

UMR 759 LEPSE

Montpellier SupAgro – INRA EA

# Equipe MAPI

## Analyse et Modélisation des Phénotypes Intégrés

**Pr. J. Lecoœur**  
Directeur Département Sciences du Végétal  
Montpellier SupAgro



# **1. Composition de l'équipe**

# MAPI : une équipe mixte

## SupAgro - INRA EA – (Centrale Paris – Syngenta)

### Les scientifiques



**Lydie Guilioni**  
MCF SupAgro



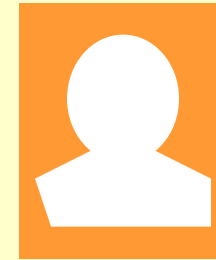
**Angélique Christophe**  
CR INRA EA



**Anne Pellegrino**  
MCF SupAgro



**Eric Lebon**  
IE INRA EA



**Véronique Letort**  
Centrale Paris



**Jérémie Lecoeur**  
PR SupAgro  
Directeur Dépt SdV  
(responsable équipe)

### Les doctorants et post\_doctorants



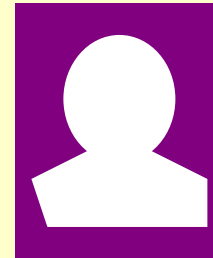
**Benoît Pallas**  
Centrale Paris



**Thibaut Scholasch**  
SupAgro - Berkeley



**Weng Ffeng**  
Syngenta



**IE à recruter**  
Syngenta

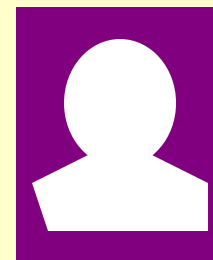
### Les techniciens



**Ando Radianelson**  
Syngenta



**Jorge Prieto**  
INTA



**Marina Ferrand**  
CDD Syngenta



**Hubert Maillé**  
AJT SupAgro



**Jonathan Mineau**  
AJT INRA EA

## **2. Objectifs**

# Questions actuelles

**Objectif principal** : identifier, quantifier et modéliser la variabilité phénotypique à l'échelle de la plante :

- en réponse à des facteurs environnementaux,
- en tant qu'expression de la variabilité génotypique (interaction GxE).

**Finalité** : simuler la variabilité génotypique du comportement de plantes en peuplement dans des scénarios climatiques comprenant des périodes de contraintes hydriques et thermiques.

**Questions** :

- Comment rendre compte de l'interaction des processus dans l'élaboration du phénotype d'une plante ?
- Quelle place pour les approches expérimentales ?
- Quelle place pour la modélisation et quels modèles ?

**Modèles biologiques** : vigne et tournesol

**Facteurs environnementaux** : température, rayonnement, disponibilité en eau

# Objet de travail

Que recouvre la notion de « phénotypes intégrés » ?

## Notre vision du « Phénotype intégré » :

Caractéristiques d'une plante qui résultent du fonctionnement intégré de plusieurs grandes fonctions en réponse à l'environnement

(échelle plante, pas de temps de plusieurs semaines)

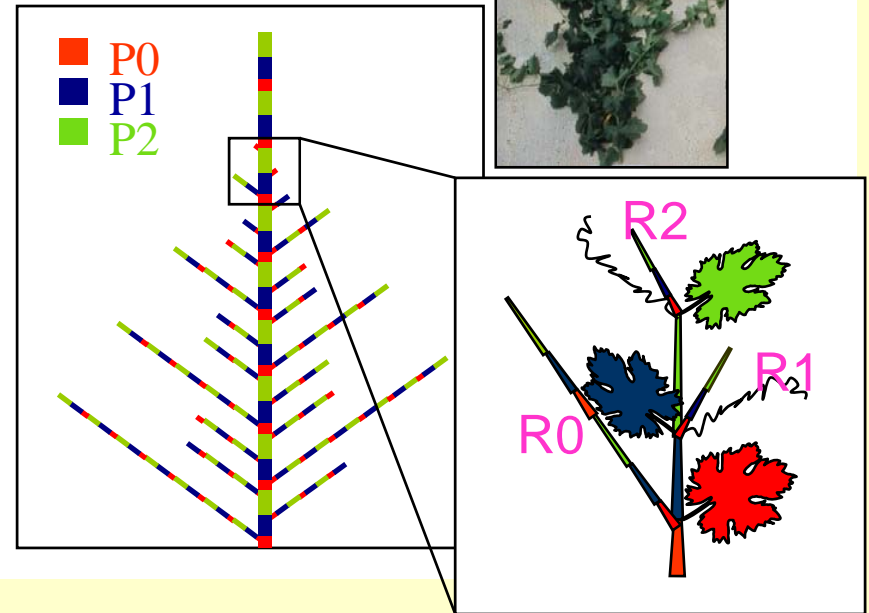
## Exemple d'un « phénotype intégré » :

