

*Etat de l'art de la modélisation 3D « Plantes Virtuelles » :  
Applications aux espèces fruitières et à la vigne*

Evelyne Costes, DR INRA

UMR DAP (Développement et Amélioration des Plantes)

Equipe INRA-Montpellier SupAgro  
Architecture et fonctionnement des Espèces Fruitières

## *Représentation et simulation des plantes en 3D: Quelle enjeux en arboriculture fruitière et en viticulture ?*

- L'établissement et le contrôle de la forme 3D de la plante est un investissement majeur du système de production:
  - Conduite par porte-greffe, distances de plantation, palissage, interventions de taille, éclaircissage, etc...
  
- La forme 3D de la plante a un impact sur l'efficacité d'interception du couvert:
  - Qualité et régularité de la production
  - Interactions avec les pathogènes
  
- Complexité particulière aux plantes pérennes:
  - Résultat d'une taille influence les années suivantes
  - Potentiel des bourgeons fructifères géré sur deux années successives

## *Représentation et simulation des plantes en 3D: Quels objectifs en arboriculture fruitière et en viticulture ?*

- Objectiver les différences entre cultivars ou les effets d'une conduite sur des critères simples et évaluables:

Efficacité d'interception

Niveau d'infestation par un pathogène

- Examiner différents scénarii plausibles:

Variation des paramètres d'entrée et analyse d'impact sur les facteurs de production

Deux méthodes pour obtenir des plantes virtuelles en 3D:

- Mesure directe (plus ou moins simplifiée) par digitalisation et reconstruction

- Simulation par un programme intégrant plus ou moins de fonctions et d'interactions

# TopVine : un outil de reconstruction 3D de la structure du couvert chez la vigne

**INRA SupAgro Montpellier,  
UMR 759 LEPSE**

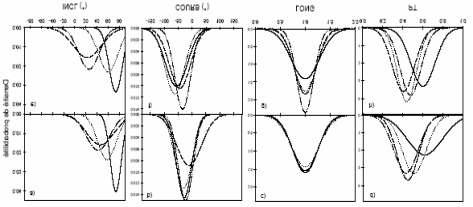
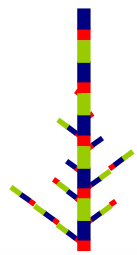
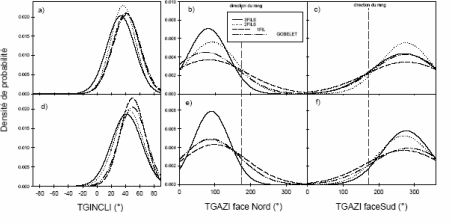
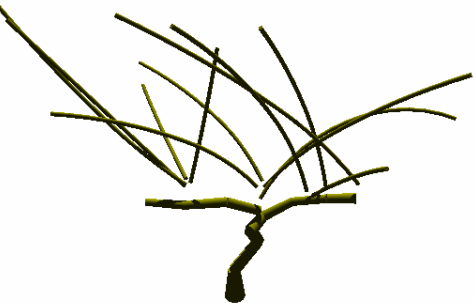
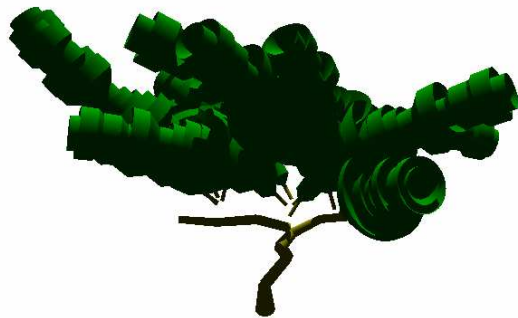

**(Louarn et al. AOB 2008)**

- Simuler à l'aide d'une représentation simplifiée la structure d'un couvert viticole et sa variabilité spatiale.
- Calculer, par couplage avec des modèles biophysiques, des variables complexes (*Efficiéce d'interception, distribution d'éclairement, transpiration, photosynthèse*).
- Analyser les interactions Génotype x Conduite x Environnement
- Tester des stratégies de conduite
- Élaborer des indicateurs de fonctionnement du couvert utilisables au vignoble



# TopVine : un outil de reconstruction 3D de la structure du couvert chez la vigne

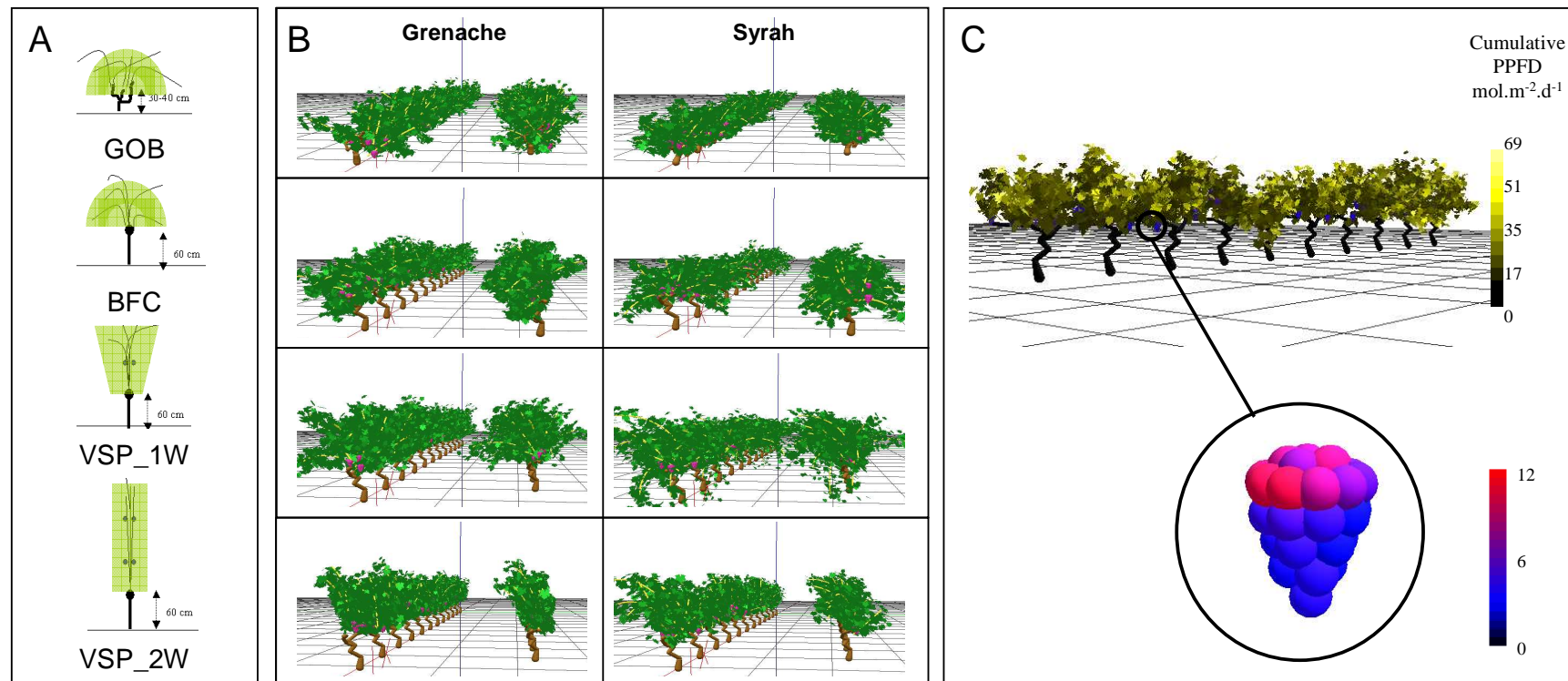
- Une représentation simplifiée de la structure du rameau sous la forme de nuages de feuilles \_approche « topiaire »\_

