



Maîtrise des bioagresseurs par la biofumigation : quelles opportunités ?

Synthèse de résultats du programme CASDAR CRUCIAL (2014-2017)

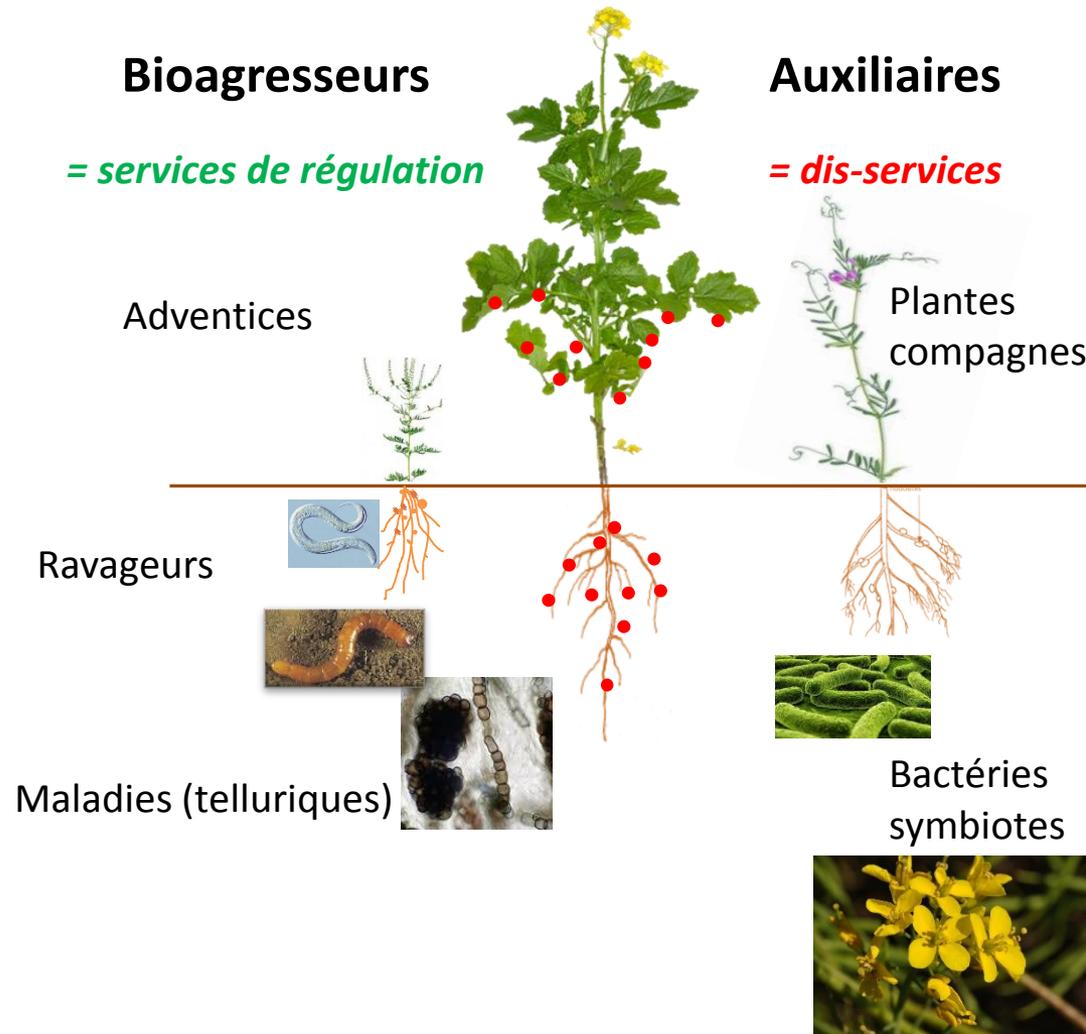
Antoine Couëdel, Lionel Alletto, John Kirkegaard, Eric Justes



