

# Des outils pour simuler l'influence de l'architecture des plantes sur les épidémies : Modèle Blé \* Septoriose

Bruno Andrieu, Corinne Robert : INRA UMR EGC  
Christian Fournier : INRIA, projet V Plante

[Bruno.andrieu@grignon.inra.fr](mailto:Bruno.andrieu@grignon.inra.fr)  
[Corinne.Robert@grignon.inra.fr](mailto:Corinne.Robert@grignon.inra.fr)  
[Christian.fournier@supagro.inra.fr](mailto:Christian.fournier@supagro.inra.fr)

*Séminaire RMT Modélisation 22/11/2012*

*Architecture du couvert végétal : Un levier pour limiter le développement des épidémies ?*

# Contexte et Attendus

## L'architecture du peuplement végétal structure les interactions hôte - pathogènes

Organisation dans l'espace et dynamique dans le temps de

- Du substrat disponible pour le pathogène
- Des distances entre surface infectieuse et surfaces susceptibles d'être infectées
- De l'état physiologique des organes (âge, azote)
- Des conditions environnementales perçues par la plante et par le pathogène

**C'est un levier partiellement contrôlable** par la sélection variétale et les pratiques (Rh, Tin, port foliaire, densité/date de semis...)

## Difficultés pour comprendre et pour évaluer ce levier

- Effets pléiotropiques (1 action => multiples traits affectés)
- multiplicité des interactions hôte - pathogène (1 trait-> multiples actions sur le pathogènes)
- Aléas sur les forçages externes (climat, inoculum)

## Attendus de la modélisation

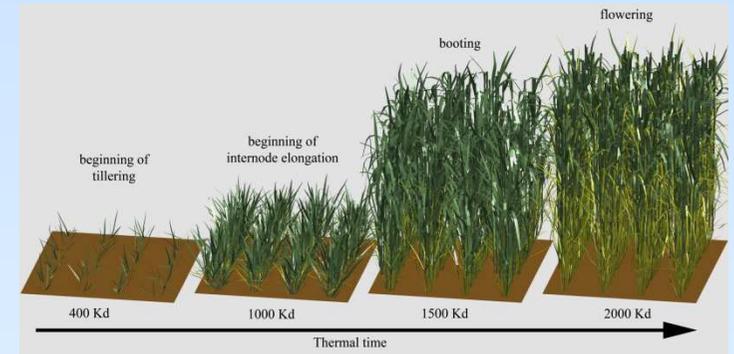
- Mise à plat des interactions (construction du modèle)
- Possibilités d'analyse par simulation en facteurs séparés (ou combinés)
- Possibilité de simuler en maîtrisant les conditions de forçage eg gamme de scénarios climatiques
- contribution à la recherche d'idéotypes, raisonnement de l'innovation dans les pratiques, etc.

# Eléments présentés

**Adel-Wheat : un modèle automate pour la simulation dynamique 3D des peuplements de blé.**



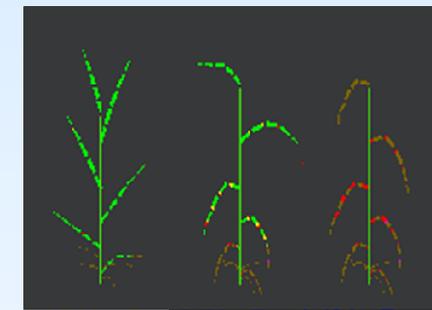
talles.avi



**Septo 3D : un modèle couplé blé\*Septoriose pour analyser l'effet de de l'architecture des peuplements sur les épidémies de septoriose**



phyl100.avi

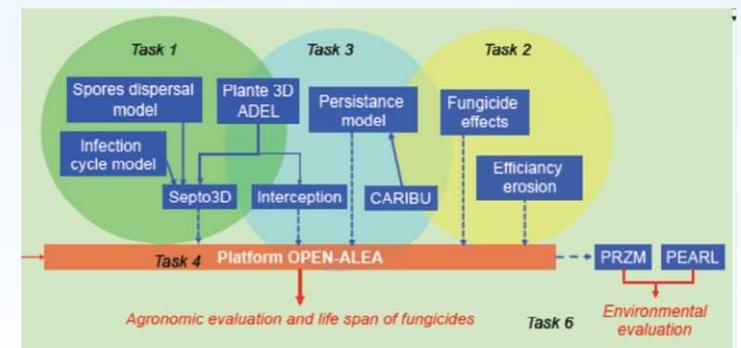


- Healthy tissues
  - Green
  - Senescent
- Infected tissues
  - Incubating lesions
  - Sporulating lesions
  - Emptied lesions