<b>Étape 1:</b> Description statistique de la trajectoires 3D des rameaux	<b>Étape 2:</b> Description des enveloppes foliaires à partir d'une structure de rameau moyen	<b>Étape 3:</b> Distribution statistique des feuilles (azimut, inclinaison) et des fruits
 <p>Figure 1: Statistical plots of 3D branch trajectories. The figure consists of eight subplots arranged in a 2x4 grid. The top row shows trajectories for 'secr LI', 'corms LI', 'foms', and 'bl'. The bottom row shows trajectories for 'a', 'b', 'c', and 'd'. Each plot has 'Azimut (°)' on the x-axis and 'Densité de probabilité' on the y-axis.</p>	 <p>Figure 2: Simplified 3D branch structure. A vertical stem with several horizontal branches, each colored in a different color (red, blue, green, yellow, orange).</p>	 <p>Figure 3: Statistical distribution of leaves and fruits. A 2x3 grid of plots showing probability density functions. The top row shows distributions for 'azimut de la face', 'inclinaison de la face', and 'inclinaison de la face'. The bottom row shows distributions for 'TGINCLI (°)', 'TGAZI face Nord (°)', and 'TGAZI faceSud (°)'. The y-axis is 'Densité de probabilité'.</p>
 <p>Figure 4: 3D reconstruction of a branch with leaves. A brown branch with several green leaves.</p>	 <p>Figure 5: 3D reconstruction of a branch with a dense leaf cloud. A brown branch with a dense, rounded cloud of green leaves.</p>	 <p>Figure 6: 3D reconstruction of a branch with a realistic leaf cloud. A brown branch with a realistic, dense cloud of green leaves.</p>

TopVine est développé en Python (bibliothèques rpy et PlantGL, ALEA, Pradal et al, 2003)

# TopVine : un outil de reconstruction 3D de la structure du couvert chez la vigne

■ Exemple d'application agronomique : Comparaison des performances de différents systèmes de conduites de la vigne pour des cépages à architecture contrastée (*Coll. Institut Rhodanien, CA84, SGVCR*)



(Louarn et al. AJGWR 2008)

## *Simuler une architecture en 3D: Quels modèles?*

Choix de modèles de base déterministes et mécanistes ou modèles probabilistes:

Dépend de l'état des connaissances et du niveau de détail du modèle global

Quelques exemples:

Devenir des bourgeons: modèles probabilistes

Déploiement foliaire et grossissement du fruit : modèles +/- empiriques (une surface ou volume fonction du temps ou de degré-jours)

Croissance cambiale: lois d'allométrie

Interception de la lumière : modèle bio-physique déterministe

Photosynthèse: modèle mécaniste

Selon les applications, chacun de ces modèles peut être plus ou moins détaillé:

→ Choix du modélisateur facilité par l'utilisation d'un langage de ré-écriture (programmation L-systèmes)

# Modelling and Simulating fruit tree development : an integrative approach

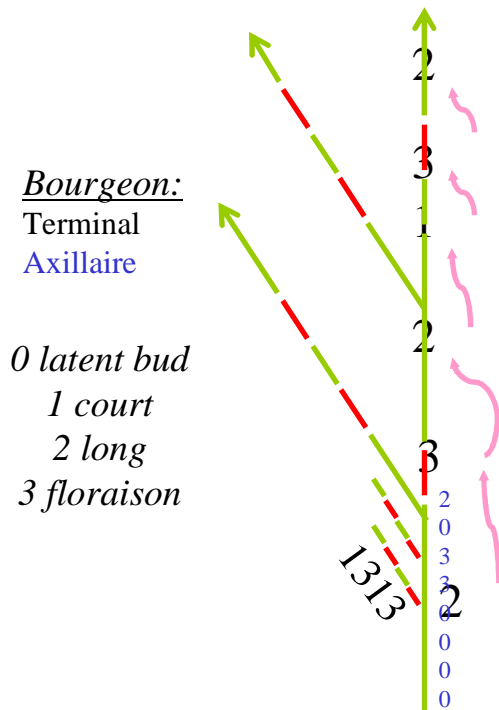
Stochastic modelling

Which shoot type develop from a bud?

