

# LES JOURNÉES IRD EN OCCITANIE



## Quels couverts pour quels services ?

Lionel Alletto, Célia Seassau, Eric Justes

Hélène Tribouillois (2014), Antoine Couëdel (2018), Neïla Ait-Kaci-Ahmed (en cours)

INRAE UMR Agroécologie, Innovations, Territoires

[lionel.alletto@inrae.fr](mailto:lionel.alletto@inrae.fr)

 @LionelAlletto

**INRAE**  
la science pour la vie, l'humain, la terre

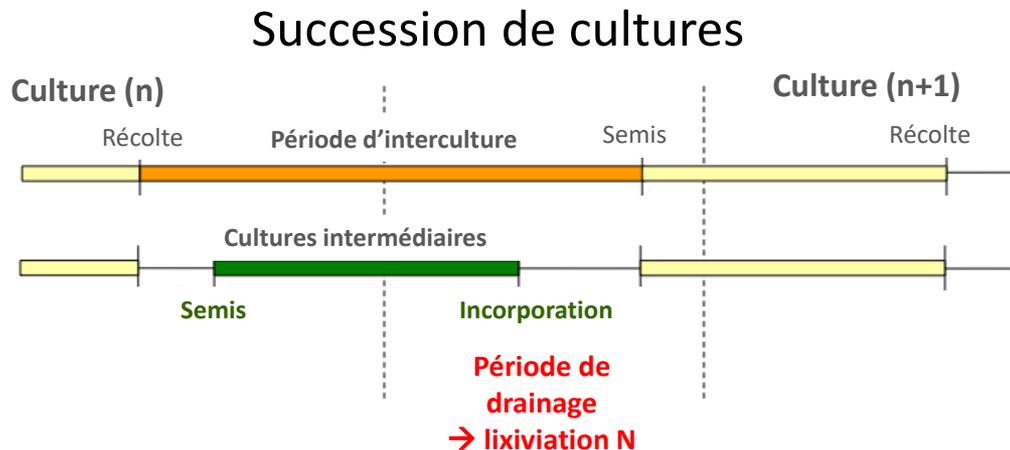
# Quelques définitions

**Plante(s) de services** : espèce(s) implantée(s) avant, pendant ou après une culture de rente, destinée(s) à fournir un ou plusieurs services écosystémiques à l'échelle de la parcelle ou à des échelles supra-parcellaires

→ **CIMS** : Culture(s) Intermédiaire(s) Multi-Service(s)

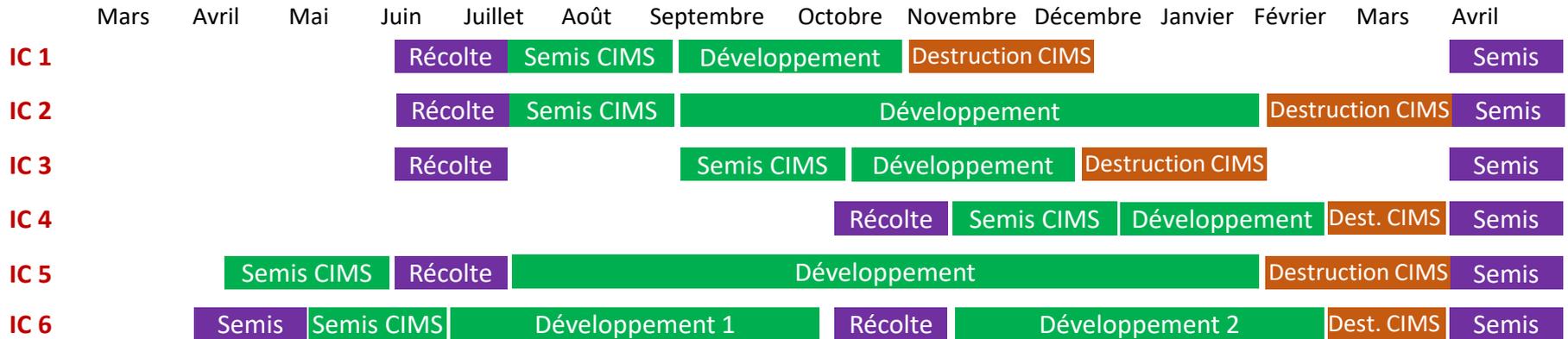
**Période d'interculture** : période entre deux cultures marchandes

► 1 semaine à 9 mois



# ≠ périodes d'implantation et destruction

*f* (systèmes de culture, objectifs recherchés, conditions climatiques de l'année, ...)



# ≠ périodes d'implantation

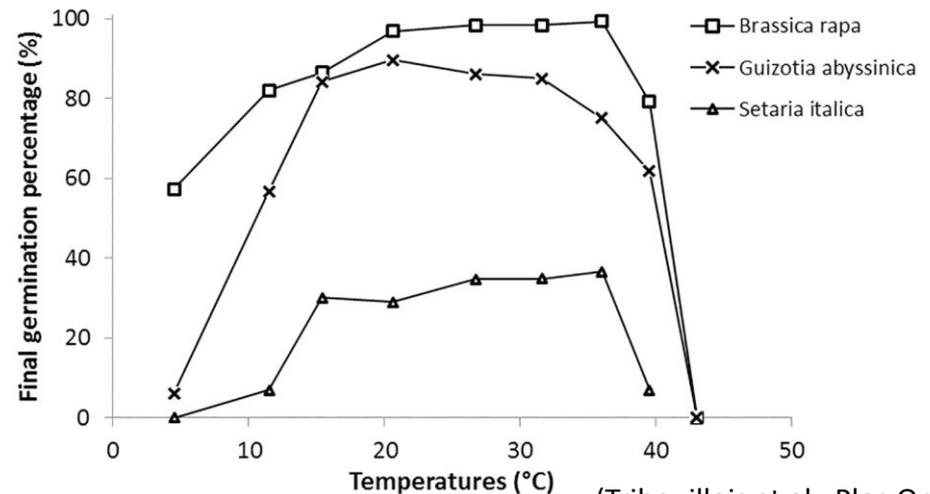
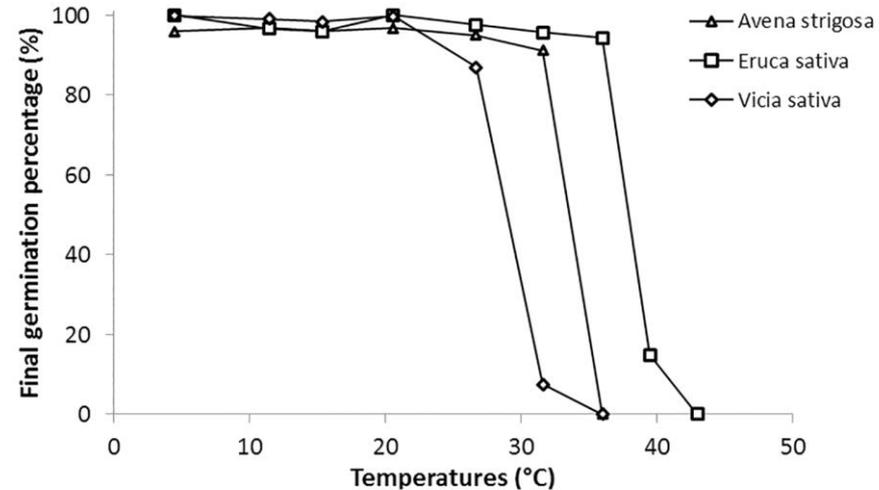
- ▶ Phase de semis – germination – levée souvent critique :
  - (i) conditions de semis pas toujours optimales : à la volée, dans un mulch
  - (ii) conditions hydriques / thermiques extrêmes (?)

