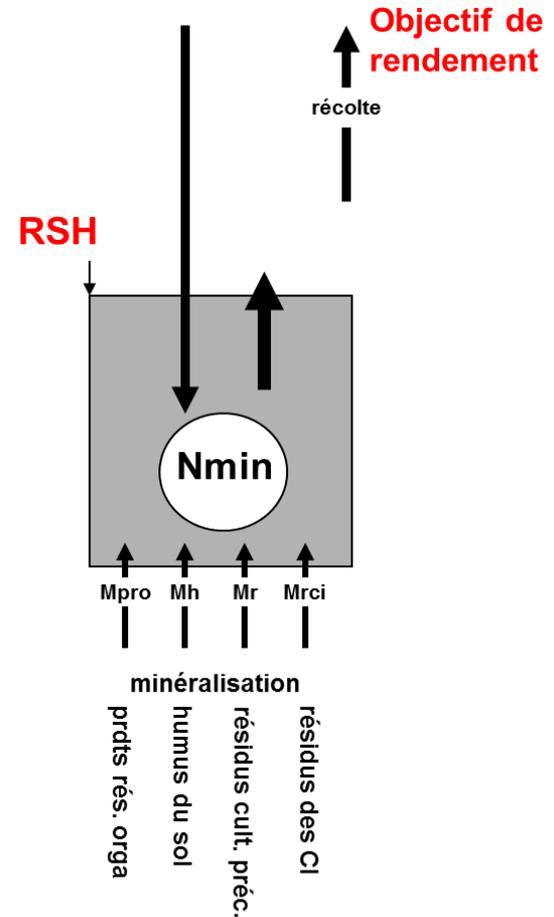
# Relation fertilisation totale-rendement-surplus



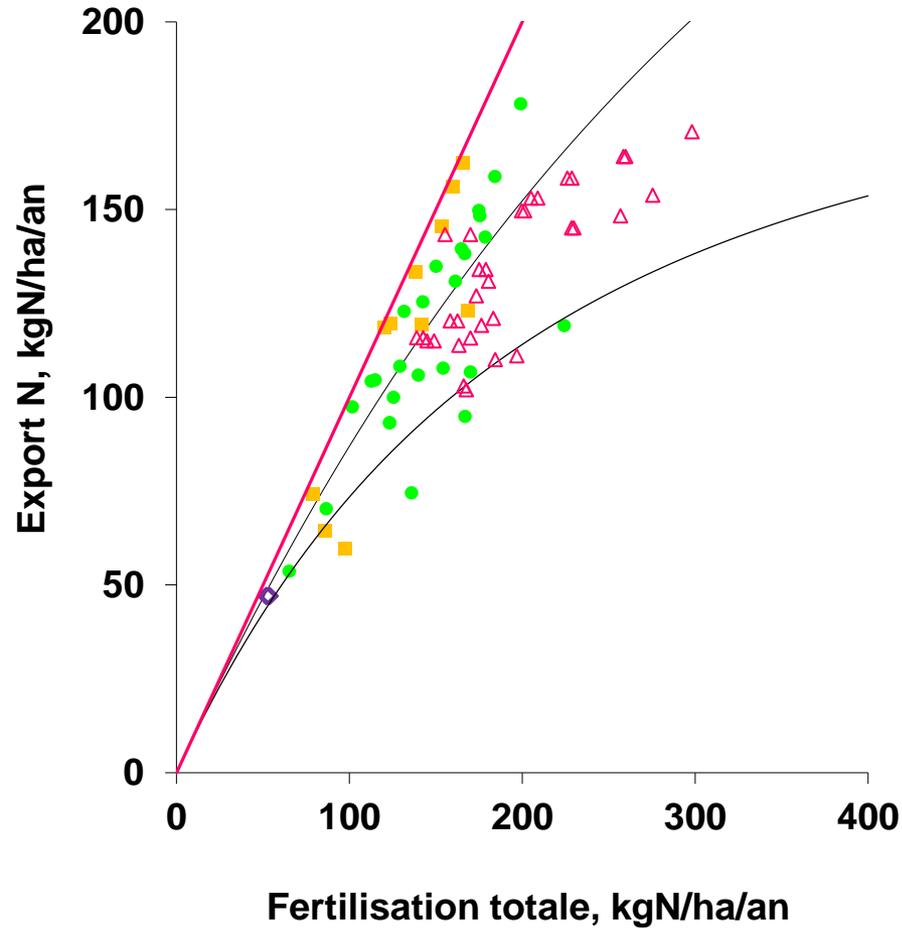
La méthode du bilan d'azote minéral  
(Rémy & Hébert, 1977; Machet et al., 2007)



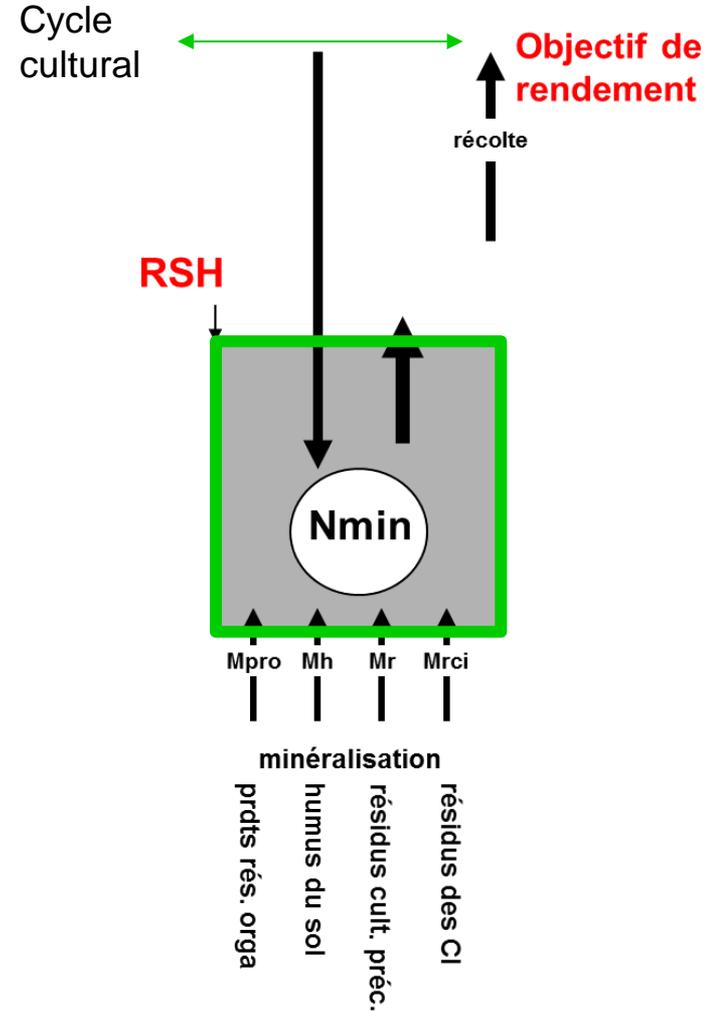
- Grandes cultures AB
- Polyculture-élevage AB
- ◇ Polyculture-élevage 1870
- △ AC (fertilisation raisonnée optimale)



