



# UMR INRA–UCBN 950 EVA

## Ecophysiologie Végétale, Agronomie & nutritions NCS



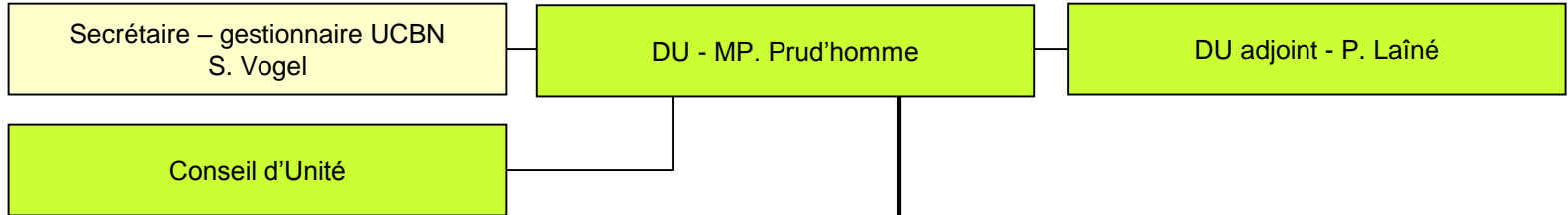
Université de Caen



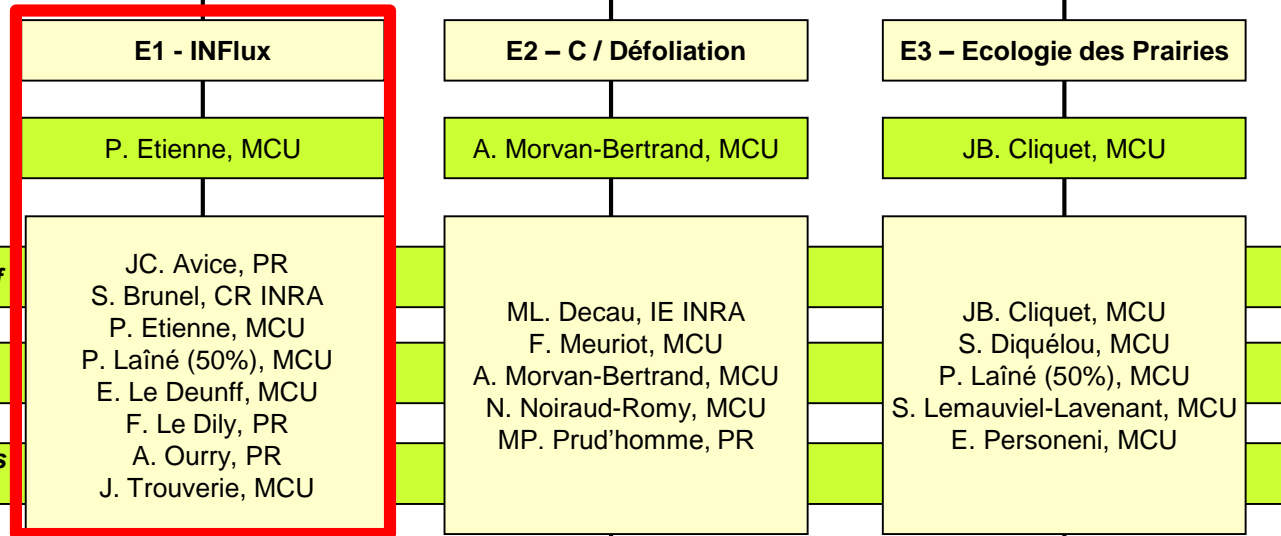
Centre INRA Rennes

Groupe N/S COMIFER Paris, 09 Juillet 2015

15 EC  
1 CR INRA  
5 ITA  
5 BIATSS  
6 PhD  
3 M2  
3 CDD



## Équipes



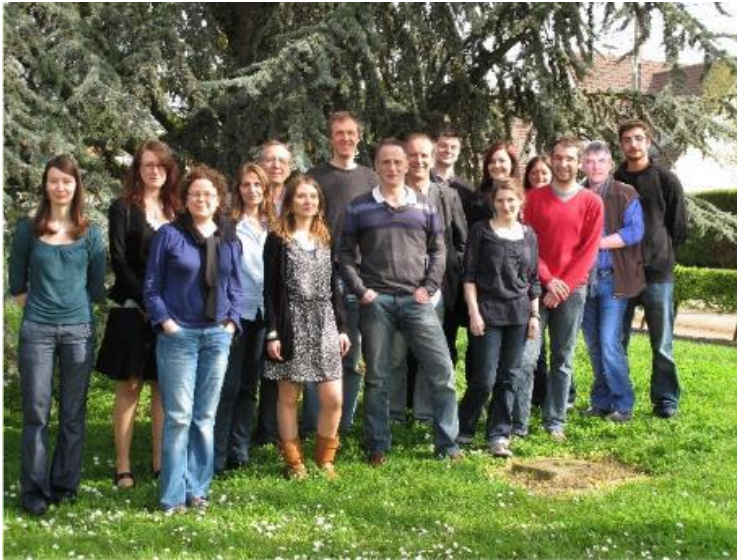
Axes transversaux

- Interactions NCS – E. Le Deunff*
- Modélisation GEC – S. Brunel*
- Services des agro-écosystèmes S. Diquélou*

**Services analytiques** (IRMS/ICPMS-HP, Biologie Moléculaire, Protéines, HPLC ionique et glucidique) : MP. Bataillé, P. Beauclair, J. Bonnefoy-Etienne, J. Levallois

**Services techniques** (Cultures en serres, Terrain, Maintenance, Entretien, Récoltes, Pesées, Broyage, Informatique) : AF. Ameline, D. Ballois, P. Beauclair, J. Bonnefoy-Etienne, M. Bodereau, B. de Loynes d'Estrées, J. Pichon.

