



Les Rencontres du  
**Végétal**

8<sup>e</sup> édition

12-13 JANVIER 2015  
AGROCAMPUS OUEST  
ANGERS, FRANCE

RECHERCHE  
EXPÉRIMENTATION  
INNOVATION

Fruits

Légumes

Ornement

Plantes aromatiques  
et médicinales

Semences

Cidriculture

Viticulture

Paysage



Construction d'idéotypes de variétés de  
pommier pour des vergers  
agronomiquement performants et à  
faibles intrants

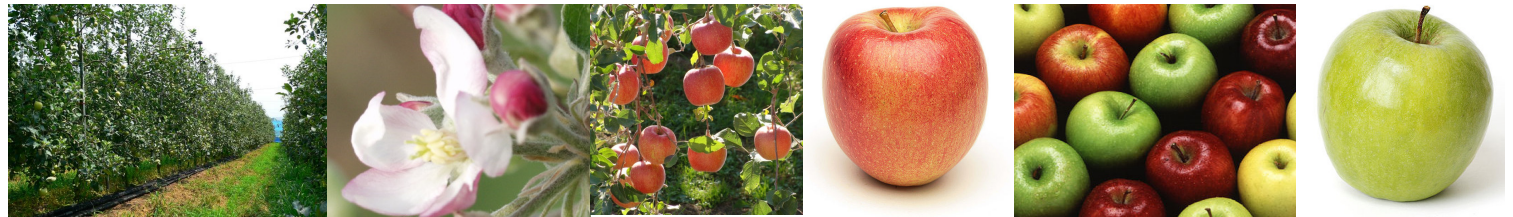
**Evelyne COSTES**

DR INRA

UMR Amélioration des Plantes Méditerranéennes et  
Tropicales (AGAP)

Montpellier, France

# Pourquoi construire des idéotypes variétaux en arboriculture fruitière ?



# Des enjeux socio-économiques en évolution

- Maintenir la performance tout en réduisant les coûts environnementaux:
  - Réduire la fertilisation, les produits éclaircissants et phytosanitaires
  - Maintenir la valeur nutritionnelle des produits
- Faire face aux changements climatiques:
  - Modification des risques parasites
  - Modification de la phénologie des ravageurs et du végétal
  - Risque de stress hydrique et thermique pendant la saison de végétation (perte de production, induction d'alternance)
- Des caractères cibles très divers, dépendants du mode de production et du circuit de distribution :
  - Qualité des produits (visuel, gustatif)
  - Résistance aux bioagresseurs
  - Régularité de la production
  - Adaptation à des conditions environnementales non optimales
  - Facilité de conduite de l'arbre
  - Capacité de stockage post-récolte



# Quel idéotypes de pommier ?

*Enquête Groupe ECOPHYTO, INRA- professionnels, 2010, L Parisi*

➤ Des **traits cibles** très divers

La **hiérarchisation** dépend étroitement du **type de production X circuit commercial**

↓Type de production	Circuit commercial→	Long	Court
<b>Bas intrants</b> <b>3 critères ex-aequo</b> <b>1 - Qualité fruit</b> <b>&amp; Régularité de la production, productivité et homogénéité</b> <b>&amp; Résistance durable/tolérance aux bioagresseurs</b> 2 - Capacité à produire en conditions limitantes, peu sensible aux accidents climatiques		Visuel > Gustatif	Gustatif > Visuel
<b>Bio.</b> <b>1 - Résistance durable/tolérance aux bioagresseurs</b> <b>2 - 2 critères ex-aequo</b> <b>Qualité fruit</b> <b>&amp; Régularité de la production, productivité et homogénéité</b> 3 - Capacité à produire en conditions limitantes, peu sensible aux accidents climatiques		Visuel > Gustatif	Gustatif > Visuel

# Construire des idéotypes chez une espèce pérenne: de nombreuses contraintes

## ➤ Objet biologique:

Cycle de vie et de reproduction long ➔ amélioration lente

Effets d'un stress (ravageur, environnement) se répercutent sur les cycles suivants

Nombreux effets non génétiques (climat, conduite)