# 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

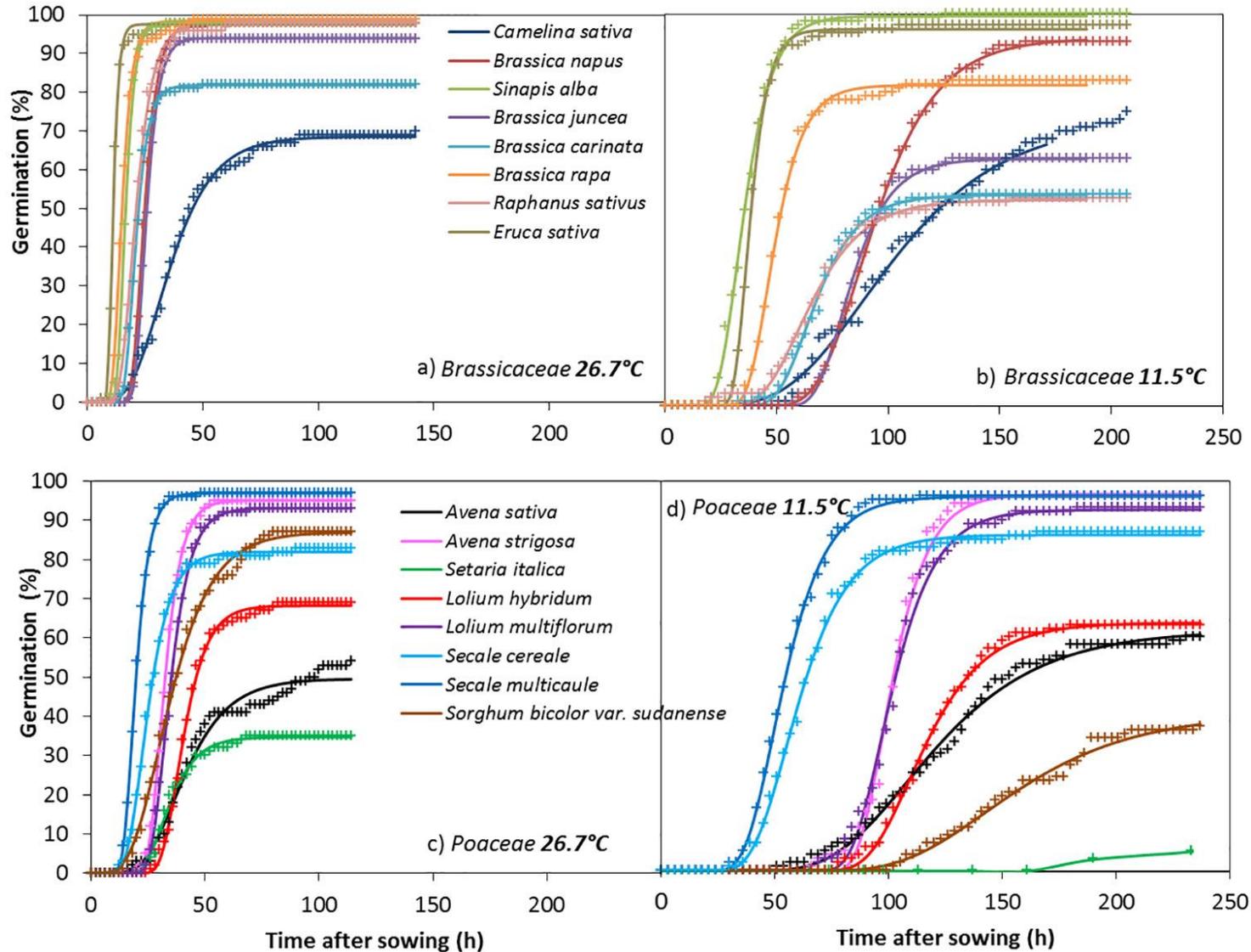


(Tribouillois et al., Plos One, 2016)

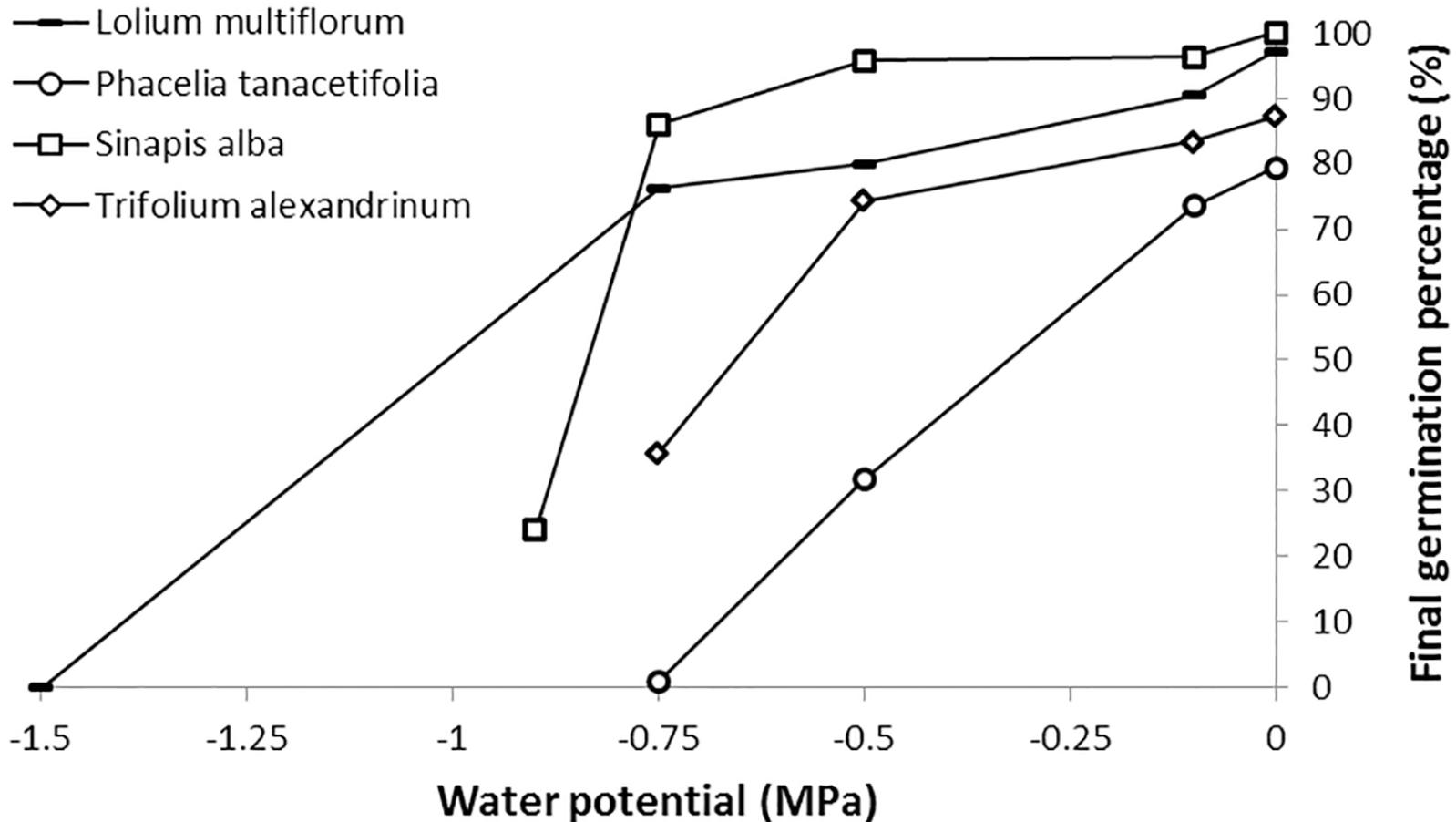
# Conditions de germination des CIMS

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>Mellilotus officinalis</i>		MO	2.5	1.1 ± 1.1	33.5 ± 1.3	24.9 ± 2.3	0.8 ± 1.3
<i>Onobrychis viciifolia</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



