

# Diversification intra-parcelle, interactions plante-plante et sélection : points sur le phénotypage et la modélisation

Version diffusable

T. Flutre, J. Enjalbert et B. Haug  
Groupe « céréales à paille » ; INRAE BAP  
Rennes en duplex — 09/03/2022

# Plan

- I. Diversification intra-parcelle et interactions plante-plante
- II. Mélanges céréale-légumineuse : effets producteur et associé
- III. Mélanges variétaux : phénotypage et modélisation mécaniste
- IV. Perspectives autour du projet MoBiDiv

# Plan

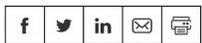
- I. Diversification intra-parcelle et interactions plante-plante
- II. Mélanges céréale-légumineuse : effets producteur et associé
- III. Mélanges variétaux : phénotypage et modélisation mécaniste
- IV. Perspectives autour du projet MoBiDiv

# Enjeux et stratégies en agroécologie

1. Si moins/pas de pesticides : comment gérer les adventices, maladies et ravageurs ?
2. Si moins/pas de fertilisation : comment gérer les apports en nutriments, notamment azotés ?

POLITIQUE

## Néonicotinoïdes : l'arrêté de dérogation pour 2022 en consultation



©Photografiero/Shutterstock

01/03/2022



Controverses

## Arrêt du glyphosate : le sujet qui divise les candidats à l'élection présidentielle 2022

GQE/DEAP

Menu | **ouest france** | Recherche : ville, actualité, fait divers... | Abonnez-vous | Se connecter

En ce moment | Start-up | Recrutement | Industrie | Investissement

Accueil / Economie / Agriculture

### Agriculture. Une pénurie d'engrais azotés menace les exploitants

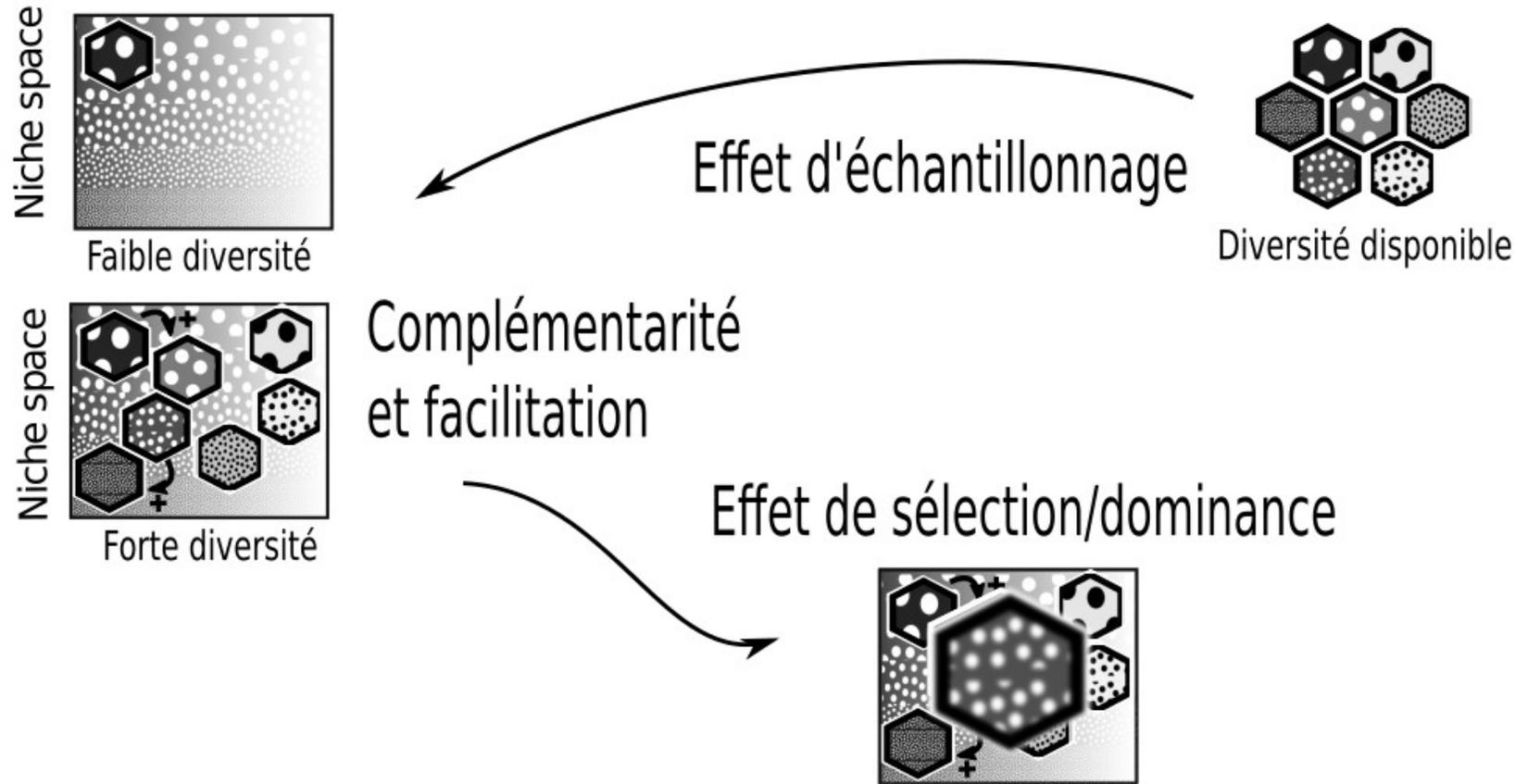
Face à l'envolée des cours du gaz, les fabricants d'engrais azotés ont limité leur production. Voyant les prix grimper, beaucoup d'agriculteurs ont reporté leurs achats et risquent de faire face à une pénurie cet hiver.