## ➤ En amélioration :

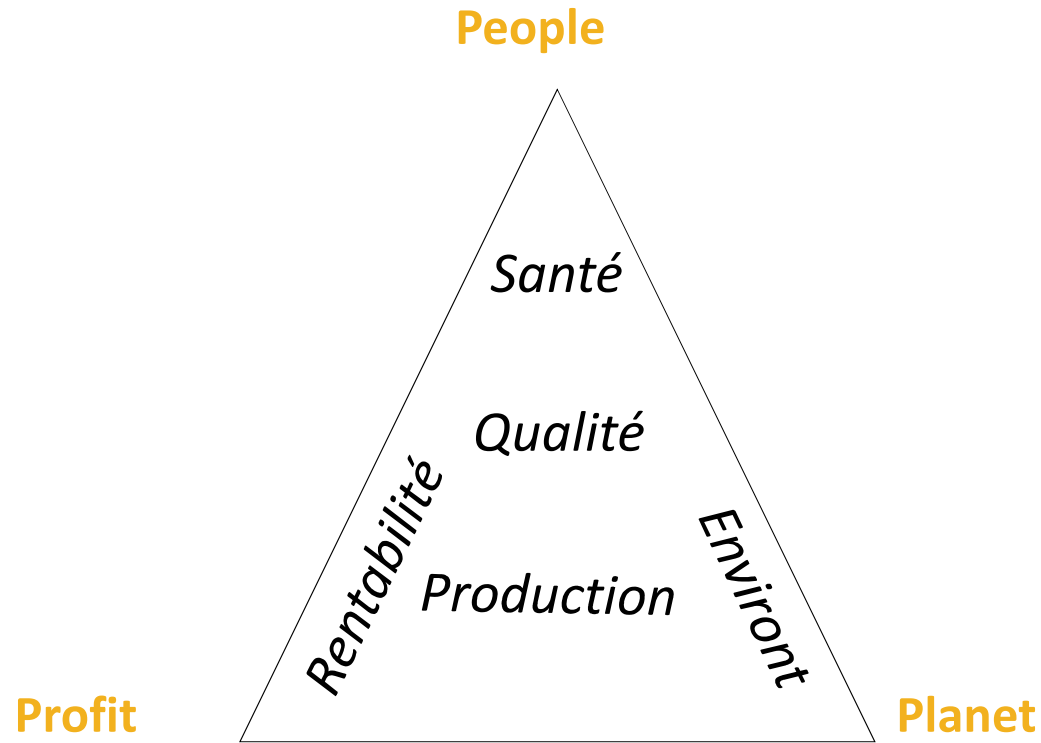
(i) Combiner des allèles favorables de plusieurs gènes pour chaque caractère

(ii) Combiner plusieurs caractères dont le déterminisme génétique ou la physiologie peuvent s'avérer antagonistes

(iii) Rechercher les synergies favorables entre potentialités génétiques, effets environnementaux et pratiques culturales, ou encore entre variétés

# Intérêt et complexité des idéotypes:

Trouver des convergences entre 3 pôles d'intérêt potentiellement contradictoires



*D'après De Buck et Buurma (2004)*

# **Un pré-requis: Connaître la variabilité de l'espèce et ses bases génétiques**



# La qualité du fruit

- Une grande variabilité
  - De nombreux caractères
- Visuels : Couleur, Calibre,  
Gustatifs: Texture, fermeté, sucres, acides,  
arômes
- Des déterminismes génétiques explorés ou en cours d'exploration pour les plus complexes (arômes)



*Photos F. Laurens*

- Large diversité acceptée, voire souhaitée pour la création de variétés à vocation mondiale *versus* locale

*Travaux de F Laurens et al., IRHS*



# Résistances aux bio-agresseurs

- Une variabilité dépendant du bio-agresseur :
  - Tavelure et oïdium : gènes majeurs de résistance principalement issus des espèces sauvages de *Malus* et sources de résistances partielles
  - Feu bactérien: idem, mais efforts principalement sur la résistance partielle
  - Large variabilité de la résistance au puceron cendré et à galles rouges
  - Mais faible variabilité pour la résistance au carpocapse

Photos C.E. Durel



*Mais aussi une variabilité dépendant de l'organe (feuille/fruit), du stade physiologique de l'arbre, du niveau de pression parasitaire, et des conditions environnementales*

*Travaux de CE Durel et al., IRHS*

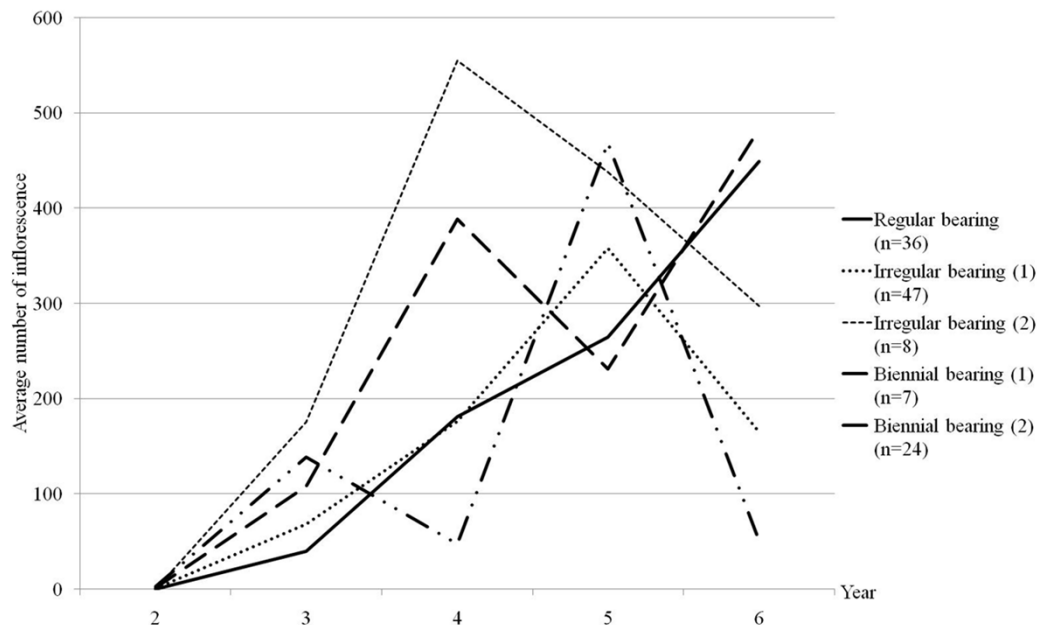
# Architecture de l'arbre et alternance de production