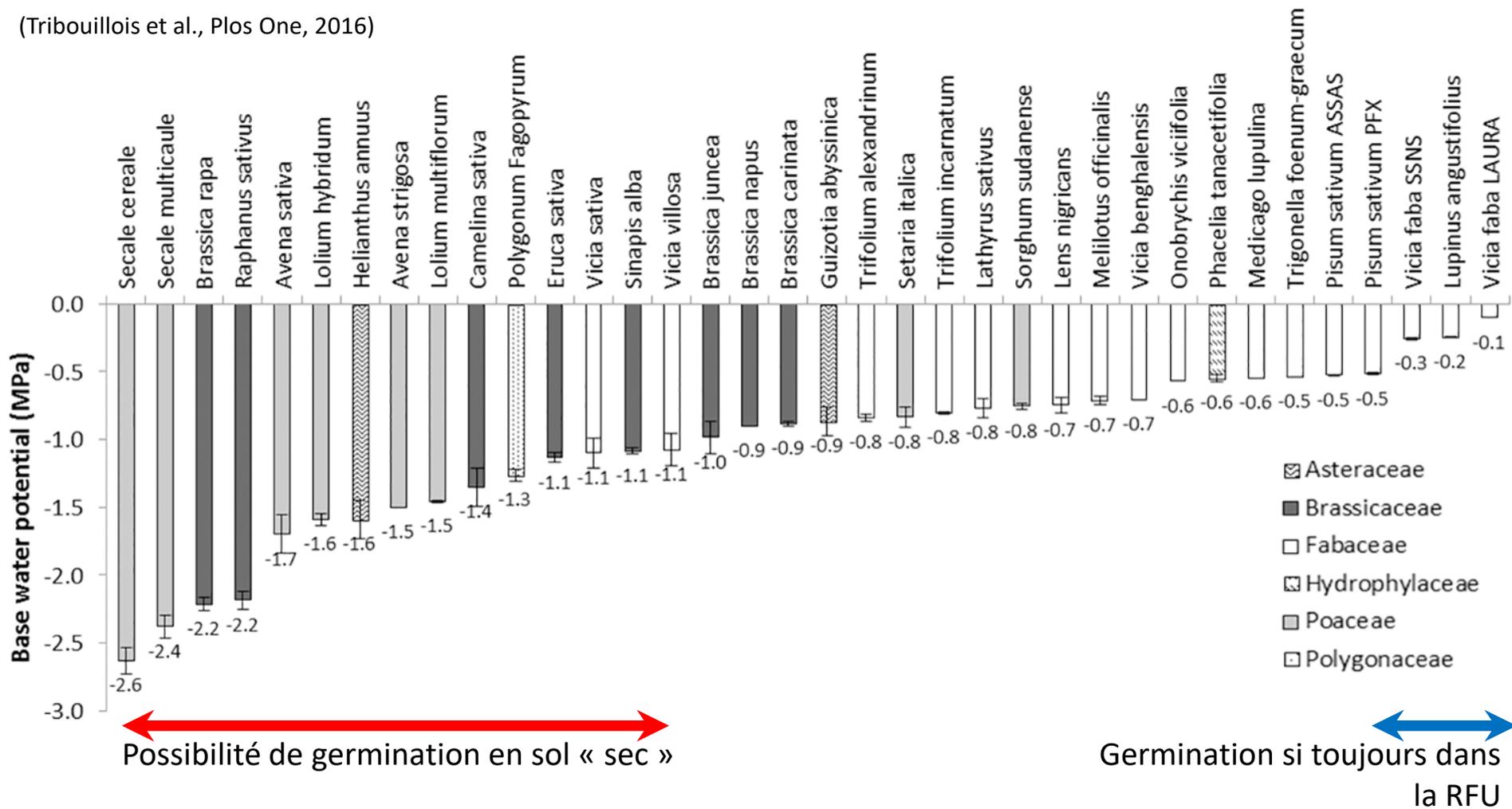
# Conditions de germination des CIMS



(Tribouillois et al., Plos One, 2016)

# Conditions de germination des CIMS

(Tribouillois et al., Plos One, 2016)



# Conditions de germination des CIMS

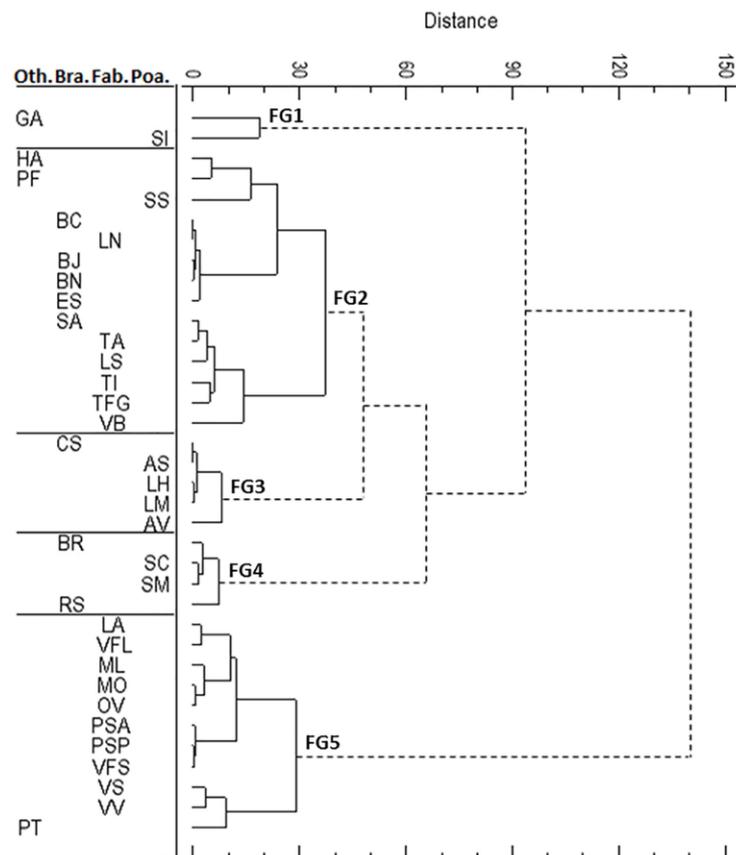
**FG1 : T°C élevée & bonne tolérance au stress hydrique:**  
**Nyger ; Moha**

