

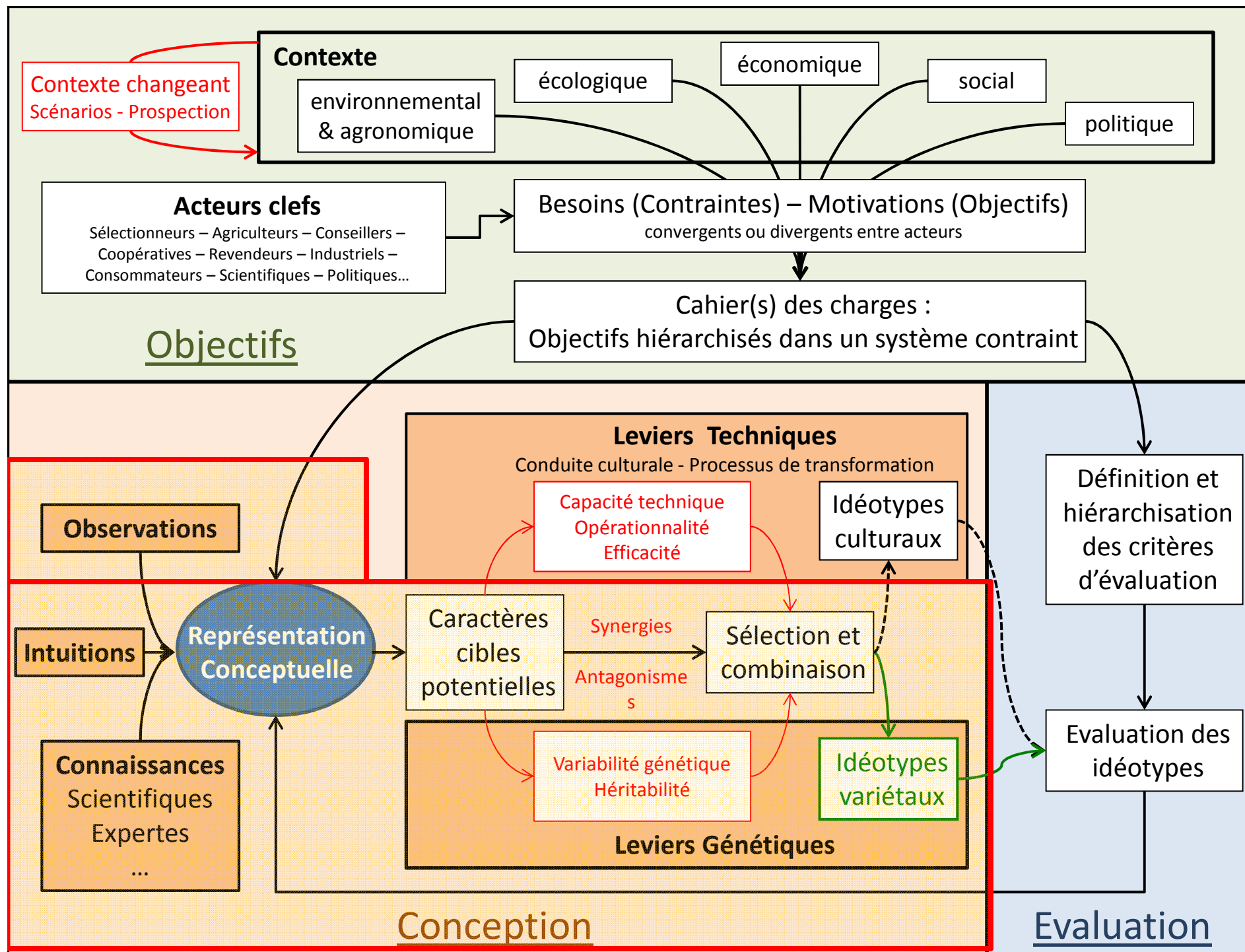


GIS GCHP2E

Séminaire idéotypes variétaux



Contribution du modèle structure-fonction MAppleT
à la hiérarchisation de caractères cibles et à la
définition d'idéotypes variétaux de pommier



Quels sont les objectifs de production auxquels l'architecture de l'arbre contribue ?

- La fructification:
 - Quantité
 - Qualité:
 - Taille des fruits (relation nb de feuilles / lieux de fructification)
 - Coloration (position dans l'arbre)
 - Régularité

- La fructification est fortement dépendante de la surface foliaire et sa distribution dans l'espace qui conditionnent
 - la lumière interceptée, et par voie de conséquence le carbone capturé, la transpiration, et la coloration des fruits
 - optimisée conjointement par le choix variétal et la conduite de l'arbre
 - difficile à mesurer au verger

La lumière interceptée est un caractère cible à optimiser

Apport de la modélisation dans la définition d'idéotypes variétaux ?

