



Carrefours de l'innovation agronomique

➤ Identification d'idéotypes variétaux pour la gestion des adventices. Pois pour associations pois-blé

Nathalie COLBACH, Delphine Moreau, Judith Burstin
INRAE Agroécologie Dijon (Nathalie.Colbach@inrae.fr)



Dans le cadre du plan Écophyto II+ et co-piloté par les Ministères de la Transition Écologique, de l'Agriculture et de l'Alimentation, des Solidarités et de la Santé et de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

Voir Intro Colloque



Combinations de techniques partiellement efficaces avec interactions

Liebman & Gallandt (1997) Many Little Hammers: Ecological Management of Crop-Weed Interactions.

Diversification des cultures

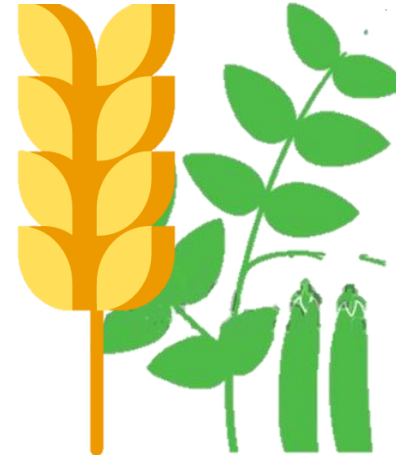
Weisberger et al (2019) PLOS ONE
Adeux et al (2019) Agron Sustain Dev
Nathalie Colbach

Cultures associées & Nouvelles variétés

Moins d'espace & ressources pour les adventices

Bénéfique pour légumineuses peu compétitrices comme le pois

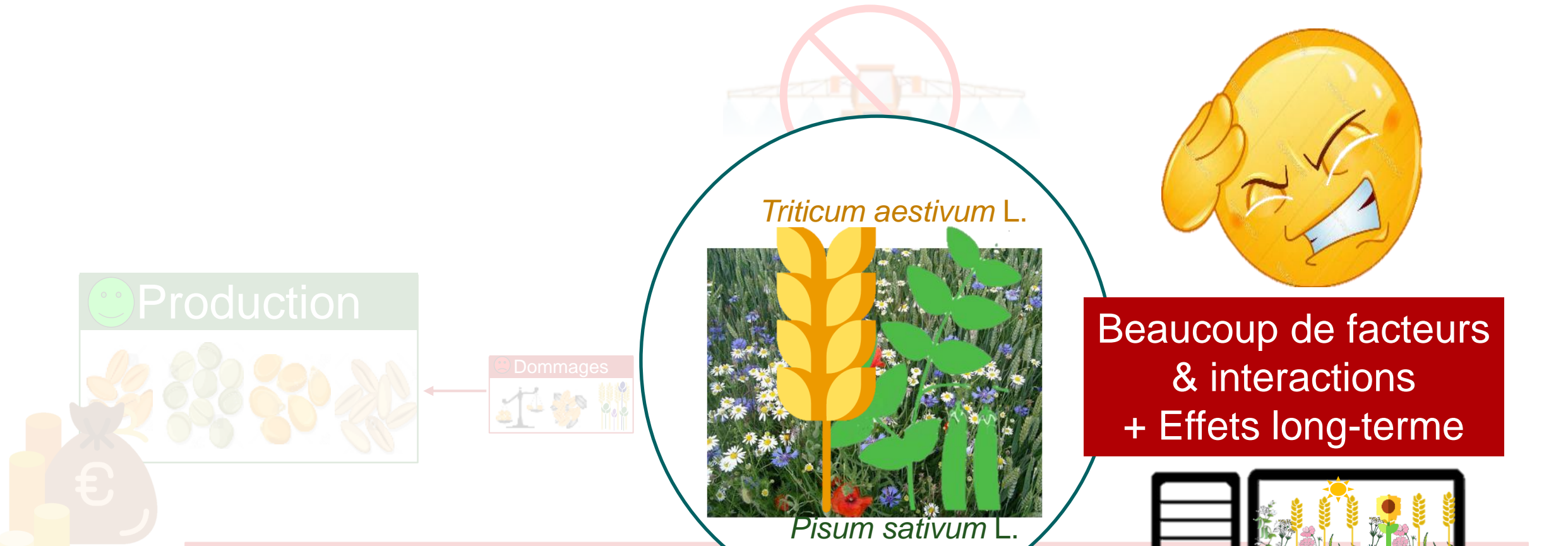
Triticum aestivum L.



Pisum sativum L.

Diversification des cultures

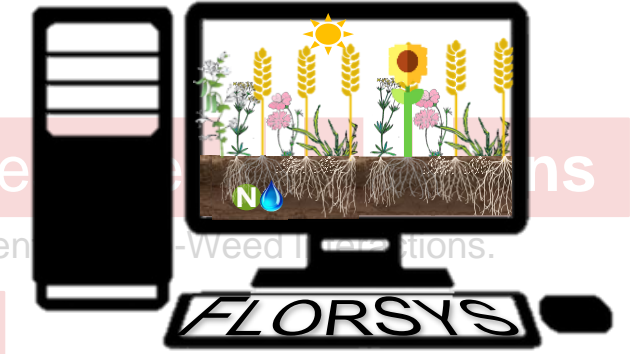
Weisberger et al (2019) PLOS ONE
 Adeux et al (2019) Agron Sustain Dev
 Nathalie Colbach



Objectif = Identifier

- Effet des associations vs cultures pures
- **Ideotypes** (variétés idéales) pois x blé
= f(objectif de production, gestion de l'association)