+

Mechanistic modelling

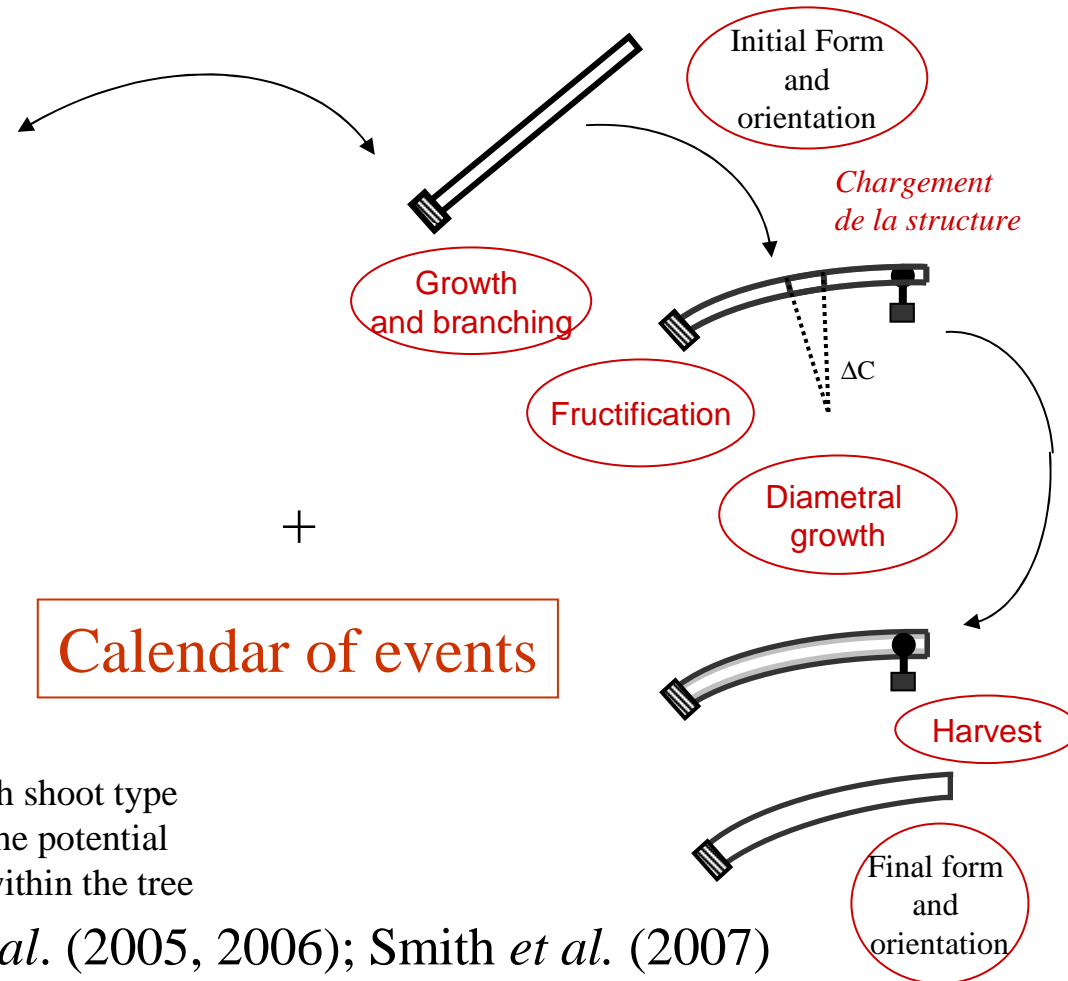
How calculating shoot geometry over time ?



A number is attributed to each shoot type and probabilities represent the potential development at any position within the tree

Calendar of events

+



Renton *et al.* (2005, 2006); Smith *et al.* (2007)



