

# *Choisir son couvert végétal en fonction de ses objectifs et services recherchés et de son système de culture*

19 novembre 2019



## **Lionel Alletto**

Chambre régionale d'agriculture Occitanie

Chercheur associé INRA UMR Agroécologies, Innovations, Territoires

[lionel.alletto@occitanie.chambagri.fr](mailto:lionel.alletto@occitanie.chambagri.fr)

**Antoine Couëdel – Hélène Tribouillois (INRA UMR AGIR)**

**Éric Justes (CIRAD UMR SYSTEM)**

**aGRICULTURES  
& TERRITOIRES**  
CHAMBRE D'AGRICULTURE  
OCCITANIE



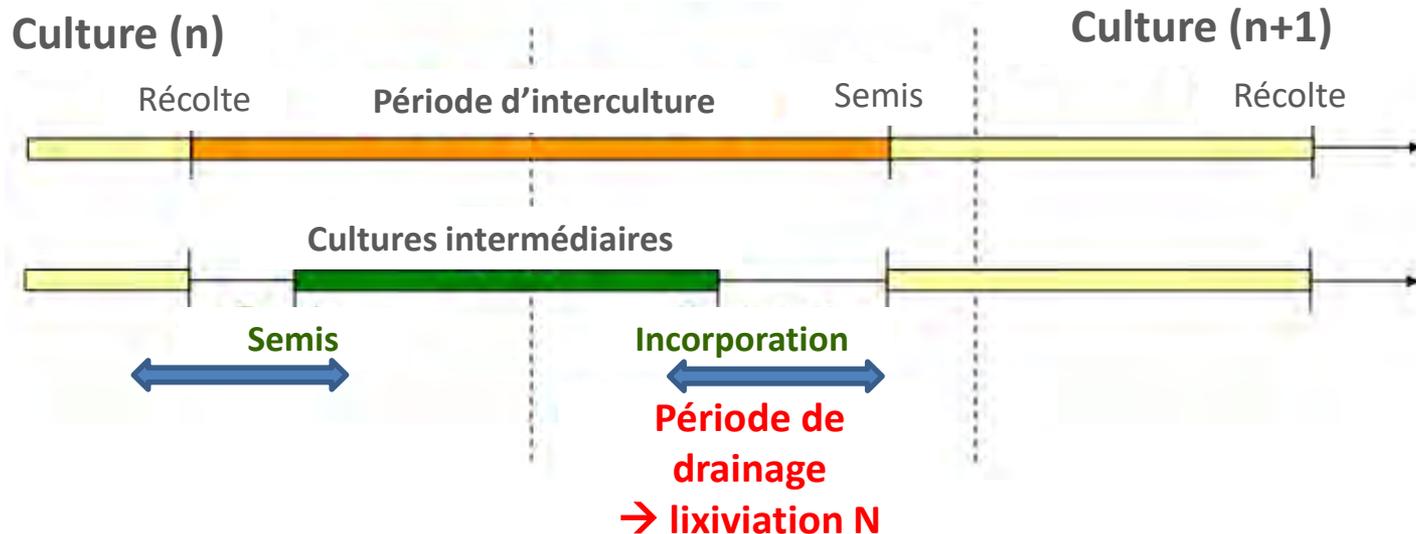
# Quand les implanter ??



Période d'interculture : période entre deux cultures marchandes

► 1 semaine à 9 mois

## Succession de cultures



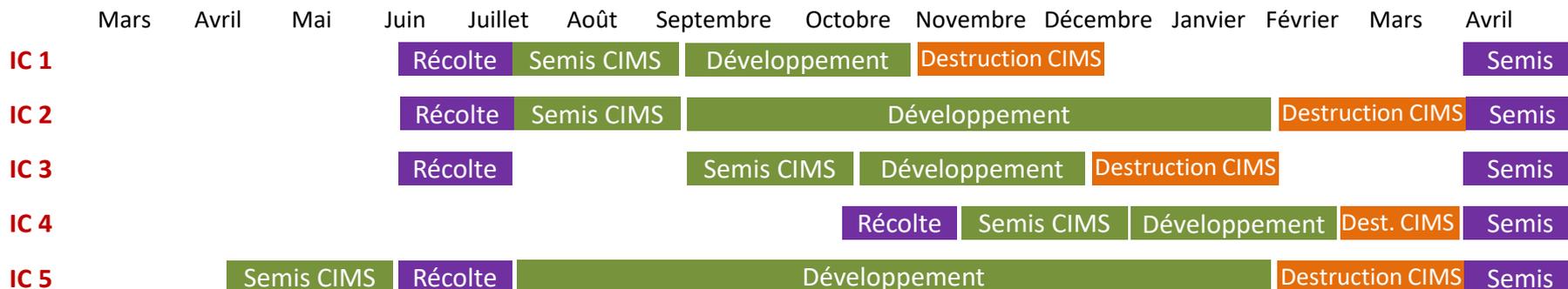
# ≠ périodes d'implantation et destruction



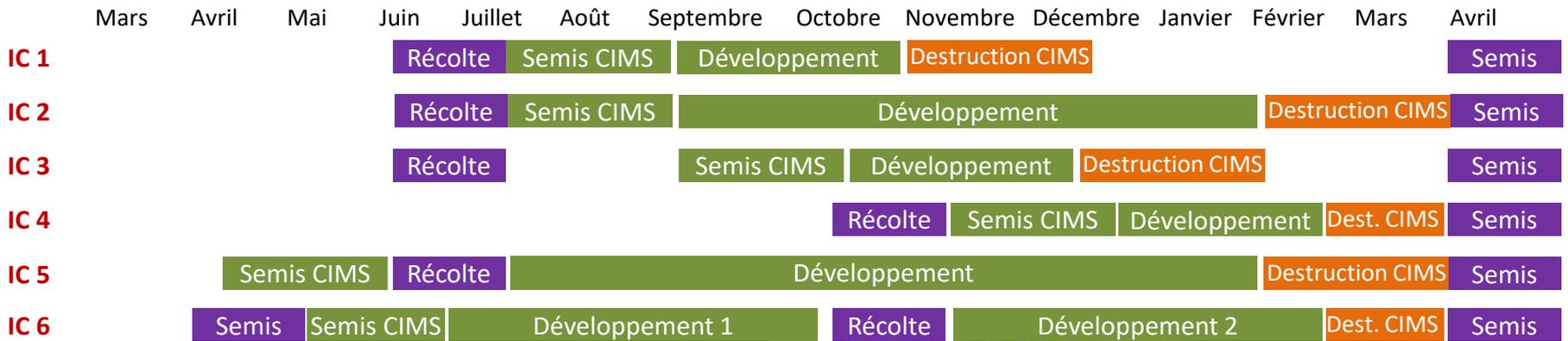
	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
<b>TYPE 1</b>				Récolte	Semis CIMS		Développement		Destruction CIMS					Semis
<b>TYPE 2</b>				Récolte	Semis CIMS		Développement					Destruction CIMS	Semis	
<b>TYPE 3</b>				Récolte			Semis CIMS	Développement		Destruction CIMS				Semis



# ≠ périodes d'implantation et destruction



# ≠ périodes d'implantation et destruction



# ≠ périodes d'implantation

---



- ▶ Phase de semis – germination – levée souvent critique :
  - (i) conditions de semis pas toujours optimales : à la volée, dans un mulch
  - (ii) conditions hydriques / thermiques extrêmes (?)

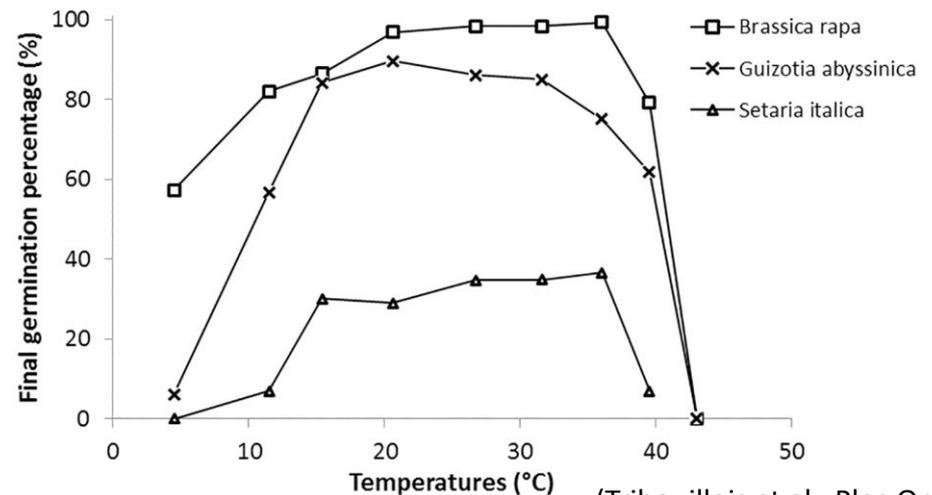
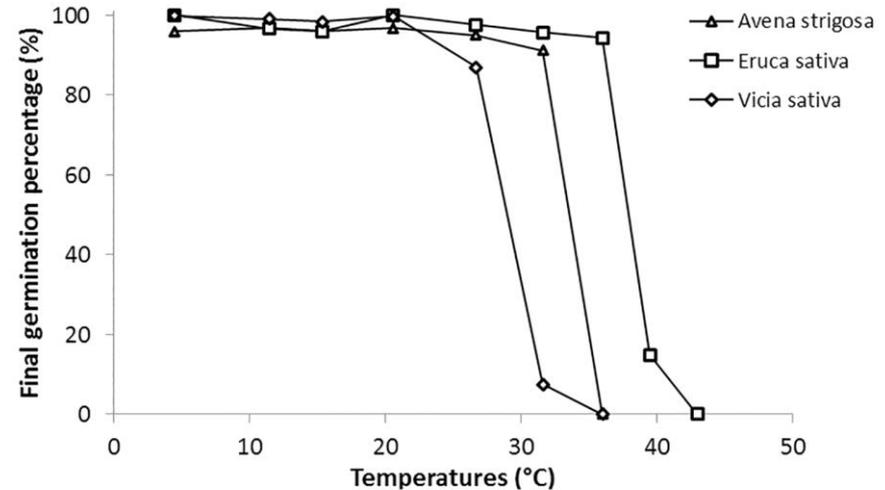
# Conditions de germination des CIMS



## → Résultats issus des travaux d'Hélène Tribouillois

(INRA UMR AGIR, Toulouse)

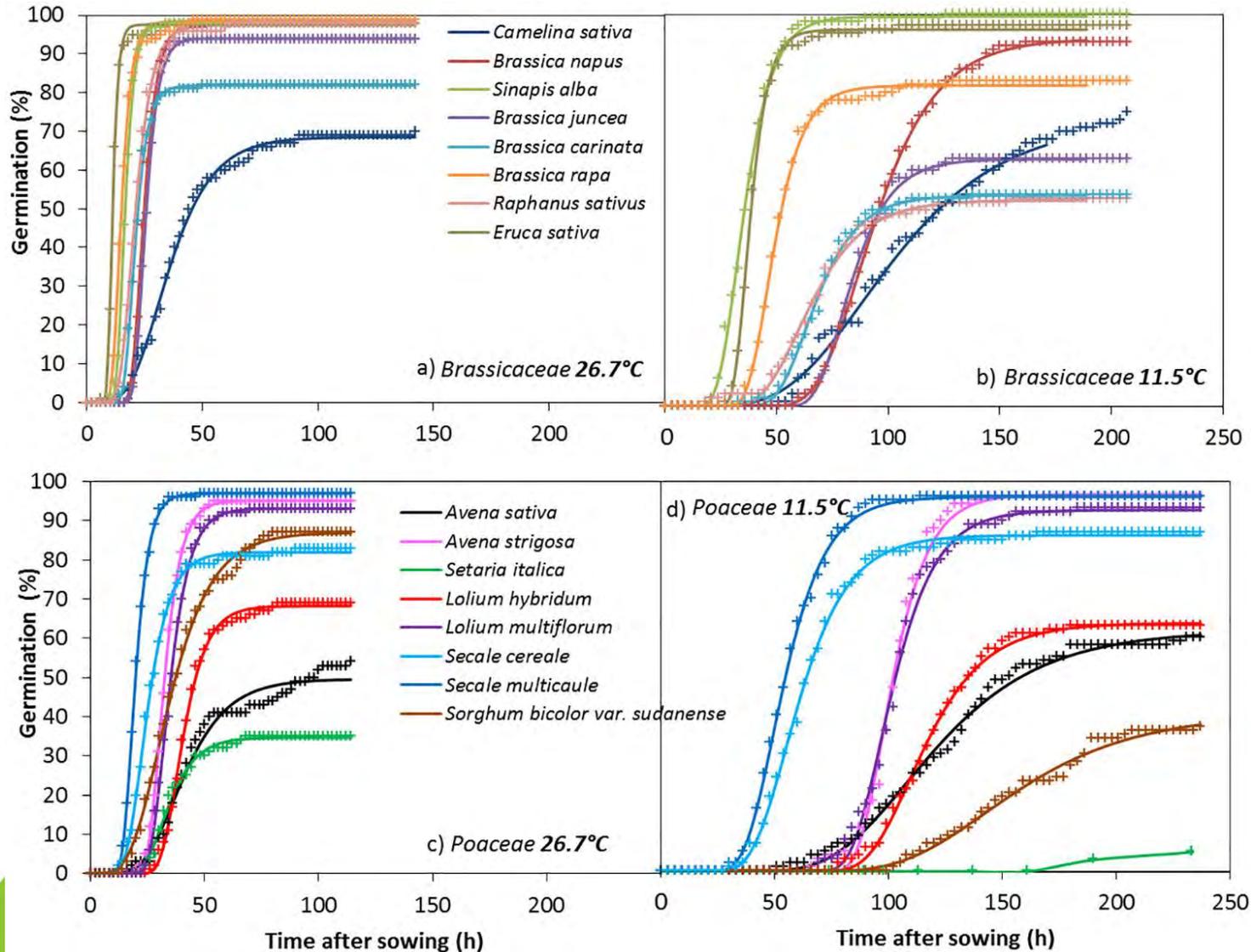
→ Des réponses de la germination à la température très différentes selon les espèces