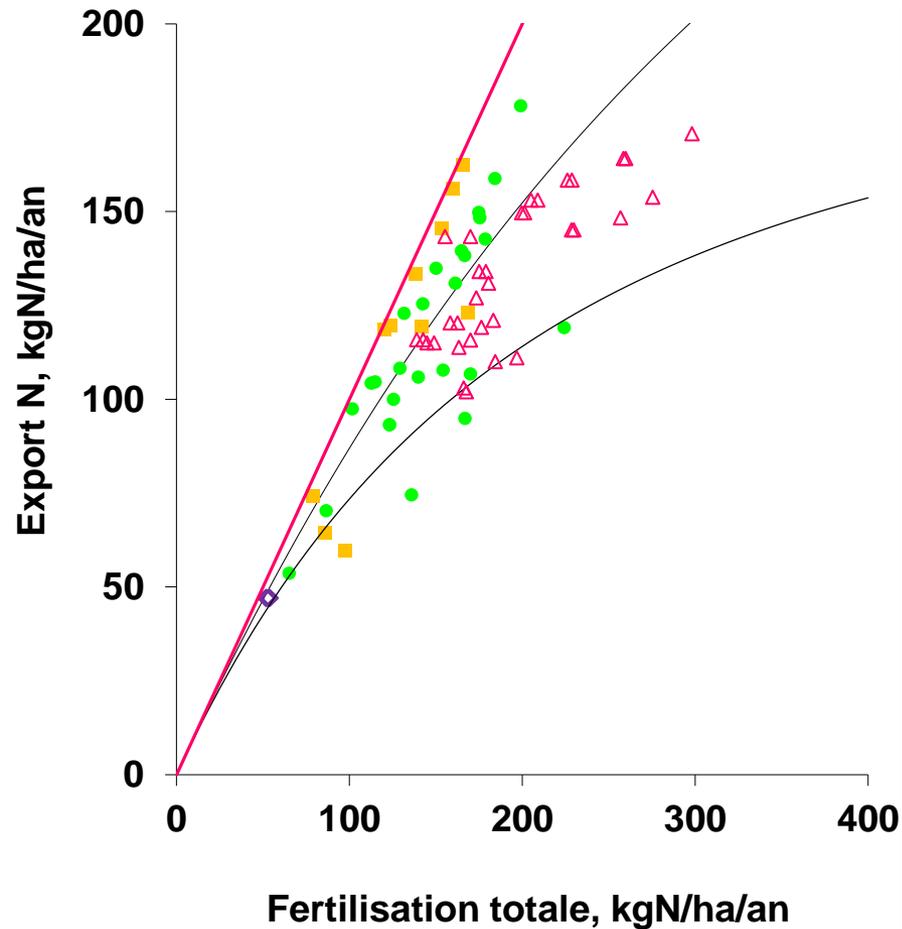
# Relation fertilisation totale-rendement-surplus



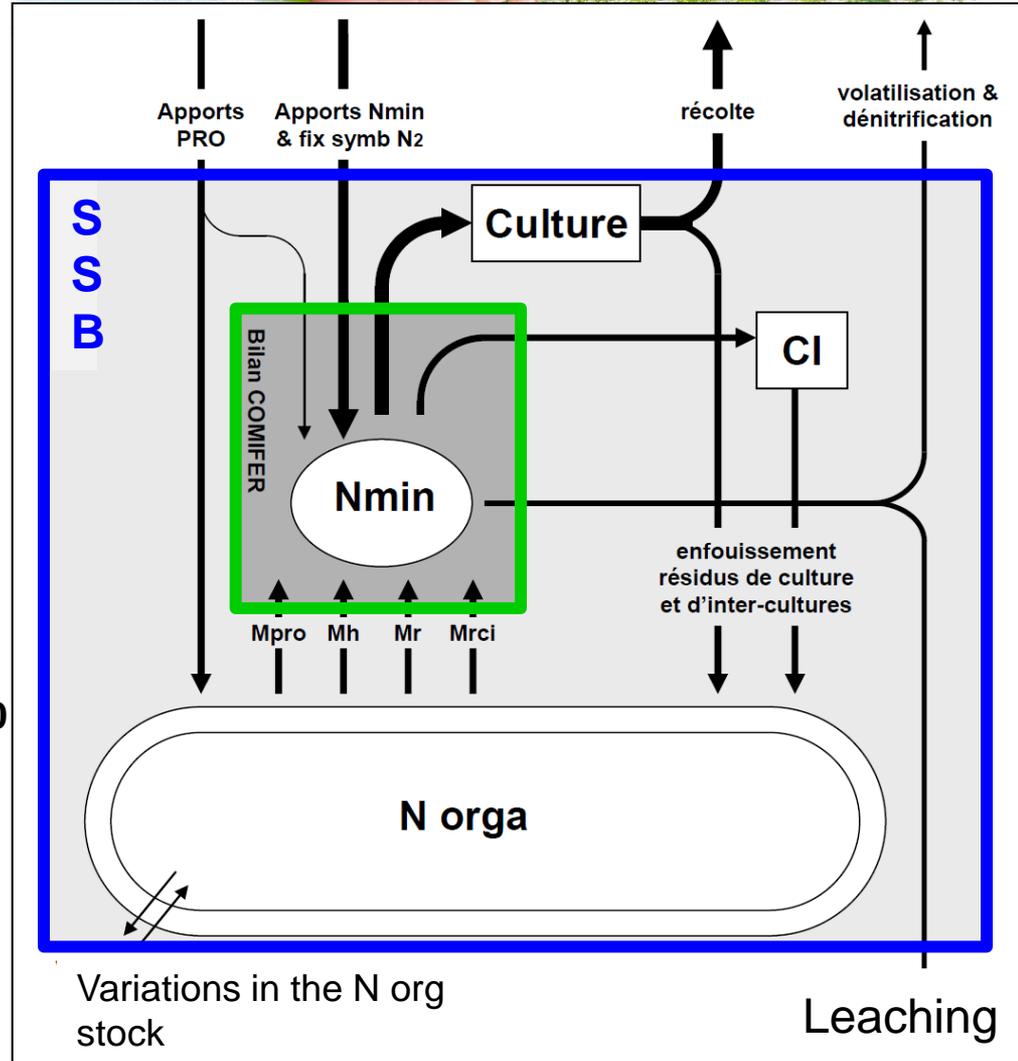
- Grandes cultures AB
- Polyculture-élevage AB
- ◇ Polyculture-élevage 1870
- △ AC (fertilisation raisonnée optimale)



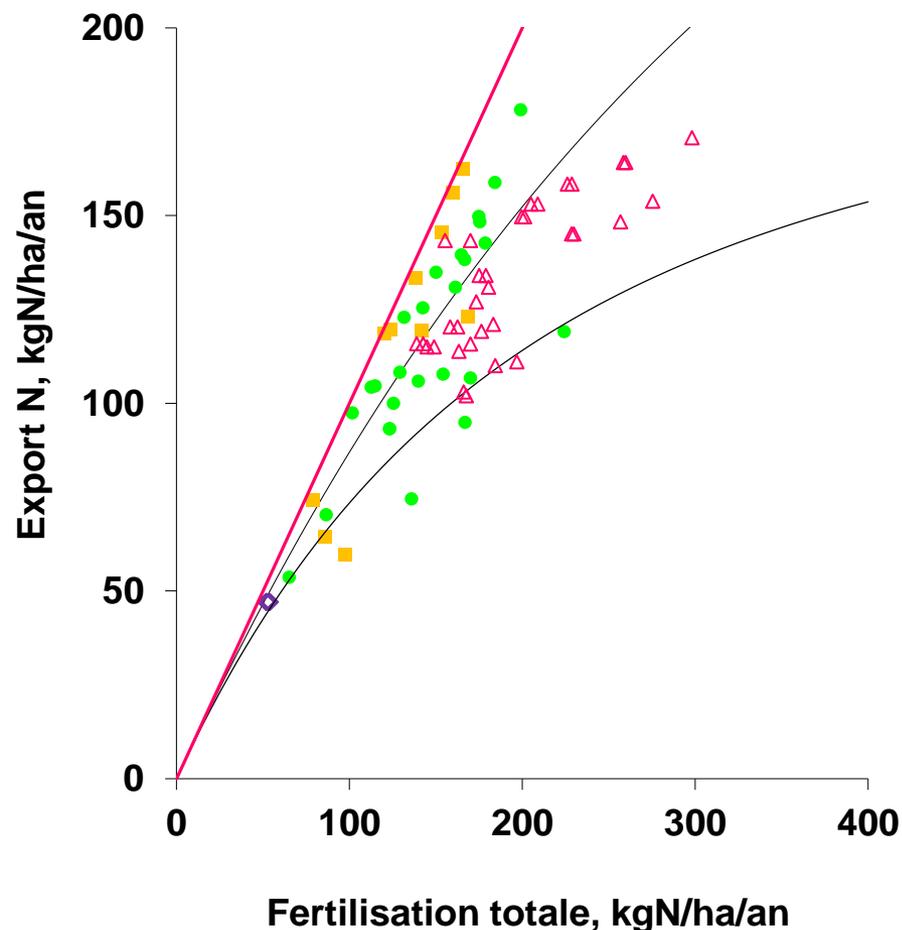
# Relation fertilisation totale-rendement-surplus