Beaucoup de facteurs & interactions + Effets long-terme



Voir Intro Colloque

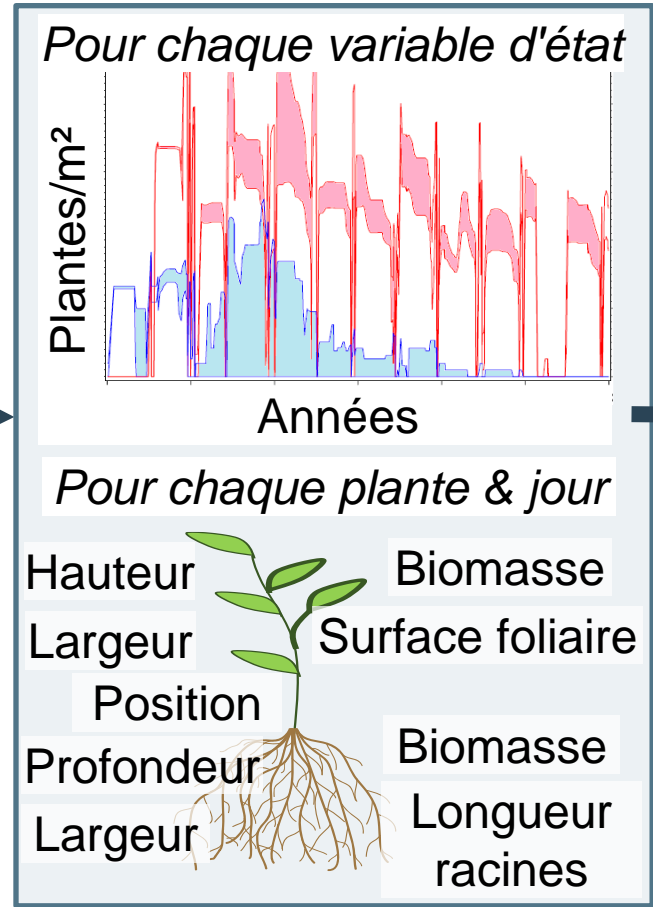
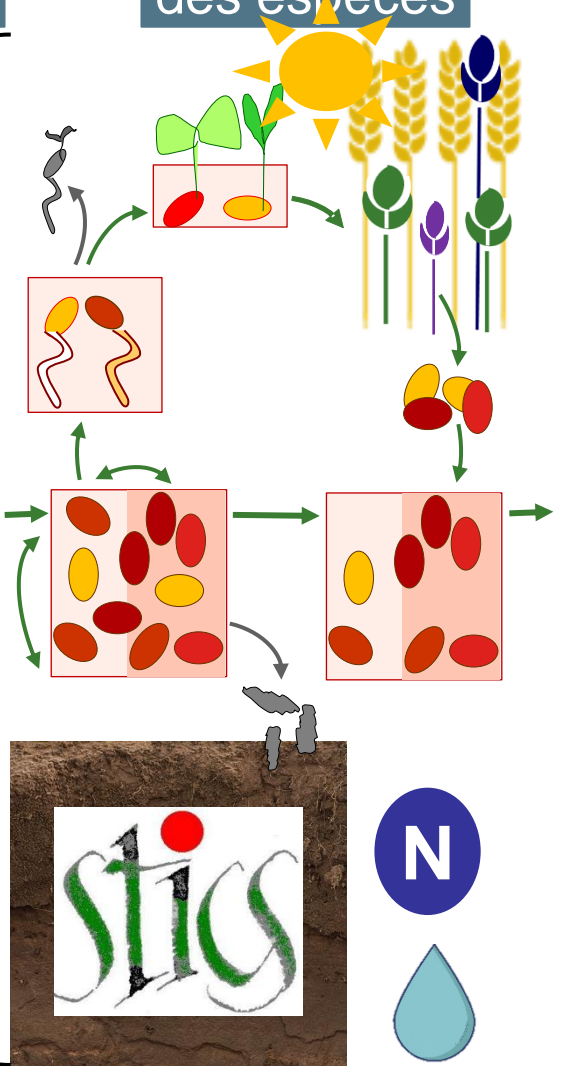


Management operations

Year 1

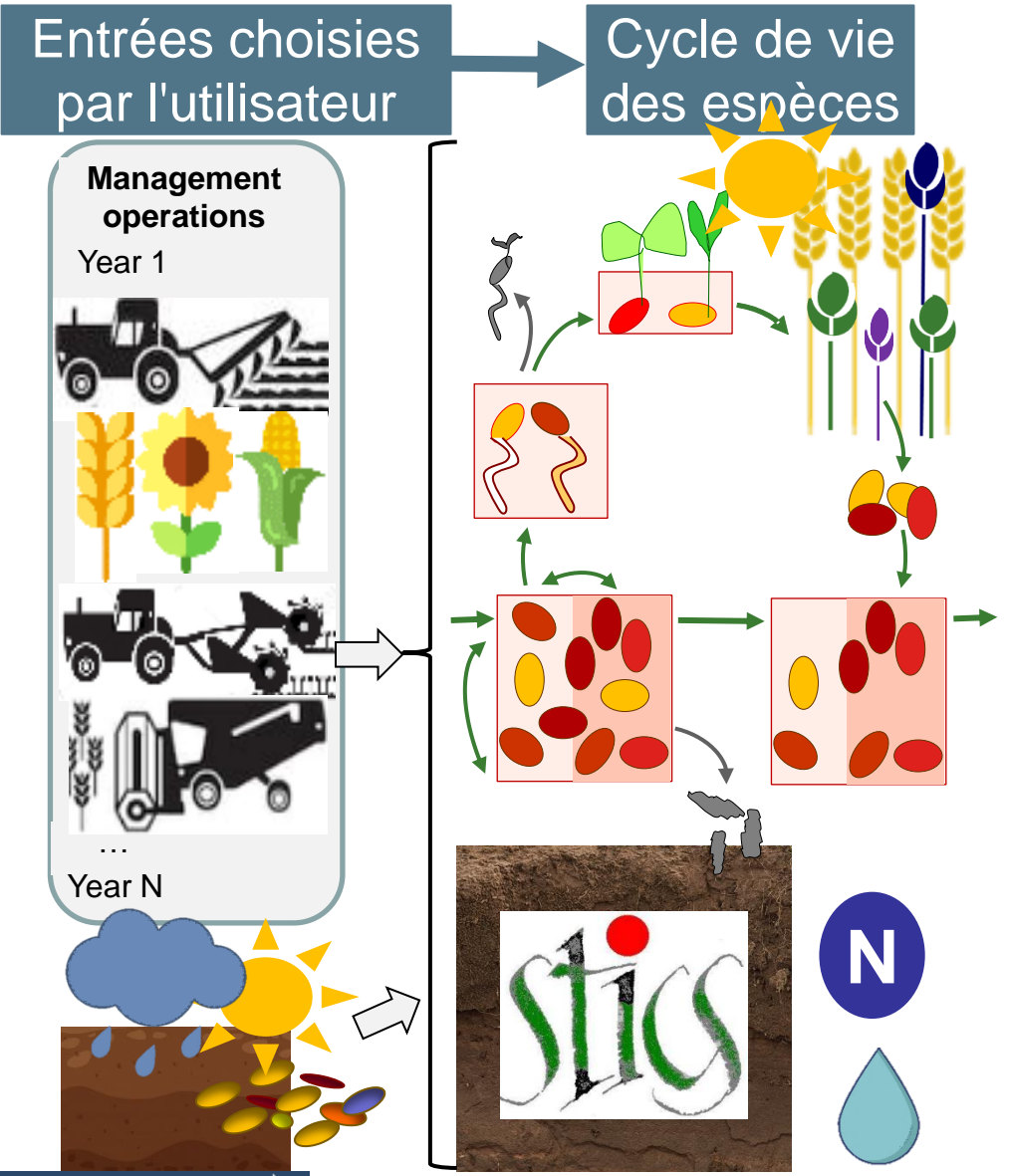


Year N

- 😊 Production des cultures
- 😞 Nuisibilité des adventices
- 😊 Biodiversité

Indicator 1	Indicator 2	Indicator 3	...
0	0	9	
6	4	9	
10	5	0	
9	5	10	
3	7	4	
7	0	1	
8	5	7	
7	6	9	
2	3	4	
3	3	5	
3	4	1	
8	5	8	



Compétition pour ...