- Connaissances et outils nécessaires :
 - Des hypothèses sur les caractères architecturaux susceptibles d'impacter la cible à optimiser (l'interception) ?
 - Sont-ils ont héritable et à quel stade de développement de l'arbre ?
 - Disposer de modèles pour simuler le développement de l'arbre et estimer son interception

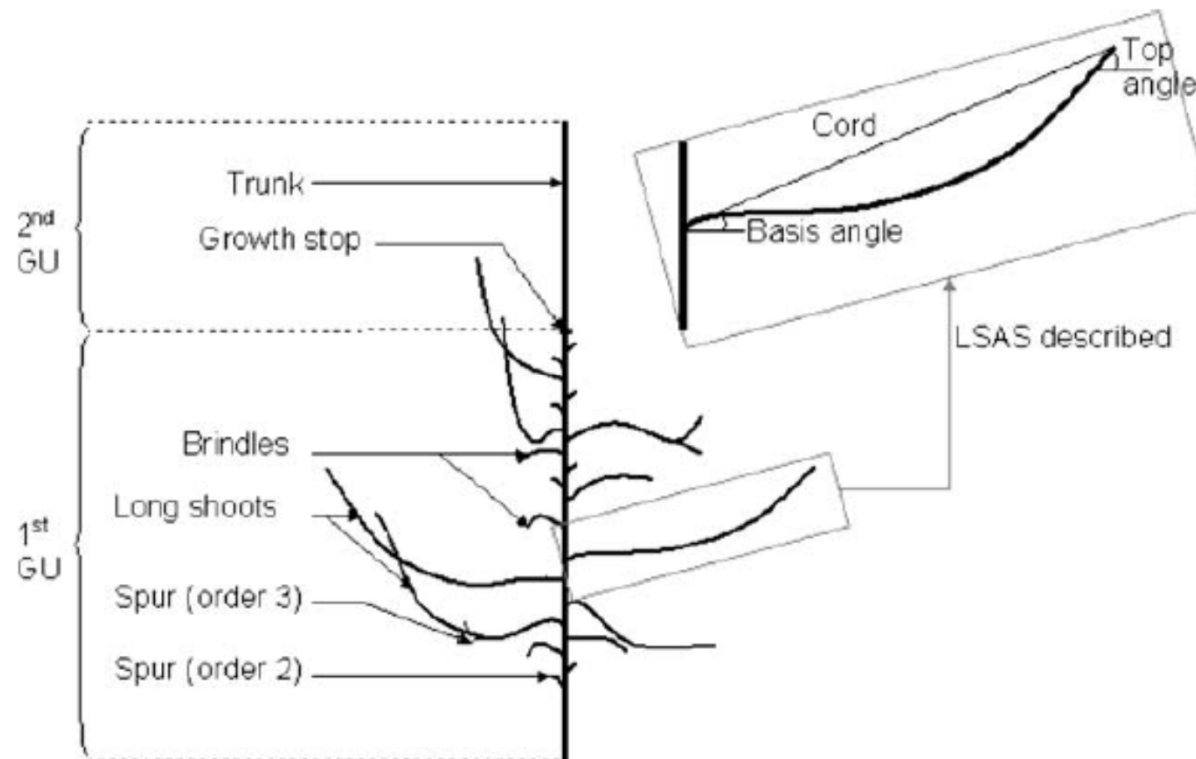
- La démarche:
 - Etudier la variabilité génétique des caractères architecturaux
 - Introduire la variation observée sur quelques caractères choisis dans le modèle de développement de l'arbre
 - Calculer l'interception des arbres simulés
 - Analyser l'impact des caractères en entrée du modèle sur la variable cible, en sortie du modèle
 - Hiérarchiser les caractères vis à vis de leur impact



Variabilité intra-spécifique des traits architecturaux chez le pommier



Décomposition du phénotype complexe en variables élémentaires



Variable

Geometry

- Length (mm)
- Mean internode length (mm)
- Length of the longest internode (mm)
- Basis diameter (mm)
- Top diameter (mm)
- Mean diameter (mm)
- Slenderness
- Conicity
- Axis volume (cm³)
- Cord (mm)
- Basis angle (° from horizontal)
- Top angle (° from horizontal)
- Angular bending (°)
- Cord bending

Topology

Growth

- Number of internodes

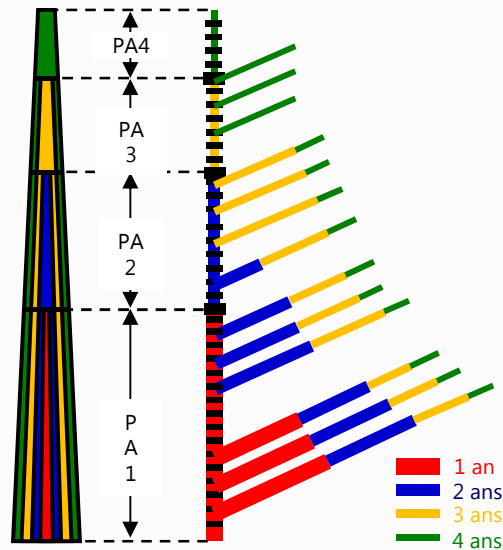
Branching

- Number of axillary shoots
- Number of long shoots
- Number of brindles
- Number of spurs
- Percentage of branching nodes
- Branching by length unit
- Branching zone
- Branching density

Segura et al., TGG 2006



Analyse des corrélations entre traits et entre années successives



- Variables incrémentales
 - Echelle des pousses annuelles
 - Croissances I, II, Ramification
- Variables cumulées
 - Echelle des axes
 - Forme
- Augmentation de la puissance de détection des QTLs



- Héritabilité
- Corrélations



1ere sélection de caractères hérithables et de stades de développement pertinents



Résultats des analyses génétiques

Caractère	Axe / Echelle	Genotype	Repetition (Genotype)	Age	Année	Genotype x Age	Genotype x Année
Longueur	Trunk	**		**	**		
	LSAS	**		**	**		
	LPAS	**		**	**		
	Tree	*	**	**	**		*
Longueur moyenne d'un EN	Trunk	**		**	**	**	
	LSAS	**	**	**	**	**	
	LPAS	**		**	**		
	Tree	**	**	**	**	**	
Longueur de l'EN le plus long	Trunk	**		**	**		*
	LSAS	**	**	**	**		**
	LPAS	**		*	**		
	Tree	**		**	**		**
Diamètre sommet	Trunk	**		**	**		**
	LSAS	**		**	**		**
	LPAS	**		*	**		*
	Tree	**		**	**	*	**
Proportion de noeuds ramifiés	Trunk	**		**	**		**
	LSAS	**				*	
	Tree	**	**	**	**	*	**
Orientation	LSAS	**		**	ns		*

