

## La valorisation énergétique des biomasses peut-elle changer l'équilibre des cycles biogéochimiques dans les sols cultivés ?

▮ Sylvie Recous, Fabien Ferchaud, Sabine Houot  
INRA, UMR FARE (Reims), UR AgrolImpact (Laon), UMR ECOSYS (Grignon)



# Plan

**Introduction** : Bouclage des cycles biogéochimiques et enjeux environnementaux

Ex. 1: **Choix des espèces cultivées** pour produire la biomasse : impacts sur les bilans d'eau, de carbone et d'azote

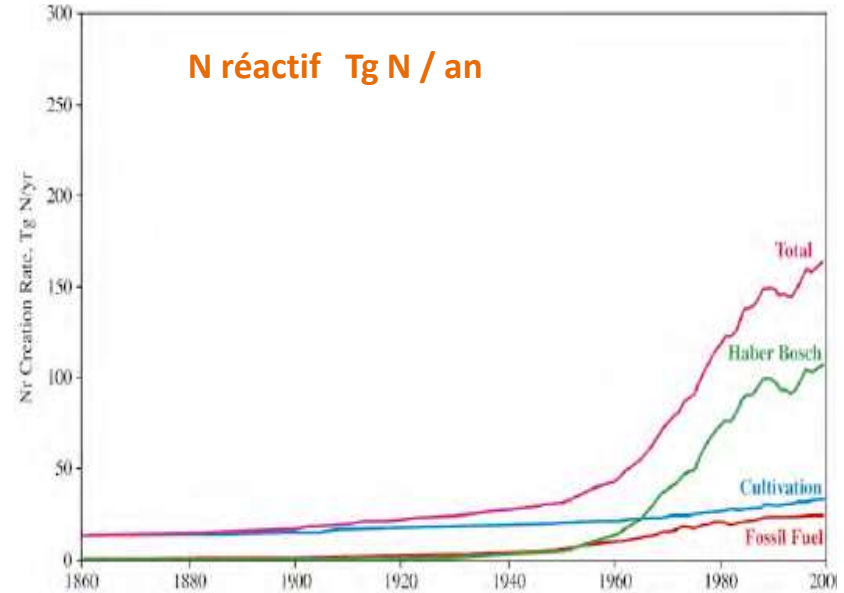
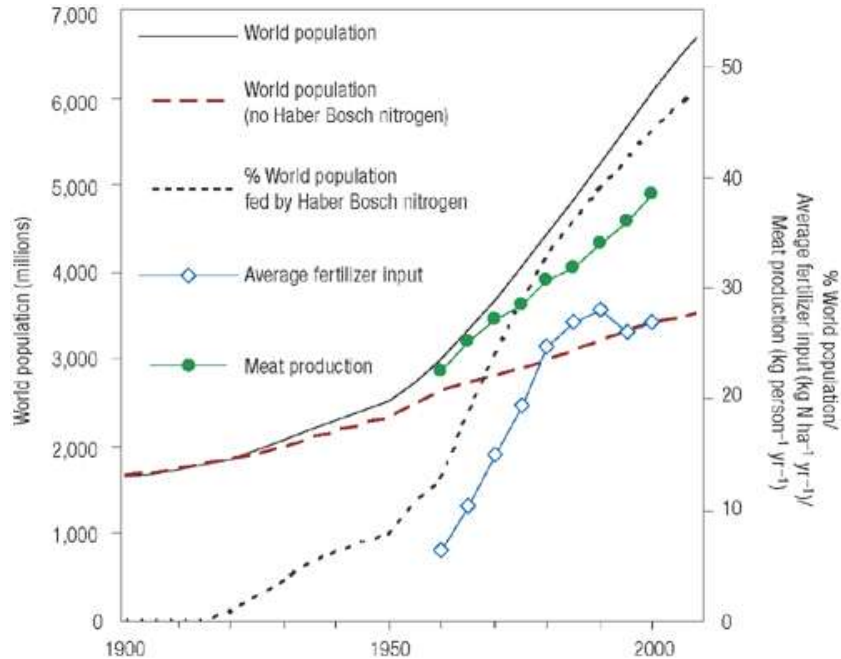
Ex. 2: **Optimisation de la conduite d'une culture** (*Miscanthus giganteus*) vis-à-vis de critères industriels

Ex. 3: **Impact de l'introduction de la méthanisation** sur le fonctionnement des cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote à l'échelle de la parcelle