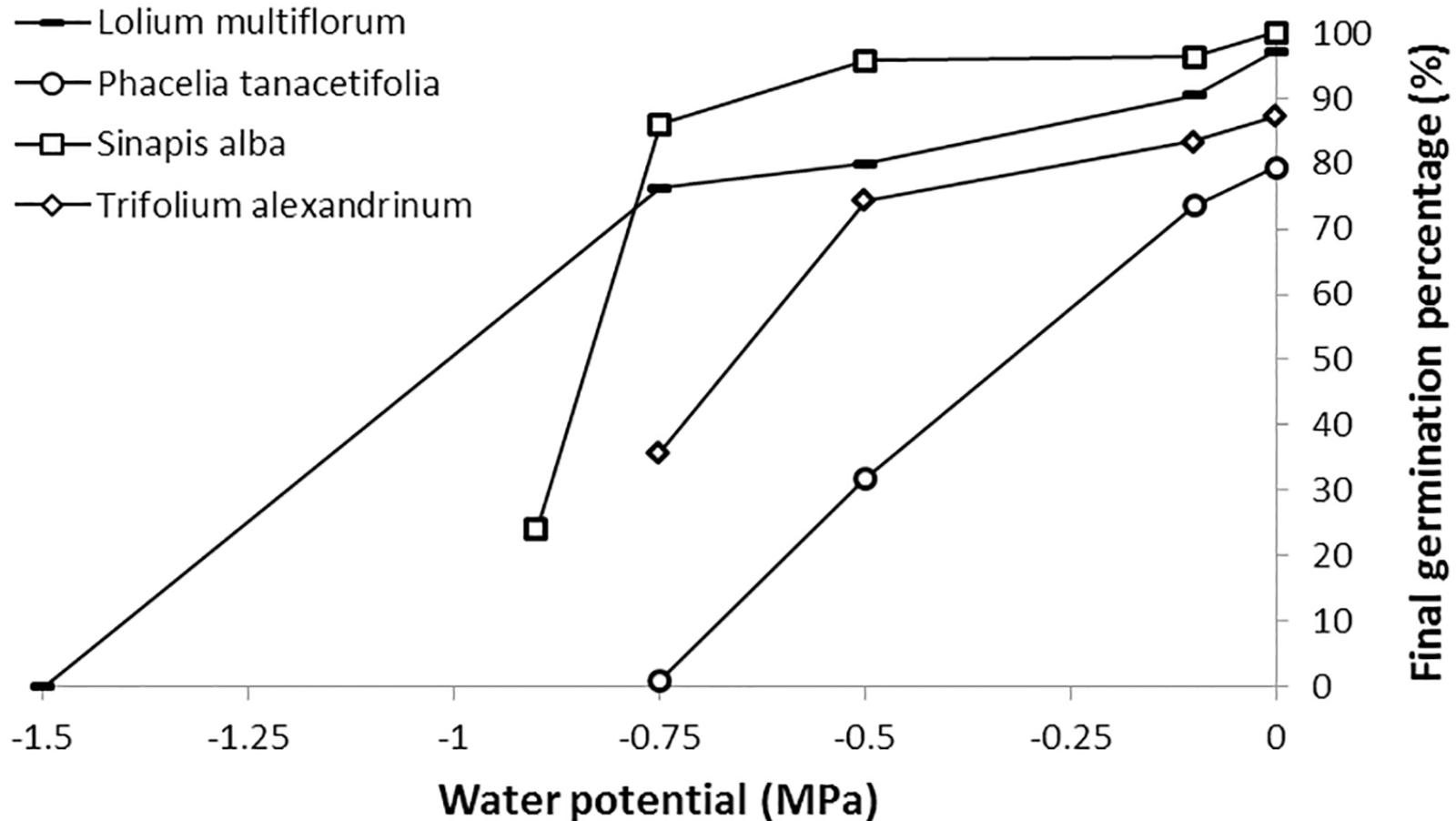
(Tribouillois et al., Plos One, 2016)

Family	Species	Id.	Seed weight (mg)	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Optimum temperature (°C)	Base temperature (°C)
Asteraceae	<i>Guizotia abyssinica</i>	GA	3.3	8.7 ± 2.8	42.9 ± 0.3	28.7 ± 1.3	8.1 ± 0.9
	<i>Helianthus annuus</i>	HA	48.0	2.3 ± 1.1	36.0 ± 0.0	32.5 ± 0.6	4.4 ± 0.5
		<b>Mean</b>	<b>25.7 ± 31.6</b>	<b>5.5 ± 4.5</b>	<b>39.5 ± 4.9</b>	<b>30.6 ± 2.7</b>	<b>6.3 ± 2.6</b>
Brassicaceae	<i>Brassica carinata</i>	BC	5.0	0.0 ± 0.0	37.1 ± 0.2	32.3 ± 0.3	6.7 ± 0.9
	<i>Brassica juncea</i>	BJ	3.0	0.3 ± 0.6	37.8 ± 1.4	33.7 ± 0.6	6.8 ± 0.5
	<i>Brassica napus</i>	BN	2.7	0.0 ± 0.0	38.9 ± 0.5	32.7 ± 0.4	7.2 ± 0.2
	<i>Brassica rapa</i>	BR	3.7	0.0 ± 0.0	39.7 ± 0.0	33.1 ± 0.5	6.6 ± 0.0
	<i>Camelina sativa</i>	CS	1.3	0.0 ± 0.0	35.8 ± 0.4	28.3 ± 0.1	2.1 ± 0.1
	<i>Eruca sativa</i>	ES	1.3	0.8 ± 0.6	36.2 ± 0.1	32.5 ± 0.4	5.4 ± 0.1
	<i>Raphanus sativus</i>	RS	13.0	1.2 ± 0.9	39.5 ± 0.0	37.2 ± 0.2	7.3 ± 0.6
	<i>Sinapis alba</i>	SA	8.0	0.0 ± 0.0	40.4 ± 0.3	29.6 ± 0.7	1.2 ± 0.1
		<b>Mean</b>	<b>4.8 ± 4.0</b>	<b>0.3 ± 0.5</b>	<b>38.2 ± 1.7</b>	<b>32.4 ± 2.7</b>	<b>5.4 ± 2.4</b>
	Fabaceae	<i>Lathyrus sativus</i>	LS	176.0	0.3 ± 0.6	39.1 ± 0.6	26.8 ± 0.7
<i>Lens nigricans</i>		LN	21.5	0.3 ± 0.5	37.4 ± 1.4	31.8 ± 2.2	0.8 ± 1.4
<i>Lupinus angustifolius</i>		LA	179.4	1.3 ± 0.8	35.4 ± 4.2	25.7 ± 3.7	0.8 ± 0.1
<i>Medicago lupulina</i>		ML	1.5	2.1 ± 0.5	30.3 ± 4.8	26.2 ± 4.1	0.6 ± 0.4
<i>Melilotus officinalis</i>		MO	2.5	1.1 ± 1.1	33.5 ± 1.3	24.9 ± 2.3	0.8 ± 1.3
<i>Onobrychis vicifolia</i>		OV	23.0	1.8 ± 1.1	31.7 ± 0.2	24.2 ± 1.2	0.0 ± 0.0
<i>Pisum sativum</i> ASSAS		PSA	168.8	0.7 ± 0.7	33.5 ± 3.2	28.5 ± 0.9	1.1 ± 1.5
<i>Pisum sativum</i> PFX		PSP	214.5	0.0 ± 0.0	32.0 ± 0.6	29.3 ± 1.3	7.3 ± 0.8
<i>Trifolium alexandrinum</i>		TA	3.0	1.1 ± 1.9	41.6 ± 1.2	30.0 ± 1.4	6.1 ± 0.3
<i>Trifolium incarnatum</i>		TI	4.7	1.5 ± 1.2	43.4 ± 0.5	26.5 ± 1.9	6.4 ± 0.3
<i>Trigonella foenum-graecum</i>		TFG	16.0	0.0 ± 0.0	43.0 ± 0.0	30.1 ± 0.3	4.2 ± 1.0
<i>Vicia benghalensis</i>		VB	41.4	2.6 ± 0.5	39.5 ± 0.0	23.6 ± 0.8	2.1 ± 0.1
<i>Vicia faba</i> LAURA		VFL	442.8	0.2 ± 0.4	33.9 ± 2.7	23.8 ± 2.6	0.0 ± 0.0
<i>Vicia faba</i> SSNS	VFS	359.6	0.5 ± 0.5	31.6 ± 0.0	28.1 ± 0.3	1.2 ± 2.0	
<i>Vicia sativa</i>	VS	53.8	0.6 ± 1.0	30.0 ± 1.7	22.0 ± 0.8	4.1 ± 0.0	
<i>Vicia villosa</i>	VV	26.7	0.5 ± 0.8	33.1 ± 6.8	20.2 ± 1.1	1.4 ± 0.9	
	<b>Mean</b>	<b>108.5 ± 137.0</b>	<b>0.9 ± 0.8</b>	<b>35.6 ± 4.5</b>	<b>26.4 ± 3.2</b>	<b>2.5 ± 2.4</b>	

# Conditions de germination des CIMS



# Conditions de germination des CIMS

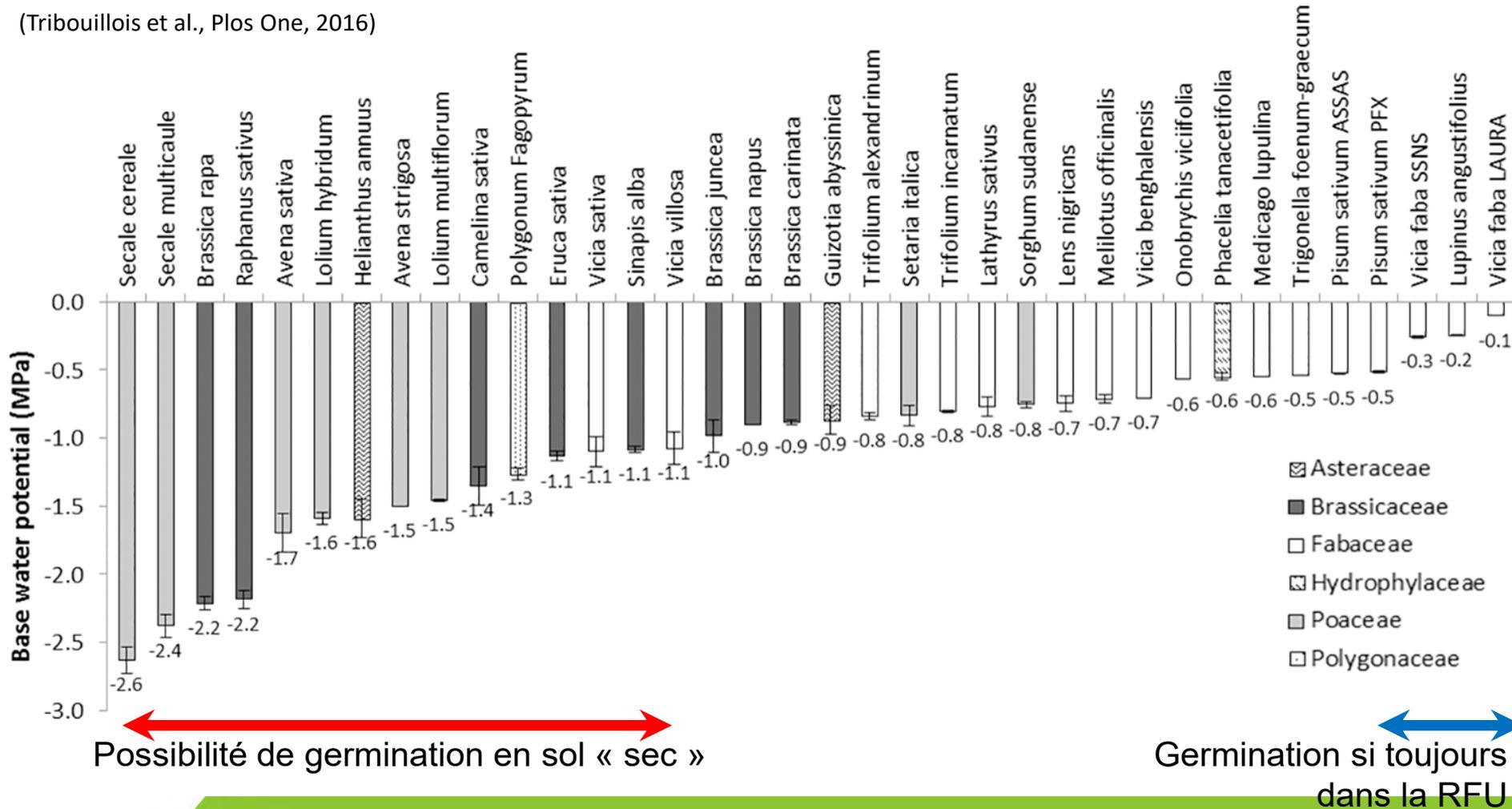


(Tribouillois et al., Plos One, 2016)

# Conditions de germination des CIMS



(Tribouillois et al., Plos One, 2016)



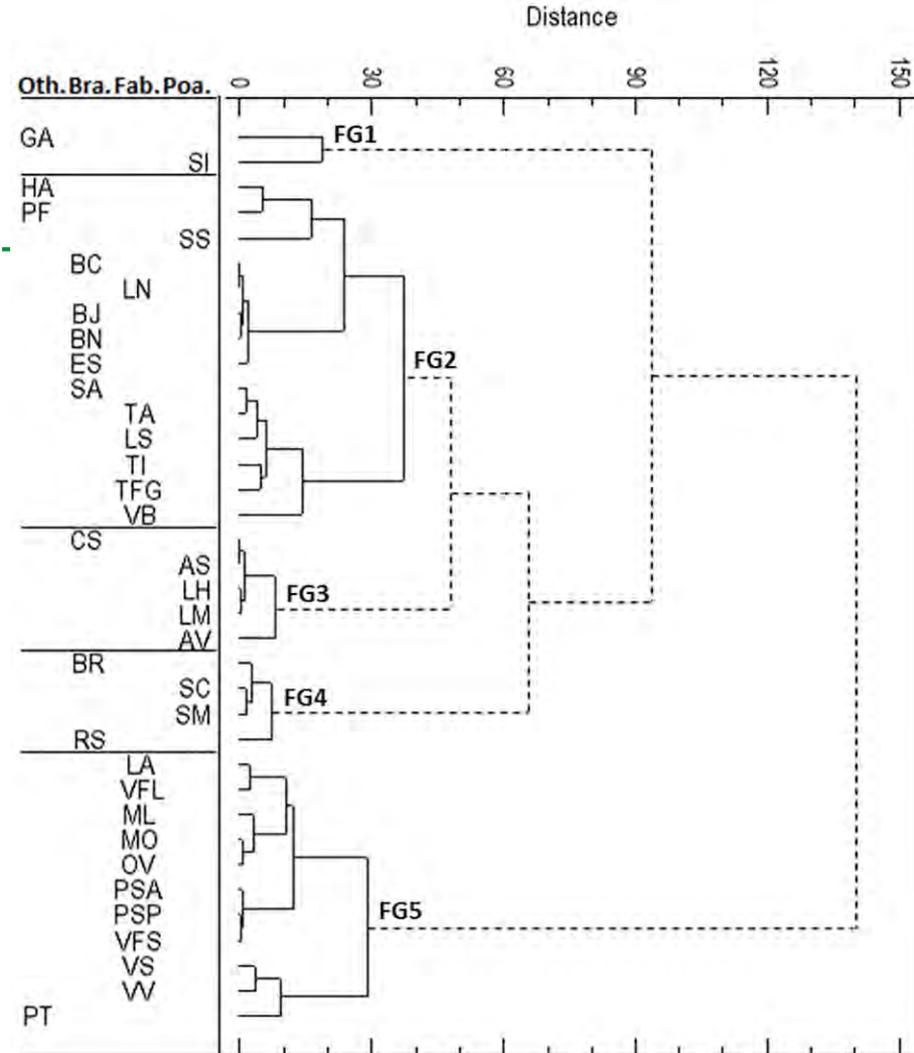
**FG1 : T°C élevée & bonne tolérance au stress hydrique: Nyger ; Moha**

**FG2 : T°C moyenne à élevée & bonne tolérance au stress hydrique: Tournesol ; Sarrasin ; Mout. Eth. ; Mout. Brune ; Colza ; Roquette ; Mout. Blanche ; Lentille ; Trèfle Alex. ; Gesse ; Trèfle Inc. ; Fenugrec ; Vesce pourpre**

**FG3 : T°C faible à moyenne & bonne tolérance au stress hydrique: Cameline ; Avoine diploïde et tétraploïde ; Ray-grass hybride et italien**

**FG4 : T°C faible à élevée & très bonne tolérance au stress hydrique: Navette ; Radis fourrager ; Seigle ; Seigle multicaule**

**FG5 : T°C faible à modérée & tolérance moyenne au stress hydrique: Phacélie ; Lupin bleu ; Féverole ; Luzerne lupuline ; Mélilot ; Sainfoin ; Pois fourrager ; Vesce commune ; Vesce velue**



(Tribouillois et al., Plos One, 2016)

**Table 2.** Mean ( $\pm 1$  standard deviation) cardinal temperatures and base water potential of the species in each functional group defined from hierarchical classification.