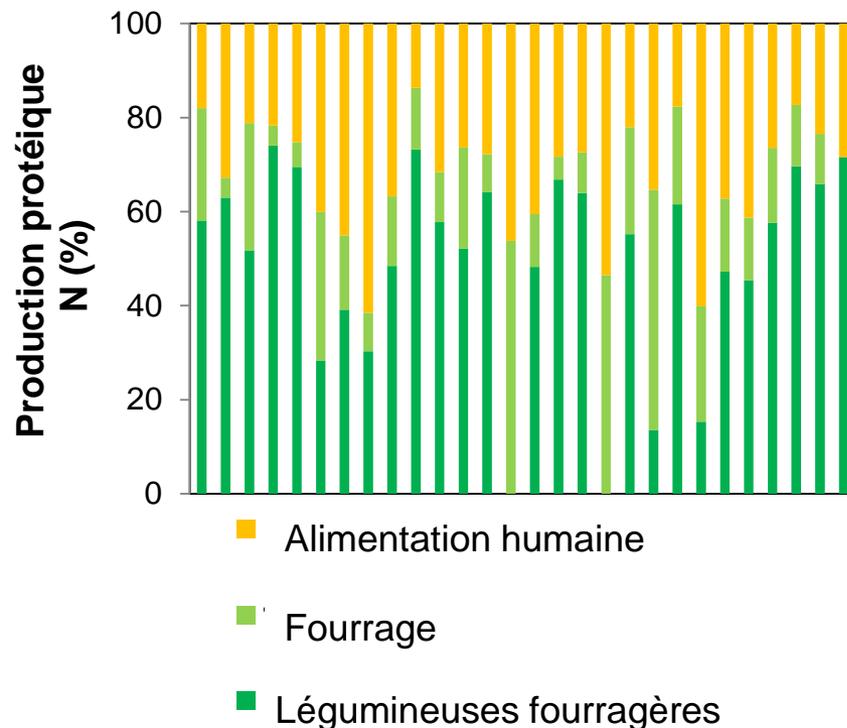
- Grandes cultures AB
- Polyculture-élevage AB
- ◇ Polyculture-élevage 1870
- △ AC (fertilisation raisonnée optimale)



# Relation fertilisation total-rendement-surplus

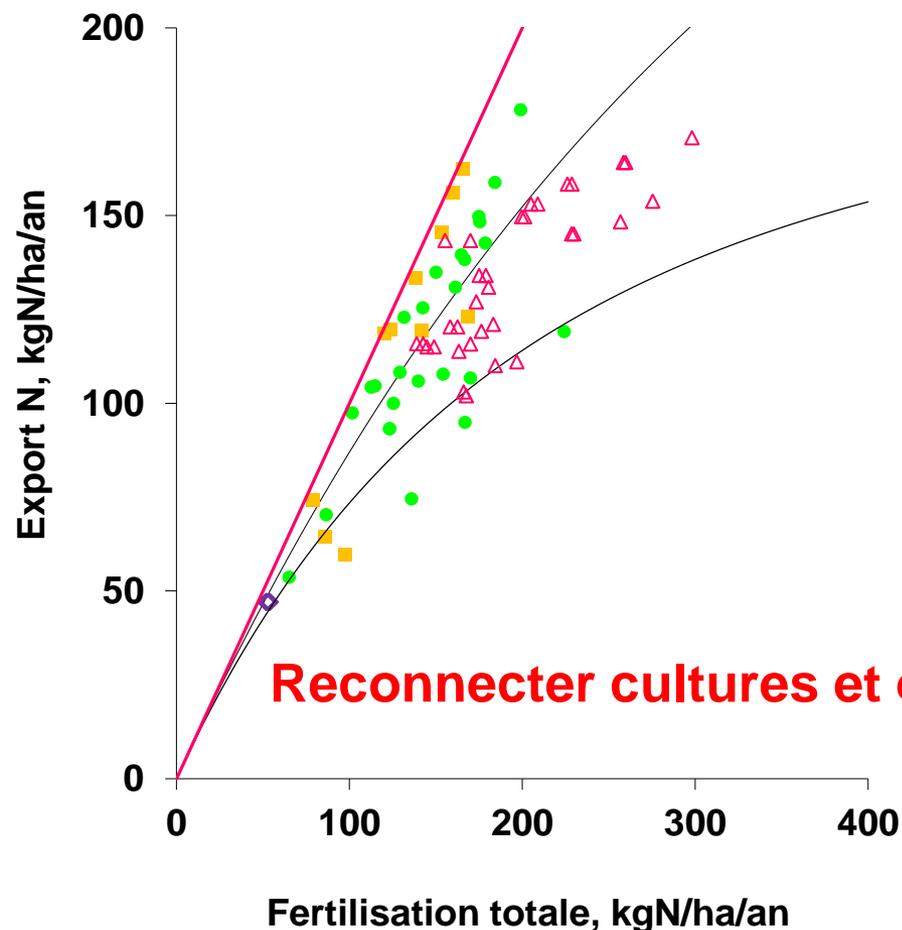


- **Grandes cultures AB**
- **Polyculture-élevage AB**
- ◇ **Polyculture-élevage 1870**
- △ **AC (fertilisation raisonnée optimale)**

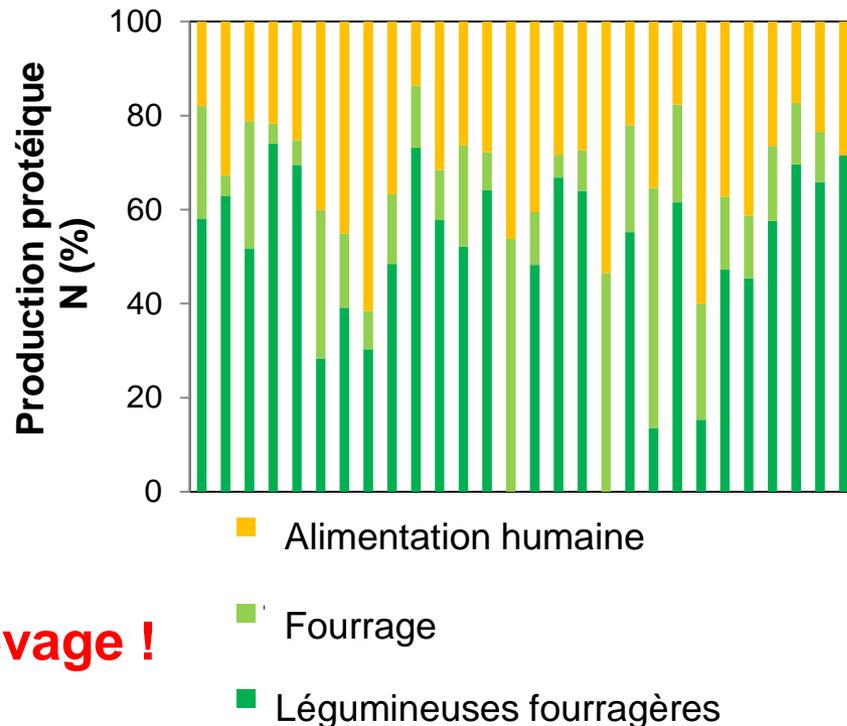


A l'échelle de la rotation, 52 % des protéines produites dans les exploitations spécialisées en GC sont des légumineuses fourragères