**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**



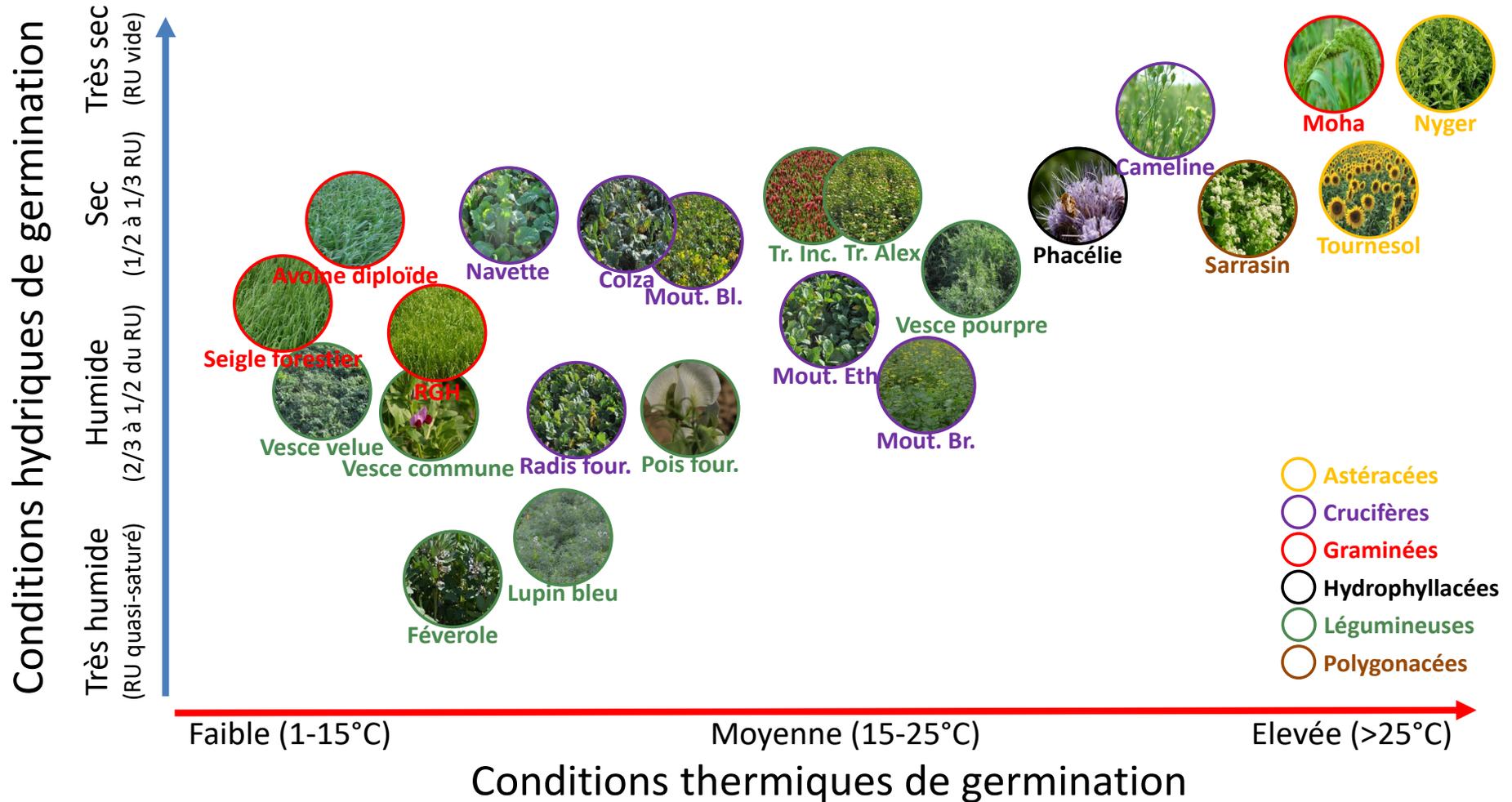
(Tribouillois et al., Plos One, 2016)

**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

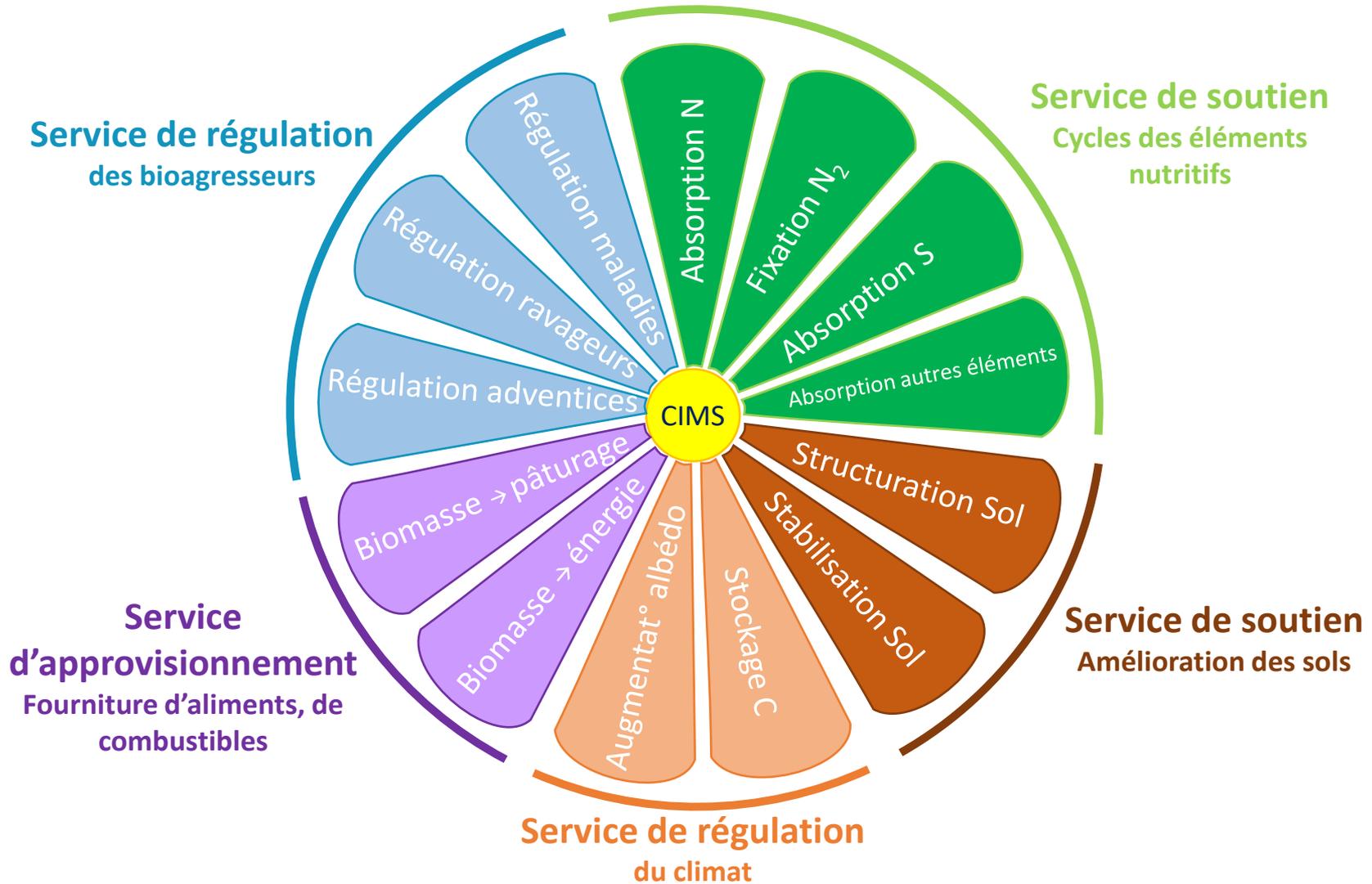
Letters 'a', 'b', 'c' indicate significantly ( $P < 0.05$ ) different means.