**Conclusion**

# Enjeux à l'échelle globale

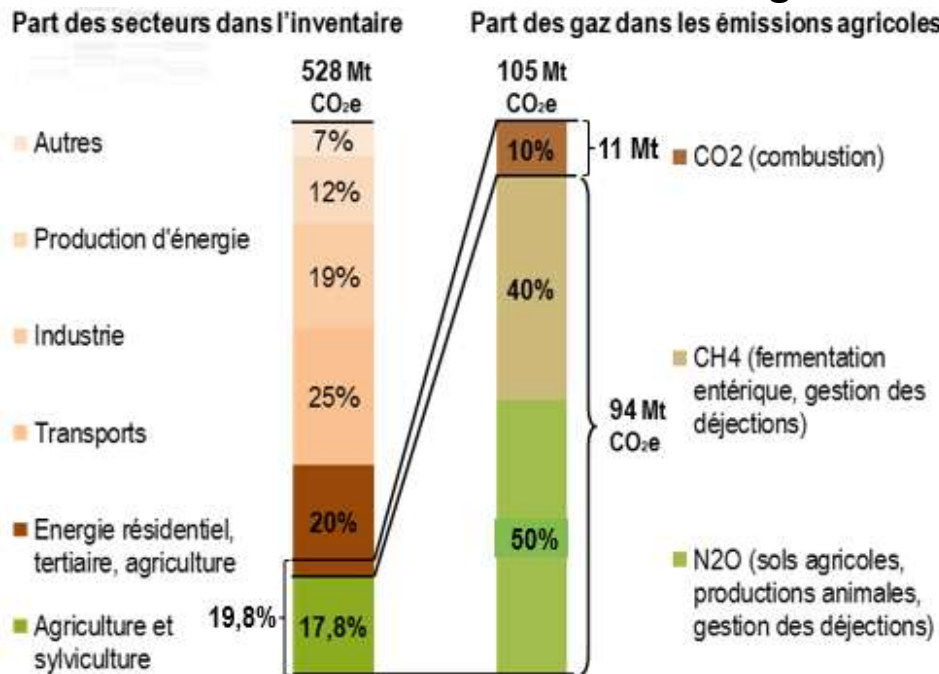
« Comment un siècle de synthèse de l'ammoniac a changé le monde » (Erisman et al. , 2008 ; Sutton et al., 2011)



=> Question: utilisation intensive des engrais minéraux et de leur réduction et/ou substitution possibles , alors qu'ils sont déterminants de la production agricole dans un contexte de forte demande alimentaire mondiale

# Les émissions de N<sub>2</sub>O par les sols agricoles représentent environ 50% des émissions du secteur agricole

- Elles sont très fortement liées à l'usage des engrais azotés de synthèse.

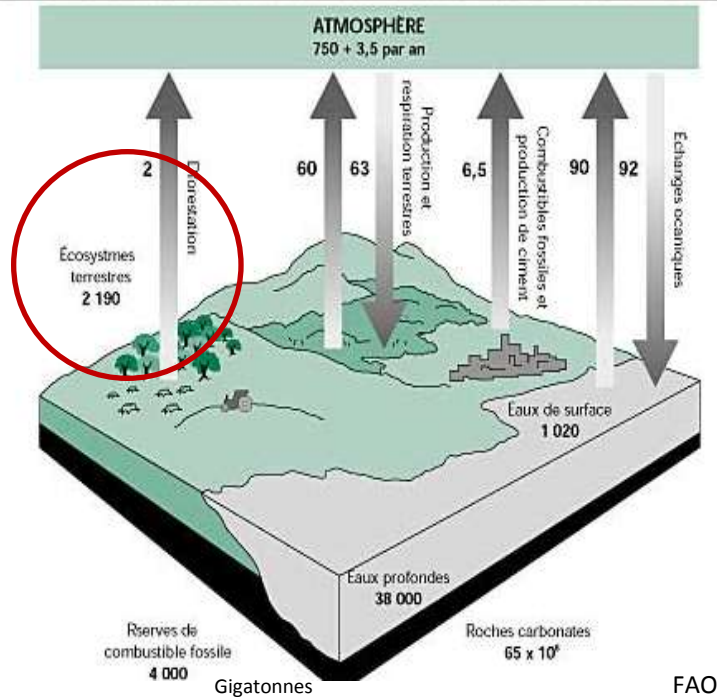


D'après CITEPA, 2012

- Comment minimiser les pertes vers l'environnement, notamment GES, et nitrate (« bouclage des cycles »),**
- en réduisant l'usage des fertilisants minéraux
  - En substituant par les produits organiques ?