Le spectre d'une pénurie d'engrais azotés plane sur l'agriculture. Elle se manifeste par une flambée des cours, qui accélère ces dernières semaines. | MICHAELA REHLE/REUTERS

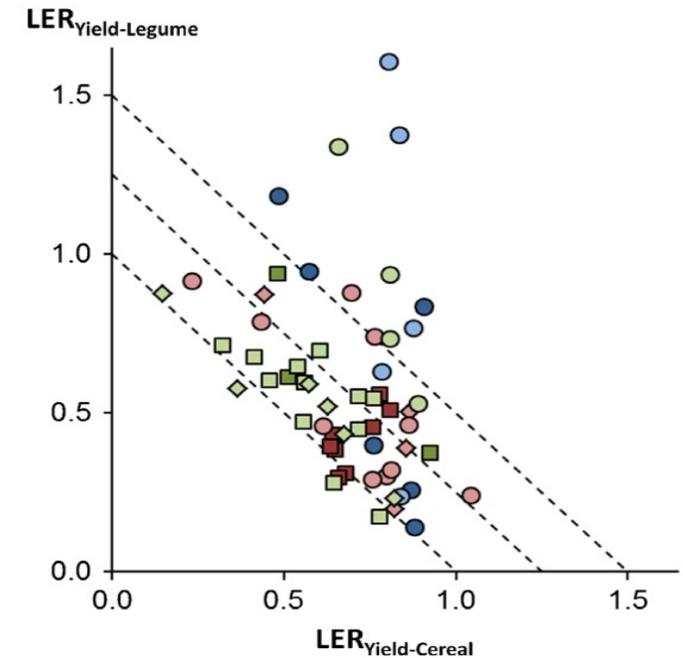
# Enjeux et stratégies en agroécologie

1. Si moins/pas de pesticides : comment gérer les adventices, maladies et ravageurs ?
  2. Si moins/pas de fertilisation : comment gérer les apports en nutriments, notamment azotés ?
- > Combinaison de stratégies à différentes échelles spatiales et temporelles
- Focus dans cette présentation sur la **diversification intra-parcelle (intra- et inter-spé) et ses implications en sélection**, notamment :
    - Comment analyser statistiquement les dispositifs de mélanges ?
    - Comment modéliser pour prédire puis sélectionner ?
    - Quoi et comment phénotyper un grand nombre de génotypes/mélanges ?