...l'eau pendant la germination/levée

...la lumière après la levée des plantes

(systèmes de grande culture tempérée)

Variétés existantes



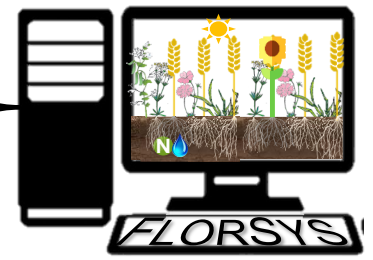
Colbach et al (2022) Frontiers Plant Sci

Variété	Seasonalité	Morphologie foliaire
886/1	Hiver-Hr	Afila
China	Hiver -Hr	Feuillu
DCG0449	Hiver -Hr	Feuillu
Enduro	Hiver -hr	Afila
Isard	Hiver -hr	Afila
Cameor	Printemps	Feuillu
Kayanne	Printemps	Afila



Caphorn	Winter
Cézanne	Winter
Orvantis	Winter

Colbach et al (2020) Eur J Agron



Nathalie Colbach

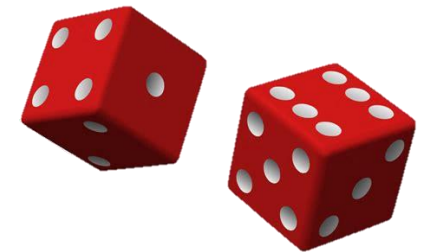
Variétés existantes

Variétés virtuelles

Variété	Seasonalité	Morphologie foliaire
886/1	Hiver-Hr	Afila
China	Hiver -Hr	Feuillu
DCG0449	Hiver -Hr	Feuillu
Enduro	Hiver -hr	Afila
Isard	Hiver -hr	Afila
Cameor	Printemps	Feuillu
Kayanne	Printemps	Afila

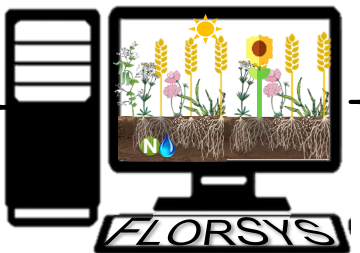
➔ Diversité de variétés dans la simulation

- Tirer des valeurs au hasard dans [min, max] pour chaque paramètre avec un plan LHS
- Respecter les corrélations entre paramètres établies sur les variétés existantes



5 variétés de pois d'hiver
 5 variétés de pois de printemps
Colbach et al (2022) Frontiers Plant Sci

10 variétés de blé
Colbach et al (in revision) Field Crops Res



Colbach et al (2022) Frontiers Plant Sci



Caphorn	Winter
Cézanne	Winter
Orvantis	Winter

Colbach et al (2020) Eur J Agron

Nathalie Colbach

Plan expérimental (simulation)

1. Créer systèmes de culture contrastés

- 3600 systèmes de culture tirés avec plan LHS (≠ rotations, bio vs conventionnel, sans vs avec travail du sol, flore riche vs pauvre ...)



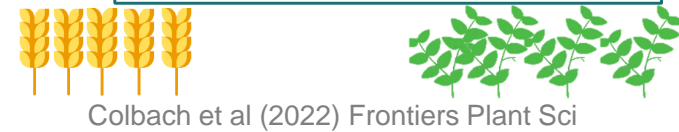
Rotations avec

2. Associations pois-blé

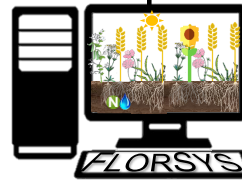
- Choix randomisé des variétés de pois et de blé parmi réelles & virtuelles
- Dispositifs: 1/3 substitutif + 1/3 additif + 1/3 incomplet



3. Pois pur et blé pur



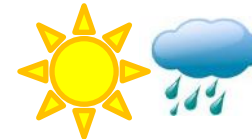
4. Avec adventices



5. Sans adventices



- 12 années
- 5 scénarios climatiques



Nathalie Colbach

Plan expérimental (simulation)

1. Créer systèmes de culture contrastés

- 3600 systèmes de culture tirés avec plan LHS (≠ rotations, bio vs conventionnel, sans vs avec travail du sol, flore riche vs pauvre ...)



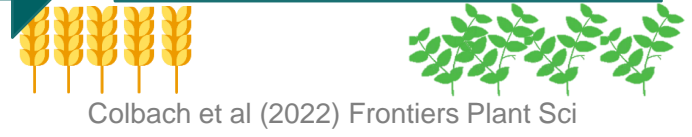
Rotations avec

2. Associations pois-blé

Effet des associations

3. Pois pur et blé pur

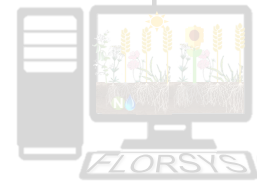
- Choix randomisés des variétés de pois et de blé parmi réelles & virtuelles
- Dispositif 3 additif + 1/3 incomplet



Colbach et al (2022) Frontiers Plant Sci

4. Avec adventices

5. Sans adventices



- 12 années
- 5 scénarios climatiques



Plan expérimental (simulation)

1. Créer systèmes de culture contrastés

- 3600 systèmes de culture tirés avec plan LHS (≠ rotations, bio vs conventionnel, sans vs avec travail du sol, flore riche vs pauvre ...)



Rotations avec

2. Associations pois-blé

- Choix randomisés de pois et de blé parmi réelles & virtuelles
- Disposition en rangs + 1/3 incomplet

2. Pois pur et blé pur

Rendement réel

Rendement potentiel

4. Avec adventices

Effet des adventices

Sans adventices



- 12 années
- 5 scénarios climatiques



Nathalie Colbach

Plan expérimental (simulation)

1. Créer systèmes de culture contrastés

- 3600 systèmes de culture tirés avec plan LHS (≠ rotations, bio vs conventionnel, sans vs avec travail du sol, flore riche vs pauvre ...)