L'architecture d'un rameau de vigne

Ce phénotype résulte des processus

- d'organogenèse,
- de morphogenèse,
- du métabolisme carboné...

en interaction avec l'environnement.



# Choix du mode de représentation de la plante

## Organisation des modèles

Process bases models  
(modèle de culture)

fruits

feuilles

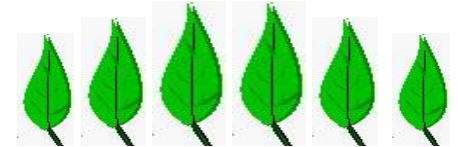
racines

Modèles  
génétiques

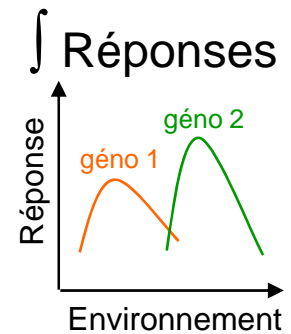
$$\text{phénotype} = G + E + G \times E + \varepsilon$$

Modèles  
écophysiologiques

Cohortes d'organes  
en relation corrélative  
avec l'environnement



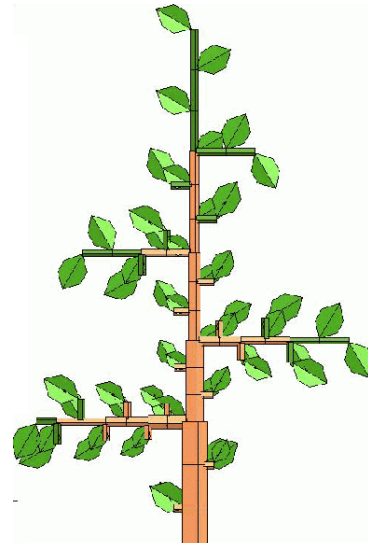
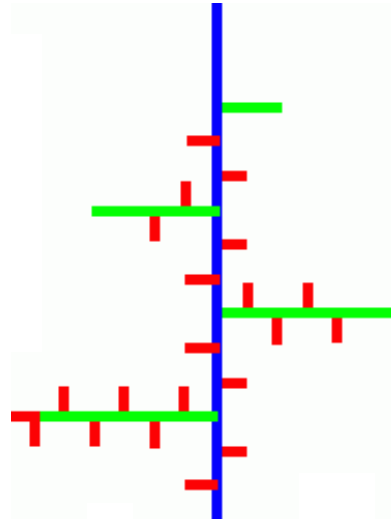
=