## INFlux: Interactions Nutritionnelles et Flux N, C, S



### Effectif :

- 6,5 EC (3 PR et 3,5 MCU)
- 1 CR INRA
- 4 Doctorants (+3 à venir)

**Contexte : Amélioration du bilan agro-environnemental de la culture de colza *via* un maintien (amélioration) des rendements du colza en situation de bas intrants (diminution/ajustement des doses)**

- **Efficienc e d'usage des nutriments : efficac ies de prélèvement et de remobilisation (N&S)**
- **Développement d'indicateurs du statut nutritionnel des cultures**
- **Développement d'un modèle écophysiologique de croissance**

**Approches intégrative et pluridisciplinaire : Agronomie, physiologie, biologie moléculaire et modélisation**

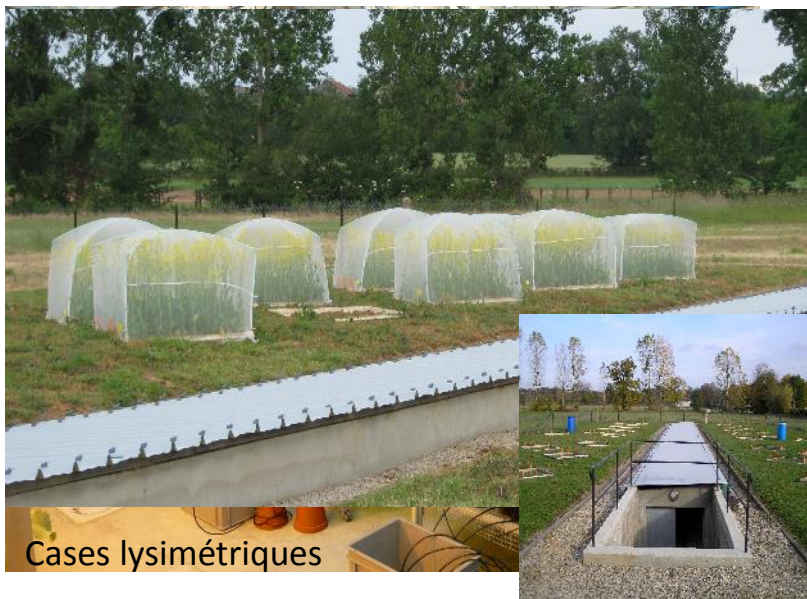
# Dispositifs de culture



Salles de cultures et phytotrons



En serre



Cases lysimétriques



Au champ

-  RAPSODYN
-  SERAPIS
-  POLYGONE
-  Azostimer

## Répartitions nationale et régionale des parcelles de colza récoltées par INFlux





SPAD



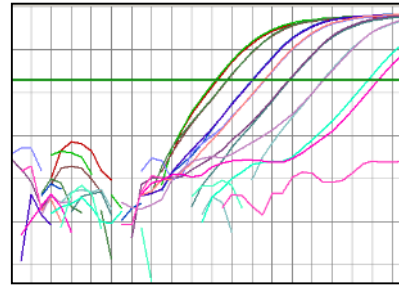
LICOR

Planimètre

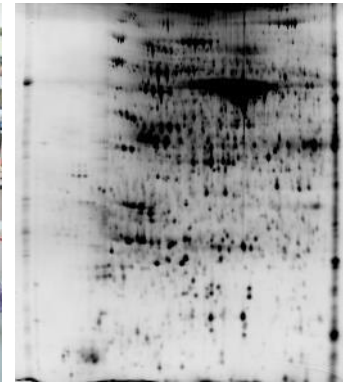


Multiplex®

Du gène



À la protéine



En passant par les métabolites par HPLC



Chromatographie cationique et anionique (Dionex)



Dosage d'acides aminés par HPLC

Spectrométrie de masse isotopique :  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  ;  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  ;  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$