Rotations avec

2. Associations pois-blé

- Choix randomisé des variétés de pois et de blé parmi réelles & virtuelles
- Dispositifs: 1/3 substitutif + 1/3 additif + 1/3 incomplet

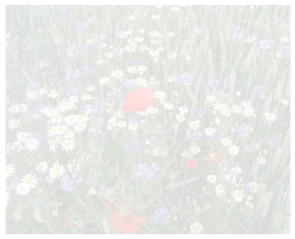


3. Pois pur et blé pur



**Effets long-terme
Robustesse vs météo**

4. Avec adventices



5. Sans adventices

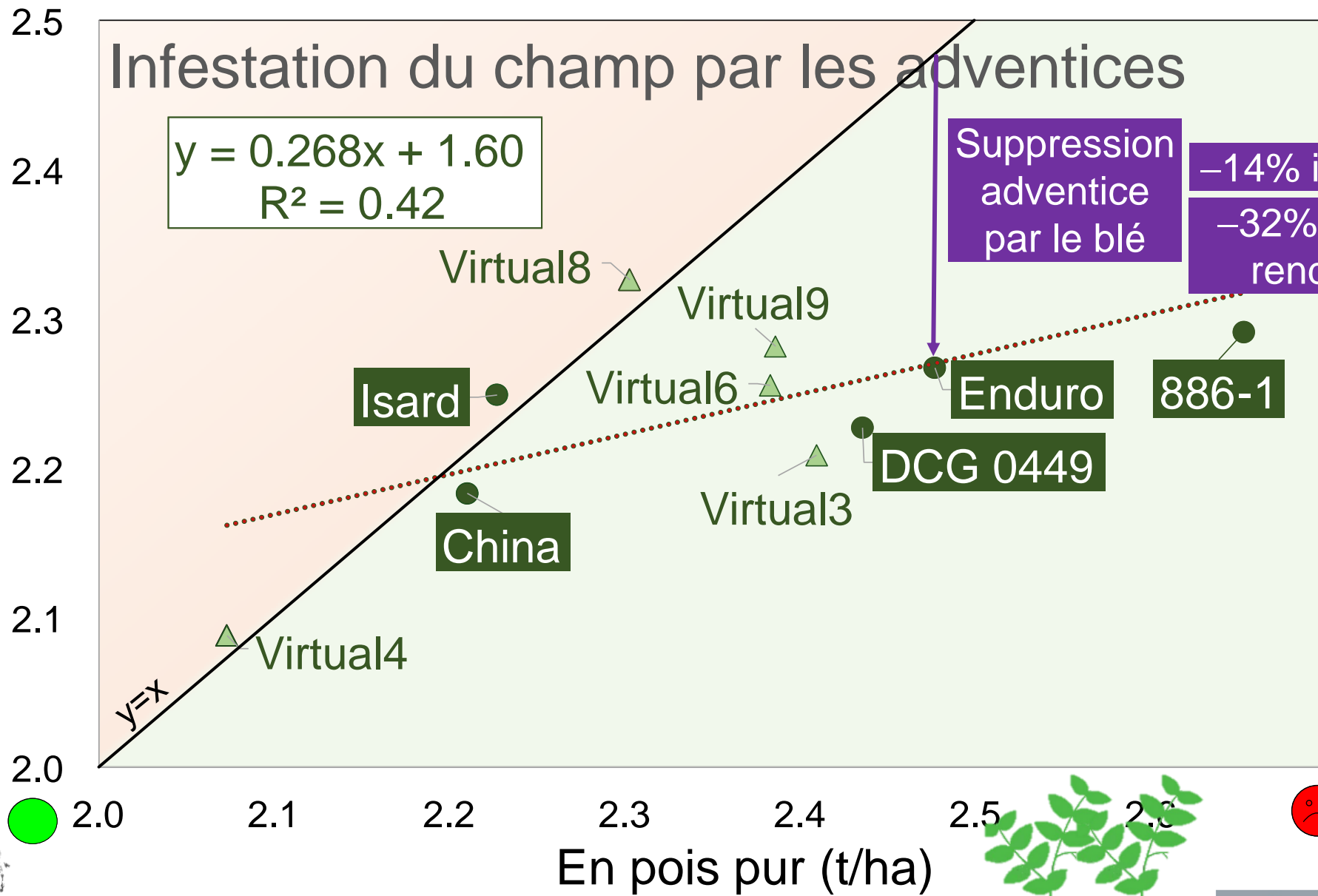


- 12 années
- 5 scénarios climatiques



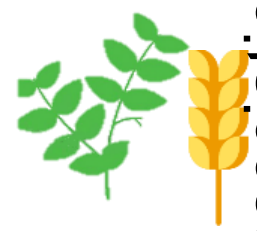
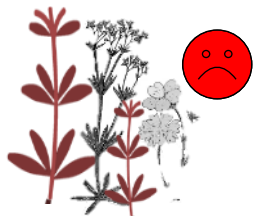


En association (t/ha)