Quelques définitions

Allélopathie

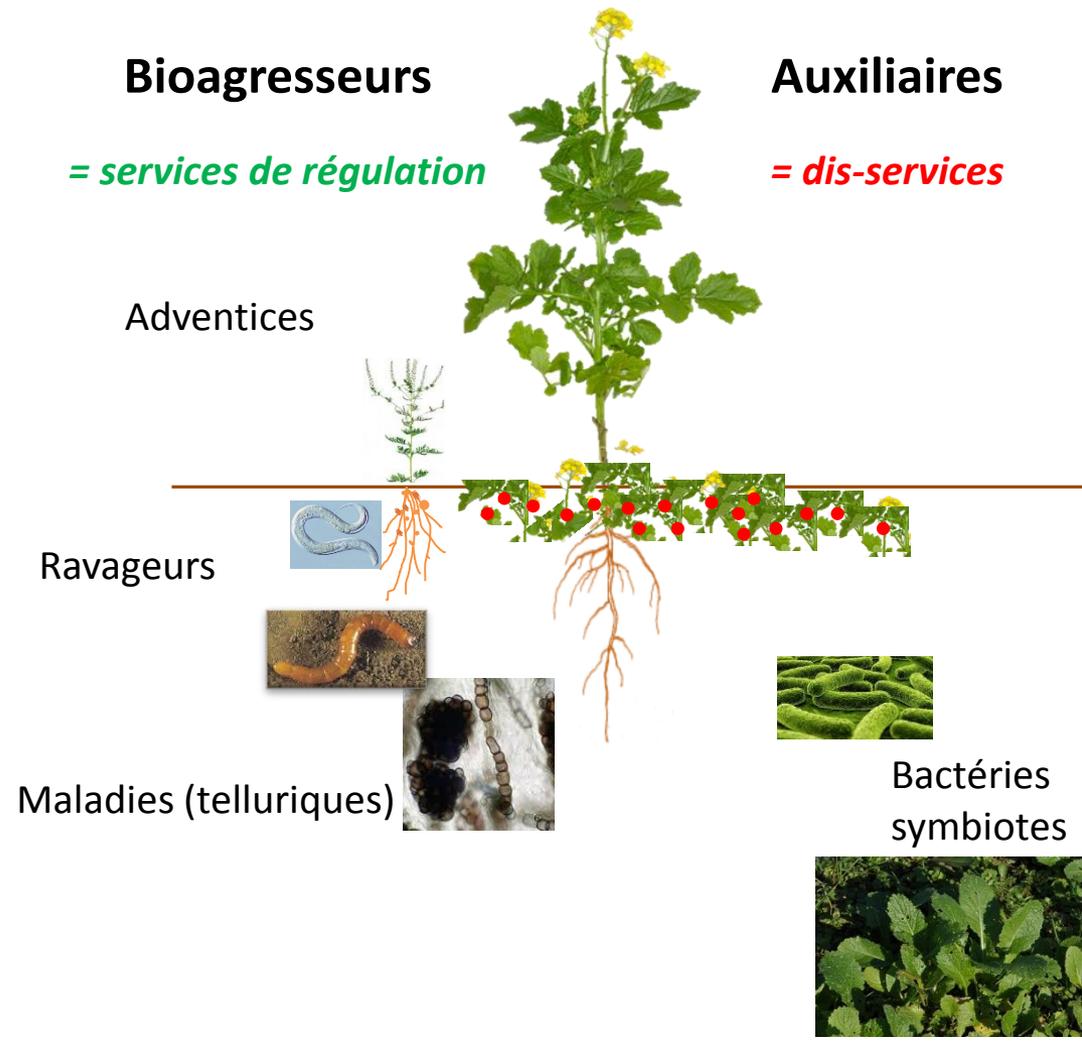
Tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante ou d'un microorganisme sur un autre organisme à travers la production de composés chimiques libérés dans l'environnement (Rice, 1984)



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)



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.

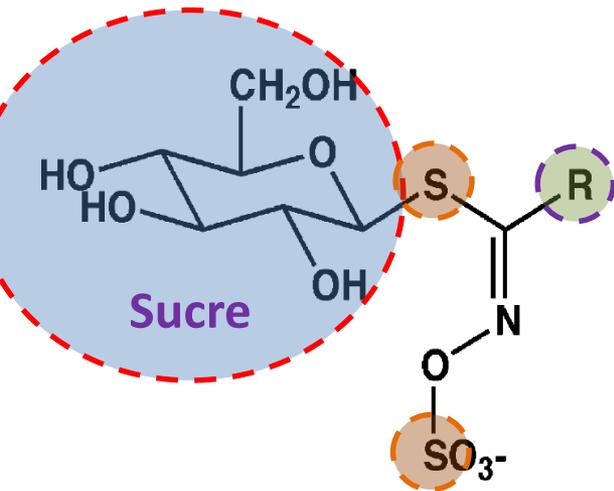
Initialement utilisé pour désigner les effets toxiques des Brassicacées
(Kirkegaard et al., 1993)

(©RAGT-Joordens)



Chez les Brassicacées...