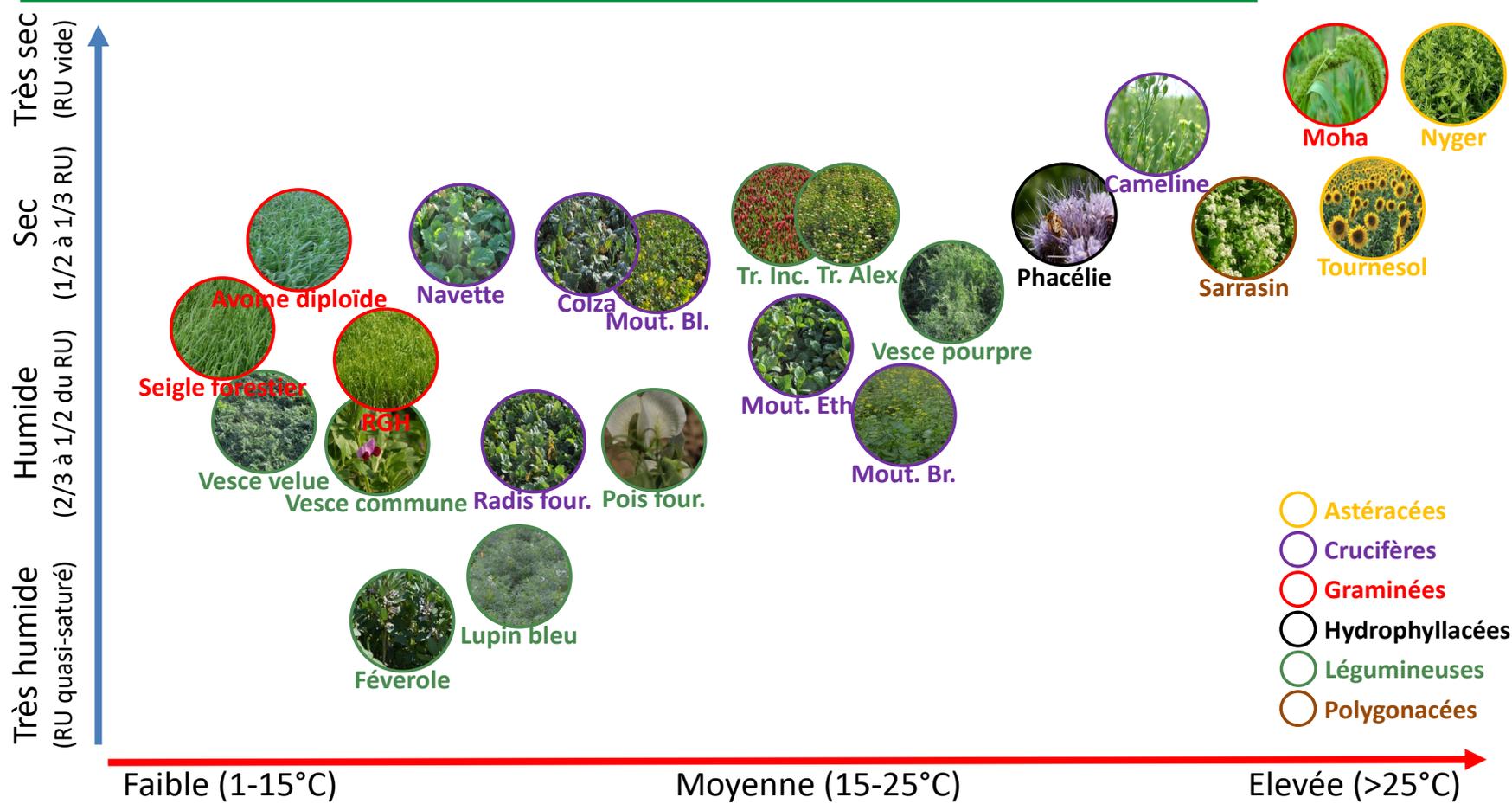
Functional group	Minimal temperature	Optimal temperature	Maximal temperature	Base water potential
1	10.0 $\pm$ 1.8 b	32.4 $\pm$ 5.2 bc	41.2 $\pm$ 2.4 c	-0.9 $\pm$ 0.1 c
2	1.3 $\pm$ 1.6 a	30.7 $\pm$ 3.2 b	39.3 $\pm$ 2.3 c	-0.9 $\pm$ 0.3 c
3	0.4 $\pm$ 0.4 a	28.1 $\pm$ 1.7 ab	35.0 $\pm$ 1.4 b	-1.5 $\pm$ 0.1 b
4	0.4 $\pm$ 0.6 a	34.2 $\pm$ 2.2 c	38.6 $\pm$ 1.2 c	-2.4 $\pm$ 0.2 a
5	0.8 $\pm$ 0.7 a	24.9 $\pm$ 3.0 a	32.1 $\pm$ 2.2 a	-0.6 $\pm$ 0.3 c

Letters 'a', 'b', 'c' indicate significantly ( $P < 0.05$ ) different means.

# Choix des CIMS en f° des conditions de semis

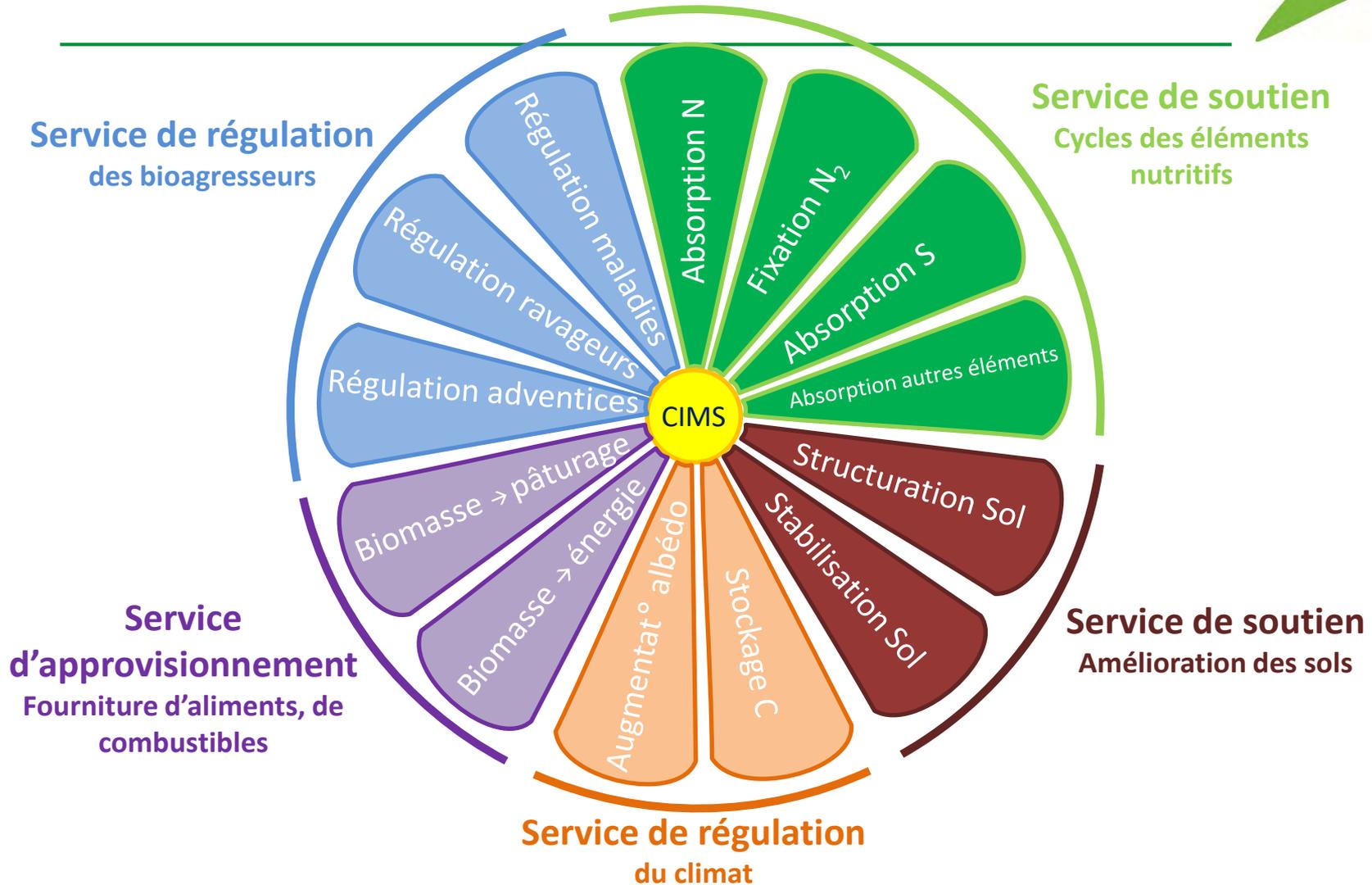


Conditions hydriques de germination

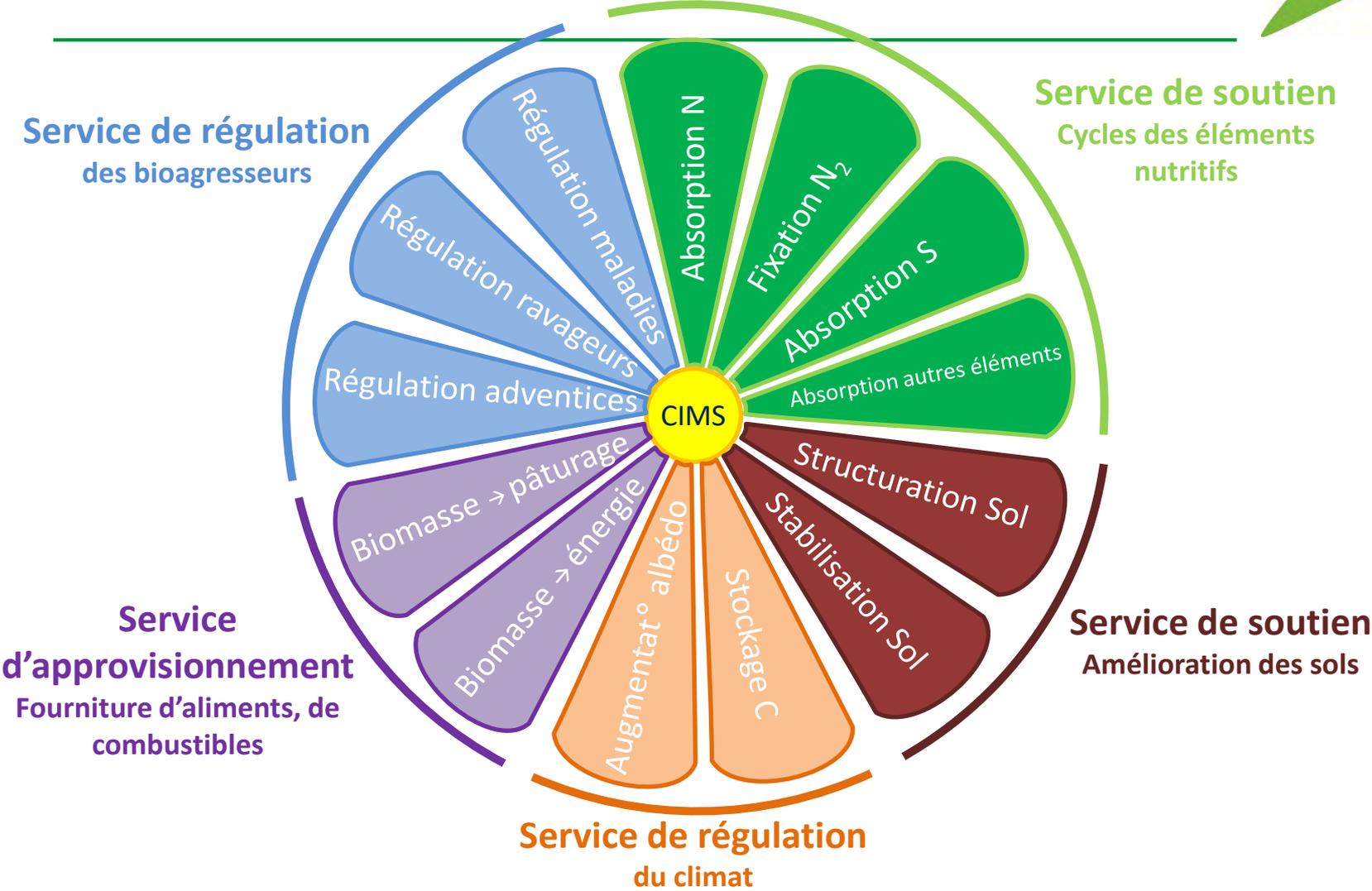


D'après Tribouillois et al. (2016) + travaux CASDAR CRUCIAL

# Bouquets de services attendus des CIMS



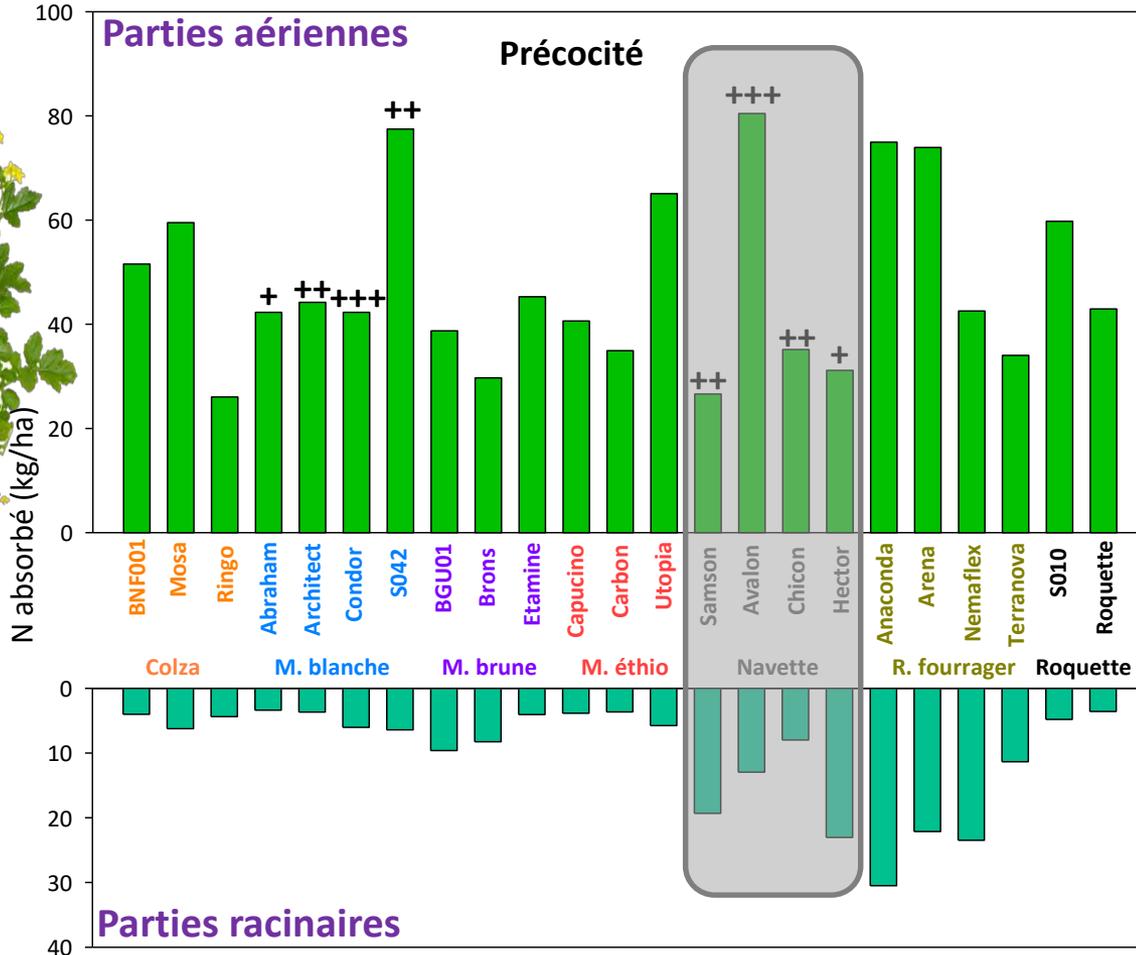
# Bouquets de services attendus des CIMS