**MP Bataille**

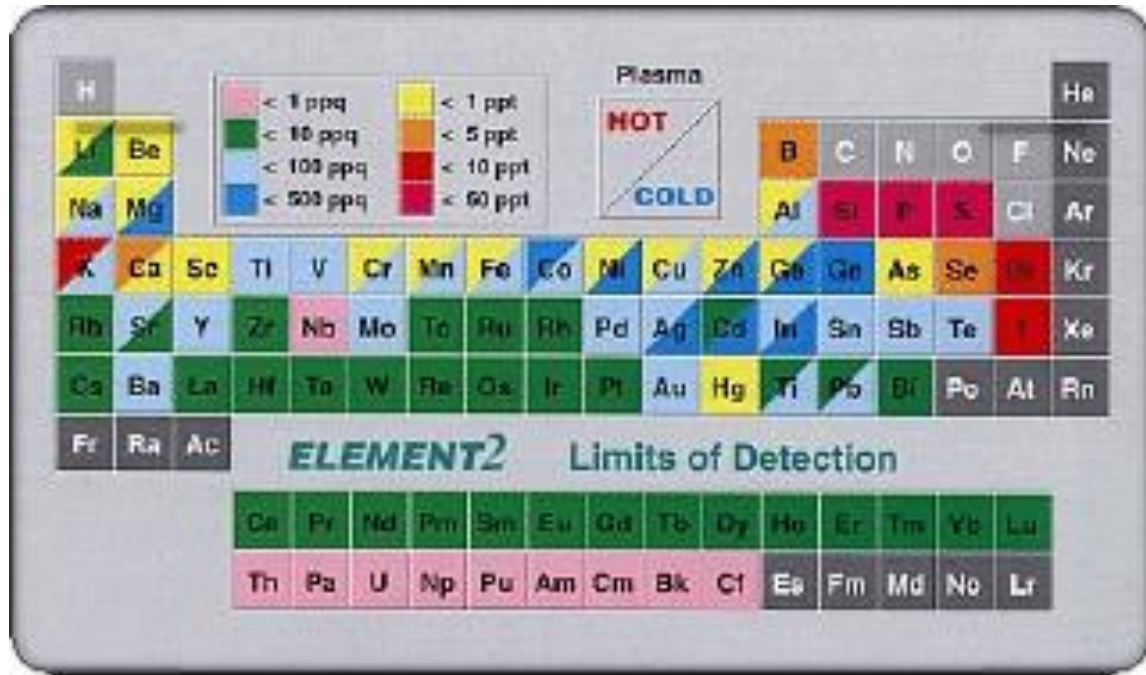


**J Bonnefoy**



**F Marie**





A Maillard



A Ourry



S Diquelou

Analyse (ppt/ppb) de la majorité des éléments du tableau périodique (sauf C,H,N,O,Cl)

en routine pour :  $^{11}\text{B}$ ,  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{31}\text{P}$ ,  $^{32}\text{S}$ ,  $^{39}\text{K}$ ,  $^{44}\text{Ca}$ ,  $^{55}\text{Mn}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{59}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Ni}$ ,  $^{63}\text{Cu}$ ,  $^{66}\text{Zn}$ ,  $^{95}\text{Mo}$ ,  $^{111}\text{Cd}$ ,  $^{208}\text{Pb}$  (Hg, Va)

$^{68}\text{Ga}$ ,  $^{102}\text{Rh}$ ,  $^{190}\text{Ir}$

Ratios isotopiques en projet

## Collaborations avec partenaires privés

- CMI (groupe Roullier Saint Malo),
- Syngenta,
- Force A
- Lesieur
- Terre Inovia
- Agrium Italia (semencier)

## Collaborations avec partenaires publics

- UMR 1318 INRA-AgroParisTech, IJPB Versailles,
- UMR 1349 IGEPP INRA Rennes I
- LEVA, ESA Angers
- UMR 1347 AgroEcologie GEAPSI INRA Dijon
- UMR 1391 ISPA, INRA Bordeaux
  
- Université de Cologne (Institute of Botany)
- Université d'Oxford (Department of Plant Sciences)
- Université de Navarre (Lab of Plant Physiology)
- Université de Barcelone (Department of plant Biology)

## ✓ Utilisation de l'azote par les végétaux et principalement du Colza :

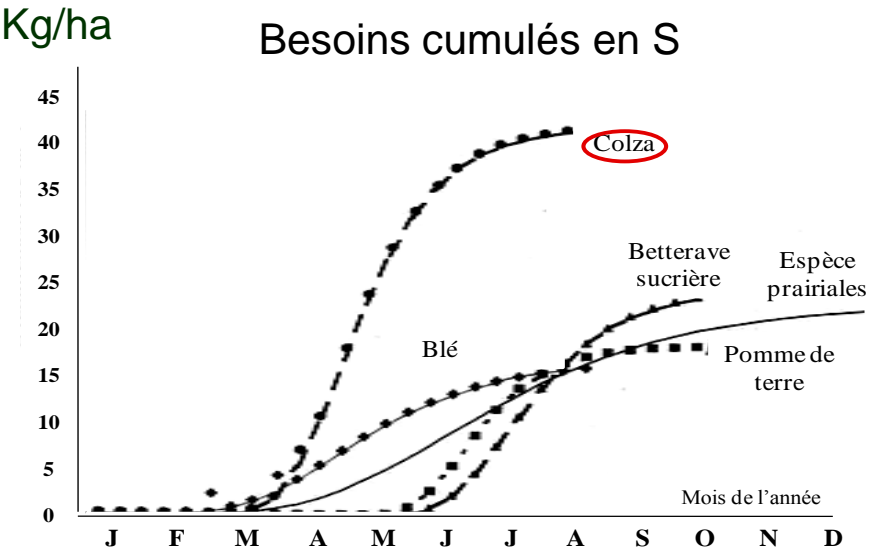
- Absorption, mise en réserve, remobilisation du N (sénescence foliaire)
- Variabilité génotypique des processus de remobilisation du N,
- Impact des biostimulants d'origine biologique sur l'absorption du N (et du S),

## ✓ Depuis 2006, prise en compte de la problématique soufre (S) chez le colza:

- Projet ANR (ANR JC Cosmos), 2 thèses, 1 contrat FUI (SERAPIS)