Glucosinolates



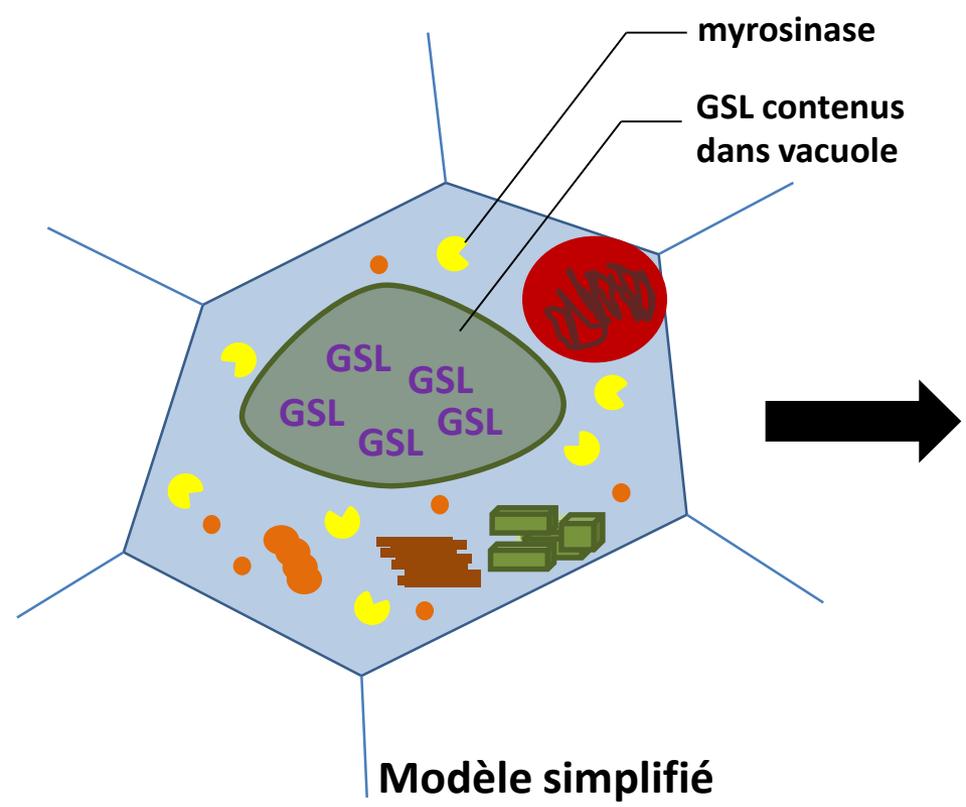
Acides aminés	Glucosinolates (GSL)	Type de GSL
méthionine	glucoérucine, glucoraphanine, gluconapine, progoitrine,	 Aliphatique
alanine	glucocapparine	
isoleucine	glucocochlearine	
sérine	sinigrine	
valine	glucoputranjivine, isopropyle	
R phénylalanine	sinalbine, glucoaubrietine, gluconasturtiine, glucotropaeoline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

(Agerbirk et Olsen, 2012)

Au moins 2 atomes de S + 1 atome de S



Chez les Brassicacées...