# Relation fertilisation total-rendement-surplus



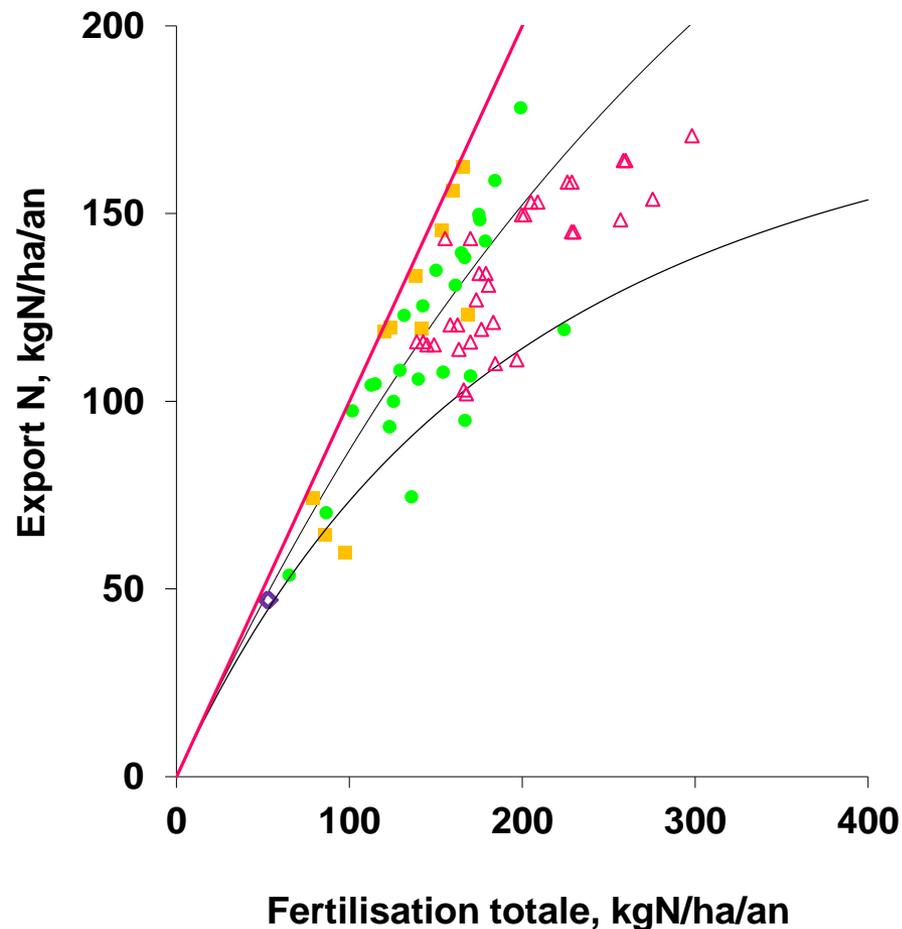
- Grandes cultures AB
- Polyculture-élevage AB
- ◇ Polyculture-élevage 1870
- △ AC (fertilisation raisonnée optimale)



A l'échelle de la rotation, 52 % des protéines produites dans les exploitations spécialisées en GC sont des légumineuses fourragères

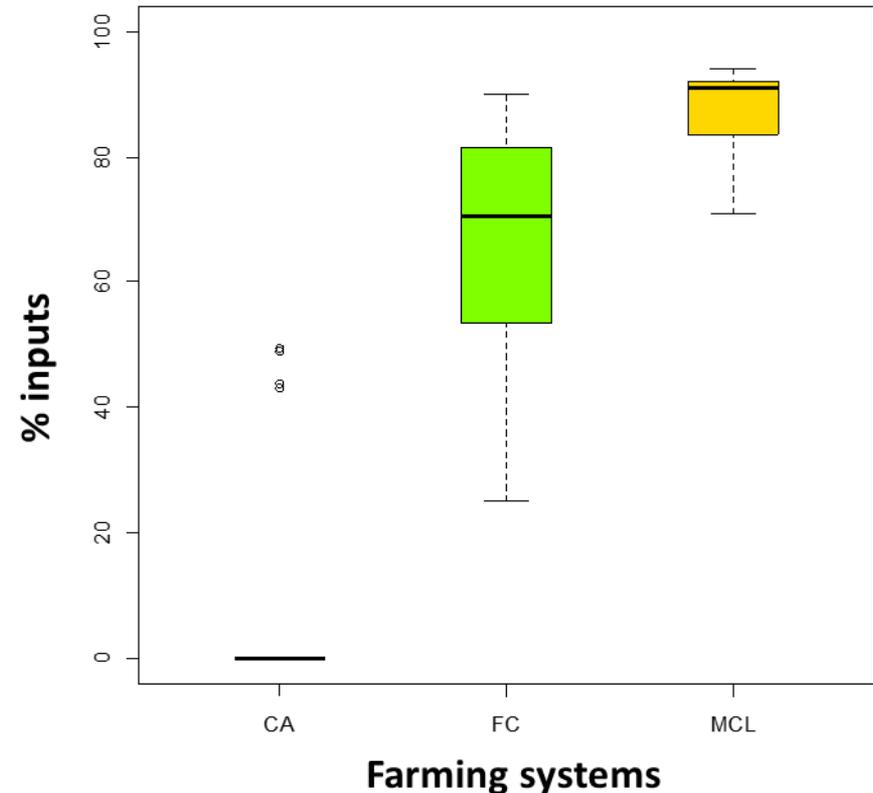
**Débouchés pour les légumineuses fourragères**

# Relation fertilisation total-rendement-surplus



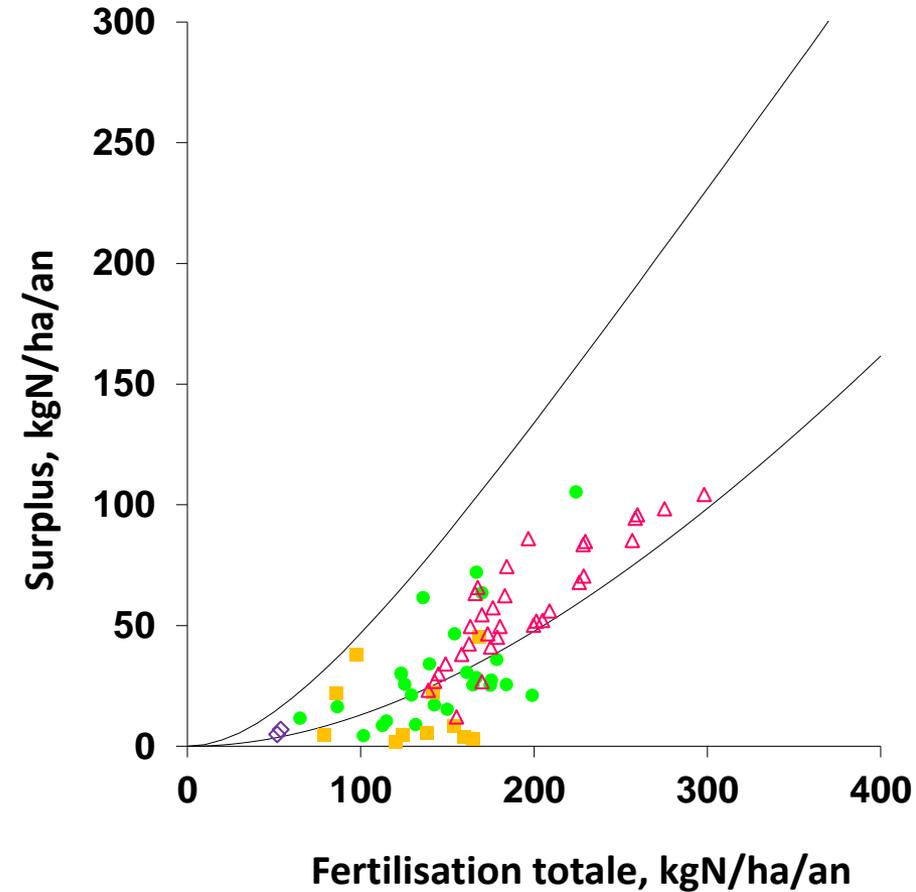
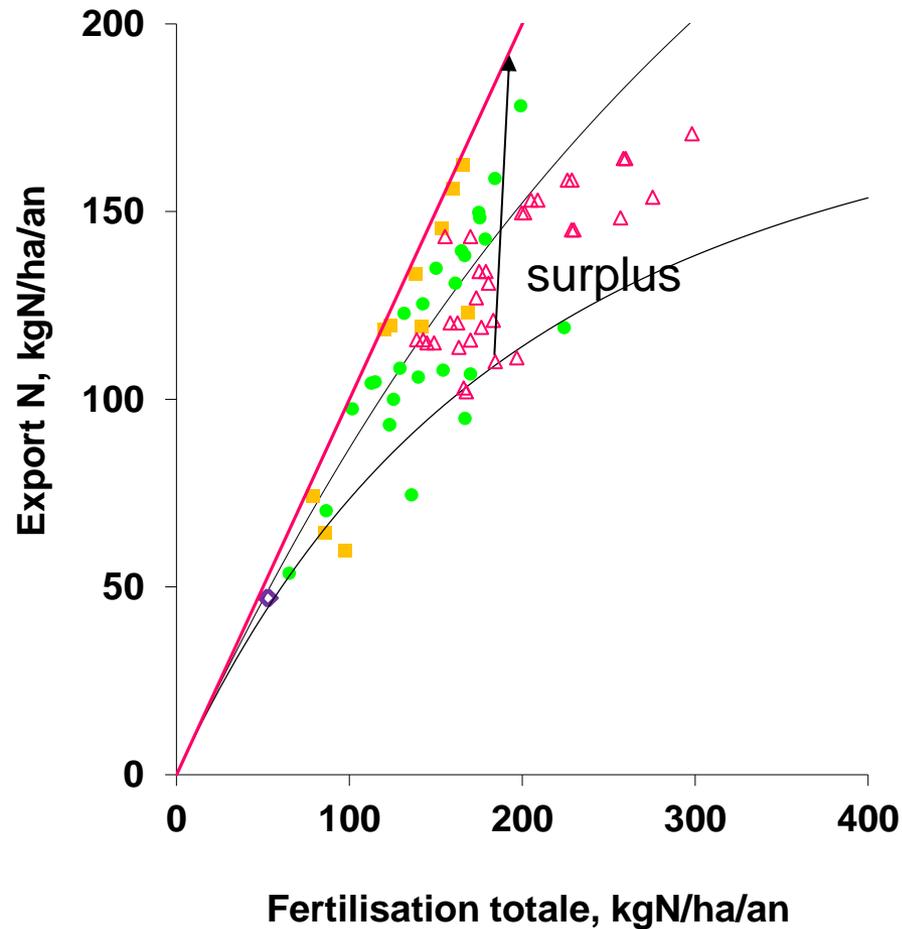
- Grandes cultures AB
- Polyculture-élevage AB
- ◇ Polyculture-élevage 1870
- △ AC (fertilisation raisonnée optimale)

