

Modèles dynamiques des interactions plantes x plantes



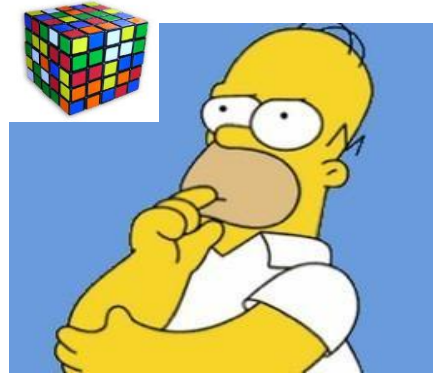
Emmanuelle Blanc, Jérôme Enjalbert, Timothée Flutre

Equipe DEAP – UMR GQE Le Moulon

Merci à C. Lecarpentier, P. Barbillon, M. Gawinowski, C. Pradal, C. Fournier, G. Louarn

La combinatoire infernale des mélanges

- Plus de 400 variétés de blé au catalogue
 - Des milliards de milliards de combinaisons
 - → Pas gérable dans des expérimentations
 - → Règles d'assemblages nécessaires, mais ici aussi, de nombreux traits à étudier, puis combiner
-
- → L'approche par modélisation s'impose !



Les modèles structure-fonction

« *Functional–structural plant models (FSPM), or virtual plant models, are models explicitly describing the development over time of the 3D architecture or structure of plants as governed by physiological processes which, in turn, depend on environmental factors* »

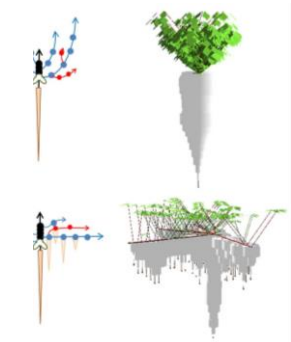
$$P_t = G + G \times E_t \quad \text{Evers et al. 2010}$$

→ **G** : - Physiologie (métabolisme, hormones,...)
- Développement

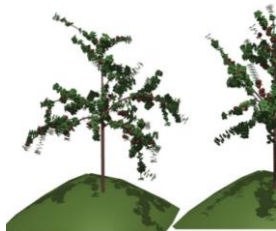
→ **E_t** : - Lumière, eau, CO₂
- Éléments nutritifs : N, P, ...
- Bioagresseurs
- Plantes voisines ...

→ **Interactions non linéaires** :
Boucles de rétroaction entre morphogénèse, processus physiologiques et environnement