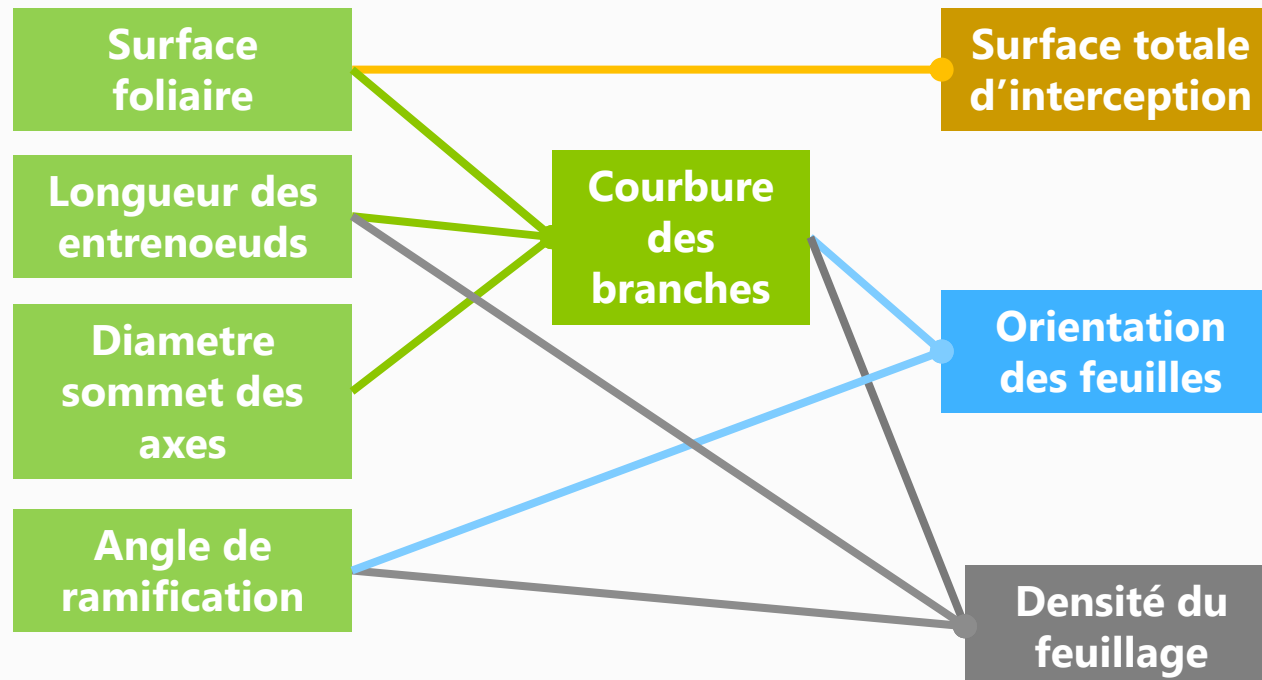
ns : $p > 0.05$
 * : $0.01 < p \leq 0.05$
 ** : $p \leq 0.01$

- Effets **génotype** (significatif dans 86 % des modèles)
- Effets **ontogénétiques** et **climatiques**
- Interactions **génotype*age** et **génotype*année**

Quels caractères sont susceptibles d'impacter l'efficacité d'interception de l'arbre ?

L'interception de la lumière peut être quantifiée pour un ensemble de feuilles par le STAR (Ratio of **P**rojected **L**eaf **A**rea to **T**otal **L**eaf **A**rea)