1140 °Cd 1606 °Cd 2213 °Cd

**Le projet Echap : vers un outil d'évaluation multicritère pour le raisonnement conjoint**

**trait d'architecture \* stratégie fongicide**



# Adel blé : un modèle « automate »

Ensemble de paramétrisations de l'architecture des plantes

Clefs:

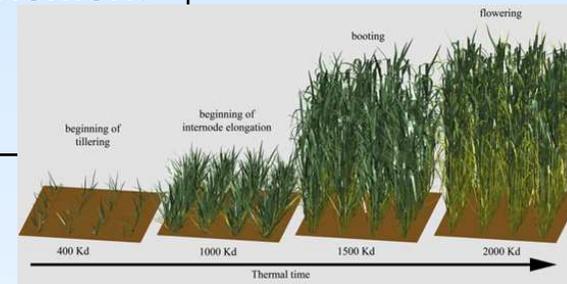
compromis simplicité/flexibilité dans les paramétrisations  
définition de protocoles expérimentaux adaptés

Phénotypage au champ

Mesures de variables à l'échelle plante et pour N dates  
=> Estimation de paramètres

Simulation continue dans le temps  
échelle peuplement

Calcul d'interactions plantes – environnement : rayonnement, pluie, spores...



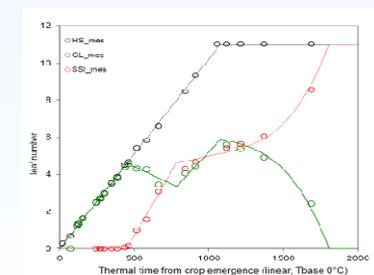
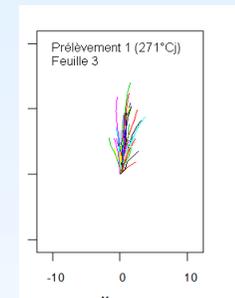
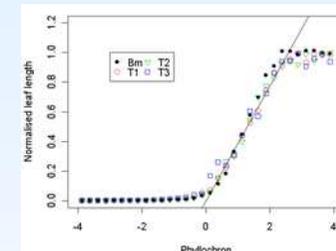
## Evolution du modèle

2000-2007 cv Soisson et Cap Horn

- Formalisation des coordinations temporelles dans l'organogénèse
- Paramétrisation des dimensions des organes matures
- Géométrie 3D : collections de courbures de feuilles
- pas de senescence des organes, pas d'exploitation quantitative des simulations

