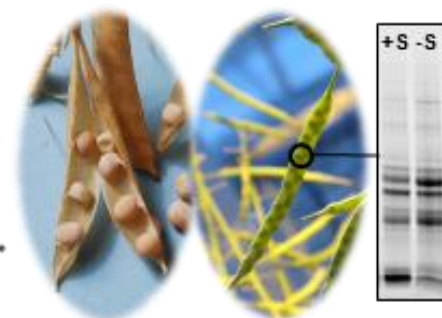
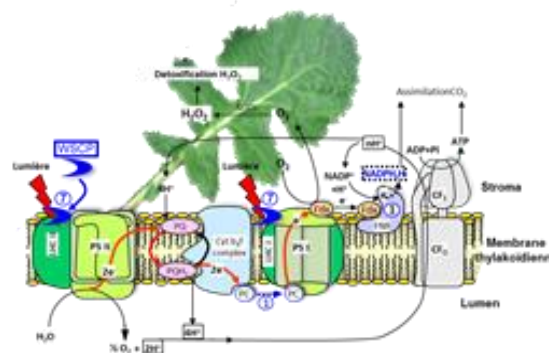
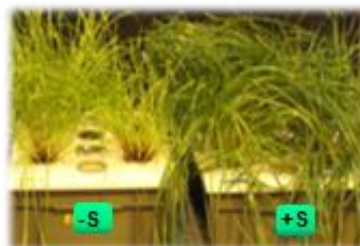
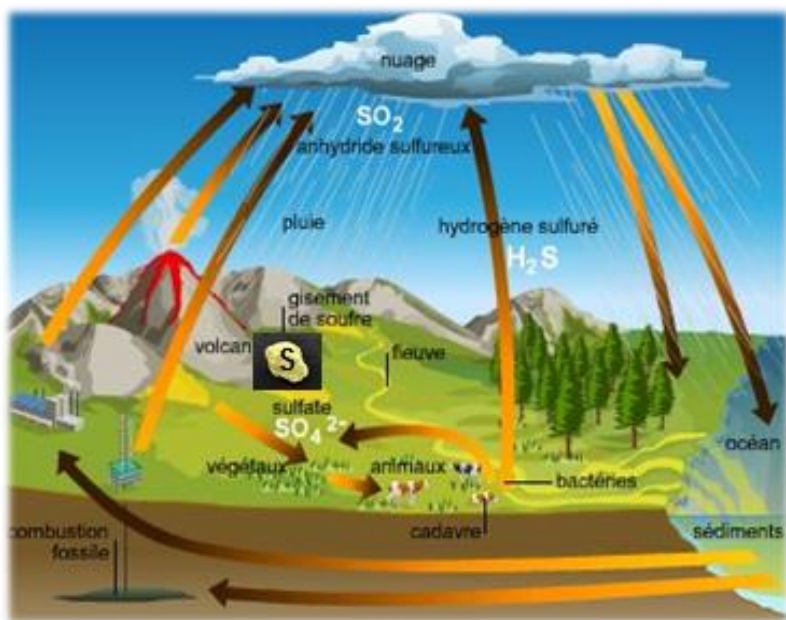
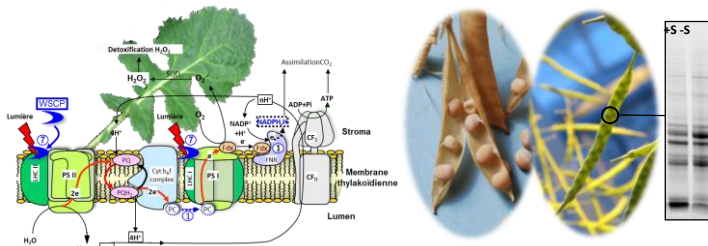
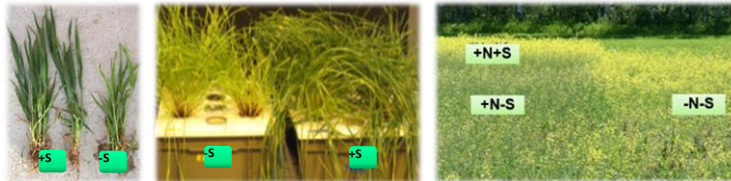
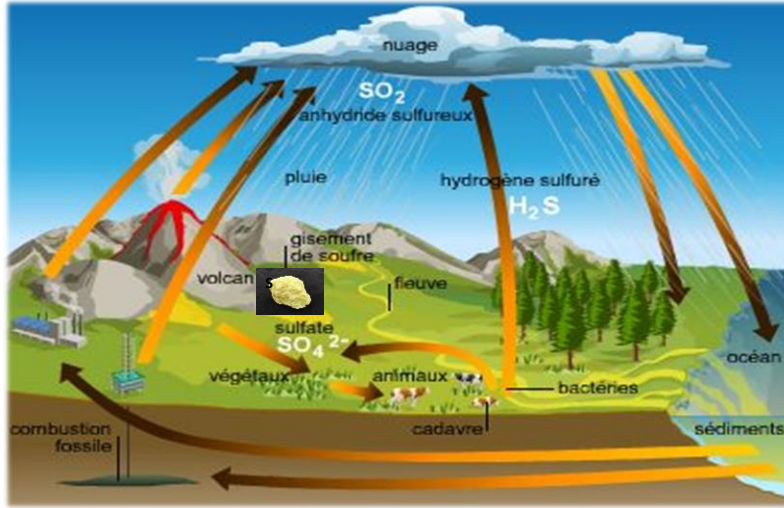