Starkrimson x Granny Smith

- Forte héritabilité des caractères architecturaux:  
le port, la croissance et la ramification

*D'après Segura et al. (2008; 2009)*

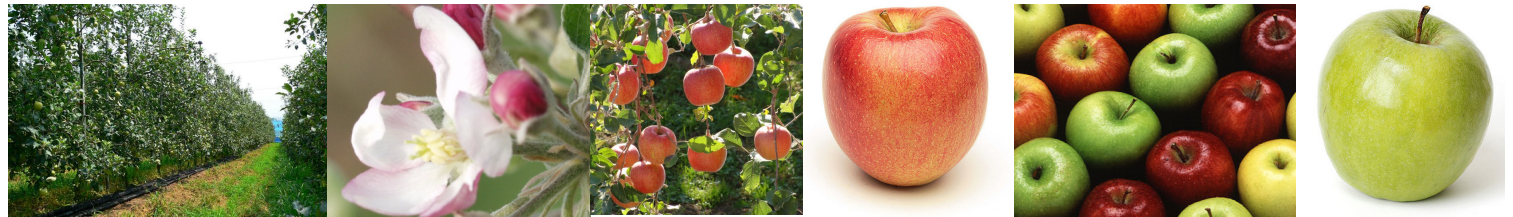


- Le caractère de régularité ou d'irrégularité de la production est héritable

*D'après Guitton et al. (2011)*

➔ Différents patterns d'alternance

# Construction d'idéotypes: Contribution de la modélisation



# Quel apport potentiel de la modélisation?

- L'exploration des interactions G x E x C (x S) est antagoniste du temps et du coût des expérimentations nécessaires
  - Les combinaisons de traits cibles sont multiples et leurs interactions complexes
  - Des modèles ont été développés depuis les années 90 qui permettent de faire des expérimentations “virtuelles”:
    - ✓ Analyser de nombreuses architectures d'arbre
    - ✓ Sélectionner les traits ayant le plus d'impact et aider à mieux focaliser les études génétiques et physiologiques
- ➔ Nouvelles voies d'exploration par analyse de sensibilité



# Comment estimer l'efficienne d'une architecture d'arbre ?

- Différentes architectures peuvent être obtenues par
  - Le choix des cultivars
  - Les pratiques agronomiques: greffage, distances de plantations, taille, arcures, etc.
- Objectif de ces manipulations:
  - Améliorer la fructification en quantité et qualité:  
Taille des fruits (relation nb de feuilles / lieux de fructification)  
Coloration (position dans l'arbre)
  - Améliorer la régularité de production

# Manipulation de l'architecture de l'arbre :

Orienter l'arbre vers une **fructification régulière** en prenant en compte les potentialités des génotypes et le contexte de culture.



Photo Lauri P.E.