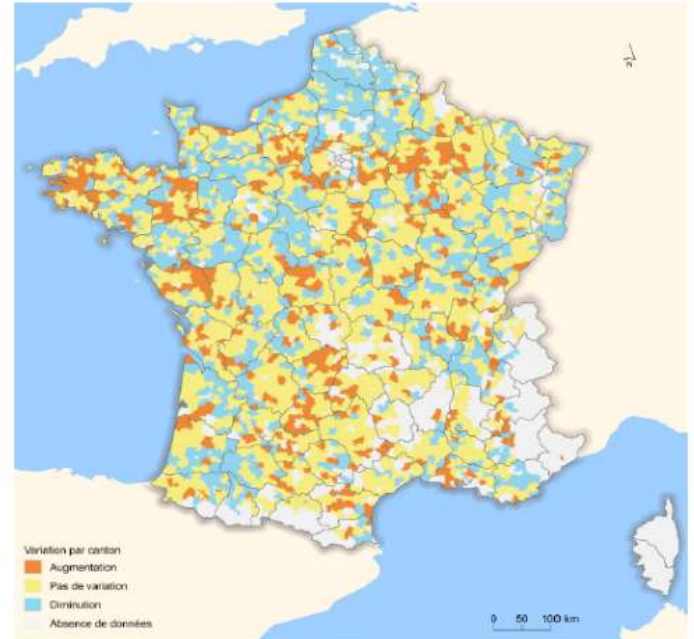
# Enjeux à l'échelle globale

## Estimation du cycle du carbone actuel, à l'échelle mondiale<sup>1</sup>



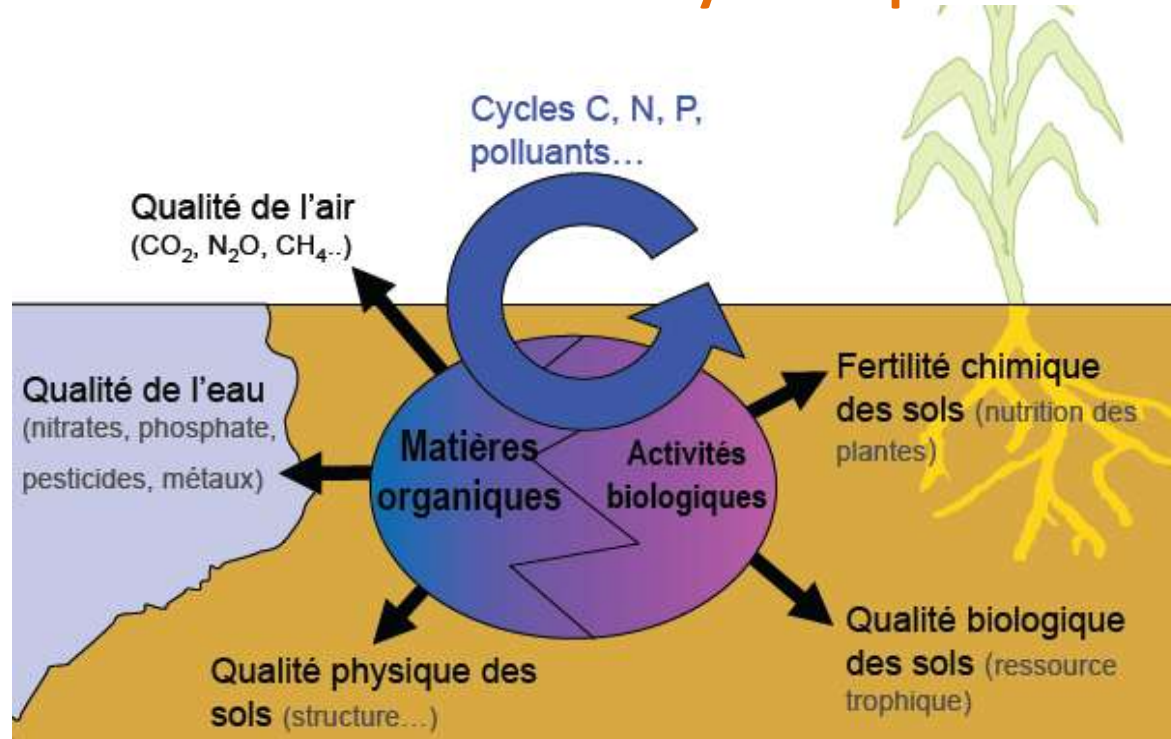
# Teneur en carbone des sols

Variation de la teneur en carbone organique entre les périodes 1995-1999 et 2000-2004, par canton



Source : Gis Sol – BDAT, 2009. Traitements : SOeS, 2013

# Les matières organiques assurent des services écosystémiques essentiels



=> Préserver la matière organique des sols

## ➤ Enjeux environnementaux très importants liés à la gestion des cycles biogéochimiques

- ☑ Comment concilier la production en quantité et en qualité des ressources en biomasse pour se substituer à l'énergie fossile, **en minimisant les impacts liés à la production de ces biomasses** ?
- ☑ Comment **préserver les services rendus par les sols**, en particulier leur fertilité, dans les agrosystèmes tout en exportant les ressources pour des usages industriels ?
- ☑ **Des compromis sont-ils possibles** ? choix de cultures performantes, adaptation des itinéraires techniques, valorisation en cascade des coproduits et déchets industriels ?
- ☑ Quels sont les **verrous de connaissance** pour analyser ces effets ?



# Choix des espèces cultivées pour produire la biomasse : impacts sur les bilans d'eau, de carbone et azote dans les sols





# Une large gamme de cultures candidates...

Pérennes

Miscanthus  
Switchgrass  
Ligneuses (ex.  
peuplier, saule en TCR,  
TTCR)