Université de Caen - 12 et 13 juillet 2017 - Colloque Soufre INRA
 Département Environnement-Agronomie, UMR Ecophysiologie Végétale et Agronomie



Université de Caen - 12 et 13 juillet 2017
Colloque Soufre INRA

Département Environnement-Agronomie INRA
UMR Ecophysiologie Végétale et Agronomie



Département
Environnement Agronomie



FED 4277 
Normandie-Végétal

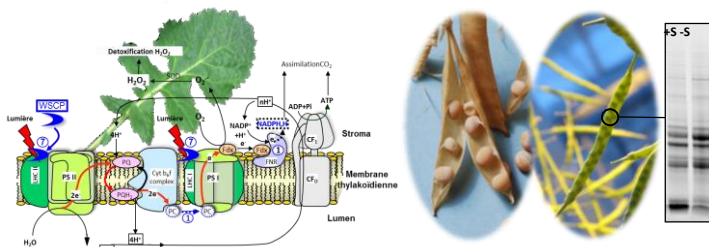
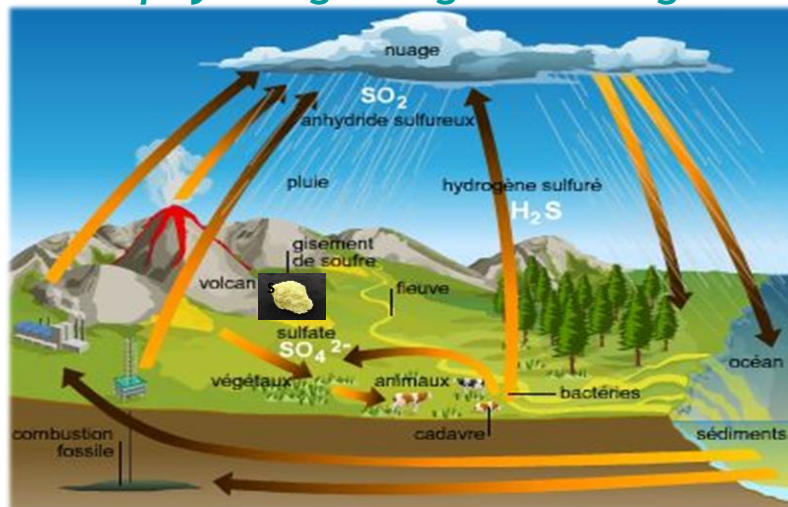


Jean-Bernard Cliquet
Frédéri Le Dily
Sophie Brunel Muguet

Université de Caen - 12 et 13 juillet 2017

Colloque Soufre INRA

Département Environnement-Agronomie INRA
UMR Ecophysiologie Végétale et Agronomie



•14h Ouverture du colloque - Amphithéâtre Vauquelin, Campus 1

- **Conférence introductive:** 30+15'discussion
 - Sylvain Pellerin (UMR ISPA, INRA Bordeaux, Chargé de mission EA) & Pierre Cellier (UMR ECOSYS, INRA Grignon, CD EA adjoint) & Alain Bouthier (Arvalis)

• Session 1: Gestion du Soufre et couplage des cycles dans les agrosystèmes

14h45-16h15

- Sylvie Recous (UMR FARE, Reims) 20+10'discussion
- Philippe Cambier (UMR ECOSYS, Paris-Grignon)
- Caroline Le Roux (LDAR)

16h15-16h45 Pausé Café-Thé et visite Posters (Salle SD117 Paul Héroult): 30 min

16h45-18h15

- Séverine Piutti et Sophie Slezack-Deschaumes (UMR LAE, INRA Nancy)
- Jean-Bernard Cliquet (UMR INRA EVA, Caen)
- Antoine Couëdel (AGIR, INRA Toulouse)