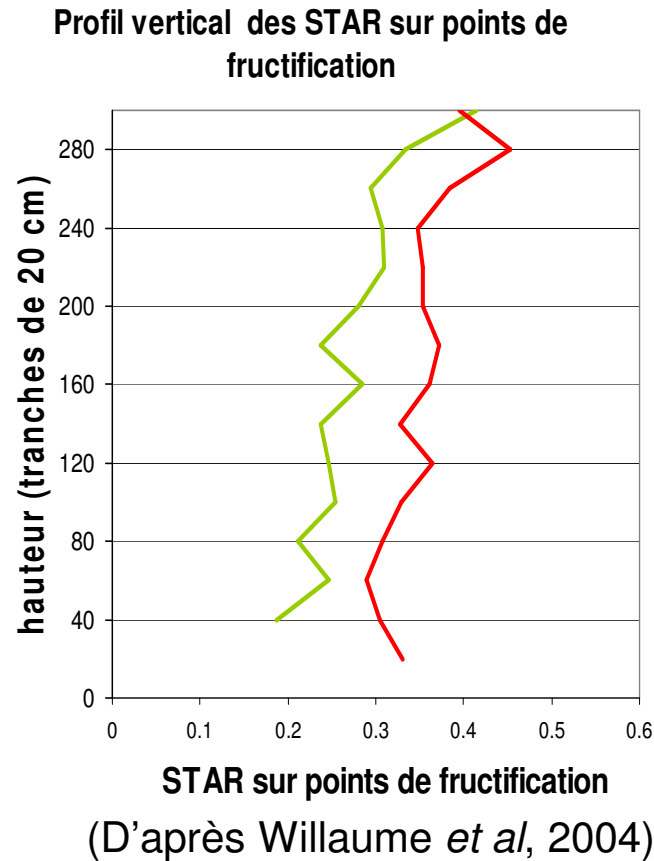
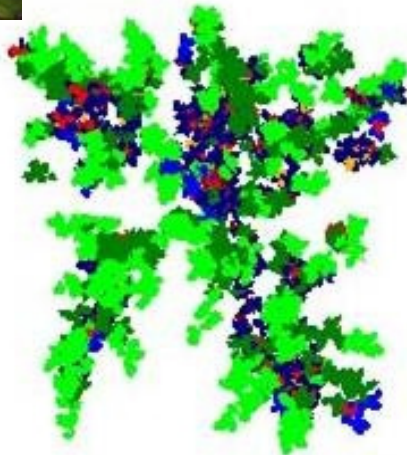
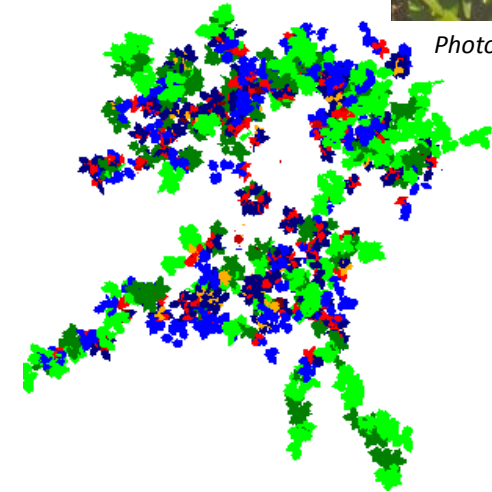


Photo Lauri P.E.