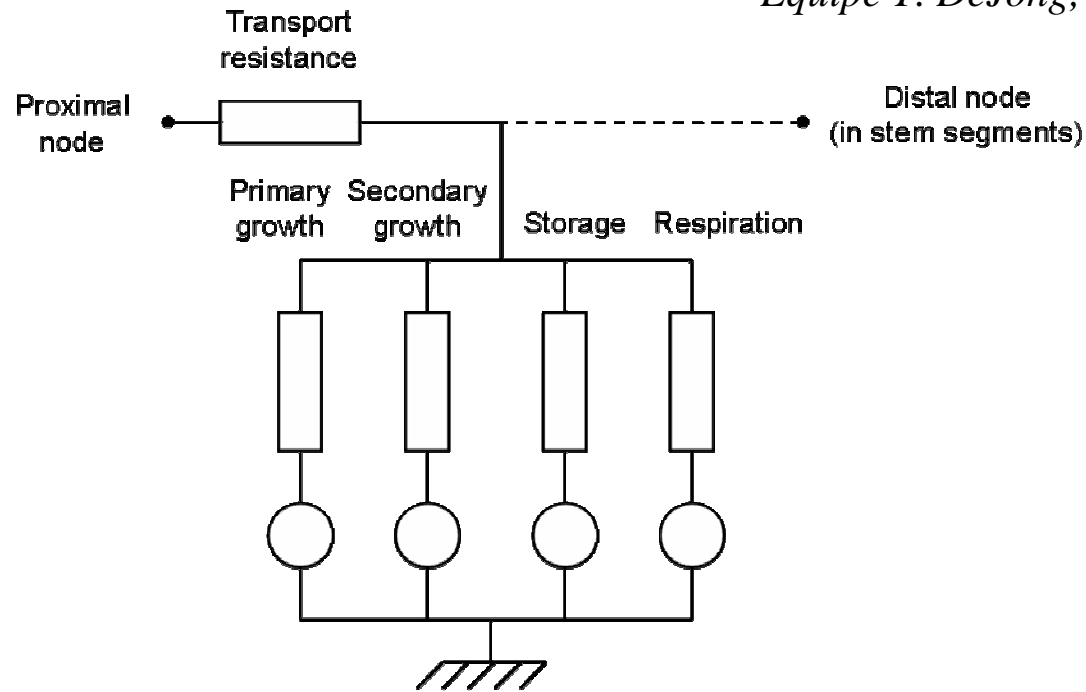


*Post-doc Colin Smith 2006*

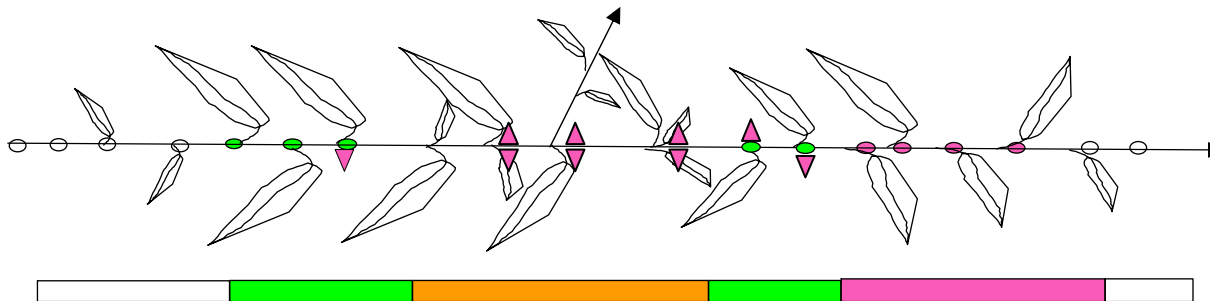
# L-Peach: Un modèle structure-fonction de pêcher

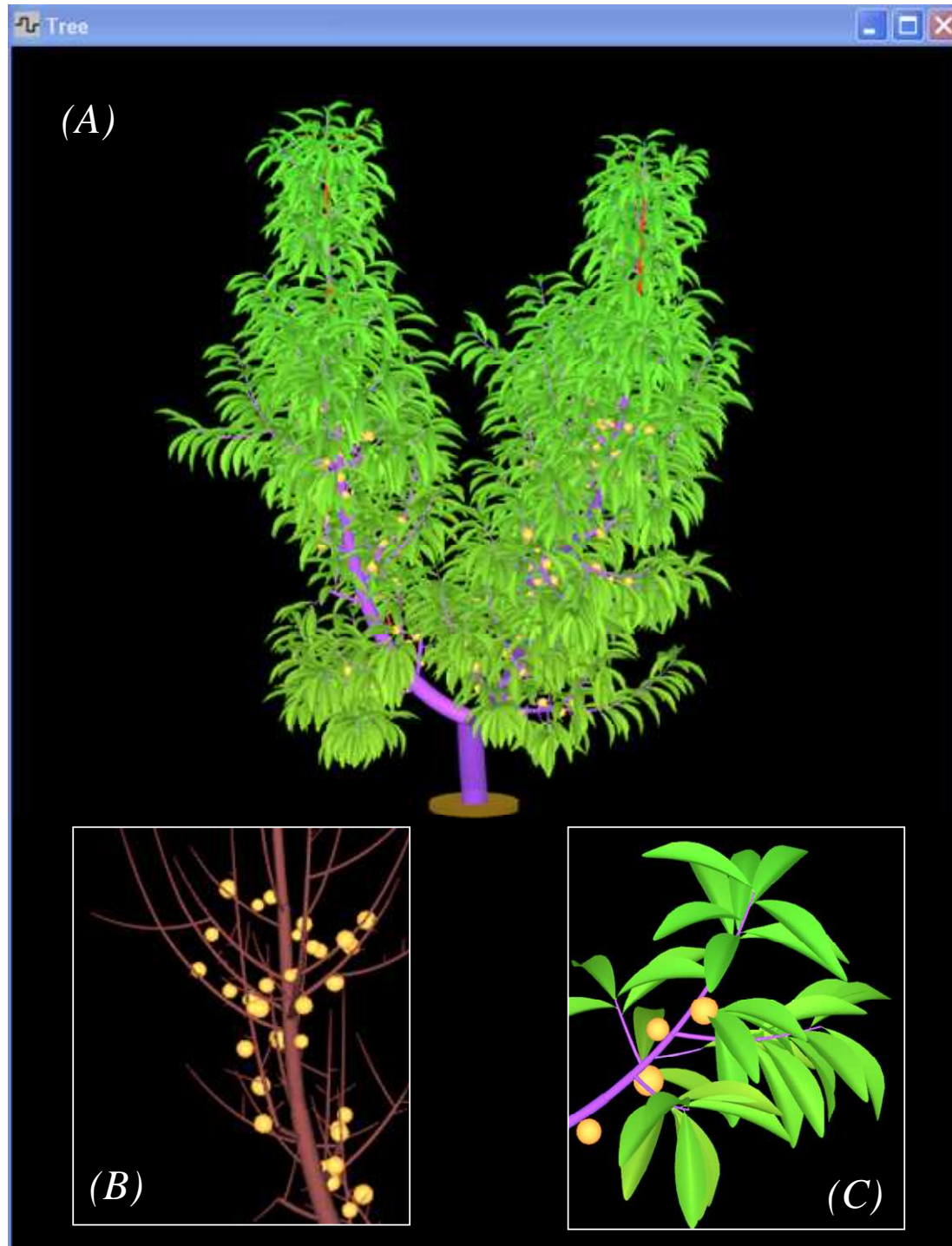
Un modèle d'allocation de carbone par analogie électrique:

*Equipe T. DeJong, UC Davis*

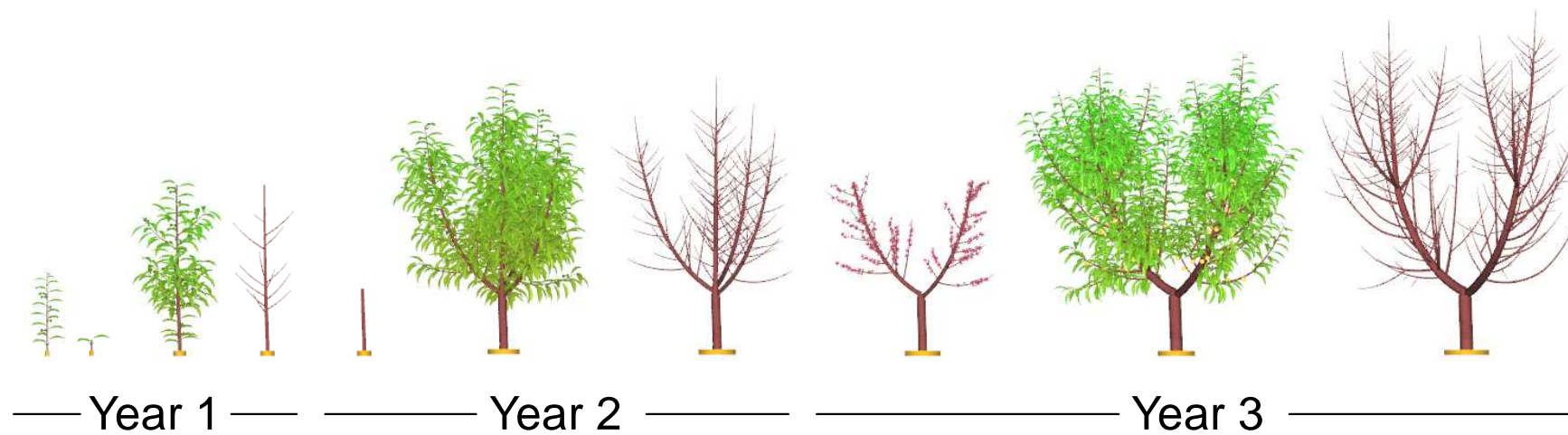


+ Un modèle probabiliste pour distribuer les potentiels de croissance

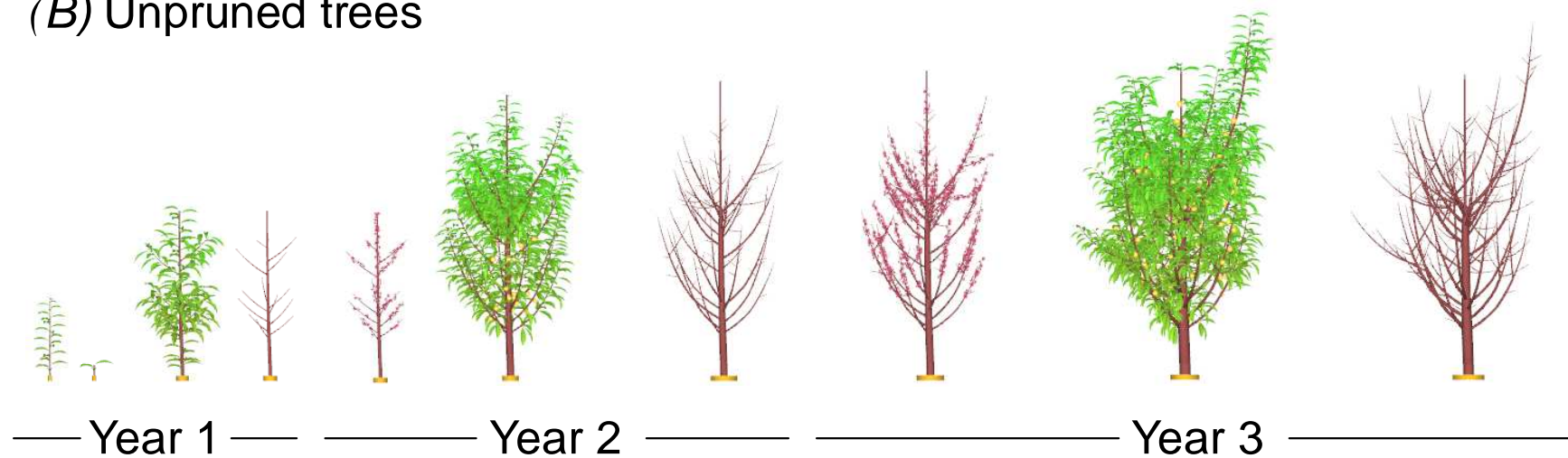