# Diversité intra-parcelle : bénéfices attendus



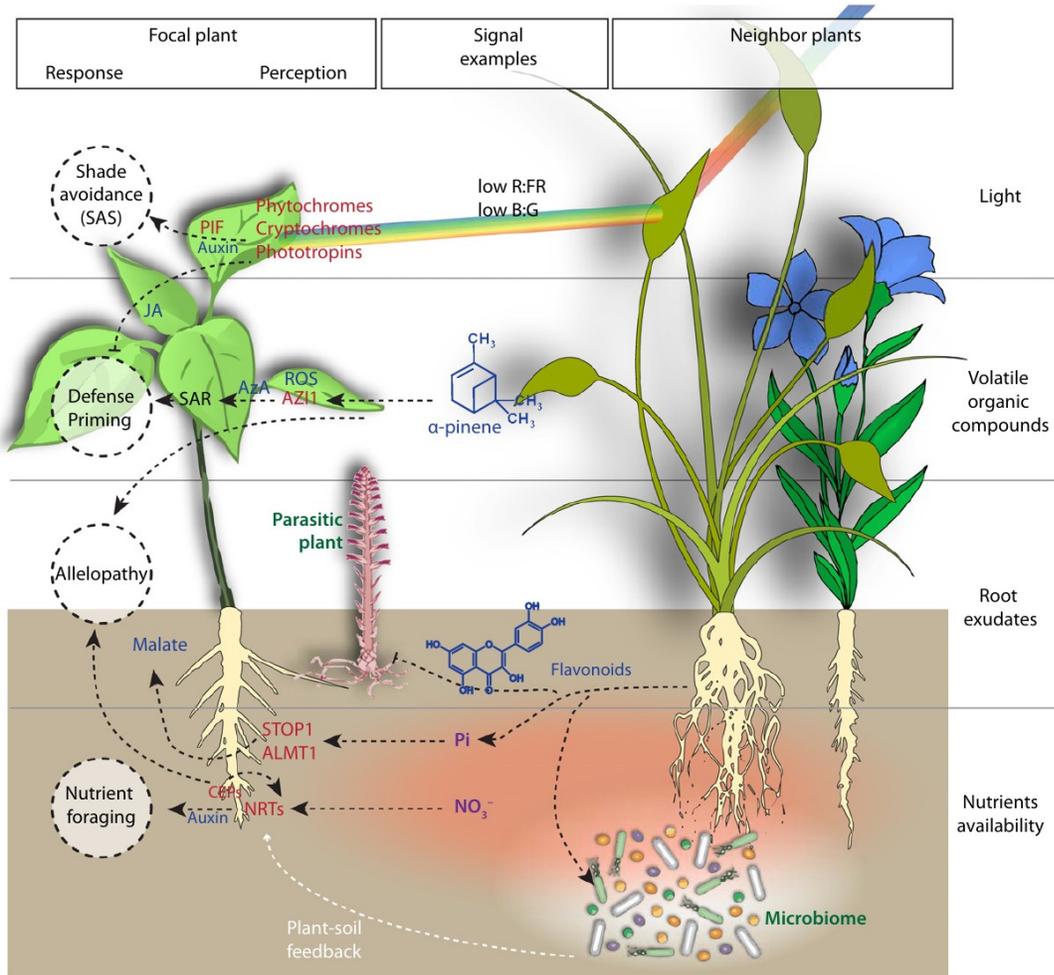
Barot et al. 2017



Bedoussac and Justes (2015)

- Importance des interactions plante-plante

# Diversité intra-parcelle : interactions plante-plante

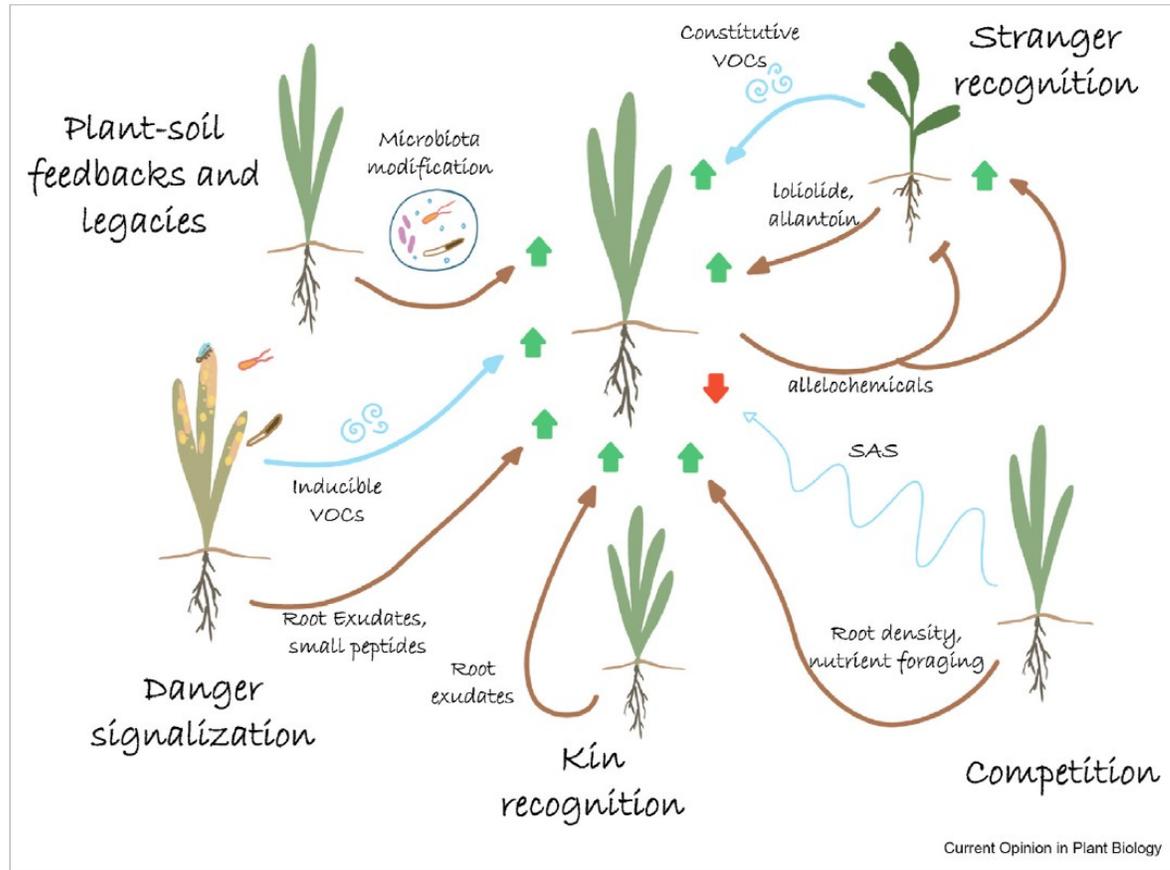


- Différents signaux perçus :
  - Lumière
  - COV
  - Exsudats racinaires
  - Éléments nutritifs
- Effets sur :
  - Accès et utilisation des ressources
  - Allélopathie
  - Croissance

Figure 1. Neighbor detection and response strategies in plant-plant interactions.