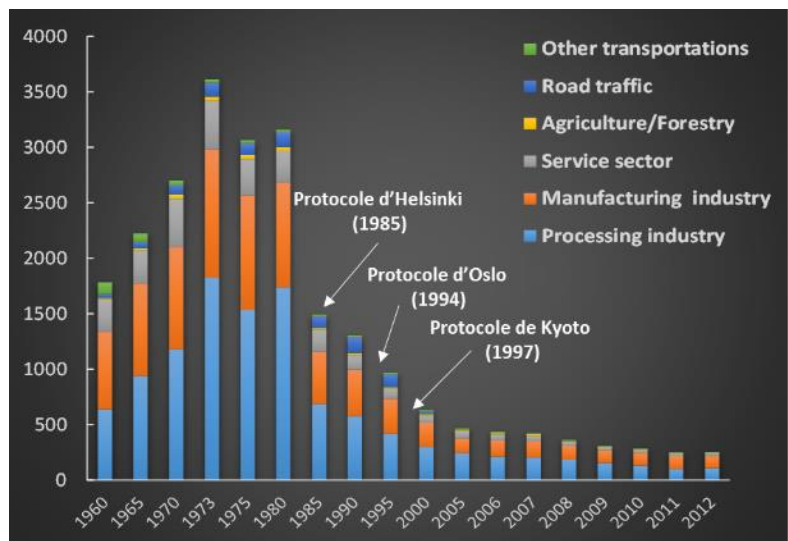


# Pourquoi le soufre chez le Colza ?



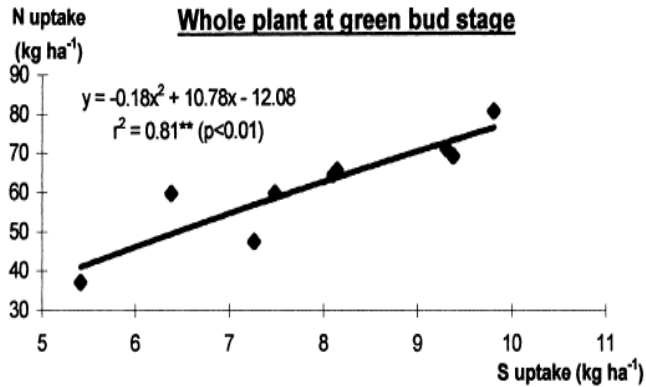
- Plante cultivée de manière intensive (Forts besoins en N et en S)
  - +
  - Baisse des rejets atmosphériques soufrés
- ↓
- Baisse de rendement

## Émission de SO<sub>2</sub> atmosphérique en France



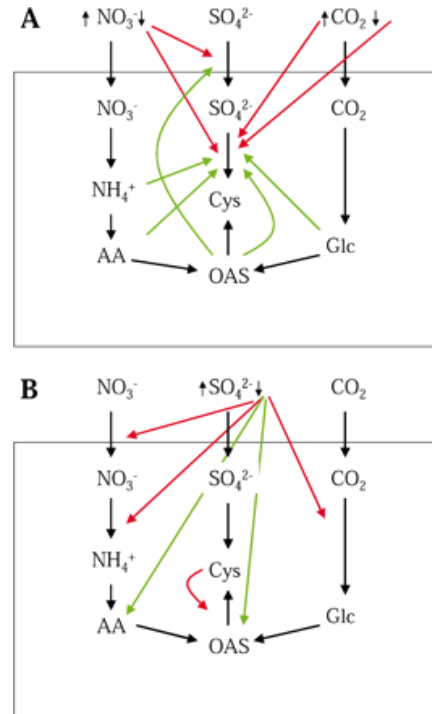
## Interactions des métabolismes N/S :

### ✓ Absorption



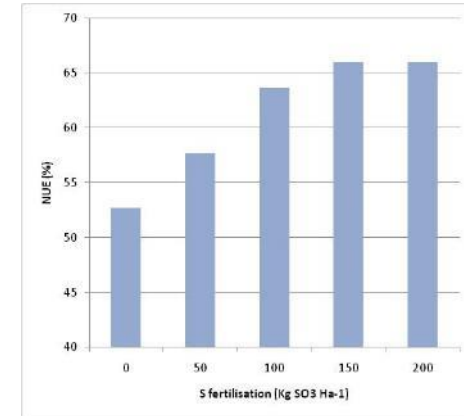
*Fismes et al. 2000*

### ✓ assimilation du N et du S



*Kopriva & Rennenberg 2004*

### ✓ NUE



*Inspired by Schnug et al., 1993*

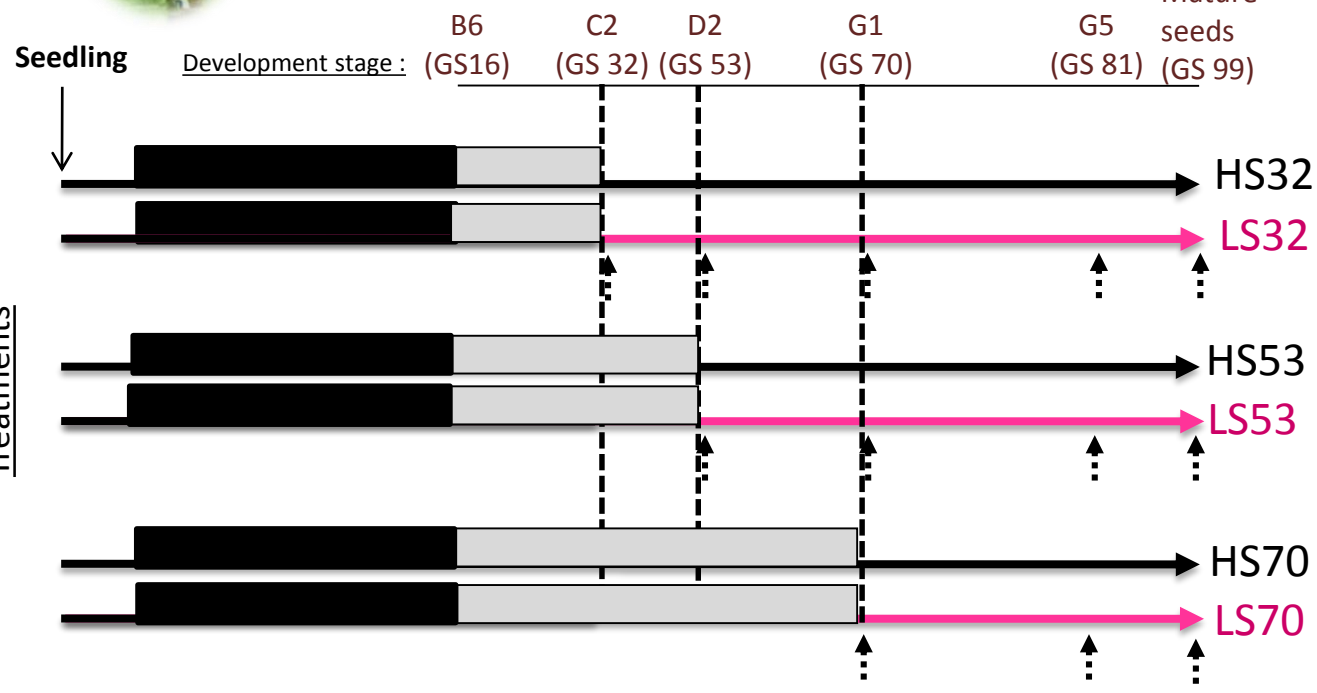
- Gestion du S dans la plante (stockage, remobilisation)
- Déterminer les périodes de plus forte sensibilité à la limitation S
- Impact d'une limitation en S sur la qualité des produits récoltés
- Elaborer des outils pour le pilotage de la fertilisation (Modèle, OAD)