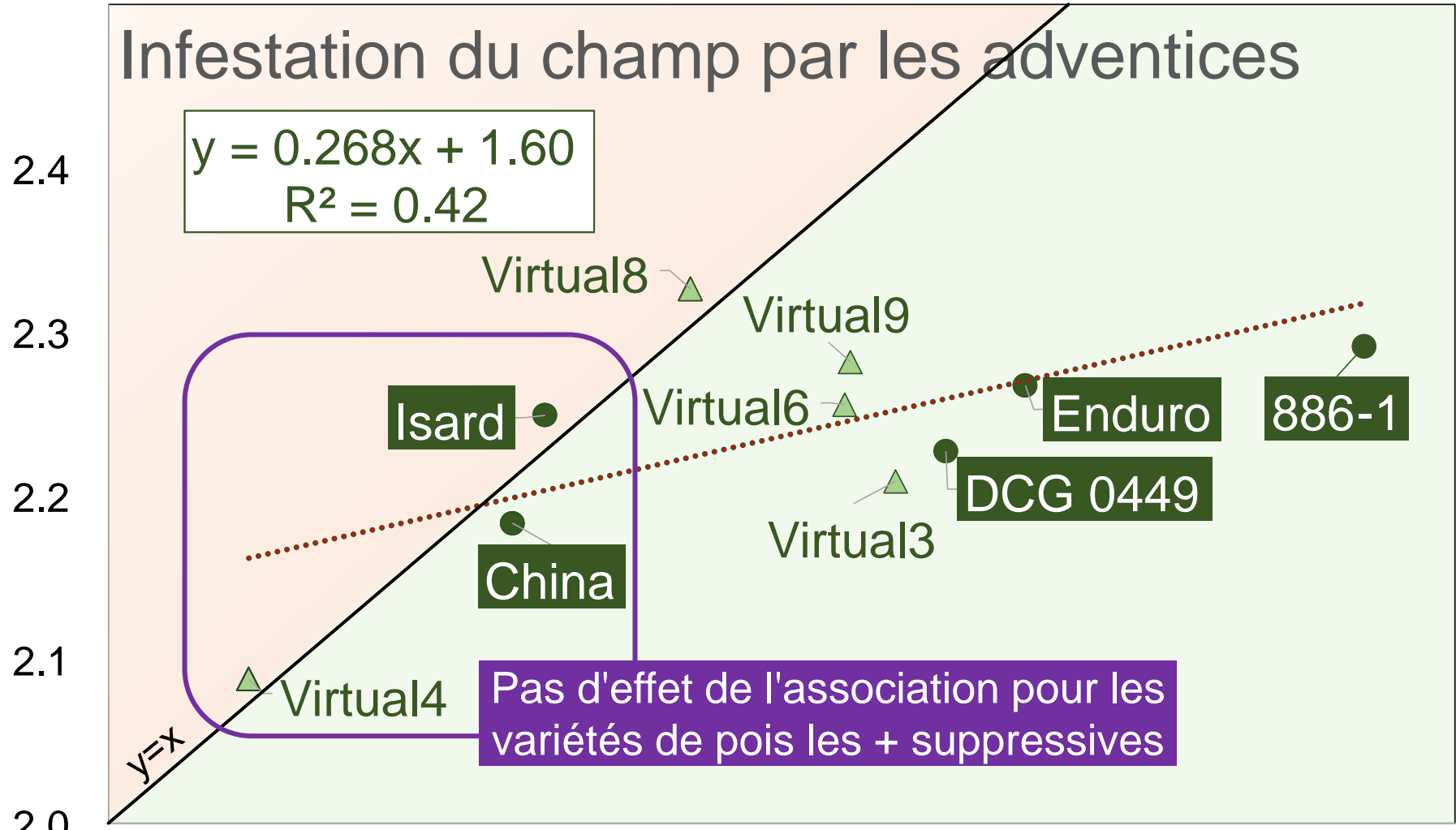


Anova: biomasse adventice = f(variété, système de culture, scénario climatique, etc)
Colbach et al (in revision) Field Crops Res



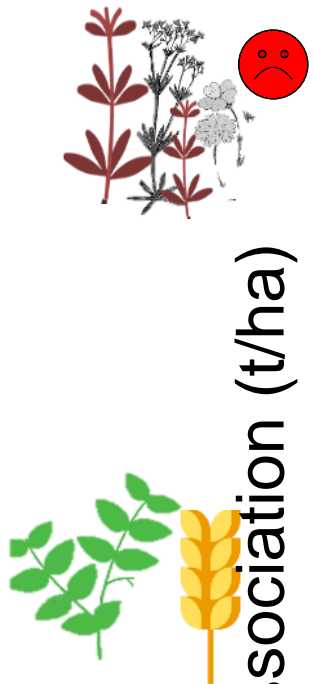


En association (t/ha)



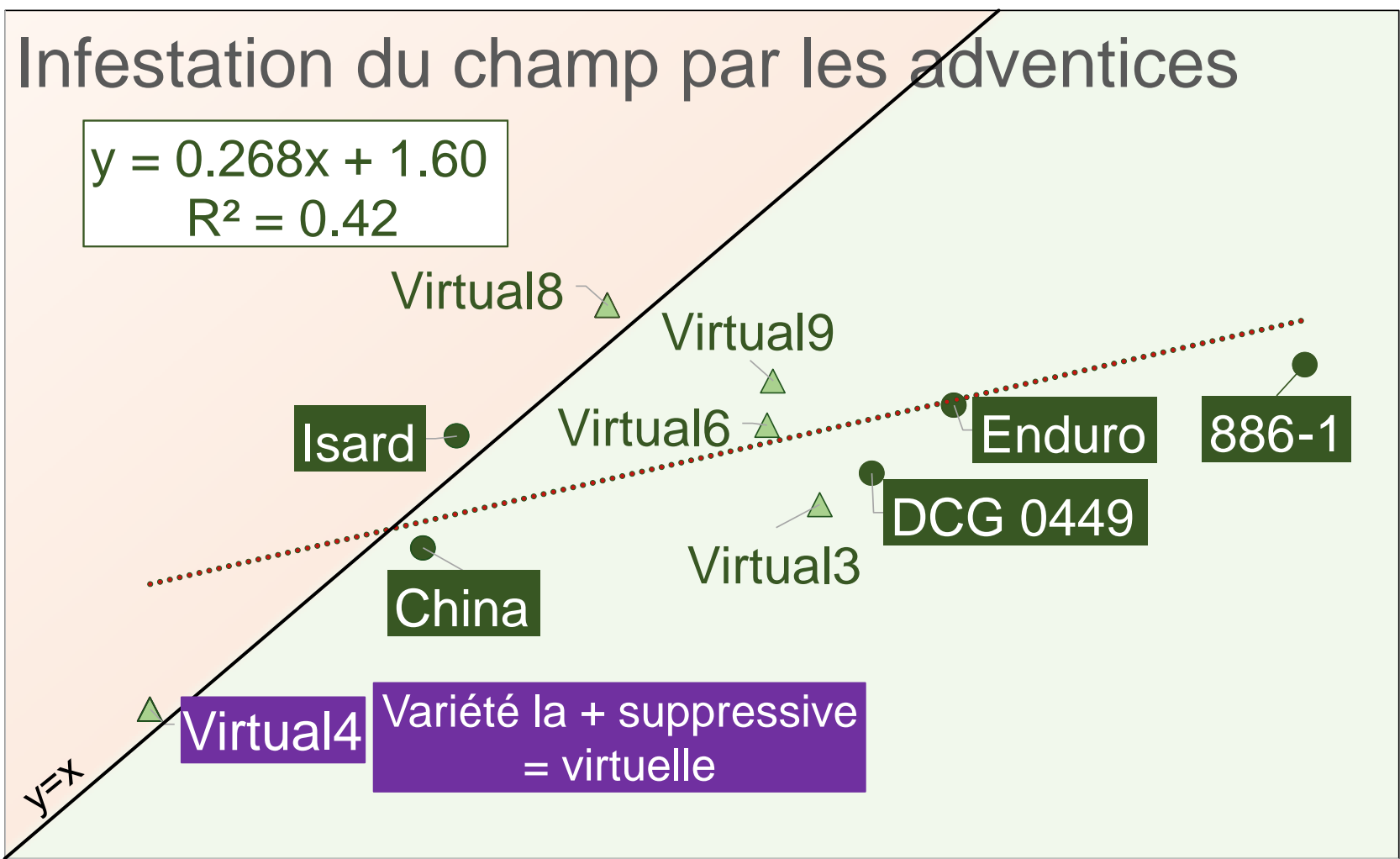
Anova: biomasse adventice = f(variété, système de culture, scénario climatique, etc)
Colbach et al (in revision) Field Crops Res





En association (t/ha)