Subrahmaniam et al. 2019

# Diversité intra-parcelle : interactions plante-plante



Pélissier et al. 2021

- Différents signaux perçus :
  - Lumière
  - COV
  - Exsudats racinaires
  - Éléments nutritifs
- Effets sur :
  - Accès et utilisation des ressources
  - Allélopathie
  - Croissance
  - Immunité : neighbor-mediated immunity
- Interactions possibles : *commensalisme*, *mutualisme*, *antagonisme*, *neutralisme*, *amensalisme*, *compétition*

-> Comment sélectionner pour ces interactions ?

# Plan

- I. Diversification intra-parcelle et interactions plante-plante
- II. Mélanges céréale-légumineuse : effets producteur et associé**
- III. Mélanges variétaux : phénotypage et modélisation mécaniste
- IV. Perspectives autour du projet MoBiDiv

# Modèles de génétique quantitative (1/3)

- Mélange des espèces **Barley** et **Pea** : un génotype par espèce ( $B_i + P_j$ )
- Régression d'une variable réponse sur des facteurs génétiques et du design expérimental
- **Cas où la variable réponse n'est pas accessible par espèce**



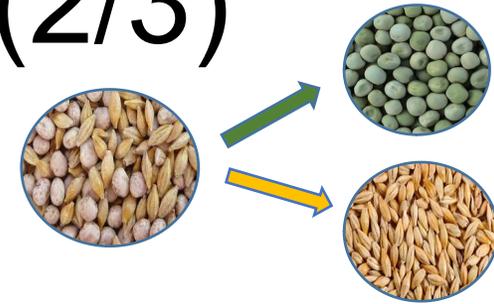
$$E[y_{B_i P_j}] = \mu + GMA_{B_i} + GMA_{P_j} + SMA_{B_i P_j}$$

rdt mélange	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>
P <sub>1</sub>	Y <sub>B1P1</sub>	Y <sub>B2P1</sub>	Y <sub>B3P1</sub>	Y <sub>B4P1</sub>	Y <sub>B5P1</sub>
P <sub>2</sub>	Y <sub>B1P2</sub>	Y <sub>B2P2</sub>	Y <sub>B3P2</sub>	Y <sub>B4P2</sub>	Y <sub>B5P2</sub>
P <sub>3</sub>	Y <sub>B1P3</sub>	Y <sub>B2P3</sub>	Y <sub>B3P3</sub>	Y <sub>B4P3</sub>	Y <sub>B5P3</sub>
P <sub>4</sub>	Y <sub>B1P4</sub>	Y <sub>B2P4</sub>	Y <sub>B3P4</sub>	Y <sub>B4P4</sub>	Y <sub>B5P4</sub>
P <sub>5</sub>	Y <sub>B1P5</sub>	Y <sub>B2P5</sub>	Y <sub>B3P5</sub>	Y <sub>B4P5</sub>	Y <sub>B5P5</sub>

- GMA-SMA : general and specific mixing ability
  - $GMA_{P_j}$  : performance moyenne des mélanges composés du génotype j de l'espèce **Pea**
  - $SMA_{B_i P_j}$  : déviation à l'additivité, spécifique au mélange **B<sub>i</sub>P<sub>j</sub>**