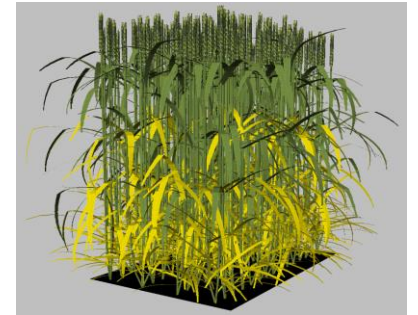
→ *Review* : G. Louarn & Y. Song 2020



A. Assiry www.botany.one



Bourdon et al. 2012

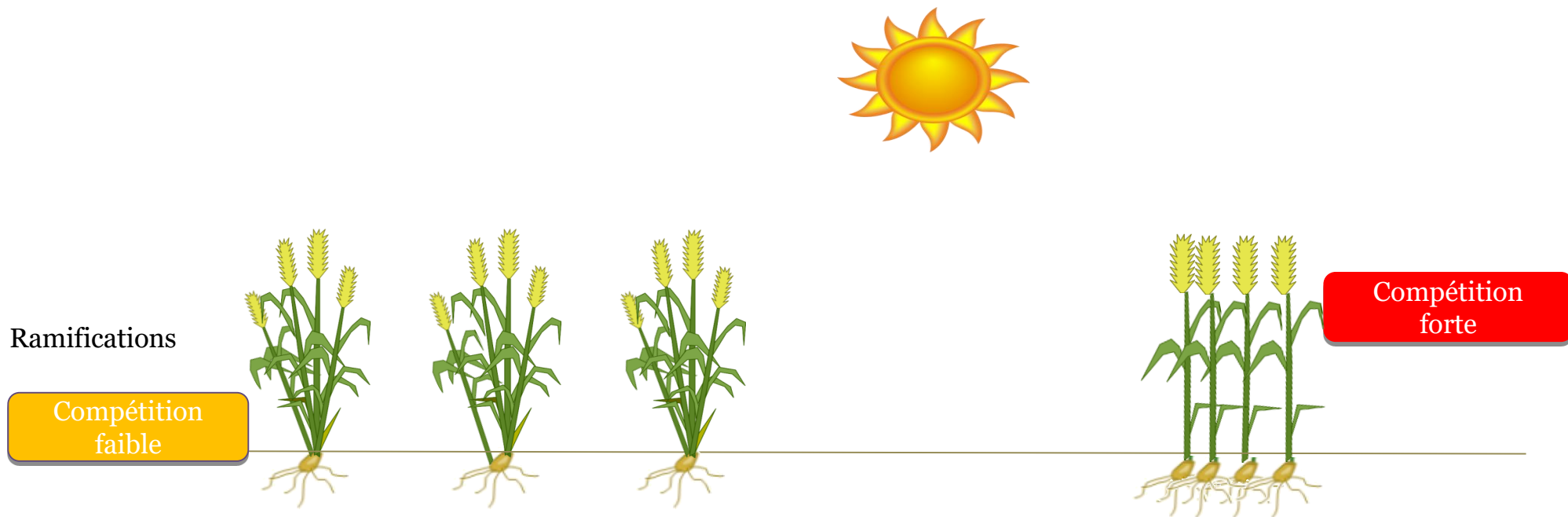


J. Evers
groimp.wordpress.com/fspm/



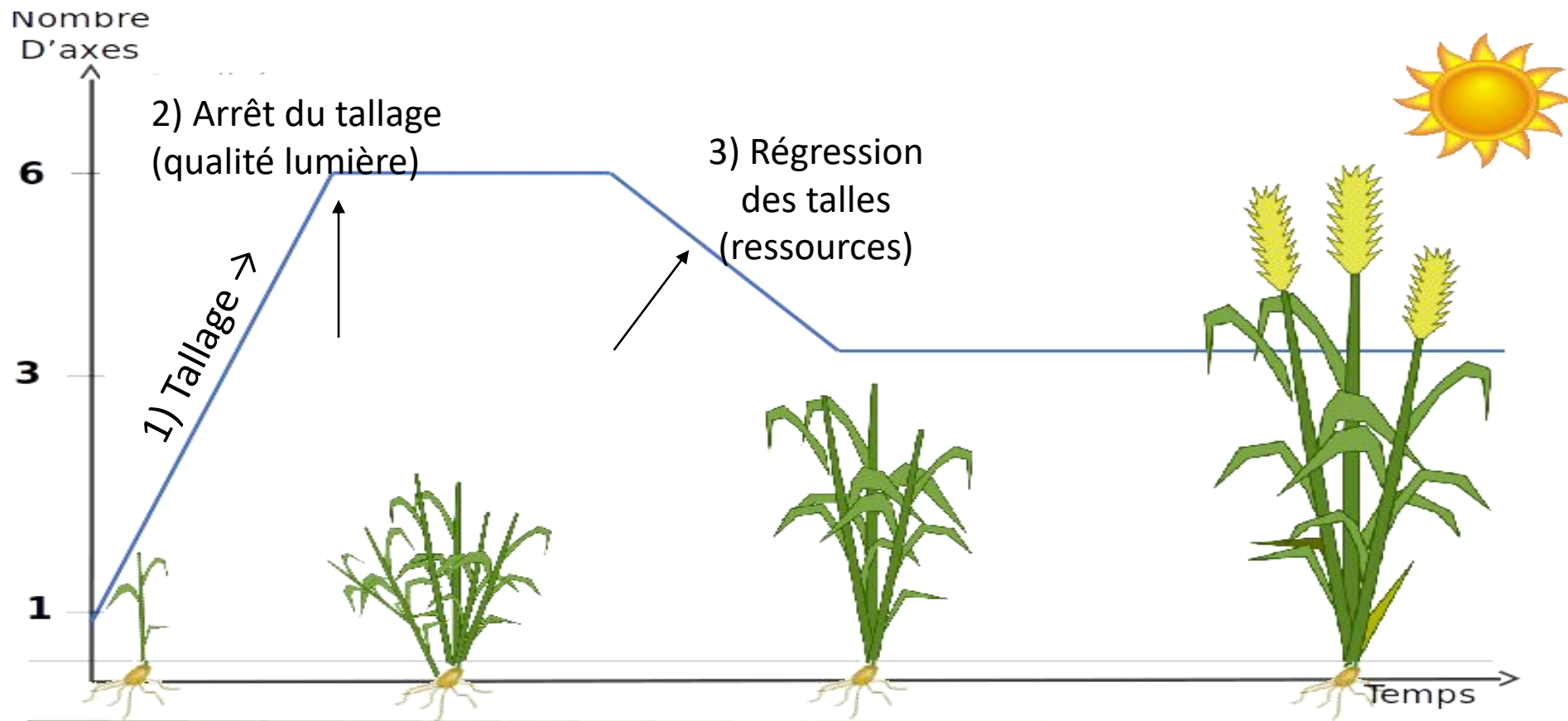
groimp.wordpress.com/fspm/

Plasticité du tallage chez les céréales: une réponse à la compétition pour la lumière



→ un des caractères les plus plastiques chez les céréales

Plasticité du tallage chez les céréales: une réponse à la compétition pour la lumière