18h15-19h15 : suite Session posters (Salle SD117)

20h Dîner (Café Mancel: restaurant situé dans l'enceinte du Château de Caen, gratuit)

Le Cycle du Soufre: d'un enjeu de pollution de l'air presque résolu à un enjeu émergeant de nutrition des plantes

Sylvain PELLERIN (INRA)

Alain BOUTHIER (Arvalis)

Pierre CELLIER (INRA)

Le cycle du Soufre à l'échelle globale

Soufre et nutrition des plantes

Dynamique du Soufre dans le système sol-plante

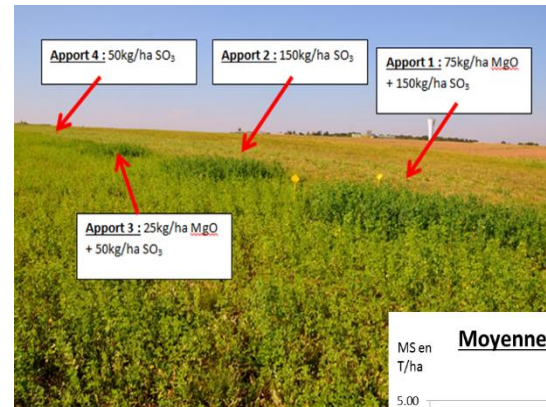
Quelles questions émergentes?

Questions émergentes

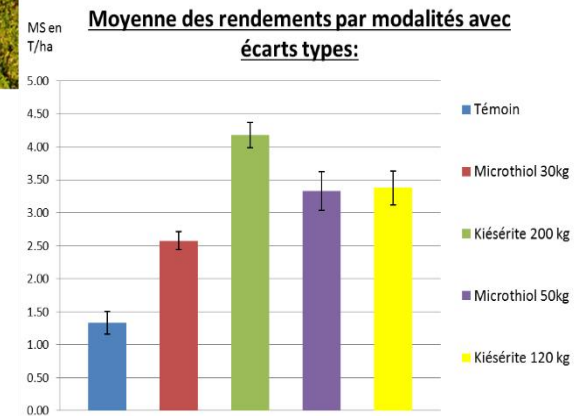
- Comment diagnostiquer le risque de déficience compte tenu de l'hétérogénéité spatiale des apports (produits organiques, dépôts, eaux d'irrigation,...) et des facteurs contrôlant la biodisponibilité du S?
 - Comment produire des références sur les postes du bilan?
 - Quelle validité des outils de diagnostic sol?
 - Un diagnostic plante est-il envisageable?
 - Comment adapter l'outil à la nature de l'enjeu?
- Quelles sont les conséquences d'une déficience sur l'efficacité d'utilisation des autres intrants (N), la résistance aux stress, la qualité des produits?

Questions émergentes

- Quels seront les effets des pratiques agro-écologiques (légumineuses, recyclage PRO, CIPAN, réduction apports N et P,...) et du changement climatique sur la dynamique du S ?



Essai soufre sur la luzerne du système « bio » de Boigneville en 2014 (ARVALIS)



- Comment intégrer les préoccupations liées à S dans le cadre de la gestion des produits organiques et de la bioéconomie (rapports C/N/P/S et besoins des plantes; S et digestion anaérobie,...)

Session 1: Gestion du Soufre et couplage des cycles dans les agrosystèmes



Décomposition des résidus de culture et dynamique du soufre, relations avec la dynamique du carbone

**S. Recous, H. Niknahad-Gharmakher*,
J.M. Machet, S. Piutti,**

INRA, UMR FARE Reims, France , INRA Agro-Impact, Laon, France

³UMR Agronomie INPL-ENSAIA, Nancy, France, *Gorgan University of Agricultural Sci.& Natural Res., Iran