# Effect d'une limitation en S sur la gestion du S par la plante

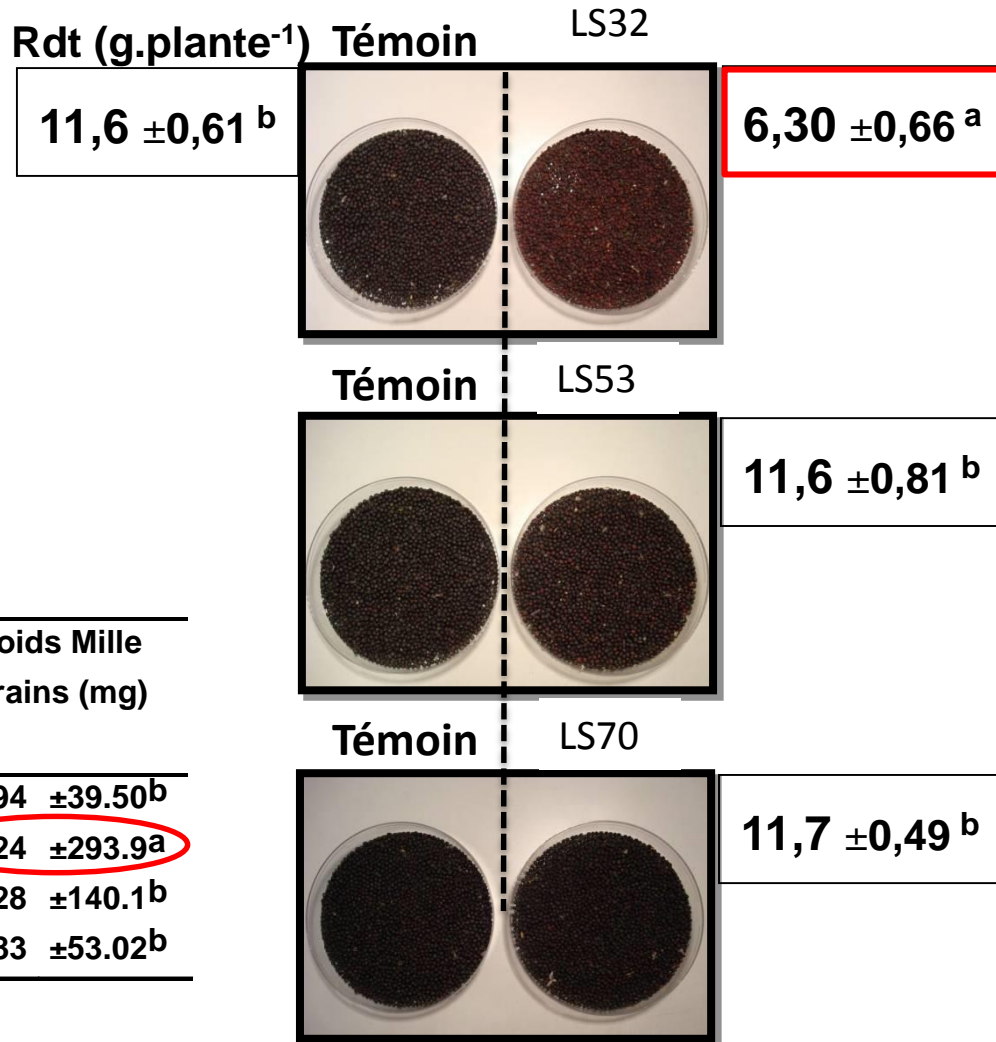
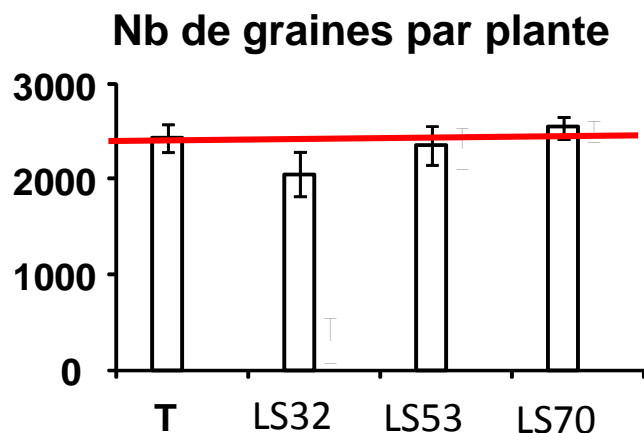


- vernalization
- <sup>34</sup>S et <sup>15</sup>N labeling
- 500 μM SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>
- 8,7 μM SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>
- Sampling stage