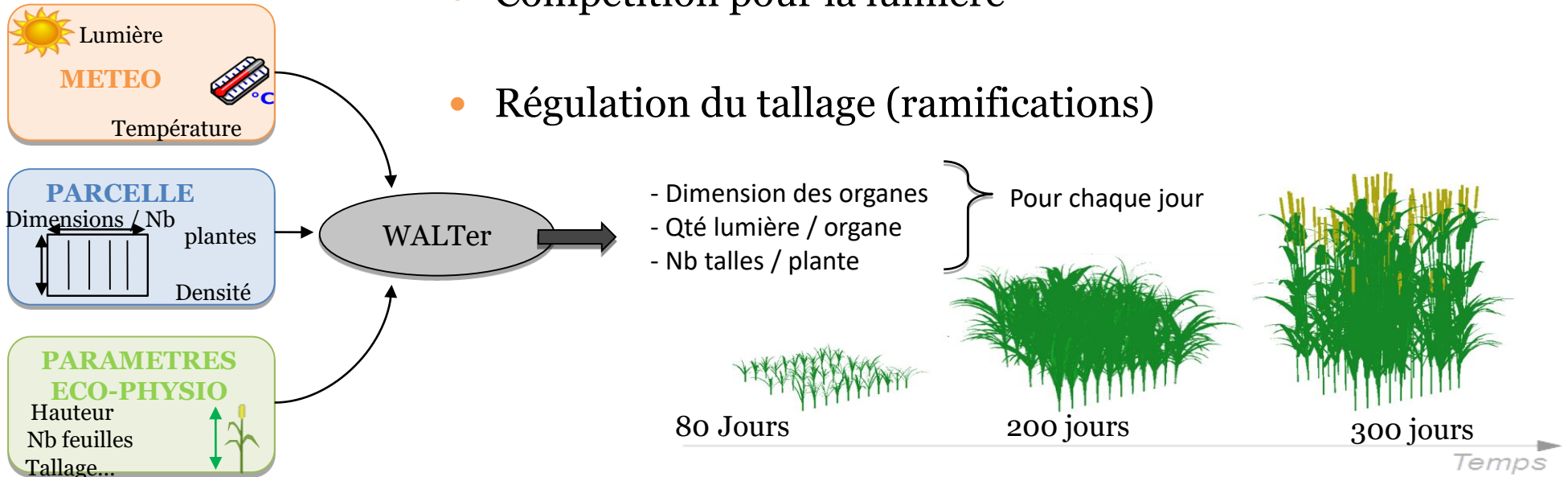


Le modèle WALTer



Christophe Lecarpentier

- Modèle 3D de développement d'une parcelle de blé
- Compétition pour la lumière
- Régulation du tallage (ramifications)



Lecarpentier et al. 2019 collaboration B. Andrieu, R. Barillot, P. Barbillon

Adaptation du modèle WALTer

- Réduction du temps de simulation
- Amélioration du réalisme et de la précision
- Nouvelles fonctionnalités
OpenAlea : Software Environment for Plant Modelling



Christian Fournier
(UMR LEPSE)



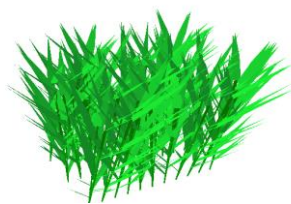
Christophe Pradal
(UMR AGAP)



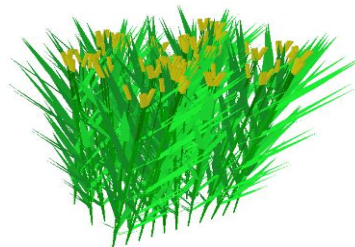
WALTer V2.0



80 jours



200 jours



300 jours

Temps

WALTer V3.0



80 jours



200 jours

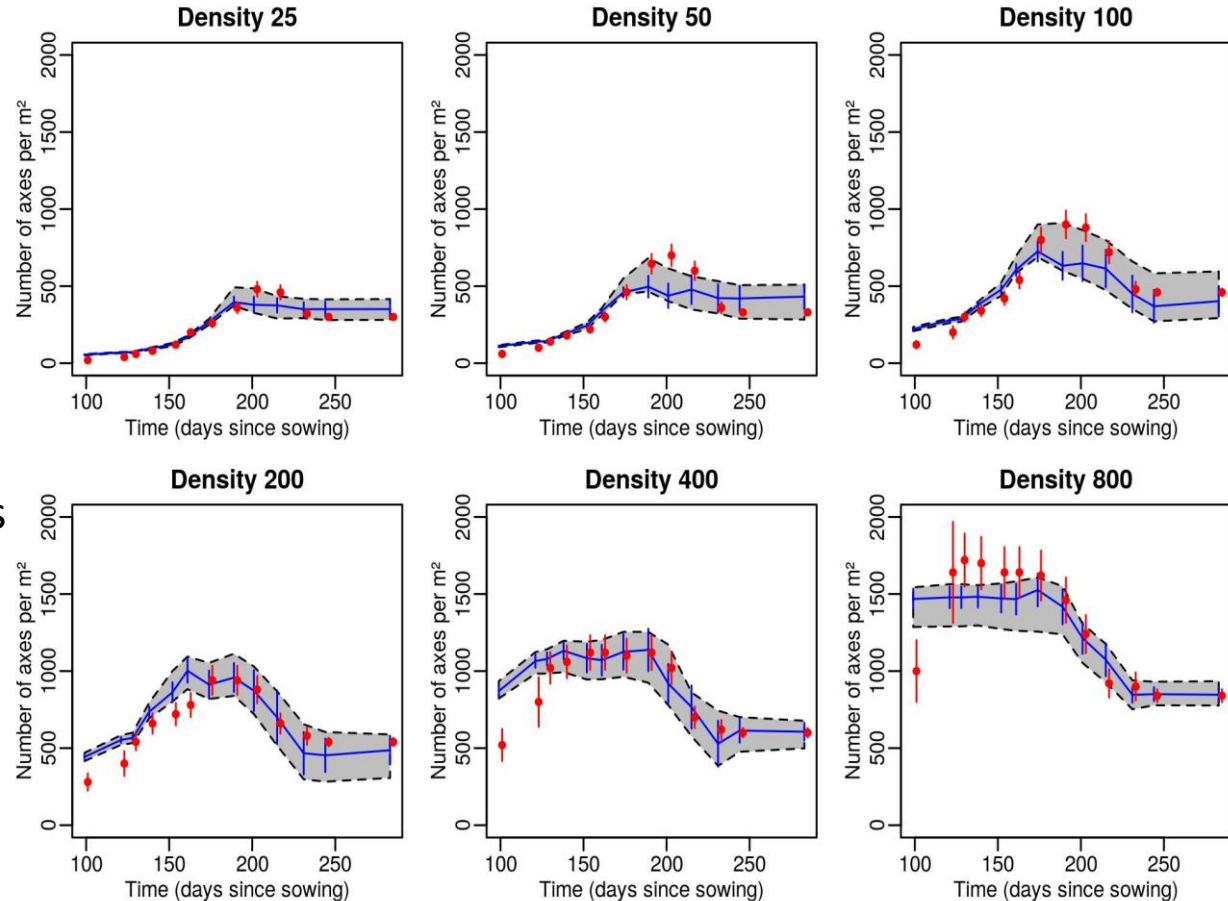


300 jours

Temps

Ajustement aux données de Darwinkel (1978)