# Choix des CIMS en f° des conditions de semis



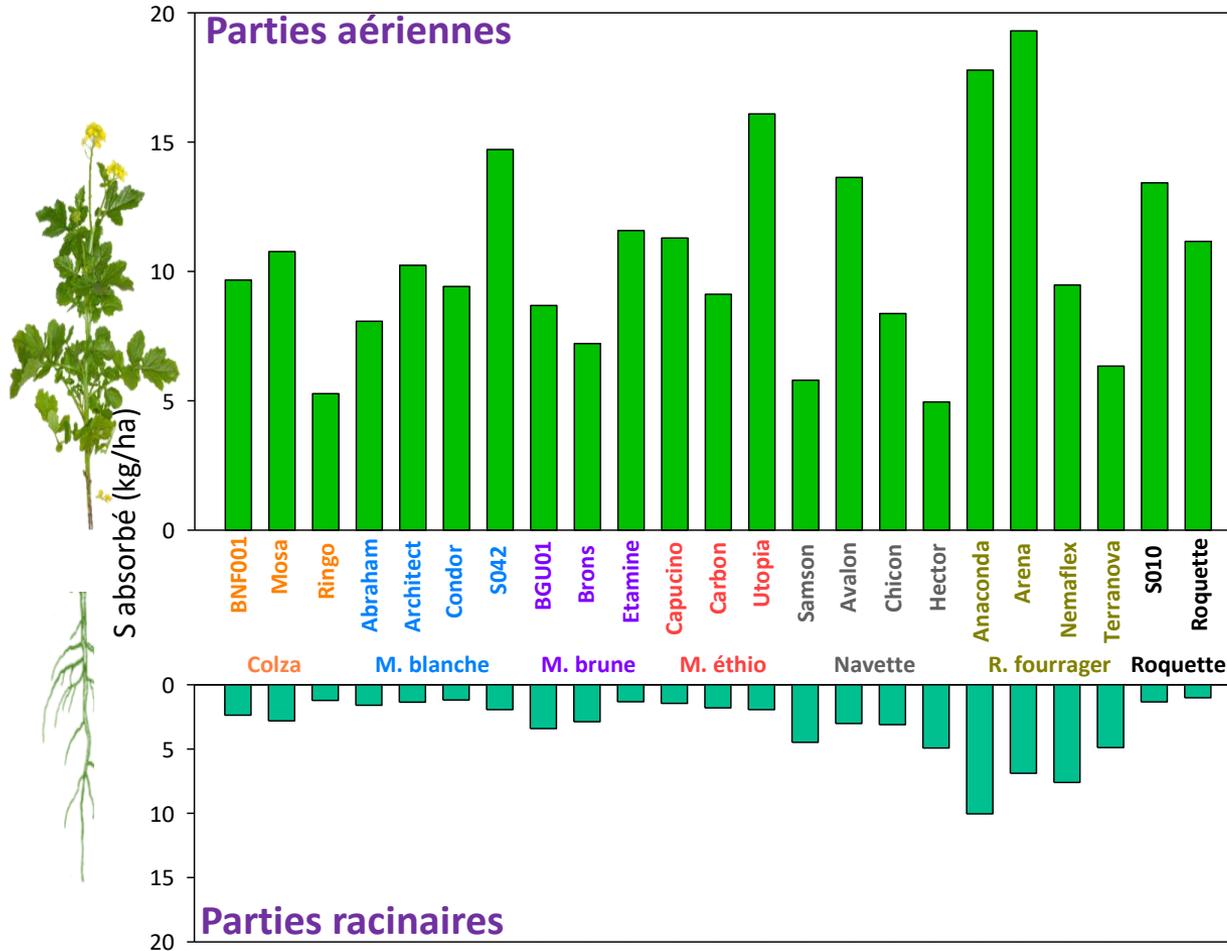
D'après Tribouillois et al. (2016) + travaux CASDAR CRUCIAL

# Bouquets de services attendus des CIMS



# Absorption de S

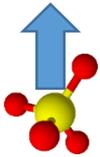
Semis : mi-août Destruction : déb. novembre



(Couëdel et al., Plant & Soil, 2018)

# Absorption de S

Piège à sulfate



Crucifères pures

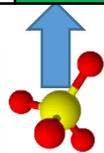
100%

Légumineuses pures

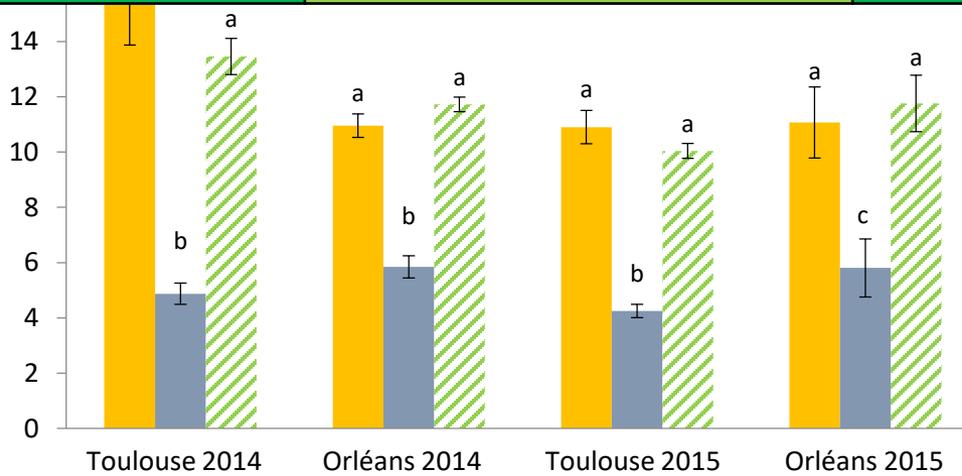
30%

Crucifères + légumineuses

99%



S acquis par les CIMS  
(kg ha<sup>-1</sup>)

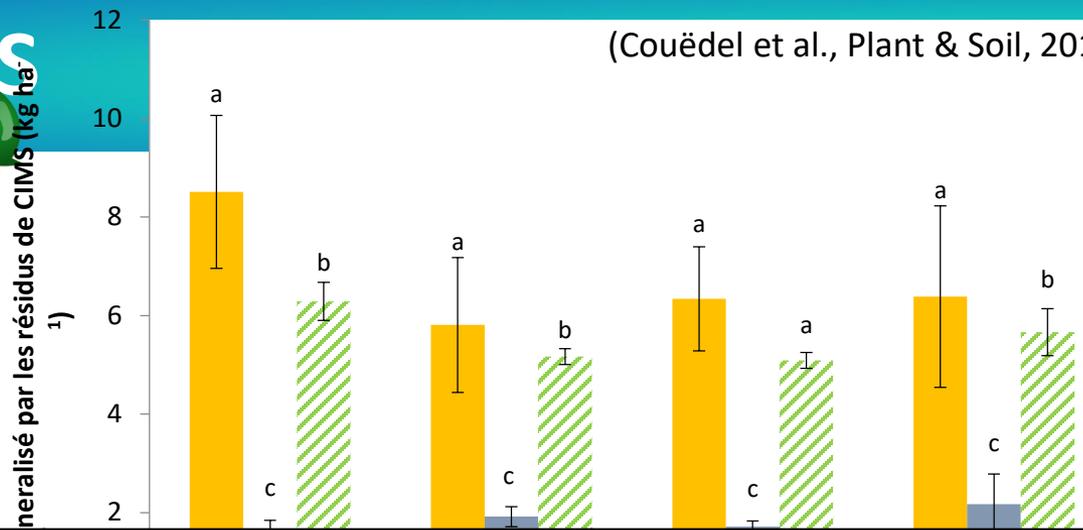


(Couëdel et al., Plant & Soil, 2018)

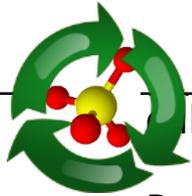
# Fourniture de S



(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>



Culture pure : 9,1 kg S ha<sup>-1</sup>

Pas de différences entre espèces en mélanges

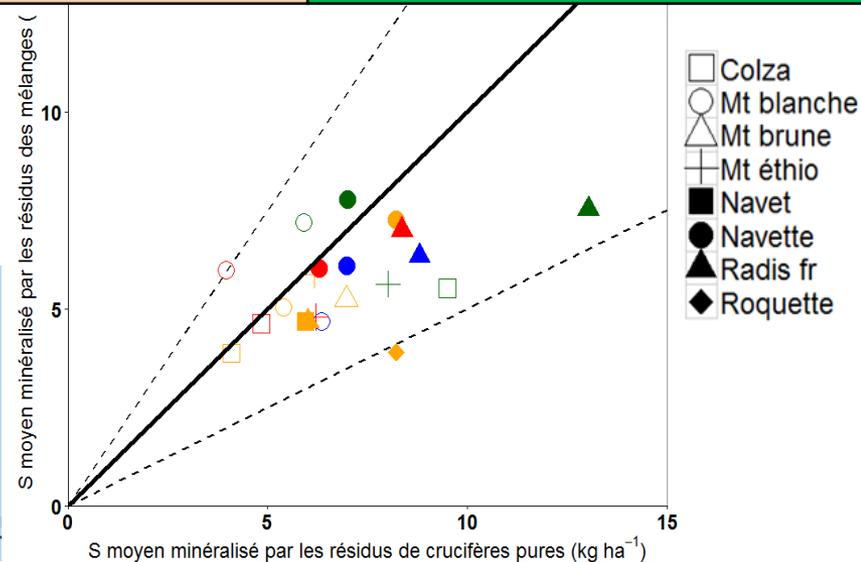
$$S_{\min} = S_{\text{acquis}} \times \%S_{\text{acquis}} \text{ minéralisé}$$