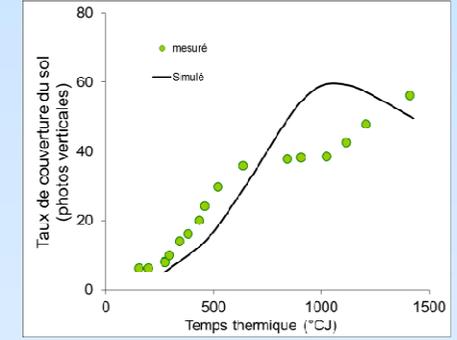
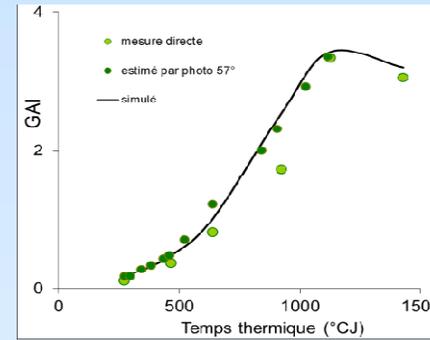
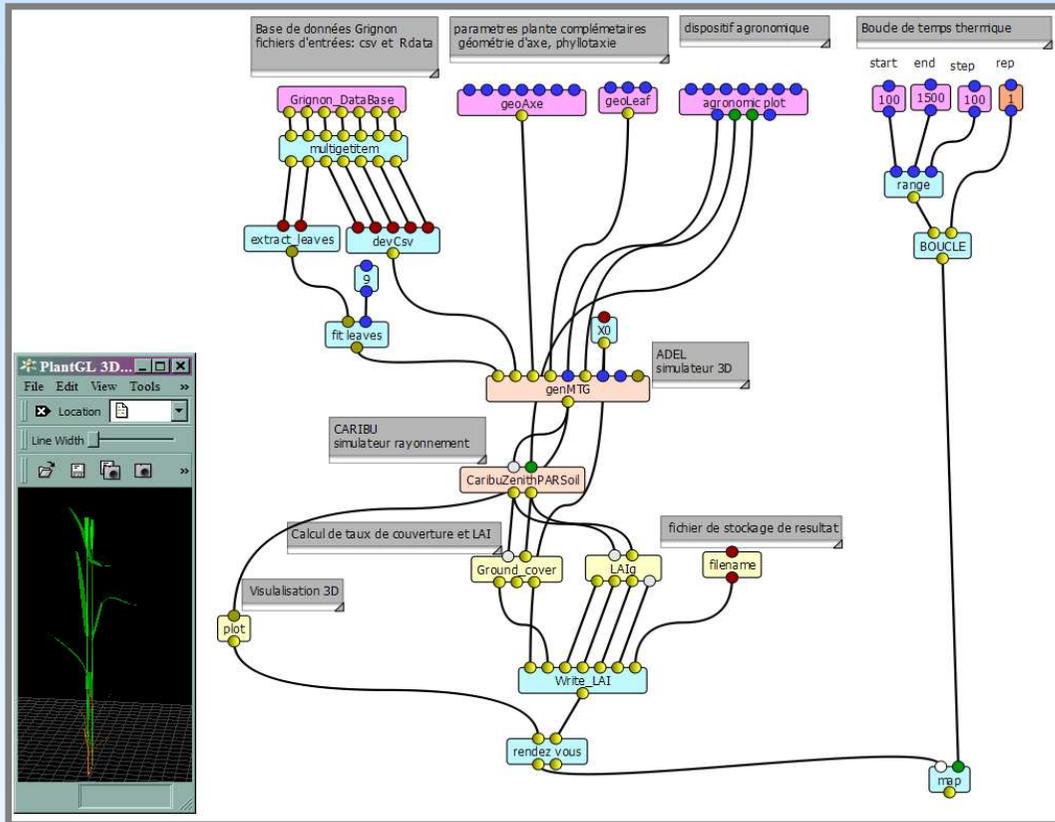
2008-2012

- Validation/révision des paramétrisations pour les adapter à une gamme + large (fertilisation - densité - date de semi – année climatique)
- Elargissement de la période : semi - récolte
- Développement de paramétrisations pour la senescence foliaire et la régression des talles
- Simplification et formalisation des protocoles expérimentaux
- Recodage du modèle sous Open Alea : couplage avec d'autres modèles – « simulated-data mining »

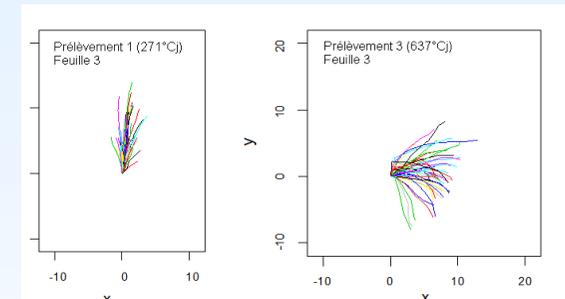
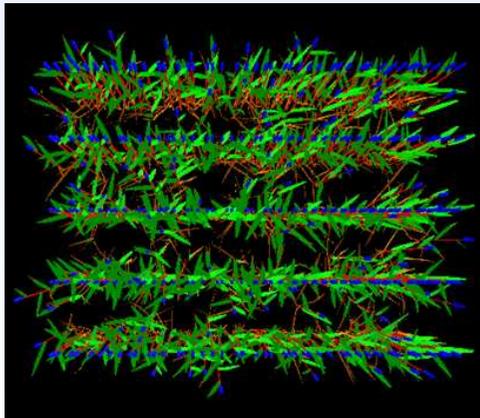


# Exemple de data flow pour une simulation

# Evaluation à l'échelle peuplement



- Bonne concordance des simulations de GAI/LAI
- Nécessité de prendre en compte la dynamique du port foliaire pour améliorer la simulation du taux de couverture en visée verticale



# Adel Blé v2012

Capacité à reproduire in silico des peuplements réels du semi à la récolte, à partir d'observations à 4-5 dates au cours du cycle :