Objectifs et hypothèses

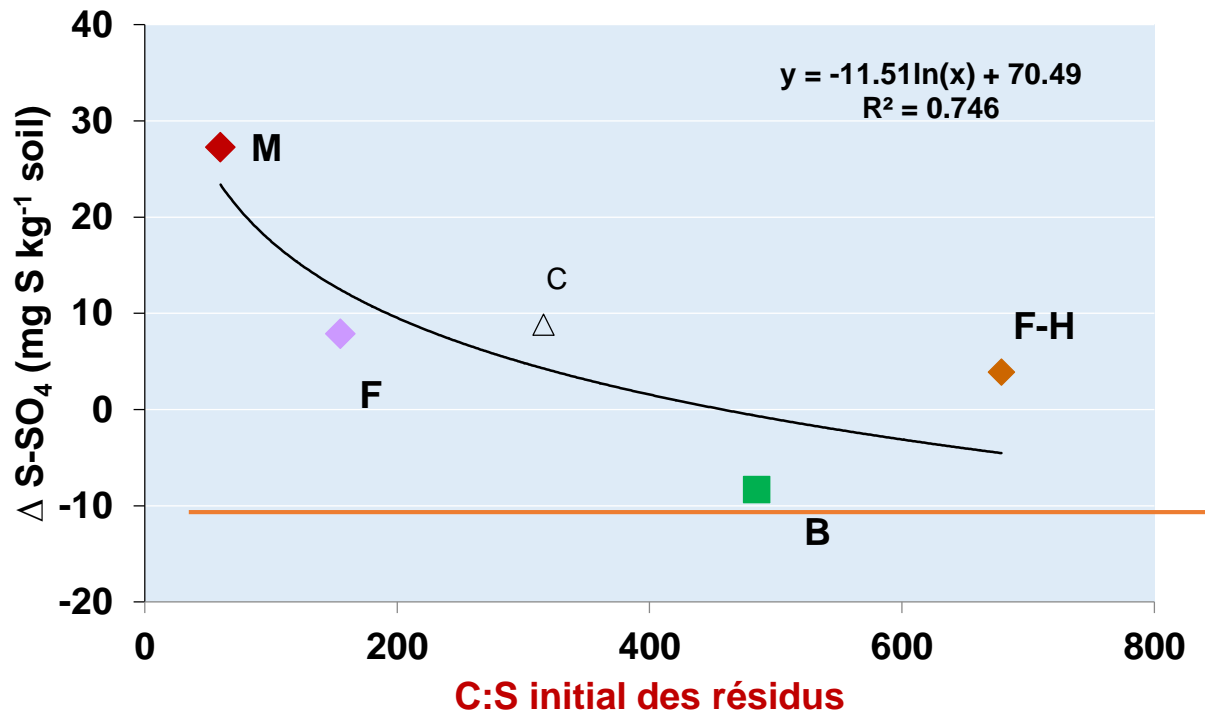
- ✓ Quantifier et modéliser la minéralisation nette du soufre des sols français, couvrant une gamme de caractéristiques physico-chimiques et d'histoire culturelle (mode d'occupation du sol) et évaluer la minéralisation nette de S associée à la décomposition des résidus végétaux.
- L'objectif final est de contribuer à la détermination d'un bilan pour les cultures (*développé par Caroline Le Roux, exposé suivant*)

Hypothèses:

- Les cycles C, N et S sont interdépendants, car ces éléments sont combinés dans la matière organique du sol
- La minéralisation du soufre est principalement pilotée par la décomposition de la matière organique et par conséquent fortement reliée à la minéralisation de C
- La minéralisation de S des résidus de culture peut être estimée en utilisant les concepts et les approches inspirées des études avec N

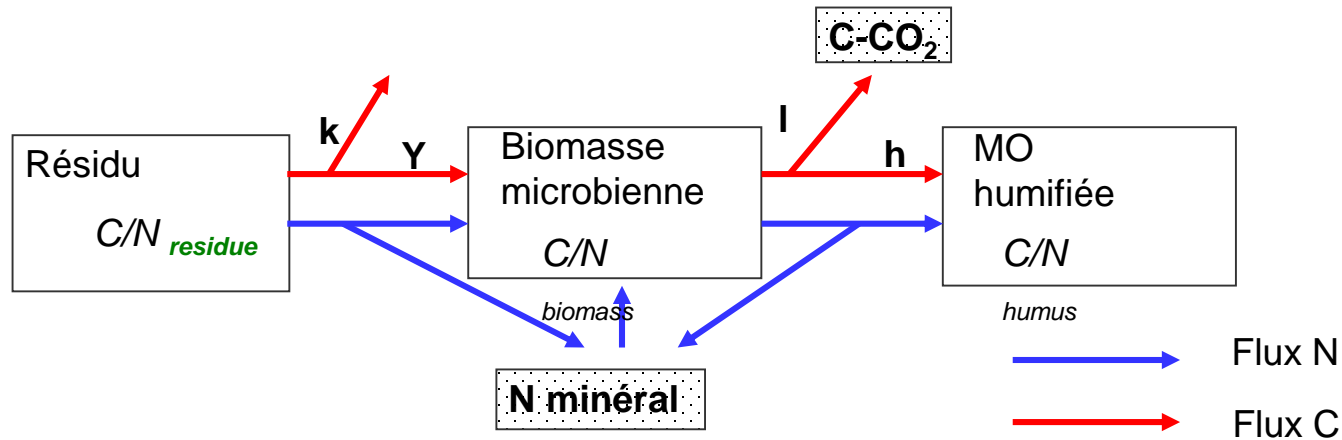
Résultats:

Prédiction de la minéralisation nette



- ✓ Relation significative entre **la minéralisation nette et le rapport C:S initial des résidus** (même comportement que pour N): **C/S critique ~400** pour organization nette (Barrow 1960; Stevenson 1986; Tabatabai and Chae 1991; Wu et al. 1995)
- ✓ **Minéralisation nette positive** pour les résidus ayant un **C:S initial faible et un contenu en soufre soluble initial**
- ✓ **Flux faibles de minéralisation et organisation** pour les autres résidus

Modélisation des biotransformations de C , N et S



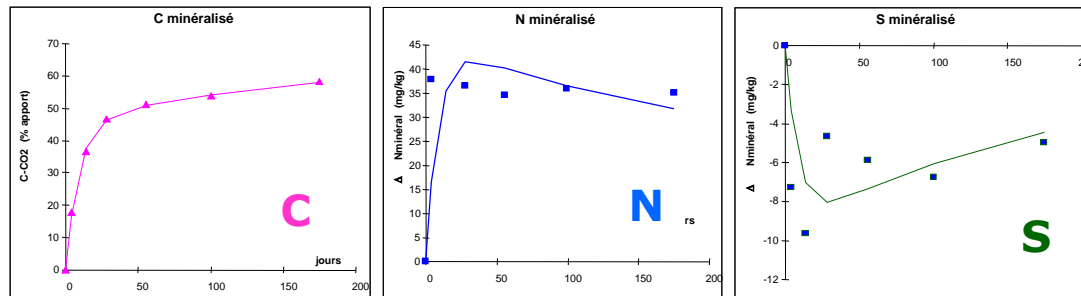
k = taux de décomposition résidu
Y = Rendement assimilation C

l = Vitesse de décomposition biomasse µbienne
h = rendement d'humification

Ajustements réalisés sur les jeux de données blé, moutarde, fétuque (STICS)

(1) Pour le carbone (k, Y, h); (2) pour l'azote (C/N biomasse, C/N MO humifiée); (3) pour le soufre (C/S biomasse, C/S MO humifiée).

Fétuque



d

e

f

Un bilan prévisionnel pour un diagnostic et un pronostic du statut soufré d'une parcelle agricole

Caroline Le Roux, Nicolas Delon, Sylvie Recous,
Fabrice Marcovecchio, Jean-Marie Machet

Colloque Soufre INRA Caen 12 et 13 Juillet 2017



Un bilan soufré

Quantité de S engrais à apporter à une culture (X) :

$$X = (P_f - P_i) - (Mn_s + S_i + Rea - L_s - S_f)$$

Avec :

$(P_f - P_i)$ = les besoins en soufre du peuplement végétal

$(Mn_s + S_i + Rea - L_s - S_f)$ = la fourniture nette en soufre.

$$Mn_s = Mh_s + Mr_s + Ma_s$$

avec Mh_s : Minéralisation du soufre humifié

Mr_s : Minéralisation des résidus de cultures et CI

Ma_s : effet des produits organiques

Hyp. : Les pertes gazeuses en soufre dans les sols agricoles sont négligeables

Fourniture nette en soufre (1)

Minéralisation du soufre humifié (Mhs)

$$Mh_s = 3.72 * C_{org} - 14.58 * pH + 0.57 * initial\ S-SO_4 - 0.08 * arg + 146.6$$

(20 sols, $r^2=0.84$) (Niknahad Gharmaker et al., 2009)

Contribution des autres sources organiques

- Résidus de cultures et cultures intermédiaires (Mr_s)
- Produits résiduaux organiques (Ma_s)

Contribution des retombées atmosphériques

Conclusions

- ❑ L'application d'un **bilan prévisionnel de S minéral** pour mettre au point d'un outil d'aide à la décision :
 - * pour porter **un diagnostic** évaluant si une parcelle agricole présente ou non un risque de déficience en S et estimer une dose d'engrais

- ❑ Nécessité :
 - * d'améliorer et tester la **prédiction de la minéralisation de S des sols** dans une gamme plus large de sols

 - * de retravailler les **formalismes relatifs à la prise en compte des résidus de cultures et produits organiques** pour généraliser et quantifier sur un plan opérationnel les résultats déjà obtenus

 - * de valider les prescriptions à partir de **données expérimentales**

- ❑ Améliorations analytiques :
 - * Les incubations de laboratoire pour **évaluer les fournitures en S des différentes sources organiques**