(A) Pruned trees

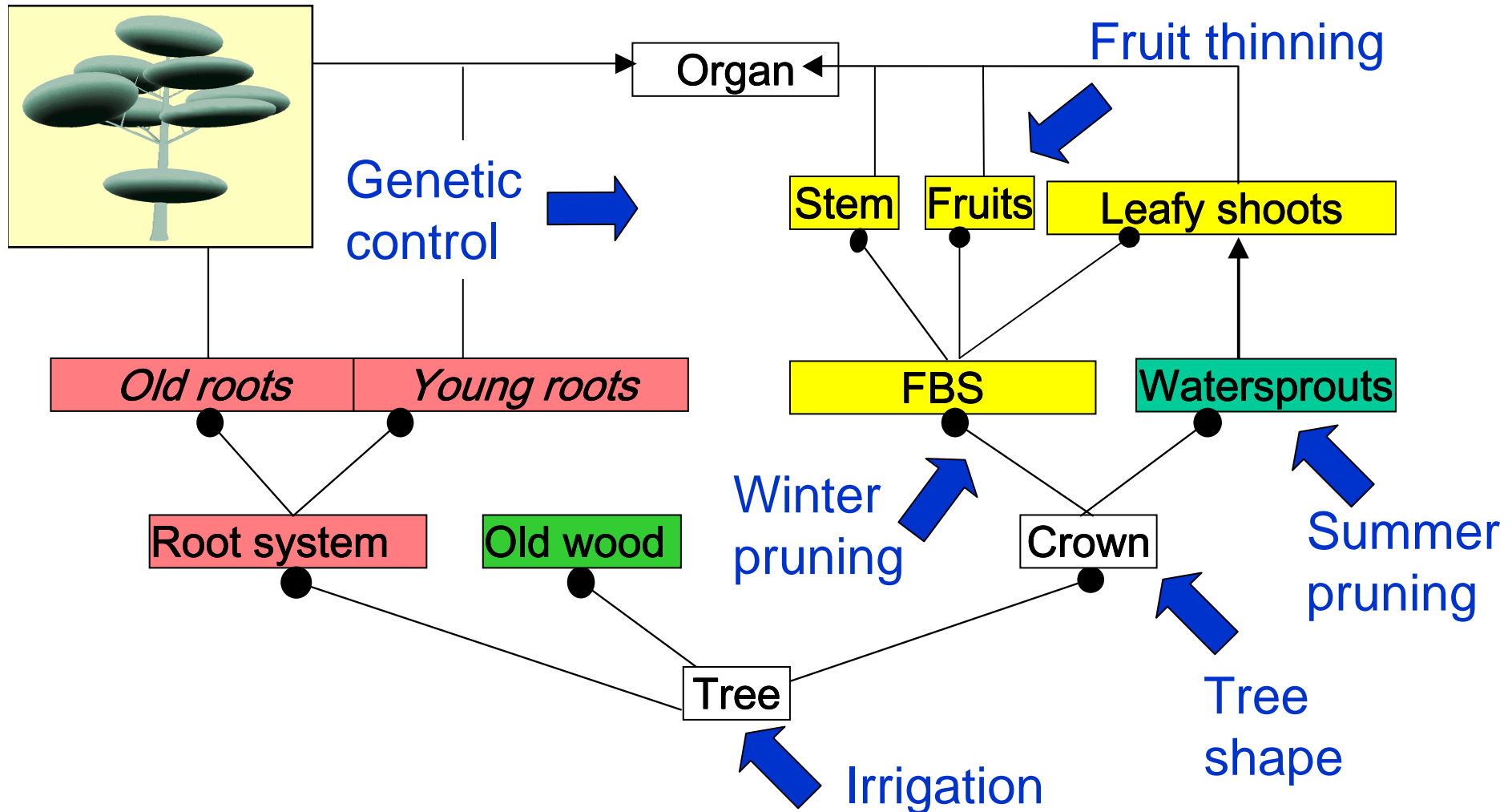


(B) Unpruned trees

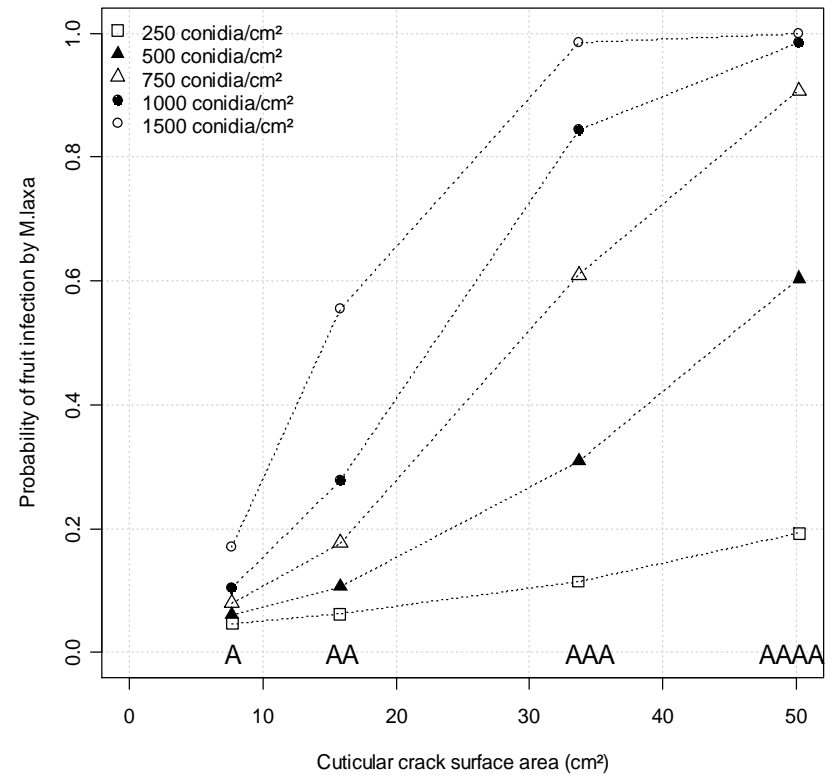
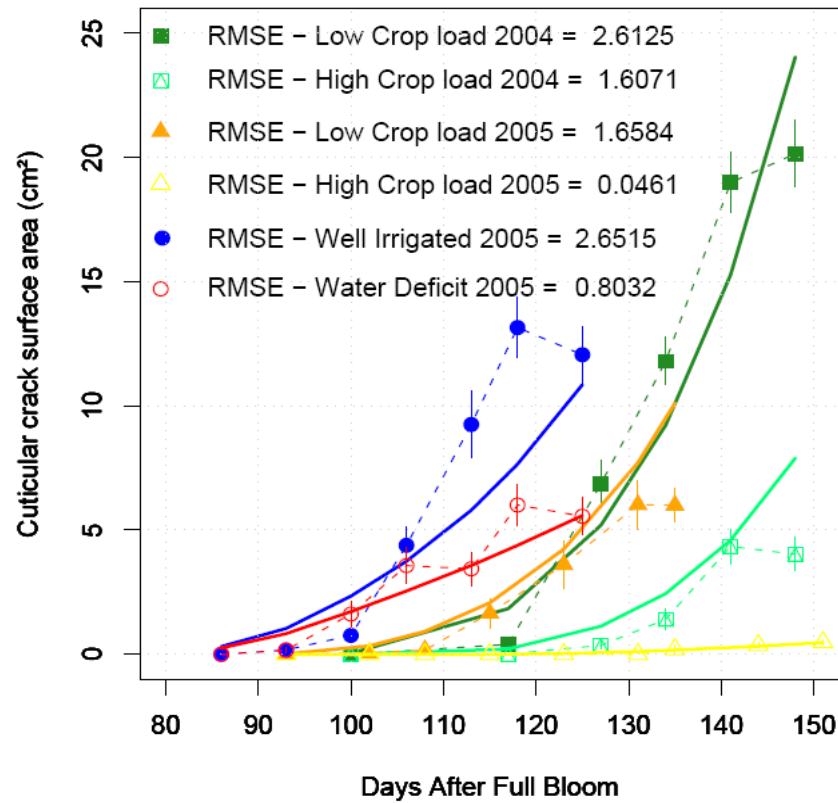


