

L'architecture des plantes et des couverts, un  
élément à considérer dans l'innovation et la création  
variétale. . .  
. . . pour une gestion durable des cultures

Bernard Tivoli  
INRA, UMR BiO3P, Rennes

# Introduction, contexte

# L'architecture, c'est . . .

C. Godin, E. Costes et H. Sinoquet, 1999. A method for describing plant architecture which integrates topology and geometry. *Annals of Botany* 84 : 343-357

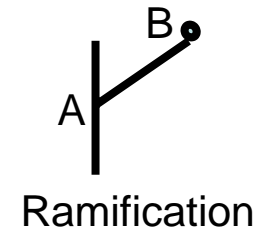
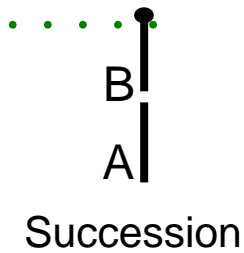
. . . terme appliqué à **l'organisation des composantes de la plante** dans l'espace qui peut changer avec le temps

. . . à un moment donné, l'architecture peut être définie par une information **topologique et géométrique**

# L'architecture, c'est .....

La **topologie** correspond à la description des entités d'un objet (ici le végétal) et à leurs **connections physiques** (relations père-fils)

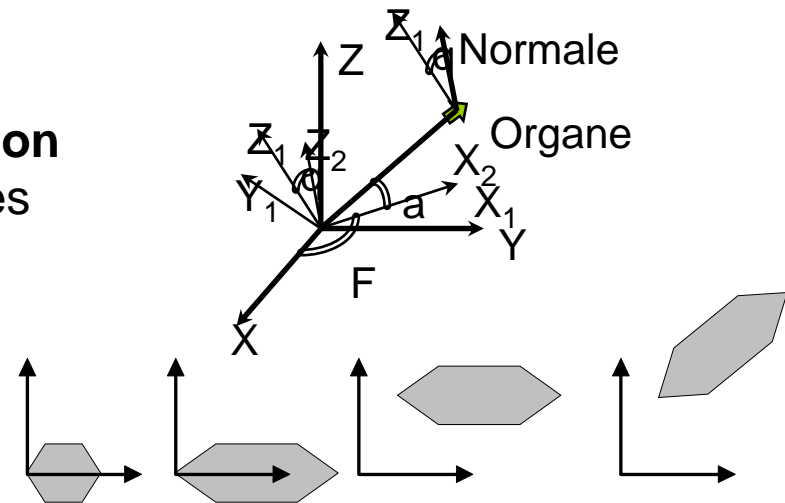
- **Successions**  $A < B$  (e.g. entre nœuds formant une pousse)
- **Ramifications** :  $A + B$  (e.g. tallage)



Formalisme mathématique : graphe arborescent  
Multi-Scale Tree Graph (MTG)

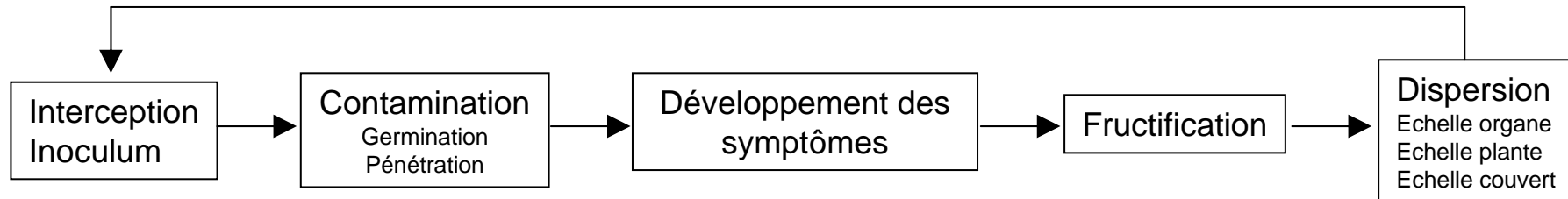
... elle peut être utilisée pour **construire les séquences biologiques** organisées en axes ou peut être considérée comme le **siège de flux internes** (par exemple, le transport de l'eau)

La **géométrie** décrit la **forme**, la **taille**, l'**orientation** et la **localisation spatiale** des composantes (axes  $x, y, z$ )



... elle est principalement impliquée dans les **échanges plantes-environnements** et la **capture de ressources** (par exemple, l'interception de la lumière)

# Les effets possibles de l'architecture de la plante et du couvert sur les différentes étapes du cycle de base d'une maladie aérienne



## La modification de l'architecture repose sur . . .

- le rythme de développement et croissance de certains organes
- les **interventions mécaniques**
  - conduite de cultures : tailles, élagages, arcures, . . .
  - interventions en cours de saison : écimages, échardage
- les **interventions culturales** : densités, associations végétales
- les **génotypes** utilisés : hauteur, ramifications, . . .