# Absorption d’N du sol



Semis : mi-août Destruction : déb. novembre



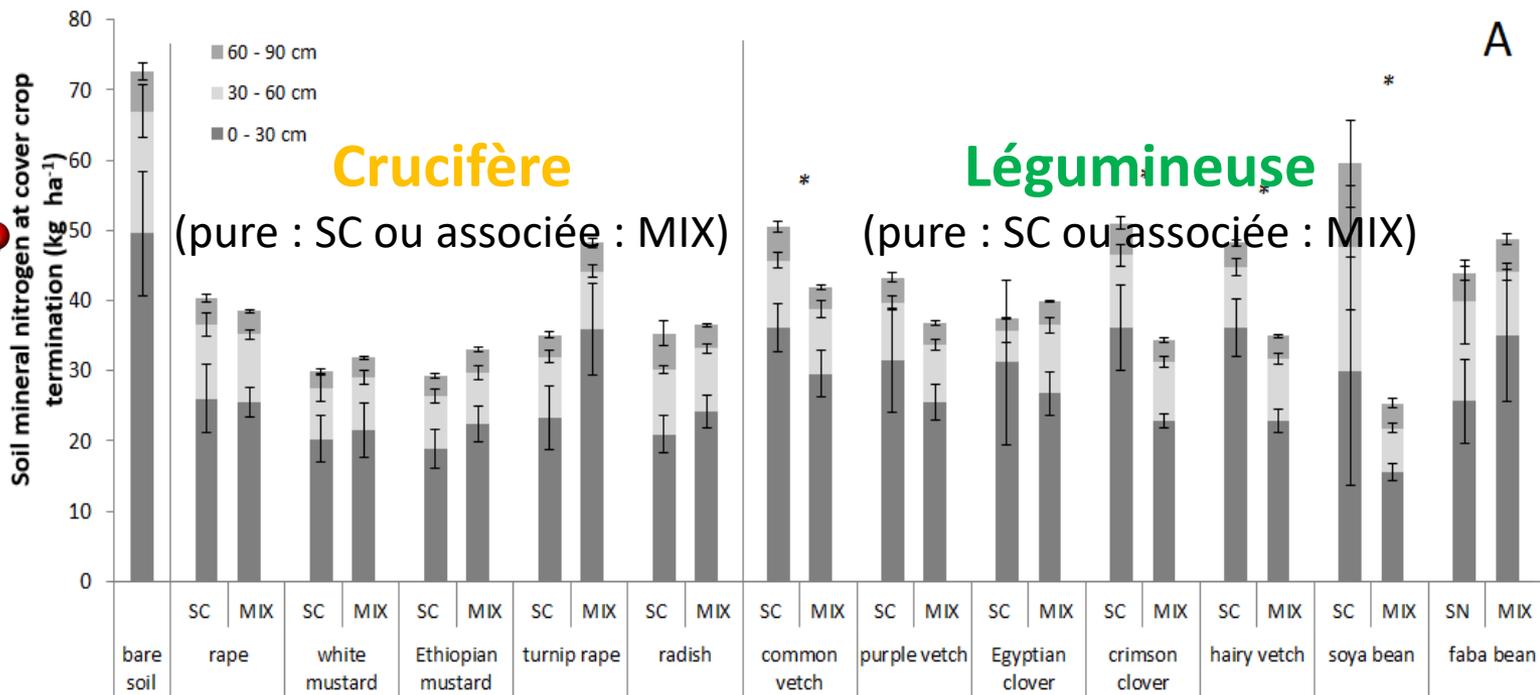
► Variabilité entre espèces

► Effet variétal => lien avec la précocité des variétés ?  
Pas toujours très clair...

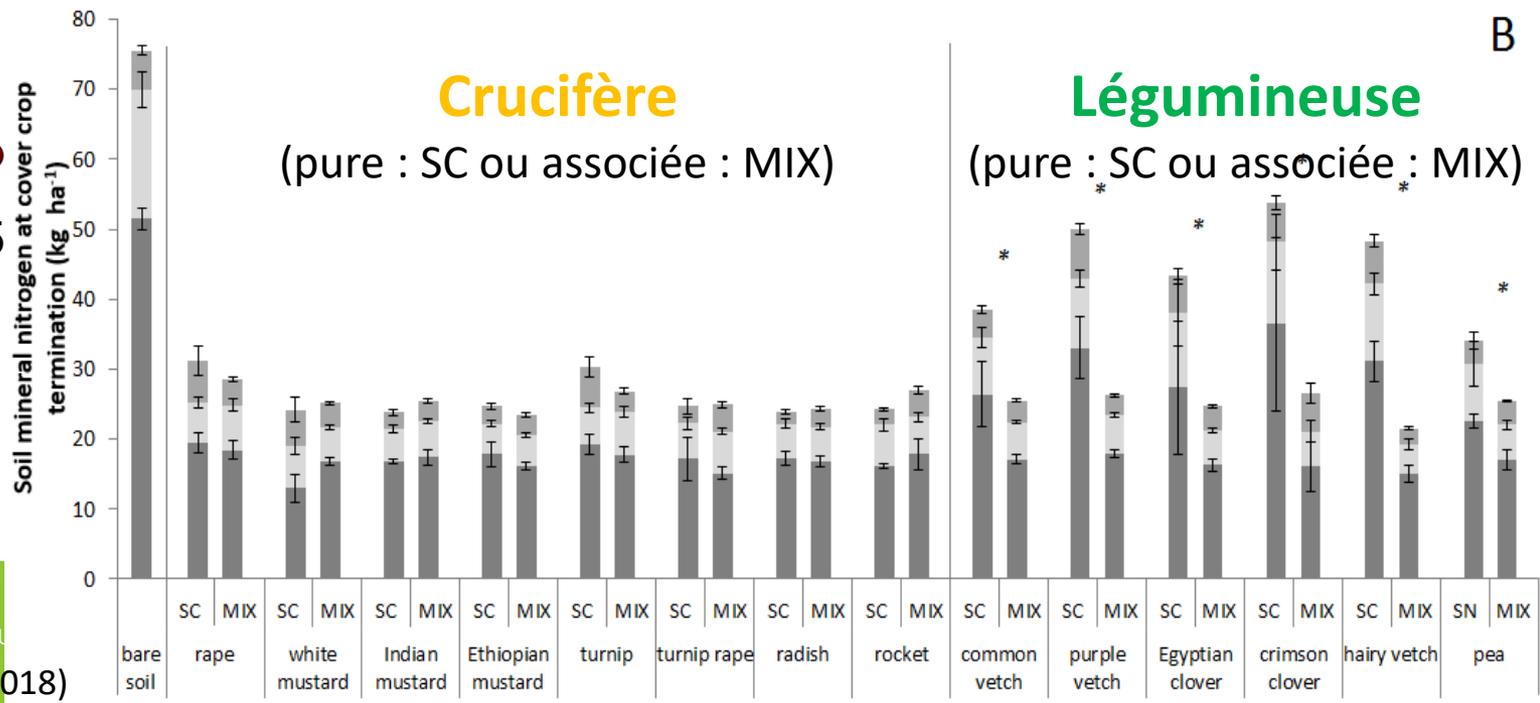
► Localisation différente de l’N avec effet variétal pour certaines espèces (ex. navette)

(Couëdel et al., AGEE, 2018)

Toulouse 2014



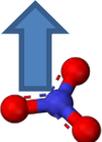
Toulouse 2015



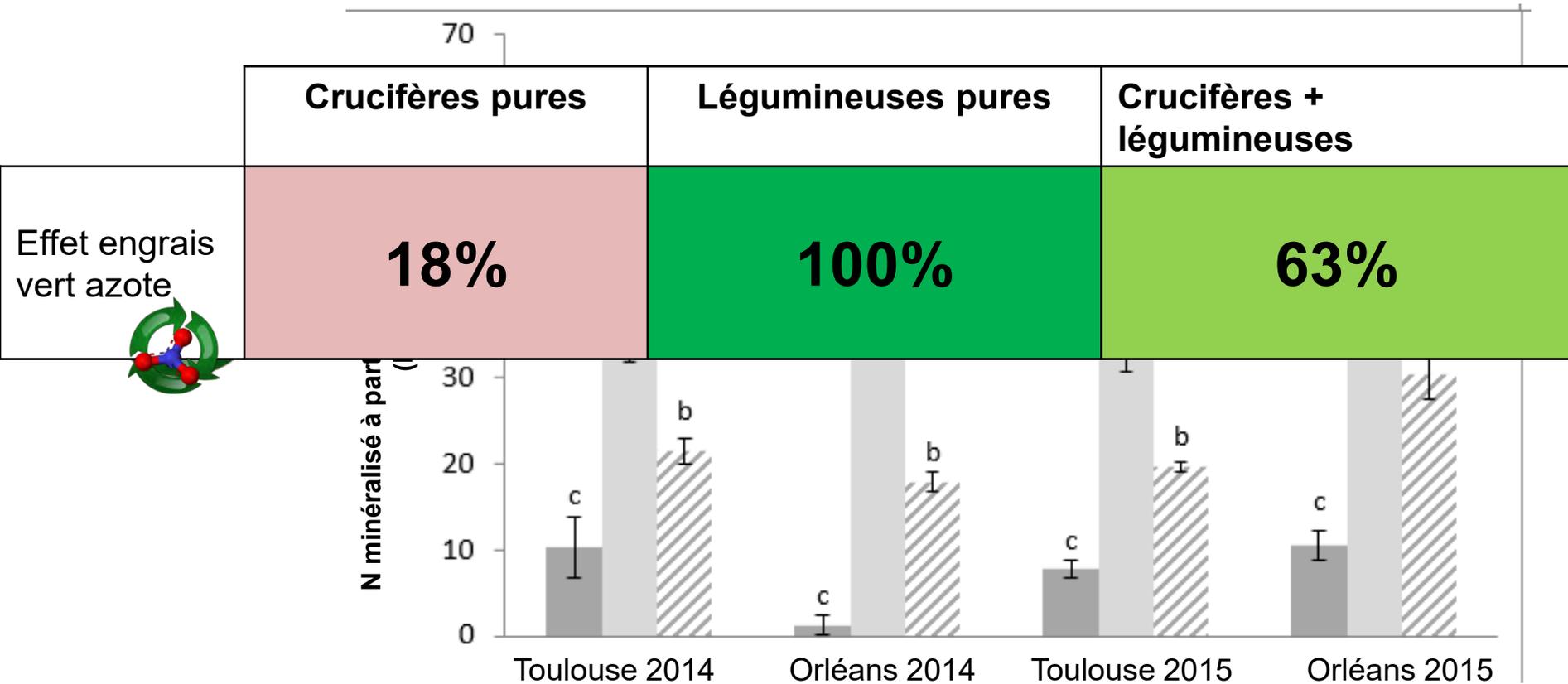
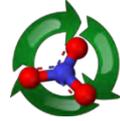
Cultu

# Absorption d’N du sol



	Crucifères pures	Légumineuses pures	Crucifères + légumineuses
Piège à nitrate 	100%	66%	98%

# Fourniture d’N



$$N_{\min} = N_{\text{acquis}} \times \%N_{\text{acquis}} \text{ minéralisé}$$

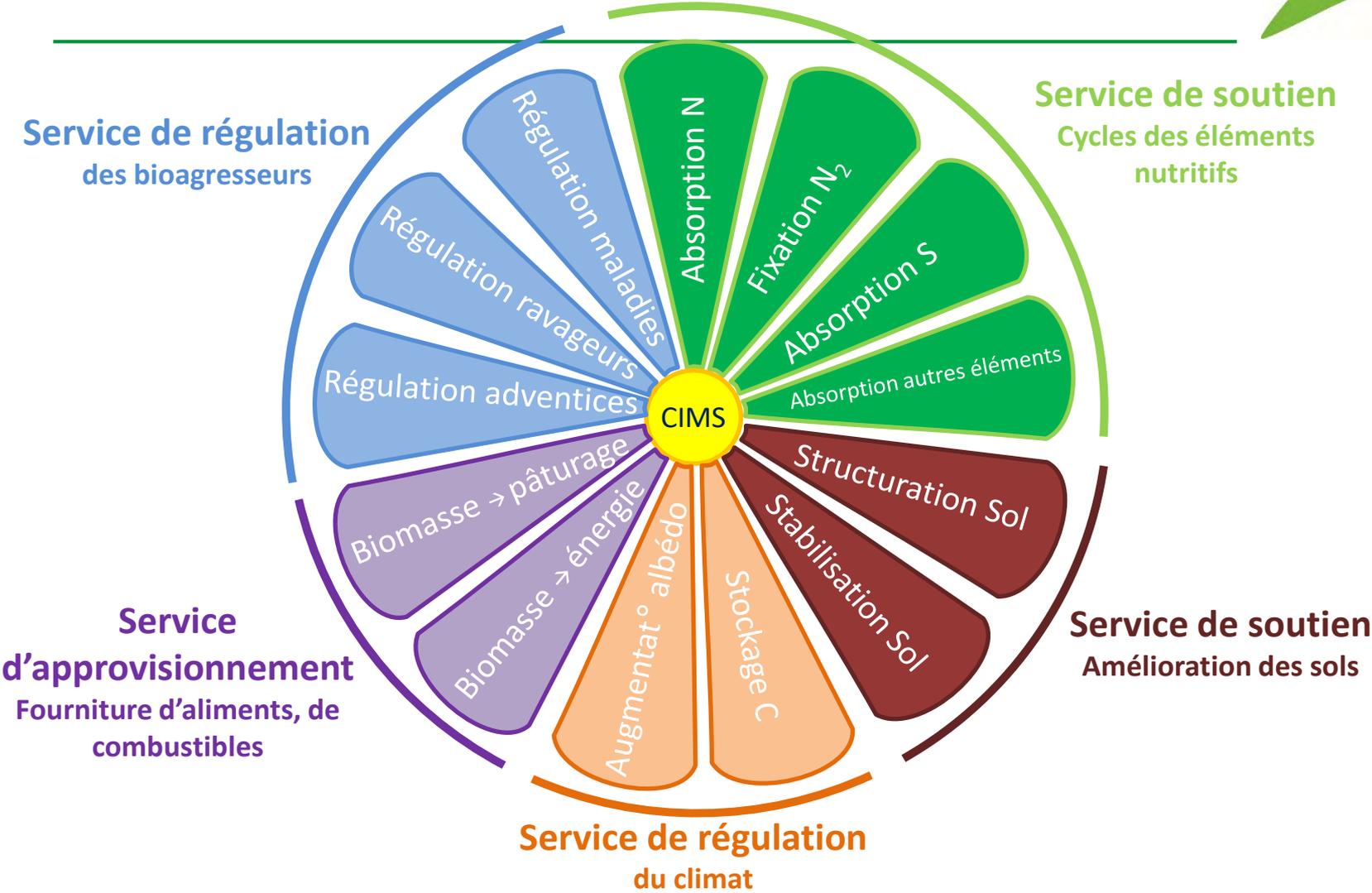
$$N_{\text{acquis}} = \text{biomasse} \times N\%$$

$$\% N_{\text{acquis}} \text{ minéralisé} = 0,72 - 2,657 \times C/N \quad (\text{Justes et al. 2009})$$