# Pêcher virtuel et carbone

F. Lescourret et coll., PSH Avignon



# Sensibilité aux maladies



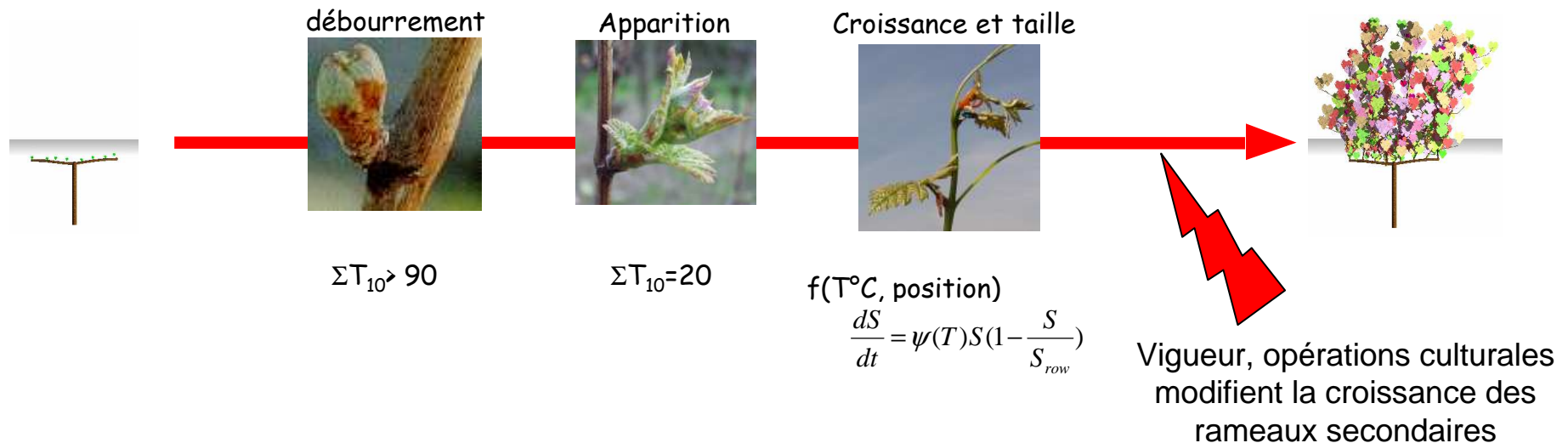
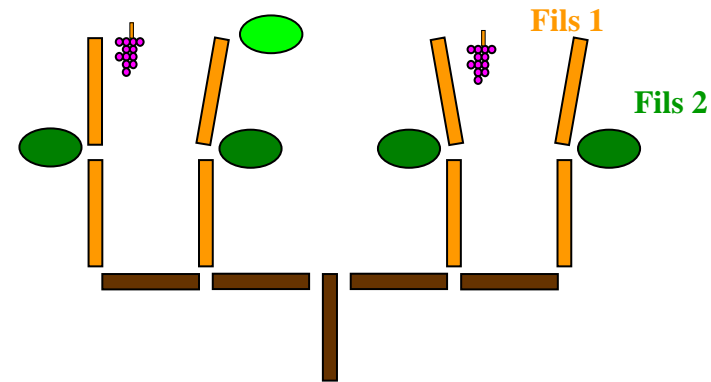
# Modèle couplant deux dynamiques de développement : oïdium et vigne

A. Calonnec, UMR Santé des Plantes, Bordeaux

- Comprendre et évaluer les interactions dynamiques Hôte / A. Pathogène / Environnement, hiérarchiser les principaux facteurs (précocité, vigueur, structure des rangs...)
- Simuler des dynamiques spatio-temporelles à partir de différents scénarii (climat, systèmes de culture, isolats...)
- Tester des stratégies de contrôle de la maladie respectueuses de l'environnement (conduite de l'hôte...)

# Un modèle de croissance du cep

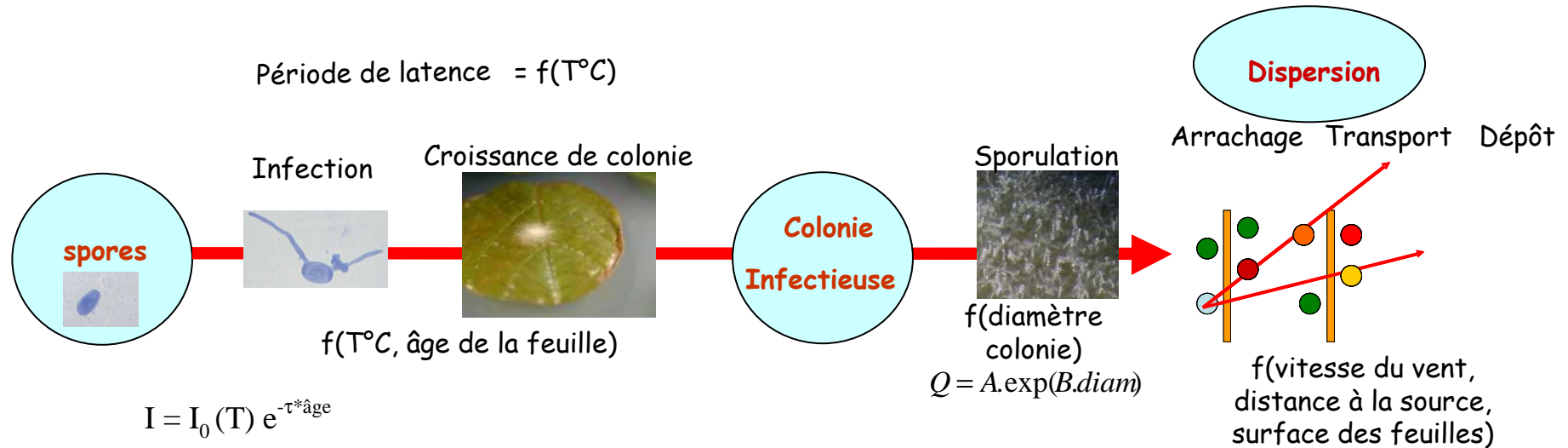
- Cep découpé en entités, identifiées et localisables dans l'espace (L-system)
- Apparition et développement des entités dépend de fonctions



- Le modèle cep prend en compte : **Structure et dynamique du couvert** (dispersion, multiplication), **sensibilité des organes** (résist. Ontogénique), **variabilité de l'hôte** (+- vigueur, taille, pratiques culturales...).