- 6 densités de semis
- Suivi du tallage (nombre d'axes)
- Paramétrisation du modèle sur les données expérimentales







WALTer : Simulation de mélanges

Identification des traits d'interaction en mélange

- Simulation de mélanges de 2 variétés (50/50)

- Moyenne et différences entre variétés sur :

- Hauteur 
- Longueur des limbes (feuilles) 
- Angle d'insertion foliaire 
- Tallage 

- Impact des différences d'architecture sur la performance de la parcelle





 Nombre d'épis et pourcentage de lumière interceptée

WALTer : Simulation de mélanges

Identification des traits d'interaction en mélange

- Simulation de mélanges de 2 variétés (50/50)

- Moyenne et différences entre variétés sur :

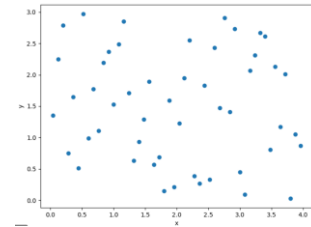
- Hauteur 
- Longueur des limbes (feuilles) 
- Angle d'insertion foliaire 
- Tallage 

- Impact des différences d'architecture sur la performance de la parcelle

➔ Nombre d'épis et pourcentage de lumière interceptée

Méthodologie :

- Latins Hypercube Sampling

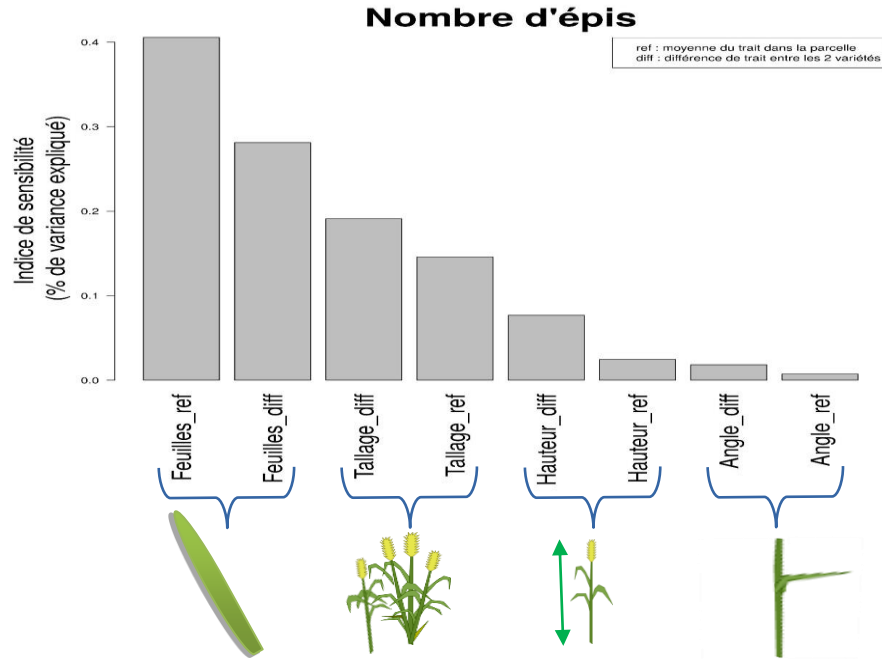


- Analyse de sensibilité (Sobol)