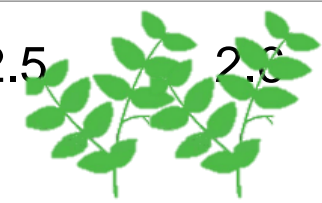
2.5
2.4
2.3
2.2
2.1
2.0



Anova: biomasse adventice = f(variété, système de culture, scénario climatique, etc)
Colbach et al (in revision) Field Crops Res

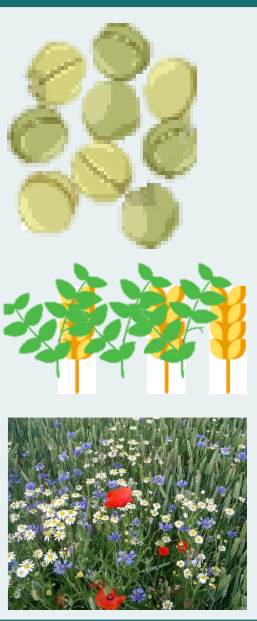


En pois pur (t/ha)

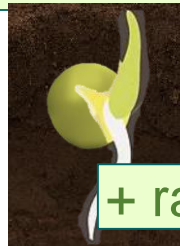


Meilleure combinaison pois-blé en dispositif additif

≠ clé bénéfiques avec variétés réelles



Idéotype pois a1



+ rapide



+ rapide
+ homogène



Précéder les adventices

↗
%biomasse pour feuilles



Feuilles en haut



Intercepter + de lumière au-dessus des adventices & blé

Reproduction À l'ombre

+ large par unité biomasse

Largeur & hauteur + homogènes



Racines proches de la surface



Laisser moins d'eau aux adventices

Meilleure croissance en sol compacté

Classification and Regression Trees
Colbach et al (in revision)
Field Crops Res



Meilleure combinaison pois-blé en dispositif additif

≠ clé bénéfiques avec variétés réelles

Idéotype pois a1

Idéotype blé a1*

+ rapide

+ rapide
+ homogène

+ rapide

Précéder adventices

Moins gélif

↗
%biomasse pour feuilles

Feuilles en haut

Limiter levée adventices

Wider

+ de compétition pour adventices

Reproduction À l'ombre

+ large par unité biomasse

Largeur & hauteur + homogènes

+ petite par unité biomasse

Laisse + de lumière pour le pois

Racines proches de la surface

Meilleure croissance en sol compacté

Moins de biomasse aérienne gênant le pois

↗
%biomasse pour racines

Feuilles en bas

Classification and Regression Trees
Colbach et al (in revision)
Field Crops Res

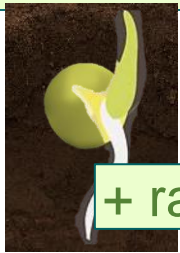
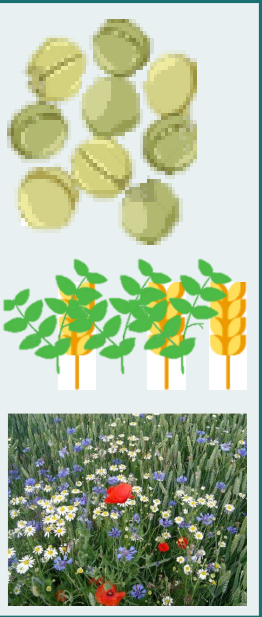


Meilleure combinaison pois-blé en dispositif additif

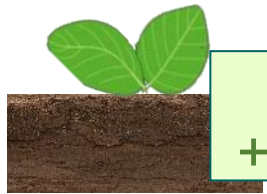
≠ clé bénéfiques avec variétés réelles

Idéotype pois a1

Idéotype blé a1*



+ rapide



+ rapide
+ homogène

↗
%biomasse
pour feuilles



Feuilles
en haut

Reproduction
À l'ombre

+ large par
unité biomasse

Largeur & hauteur
+ homogènes



Racines proches
de la surface

Meilleure croissance
en sol compacté



+ rapide

Précéder
adventices



Moins
gélif

Limiter levée
adventices



Wider



+ de
compétition
pour
adventices

+ petite
par unité
biomasse



Laisse +
de
lumière
pour le
pois

Moins de
biomasse
aérienne
gênant le
pois



%biomasse
pour racines

Feuilles
en bas



Classification and
Regression Trees
Colbach et al (in revision)
Field Crops Res

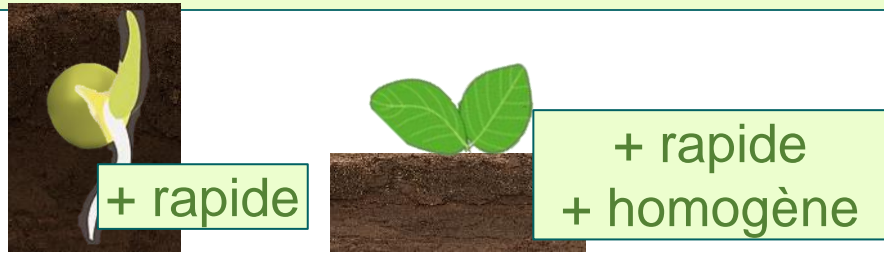
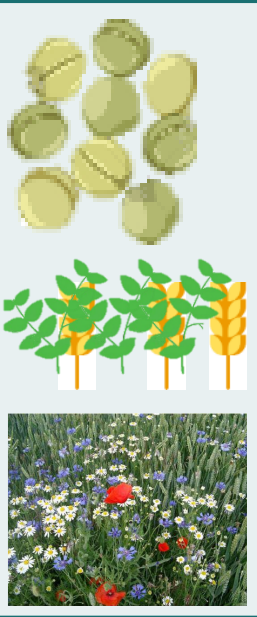


Meilleure combinaison pois-blé en dispositif additif

≠ clé bénéfiques avec variétés réelles

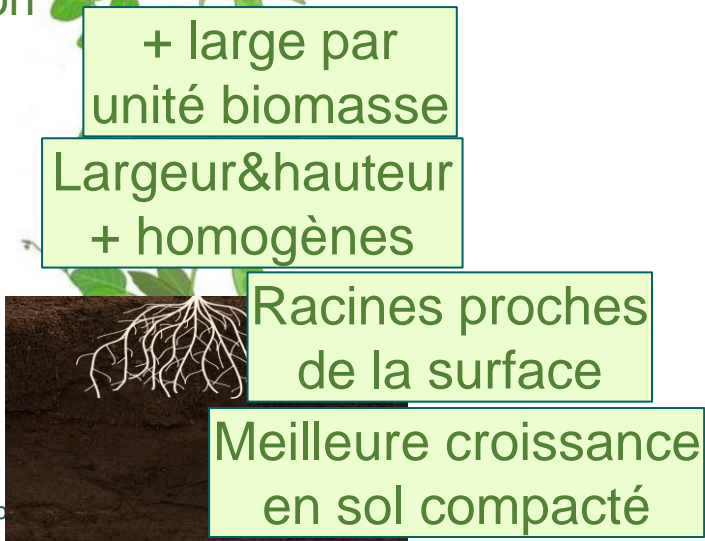
Idéotype pois a1

Idéotype blé a1*



↗
%biomasse pour feuilles
Feuilles en haut

Reproduction À l'ombre



Classification and Regression Trees
Colbach et al (in revision)
Field Crops Res



Combinaisons de traits de pois x blé = f(dispositif association, objectif de production)