$$STAR = \frac{PLA}{TLA}$$





Gamme de variation génétique des caractères ciblés



Echantillonnage dans l'espace des valeurs possibles

- LA: Surface foliaire

0.0003 m²
lower

0.009 m²
upper

- IL: Longueur des entre-
noeuds

0.008 m
lower

0.05 m
upper

- TSD: Diamètre sommet

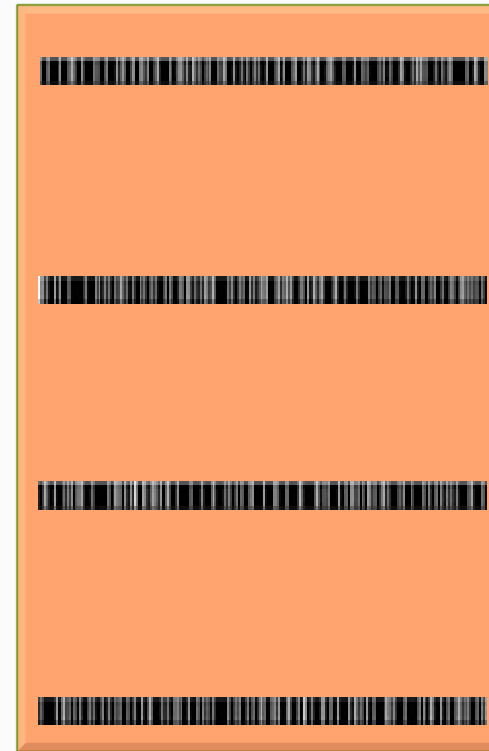