Crucifères : C/N = [15;25]      Légumineuses : C/N = [10;15]

(Couëdel et al., AGEE, 2018)

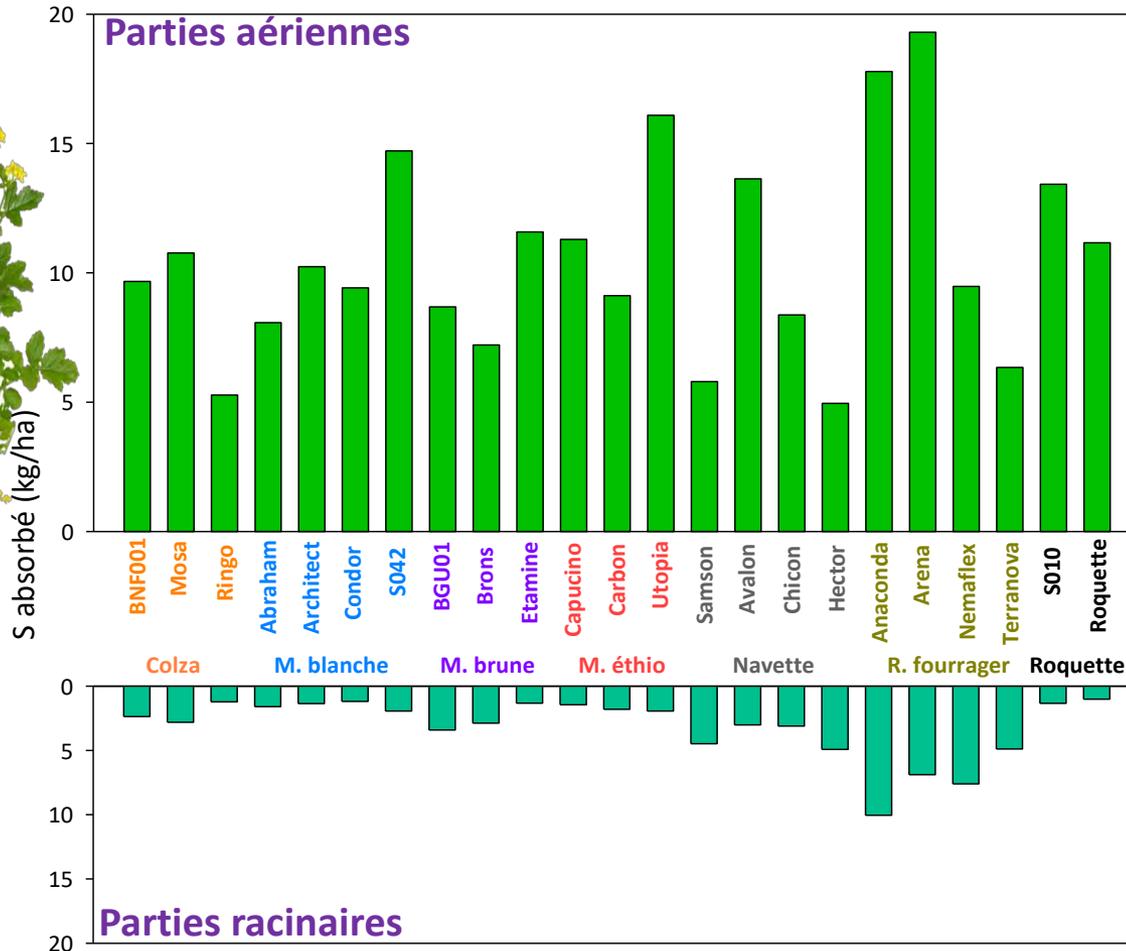
# Bouquets de services attendus des CIMS



# Absorption de S



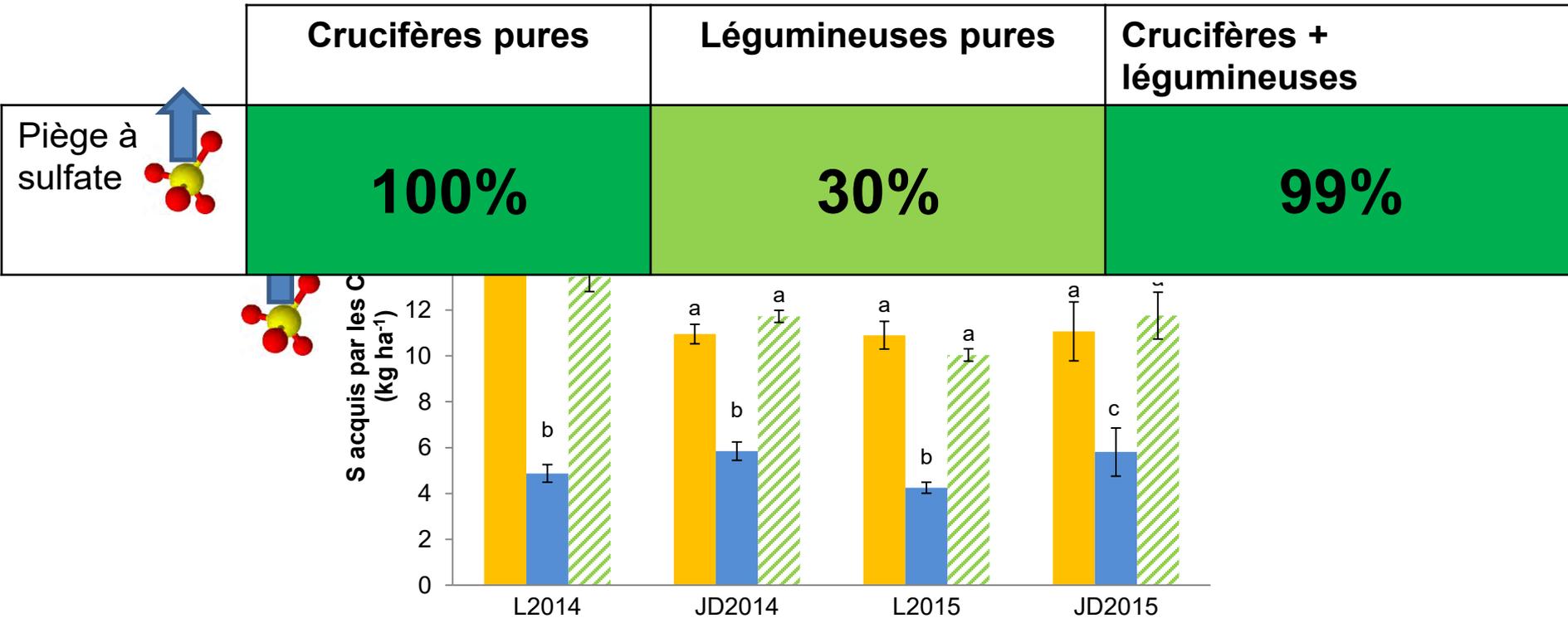
Semis : mi-août Destruction : déb. novembre



► Forte capacité d'absorption du S avec faible variabilité entre espèces, sauf radis fourrager

(Couëdel et al., Plant & Soil, 2018)

# Absorption de S

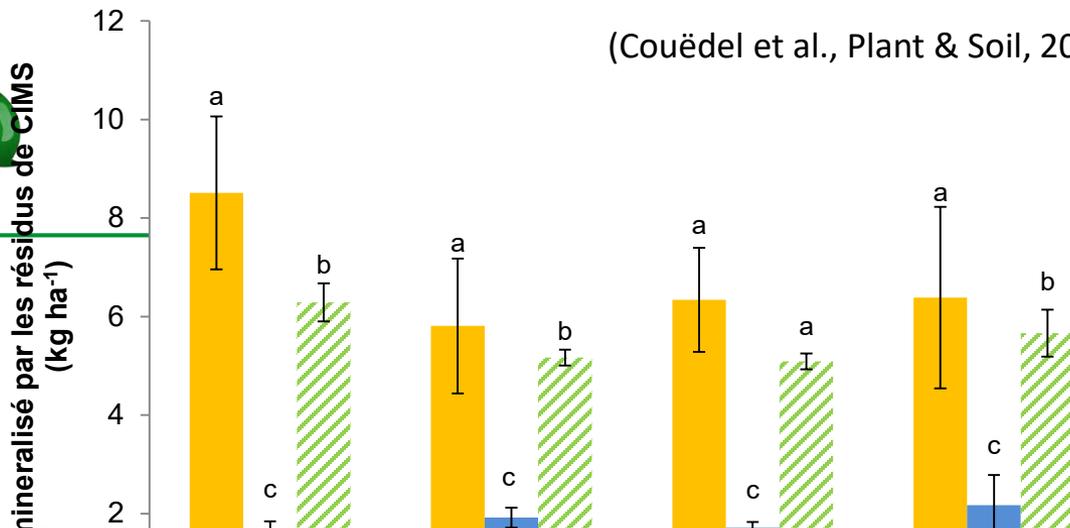


(Couëdel et al., Plant & Soil, 2018)

# Fourniture de S

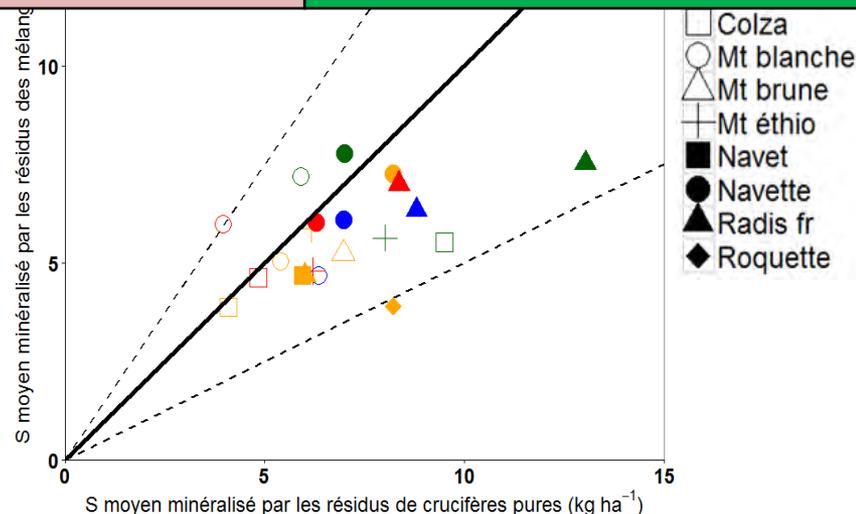


(Couëdel et al., Plant & Soil, 2018)



	Crucifères pures	Légumineuses pures	Crucifères + légumineuses
Effet engrais vert soufre	<b>100%</b>	<b>23%</b>	<b>85%</b>

Pas de différences entre espèces en mélanges



$$S_{\min} = S_{\text{acquis}} \times \%S_{\text{acquis}} \text{ minéralisé}$$

$$S_{\text{acquis}} = \text{biomasse} \times S\%$$

$$\% S_{\text{acquis}} \text{ minéralisé} = [70 - 0.16 \times C/S] / 1000 \text{ (Eriksen et al.)}$$

Crucifères : C/S = [50; 150]      Légumineuses : C/S = [15

# Autres éléments...



Minéraux acquis en kg/ha	Crucifères	Légumineuses	Crucifères + légumineuses
Phosphore	7,3	6,9	8,8
Potassium	77	24	63
Calcium	63	30	56
Magnésium	10	9	12
Sodium	15	11	16
Bore	0,057	0,045	0,061
Cuivre	16	31	27
Fer	2	13	10
Manganèse	0,12	0,3	0,27
Zinc	0,15	0,16	0,18

**> 100 %**

**80 %**

**90 %**

**> 100 %**

**> 100 %**

**> 100 %**

**90 %**

**75 %**

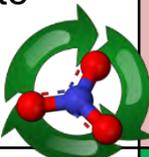
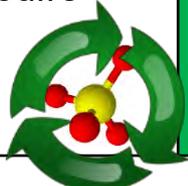
**90 %**