# Modèles de génétique quantitative (2/3)

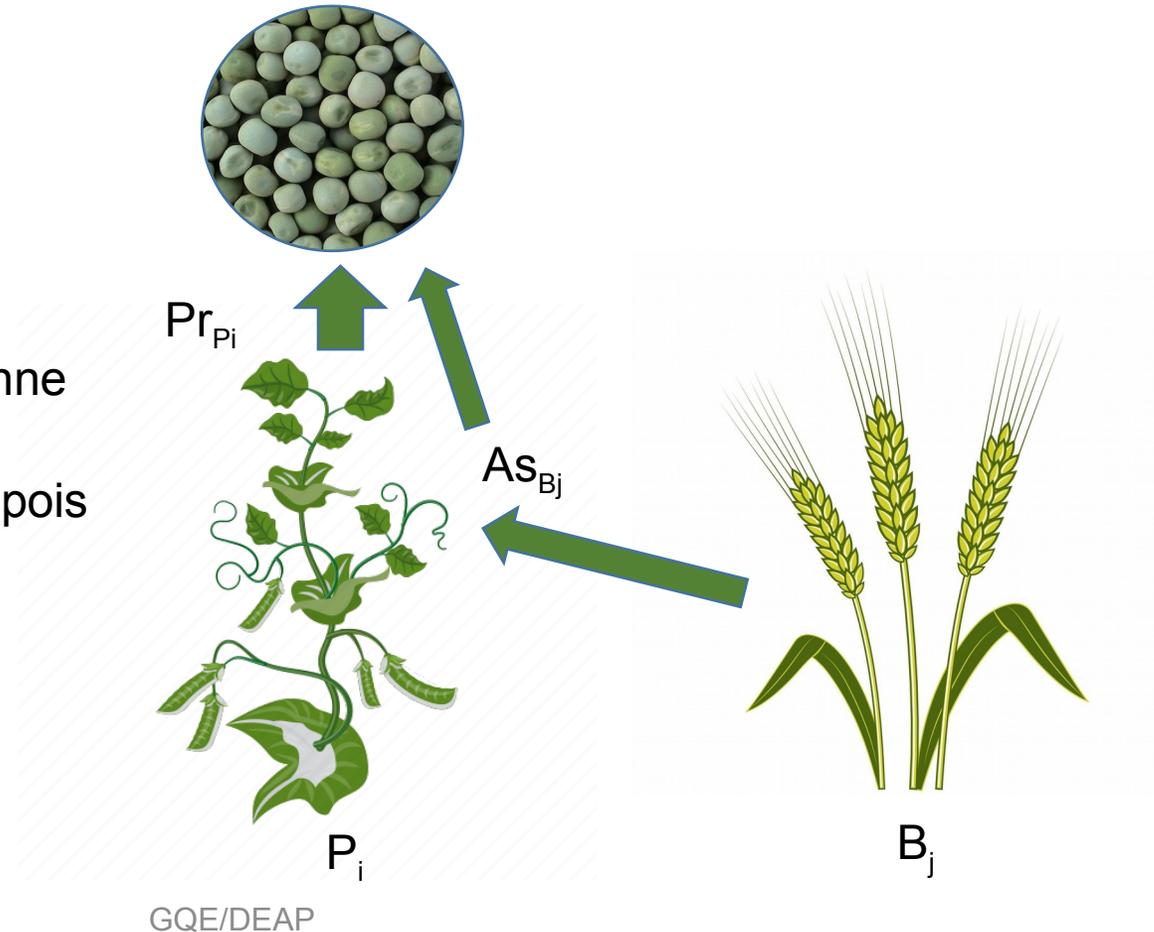
- Cas où la variable réponse est accessible par espèce



Pour le pois :

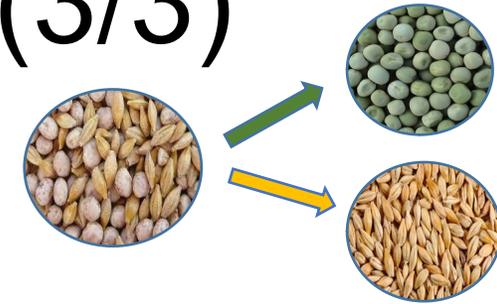
$$E[X_{P_i/B_j}] = \mu_P + Pr_{P_i} + As_{B_j} + PrAs_{P_i/B_j}$$

- $Pr_{P_i}$  : effet **producteur** -> performance moyenne du pois  $P_i$  en mélange avec de l'orge
- $As_{B_j}$  : effet **associé** moyen de l'orge  $B_j$  sur le pois
- $PrAs_{P_i/B_j}$  : interaction spécifique  $P_i \times B_j$  sur la production de pois



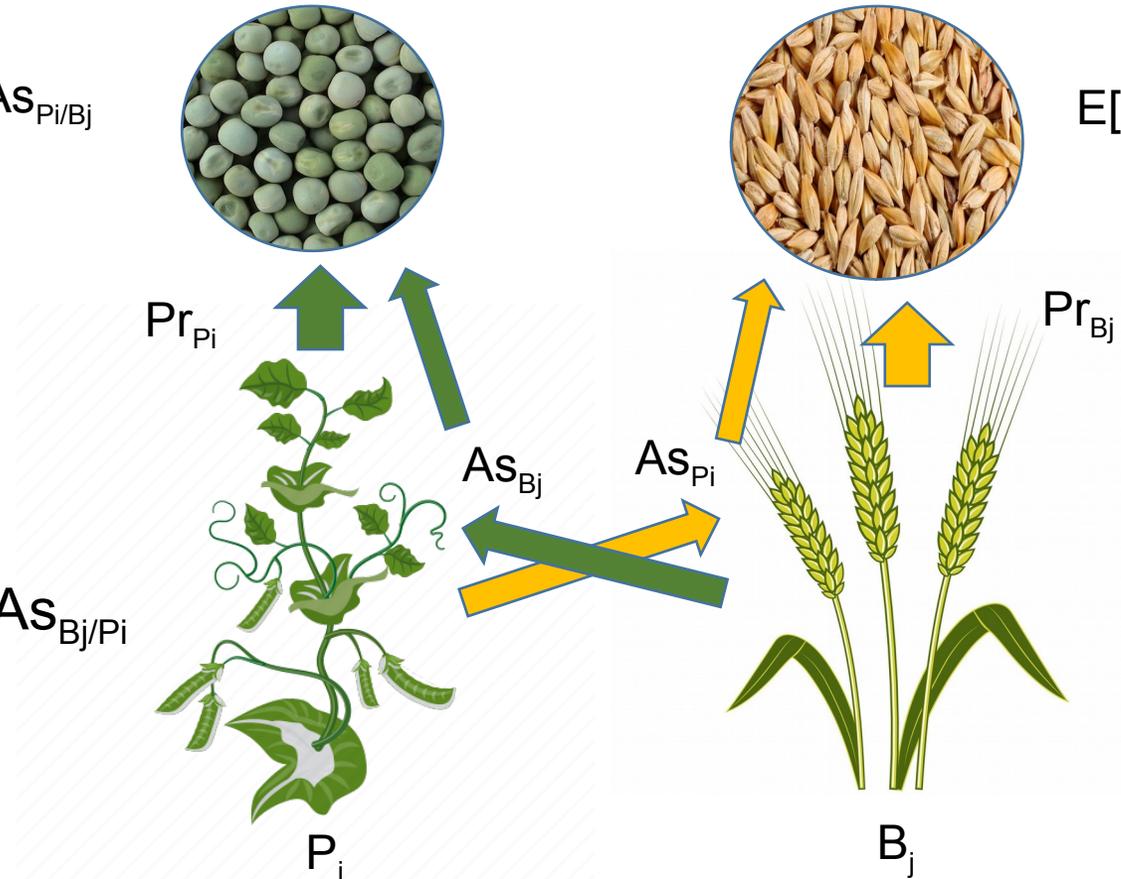
# Modèles de génétique quantitative (3/3)