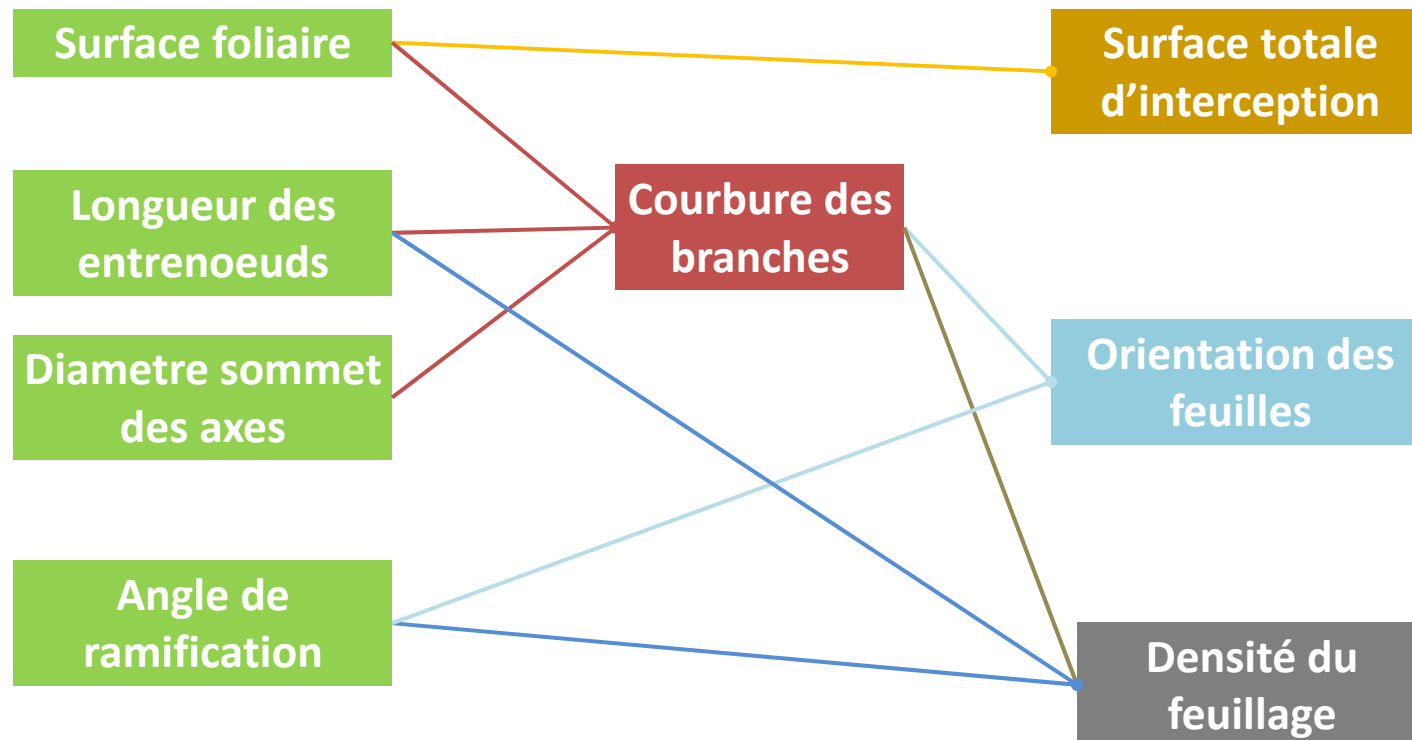


- ↪ Amélioration de la pénétration de la lumière
- Amélioration de la coloration des fruits & de la régularité de production

# 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)

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



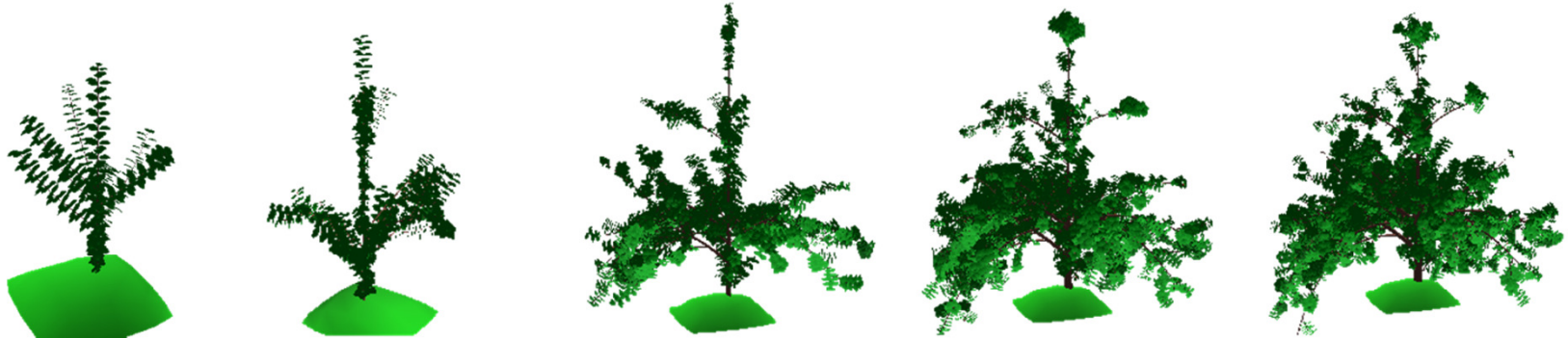
# Démarche adoptée

- Décomposer l'architecture en caractères plus élémentaires  
Géométrie (forme et disposition spatiale des organes)  
Topologie (position relative des organes)
- Deux jeux d'expériences virtuelles  
Influence de traits géométriques, sur une topologie fixée  
Influence de traits topologiques avec des traits géométriques fixes  
Gamme de variation des traits de géométrie et de topologie  
correspondant à ceux observés dans la population de 111 hybrides
- Une démarche *in silico* associant deux modèles:  
MAppleT (Markov Apple Tree): simulation du développement de l'arbre  
MμSLIM (Multi-Scale Light Interception Model) : calcul de  
l'interception
- Analyse de sensibilité sur deux variables de sortie  
La surface foliaire totale  
Le STAR (Silhouette to Area Ratio) intercepté