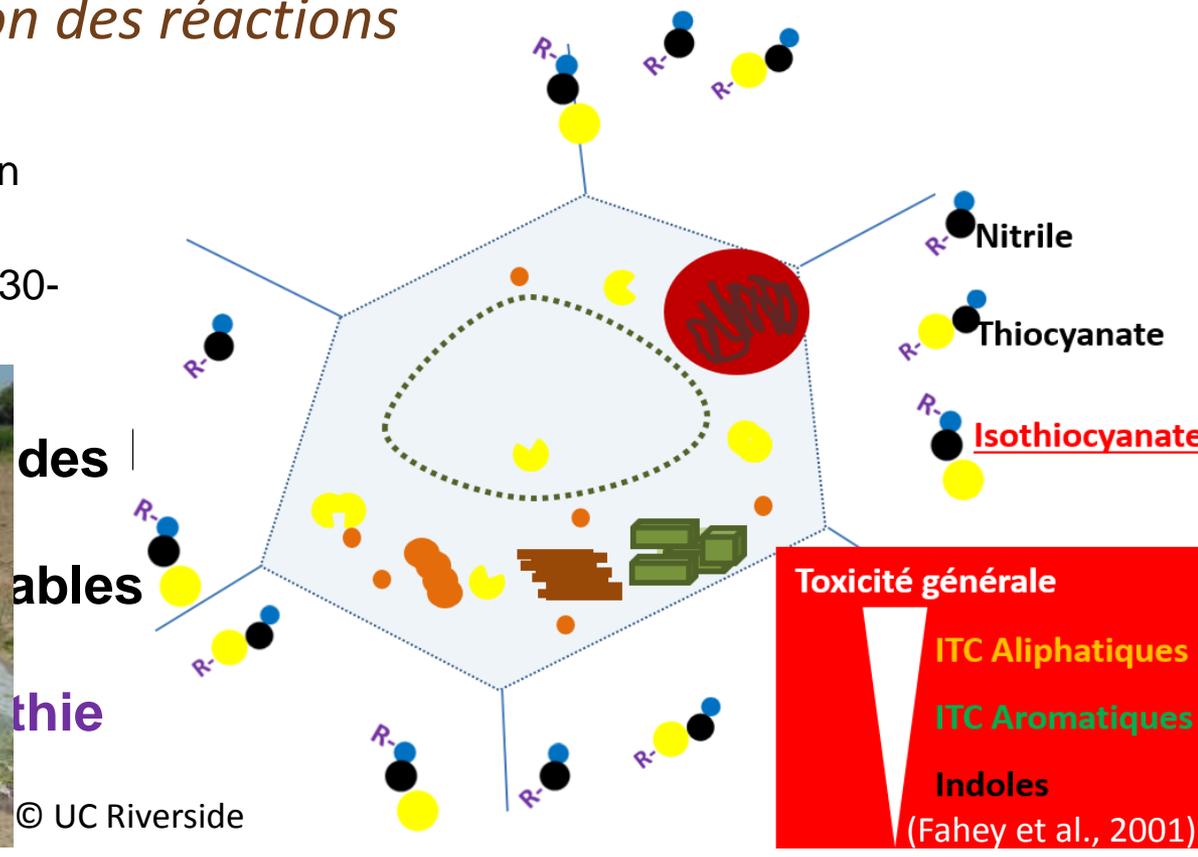


Biofumigation : Optimisation des réactions

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



x Gaz toxiques



Potentiel de biocontrôle ?

Couédel et al. (accepté, 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. (accepté, 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 biocontrôle ?

Couëdel et al. (accepté, 2019)

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

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



Champignons et bactéries pathogènes

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



Limaces

Advent



Potentiels de régulation biotique

Production GSL = Interactions Génotype x Environnement x Conduite

CASDAR & CLE CRUCIAL (2014-2017)



Antoine Couëdel

Docteur Université de Toulouse

Direction de la thèse :

Eric Justes (CIRAD) & Lionel Alletto (CRA Occitanie)



Potentiels de régulation biotique

Production GSL = Interactions Génotype x Environnement x Conduite

CASDAR & CLE CRUCIAL (2014-2017)

+ quelques effets de régulation biotique



Pauline David
Etudiante M2
INP Purpan



Antoine Brin
EC Ecologie
INRA DYNAFOR

Agriotes sordidus ←



→ *Verticilium dahliae*



© Terres Inovia



Célia Seassau
EC Phytopathologie
INRA AGIR



Benoit Galaup
Etudiant M2
INRA AGIR



Potentiels de régulation biotique

Production GSL = Interactions **Génotype** x Environnement x Conduite

- **Composition** : déterminisme génétique de l'espèce (Kirkegaard et Sarwar, 1998)
- **Teneur** : faible effet variétal ; Liens avec précocité / stade de développement ? (Kabouw et al., 2010 ; Zhu et al., 2013)
- **Piste** : sélection variétale en cours...