**> 100 %**

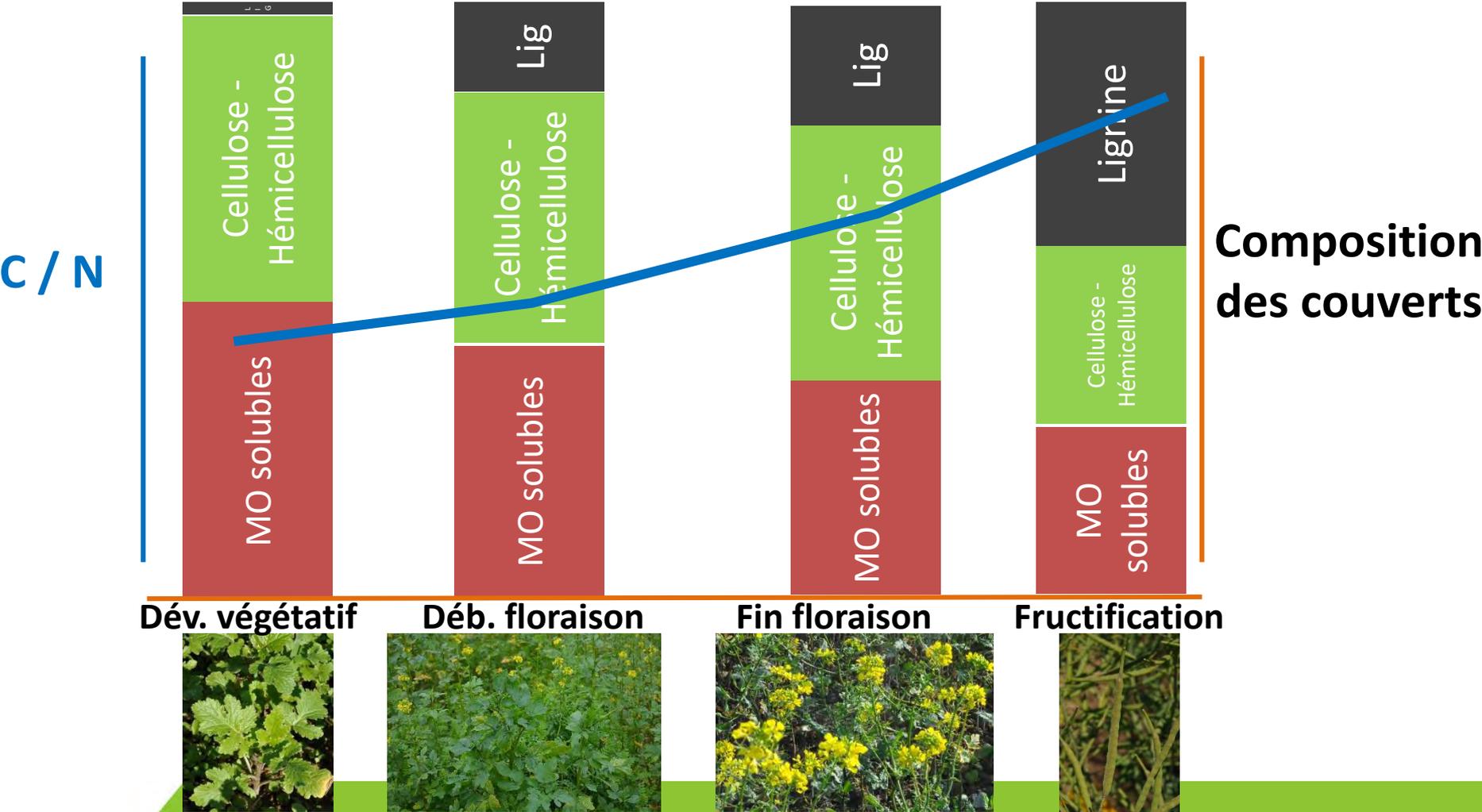
**En cours d'analyse**

# Bouquets de fonctions offerts par les CIMS



	Crucifères pures	Légumineuses pures	Crucifères + légumineuses
Piège à nitrate 	100%	66%	98%
Effet engrais vert azote 	18%	100%	63%
Piège à sulfate 	100%	30%	99%
Effet engrais vert soufre 	100%	23%	85%

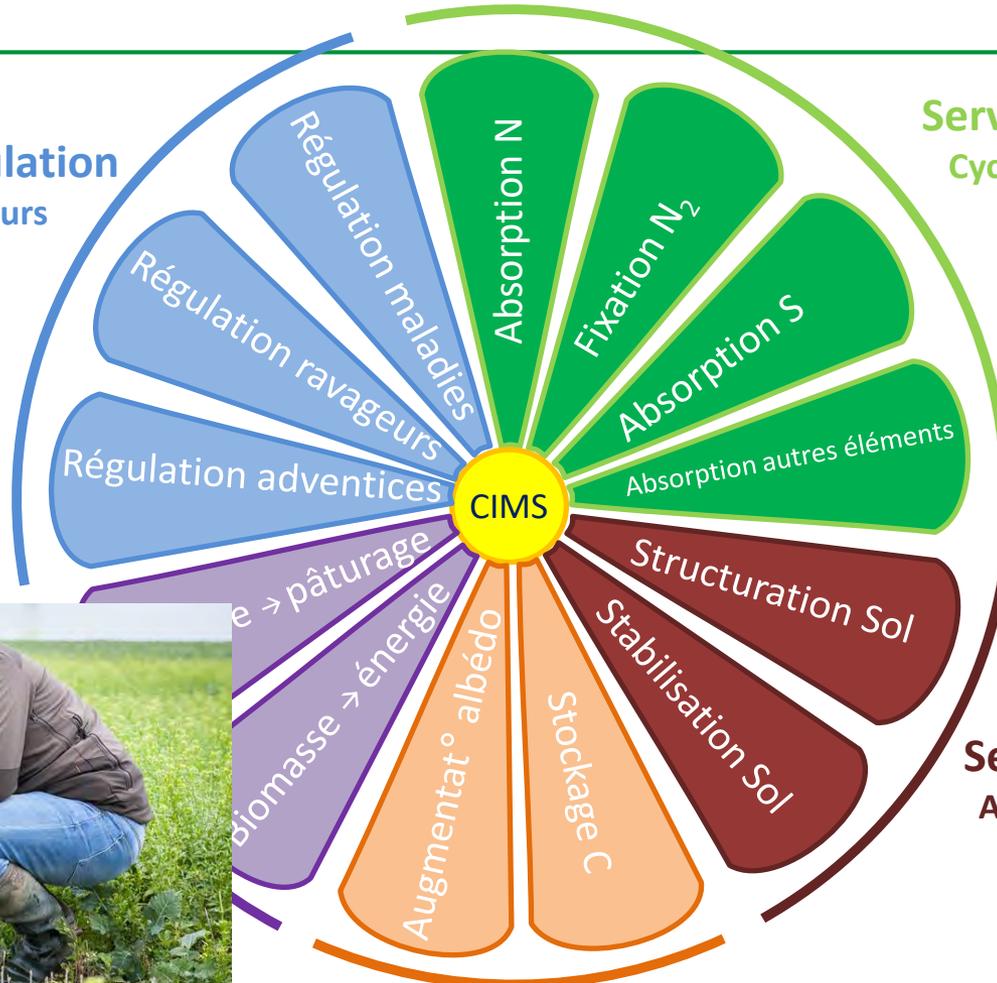
# Evolution de la composition des CIMS



# Bouquets de services attendus des CIMS



Service de régulation  
des bioagresseurs



Service de soutien  
Cycles des éléments  
nutritifs

Service de soutien  
Amélioration des sols

Service de régulation  
du climat



Cf. travaux de Stéphane Cordeau - INRA

**Une voie prometteuse... ???**

**Services et dis-services de régulation des bioagresseurs  
par allélopathie et biofumigation**

---





# Quelques définitions

## Allélopathie

Tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante ou d'un microorganisme sur un autre organisme à travers la production de composés chimiques libérés dans l'environnement (Rice, 1984)

### Bioagresseurs

= services de régulation

### Auxiliaires

= dis-services

Adventices



Plantes compagnes



Ravageurs



Maladies (telluriques)



Bactéries symbiotes





# Quelques définitions

## Biofumigation

Suppression de pathogènes du sol par des composés biocides libérés dans le sol provenant de la biodégradation de la matière organique issue de composés végétaux.

Initialement utilisé pour désigner les effets toxiques des Brassicacées (Kirkegaard et al., 1993)

**Bioagresseurs**

= *services de régulation*

**Auxiliaires**

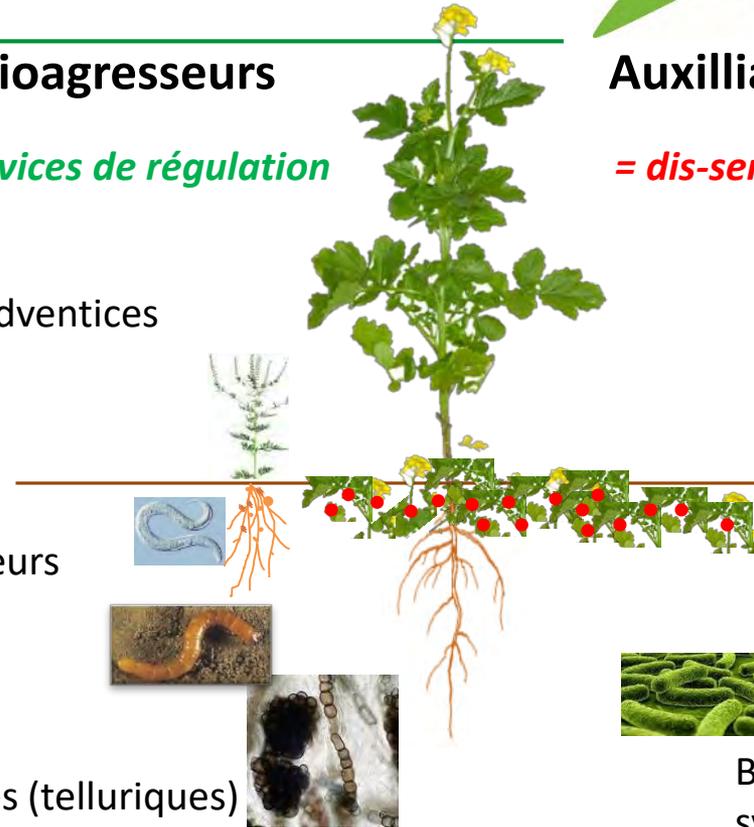
= *dis-services*

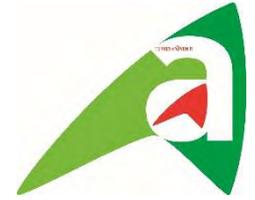
Adventices

Ravageurs

Maladies (telluriques)

Bactéries symbiotes





# Quelques définitions

## Biofumigation

Suppression de pathogènes du sol par des composés biocides libérés dans le sol provenant de la biodégradation de la matière organique issue de composés végétaux.

Initialement utilisé pour désigner les effets toxiques des Brassicacées  
(Kirkegaard et al., 1993)



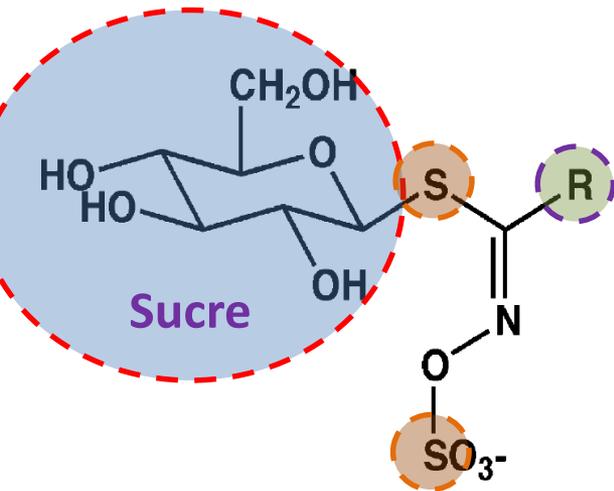
(©RAGT-Joordens)





# Chez les Brassicacées...

## Glucosinolates



Acides aminés	Glucosinolates (GSL)	Type de GSL
méthionine	glucoérucine, glucoraphanine, gluconapine, progoitrine,	 Aliphatique
alanine	glucocapparine	
isoleucine	glucocochlearine	
sérine	sinigrine	
valine	glucoputranjivine, isopropyle	
R phénylalanine	sinalbine, glucoaubrietine, gluconasturtiine, glucotropaeoline	 Aromatique
tyrosine		 Indole
tryptophane	glucobrassicine	
	4-hydroxyglubrassicine	
	4-methoxyglubrassicine	
	neoglucobrassicine	

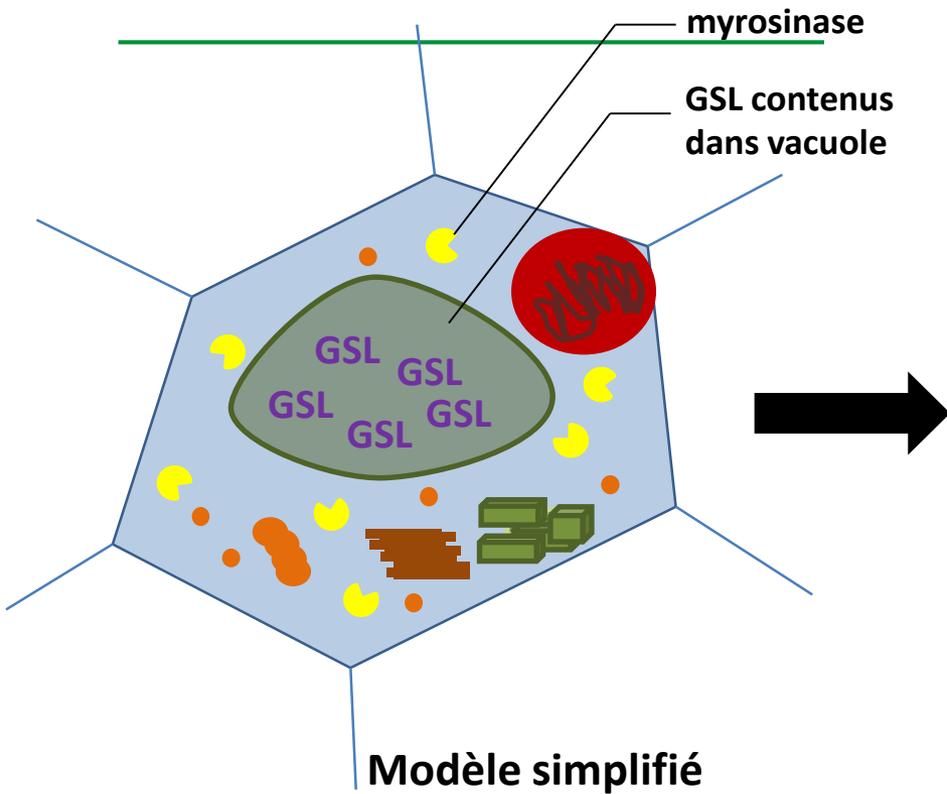
(Agerbirk et Olsen, 2012)

Au moins 2 atomes de S + 1 atome de S





# Chez les Brassicacées...





# Biofumigation : Optimisation des réactions

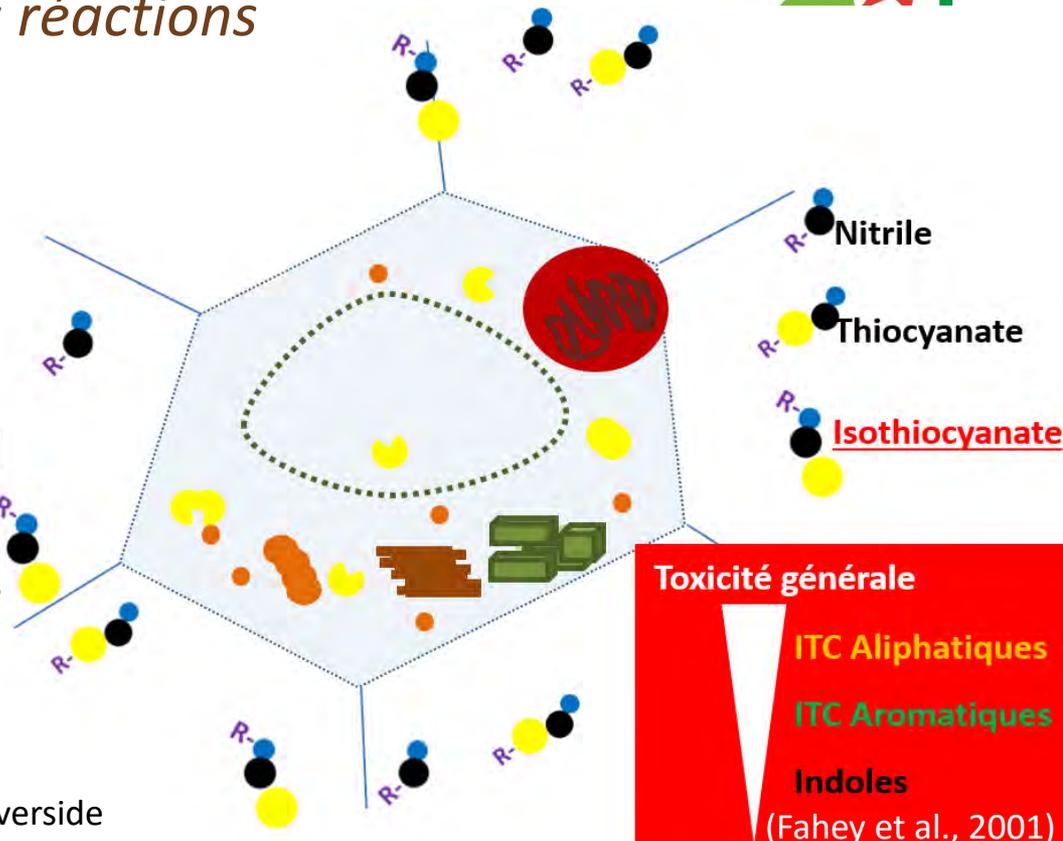
→ **Eau non limitante** (irrigation éventuelle)