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

$$\% S_{\text{acquis}} \text{ minéralisé} = [70 - 0.16 \times C/S] / 1000 \text{ (Eriksen et al. 2004)}$$

Crucifères : C/S = [50;150]

Légumineuses : C/S = [150;3



# Autres éléments minéraux

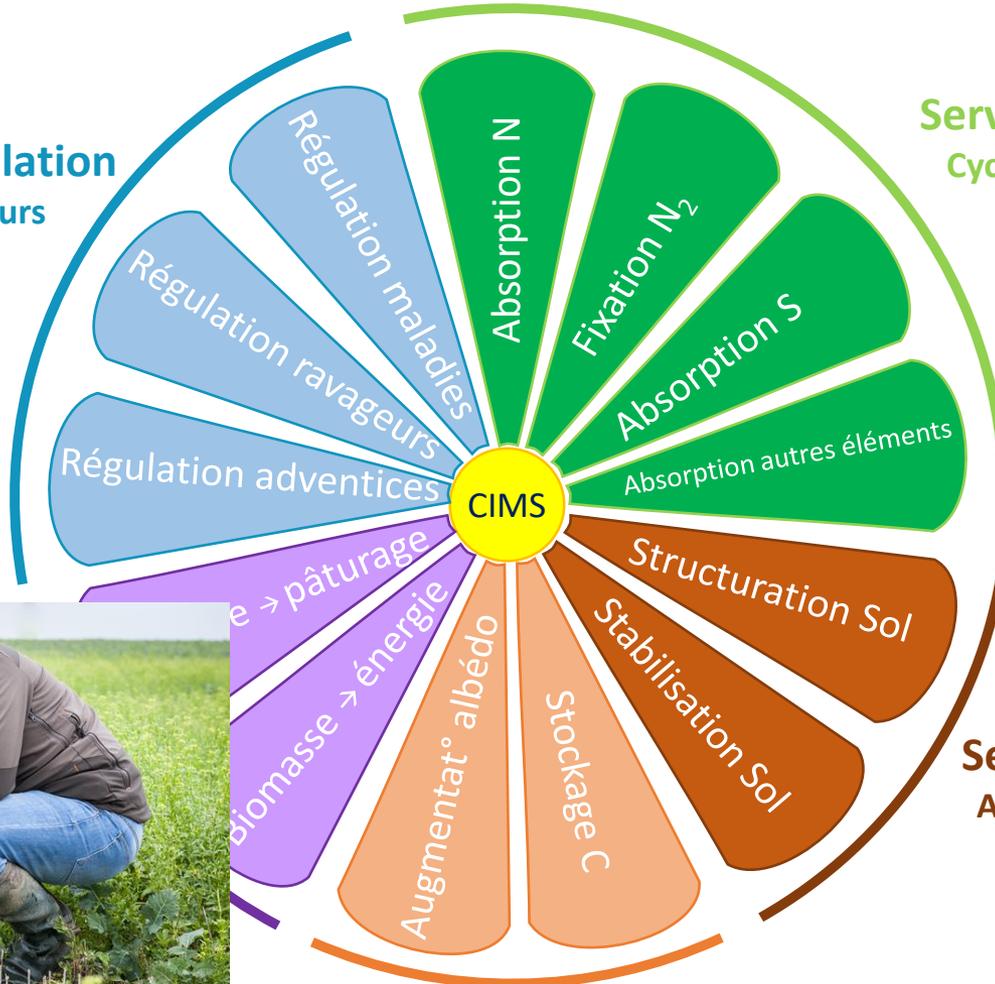
Minéraux acquis en kg/ha	Crucifères	Légumineuses	Crucifères + légumineuses	
Phosphore	7,3	6,9	8,8	> 100 %
Potassium	77	24	63	80 %
Calcium	63	30	56	90 %
Magnésium	10	9	12	> 100 %
Sodium	15	11	16	> 100 %
Bore	0,057	0,045	0,061	> 100 %
Cuivre	16	31	27	90 %
Fer	2	13	10	75 %
Manganèse	0,12	0,3	0,27	90 %
Zinc	0,15	0,16	0,18	> 100 %