% fixation symbiotique  
dans les entrées d'N



Estimer la fixation symbiotique, et  
l'utiliser ...

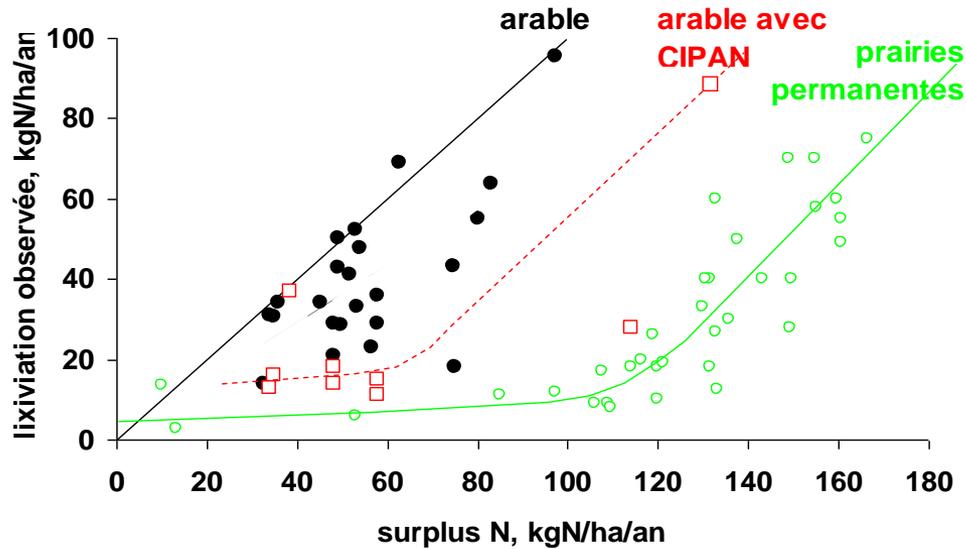
# Surplus azoté sur terres arables et efficacité



Quelles relations entre surplus azotés et concentration sous-racinaires ?

- Grandes cultures AB
- Polyculture-élevage AB
- ◇ Polyculture-élevage 1870
- △ AC (fertilisation raisonnée optimale)

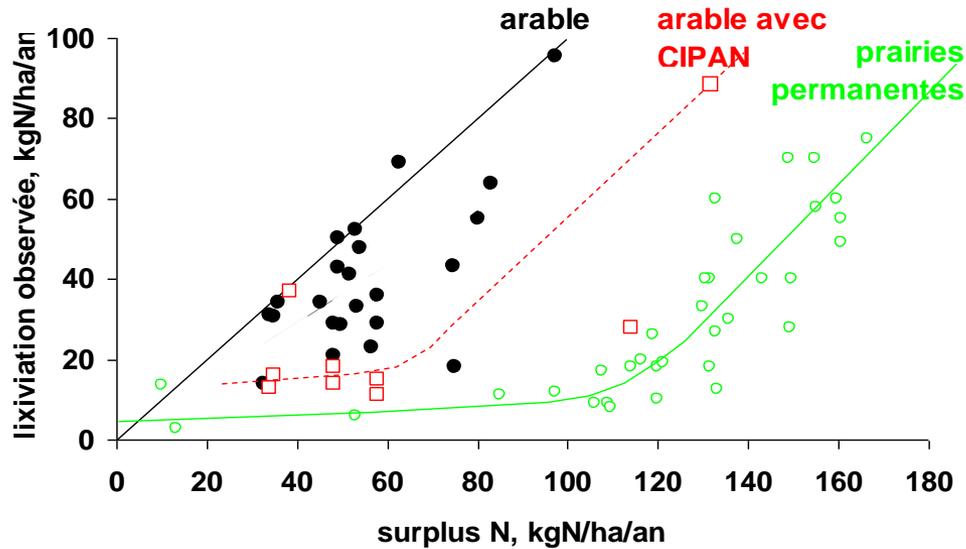
# Du surplus azoté à la lixiviation



Synthèse de mesures expérimentales des flux lixiviés (drains, lysimètres, bougies poreuses)

Sur terres arables (sans CIPAN),  
~ 70 % du surplus est lixivié

# Du surplus azoté à la lixiviation

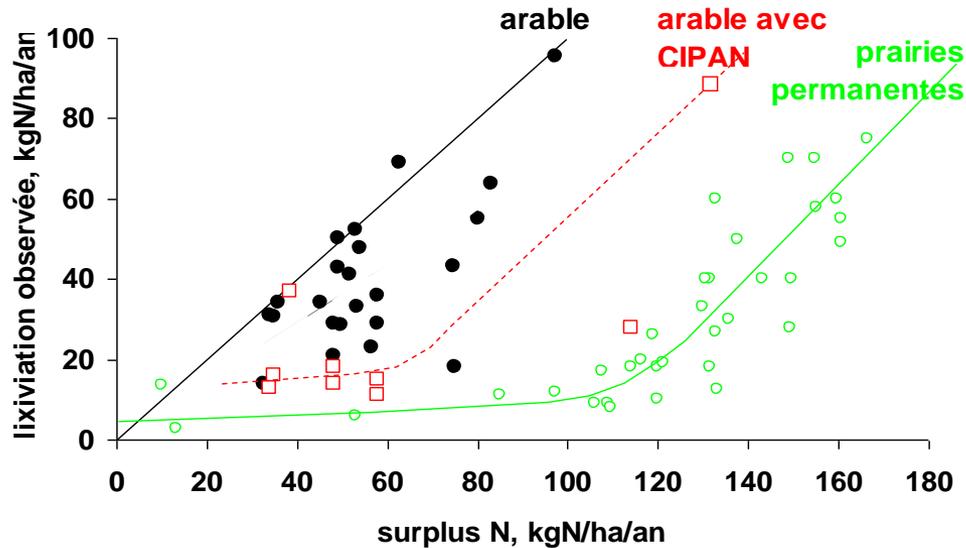


Synthèse de mesures expérimentales des flux lixiviés (drains, lysimètres, bougies poreuses)