- Protocole défini pour l'acquisition des mesures (5j/traitement) et leur analyse (20 j/traitement)
- Procédure automatisée de reconstruction à partir des données analysées

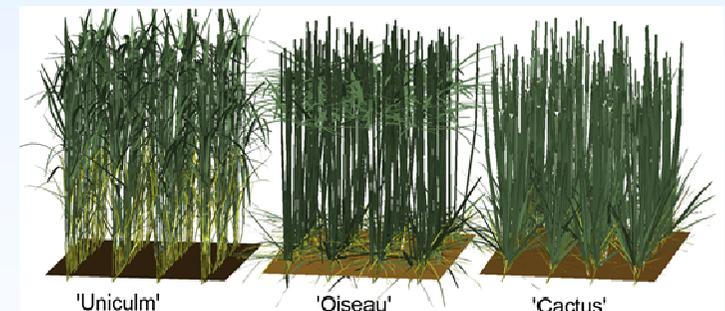
Calculs en routine sur les maquettes 3D : rayonnement, pouvoir couvrant, LAI ...

- analyse par type d'organe, type d'axe, etc...
- Implémenté sur la plateforme Open Alea => interfaçage avec d'autres modèles

Des écarts simulés/observés sur le pouvoir couvrant: améliorations nécessaires dans la représentation de la dynamique du port des feuilles et du positionnement des talles (thèse en cours INRA/Arvalis )