## Quelles conséquences pour les processus épidémiques? :

- comment l'inoculum sera-t-il **intercepté** (caractéristiques de la pluie incidente, distances source/cibles)?
- comment **l'épidémie évoluera-t-elle** en fonction des événements favorables et de conditions induites par le couvert (microclimat, état physiologique des organes)?
- comment l'inoculum sera-t-il dispersé (pluie, vent)?

## Deux leviers : idéotypes variétaux et modes de conduite

# Evolution des recherches

## Années '70

Des modèles approfondis, riches d'enseignements

## Années '80, '90

La généralisation des fongicides  
Ralentissement-arrêt des recherches

## Années '2000

Le redémarrage : la protection de l'environnement et de la santé

*"Le défi de la gestion de cette maladie au Canada augmente avec le retrait du marché du Benlate (Bénomyl), qui était le seul fongicide disponible pour contrôler la sclérotiniose de la carotte". (Kora et al., 2005)*

# Les recherches des années '70

*Manipuler l'architecture du couvert et maximiser l'évitement aux maladies*

Coyne 1974

"Les **idéotypes** possibles sont de types déterminés **vigoureux, rigides et dressés** ou bien de types indéterminés **courts**, composés de quelques **tiges** principales avec des grands **entre nœuds**, quelques **ramifications** courtes et des **feuilles** trifoliées petites. Ces types devraient favoriser une circulation améliorée d'air et une meilleure pénétration de la lumière dans le couvert, ce qui permettra un séchage plus rapide de la rosée à la surface des feuilles".

Schwartz 1978 :

"Un cultivar qui est destiné à **maximiser l'échappement** à la maladie devrait posséder un **port dressé**, une **structure de plante ouverte**, et une **faible densité de couvert** pour s'assurer que les conditions climatiques dans le couvert sont défavorables à la production locale d'inoculum, à la colonisation des fleurs et à l'infection des plantes par un inoculum endo- ou exogène".

Blad 1978 :

"Un programme de **sélection** visant à **introduire l'échappement à la maladie et la résistance génétique** dans de nouveaux génotypes est en cours actuellement au Nebraska".

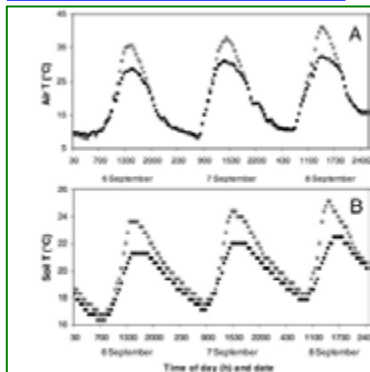
# Le redémarrage des années 2000 (1)

## L'approche 'microclimat'

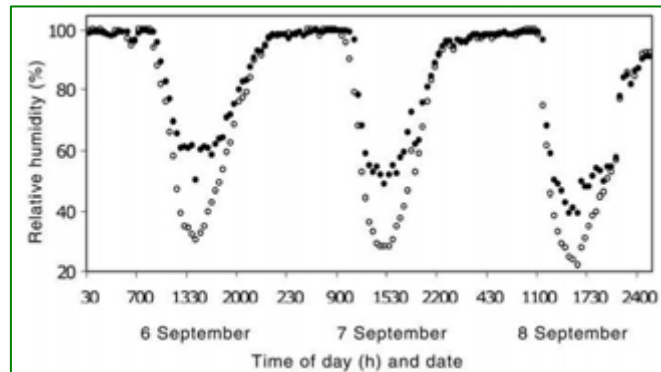
**Un savoir faire au niveau des prises de mesures au sein des couverts végétaux et des paramètres diversifiés**

Amélioration de la circulation de l'air et meilleure pénétration de la lumière

Sclérotiniose/Carotte  
Taille latérale  
(Kora et al., 2005)