0.001 m
lower

0.0085 m
upper

- BA: angle de ramification

0 °
lower

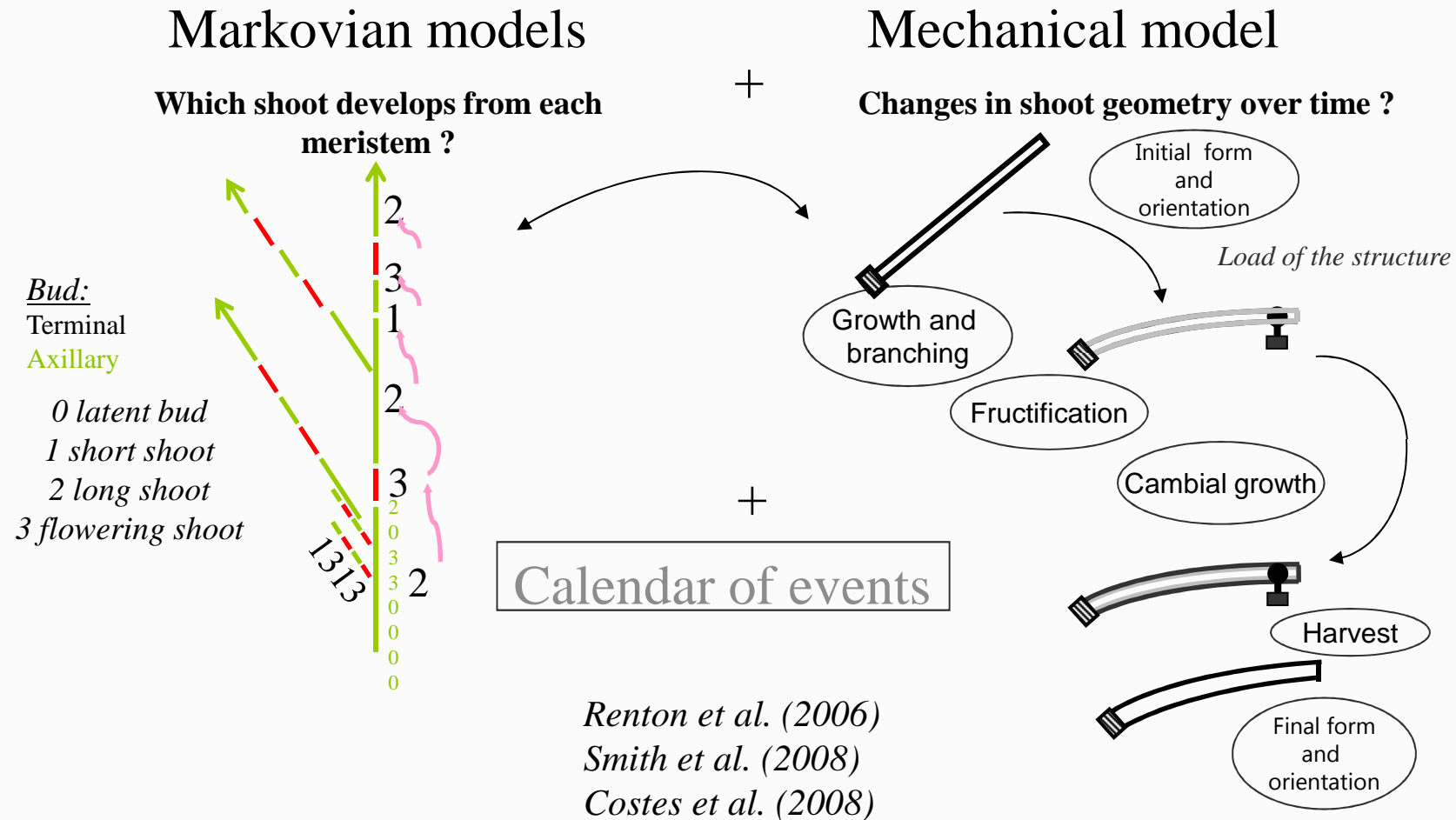
130 °
upper



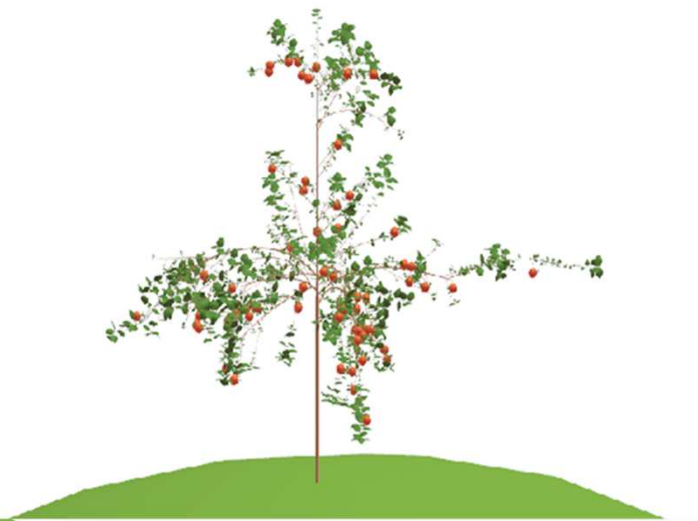
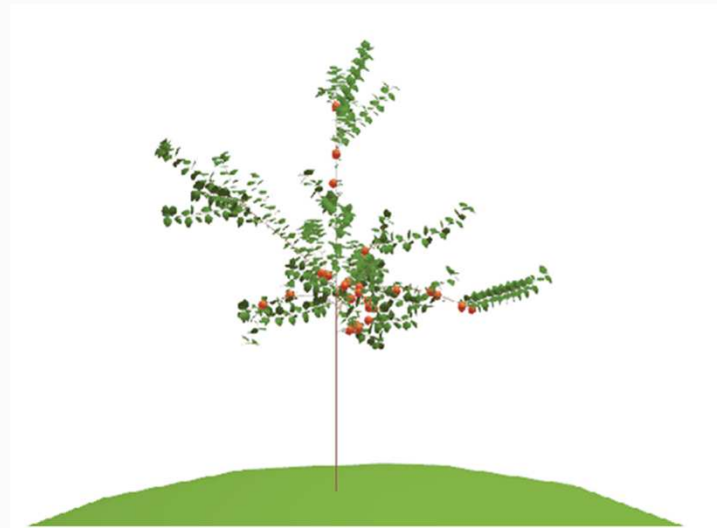
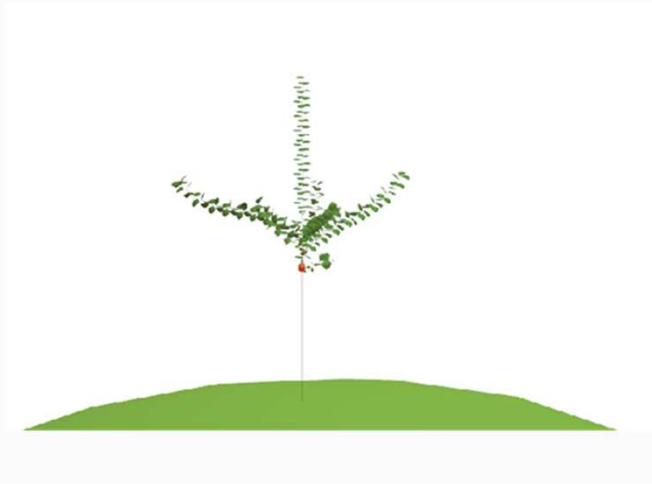
Echantillonnage selon un plan statistique (hyper-cube latin)