Teneur en S

LS70	↘
LS53	↘
LS32	↘↘

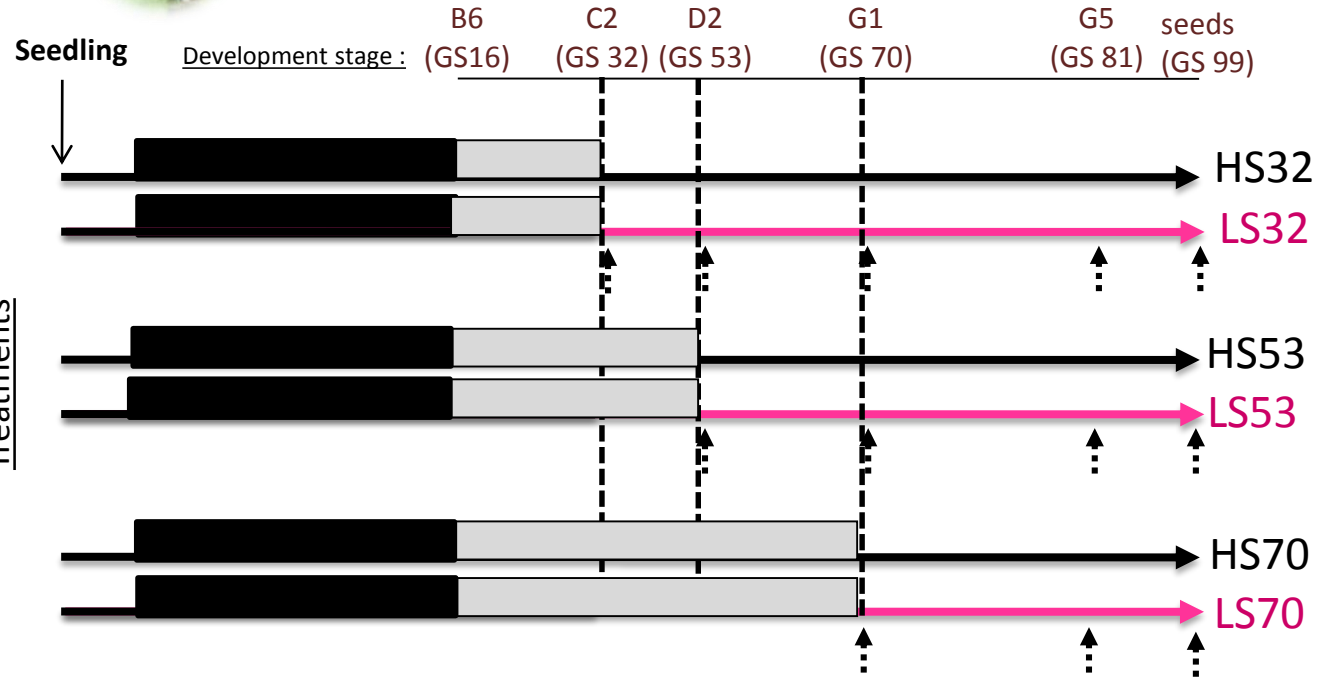


	Longueur max (silique) (cm)	Nb de siliques par plante	Poids Mille grains (mg)
T	8.3 ± 0.1 <sup>b</sup>	178 ± 4	4 694 ± 39.50 <sup>b</sup>
LS32	7.5 ± 0.8 <sup>ab</sup>	162 ± 6	3 124 ± 293.9 <sup>a</sup>
LS53	8.4 ± 0.1 <sup>b</sup>	165 ± 9	4 928 ± 140.1 <sup>b</sup>
LS70	7.9 ± 0.1 <sup>a</sup>	187 ± 7	4 583 ± 53.02 <sup>b</sup>

**Rendement affecté seulement par une limitation sévère (LS 32)**



# Effect d'une limitation en S sur la gestion du S par la plante



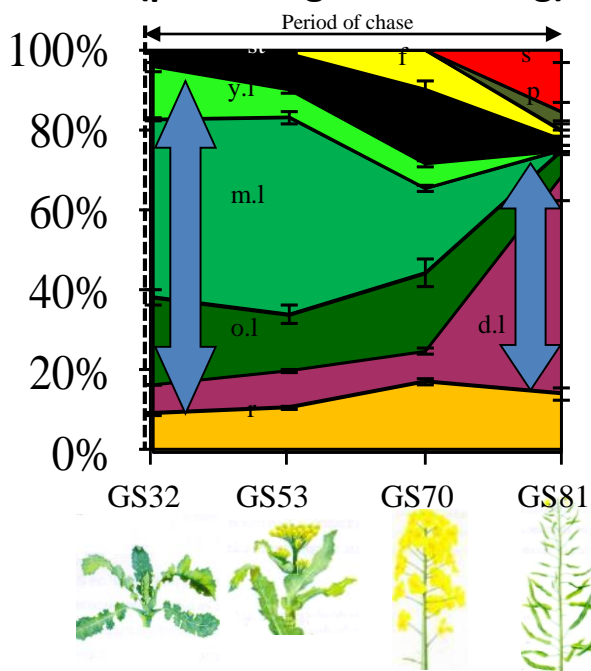
	Rendement	Teneur en S
LS70	➔	➡
LS53	➔	➡
LS32	➡	➡

Flux de  $^{34}\text{S}$  et  $^{15}\text{N}$  dans les différents organes

# Impact de la limitation en S sur la répartition du S endogène

**+S**  
 (adequate S  
 nutrition)

**<sup>34</sup>S partitioning**  
 (percentage of labelling)

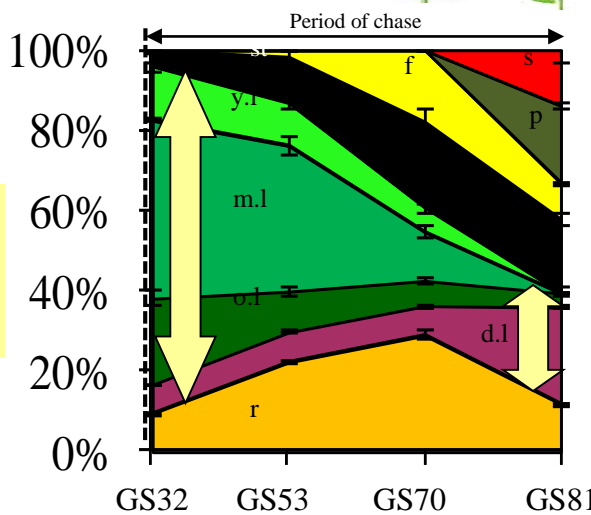


- seeds (s)
- pod walls (p)
- floral stem (f)
- stem (st)
- young leaves (y.l)
- mature leaves (m.l)
- old leaves (o.l)
- dead leaves (d.l)
- roots (r)