# Mode de représentation de la plante

## Organisation des phytomères

Proposition  
*Digiplante*



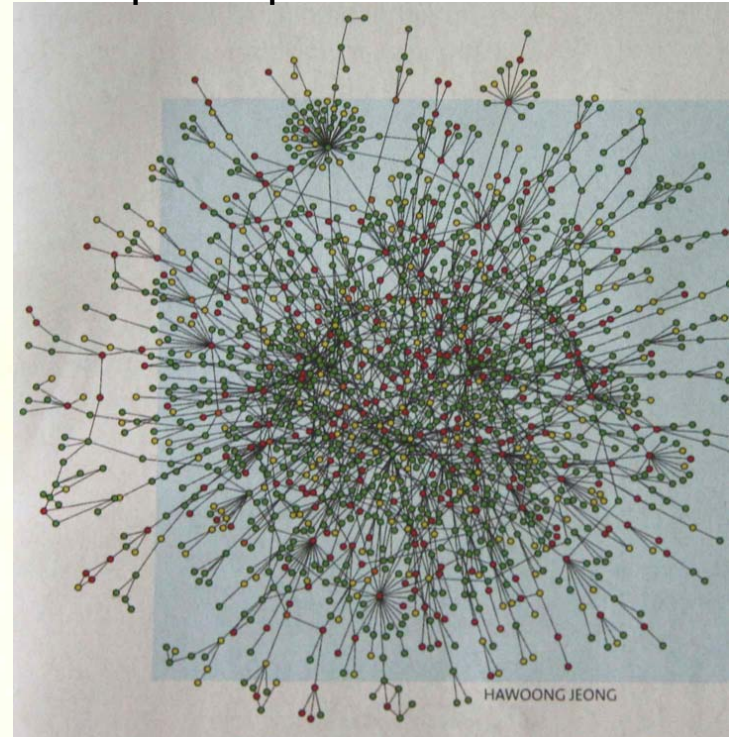
Ensemble de phytomères topologiquement connectés et architecturés

# Postulat de travail

La plante est un système complexe = grands nombres de sous-unités d'organisation identique topologiquement connectées en réseau



Arbre protéique d'une cellule



(d'après Jeong, 2003)

La même complexité se retrouve à l'échelle des organites, de la cellule et des tissus...

## **3. Programmes 2007-2010**

# Démarche

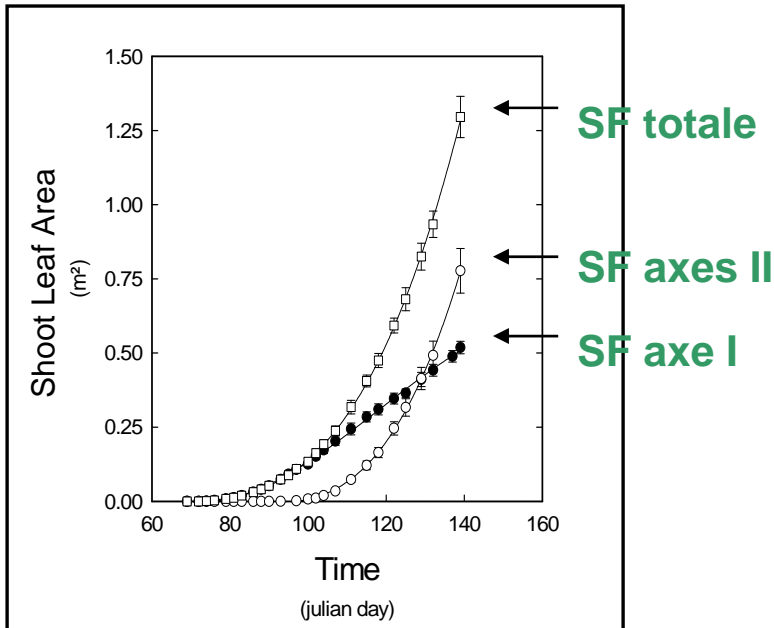
## Sur Tournesol et vigne

### Rendre de plasticité phénotype de géotypes réels ou virtuels en fonction de scénarios pédoclimatiques :

- Analyse et modélisation écophysiological des réponses de la plante à l'environnement,
- Construction d'algorithmes permettant de rendre compte de l'élaboration du phénotype,
- Evaluation des paramètres génotypiques des algorithmes à partir de base de données expérimentales,
- Evaluation de la performance des algorithmes,
- Inversion des algorithmes pour identification de géotypes réels ou virtuels adaptés à des scénarios pédoclimatiques.

# Point de départ

Exemple : variabilité de l'architecture du rameau de vigne.....