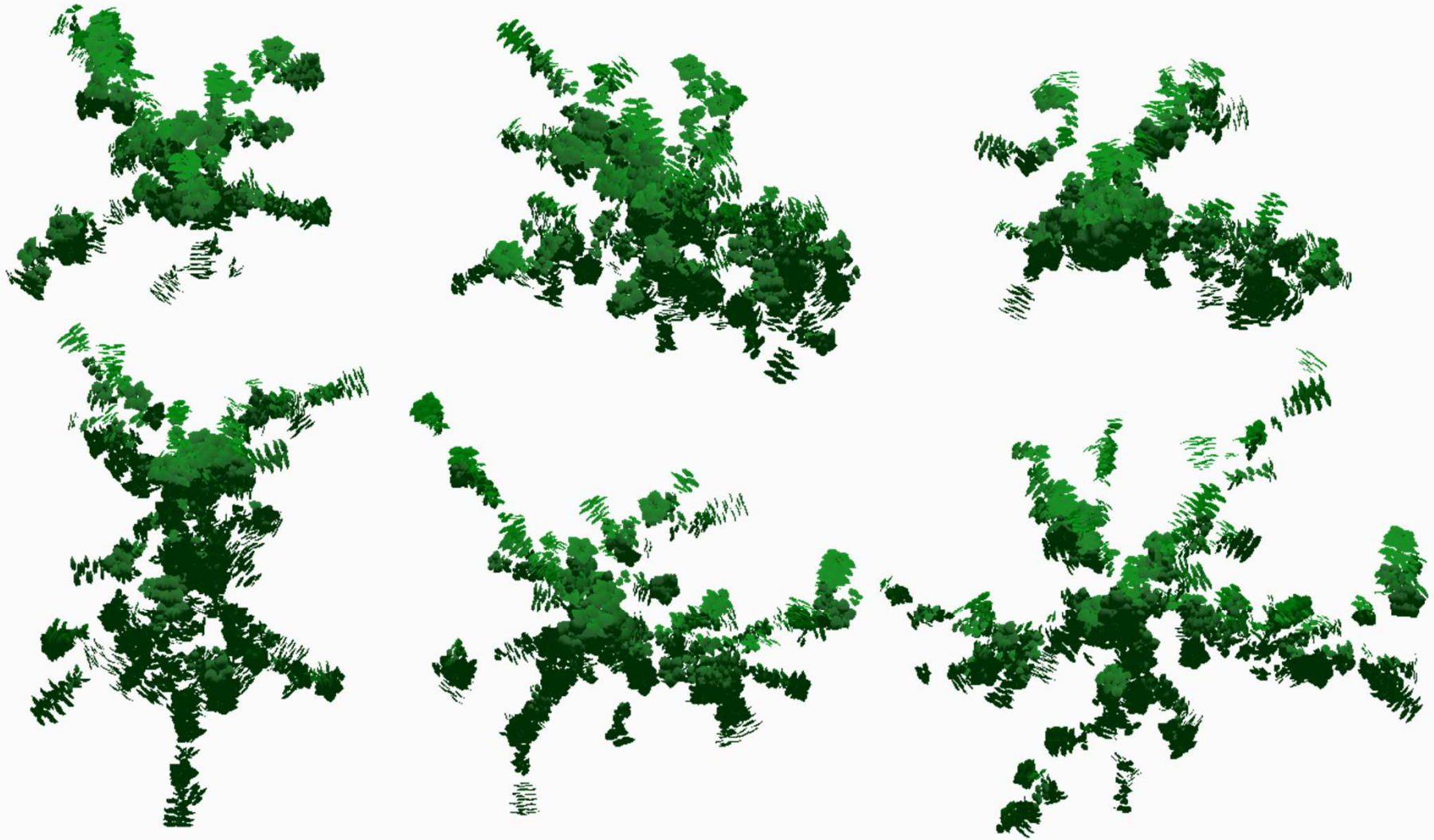
Le modèle structure-fonction MAppleT



Simulation du développement d'un arbre de 2 à 6 ans

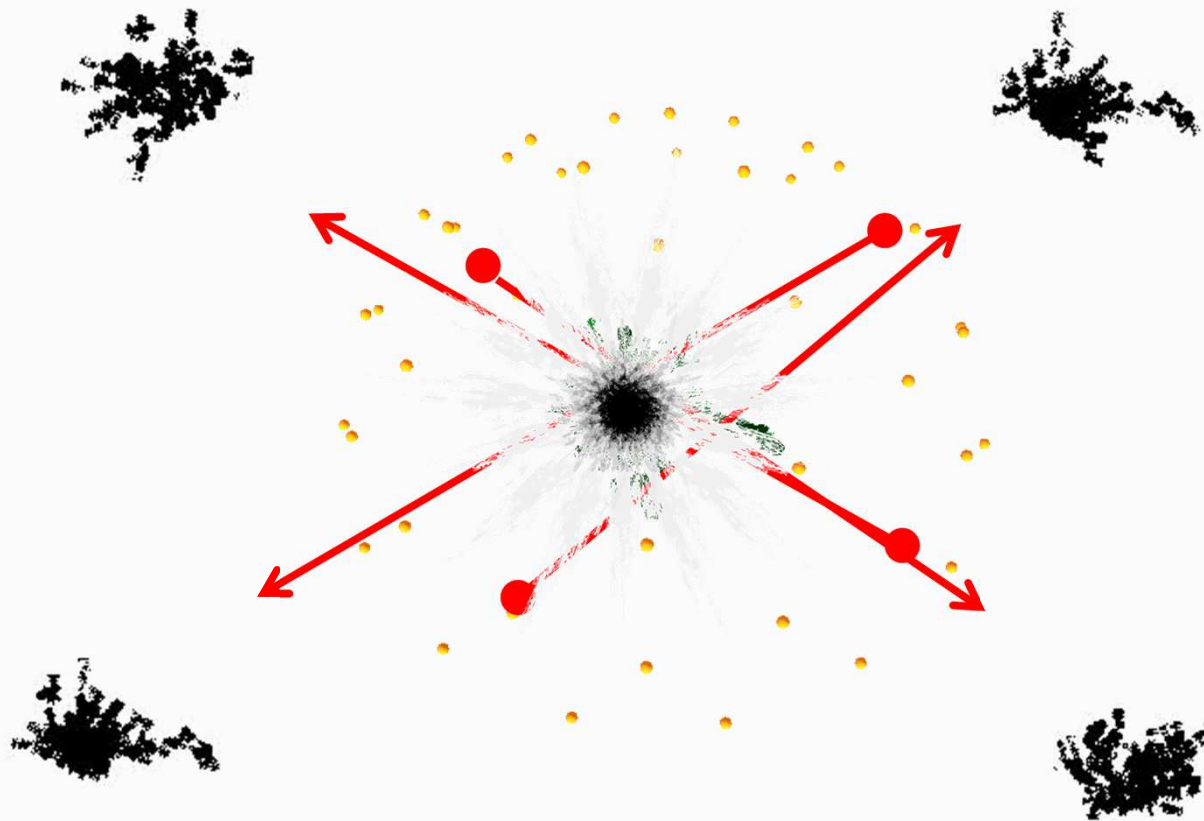


Simulation d'arbres différents (modèle stochastique)



Modèle Multi-Echelle d'interception de la lumière

M μ SLIM permet de calculer le STAR intégré sur de multiples directions du soleil:



(Da Silva et al., 2008)

Experimentations virtuelles

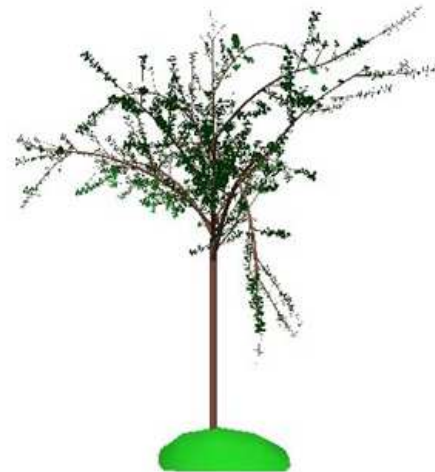
- 300 experimentations en parallèle sur un cluster de calcul
- Simulations sur 5 années de croissance
- Calcul de la structure et du STAR chaque année au 30 Juin



Branching Angle: 46.725°
Internode Length: 0.03 m
Apex Diameter: 0.001 m
Leaf Area: 0.007 m²



Branching Angle: 104.432°
Internode Length: 0.044 m
Apex Diameter: 0.001 m
Leaf Area: 0.003 m²