En cours d'analyse



# 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 – INRAE  
Alain Rodriguez ACTA

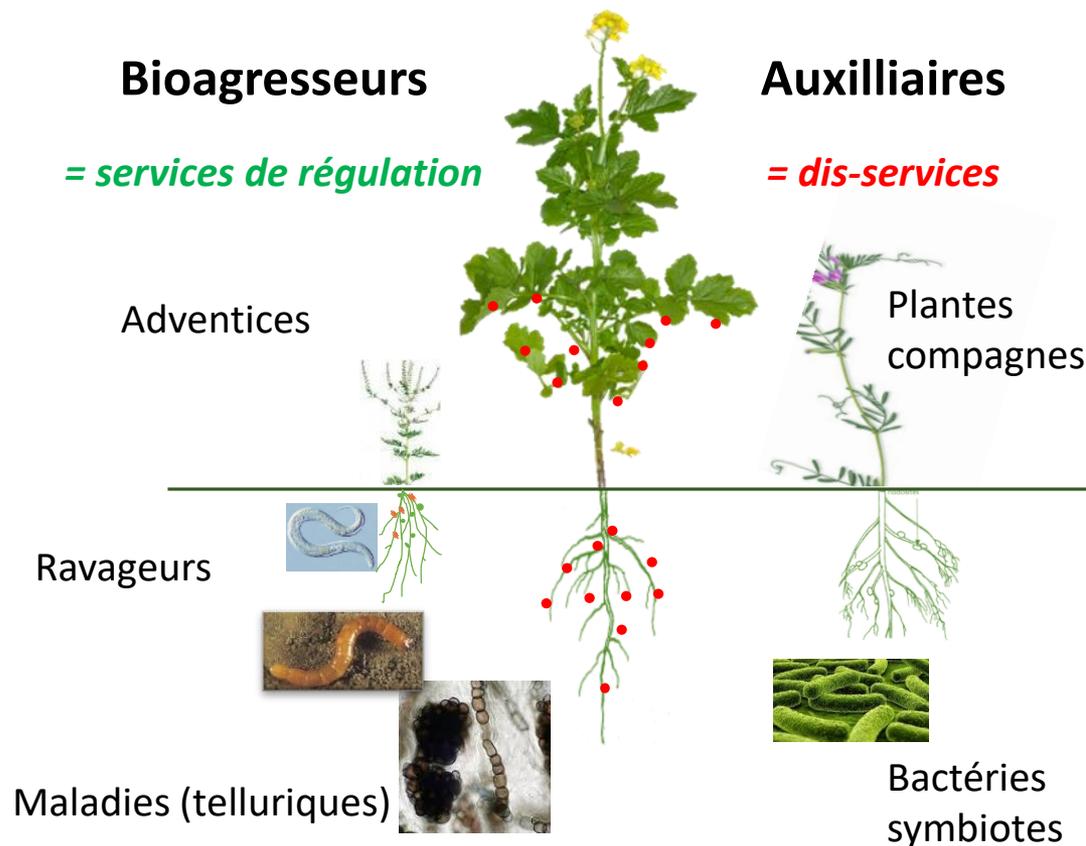
**Une voie prometteuse... ???**

**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)

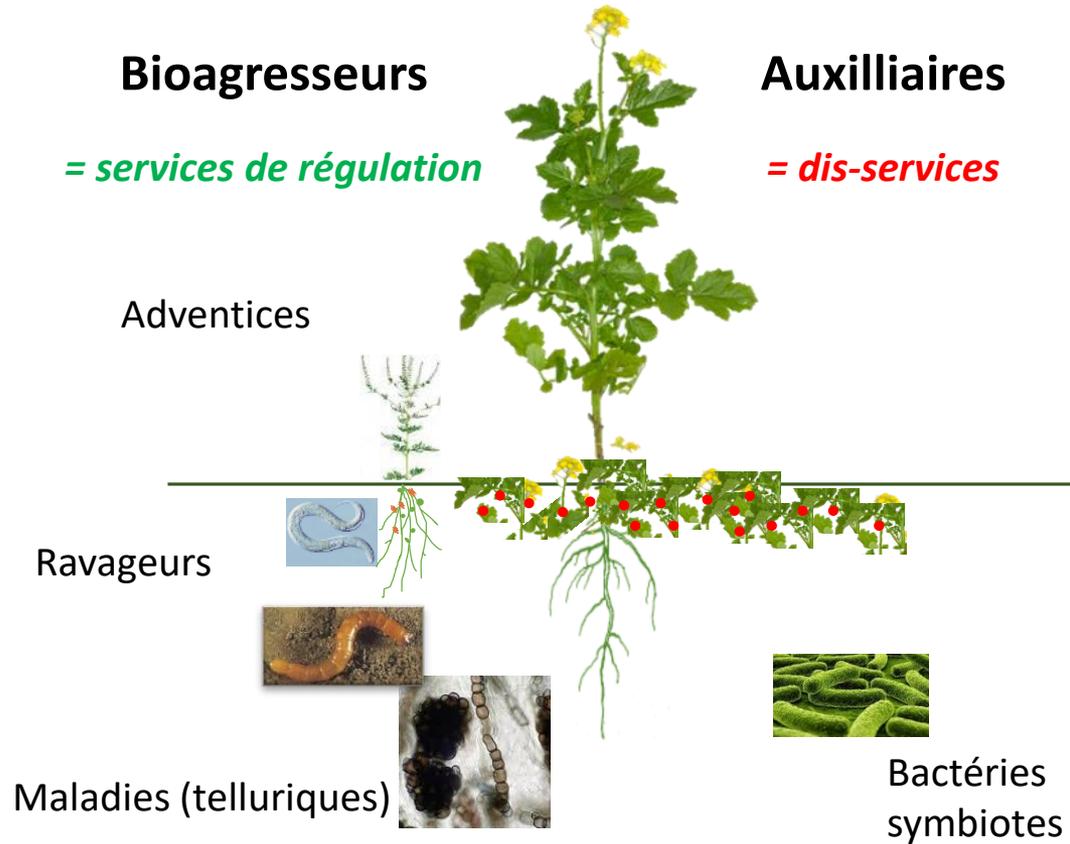


# Quelques définitions

## 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)



## 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)

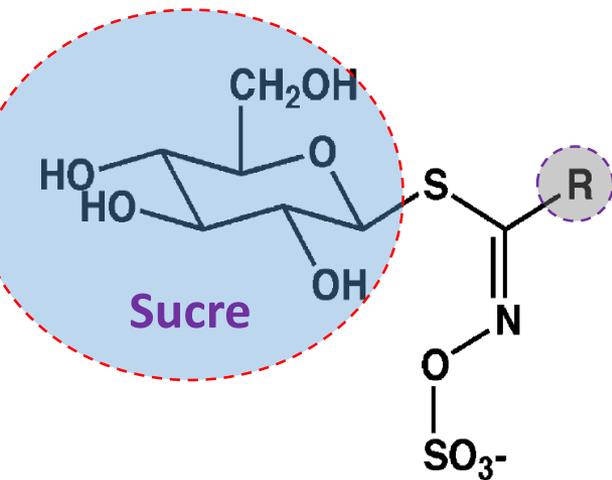
(©RAGT-Joordens)



# Principes d'action

Chez les Brassicacées...

## Glucosinolates

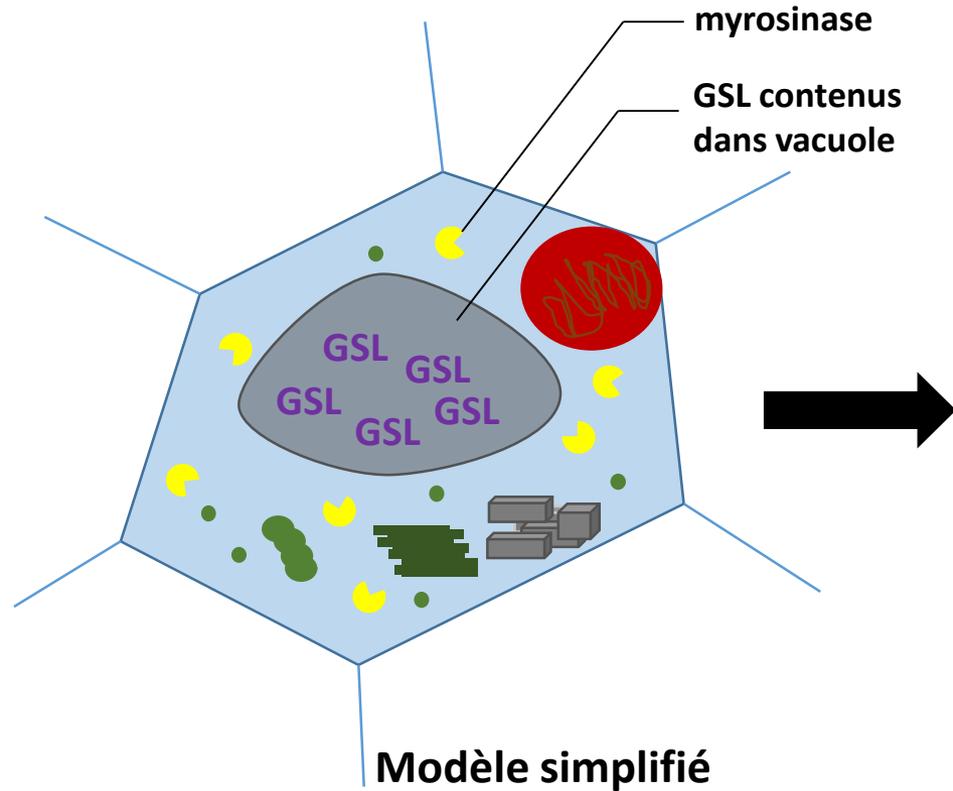


Acides aminés	Glucosinolates (GSL)	Type de GSL
méthionine	glucoérucine, glucoraphanine, gluconapine, progoitrine,	 Aliphatique
alanine	glucocapparine	
isoleucine	glucocochlearine	
sérine	sinigrine	
valine	glucoputranjivine, isopropyle	
R	phénylalanine	 Aromatique
	tyrosine	
tryptophane	glucobrassicine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

(Agerbirk et Olsen, 2012)