Dispositif d'association =		Additif	
Traits de pois	Combinations of beneficial PEA characteristics		
	Seed dormancy	a1	
	Germination onset	Similar	
	Pre-emergent root growth speed (lower drought risk)	Faster	
	Pre-emergent seedling loss due to seed depth	Similar	
	Pre-emergent seedling loss due to soil compaction	Similar	
	Post-emergent growth	Faster	
	Inter-plant heterogeneity in post-emergent leaf area	Smaller	
	Maximum plant height	Smaller	
	Plant height homogeneity	reproduction	
	Plant width homogeneity	vegetative	
	Plant width per biomass	vegetative	
	% biomass allocated to leaves	reproduction	
	Leaf area distribution along plant height	emergence	
	Shading response	Plant height per biomass	emergence
		Plant width per biomass	reproduction
		% biomass allocated to leaves	vegetative
		Leaf area per leaf biomass	reproduction
		Leaf area distribution along plant height	vegetative
	Root-system width (maximum)	reproduction	
Root biomass distribution			
Root growth in compacted soil			
Frost sensitivity	reproduction		
Photosynthesis in warm conditions			
Combinations of beneficial WHEAT characteristics		a1*	
Emergence of shallow seeds			
Maximum pre-emergent shoot length	Faster		
Seedling mortality in broadcast seeds	Less		
Post-emergent growth			
Leaf area at emergence			
Maximum plant width	Wider		
Plant height per biomass	reproduction		
Leaf area distribution along plant height	reproduction		
Biomass allocation to roots	More		
Root-system growth			
Root biomass distribution	Similar		
Light conversion efficiency			
Photosynthesis efficiency in cool conditions			
Frost sensitivity	emergence		
Frost sensitivity	reproduction		

Classification and Regression Trees
Colbach et al (in revision)
Field Crops Res

Combinaisons de traits de pois x blé = f(dispositif association, objectif de production)



Dispositif d'association =		Additif		
		a1	a2	
Traits de pois				
Combinations of beneficial PEA characteristics				
Seed dormancy		Similar		
Germination onset		Similar		
Pre-emergent root growth speed (lower drought risk)		Faster	Faster	
Pre-emergent seedling loss due to seed depth		Similar		
Pre-emergent seedling loss due to soil compaction		Similar		
Post-emergent growth		Faster	Slower	
Inter-plant heterogeneity in post-emergent leaf area		Smaller	Smaller	
Maximum plant height		Smaller	Taller	
Plant height homogeneity	reproduction	Better		
Plant width homogeneity	vegetative	Better		
Plant width per biomass	vegetative	Narrower		
	reproduction	Wider	Wider	
% biomass allocated to leaves	emergence	Less	Less	
	reproduction	More	More	
Leaf area distribution along plant height	emergence	Lower	Higher	
	vegetative	Higher	Higher	
Shading response	Plant height per biomass	emergence	Smaller	Taller
	Plant width per biomass	reproduction	Wider	Narrower
	% biomass allocated to leaves	vegetative	More	
		reproduction	More	Less
	Leaf area per leaf biomass	reproduction	Smaller	
	Leaf area distribution along plant height	vegetative	Higher	Lower
		reproduction	Lower	Lower
Root-system width (maximum)		Similar		
Root biomass distribution		Shallow	Deeper	
Root growth in compacted soil		Better	Worse	
Frost sensitivity	reproduction			
Photosynthesis in warm conditions		Worse	Better	
Traits de blé				
Combinations of beneficial WHEAT characteristics				
Emergence of shallow seeds		Faster	Faster	
Maximum pre-emergent shoot length				
Seedling mortality in broadcast seeds		Less		
Post-emergent growth			Slower	
Leaf area at emergence				
Maximum plant width		Wider	Wider	
Plant height per biomass	reproduction	Smaller		
Leaf area distribution along plant height	reproduction	Lower	Higher	
Biomass allocation to roots		More		
Root-system growth			Faster	
Root biomass distribution		Similar	Similar	
Light conversion efficiency			Worse	
Photosynthesis efficiency in cool conditions			Worse	
Frost sensitivity	emergence	Better	Better	
Frost sensitivity	reproduction			
		a1*	a2*	

Classification and Regression Trees
Colbach et al (in revision)
Field Crops Res

Combinaisons de traits de pois x blé = f(dispositif association, objectif de production)



Dispositif d'association =		Additif		Substitutif		Incomplet		
		a1	a2	s1	s2	i1	i2	
Traits de pois	Combinations of beneficial PEA characteristics							
	Seed dormancy							
	Germination onset	Similar			Earlier			
	Pre-emergent root growth speed (lower drought risk)	Faster	Faster	Faster	Slower	Slower		
	Pre-emergent seedling loss due to seed depth	Similar			Less			
	Pre-emergent seedling loss due to soil compaction	Similar			More			
	Post-emergent growth	Faster	Slower		Faster			
	Inter-plant heterogeneity in post-emergent leaf area	Smaller	Smaller	Smaller	Larger			
	Maximum plant height	Smaller	Taller			Similar		
	Plant height homogeneity	Better			Worse			
	Plant width homogeneity	Better		Better	Worse			
	Plant width per biomass	Narrower			Large			
	%biomass allocated to leaves	emergence	Wider	Wider	Wider	Narrower	Similar	
	Leaf area distribution along plant height	reproduction	Less	Less	Less	More	Similar	
		reproduction	More	More	More	Similar	Similar	
		emergence	Lower	Higher	Higher	Higher	Lower	
		vegetative	Higher	Higher	Higher	Lower	Lower	
	Shading response	Plant height per biomass	emergence	Smaller	Taller	Smaller	Taller	Smaller
		Plant width per biomass	reproduction	Wider	Narrower	Narrower	Narrower	Wider
		% biomass allocated to leaves	vegetative	More		More	Less	More
			reproduction	More	Less	Less	Less	
		Leaf area per leaf biomass	reproduction	Smaller		Smaller	Larger	
		Leaf area distribution along plant height	vegetative	Higher	Lower		Lower	Higher
			reproduction	Lower	Lower	Lower	Higher	Higher
	Root-system width (maximum)		Similar			Wider		
Root biomass distribution		Shallow	Deeper		Deeper	Shallow		
Root growth in compacted soil		Better	Worse		Worse	Better		
Frost sensitivity	reproduction				Lower			
Photosynthesis in warm conditions		Worse	Better	Better	Similar	Worse		
		a1*	a2*	s1*	s2*	i1*	i2*	
Traits de blé	Combinations of beneficial WHEAT characteristics							
	Emergence of shallow seeds	Faster	Faster	Faster	Faster		Faster	
	Maximum pre-emergent shoot length				Smaller			
	Seedling mortality in broadcast seeds	Less					Less	
	Post-emergent growth		Slower					
	Leaf area at emergence				Larger			
	Maximum plant width	Wider	Wider		Wider			
	Plant height per biomass	reproduction	Smaller		Taller		Taller	
	Leaf area distribution along plant height	reproduction	Lower	Higher				
	Biomass allocation to roots		More				More	
	Root-system growth			Faster			Similar	
	Root biomass distribution		Similar	Similar				
	Light conversion efficiency			Worse			Worse	
	Photosynthesis efficiency in cool conditions			Worse		Similar	Worse	
	Frost sensitivity	emergence	Better	Better			Better	
Frost sensitivity	reproduction				Worse	Worse		