**NUtE**  
 GS 32→GS 81  
 = 32 ±2.1

**SRE<sub>leaf</sub>**  
 GS 32→GS 81  
 = 26 ±0.8%

**Low S**  
 (at bolting  
 stage GS<sub>32</sub>)



- seeds (s)
- pod walls (p)
- floral stem (f)
- stem (st)
- young leaves (y.l)
- mature leaves (m.l)
- old leaves (o.l)
- dead leaves (d.l)
- roots (r)

**NUtE**  
 GS 32→GS 81  
 = 18 ±2.7

**SRE<sub>leaf</sub>**  
 GS 32→GS 81  
 = 59 ±0.3%

## Chapter 20

### <sup>34</sup>S and <sup>15</sup>N Labelling to Model S and N Flux in Plants and Determine the Different Components of N and S Use Efficiency

Christophe Salon, Marie-Paule Bataillé, Karine Gallardo, Christian Jeudy, Anne-Lise Santoni, Jacques Trouverie, Anne-Sophie Voisin, and Jean-Christophe Avice

1. The value of isotope abundance ( $A\%$ ) given by the IRMS in sample or natural standard is calculated as:

$$A\% = 100 \times \frac{{}^{34}\text{S}}{({}^{34}\text{S} + {}^{32}\text{S})}$$

2. The determination of  $S$  fluxes relies on the quantification of the <sup>34</sup>S amount in excess ( $Q^{34}\text{S}_{\text{in excess}}$ ) in each organ:

$$Q^{34}\text{S}_{\text{in excess}}(\text{mg}) = \frac{(A\%_{\text{sample}} - A\%_{\text{natural standard}})}{100} \times \text{QS}$$

where  $A\%_{\text{natural standard}}$  corresponds to natural <sup>34</sup>S abundance, i.e., 4.21 %, QS is the amount of total  $S$  in a given organ in mg, and  $A\%_{\text{sample}}$  corresponds to <sup>34</sup>S isotope abundance in a given organ.

3. For every organ at each date, <sup>34</sup>S amounts is normalized ( $Q^{34}\text{S}_{\text{norm}}$ ) with the following calculation at every date ( $t$ ):

$$Q^{34}\text{S}_{\text{norm}} = \frac{Q^{34}\text{S}_{\text{organ}}(t) \times Q^{34}\text{S}_{\text{whole plant}}(\text{all date})}{Q^{34}\text{S}_{\text{whole plant}}(t)}$$

Where  $Q^{34}\text{S}_{\text{organ}}(t)$  indicates <sup>34</sup>S amount in excess in a given organ at the date  $t$ ,  $Q^{34}\text{S}_{\text{whole plant}}(\text{all date})$  represents the average of

<sup>34</sup>S amount in whole plant at every studying date and  $Q^{34}\text{S}_{\text{whole plant}}(t)$  indicates <sup>34</sup>S amount in the whole plant at the date  $t$ .

4. When a loss of <sup>34</sup>S amount between two dates ( $t$  and  $t + \Delta t$ ) is observed, the organ is considered as a source and the  $S$  amount remobilized ( $\text{QSR}_{\text{source}}$ ) was defined as:

$$\text{QSR}_{\text{source}} = \text{QS}_{\text{tot}}(t) \times \frac{[Q^{34}\text{S}_{\text{norm}}(t) - Q^{34}\text{S}_{\text{norm}}(t + \Delta t)]}{Q^{34}\text{S}_{\text{norm}}(t)}$$

where  $\text{QS}_{\text{tot}}(t)$  indicates total  $S$  amount in the source organ at the date  $t$ ,  $Q^{34}\text{S}(t)$  and  $Q^{34}\text{S}(t + \Delta t)$  represent the <sup>34</sup>S amount in excess in the source organ at the date  $t$  and  $t + \Delta t$ , respectively.

5. When a gain of <sup>34</sup>S amount is observed, the organ is considered as a sink and the  $S$  amount remobilized ( $\text{QSR}_{\text{sink}}$ ) corresponded to:

$$\text{QSR}_{\text{sink}} = \frac{[Q^{34}\text{S}_{\text{norm}}(t + \Delta t) - Q^{34}\text{S}_{\text{norm}}(t)]}{\left[ \left( \sum Q^{34}\text{S}_{\text{norm source}}(t) - \sum Q^{34}\text{S}_{\text{norm source}}(t + \Delta t) \right) / \sum \text{QSR}_{\text{source}} \right]}$$

where  $\sum Q^{34}\text{S}_{\text{norm source}}(t)$  and  $\sum Q^{34}\text{S}_{\text{norm source}}(t + \Delta t)$  indicate total <sup>34</sup>S amount in excess from all source organs at  $t$  and  $t + \Delta t$ , respectively.  $\sum \text{QSR}_{\text{source}}$  indicates total  $S$  amount in excess remobilized from all source organs.