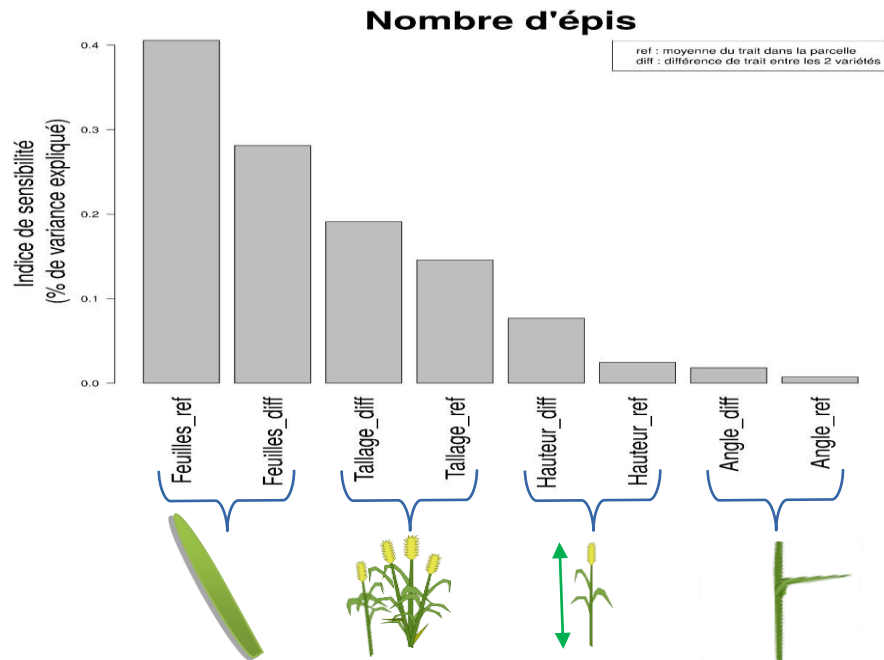
Pierre Barbillon, MIA Paris

WALTer : Simulation de mélanges



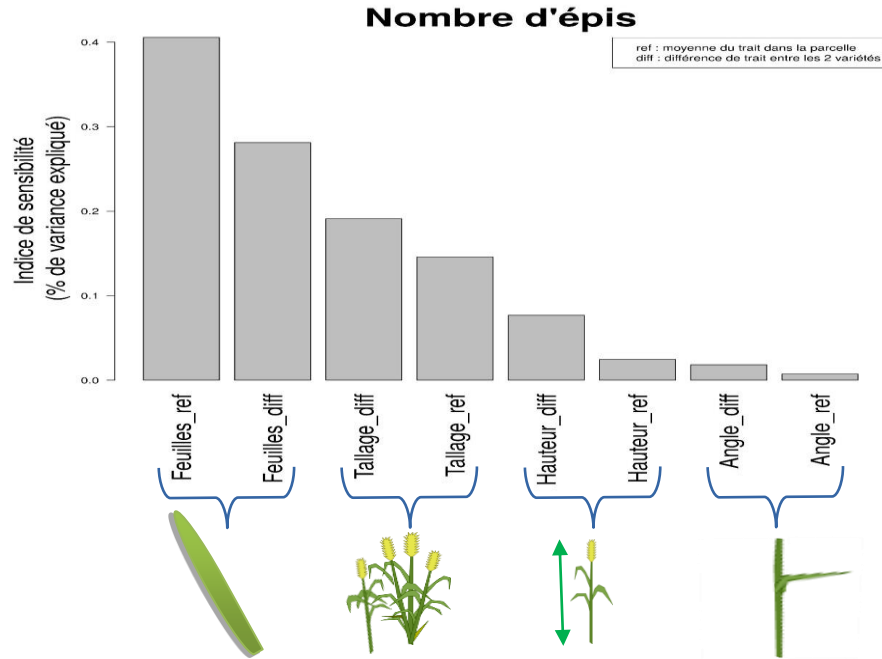
- Taille des limbes et capacité de tallage = fort impact sur le nombre d'épis
- Hauteur des plantes et angle d'insertion foliaire = impact moindre sur le nombre d'épis

WALTer : Simulation de mélanges



- Taille des limbes et capacité de tallage = fort impact sur le nombre d'épis
- Hauteur des plantes et angle d'insertion foliaire = impact moindre sur le nombre d'épis
- Optimisation numérique : identification de complémentarités dans les architectures variétales (Utilisation nécessaire de métamodèles)

WALTer : Simulation de mélanges



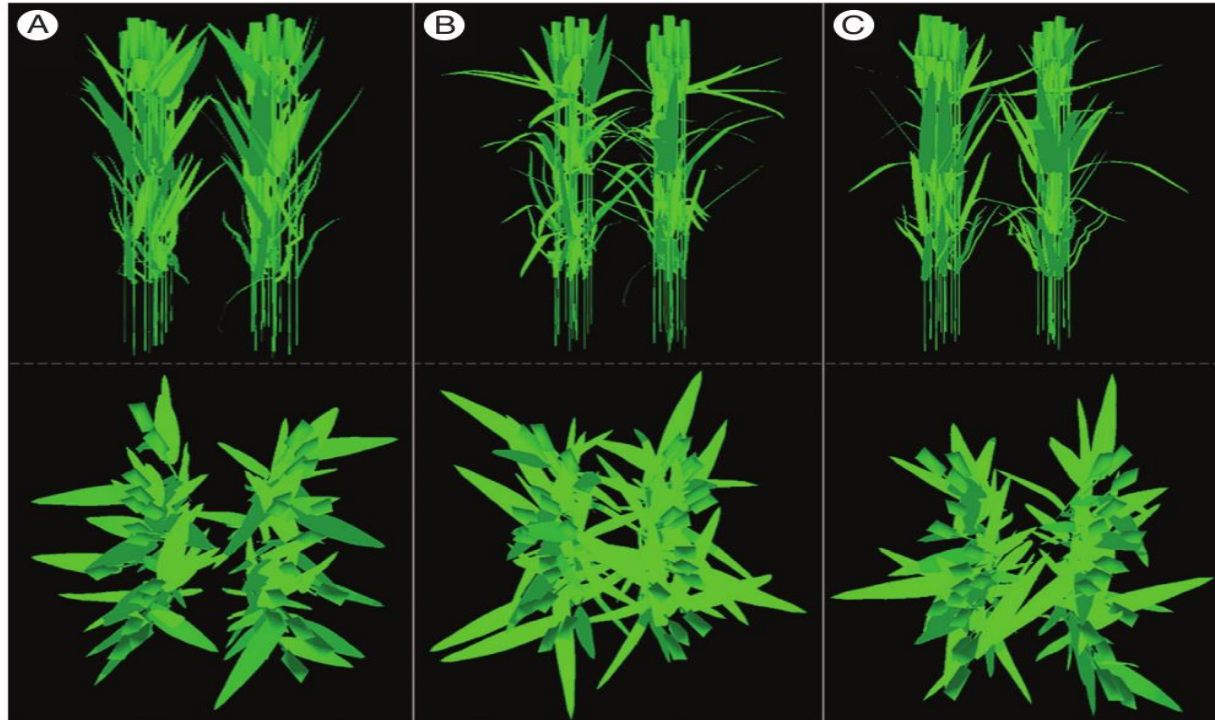
- Taille des limbes et capacité de tallage = fort impact sur le nombre d'épis
- Hauteur des plantes et angle d'insertion foliaire = impact moindre sur le nombre d'épis
- Optimisation numérique : identification de complémentarités dans les architectures variétales (Utilisation nécessaire de métamodèles)