Sur terres arables (sans CIPAN), ~ 70 % du surplus est lixivié

Lame drainante : 150-240 mm/yr

# Du surplus azoté à la lixiviation



Synthèse de mesures expérimentales des flux lixiviés (drains, lysimètres, bougies poreuses)

Sur terres arables (sans CIPAN), ~ 70 % du surplus est lixivié

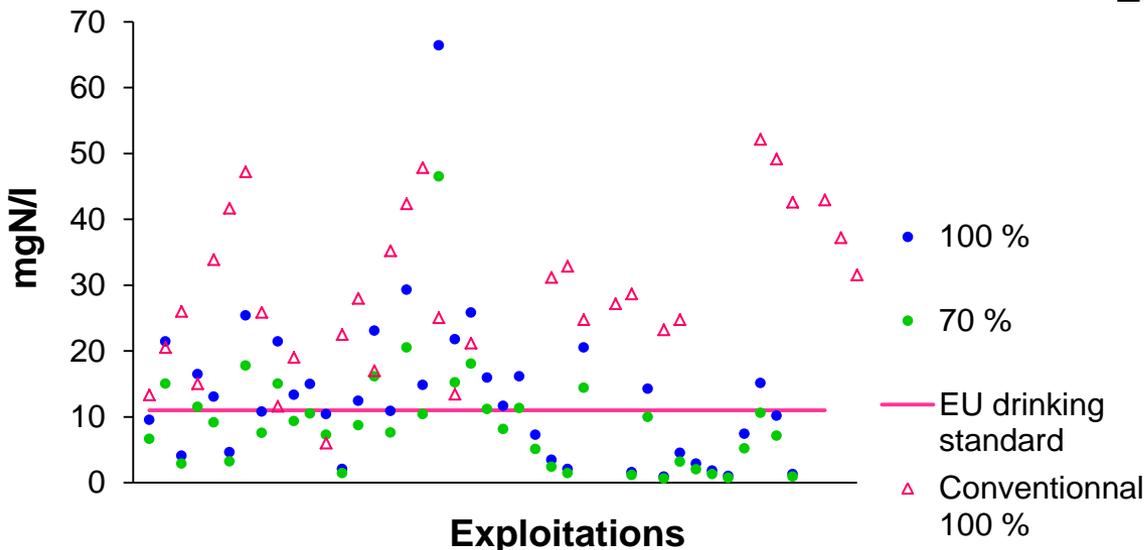


Lame drainante : 150-240 mm/yr



65 % exploitations AB peuvent fournir une eau sous-racinaire conforme à la norme de potabilité

## Concentration nitrique des eaux d'infiltration



# Conclusions & perspectives



- SSB : un bon outil de **comparaison de systèmes** en termes de performance agronomique sur le long terme → Capacité productive (nous nourrir en protéines!), autonomie, pertes environnementales, à différentes échelles spatio –temporelles (parcelle au territoire)

# Conclusions & perspectives



- ❑ SSB : un bon outil de **comparaison de systèmes** en termes de performance agronomique sur le long terme → Capacité productive (nous nourrir en protéines!), autonomie, pertes environnementales, à différentes échelles spatio-temporelles (parcelle au territoire)
- ❑ A l'échelle de la rotation, les surplus AB < surplus AC « raisonnés » des régions de GC

# Conclusions & perspectives



- ❑ SSB : un bon outil de **comparaison de systèmes** en termes de performance agronomique sur le long terme → Capacité productive (nous nourrir en protéines!), autonomie, pertes environnementales, à différentes échelles spatio –temporelles (parcelle au territoire)
- ❑ A l'échelle de la rotation, les surplus AB < surplus AC « raisonnés » des régions de GC
- ❑ EA AB associant cultures et élevage génèrent sur terres arables des surplus 2 fois plus faibles

# Conclusions & perspectives



- ❑ SSB : un bon outil de **comparaison de systèmes** en termes de performance agronomique sur le long terme → Capacité productive (nous nourrir en protéines!), autonomie, pertes environnementales, à différentes échelles spatio-temporelles (parcelle au territoire)
- ❑ A l'échelle de la rotation, les surplus AB < surplus AC « raisonnés » des régions de GC
- ❑ EA AB associant cultures et élevage génèrent sur terres arables des surplus 2 fois plus faibles
- ❑ Surplus AB les plus importants associent une fertilisation exogène importante (80 kgN/ha/an) à une forte proportion de légumineuses (CP + CI).

# Conclusions & perspectives



- ❑ SSB : un bon outil de **comparaison de systèmes** en termes de performance agronomique sur le long terme → Capacité productive (nous nourrir en protéines!), autonomie, pertes environnementales, à différentes échelles spatio-temporelles (parcelle au territoire)
- ❑ A l'échelle de la rotation, les surplus AB < surplus AC « raisonnés » des régions de GC
- ❑ EA AB associant cultures et élevage génèrent sur terres arables des surplus 2 fois plus faibles
- ❑ Surplus AB les plus importants associent une fertilisation exogène importante (80 kgN/ha/an) à une forte proportion de légumineuses (CP + CI).
- ❑ Les apports par la fixation symbiotique doivent être évalués (précisément) pour optimiser les intrants

# Conclusions & perspectives



- ❑ SSB : un bon outil de **comparaison de systèmes** en termes de performance agronomique sur le long terme → Capacité productive (nous nourrir en protéines!), autonomie, pertes environnementales, à différentes échelles spatio-temporelles (parcelle au territoire)
- ❑ A l'échelle de la rotation, les surplus AB < surplus AC « raisonnés » des régions de GC
- ❑ EA AB associant cultures et élevage génèrent sur terres arables des surplus 2 fois plus faibles
- ❑ Surplus AB les plus importants associent une fertilisation exogène importante (80 kgN/ha/an) à une forte proportion de légumineuses (CP + CI).
- ❑ Les apports par la fixation symbiotique doivent être évalués (précisément) pour optimiser les intrants
- ❑ La question des débouchés pour les légumineuses est une question centrale pour l'économie de l'exploitation mais aussi pour limiter les risques de lixiviation

# Conclusions & perspectives



- ❑ SSB : un bon outil de **comparaison de systèmes** en termes de performance agronomique sur le long terme → Capacité productive (nous nourrir en protéines!), autonomie, pertes environnementales, à différentes échelles spatio-temporelles (parcelle au territoire)
- ❑ A l'échelle de la rotation, les surplus AB < surplus AC « raisonnés » des régions de GC
- ❑ EA AB associant cultures et élevage génèrent sur terres arables des surplus 2 fois plus faibles
- ❑ Surplus AB les plus importants associent une fertilisation exogène importante (80 kgN/ha/an) à une forte proportion de légumineuses (CP + CI).
- ❑ Les apports par la fixation symbiotique doivent être évalués (précisément) pour optimiser les intrants
- ❑ La question des débouchés pour les légumineuses est une question centrale pour l'économie de l'exploitation mais aussi pour limiter les risques de lixiviation

1) Devenir du surplus : lixiviation, pertes gazeuses, stockage (dynamique de la MO) ?