Variabilité génotypique

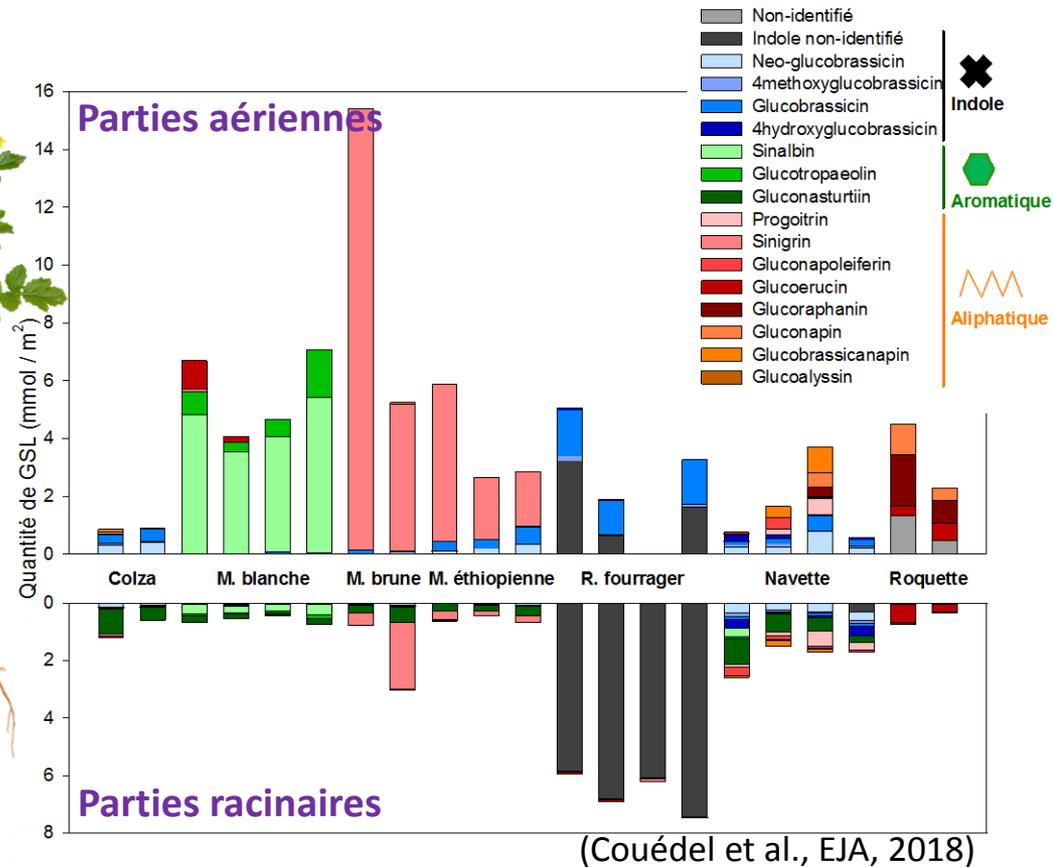
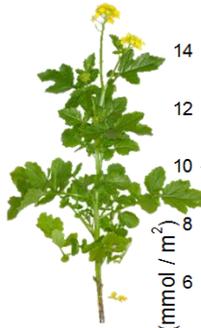
Méthodologie

→ Analyses sur 21 espèces / variétés de crucifères en culture pure (et mélanges)

→ Distinction entre parties aériennes et racinaires

Résultats majeurs

→ Effet espèce ET variétal (pour certaines espèces : M. brune Etamine) : effort de sélection



Potentiels de régulation biotique

Production GSL = Interactions Génotype x Environnement x Conduite

Effets abiotiques ←

Effets majeurs des teneurs en N et S des sols

(Falk et al., 2007 ; Couédel et al., en préparation)

Effets biotiques ←

Production de GSL est une réaction de défense

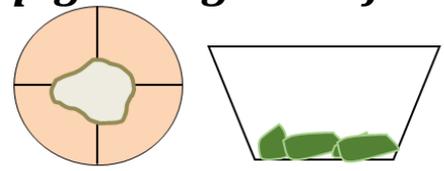
(Björkam et al., 2011)