Travaux en cours : Couplage du modèle avec un module génétique, GenoWALT, pour simuler l'impact du tallage sur la fitness des plantes

Investigation of complex canopies with a functional–structural plant model as exemplified by leaf inclination effect on the functioning of pure and mixed stands of wheat during grain filling

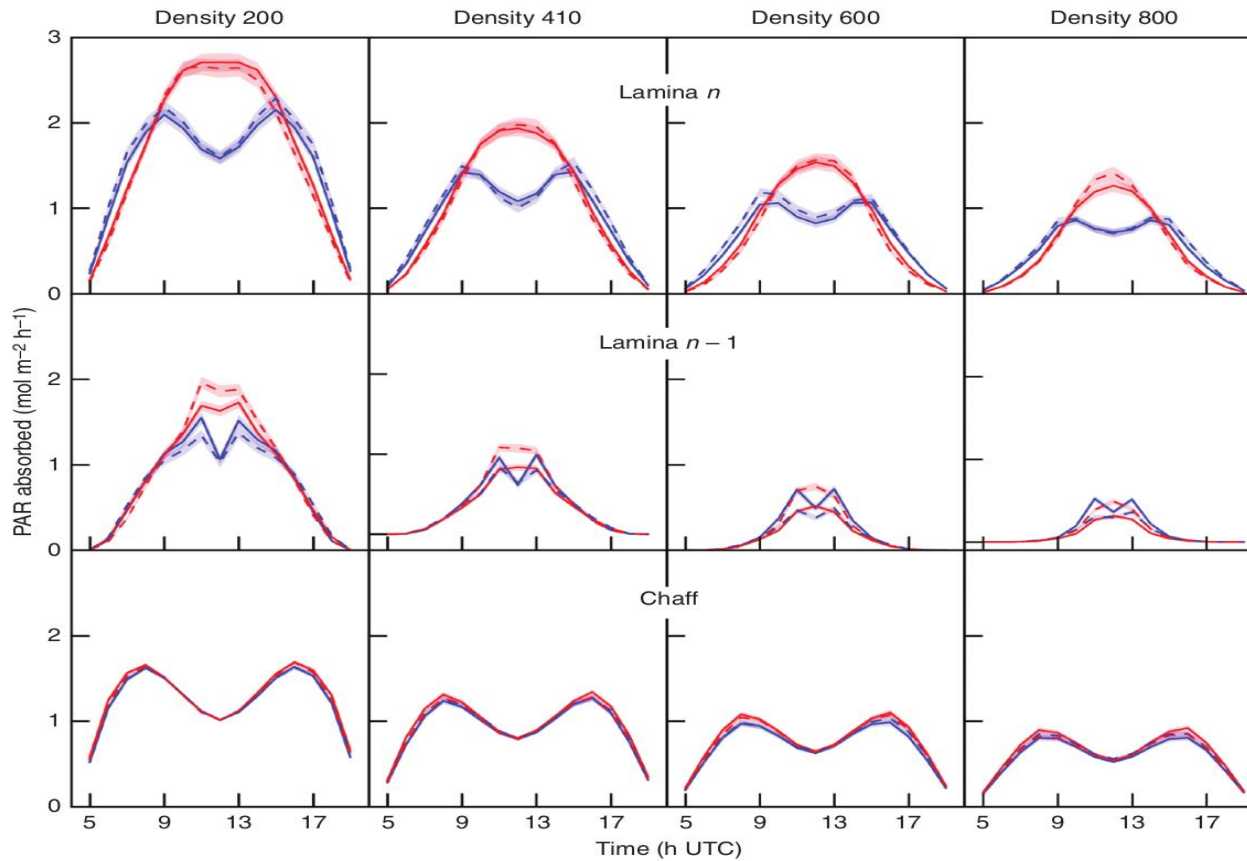
Romain Barillot^{1,2,*}, Camille Chambon², Christian Fournier³, Didier Combes¹,
Christophe Pradal^{4,5,6} and Bruno Andrieu²

Erectophile Planophile Mixture



- Modèle CN-Wheat
- Mélange binaire de blé
- Stade floraison (statique)
- Port erectophile vs planophile
- Efficence comparée d'interception de la lumière