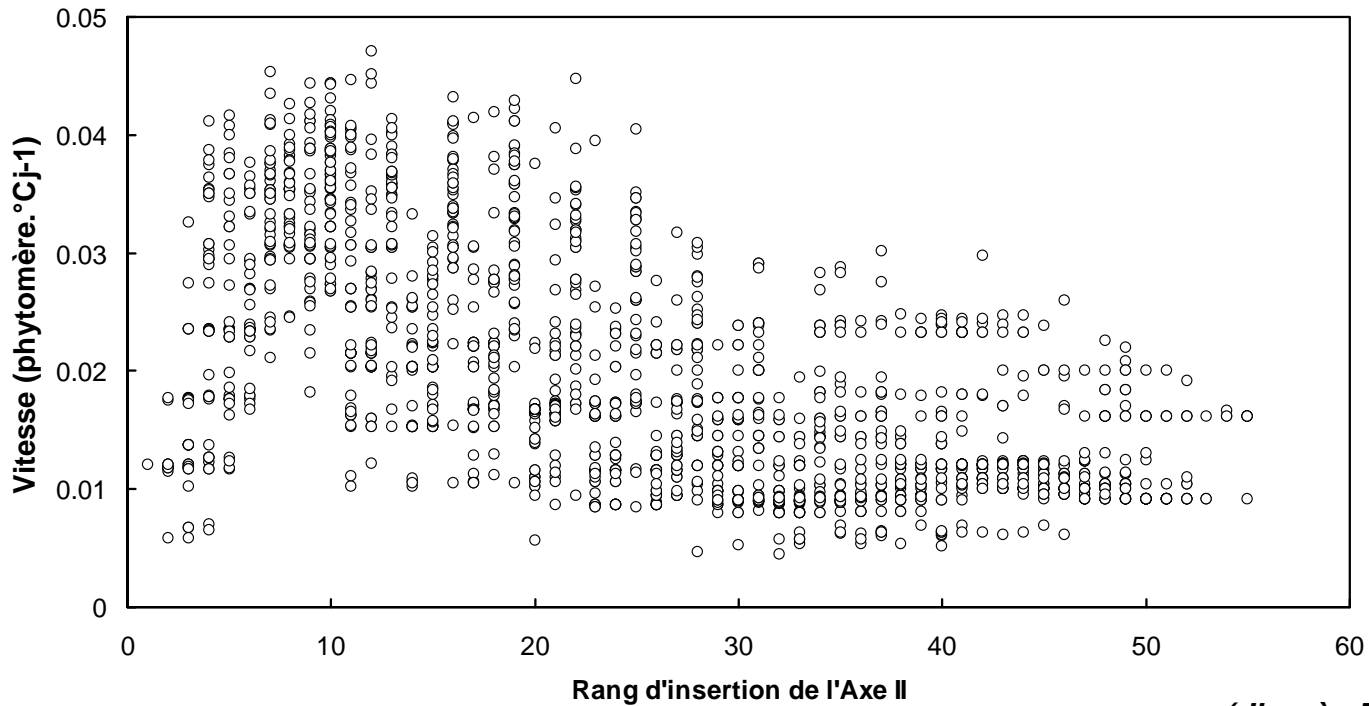
(d'après Lebon et al., 2005)

...résulte essentiellement de l'organogenèse des axes secondaires.

# Point de départ

Exemple : Analyse de la variabilité de l'organogenèse chez la vigne

Vitesse de production de phytomères sur les axes secondaires



(d'après Pallas, 2006)

# Développement d'un algorithme intégrant les résultats de l'analyse écophysiologique

Proposition d'un automate à 5 règles simulant le développement du rameau de vigne

## *Vision strictement phénologique*

**R1- L'organogenèse de l'axe primaire en fonction du temps thermique**

**R2- Le débourrement des axillaires est systématique et intervient au bout d'un délai connu**

**R3- L'enchaînement des phytomères P0-P1-P2 répond à un modèle markovien**

*Lebon et al., 2004*

*Louarn, 2005*

*Louarn et al., 2007*

## *Nécessité de la vision carbone*

**R4- Vitesses et durées de développement des axes secondaires dépendent de Q/D**

*Pallas, 2006*

*Pallas et al., 2008*

**R4.1- Hiérarchie de la force de puits au sein d'un module P0-P1-P2**

**R4.2- Fonction de la distance topologique aux puits**

## *Nécessité de la vision hydrique*

**R5- Un déficit hydrique réduit de la même manière le développement de tous les axes secondaires. Une réponse différente de l'axe primaire.**