→ **Température « élevée »** (30-35°C) (Ploeg et Stapelton, 2001)



des  
ables  
thie

© UC Riverside



x Gaz toxiques



# Potentiel de biocontrôle ?

Couëdel et al. (2019)

## Effets sur les ravageurs



### Macrofaune pathogène aérienne

Pucerons  
Coléoptères  
Mouches  
Limaces

### Adventices

### Champignons et bactéries pathogènes

*R. solani*  
*G. tritici*  
*V. dahliae*  
*A. euteiches*  
*R. solanacearum*  
*S. scabies*  
*Fusarium spp.*  
*Sclerotinia spp.*  
*Pythium spp.*

### Nématodes pathogènes

*M. incognita*  
*P. neglectus*  
*H. schachtii*



**Effet suppressif**

**Effet de favorisation**

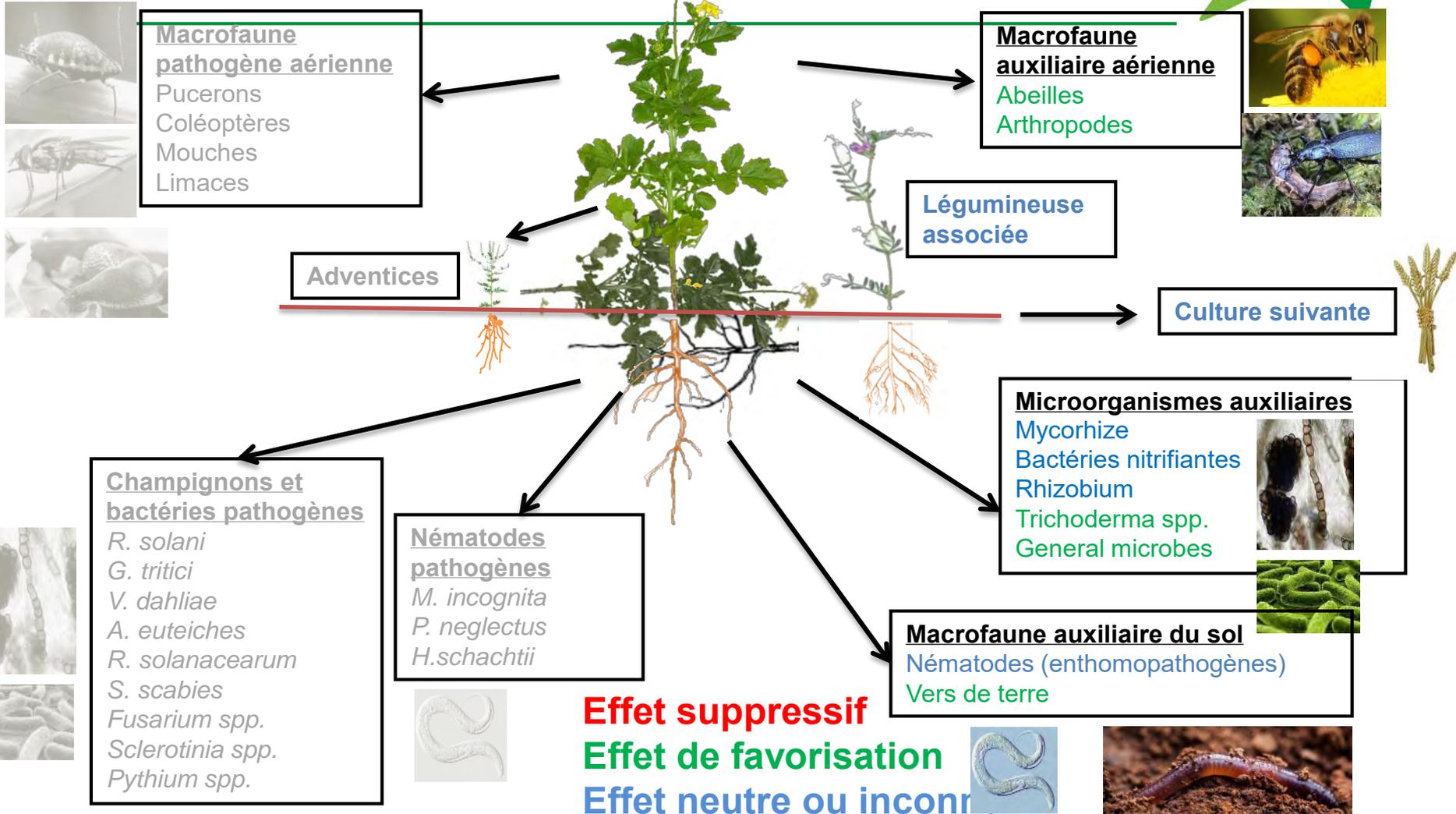
**Effet neutre ou inconnu**

# Potentiel de biocontrôle ?

Couëdel et al. (2019)

## Effets sur les ravageurs

## Effets sur les auxiliaires



# Potentiel de biocontrôle ?

Couëdel et al. (2019)

Voie prometteuse mais nous n'en sommes qu'au début de l'histoire !!!

## Effets sur les auxiliaires



Mouches  
Limaces



Advent



**Macrofaune  
auxiliaire aérienne**  
Abeilles  
Arthropodes



Légumineuse  
associée

Culture suivante



**Microorganismes auxiliaires**  
Mycorhize  
Bactéries nitrifiantes  
Rhizobium  
Trichoderma spp.  
General microbes



**Macrofaune auxiliaire du sol**  
Protodes (entomopathogènes)  
de terre



**Champignons et  
bactéries pathogènes**

*R. solani*  
*G. tritici*  
*V. dahliae*  
*A. euteiches*  
*R. solanacearum*  
*S. scabies*  
*Fusarium spp.*  
*Sclerotinia spp.*  
*Pythium spp.*

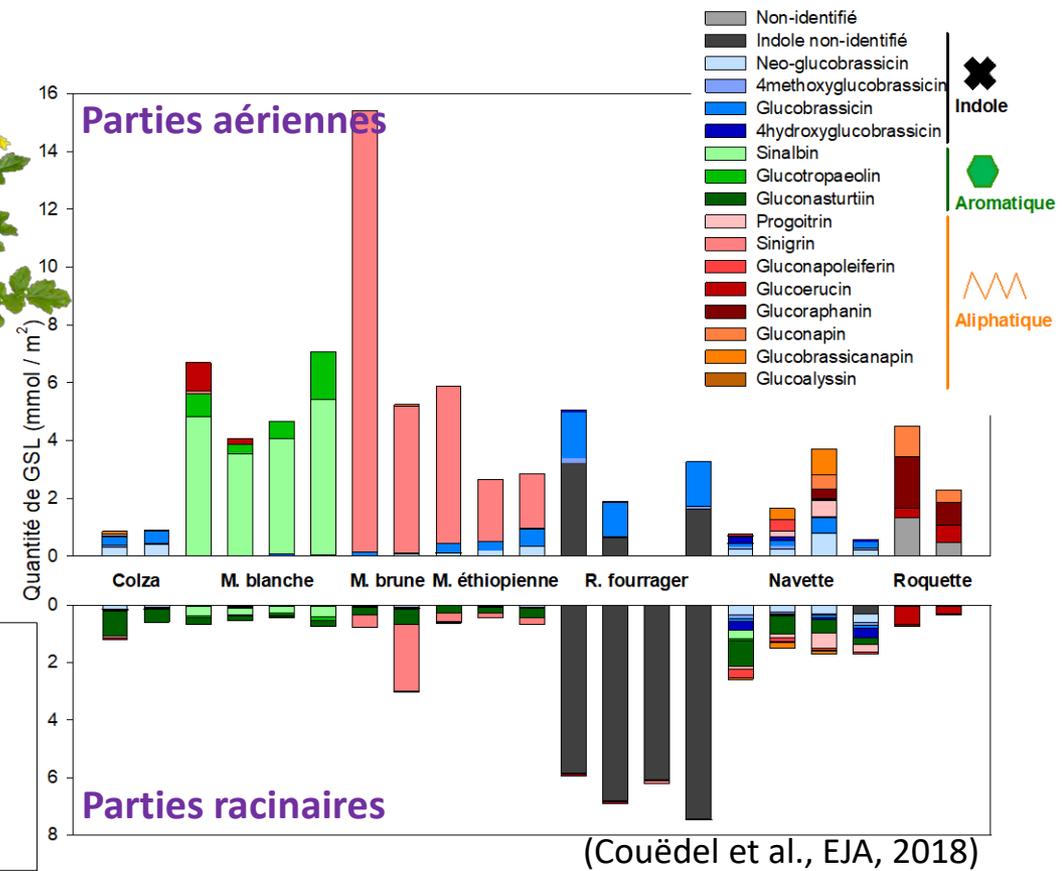
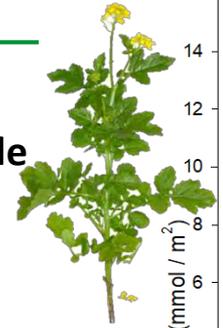




# Variabilité génotypique

## Méthodologie

- Analyses sur 21 espèces / variétés de crucifères en culture pure (et mélanges)
- Distinction entre parties aériennes et racinaires



CASDAR CRUCIAL



## Résultats majeurs

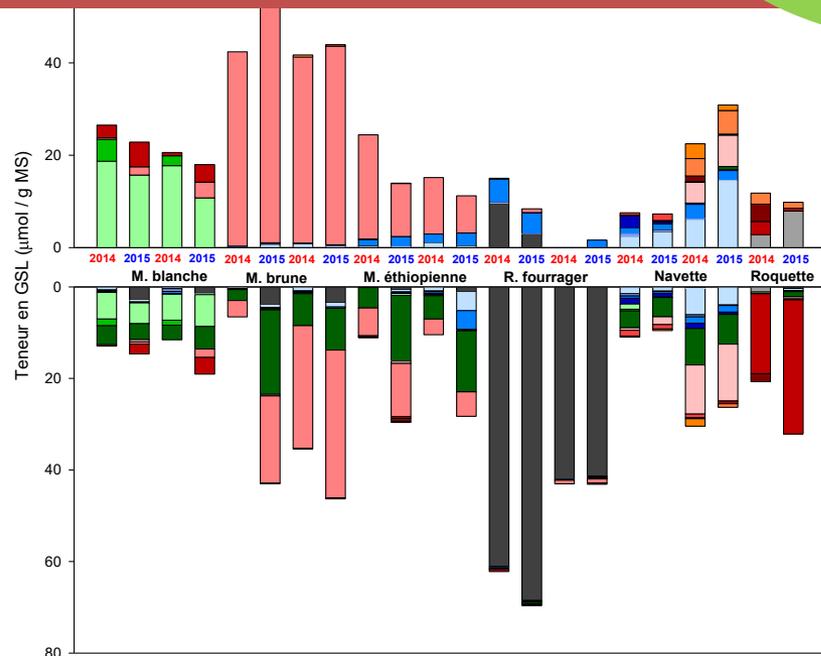
- Effet espèce ET variétal (pour certaines espèces : M. brune Etamine)
- Expression des potentiels génétiques ?
- Effort de sélection



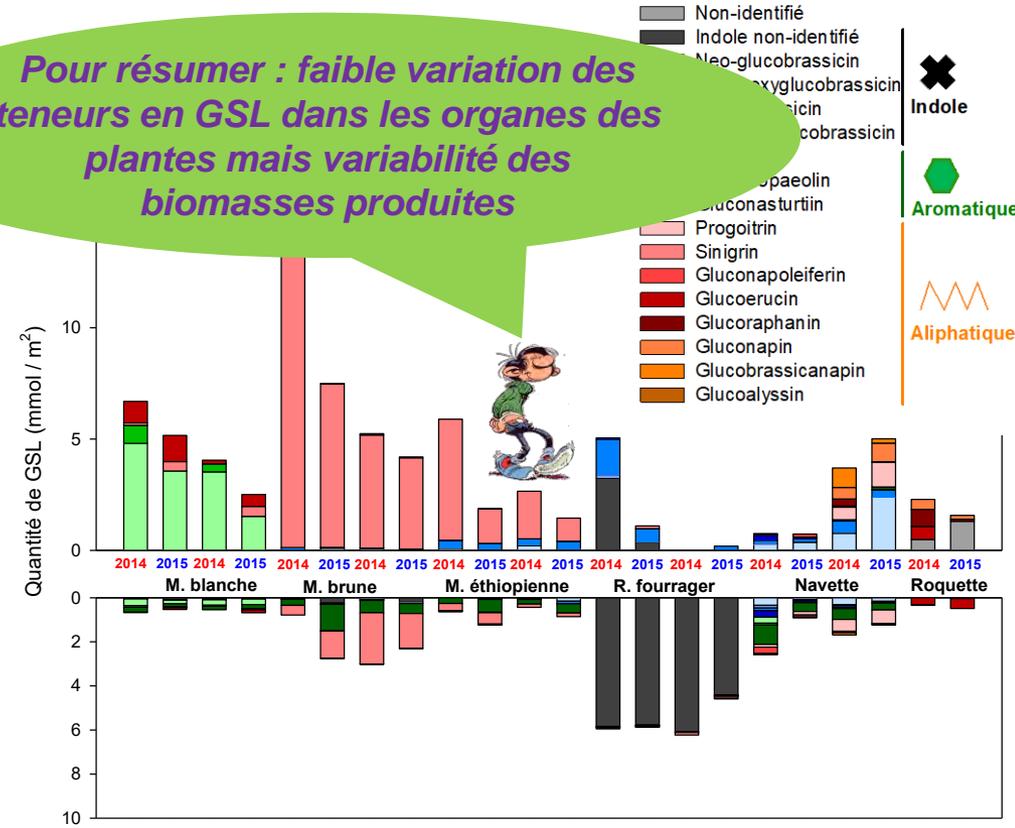


# Variabilité environnementale

→ Teneurs homogènes entre années pour un même site



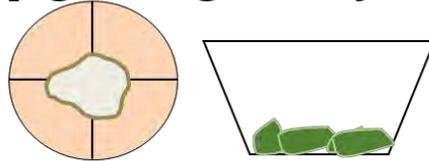
Pour résumer : faible variation des teneurs en GSL dans les organes des plantes mais variabilité des biomasses produites