# Conclusions & perspectives

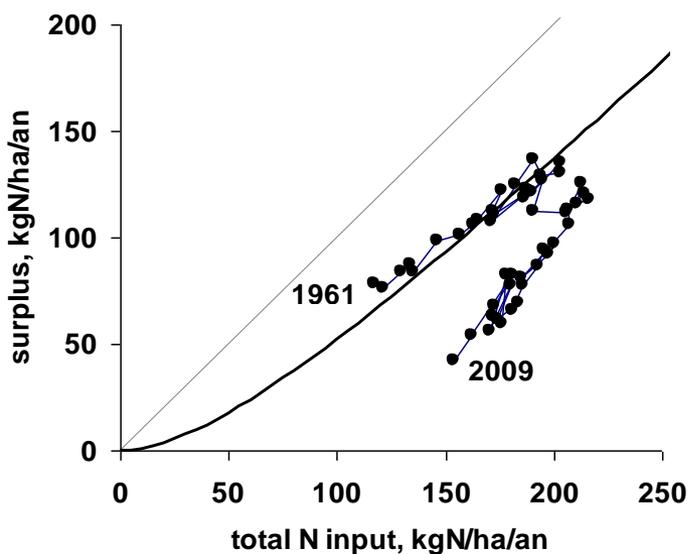
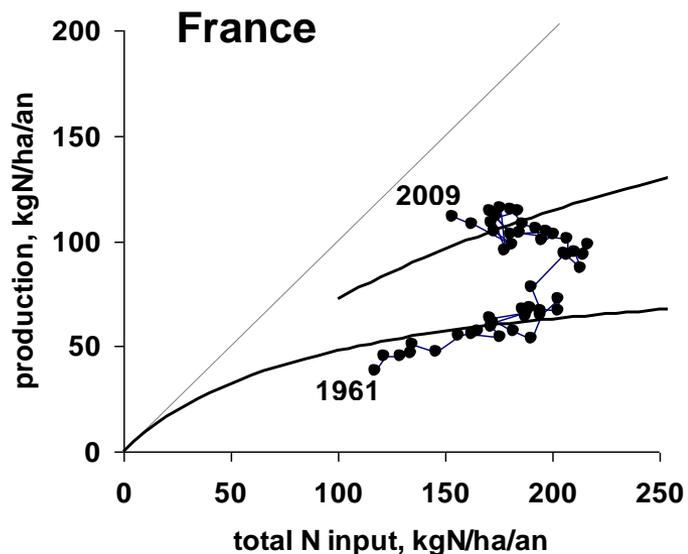


- ❑ SSB : un bon outil de **comparaison de systèmes** en termes de performance agronomique sur le long terme → Capacité productive (nous nourrir en protéines!), autonomie, pertes environnementales, à différentes échelles spatio-temporelles (parcelle au territoire)
  - ❑ A l'échelle de la rotation, les surplus AB < surplus AC « raisonnés » des régions de GC
  - ❑ EA AB associant cultures et élevage génèrent sur terres arables des surplus 2 fois plus faibles
  - ❑ Surplus AB les plus importants associent une fertilisation exogène importante (80 kgN/ha/an) à une forte proportion de légumineuses (CP + CI).
  - ❑ Les apports par la fixation symbiotique doivent être évalués (précisément) pour optimiser les intrants
  - ❑ La question des débouchés pour les légumineuses est une question centrale pour l'économie de l'exploitation mais aussi pour limiter les risques de lixiviation
- 1) Devenir du surplus : lixiviation, pertes gazeuses, stockage (dynamique de la MO) ?
  - 2) Gouvernance des transitions et des ruptures: conditions et acceptabilité du retour de l'équilibre culture-élevage ?

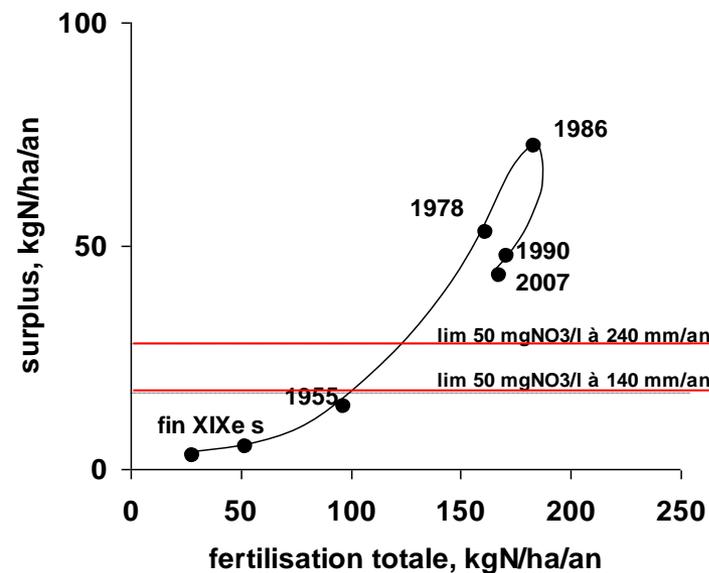
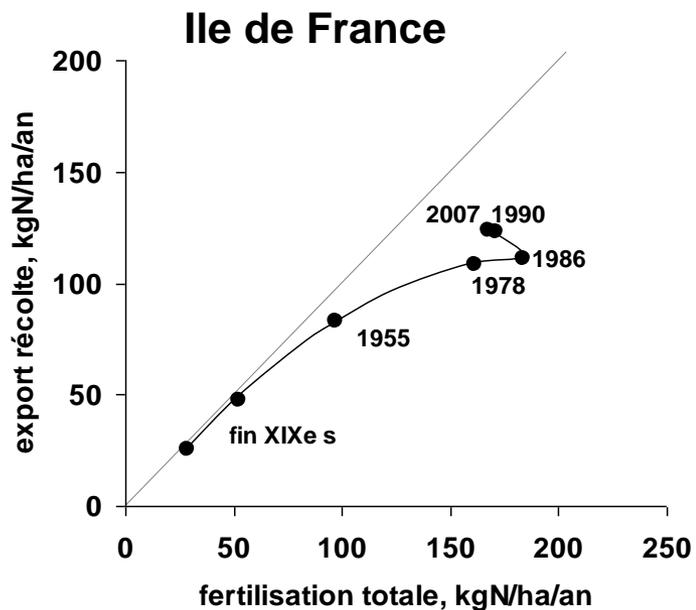
# Discussion

# Le bilan d'azote total des sols

Permet le diagnostic à long terme de la durabilité d'un système de culture à l'échelle territoriale