Effets texture / composition du sol ←



Quelques effets de régulation biotique : étude sur V. dahliae

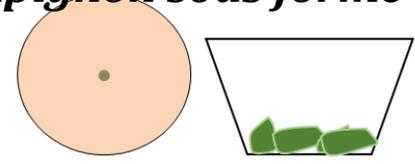
Champignon âgé de 8 jours



fond

Verre à bodega

Champignon sous forme de microsclérote



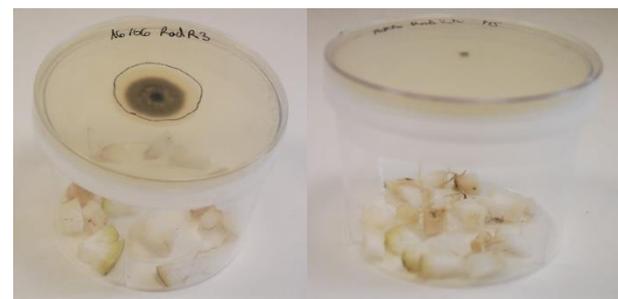
fond

Verre à bodega

Biomasse racinaire + aérienne

Biomasse aérienne

Biomasse racinaire



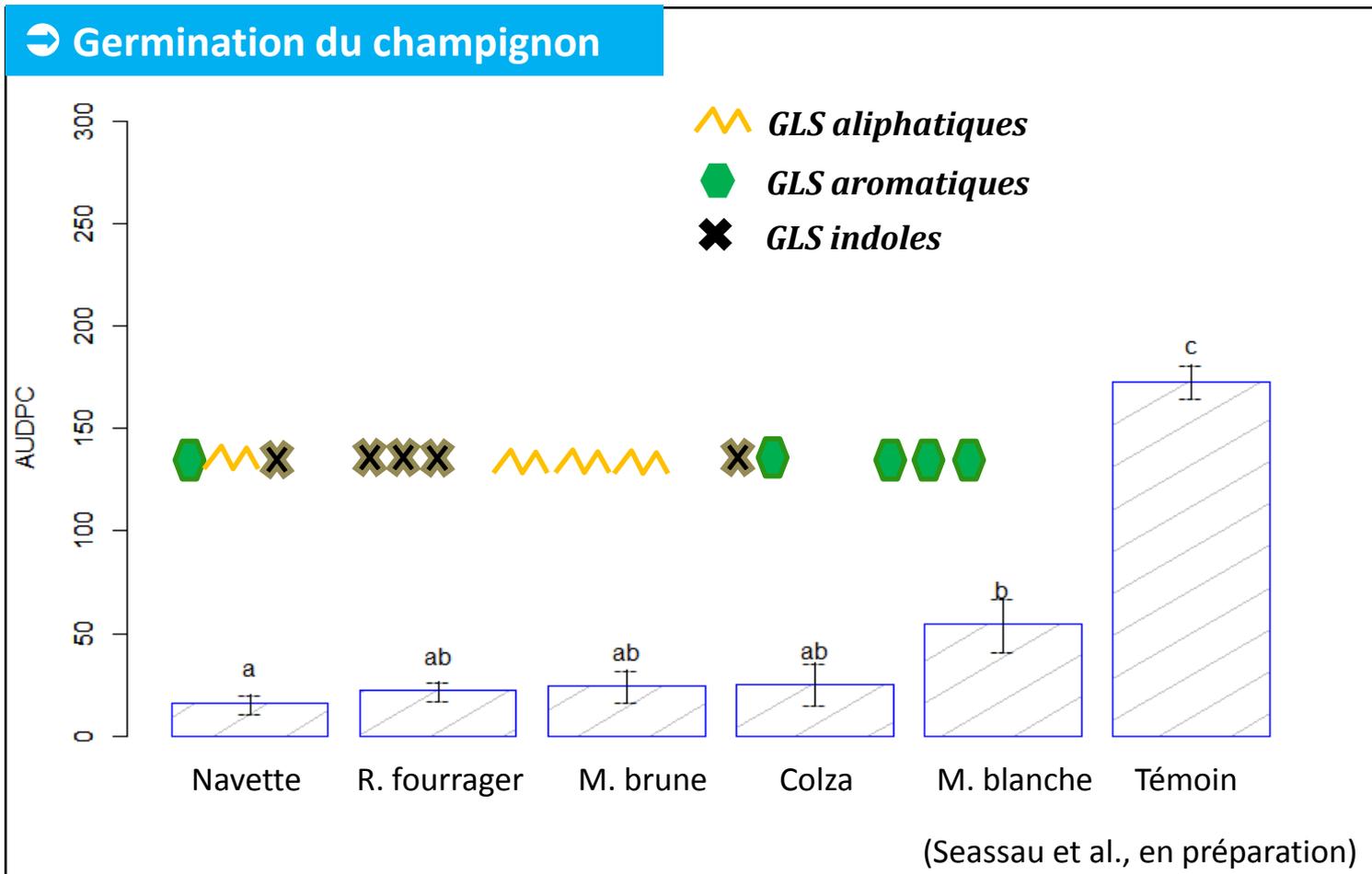
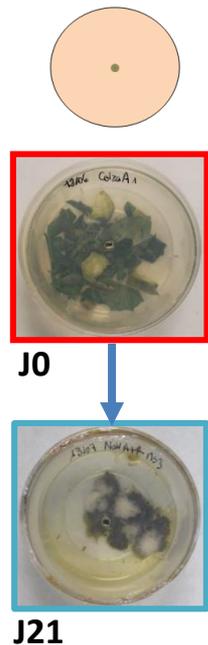
(Seassau et al., en préparation)