# Principes d'action

*Chez les Brassicacées...*



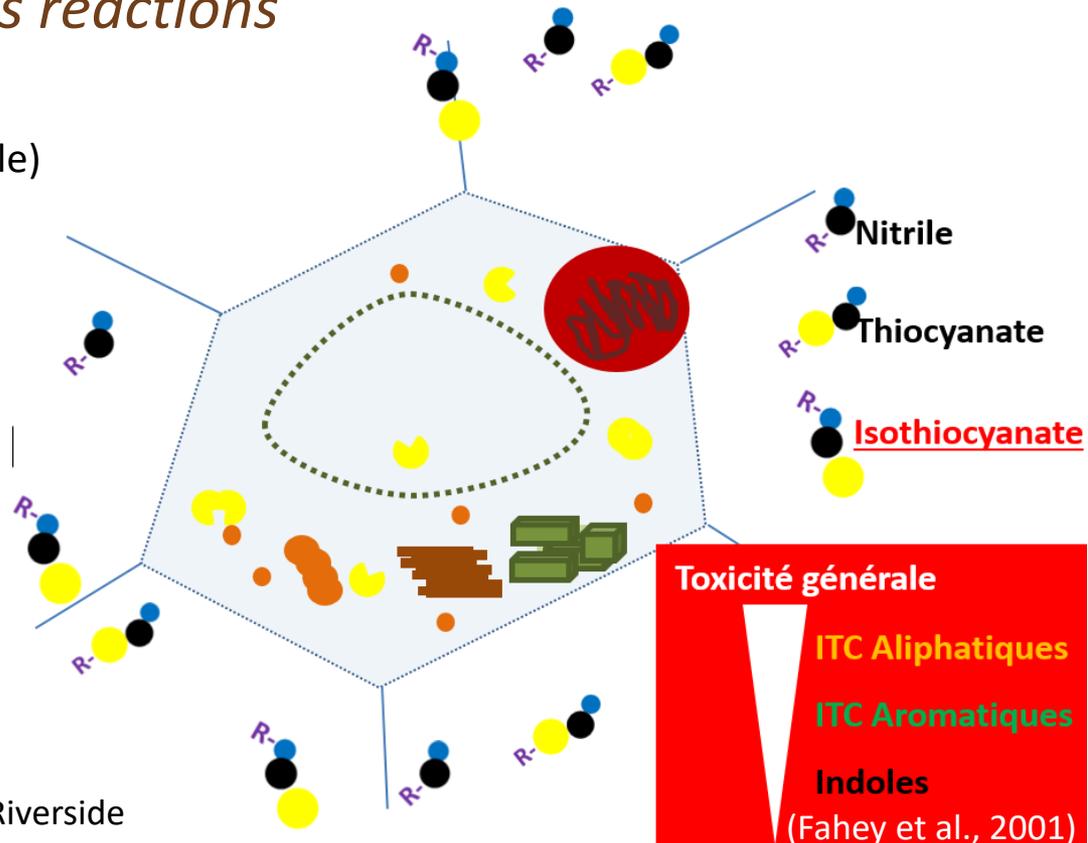
# Principes d'action

## Biofumigation : Optimisation des réactions

- Eau non limitante (irrigation éventuelle)
- Température « élevée » (30-35°C)  
(Ploeg et Stapelton, 2001)
- Milieu « confiné »



© UC Riverside



# Potentiel de régulation ?

Couëdel et al. (2019)

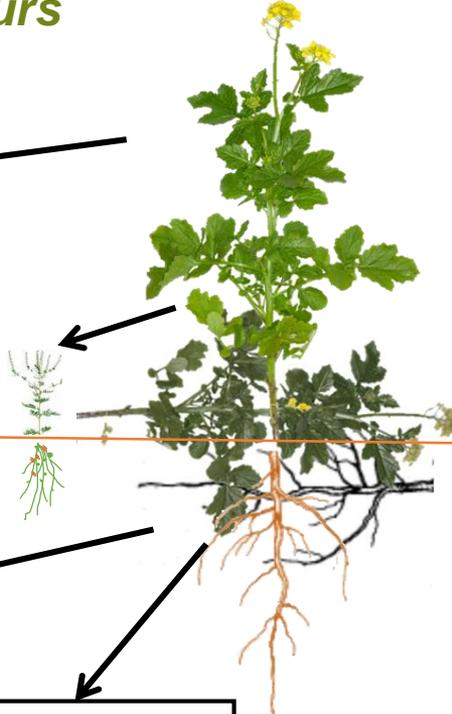
## Effets sur les ravageurs



### 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 régulation ?

Couëdel et al. (2019)

## Effets sur les ravageurs



### Macrofaune pathogène aérienne

Pucerons  
Coléoptères  
Mouches  
Limaces



Adventices



## Effets sur les auxiliaires

### Macrofaune auxiliaire aérienne

Abeilles  
Arthropodes



Légumineuse associée



Culture suivante



### Microorganismes auxiliaires

Mycorhize  
Bactéries nitrifiantes  
Rhizobium  
Trichoderma spp.  
General microbes



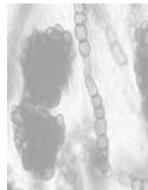
### Macrofaune auxiliaire du sol

Nématodes (entomopathogènes)  
Vers de terre



### 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 régulation ?

Couëdel et al. (2019)

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



Mouches  
Limaces



Advent

## Champignons et bactéries pathogènes

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



## Effets sur les auxiliaires

### Macrofaune auxiliaire aérienne

Abeilles  
Arthropodes



Légumineuse associée

Culture suivante



### Microorganismes auxiliaires

Mycorhize  
Bactéries nitrifiantes  
Rhizobium  
Trichoderma spp.  
General microbes



### Macrofaune auxiliaire du sol

Arthropodes (entomopathogènes)  
de terre



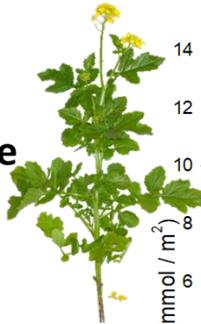
# Potentiel de régulation ?

## Variabilité génotypique

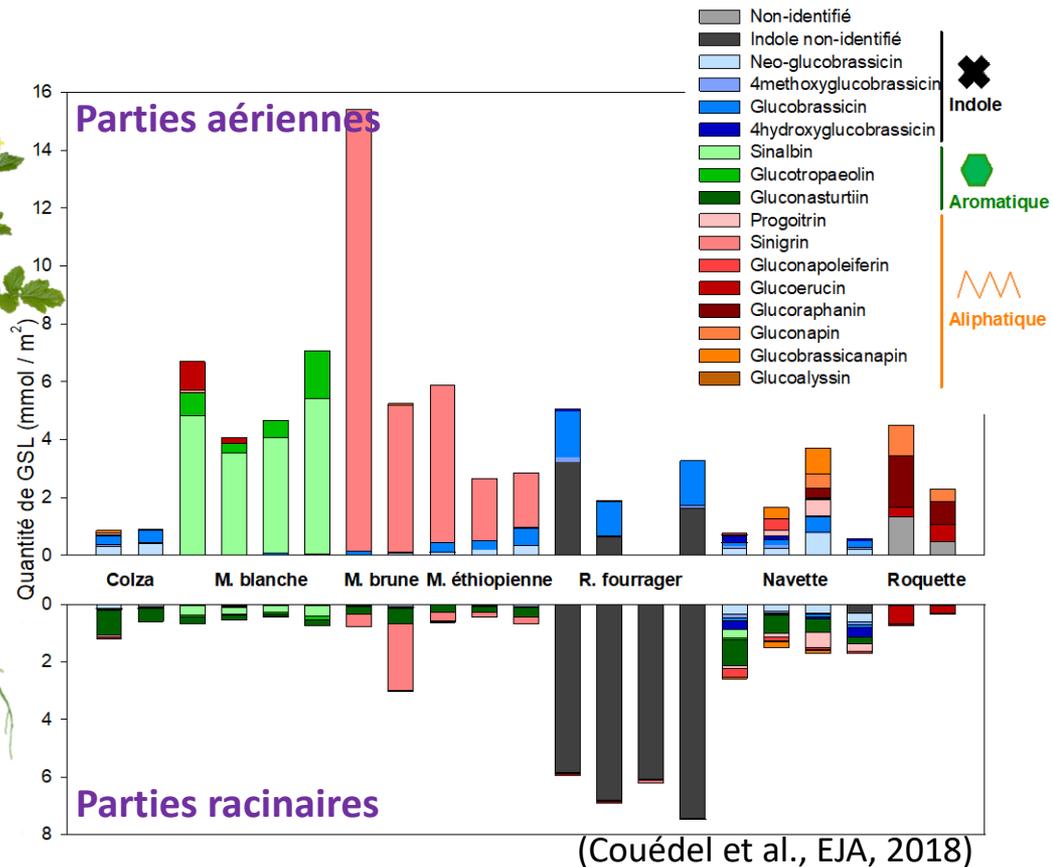
### Méthodologie

→ 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



# Quelques 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



# Perspectives de recherche (locales) ...



Naturellement Pop Corn : caractérisation de CIMS à cycle long sur les performances de systèmes de culture incluant du maïs pop corn



Soil Carbon Farming – KIC Climate : potentiel de stockage de C par différentes espèces et variétés de CIMS



CIMS-ON : Phénotypage de variétés de cultures intermédiaires en interculture longue pour une complémentarité de services fournis au tournesol



---

*Merci de votre attention*

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



@LionelAlletto