Pluriannuelles

Luzerne  
Fétuque



Annuelles

Triticale  
Sorgho



Photos crédit @Inra

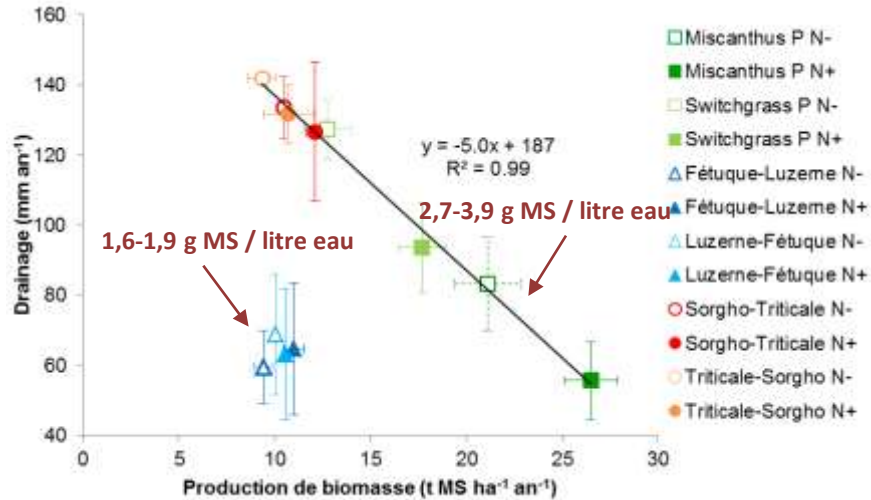
## ... étudiées sur le dispositif Biomasse & Environnement



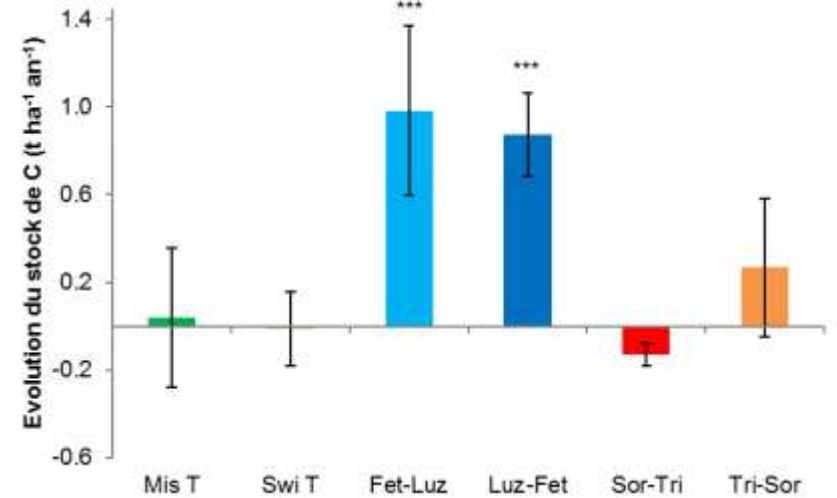
- Implanté en 2006 sur le site INRA d'Estrées-Mons (Somme)
- Sol de limon profond (Haplic Luvisol)
- Climat tempéré ( $T = 10.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ;  $P = 699 \text{ mm}$ )

# Bilans d'eau et de carbone sur le dispositif B&E (INRA Estrées-Mons)

## Relation entre drainage et production de biomasse



## Evolution des stocks de C organique du sol



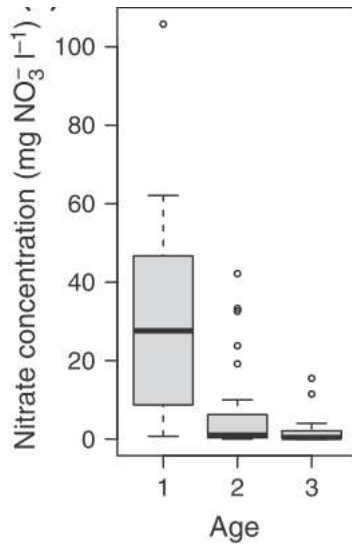
Ferchaud & Mary, 2016 – Bioenergy Research

Ferchaud et al., 2016 – GCB Bioenergy

Cultures pluriannuelles Stockage de C significatif (+0.93 t C ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>)

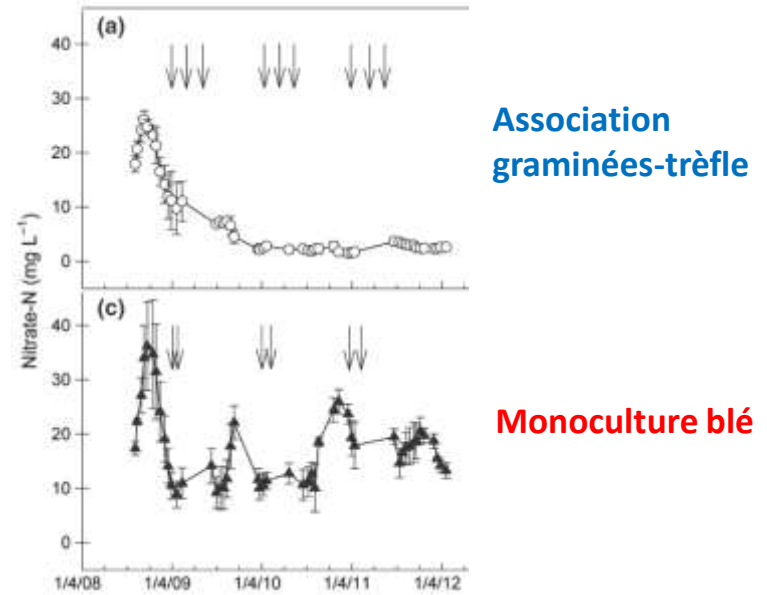
# Pertes de nitrate sous cultures pérennes et pluriannuelles