- Cas où la variable réponse est accessible par espèce



$$E[x_{P_i/B_j}] = \mu_P + Pr_{P_i} + As_{B_j} + PrAs_{P_i/B_j}$$

$$E[x_{B_i/P_i}] = \mu_B + Pr_{B_j} + As_{P_i} + PrAs_{B_j/P_i}$$



- $GMA_{P_i} = Pr_{P_i} + As_{P_i}$
- $SMA_{P_i B_j} = PrAs_{P_i/B_j} + PrAs_{B_j/P_i}$

# Dispositif expérimental

- 32 génotypes de pois et 8 génotypes d'orge
- 2 sites et 2 campagnes



	peas																															
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32
barleys	No barley (pure stand pea)																															
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	No pea (pure stand barley)																															
B1	1	1			1					1				1					1			1				1			1			
B2	1	1				1			1					1		1						1						1		1		
B3	1			1	1				1					1						1	1					1					1	
B4	1		1					1				1			1	1						1						1			1	
B5	1			1			1				1	1					1					1				1		1				1
B6	1	1				1				1	1									1	1				1					1		
B7	1	1					1			1					1		1							1		1						1
B8	1		1					1				1			1				1					1			1	1				

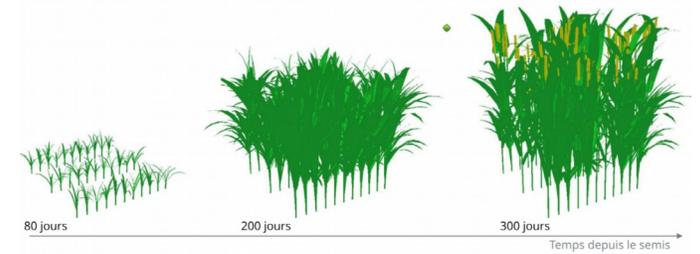
# Plan

- I. Diversification intra-parcelle et interactions plante-plante
- II. Mélanges céréale-légumineuse : effets producteur et associé
- III. Mélanges variétaux : phénotypage et modélisation mécaniste**
  - Estimation des proportions variétales à la récolte
  - Caractères intéressants pour la performance des mélanges
- IV. Perspectives autour du projet MoBiDiv