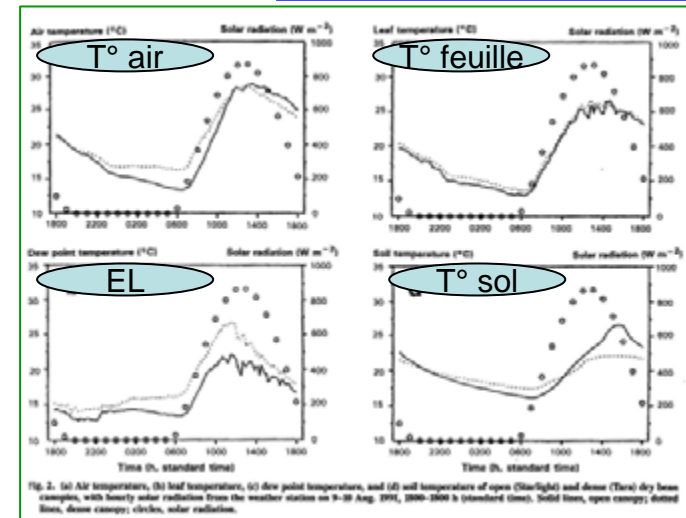


T° air/sol



HR

Sclérotiniose/Haricot  
Couverts denses/ouverts  
(Deshpande et al., 19995)



Sclérotiniose/Arachide  
Butzler et al., 1998)

Humidité du sol : Area Under the Moisture Progress Curve : AUMPC



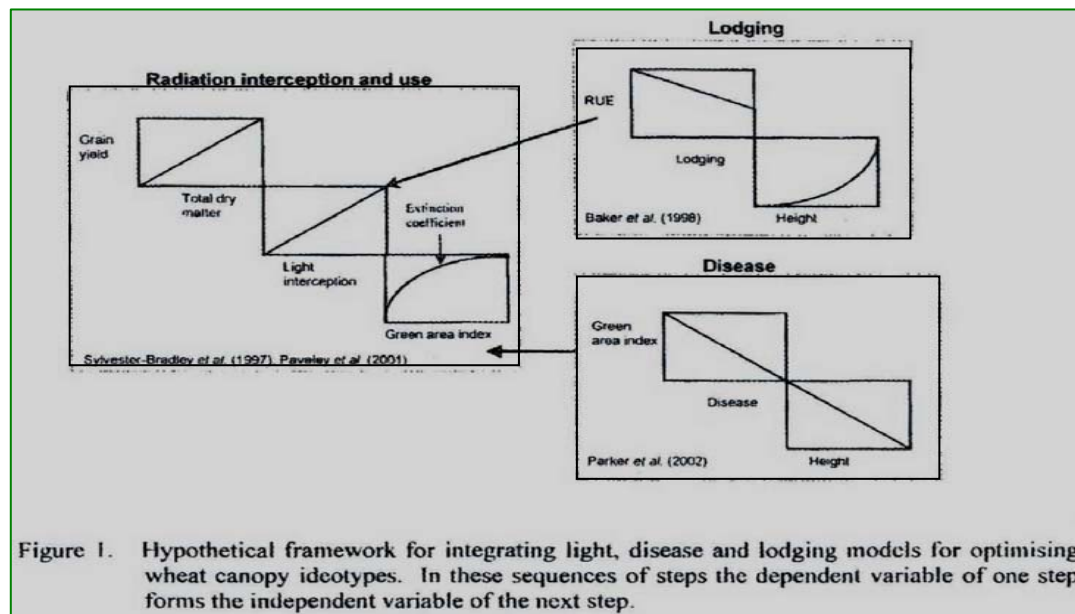
# Le redémarrage des années 2000 (2)

## L'approche de modélisation mathématique

**Une avancée dans la formalisation mathématique, adossée aux progrès de l'informatique**

Septoriose/Blé  
(Parker et al., 2003)  
Lovell et al., 1997-2003

A rational basis for the design of wheat canopy **ideotypes**.



Intégrer les modèles de lumière, de maladie et de verse pour l'optimisation d'idéotypes de couverts de blé.