Classification and Regression Trees
Colbach et al (in revision)
Field Crops Res



Combinaisons de traits de pois x blé = f(dispositif association, objectif de production)



Pea traits	Additive		Substitutive		Incomplete	
	a1	a2	s1	s2	i1	i2
Substitution of beneficial PEAS characteristics	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower
Substitution of beneficial WHEAT characteristics	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower

Pea traits	Additive		Substitutive		Incomplete	
	a1	a2	s1	s2	i1	i2
Substitution of beneficial PEAS characteristics	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower
Substitution of beneficial WHEAT characteristics	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower

Pea traits	Additive		Substitutive		Incomplete	
	a1	a2	s1	s2	i1	i2
Substitution of beneficial PEAS characteristics	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower
Substitution of beneficial WHEAT characteristics	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower

Pea traits	Additive		Substitutive		Incomplete	
	a1	a2	s1	s2	i1	i2
Substitution of beneficial PEAS characteristics	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower
Substitution of beneficial WHEAT characteristics	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower	Flower

Classification and Regression Trees
Colbach et al (in revision)
Field Crops Res

- Implications pour la gestion des adventices

- Suppression adventices: Variétés pois virtuelles > réelles → Focus sélection sur rendement
- Idéotypes de pois = f(dispositif association, variété blé associée, objectif production)
- Gestion de l'association = f(objectif production)



- Base pour des outils d'aide à la décision

- Identification de "traits de pois × traits de blé" les + influents pour potentiel de rendement, tolérance & suppression des adventiceses → Sélectionneurs
- Arbres de décision pour choisir les variétés pois × blé & gestion = f(objectif, type de système de culture) → Agriculteurs



- Perspectives

- Simuler situations avec stress N & H2O ou changement climatique
- Lier les paramètres compliqués FLORSYS à des variables mesurables en routine dans les essais variétaux



Merci beaucoup pour votre attention !

nathalie.colbach@inrae.fr

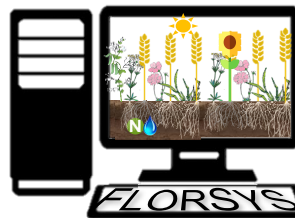
Les références les plus importantes

Colbach et al (2021) The FLORSYS crop-weed canopy model, a tool to investigate and promote agroecological weed management. *Field Crops Res* 261, 108006, doi: 10.1016/j.fcr.2020.108006

Colbach et al (2022) Tracking ideal varieties and cropping techniques for agroecological weed management: a simulation-based study on pea. *Frontiers Plant Sci* 13:809056, doi.org\10.3389/fpls.2022.809056

Colbach, N., Burstin, J., Moreau, D., in revision. Which pea traits for agroecological weed management in pea-wheat intercrops. A simulation study. *Field Crops Research*.

Lebreton, P., Moreau, D., Perronne, R., Colbach, N., in revision. Tracking ideal varieties for agroecological weed management in organic wheat. A simulation study. *European Journal of Agronomy*



Quels idéotypes de blé pour gérer les adventices en systèmes « bio » ?

Pierre Lebreton, Delphine Moreau, Rémi Perronne[§], Nathalie Colbach
 Agroécologie, INRAE, Institut Agro, Univ. Bourgogne, Univ. Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France
[§] IGEPP, INRAE, Institut Agro, Univ. Rennes, Le Rheu, France

Contexte Adventices = nuisibles pour la production des cultures, surtout en bio
 Peu de variétés ont été sélectionnées pour leur compétitivité face aux adventices
Objectif Identifier des idéotypes (variétés idéales) de blé pour la gestion des adventices

Plan expérimental : Tester de nombreuses variétés avec ≠ systèmes de culture, climats & flores

Traits des variétés

- Caphorn
- Cézanne
- Orvantis

20 variétés virtuelles

32 espèces adventices annuelles
 33 espèces cultivées

2800 systèmes de culture bio × 10 climats (15 années) + forte densité adventice

Potential de rendement

Rendement réel

Perte de rendement due aux adventices

Biomasse adventice

Tolérance aux adventices

Suppression des adventices

Compétitivité face aux adventices

Résultat 1 : Pas de lien entre rendement potentiel et tolérance aux adventices

Rendement réel fortement lié au potentiel

$y = 0,439x - 0,231$ $R^2 = 0,79$

Meilleures variétés = virtuelles

Pas de lien entre potentiel et tolérance

$y = -1,1x + 70$ $R^2 = 0,10$

Meilleures variétés = virtuelles

Résultat 2 : Un idéotype productif passe-partout

Les différences-clé par rapport aux variétés réelles

- 1 cohorte + rapide - de perte
- + tardif
- + grande par unité de biomasse
- + indice de récolte (plantes lourdes)
- Feuilles en haut
- + rapide
- + photosynthèse si frais
- + tolérante au gel
- Hauteur & largeur + homogènes
- limité

Les raisons

- Lever + tôt que les adventices
- Couvrir le sol + tôt que les adventices
- Surface foliaire + grande et + haute que les adventices
- Produire de la biomasse tôt et longtemps

Résultat 3 : C'est encore plus compliqué !

- ❖ Idéotypes = f(objectif, système de culture)
- ❖ Itinéraire technique + important que variété
 - Travailler le sol fréquemment et jusqu'au semis
 - Interrang serré
 - ...
- ❖ Effets contradictoires de certaines techniques
 - Désherbage mécanique fréquent & agressif
 - Semis tardif & récolte précoce
 - potentiel rendement et ↓ adventices

→ variété × itinéraire technique = f(contexte)

Nathalie Colbach