 - * La nécessité d'une **méthode analytique** « rapide », fiable et peu coûteuse utilisable en routine dans les laboratoires d'analyses de sol pour évaluer le **soufre SO_4^{2-} biodisponible**

Etude des interactions entre les plantes et les communautés microbiennes impliquées dans la minéralisation de l'azote et du soufre par des approches fonctionnelles

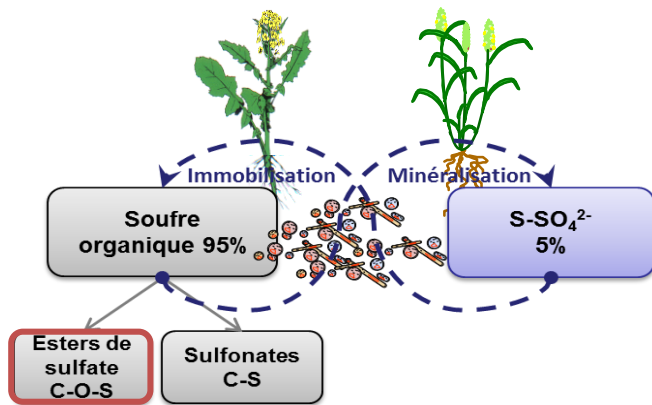
Séverine Piutti, Nicolas Romillac, Julie Genestier, Sophie Slezack-Deschaume
 UMR 1121 Université de Lorraine-INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar
 Vandoeuvre les Nancy

Mise en évidence de flux de minéralisation de S supérieurs sous colza vs orge

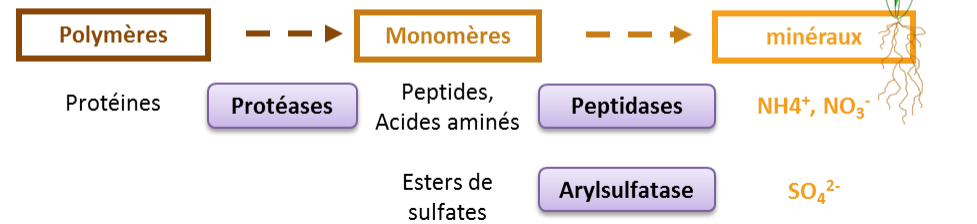
Caractérisation des communautés microbiennes fonctionnelles ARS+

(i) Etude des interactions entre les traits racinaires des plantes et les communautés microbiennes impliquées dans la dynamique de N et S

(ii) Effets des SdC et des variables pédoclimatiques sur les communautés microbiennes fonctionnelles et les flux nets de N et S



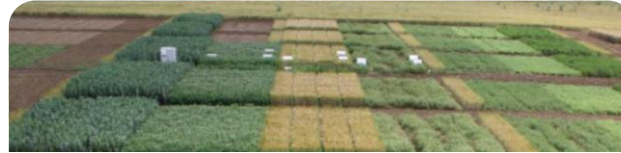
Modèles : colza et orge
Echelle temporelle : cycle de développement
Echelle spatiale : rhizosphère
Marqueur fonctionnel : activité arylsulfatase



Différentes espèces végétales étudiées
Echelle temporelle : cycle de développement/rotation
Echelle spatiale : rhizosphère/résidusphère
Marqueur fonctionnel : activité arylsulfatase (S), protéases et aminopeptidases (cycle N)

COMPRENDRE L'INFLUENCE DES PLANTES SUR LES ACTIVITÉS MICROBIENNES IMPLIQUÉES DANS LA MINÉRALISATION DE N & S PAR L'ANALYSE DES TRAITs RACINAIRES

DÉMARCHE



Dispositif expérimental
(A.S. Voisin)

❑ Les processus microbiens intervenant dans la minéralisation de N et S peuvent être considérés comme des proxy des flux nets de N et S

Influenc
des proc
min

❑ A l'échelle d'un cycle de culture, certains processus microbiens intervenant dans la minéralisation de N et S sont influencés par des traits de plantes régulant les flux de C-N et S dans les sols

❑ A l'échelle d'un SdC, les variables climatiques sont les principaux facteurs régulant les processus de minéralisation de N et S

: début –
végétatif,
raison



Colonne de sol

Traits d'architecture racinaire



RELATIONS



ARS

PROTEASE ET AMINOPEPTIDASE

Le soufre, le seul macroélément que toutes les plantes peuvent obtenir à partir de sources pédosphériques et atmosphériques

Jean-Bernard Cliquet

Ecologie des prairies, UMR EVA Caen

Disponibilité en S

Pourquoi s'intéresser à nutrition S des prairies ?