# Quelques effets de régulation biotique : étude sur *V. dahliae*

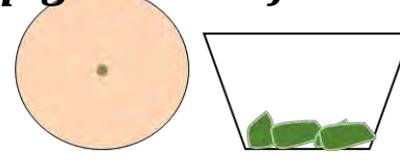
## Champignon âgé de 8 jours



fond

Verre à bodega

## Champignon sous forme de microsclérote



fond

Verre à bodega

### Biomasse racinaire + aérienne

### Biomasse aérienne

### Biomasse racinaire



(Seassau et al., en préparation)

## Suivi de la germination et du développement du pathogène

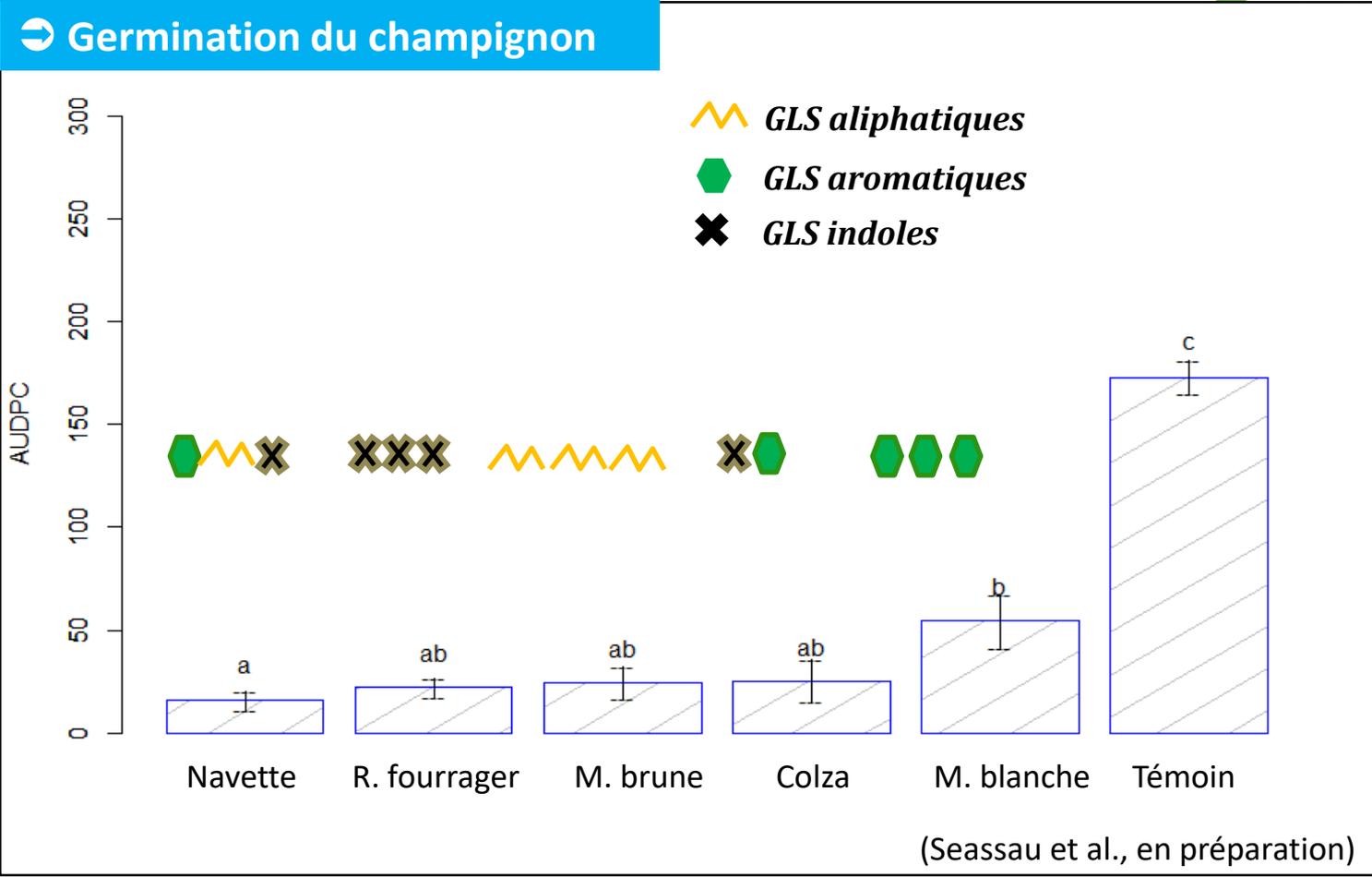
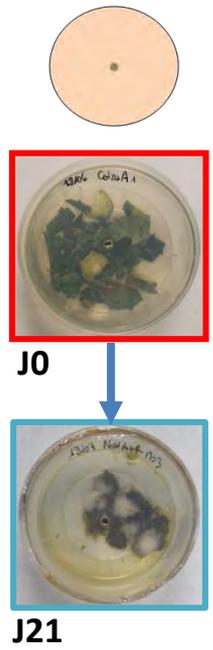


CASDAR CRUCIAL

avec la contribution financière du  
compte d'affectation spéciale  
«Développement agricole et rural»



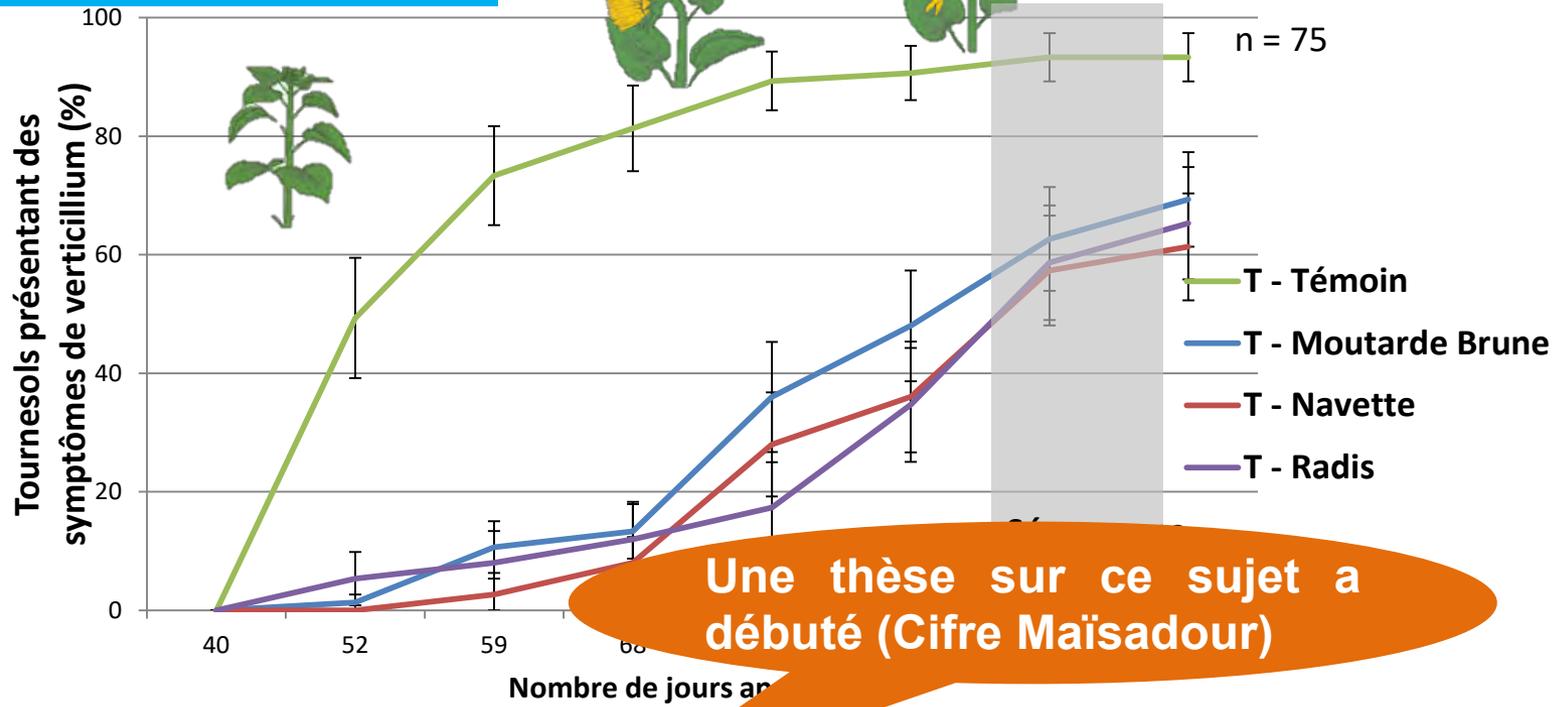
# Quelques effets de régulation biotique : étude sur *V. dahliae*





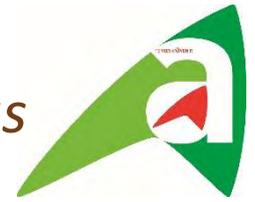
# Quelques effets de régulation biotique : étude sur *V. dahliae*

## ➔ Expression de symptômes au champ



Une thèse sur ce sujet a débuté (Cifre Maisadour)





# Quelques effets de régulation biotique : étude sur *A. sordidus*

## Méthodologie

### 6 traitements :

- Témoin « sol nu » +
- Couverts : M. brune, Navette, R. fourrager + Vesce
- Tourteau de M. éthiopienne (BioFence)
- 10 larves / microcosme (10 répétitions)



→ Comportement alimentaire

→ Effet larvifuge

→ Effet larvicide



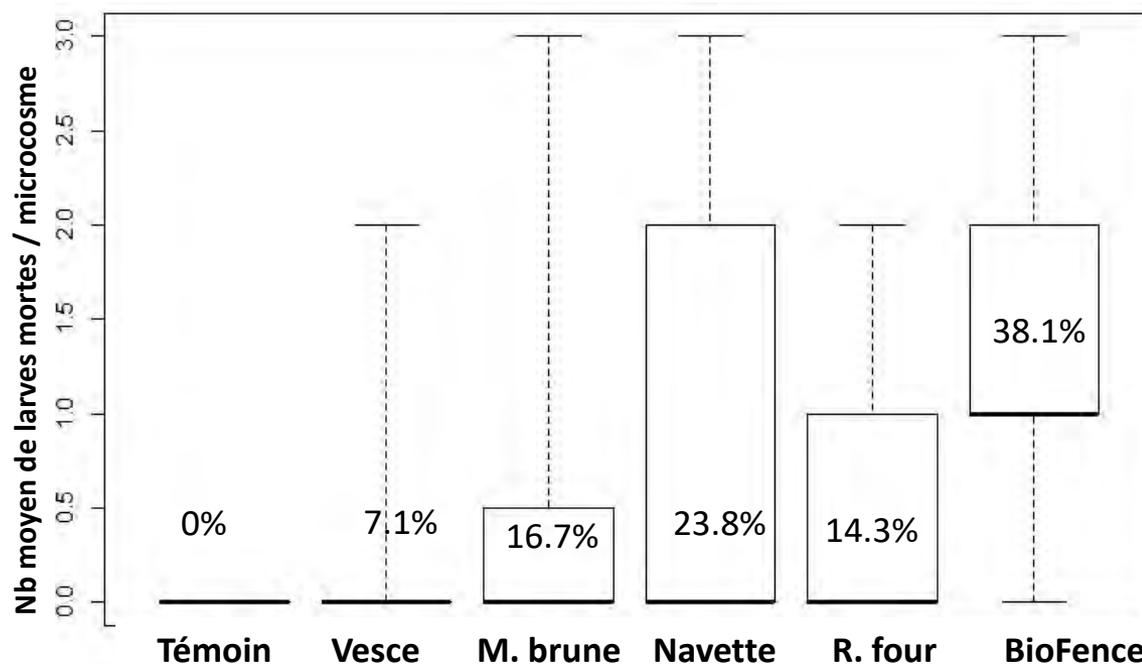
avec la contribution financière du  
compte d'affectation spéciale  
« Développement agricole et rural »

CASDAR CRUCIAL

# Quelques effets de régulation biotique : étude sur *A. sordidus*



- Aucun effet larvifuge
- Aucun effet sur le comportement alimentaire des larves
- Aucun effet larvicide des couverts étudiés
- ➔ Effet larvicide du tourteau de *M. éthiopienne* (BioFence)



(David, 2017)



## *Eléments de [conclusion]...*

---

**(1)** Les CIMS offrent d'importantes perspectives de services et fonctions agronomiques mobilisables dans la reconception de SdC économes et performants

**(2)** Leur introduction dans les SdC peut impliquer d'établir des **compromis de fonctions et de services** à déterminer : influence le choix des espèces / variétés

*... et les mélanges d'espèces / variétés sont d'excellents candidats !*

	Crucifères pures	Légumineuses pures	Mélanges crucifères + légumineuses
<b>Fonction 1 : Piégeage d'Azote</b>	<b>100 %</b> -51% à -70% du N minéral sur 0-90 cm	<b>66 %</b> -37% à -43% du N minéral sur 0-90 cm	<b>98 %</b> -48% à -70% du N minéral sur 0-90 cm
<b>Fonction 2 : Piégeage de Soufre</b>	<b>100 %</b> 10 à 15 kg S /ha	<b>30 %</b> 4 à 5 kg S /ha	<b>99 %</b> 10 à 14 kg S /ha
<b>Fonction 3 : Engrais vert à Azote</b>	<b>18 %</b> 1 à 10 kg N/ha libérés	<b>100 %</b> 35 à 54 kg N/ha libérés	<b>63 %</b> 18 à 30 kg N/ha libérés
<b>Fonction 4 : Engrais vert à Soufre</b>	<b>100 %</b> 6 à 8 kg S/ha libérés	<b>23 %</b> 1 à 2 kg S/ha libérés	<b>85 %</b> 5 à 6 kg S/ha libérés
<b>Fonction 5 : Potentiel de biocontrôle</b>	<b>100 %</b> Production de 3 à 4,5 mmolGSL m <sup>-2</sup>	/	<b>81 %</b> Production de 2 à 3,5 mmolGSL m <sup>-2</sup>

# Pistes pour la sélection



## ► Sélection d'espèces et variétés :

- adaptées à la destruction mécanique car objectif 0 herbicide pour la destruction des CIMS

- tolérantes à l'ombrage pour envisager de nouvelles possibilités pour des sous-semis dans des cultures comme le maïs ou les céréales (esquive des périodes estivales)

- de crucifères à floraison tardive pour maximiser le contenu en GLS avec un objectif de mieux cerner leurs effets sur les bioagresseurs

## ► Optimisation des ITK des CIMS : ex. forte compétition intra-spécifique observée



---

*Merci de votre attention*

Contact : [lionel.alletto@occitanie.chambagri.fr](mailto:lionel.alletto@occitanie.chambagri.fr)



[@LionelAlletto](https://twitter.com/LionelAlletto)