Simulations réalistes



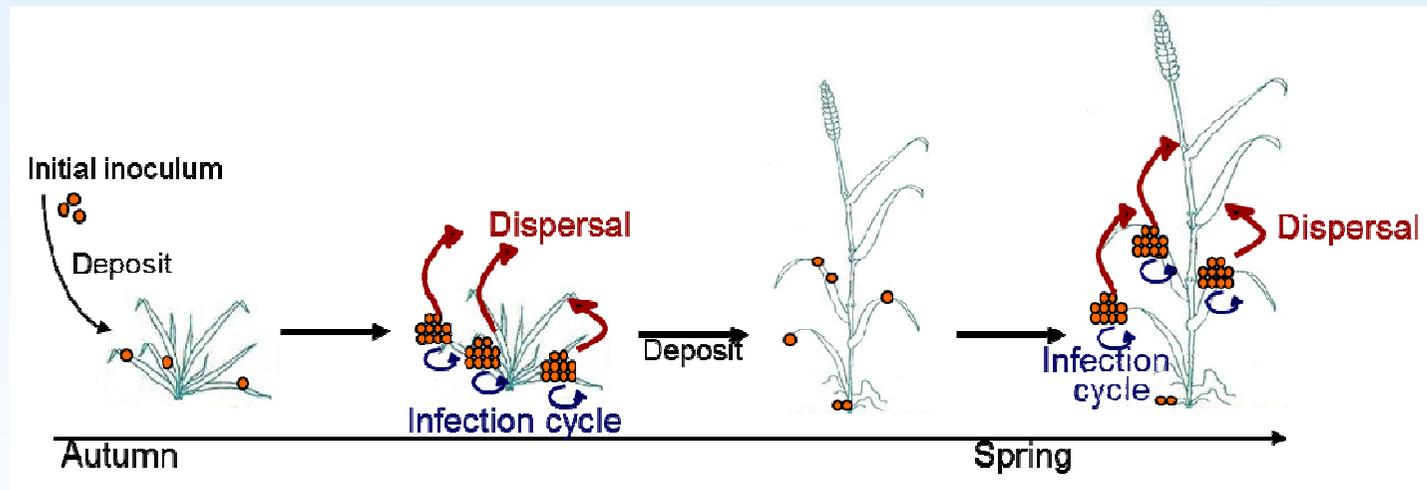
Simulations d'avatars

# Septo 3D

## un modèle pour simuler l'effet de l'architecture des plantes sur le développement de la septoriose

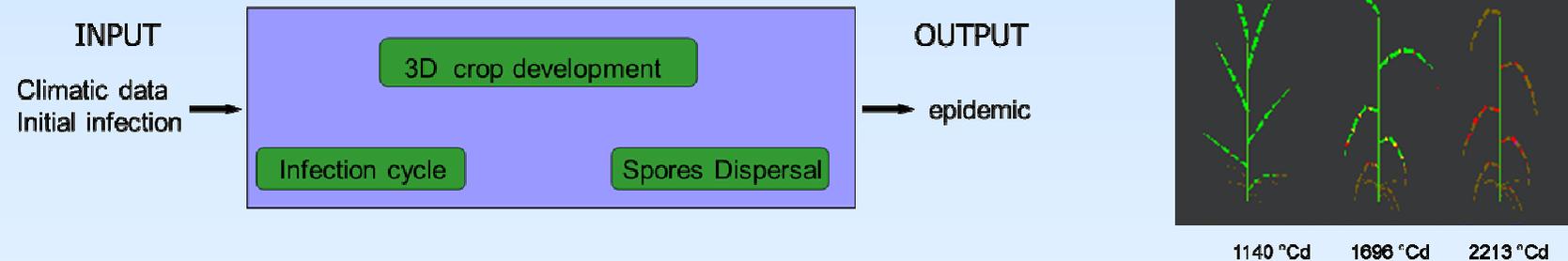
- *Septoria tritici* est une maladie foliaire majeure en Europe de l'ouest :
- Transport des spores par les éclaboussures lors des pluies: les épidémies sont influencées par l'architecture des couverts
- Modèle Septo3D « blé - septoriose » (Robert, Fournier et al)

Une maladie polycyclique



# Principe de la modélisation

- Couplage entre un modèle 3D dynamique de blé, un modèle de simulation du cycle infectieux, et un modèle de propagation des spores par éclaboussures.



- Principaux effets que la description architecturée permet de prendre en compte
  - Evolution au cours du temps des surfaces disponibles pour le pathogène (extension et senescence des feuilles)
  - Evolution au cours du temps des distances entre feuilles saines et feuilles infectées (déploiement des feuilles, port foliaire, extension de la tige). Rôle clef de l'extension de la tige dans l'échappement.
  - Description précise de l'état du peuplement et de la position des surfaces infectieuses au moment des pluies . Calcul des surfaces « accessibles » aux gouttelettes infectieuses.

# Résultats

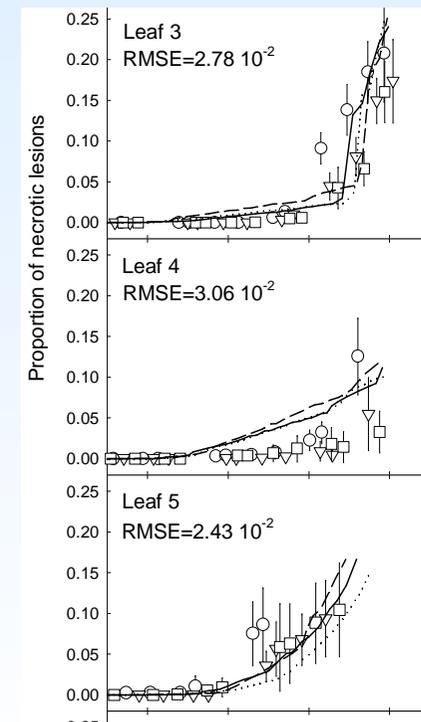
## Dans les épidémies simulées (...)

- Rôle clef du phyllochrone (course entre la plante et le champignon)
- Rôle de la vitesse d'extension en hauteur plus que de la hauteur totale
- Rôle limité de la densité de peuplement (entre 70 et 400 pl./m<sup>2</sup>)
- Sensibilité des épidémies à la description de la variabilité inter-plantes (eg. Les écarts de développements)
- Les effets des différences d'architecture sont visibles dans des conditions climatiques « modérément favorables » aux épidémies

## Comparaison entre des épidémies réelles et simulées

- Réalisation de comparaisons très détaillées entre traitements de densité (utiles pour décortiquer)
- Nécessité de compléter par l'évaluation du comportement entre des traitements provoquant des comportements plus contrastés

*Rim Baccar et al 2012*



## Bilan et développements en cours

- Un modèle « pour la recherche » permettant de décortiquer l'effet des traits d'architecture sur une épidémie de septoriose. Possibilité d'analyse trait par trait ou globale.
- Evaluation encore fragmentaire du modèle : poursuite sur des traitements plus contrastés dans le cadre du projet ECHAP.
- Fournit un schéma d'intégration à enrichir : eg travaux en cours
- Echap : Interception pesticide et effets sur cycle infectieux  
ANR Breedwheat : intégrer le statut azoté des feuilles