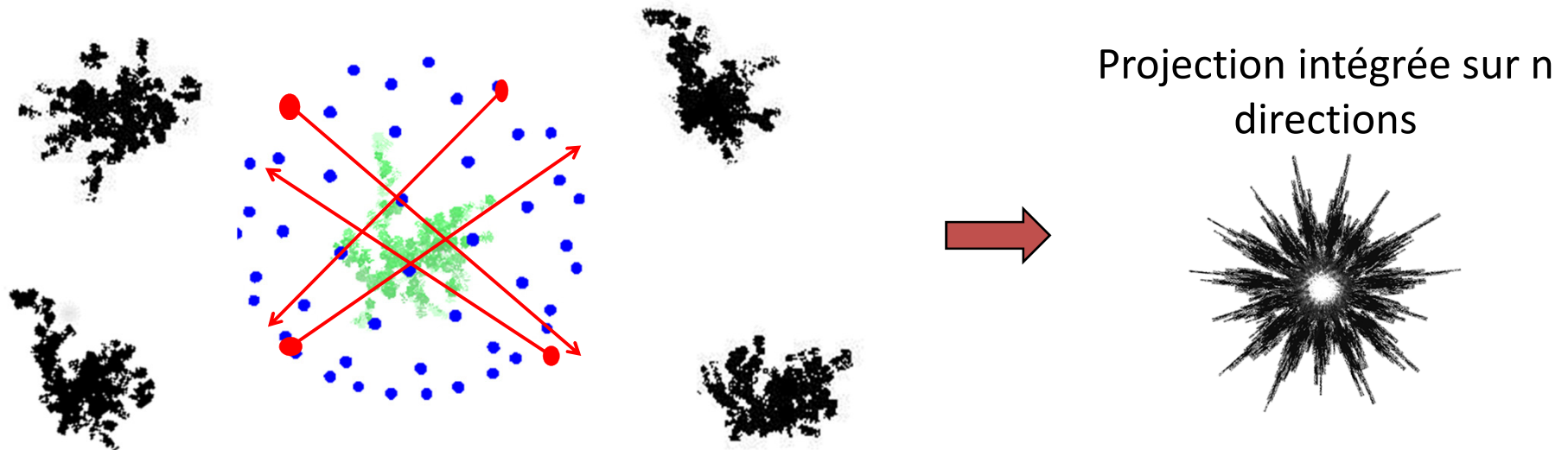


# Couplage d'un modèle d'architecture et d'un modèle d'interception de la lumière

**Mapple T (Markov Apple tree):** génère des architecture de pommier sur plusieurs années consécutives



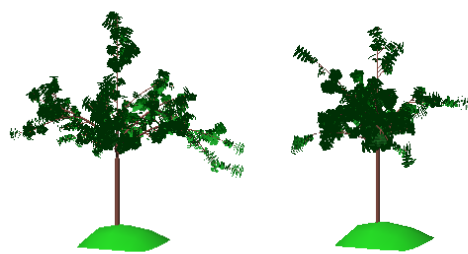
**MμSLIM:** calcul du ratio de surface foliaire éclairée sur la surface foliaire totale



# Exploration *in silico* de la variation observée dans une population F1

(Segura et al., 2007 and 2008)

*Lg des entre-nœuds*  
*Surface des feuilles*  
*Angle de ramification*  
*Diamètre des axes*

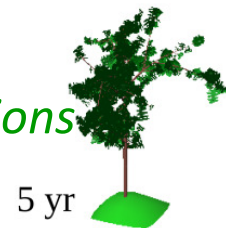


Variation observée chez 'Fuji'  
simulée par MAppleT  
(Costes et al., 2008)

Géométrie

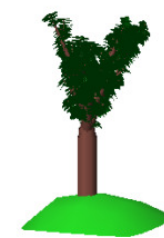
Topologie

*Nb de ramifications  
des troncs*

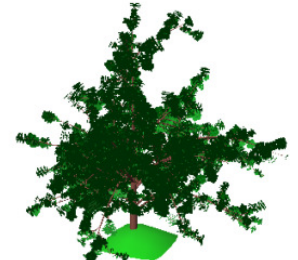
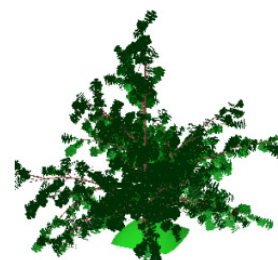
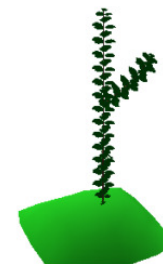


1 yr

5 yr



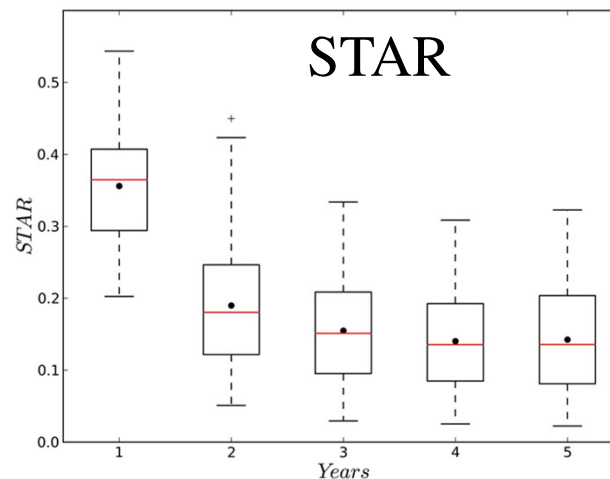
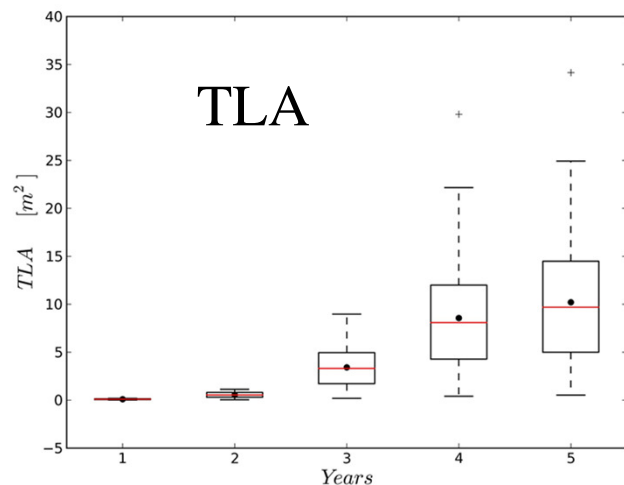
Han et al. 2011, Ecological Model.