Plate-forme RECORD

# Le redémarrage des années 2000 (3)

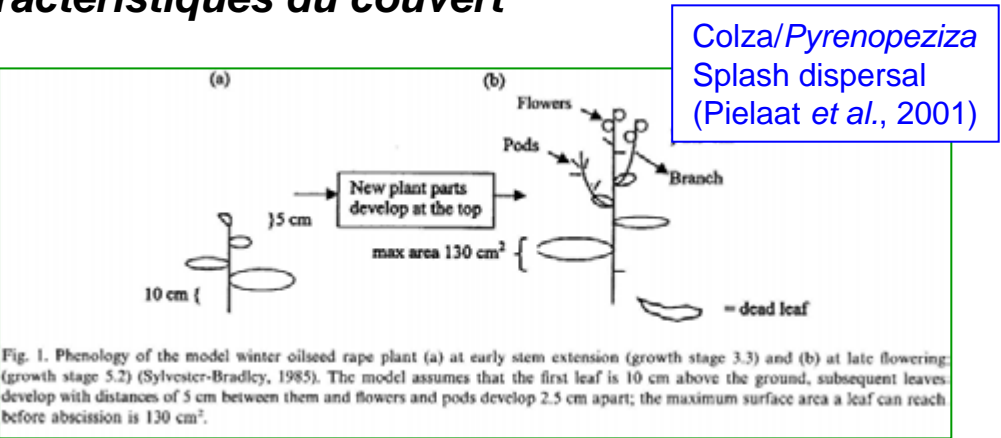
## L'approche 'plante et peuplements virtuels'

**Une meilleure visualisation/perception de l'interaction et une représentation des conséquences de la modification des caractéristiques du couvert**

*Stylosanthes*/anthracnose  
 Un nouvel outil pour gérer les maladies des plantes  
 (Wilson & Chakraborty, 1998)

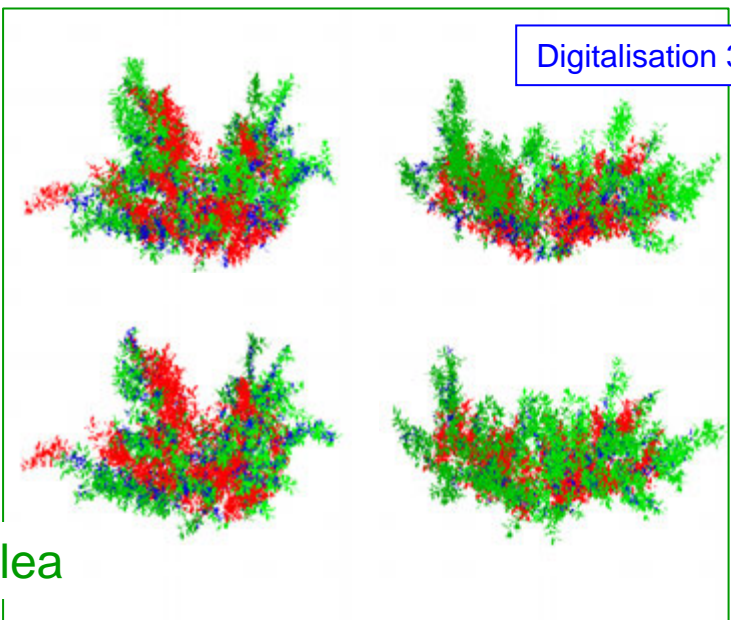


Figure 12. A virtual *Stylosanthes*, showing the final stage of growth in response to anthracnose infection which induced terminal necrosis.



Colza/*Pyrenopeziza*  
 Splash dispersal  
 (Pielat et al., 2001)

Fig. 1. Phenology of the model winter oilseed rape plant (a) at early stem extension (growth stage 3.3) and (b) at late flowering (growth stage 5.2) (Sylvester-Bradley, 1985). The model assumes that the first leaf is 10 cm above the ground, subsequent leaves develop with distances of 5 cm between them and flowers and pods develop 2.5 cm apart; the maximum surface area a leaf can reach before abscission is 130 cm<sup>2</sup>.