6. The inflow of  $S$  taken up is also calculated between  $t$  and  $t + \Delta t$ . For source organ,  $S$  amount taken up ( $\text{QSI}_{\text{source}}$ ) was defined as:

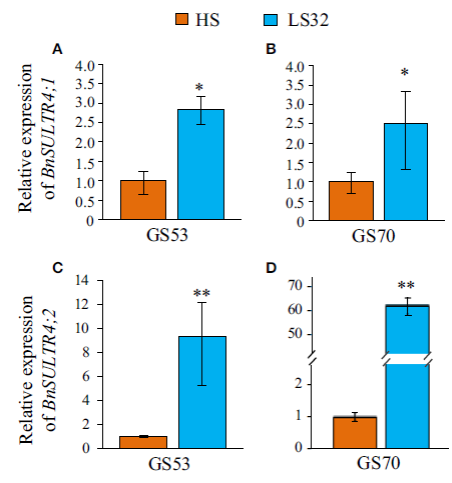
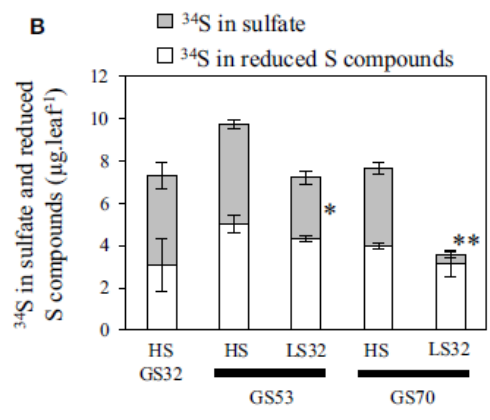
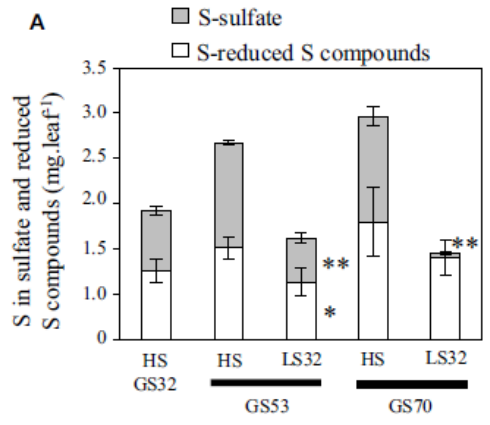
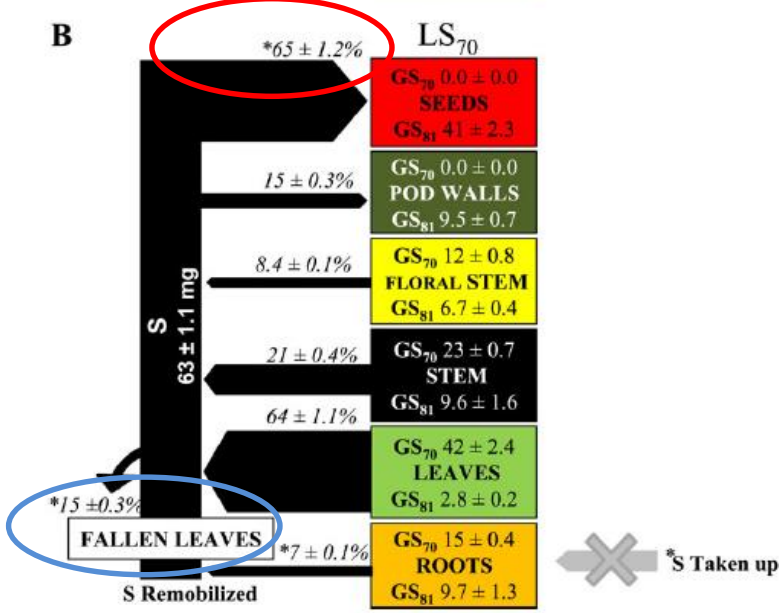
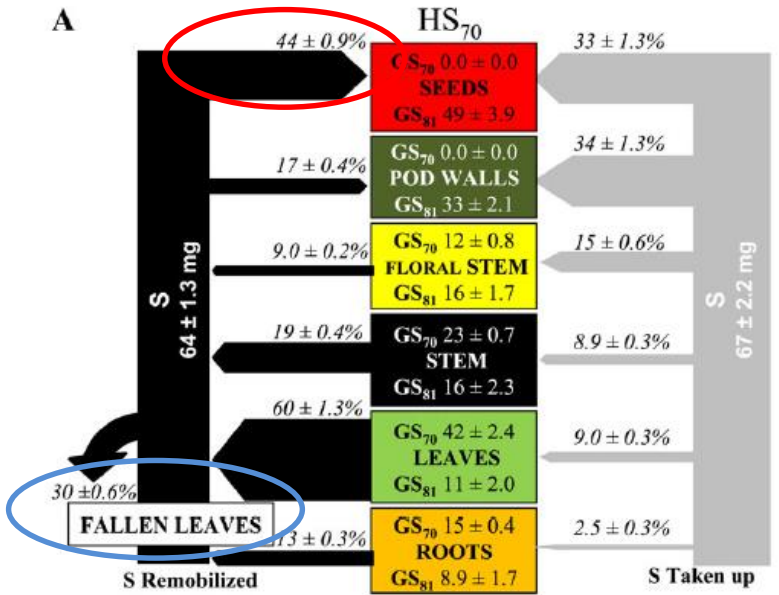
$$\text{QSI}_{\text{source}} = [\text{QS}(t + \Delta t) - \text{QS}(t)] + \text{QSR}_{\text{source}}$$

For sink organ,  $S$  amount taken up ( $\text{QSI}_{\text{sink}}$ ) corresponded to:

$$\text{QSI}_{\text{sink}} = [\text{QS}(t + \Delta t) - \text{QS}(t)] - \text{QSR}_{\text{sink}}$$

where  $\text{QSR}_{\text{source}}$  indicates the  $S$  amount from the studying source organ and  $\text{QSR}_{\text{sink}}$  indicates the  $S$  amount from the studying sink organ.

# Impact de la limitation en S sur la répartition du S



Meilleur indice de récolte du S du a un meilleur vidage des feuilles des réserves en sulfate vacuolaire