Concentration nitrate après implantation de miscanthus, (38 parcelles en Bourgogne)



Lesur et al., 2014 – GCB Bioenergy

Concentration à 1 m de profondeur (Danemark)



Pugesgaard et al., 2014 – GCB Bioenergy

# Optimisation de la conduite d'une culture (miscanthus) vis-à-vis de critères industriels

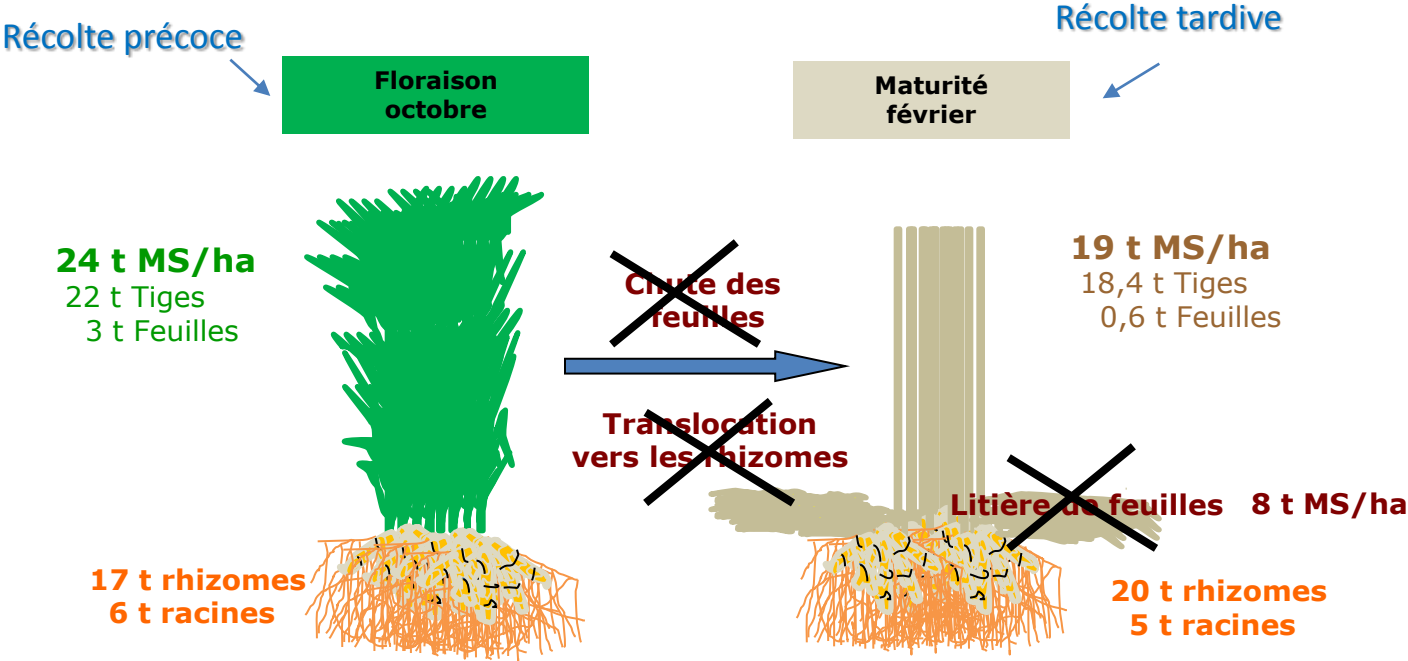


Récolte à maturité (tardive)



Récolte avant sénescence (précoce)

# Fonctionnement du miscanthus et stratégie de récolte

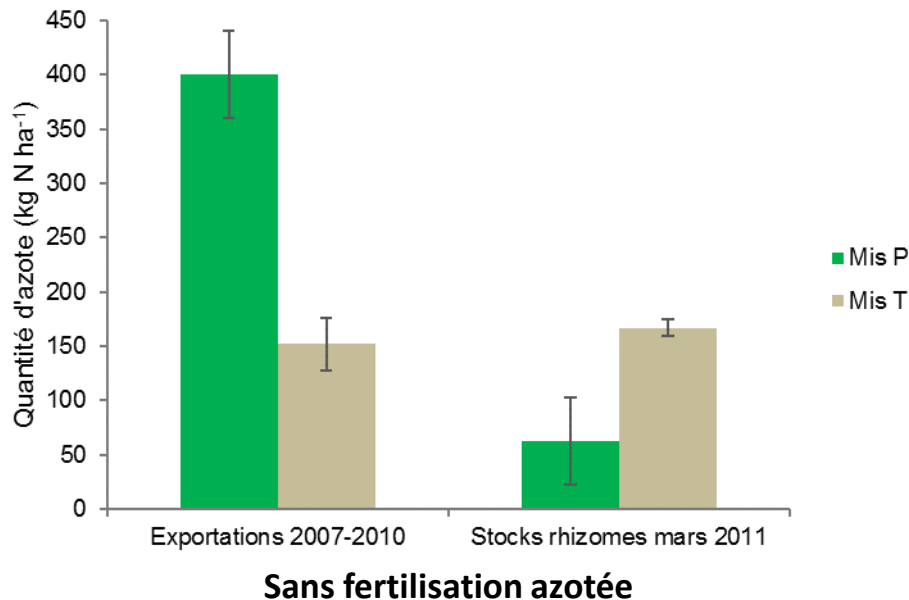


Une récolte précoce réduit la mise en réserve des nutriments vers les rhizomes et supprime la chute des feuilles après sénescence