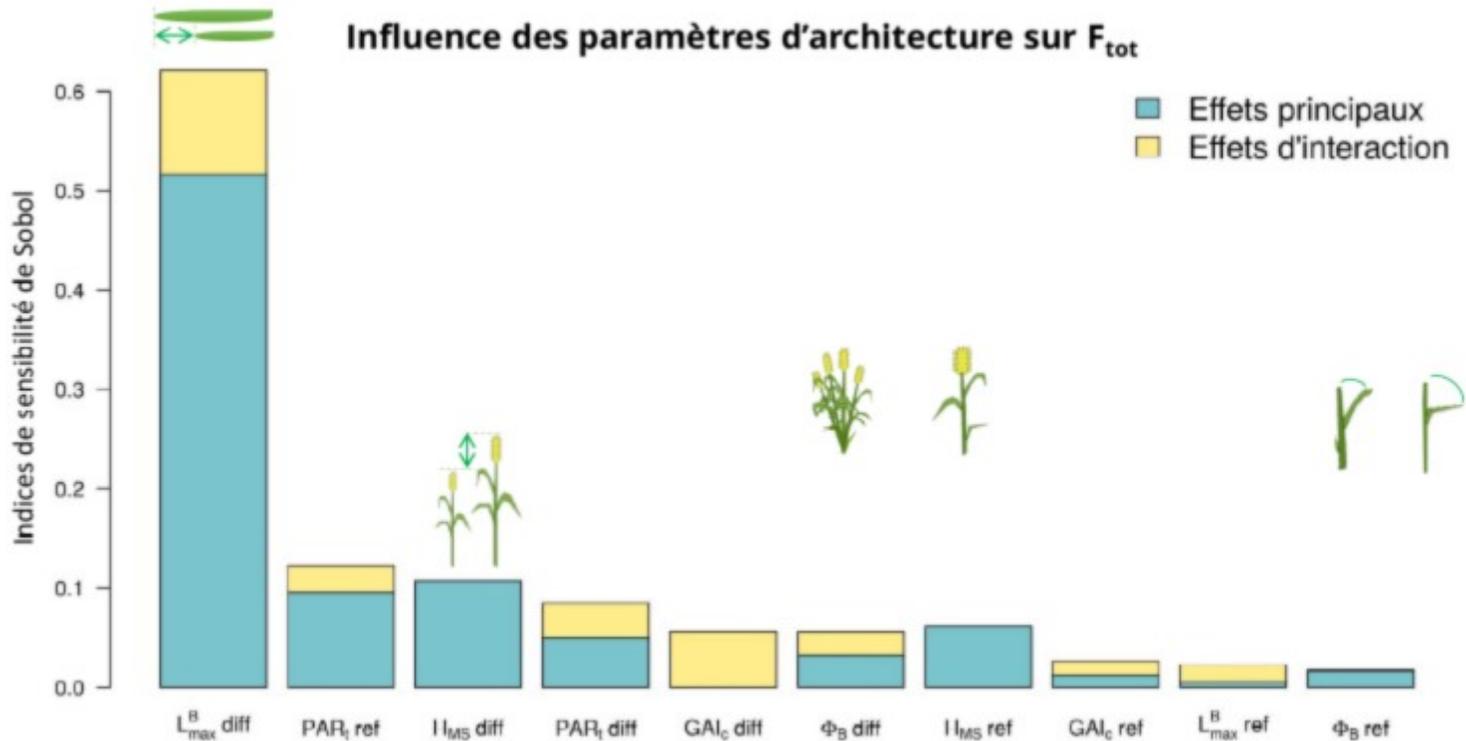
# Plan

- I. Diversification intra-parcelle et interactions plante-plante
- II. Mélanges céréale-légumineuse : effets producteur et associé
- III. Mélanges variétaux : phénotypage et modélisation mécaniste**
  - Estimation des proportions variétales à la récolte
  - Caractères intéressants pour la performance des mélanges
- IV. Perspectives autour du projet MoBiDiv