Digitalisation 3D

Plateforme Open Alea

# Le redémarrage des années 2000 (4)

## L'approche génétique

### Une maîtrise des concepts et des outils moléculaires en génétique végétale

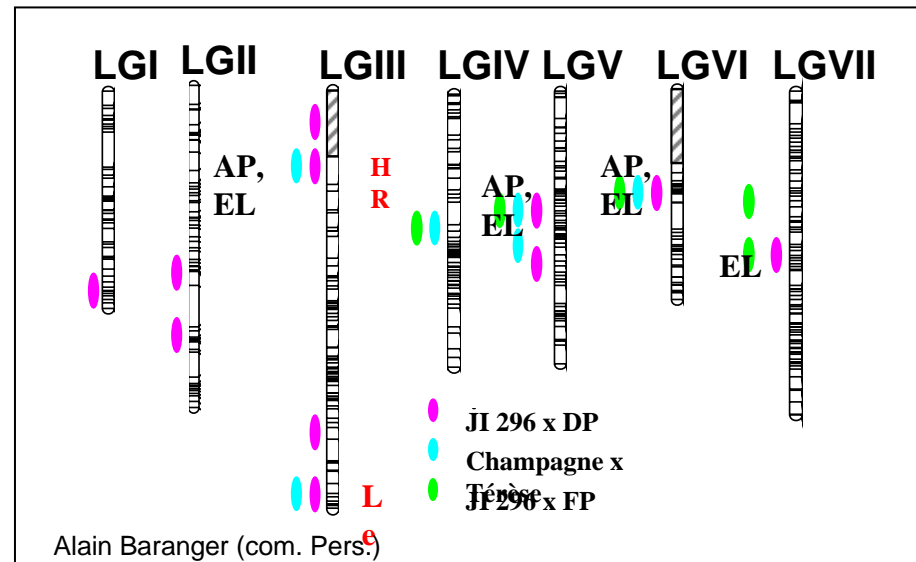
Meilleure compréhension du **contrôle génétique de la mise en place de l'architecture** des plantes : taille des cellules, architecture foliaire, taille de la plantes, ramification, architecture florale, architecture racinaire, . . .

Plant architecture and its manipulation (Turnbull ed., 2005)

Observation de **co-localisation de QTLs d'architecture et de QTLs de résistance**

- Ascochytose du pois :  
hauteur des plantes et date de  
floraison (Timmerman et al.,  
2002; Prioul et al., 2004)

- Mildiou de la pomme de  
terre : maturité des plantes (Visker et  
al., 2003)



Co-localisations entre QTL et gènes majeurs (Hr, Le) contrôlant l'architecture ou le développement de la plante