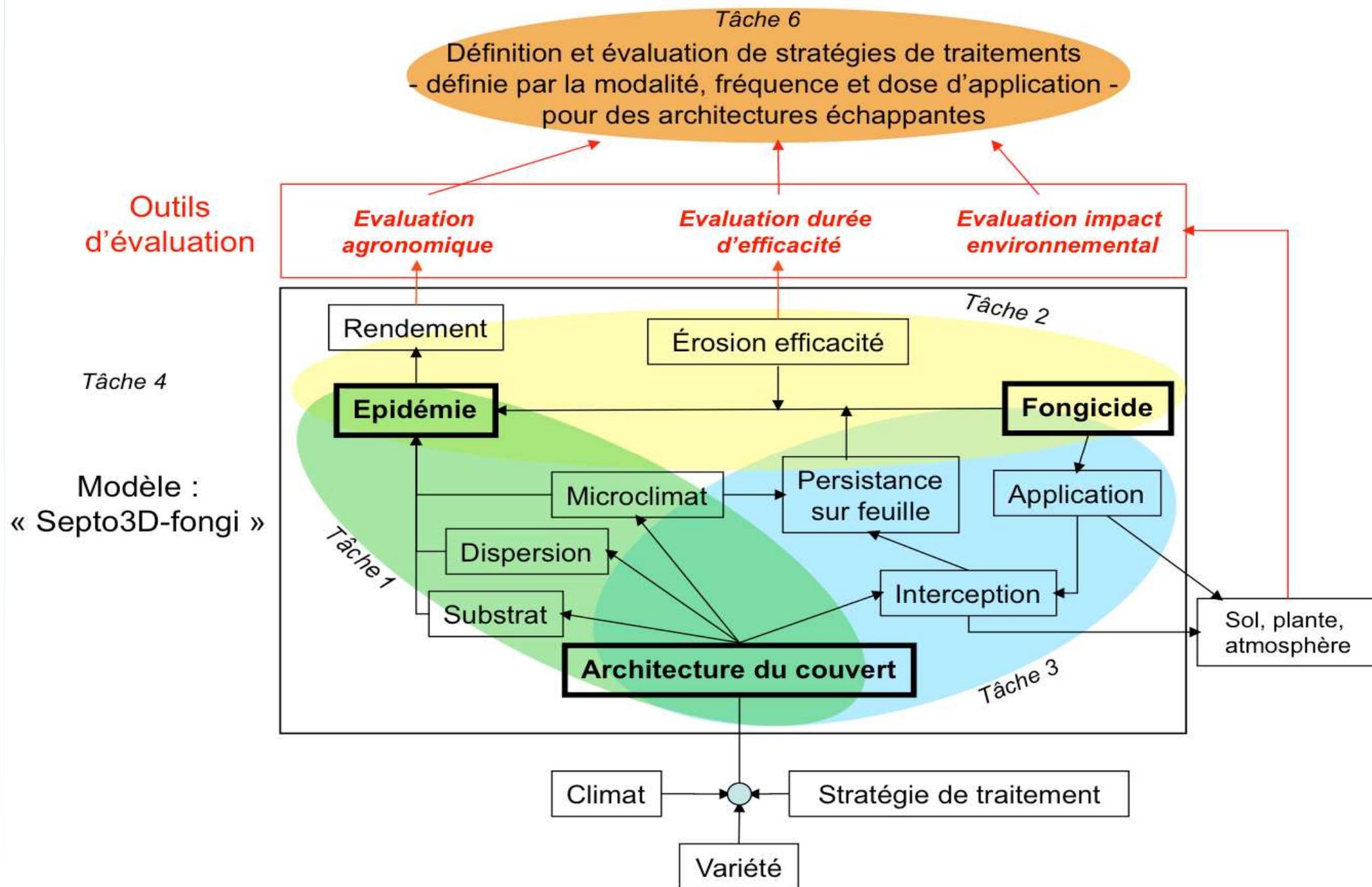
## Projet ECHAP : Réduire l'utilisation des fongicides en associant stratégies de traitement optimales et couverts échappants aux maladies

Coordinatrice : Corinne Robert, EGC  
Financement MEEDAT 2011-2014  
(AAP Pesticides, Plan Ecophyto 2018)