*Pellegrino et al., 2004*

*Lebon et al., 2006*

# Algorithme d'estimation du potentiel de productivité chez le tournesol

## Nécessité (facile) de construire des modèles dédiés à chaque cas

Données d'entrée

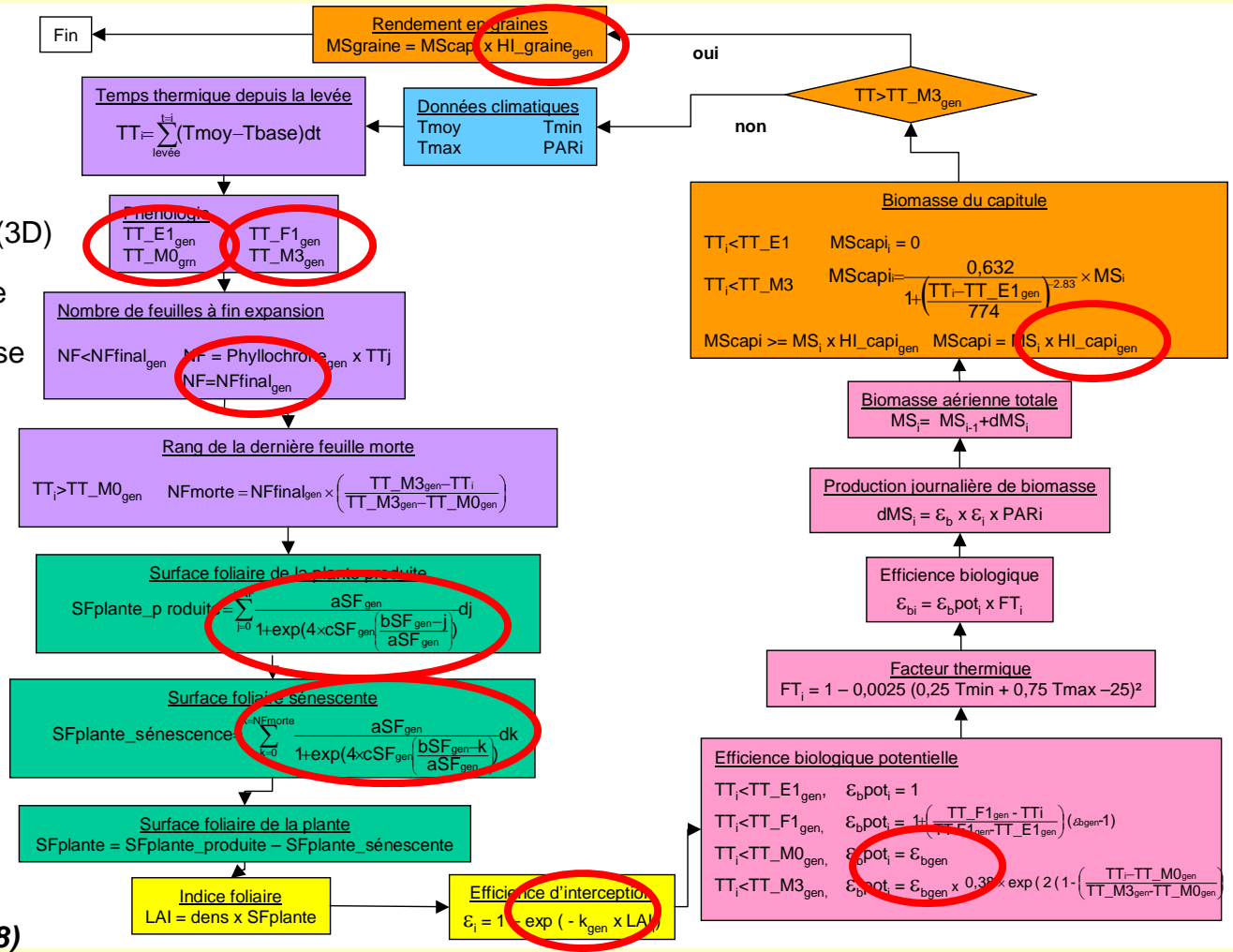
Phénologie

Architecture (3D)