# Les recherches en France

# Et en France?

## Une thématique en plein essor sur plusieurs pathosystèmes

- maladies fongiques aériennes
- insectes ravageurs

## Trois questions

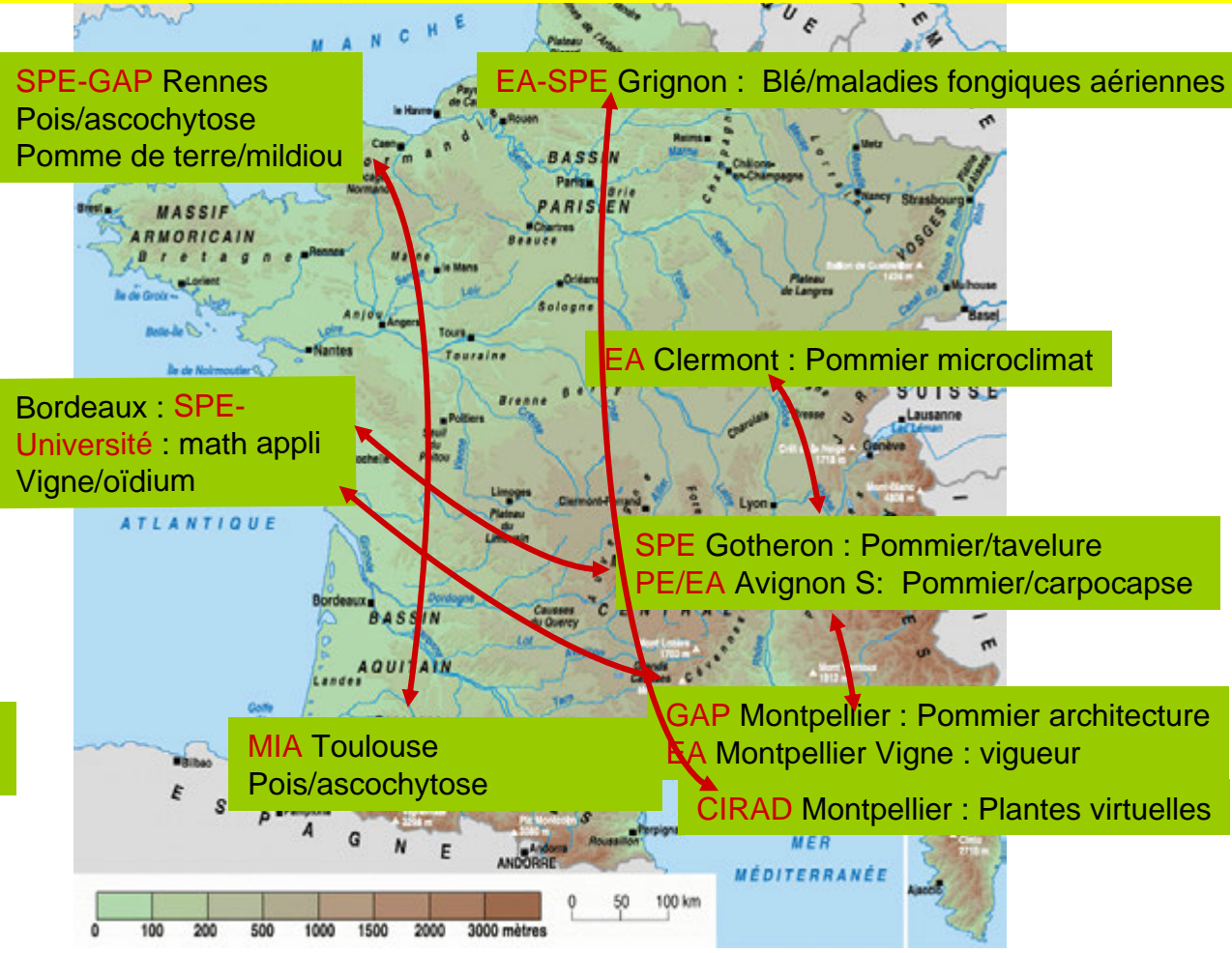
- Comment l'**architecture** pilote-t-elle le **développement de l'épidémie** ?
- Comment s'appuyer sur la **résistance** de la plante pour limiter le développement de l'épidémie?
- Comment ce développement épidémique conduit-il à des **pertes de récolte**?

**Modéliser les interactions dynamiques** entre le développement de la plante et le développement des épidémies : modèle permettant **d'élaborer des scénarios d'applications agronomiques** (idéotype, pratique culturale)

# Le réseau EpiArch



**Un réseau pluridisciplinaire de coopération scientifique**  
**Echanges et mutualisation des compétences/savoir-faire/acquis** des équipes SPE, EA, GAP et MIA



**EA-SPE Guadeloupe** :  
Igname/anthracnose





## Le projet ANR ARCHIDEMIO (2009-2012)



"Modéliser les interactions entre développement de la plante, architecture du couvert et épidémies de maladies fongiques aériennes, pour une gestion durable des cultures"



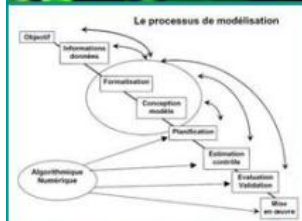
Conception et élaboration d'un modèle générique de relations architecture/épidémie



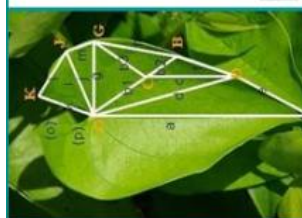
Expérimentations, acquisition de connaissances  
Microclimat, réceptivité des tissus, résistance partielle



Elaboration et analyse de scénarii de gestion  
Modalités d'intervention



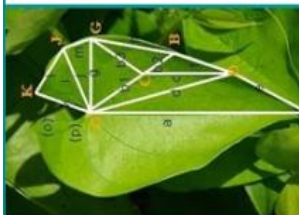
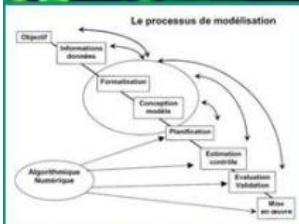
**Des laboratoires de recherche: INRA** (SPE, EA, GAP, MIA), **INRIA**  
**Des professions agricoles : FNPPPT & ACVNPT, UNIP & FNAMS, UPROFIG, ITV**



# Caractéristiques des espèces végétales étudiées

Plantes à croissance indéterminée, avec masse végétative importante

Type liane  
Vigne et Igname



Type érigé  
Pois et Pomme de terre

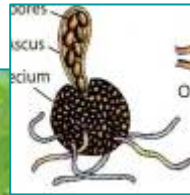


Photo Roselyne Corbière



# Caractéristiques des agents pathogènes étudiés

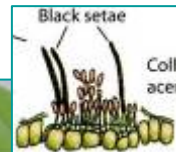
Différents types de dispersion aérienne : anémophile, par éclaboussure et par ruissellement.