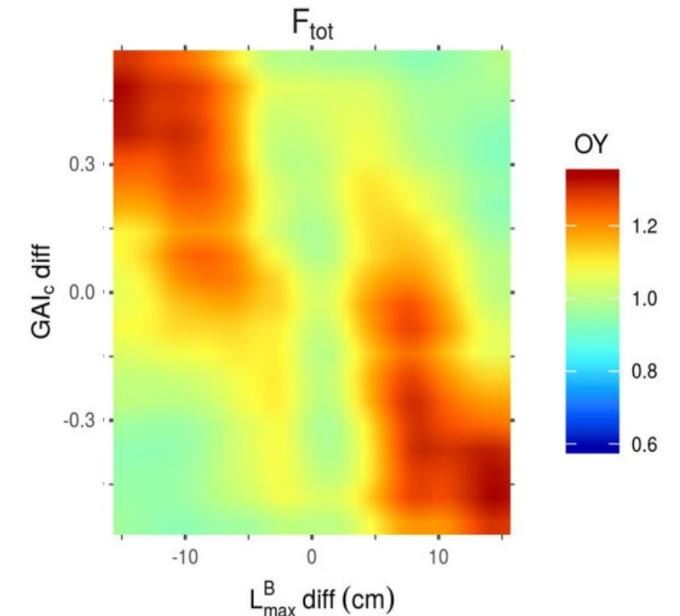
# Modèle mécaniste WALTer



Analyse de sensibilité sur mélange variétal binaire



Effet de différence de traits sur le rendement relatif total



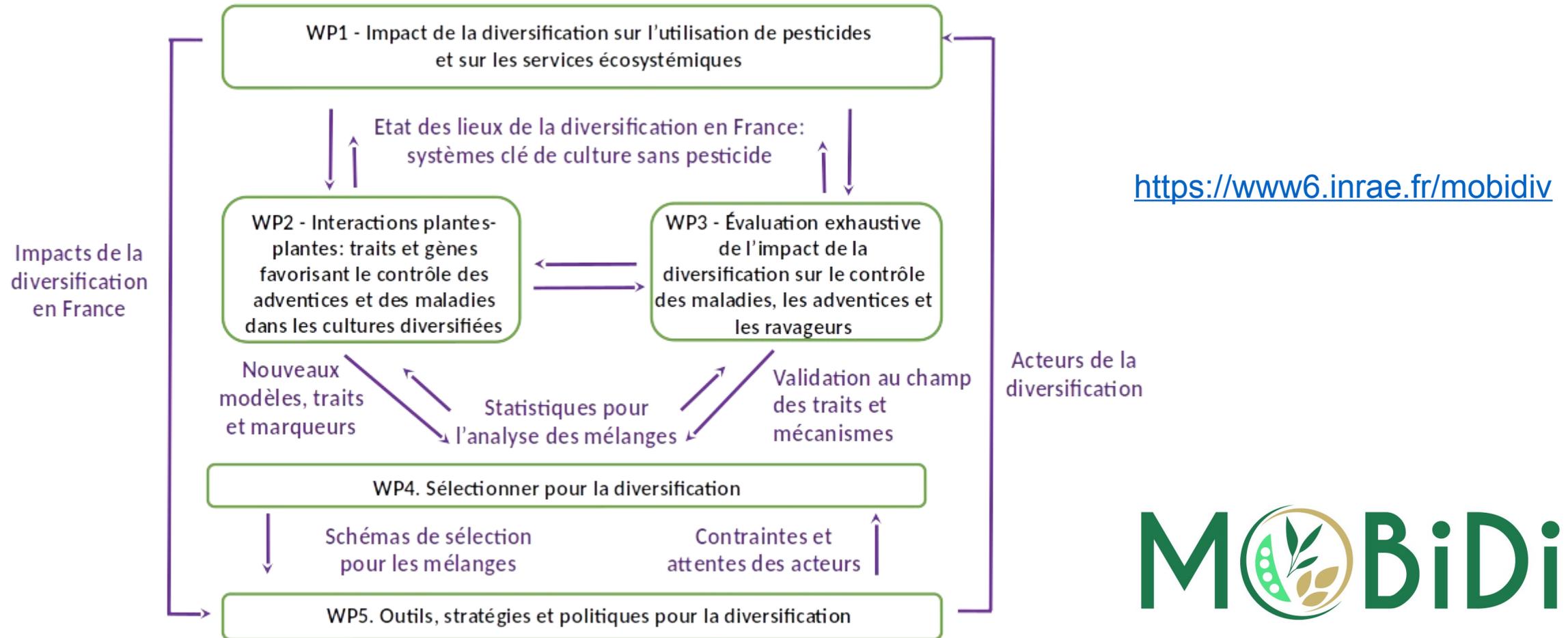
-> Proposition d'idéotypes variétaux complémentaires et de critères d'assemblage

Blanc et al. (2021)

# Plan

- I. Diversification intra-parcelle et interactions plante-plante
- II. Mélanges variétaux : phénotypage et modélisation mécaniste
- III. Mélanges céréale-légumineuse : effets producteur et associé
- IV. Perspectives autour du projet MoBiDiv**

# Mobiliser la diversité intra-parcelle tout au long des systèmes semenciers



# Focus sur la GWAS blé-pois

Quelles sont les **bases génétiques** chez le blé (céréale) de l'**aptitude au mélange** avec le pois (légumineuse), et de la **plasticité phénotypique** en peuplement homogène vs hétérogène ?

## Génétique d'association :

- 200 génotypes de blé et 2 testeurs pois
- 2 sites : Saclay et Rennes
- 2 campagnes : 2023-24 et 2024-25
- GQE (JE, TF, TMH) et IGEPP (AB, NM)


$$y = X\beta + Z_D DGE + Z_I IGE + \epsilon$$
$$\begin{bmatrix} DGE \\ IGE \end{bmatrix} \sim \mathcal{N}(\mathbf{0}, C \otimes A)$$
$$\epsilon \sim \mathcal{N}(\mathbf{0}, \Sigma)$$

## En cours de montage :

- Phénotypage HD par drone
- Couplage modélo. mécaniste + validation chez privés

# Focus sur la GWAS blé-pois

L'Unité expérimentale Versailles-Saclay RECRUTE !  
Trois postes ouverts au concours INRAE 2022

Quelles sont les  
le blé (céréale) de  
avec le pois (légumineuse)  
**plasticité phénotypique** en peuplement  
homogène vs hétérogène ?



## Génétique d'association :

- 200 gé Un.e ingénieur.e de recherche pour diriger l'unité
- 2 sites [Voir l'annonce sur INRAE JOBS](#)
- 2 caméras [Voire le webinaire de présentation](#)
- GQE ( [Deux technicien.nes en expérimentation et production végétales](#)

## nontage :

- HD par drone
- modèle. mécaniste
- + validation chez privés

# Remerciements

## FiBL

Benedikt Haug  
Monika Messmer  
Pierre Hohmann

## IGEPP

Alain Baranger  
Nathalie Moutier

## GQE le Moulon

Isabelle Goldringer  
Emma Forst  
Tristan Mary-Huard  
Emmanuelle Blanc  
Adrien Belny

## MIA Paris

Pierre Barbillon

## AGAP

Martin Ecartot  
Pierre Roumet  
Christophe Pradal

## LEPSE

Christian Fournier