Interception lumineuse (3D)

Production de biomasse

Allocation de la biomasse



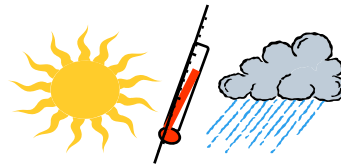
(d'après Lecoer et al., 2008)

# Collaboration DIGIPLANTE

(Paul-Henry Cournède, ECP ; Philippe De Reffye, INRIA)

Plante construite avec Greenlab model, un modèle architectural dynamique simulant les relations source-puits au sein de la plante *(d'après Yan et al., 2004)*

**Photosynthèse  
Transpiration**



**Efficiace Climatique :  $E(i)$**

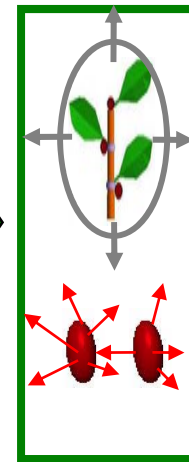
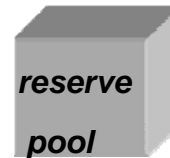
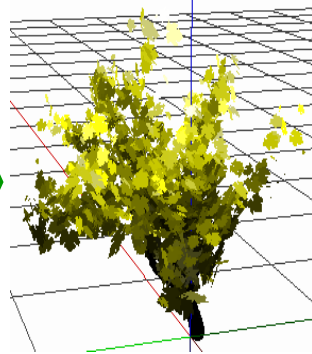
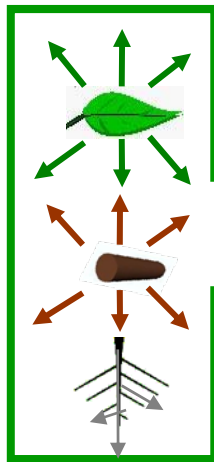
Répartition de la biomasse  
Expansion des organes

Construction de l'architecture  
Production de la biomasse

Répartition de la biomasse  
Organogenèse  
Morphogenèse

$$D(i) = \sum_{o=a,e} \sum_{j=1}^i N_o(i,j) \cdot \varphi_o(j) \quad Q_m(i) = \frac{E(i)Sp}{r k} \left( 1 - \exp \left( - \frac{k}{Sp} \sum_{j=1}^{n(i)} S_j \right) \right) \quad \Delta Q_o(i,j) = \frac{\varphi_o(j)}{D(i)} \cdot Q_m(i-1)$$

seed



N-1

Cycle N

N+1



# Nos besoins à l'interface avec les MIPSSE

## Ingénierie mathématique

- Détermination paramétrique des systèmes
- Circulation de matière et d'information dans les systèmes branchés
- Automatique
- Contrôle optimal
- Intelligence artificiel

## Ingénierie logicielle

- algorithmique
- gestion bases de données

## **4. Partenariats**

# Partenariats spécifiques

## *Mathématiques Appliquées, Modélisation et Développement Informatique*

- UMR AMAP

modélisation 3D

- IRD CLIFA

modélisation du bilan d'énergie

- INRIA

modélisation et développement informatique

- Ecole centrale Paris

mathématiques appliquées

- ANR ADD Climator

Utilisation de modèles de culture pour évaluer l'impact des changements climatiques (17 laboratoires français)

# Partenariats professionnels

- Syngenta Seeds SAS

interaction GxE tournesol

- OLEOSEM

interaction GxE tournesol

- CETIOM

modélisation rendement tournesol

- Institut Rhodanien

interaction architecture x mode de conduite vigne

- ITV

relations hydriques vigne