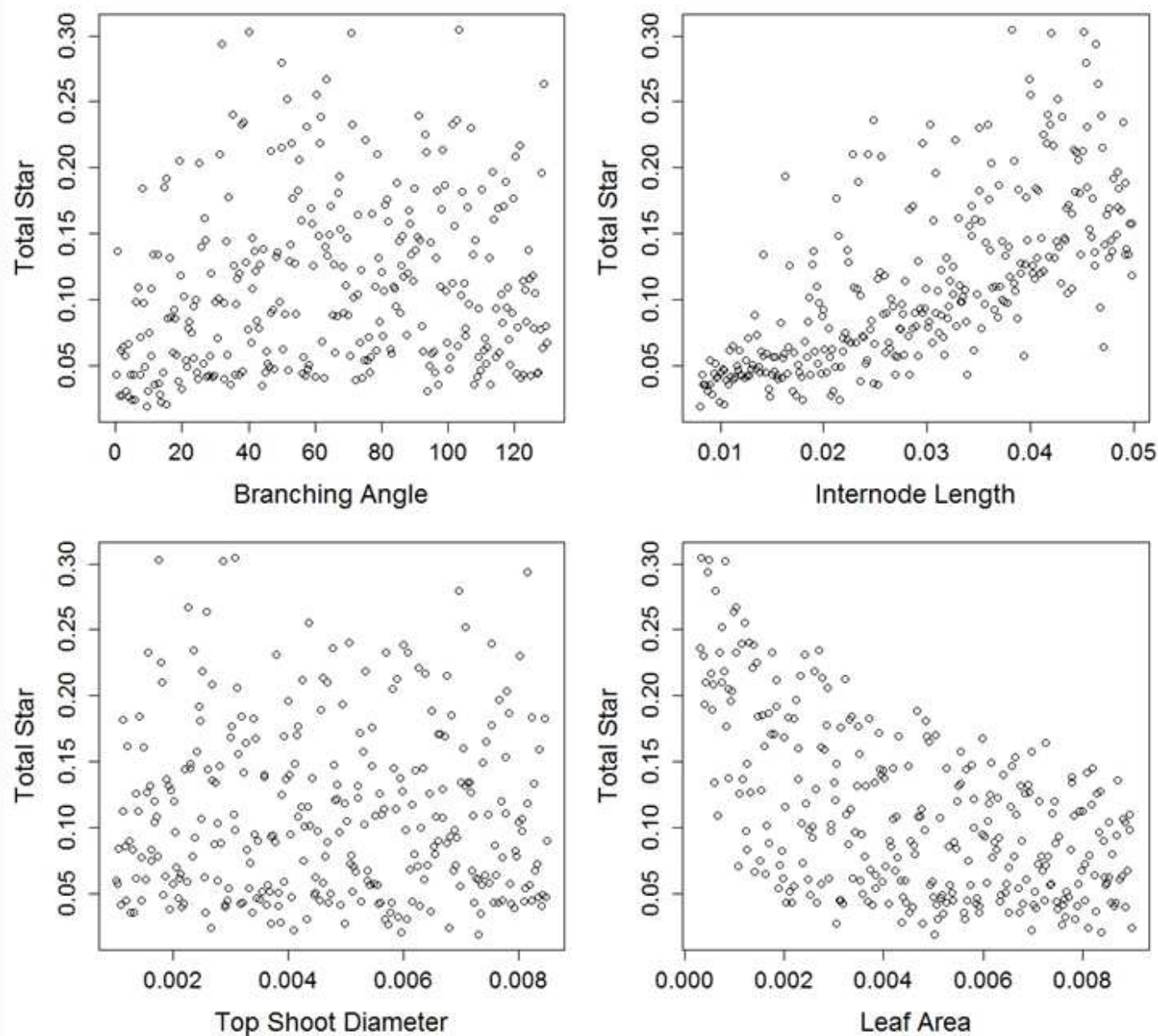


Branching Angle: 44.068°
Internode Length: 0.045m
Apex Diameter: 0.002 m
Leaf Area: 0.0005 m²