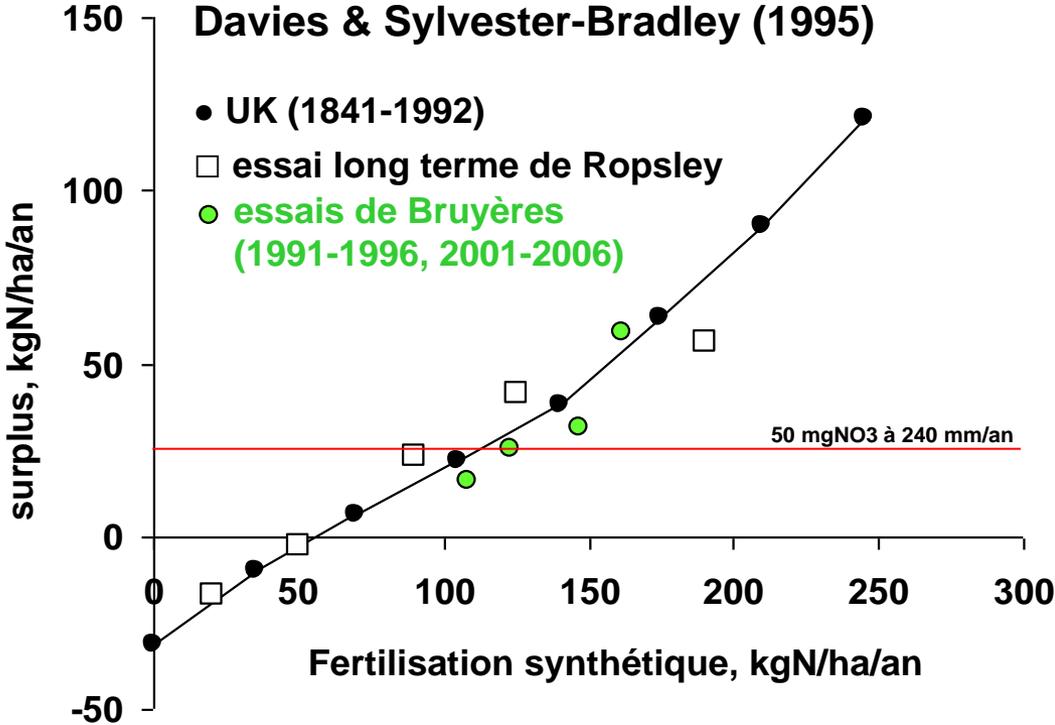
FAOstat



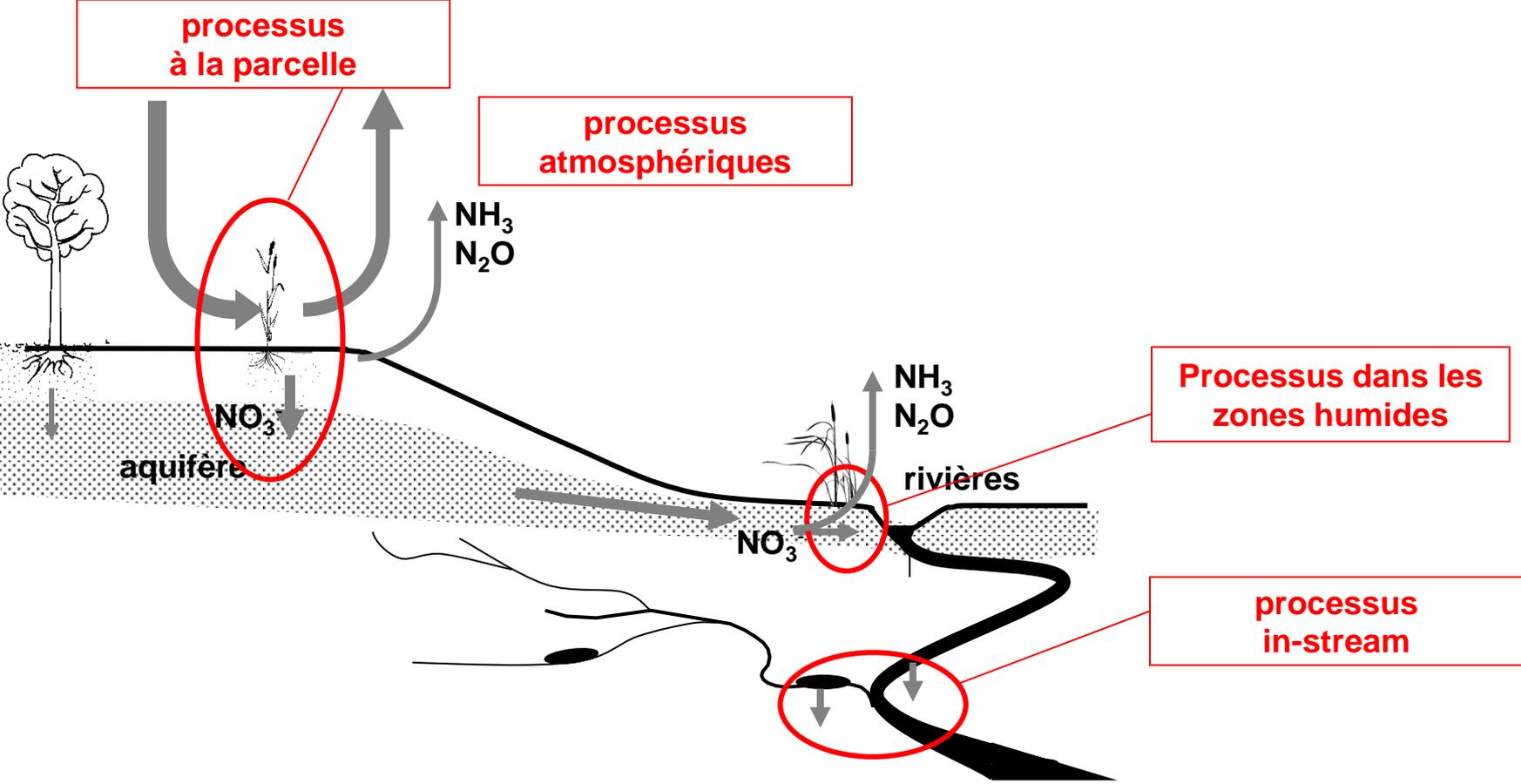
Agreste,  
Anglade, in prep



# Les surplus s'accroissent avec la fertilisation et le rendement



# La problématique de la cascade de l'azote



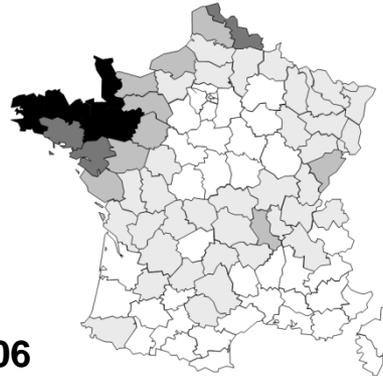
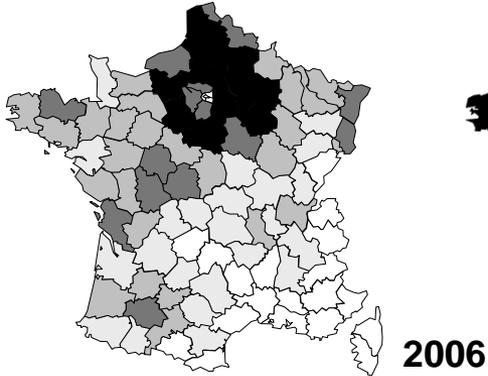
# Repenser l'organisation du territoire?

Très forte spécialisation territoriale

Une empreinte alimentaire éclatée  
L'exemple du bassin de la Seine

Céréales

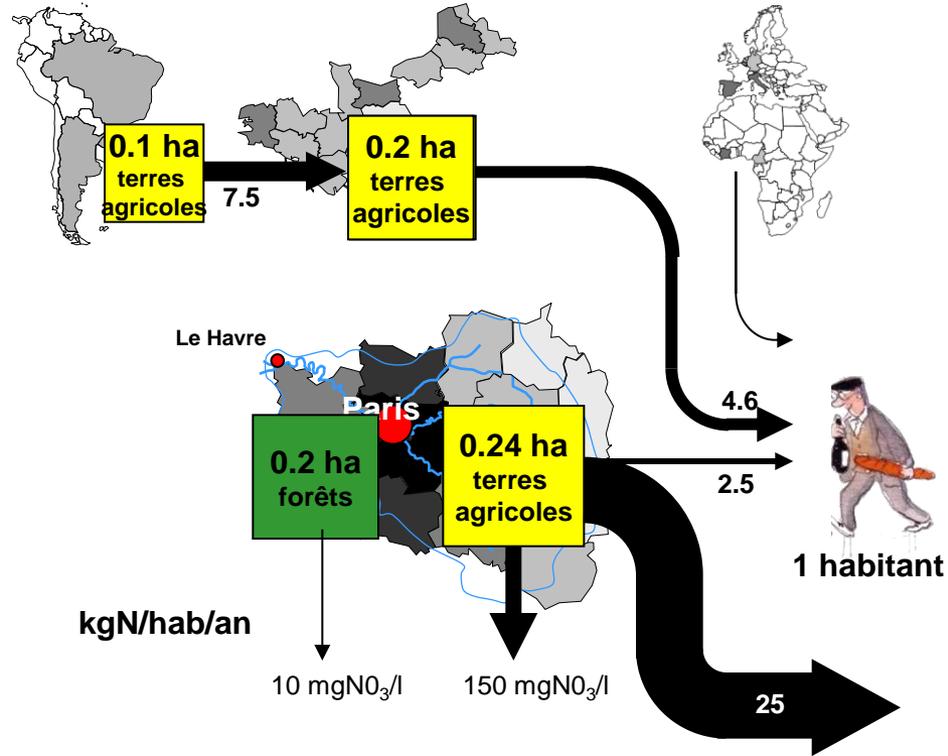
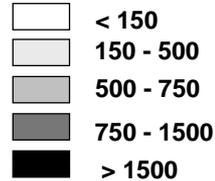
Viande et lait



production de céréales  
(kgN/km²/an)



production de lait et viande  
(kgN/km²/an)



Re-connecter l'agriculture et l'élevage

dans des paysages plus diversifiés, où l'arbre trouve aussi sa place



Pas forcément au niveau de l'exploitation,  
mais bien au niveau du territoire régional

*Lemaire, G et al. Integrated crop-livestock systems strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. AEE (2013)*