Da Silva et al. 2014, Ann. Bot.

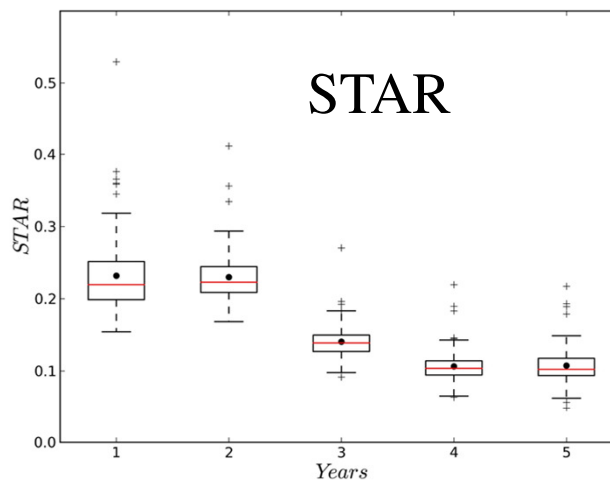
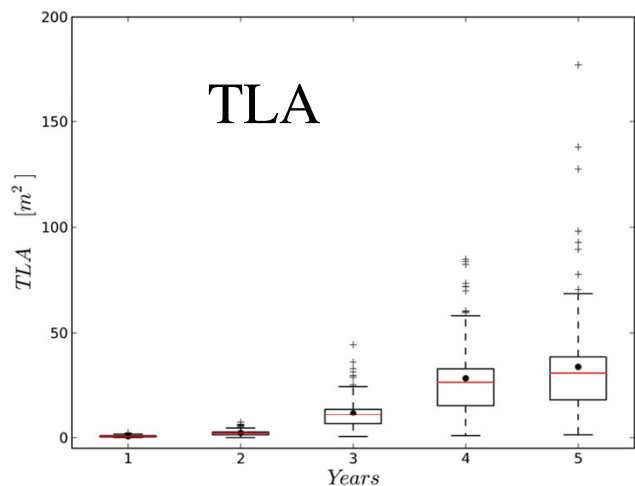
# Evolution de la surface foliaire totale (TLA) et du STAR

## Géométrie



- Plus grande variabilité de TLA avec la variation de la ramification

## Topologie

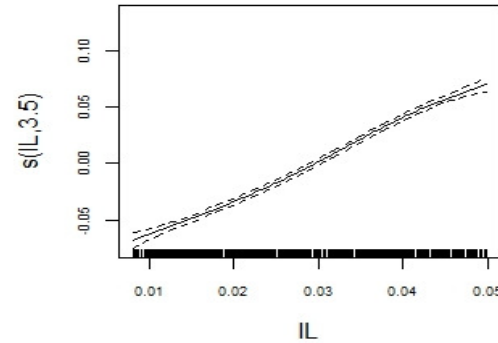
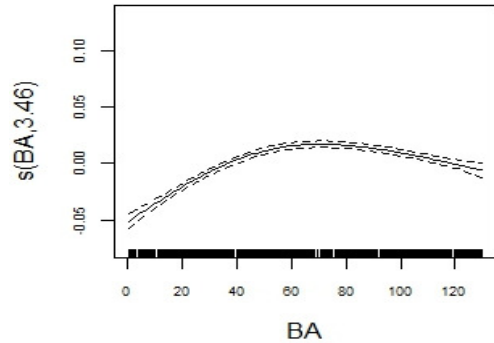