# Un modèle déterministe de développement de l'oïdium



- Le modèle pathogène prend en compte : **Variabilité de développement de l'agent pathogène** (+- agressif, fct T°C), **dispersion** (densité, structure du couvert...).

# Pamamètres d'entrée du modèle

## Homme

**Conduite de la vigne** (écimage : date et hauteur, nb et densité des rameaux)

## Hôte

### Variété

(taille maximale des organes)

### Structure cep

(nb et dist. entre bourgeons, vitesse de développement des organes, développement des rameaux secondaires, vigueur)

## A. Pathogène

**Contamination**  
(date, localisation)

**Caractéristiques des isolats**  
(infection, croissance des colonies, sporulation...)

## Climat

### Température

(développement de l'hôte et du pathogène)

### Vent

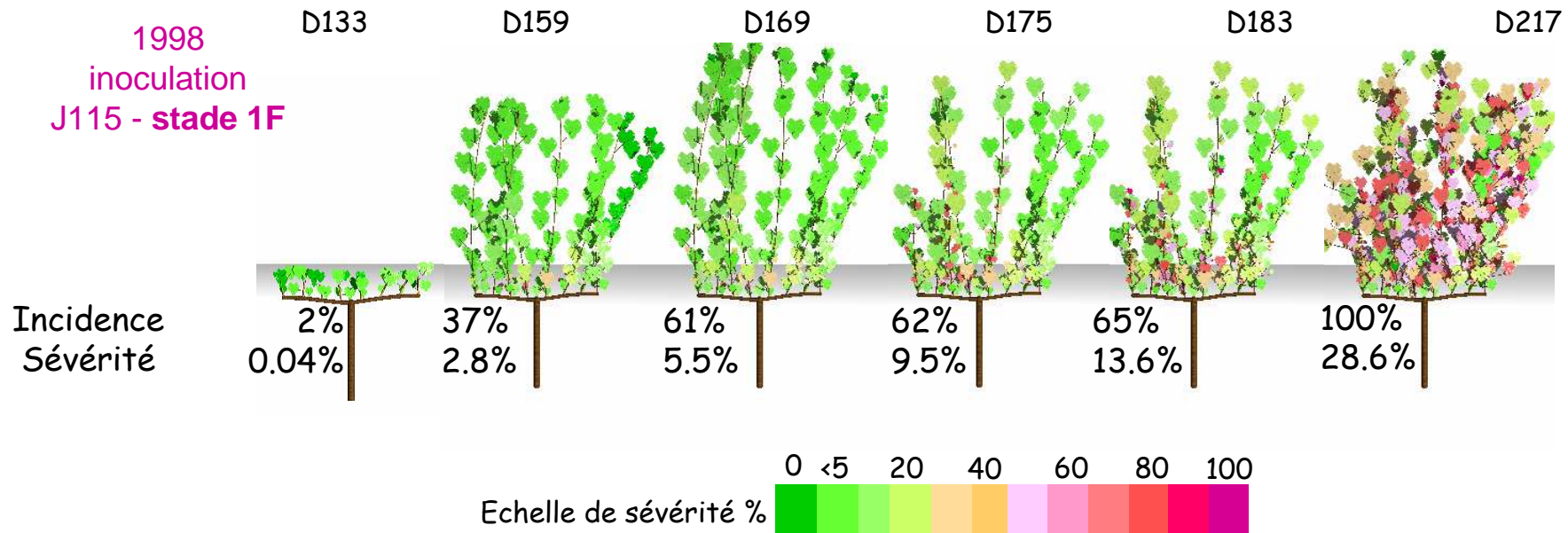
(arrachage des spores)

**34 paramètres**



# Sorties du modèle

## Répartition spatio-temporelle de la maladie Sévérité



Pour chaque jour :  
Des fichiers image  
Des fichiers texte "croissance du cep"

# Effet de la vigueur

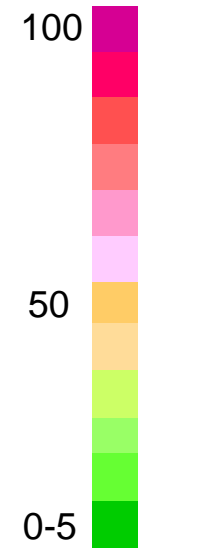
Vigueur faible

Vigueur forte

Scénario 1:  
année à débourrement  
précoce



Scenario 2:  
année à débourrement  
tardif



Echelle de  
sévérité de  
maladie %

- Impact différent au niveau de la fréquence de feuilles malades à la floraison

## *Quelques conclusions:*

- Des possibilités nombreuses issues de la recherche
- Technicité élevée → s'appuyer sur des équipes ayant développé et/ou mis en œuvre ces méthodes
- Définition d'un cahier des charges en fonction des objectifs:  
Comparaison de cultivars x mode de conduite  
x environnement  
Evaluation objective de différents modes de conduite  
Interaction avec des pathogènes
- Evaluation des modèles et de leurs sorties reste coutueuse en expérimentations

# *Remerciements*

## Vigne

E. Lebon, UMR Lapse, Montpellier  
A. Calonnec, UMR Santé des Plantes,  
Bordeaux

## Pêcher

T. DeJong, UC Davis  
R. Favreau “  
G. Lopez IRTA, Espagne  
F. Lescouret, PSH Avignon

## Pommier:

UMR DAP, Montpellier  
J.L. Regnard, SupAgro  
P.E. Lauri, INRA  
C. Massonnet, Doct.  
M. Renton, Post-doc  
C. Smith, Post-doc

## Méthodes

### Digitalisation

H. Sinoquet, UMR PIAF, Clermont-Ferrand

### EPI Virtual Plants et Plateforme OpenAlea

C. Godin, INRIA  
C. Pradal, CIRAD  
F. Boudon, CIRAD (PlantGL)  
Y. Guédon, CIRAD (modèles Markoviens)

### L-systems

P. Prusinkiewicz, Univ. Calgary, Canada