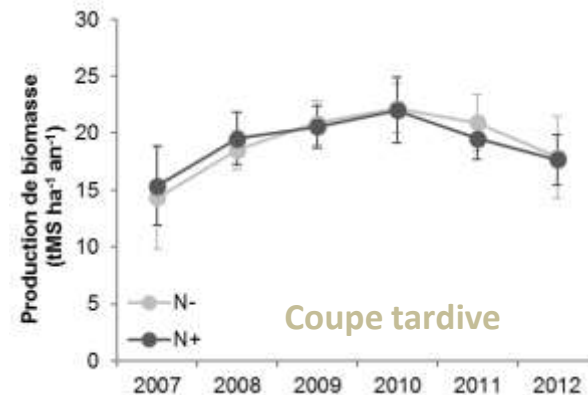
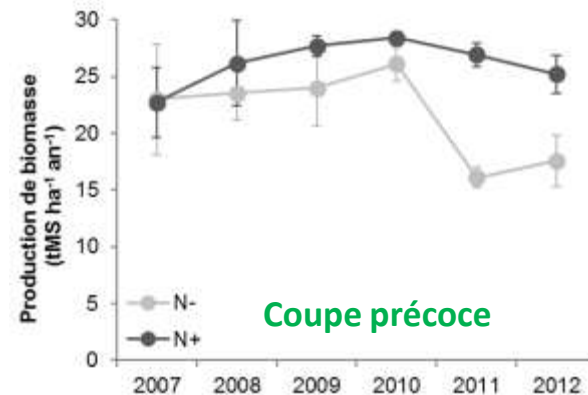
Amougou et al., 2012 – GCB Bioenergy  
Strullu et al., 2011 – Field Crop Research

# Impact de la date de coupe sur la mise en réserve de l'azote

La coupe précoce réduit la mise en réserve et donc les stocks d'azote du rhizome...



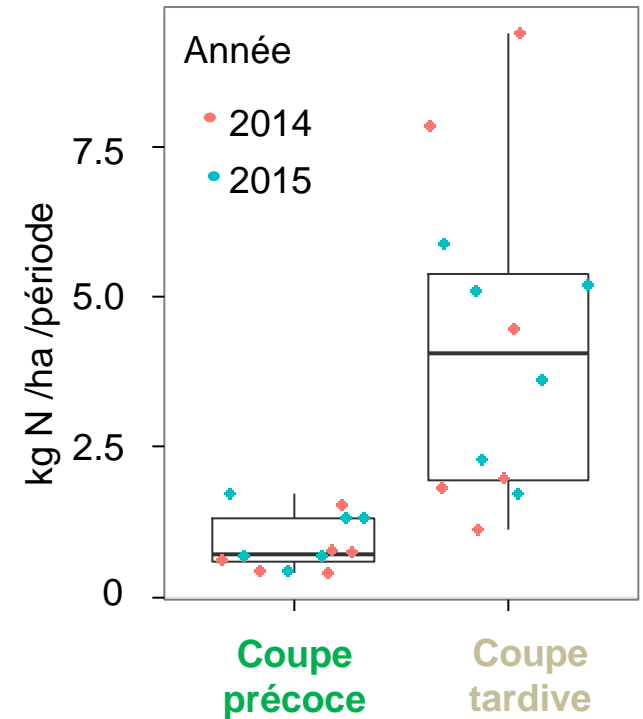
... ce qui impacte la production à long terme en absence de fertilisation