Suivi de la germination et du développement du pathogène

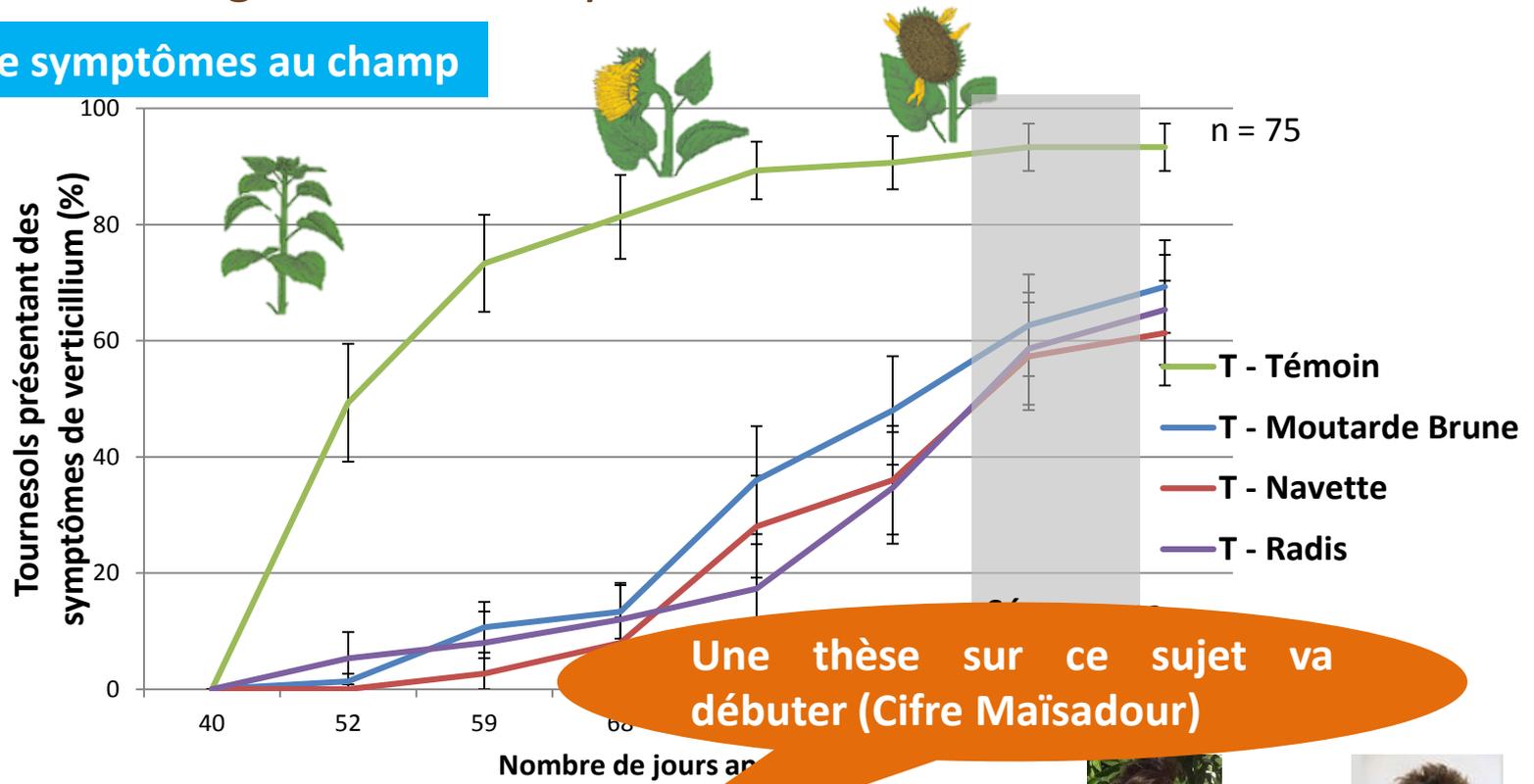


Quelques effets de régulation biotique : étude sur *V. dahliae*



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

➡ Expression de symptômes au champ



Une thèse sur ce sujet va débuter (Cifre Maisadour)