**Oïdium**  
*Uncinula necator*  
Dispersion anémophile



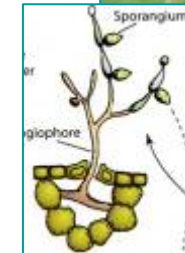
**Ascochyte**  
*Mycosphaerella pinodes*  
Dispersion anémophile et par éclaboussure



**Anthracnose**  
*Colletotrichum gloeosporioides*  
Dispersion anémophile, par éclaboussure et par ruissellement



**Mildiou**  
*Phytophthora infestans*  
Dispersion anémophile et par ruissellement



# Une question centrale

*"Comment l'architecture pilote-t-elle le développement épidémique des maladies aériennes?"*

La plante et/ou le couvert végétal avec leur architecture et leurs caractéristiques de résistance au cœur du système de protection...

La plante considérée dans sa globalité

Architecture

Composantes de résistance partielle

Tolérance

Résistance ontogénique

Réceptivité de la plante et/ou des organes

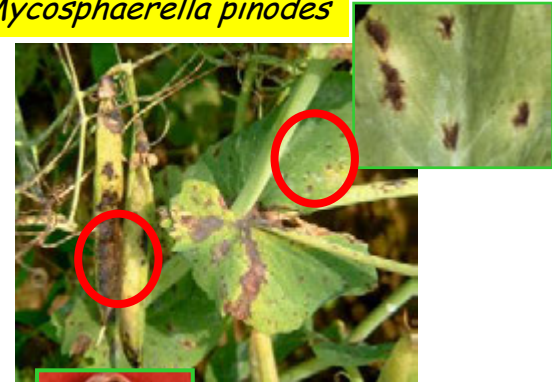
Résistance accrue par nutriments

Mildiou de la PdT  
*Phytophthora infestans*



## Deux exemples

Ascochytose du pois  
*Mycosphaerella pinodes*



# Conclusion

## Conclusion (1)

### *Quels leviers pour le généticien et pour le sélectionneur*

#### Phénotype

Surface foliaire  
Hauteur  
Ramification  
Vitesse fermeture

*Action sur  
l'échappement via la  
'porosité'*

Diminution de la  
sévérité de la  
maladie et de la  
pression d'inoculum

#### Physiologie

Sénescence

*Action sur la  
réceptivité des  
tissus*

Retard du cycle  
épidémique et  
réduction de la  
gravité de l'épidémie

**Prendre en compte ces caractéristiques pour définir un idéotype variétal limitant le développement épidémique . . .**

## Conclusion (2)

### *De l'architecture à l'agriculture durable*

A combiner avec :

- la conduite culturale : densité, date de semis, association végétale, taille (ligneux)
- la résistance partielle

Constitue un levier supplémentaire aux méthodes existant déjà  
Efficace sous pressions d'inoculum faibles à moyennes

Augmente la durabilité des résistances  
Réduit la quantité de fongicides

# Prolongement

## Une conférence scientifique internationale sur Epidémiologie et architecture

Rennes les 1-5 Juillet 2012

Une conférence pluridisciplinaire : pathologie, entomologie, agronomie, écophysiologie, microclimatologie, génétique, modélisation

Des scientifiques invités : Australie, Canada, France, Grande-Bretagne, Suisse, USA

### Les thèmes

- Couverts architecturaux et développements épidémiques
- Architecture et processus épidémiques élémentaires
- Architecture et élaboration du rendement
- Modélisation intégrative
- Génétique des caractéristiques architecturales et réduction des épidémies
- Lutte intégrée utilisant l'architecture du couvert

Contact : [bernard.tivoli@rennes.inra.fr](mailto:bernard.tivoli@rennes.inra.fr)



Les 6<sup>èmes</sup> Rencontres du Végétal  
Angers, les 10-11 Janvier 2011

Merci pour votre attention