L'atmosphère
comme source
de S

Pourquoi le S atmosphérique peut-il être favorable aux plantes ?

Expérimentation
sur le trèfle

Quel peut être la contribution du S atmosphérique à la nutrition des Fabacées ?

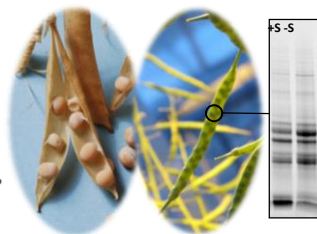
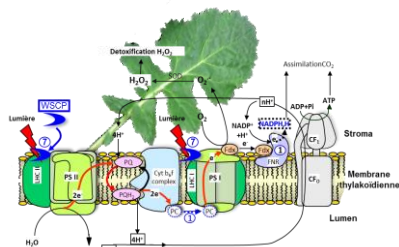
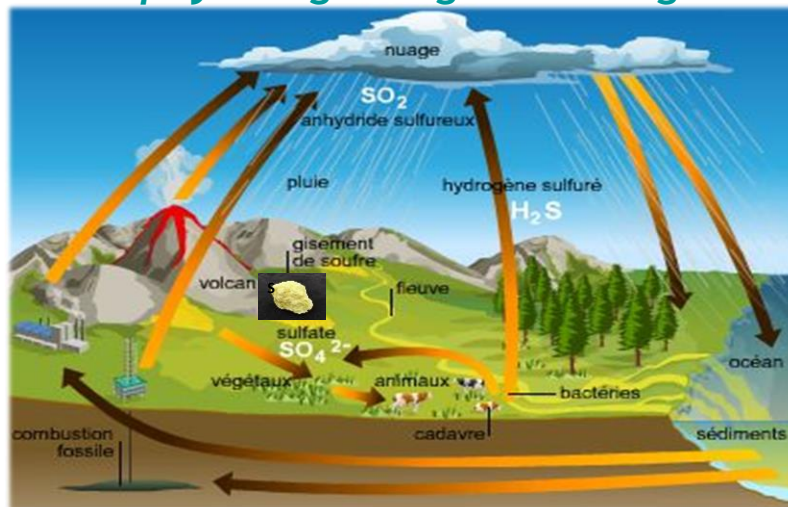
Expérimentation
sur 6 espèces
prairiales

Les plantes prairiales sont-elles capables d'augmenter leur capacité à utiliser le S atmosphérique quand le S pédosphérique diminue ?

- ❖ Le S Atmosphérique contribue à la nutrition des plantes prairiales même dans les zones non polluées
- ❖ Toutes les espèces prairiales étudiées sont capables d'augmenter leurs capacités à utiliser le S atmosphérique quand le sulfate est peu disponible
- ❖ Cette capacité peut être due à des caractéristiques morphologiques ou physiologiques

Université de Caen - 12 et 13 juillet 2017 Colloque Soufre INRA

Département Environnement-Agronomie INRA
UMR Ecophysiologie Végétale et Agronomie



•Session 2: Nutrition soufrée et qualité des produits récoltés

8h00-10h15

- Karine Gallardo-Guerrero (UMR INRA Agroécologie, Dijon)
- Catherine Grand-Ravel (UMR GDEC, Clermont Ferrand)
- Alain Bouthier (Arvalis) 20+10' discussion
- Alain Ourry (Platin', UMR EVA, INRA)
- J-C Avice (UMR EVA, INRA, Caen)

10h15-10h45 *Pause Café-Thé et visite Posters (Salle SD117 Paul Héroult): 30 min*

•Session 3: Nutrition soufrée et réponses des plantes cultivées aux stress biotiques et abiotiques

10h45- 12h

- *Stress abiotiques*
Charlotte Henriot ((UMR INRA Agroécologie, Dijon)
 - *Stress abiotiques*
J-C Avice (UMR EVA, INRA, Caen)
 - *Stress biotiques*
Frédéric Le Dily (UMR EVA, INRA, Caen)
- 12h-13h30 : *Repas au restaurant B, Campus 1 (gratuit)*

13h45-15h : **Table Ronde - Discussion**

15h15-15h45 : **Restitution des sessions d'atelier**

15h45 : **Mot de Guy Richard**, chef du département EA-INRA

16h : **Clôture**

•Session 2: Nutrition soufrée et qualité des produits récoltés

Indicateurs de risque de carence en soufre sur céréales à paille: bilan des travaux réalisés par ARVALIS