# Contexte et objectifs du projet ECHAP

- Etude des interactions « architecture du couvert – développement épidémique – interception des fongicides »
- Optimiser stratégies de traitement sur des couverts échappants pour réduire les fongicides
- Expérimentations au champ : évaluer expérimentalement nos hypothèses
- Objectif méthodologique : outil de modélisation pour optimisation et évaluation multicritère des stratégies pour des architectures variées
- Proposer une évaluation multicritère des stratégies:
  - C1: Epidémie et Rendement
  - C2 : Impact environnemental
  - C3 : Durée de vie des fongicides

# Organisation du projet



## Expérimentations :

Au champs pour tester des stratégies de traitement avec des architectures variées

- Lignées de blé innovantes (de John Innes Centre et INRA Clermont Ferrand)
- Mesures : architecture, microclimat, épidémie, interception fongicide, résistance des pathogènes et rendement
- A Boignevilles (ARVALIS)

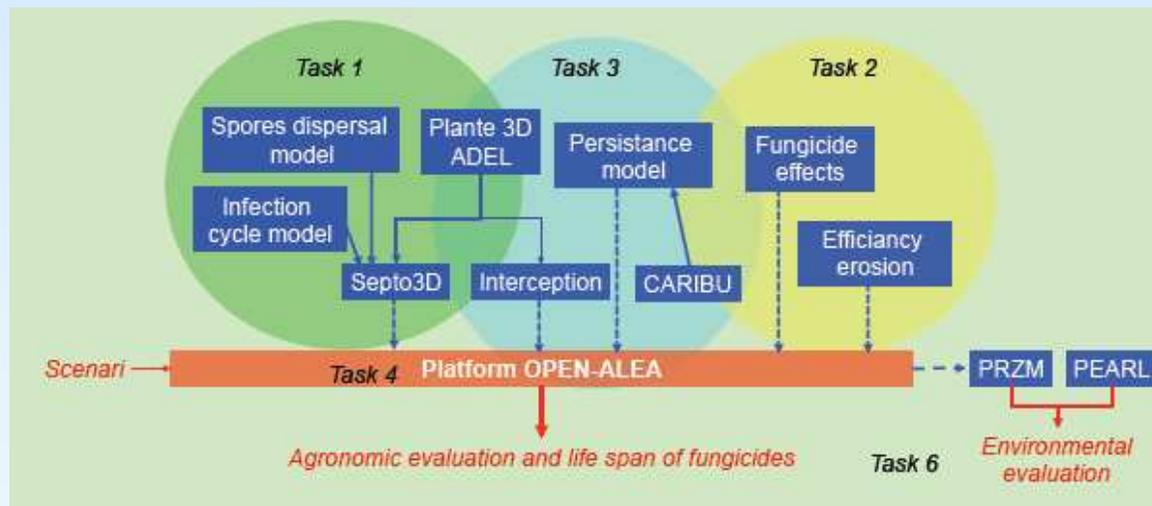
En conditions contrôlées pour étudier interactions mal connues entre l'architecture, les épidémies et le fongicide

- Architecture x dispersion des spores
- Devenir du fongicide sur feuilles

## Modélisation :

- Développement de l'outil (2011-> 2013)

- Septo3D-fongi : modèle qui simule « développement des couverts, épidémies associées, interception des fongicides et effet sur les épidémies »
- outils évaluation environnementale et agronomique des stratégies



plateforme OpenAlea  
(INRIA Montpellier)  
Travail pluri-partenaires  
INRIA, INRA, IRSTEA,  
ADAS, Alterra

- Utilisation prévue

- Test du modèle avec les données champs saison 1 et 2
- Simulations de scénarios et test de stratégies

# Quelques messages

## Caractéristiques de l'approche

cadre « naturel » pour intégrer les processus  
capacité au changement d'échelle : cm<sup>2</sup>->peuplement  
Hétérogénéité des connaissances sur les processus  
Complexité de la « validation »

## Créneaux principaux

évaluation d'hypothèses - identification des manques de connaissance  
Valeur pédagogique  
Prospective plutôt que prédiction

## Développements en cours

Compléter l'intégration des effets : pesticides, état physiologique des organes,  
complexes pluri- pathogènes  
Avancer sur l'évaluation du modèle  
Modèle plante automate -> Modèle mécaniste

# Contributeurs essentiels aux résultats présentés



Mariem Abichou, Rim Baccar, Jessica Bertheloot,  
Tino Dornbusch, Camille Chambon, Jonathan Hillier,  
Corinne Robert, Bruno Andrieu



Christian Fournier Christophe Pradal



David Gouache, B. Desolan, Philippe Gate

et aussi  
pour ECHAP