Annals of Botany **123**: 727–742, 2019



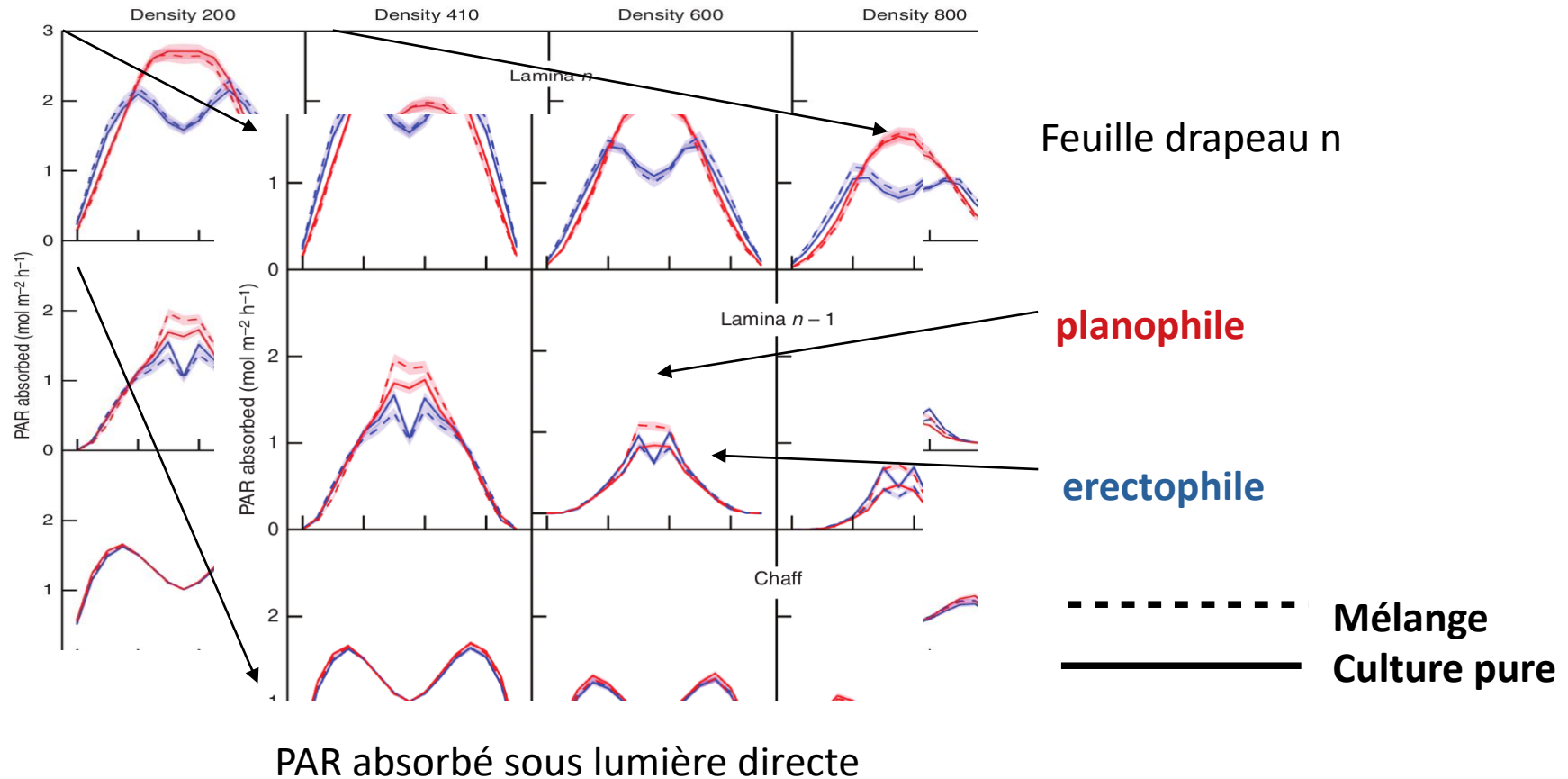
Feuille drapeau n

Feuille n-1

Epi

PAR intercepté par différents organes, sous lumière directe

Barillot et al. 2019



→ **Avantage des planophiles sur les erectophiles en mélange**
 → **Jeu à sommes nulles (pas d'overyielding)**

Barillot et al. 2019

The contribution of phenotypic plasticity to complementary light capture in plant mixtures

Junqi Zhu, Wopke van der Werf, Niels P. R. Anten, Jan Vos and Jochem B. Evers

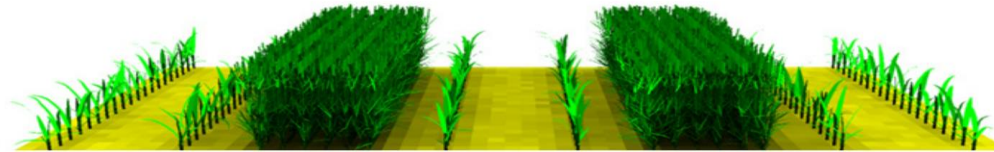


Fig. 1 Comparison of a wheat–maize intercrop plot (top panel) with a simulated scene (bottom panel) at wheat flowering stage on 16 June (day of the year 169). The colour gradient in the bottom panel represents the proportion of absorbed photosynthetically active radiation (PAR)

- Blé - Maïs
- Semis structuré en bandes
- Semis décalé hiver-printemps

$$\Delta Y = \Delta Y_{\text{structure}} + \Delta Y_{\text{plasticity}}$$

- Gain de 23 % de PAR dans les bandes alternées
- 63 % du gain s'explique par la plasticité de développement du couvert

How do variations of architectural parameters affect light partitioning within wheat - pea mixtures? A simulation study based on a virtual plant approach.