- STAR se stabilise après 3 ans
- Effet de compensation entre TLA et STAR

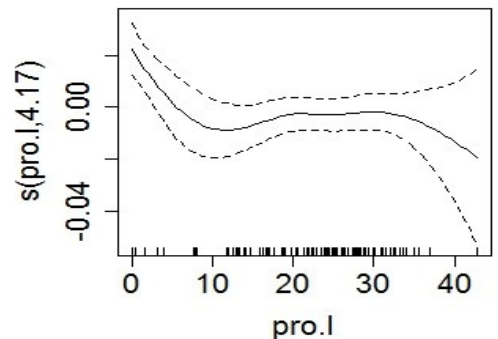
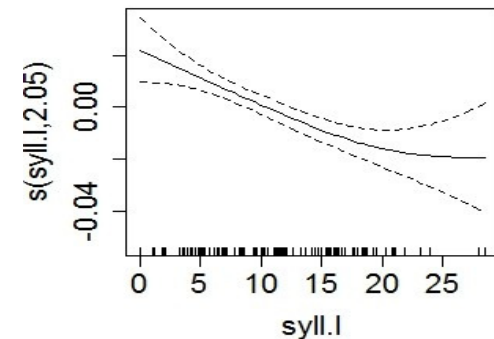
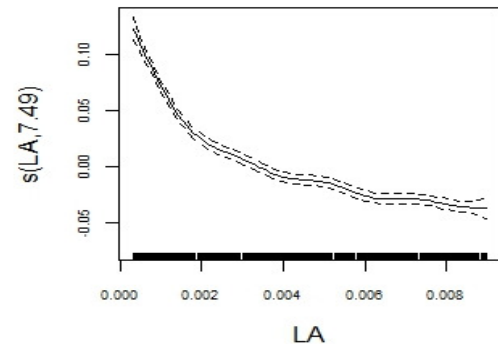
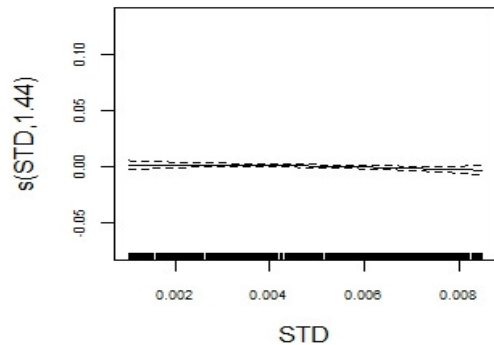
➔ optimisation doit être recherchée sur plusieurs critères simultanément

- **Analyse de sensibilité: Impact de la surface foliaire totale (TLA) sur l'interception de la lumière (STAR)**

Géométrie



Topologie



- Impact important des longueurs d'entre-nœuds, des surfaces de feuille et de la ramification sylleptique

➔ Hiérarchisation des caractères



# Contribution à la définition d'idéotypes

- Sur des caractères à combiner mais en nombre limité:
  - ➔ recherche d'optima multi-critères:
    - Surface foliaire abondante pour une photosynthèse abondante
    - Interception de la lumière importante et pénétration dans l'arbre
  - ➔ recherche de faisabilité:
    - Certaines combinaisons de caractères peuvent être difficile à obtenir génétiquement
- Mais ... les caractères à considérer sont nombreux et souvent antagonistes
  - ➔ Des approches similaires sont conduites
    - sur la qualité du fruit  
Travaux de B. Quilot et M. Génard GAFL et PSH, Avignon
    - sur les résistances aux pathogènes du pommier  
Travaux de N Sapoukhina et CE Durel, Angers

# En conclusion: Un processus dynamique

- Impulser des projets pluridisciplinaires
- Associer des partenaires de la profession
- ➔ Construire une approche multi-critères basée sur des modèles, fournissant des bilans sur la performance, les risques ou la durabilité des systèmes cultureux :
- Adaptation à des systèmes de production et de commercialisation variés :
  - en AB résistance aux bio-agresseurs pour lesquels peu de moyens de lutte;
  - distribution à courte ou longue distance
- Capable de produire régulièrement en conditions difficiles (attaque parasitaires, mais aussi fertilisation ou climat) : rusticité, résilience
- Associés à des systèmes de culture réduisant les risques parasitaires
- ➔ Confronter les idéotypes à la variabilité génétique et aux processus d'innovation et de sélection
- ➔ Mettre en place des AR entre expérimentation-modélisation-prédiction-innovation, impliquant un grand nombre d'acteurs et de compétences

***Mais ... élaborer un idéotype de pommier aujourd'hui n'amènera à une création variétale que dans 15-20 ans au mieux : premières cibles définies en fonction du contexte actuel, puis progressivement validées et élargies***

TITRE DE LA PAGE



8<sup>e</sup> édition

12-13 JANVIER 2015  
AGROCAMPUS OUEST  
ANGERS, FRANCE

RECHERCHE  
EXPÉRIMENTATION  
INNOVATION

Fruits

Légumes

Ornement

Plantes aromatiques  
et médicinales

Semences

Cidriculture

Viticulture

Paysage

## Remerciements

- F. Laurens (IRHS, Angers)
- C.E. Durel (IRHS, Angers)
- D. Da Silva (UMR AGAP, AFEF, Montpellier)
- P.E. Lauri (UMR AGAP, AFEF, Montpellier)
- R. Faivre (MIA, toulouse)
- V. Picheny (MIA, Toulouse)

*Merci de votre attention*



Rappel du titre de la présentation  
Date