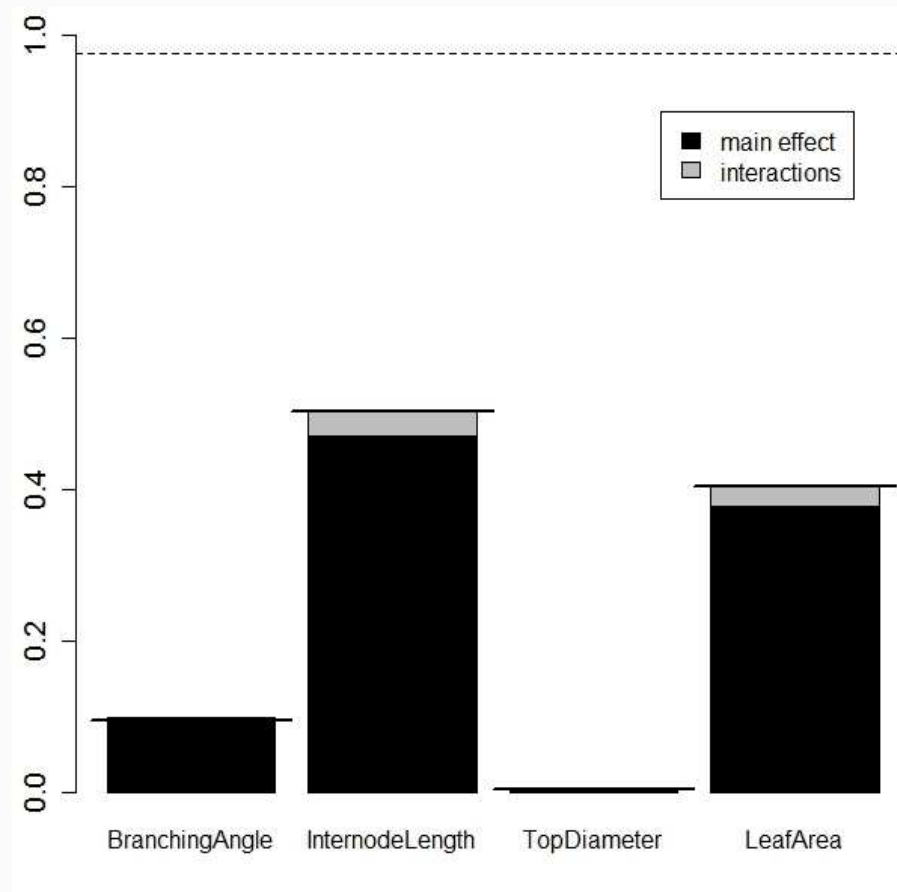


Branching Angle: 17.859°
Internode Length: 0.03 2m
Apex Diameter: 0.001 m
Leaf Area: 0.004 m²

Analyse de l'impact de chacun des caractères

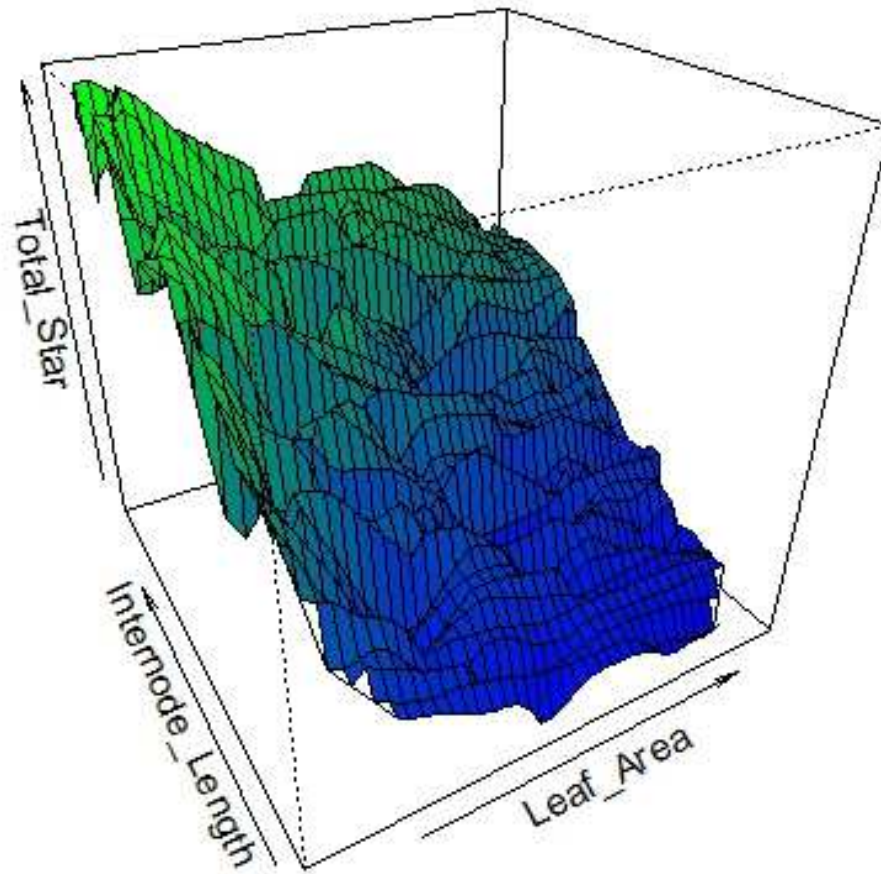


Analyse des effets principaux et des interactions



R^2 of the PLMM: 98% of STAR variability

Espace exploré et espace des possibles



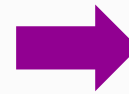


1er bilan



- Impact de la géométrie des organes sur l'interception:

Longueur des entre-nœuds (IL)	fort
Surface foliaire (LA)	fort
Angle de ramification (BA)	faible
Diamètre sommet (TSD)	Quasi nul



Hiérarchisation des
caractères cibles potentiels

- Intégrer dans le modèle MAppleT les effets alléliques sur les caractères ayant le plus d'impact sur la variable à optimiser





Perspectives



- Poursuivre les développements méthodologiques
 - Gérer les corrélations entre variables d'entrées
 - Explorer de nouveaux caractères cibles (Topologie, ramification)
 - Explorer de nouvelles variables de sortie du modèle MAppleT: production en quantité et régularité
- Améliorer le modèle MAppleT:
 - Introduire les effets de la conduite
 - Introduire des effets feed-back de la lumière sur le développement de l'arbre





Remerciements



Model implementation

- 🍏 Michael Renton
- 🍏 Collin Smith
- 🍏 Liqi Han

Sensitivity analysis

- 🍏 Robert Faivre (MIA, Toulouse)
- 🍏 Jean-Christophe Soulié et Lauriane Rouan
(CIRAD, UMR AGAP, Equipe PAM)

High-performance computing

- 🍏 Bertrand Pitollat
(CIRAD, UMR AGAP, Equipe ID)

Scientific support

- 🍏 AFEF Team
PE Lauri
J.L. Régnard
J.J. Kelner
- 🍏 Plateforme OpenAlea & Virtual Plant team
(INRIA-CIRAD, UMR AGAP, Equipe VP)
- 🍏 University of Calgary
Przemyslaw Prusinkiewicz





Merci pour votre attention