Romain Barillot¹, Christian Fournier^{2,3}, Pierre Huynh¹, Abraham J Escobar-Gutiérrez⁴ and Didier Combes^{4*}

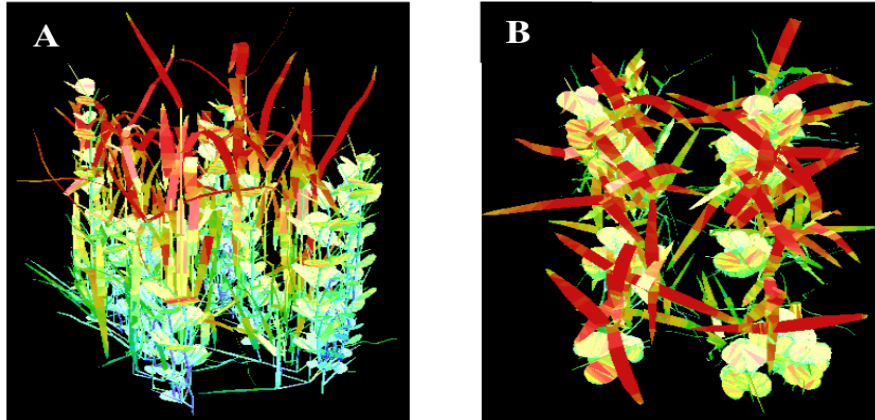


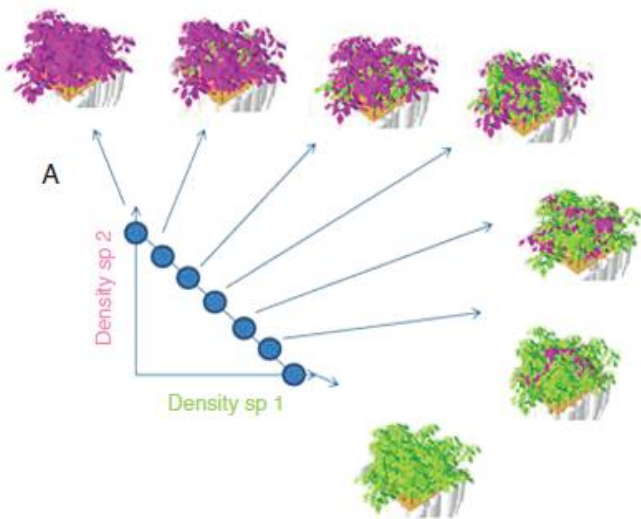
Fig. 1. Illustrations of a virtual wheat – pea mixture. The gradient of colour is a function of the light intercepted by organs (from blue to red).

- Blé - Pois
- Mélange sur le rang
- Semis synchrone
- Impact des différences de phénologie et d'architecture sur les performances

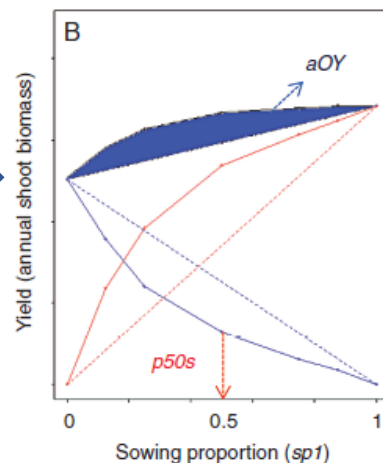
Pour une revue de la littérature sur les modèles pour les mélanges : cf. Gaudio et al. 2020

MoBiDiv: la modélisation pour identifier traits et ideotypes

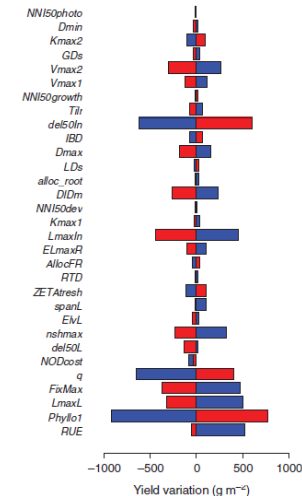
Expériences in silico de mélanges



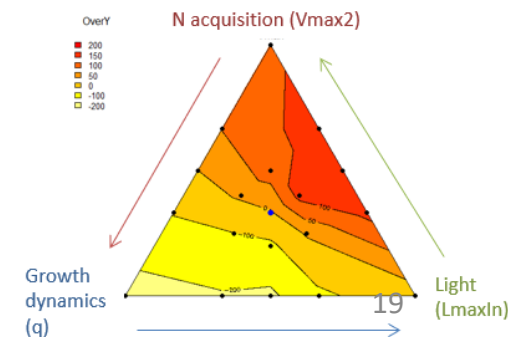
Impact sur la performance agronomique (Overyielding = aOY)



Analyse des contributions de chaque trait



Identification de combinaisons de traits compatibles entre espèces (Ideomix)



- Construction *in silico* d'idéotypes → sélection
- Règles d'assemblage → conception de mélanges

Vers l'utilisation des FSPM en génétique et sélection ?

- Génétique quantitative : $Y = f(G, E)$
 - approche classique : $y = g + gxe + \epsilon$ puis $\hat{g} = M\beta + \epsilon'$
 - estimation par (restricted) maximum likelihood, comparaison de modèles avec l'AIC
- Importance des interactions entre plantes et de la plasticité phénotypique :
 - fonction $f \rightarrow$ modéliser le développement d'une plante
 - interactions GxG \rightarrow distinguer les niveaux " plante " et " génotype "
- FSPM avec 3D : calibration sur un petit nombre de génotypes, analyse de sensibilité, surtout utilisés pour simuler
 - inférence et prédiction statistique (quantification d'incertitude, comparaison et sélection de modèles, estimation de paramètres à partir d'observations)
- Projets en cours : (1) modéliser paramétriquement les interactions entre plantes en ignorant l'architecture 3D, (2) développer des algorithmes d'inférence adaptés aux modèles non-linéaires mixtes, et (3) développer du phénotypage haut-débit

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