Alain BOUTHIER Ingénieur spécialiste sols et fertilisation

Indicateur	Organe et stade	Références ou organisme référent	Utilisation
% S de la MS	Parties aériennes tallage et montaison		Diagnostic
% S de la MS	Feuilles 2 et 3 (en partant de l'épi) à Z65	Loué (Diagnostic foliaire)	Diagnostic à postériori
Sulfate dans le jus de base de tige (*)	Base de tiges, Z31 à Z32	Challenge Agriculture	Pilotage apport S montaison
Rapport malate/sulfate	Feuilles, tallage et montaison	Blake-Kalff (Hill Court Farm Research)	Pilotage apport S fin tallage et montaison
GPN (N-PILOT) soufre (*)	Placettes, témoin fertilisé en soufre	Borealis (Grande Paroisse)	Pilotage apport S montaison

(*): tests qui ne sont aujourd'hui plus développés



Conclusions

- Performances variables des indicateurs étudiés
 - DF floraison performant mais diagnostic à postériori.
 - Indicateurs plante tallage-montaison moins performants : JBT > Malate > GPN.
 - Scott: performance moyenne mais situations carencées discriminées
- **Grille d'estimation du risque à revoir: vers une approche de type bilan d'azote (cf thèse H. NIKNAHAD-GHARMAKHER, 2008)**

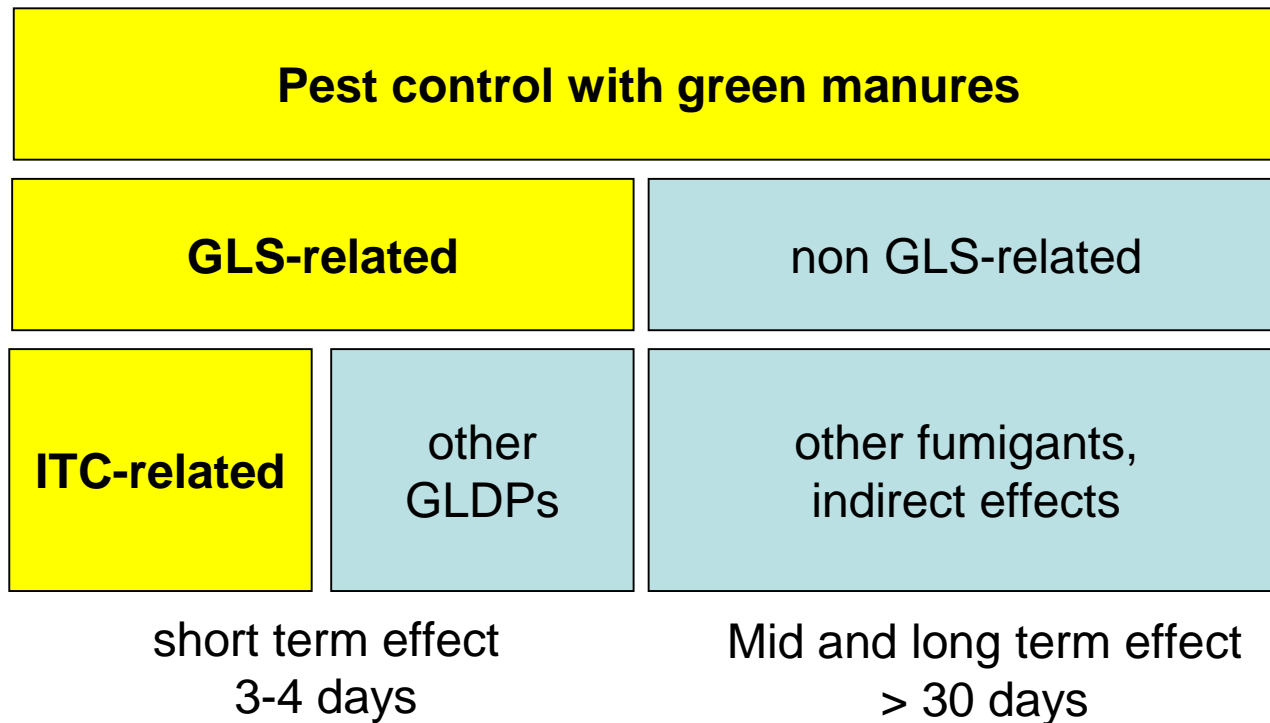
•Session 3: Nutrition soufrée et réponses des plantes cultivées aux stress biotiques et abiotiques

Le Soufre, un allié alternatif aux pesticides Frédéric le Dily, UMR EVA Caen

Rôle bio-statique des biofumigants

→ Rôle des ITC, des GLDPs ?

(J. Kirkegaard, Austr.)



Importance des cultures intercalaires (service biofumigant et autres services...)