Ferchaud et al., 2016 – Agriculture Ecosystems and Environment



# Impact de la date de coupe sur les émissions de N<sub>2</sub>O



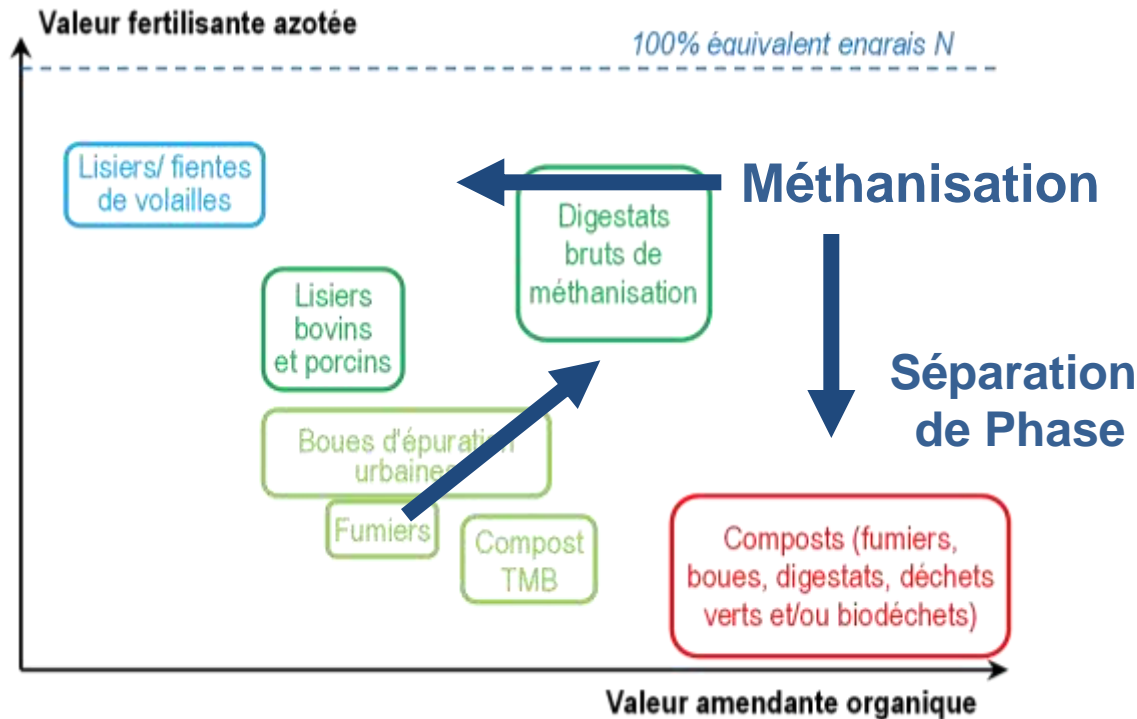
Peyrard et al., 2016 – Bioenergy Research



# Impact de l'introduction de la méthanisation sur le fonctionnement des cycles biogéochimiques C et N à l'échelle de la parcelle



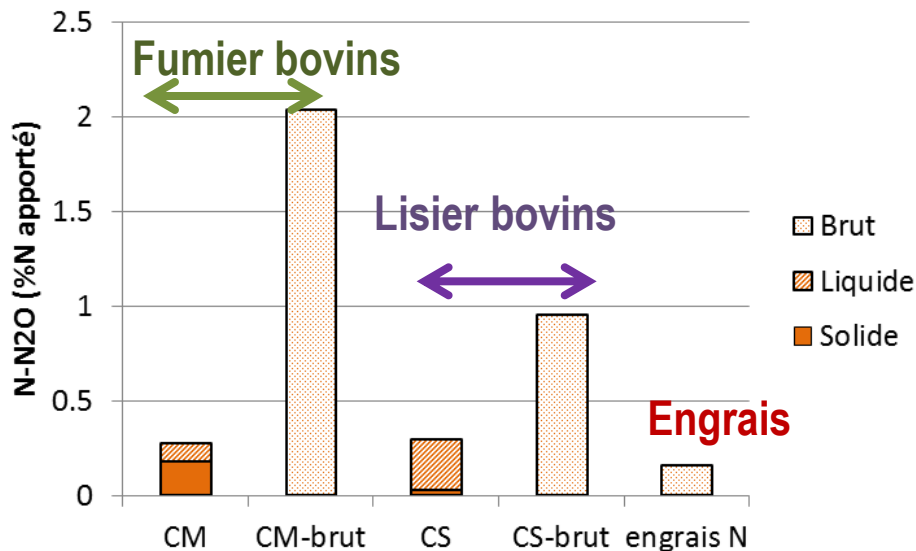
# La méthanisation change la qualité agronomique des substrats organiques



La digestion anaérobie **augmente à la fois la valeur fertilisante** (minéralisation des formes organiques en ammonium) **et la valeur amendante** (stabilisation de la matière organique des digestats au cours de la méthanisation).

# Dynamique de l'azote après épandage des digestats : ex. émissions de N<sub>2</sub>O

Digestats issus de ...

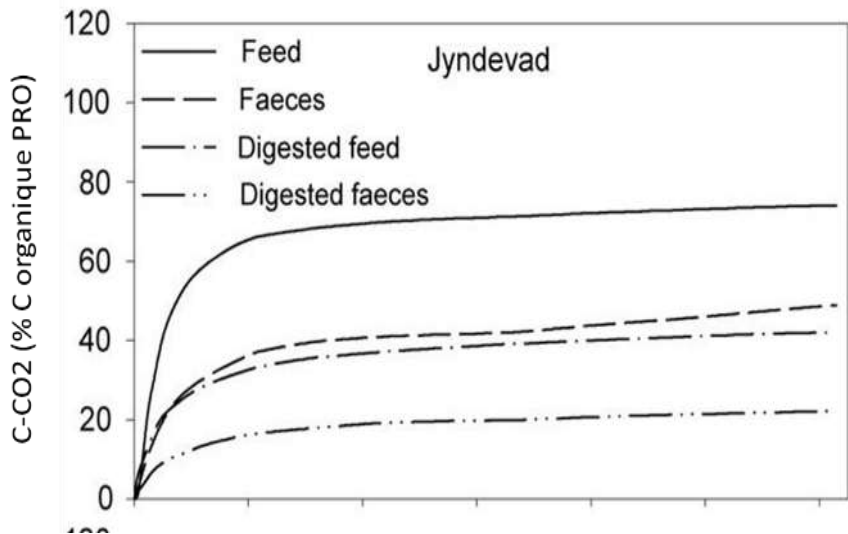


=> Emissions de N<sub>2</sub>O favorisées par la présence conjointe de N sous forme minérale et de C organique

=> Le post-traitement par séparation de phase des digestats permet de limiter les émissions de N<sub>2</sub>O .