Célia Seassau



Benoit Galaup



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

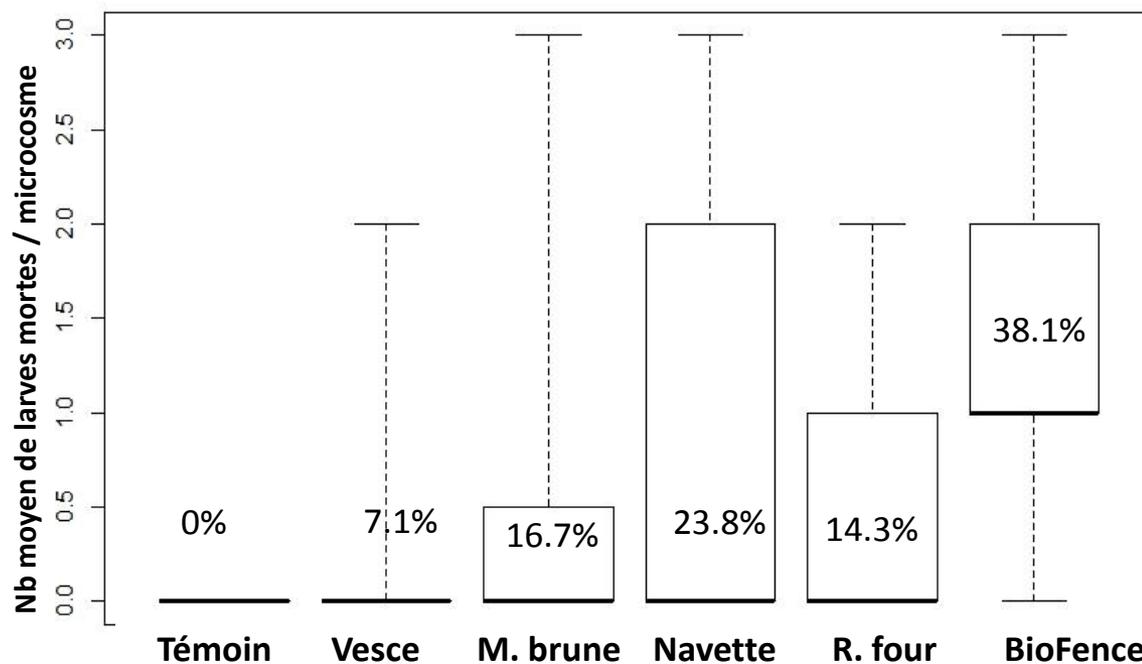
→ Effet larvifuge

→ Effet larvicide



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)

Éléments de [conclusion]...

(1) Effet partiel des CIMS sur les régulations biologiques => à envisager dans le cadre d'une **réflexion systémique combinant différents leviers**

(2) **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
Fonction 1 : Piégeage d'Azote	100 % -51% à -70% du N minéral sur 0-90 cm	66 % -37% à -43% du N minéral sur 0-90 cm	98 % -48% à -70% du N minéral sur 0-90 cm
Fonction 2 : Piégeage de Soufre	100 % 10 à 15 kg S /ha	30 % 4 à 5 kg S /ha	99 % 10 à 14 kg S /ha
Fonction 3 : Engrais vert à Azote	18 % 1 à 10 kg N/ha libérés	100 % 35 à 54 kg N/ha libérés	63 % 18 à 30 kg N/ha libérés
Fonction 4 : Engrais vert à Soufre	100 % 6 à 8 kg S/ha libérés	23 % 1 à 2 kg S/ha libérés	85 % 5 à 6 kg S/ha libérés
Fonction 5 : Potentiel de biocontrôle	100 % Production de 3 à 4,5 mmolGSL m ⁻²	/	81 % Production de 2 à 3,5 mmolGSL m ⁻²

Éléments de [conclusion]...

(3) Fronts de R&D

⇒ Effort de caractérisation des dis-services indispensable

⇒ **Quelle stratégie rechercher** : De la diversité ? De la quantité ? Un composé en particulier ? Une famille ?

⇒ Projets d'encapsulation GSL / myrosinase ; arrivée sur le territoire de produits de biocontrôle : *CIMS devient une culture marchande...*

**TO BE
CONTINUED...** →

A close-up photograph of several bright yellow flowers, likely from a cruciferous plant, with green foliage in the background. The flowers are in various stages of bloom, showing their petals and stamens.

Pour en savoir plus...

Couëdel, A., Alletto, L., Justes, E., 2018a. Crucifer-legume cover crop mixtures provide effective sulphate catch crop and sulphur green manure services. *Plant and Soil* 426, 61-76.

Couëdel, A., Alletto, L., Kirkegaard, J., Justes, E., 2018b. Crucifer glucosinolate production in legume-crucifer cover crop mixtures. *European Journal of Agronomy* 96, 22-33.

Couëdel, A., Alletto, L., Tribouillois, H., Justes, E., 2018c. Cover crop crucifer-legume mixtures provide effective nitrate catch crop and nitrogen green manure ecosystem services. *Agriculture Ecosystems & Environment* 254, 50-59.

Couëdel, A., Kirkegaard, J., Alletto L., Justes, E., 2019. Crucifer – legume cover crop mixtures for biocontrol: a new multi-service paradigm. *Advances in Agronomy* (accepted)

Merci de votre attention

lionel.alletto@occitanie.chambagri.fr