Askri et al. 2015

# Effets de la méthanisation sur les flux de carbone entrant dans les sols



Substrat	C initial	C restant après consommation	C restant après digestion	Dégradation dans le sol	C restant long terme sol
	% C initial			% C apporté	% C initial
Fourrage	100	-	-	86	14
Fourrage digéré	100	-	20	42	12
Effluent élevage	100	30	-	52	14
Effluent élevage digéré	100	30	16	24	12

Flux de C entrant dans le sol similaires avec ou sans méthanisation

Thomsen et al., 2013

# Conclusions

- ✓ **Réelle difficulté à quantifier tous les impacts** de la valorisation énergétique des biomasses sur les cycles biogéochimiques:
  - Intervenant aux différentes étapes de la production et de la mobilisation des ressources agricoles
  - Effets antagonistes si l'on considère plusieurs processus
  - Aucune option ne permet d'optimiser l'ensemble des processus
  
- ✓ **Importance cruciale de la gestion raisonnée des exportations de biomasses** pour maintenir la fertilité des sols (intérêts des cultures pluriannuelles)
- ✓ **La fertilisation azotée impacte fortement le bilan des GES** (intérêt des plantes herbacées pérennes)
- ✓ Nécessité de considérer **la cascade des effets** (ex. la méthanisation)

# Conclusions

- **Poursuivre les études visant à quantifier l'ensemble des transformations** et des flux d'éléments, dans les sols et vers l'atmosphère et l'hydrosphère, à l'échelle pluriannuelle, notamment sur des sites d'expérimentations pérennes
- **Les compromis** ne sont pas aisément « atteignables » à l'échelle d'une parcelle et/ou d'un cycle cultural.
  - dimension temporelle très importante (rotations culturales, moyen et long termes), asymétrie des effets lors des changements de pratiques ou d'usages des sols.
  - dimension territoriale : hétérogénéité de la localisation des ressources, hétérogénéité de la nature des sols.



Merci de votre attention !





## Références citées à l'oral:

- Amougou, N., Bertrand, I., Machet, J.M., Recous, S., 2011. Quality and decomposition in soil of rhizome, root and senescent leaf from *Miscanthus x giganteus*, as affected by harvest date and N fertilization. *Plant and Soil*, 338, 83-97.
- Askri, A., Laville, P., Trémier, A., Houot, S., 2016. Influence of origin and post-treatment on greenhouse gas emissions after anaerobic digestate application to soil. *Waste and Biomass Valorization*, 7, 2, 293-306.
- Ferchaud, F., Mary, B., 2016. Drainage and Nitrate Leaching Assessed During 7 Years Under Perennial and Annual Bioenergy Crops. *BioEnergy Research* 9, 656-670.
- Ferchaud, F., Vitte, G., Mary, B., 2016. Changes in soil carbon stocks under perennial and annual bioenergy crops. *Global Change Biology Bioenergy* 8, 290-306.
- Ferchaud, F., Vitte, G., Machet, J-M., Beaudoin, N., Catterou, M., Mary, B., 2016b. The fate of cumulative applications of <sup>15</sup>N-labelled fertiliser in perennial and annual bioenergy crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 223, 76-86.
- Lesur, C., Bazot, M., Bio-Beri, F., Mary, B., Jeuffroy, M.H., Loyce, C., 2014. Assessing nitrate leaching during the three-first years of *Miscanthus x giganteus* from on-farm measurements and modeling. *Global Change Biology Bioenergy* 6, 439-449.
- Peyrard, C., Ferchaud, F., Mary, B., Gréhan, E., Léonard, J., 2016. Management practices of *Miscanthus x giganteus* strongly influence soil properties and N<sub>2</sub>O emissions over the long term. *Bioenergy Research*, DOI 10.1007/s12155-016-9796-1.
- Pugesgaard, S., Schelde, K., Larsen, S.U., Laerke, P.E., Jorgensen, U., 2015. Comparing annual and perennial crops for bioenergy production - influence on nitrate leaching and energy balance. *Global Change Biology Bioenergy* 7, 1136-1149.
- Strullu, L., Cadoux, S., Preudhomme, M., Jeuffroy, M.H., Beaudoin, N., 2011. Biomass production and nitrogen accumulation and remobilisation by *Miscanthus x giganteus* as influenced by nitrogen stocks in belowground organs. *Field Crop. Res.* 121, 381-391.