

Application des plantes virtuelles à la modélisation des cultures

Bruno Andrieu



UMR INRA-AgroParisTech

Environnement et Grandes Cultures



Diversification des questions posées aux modèles

Quantité et qualité des produits récoltés

Flux entre Sol – Plante - Atmosphère
(N, H₂O, pesticides, etc.)

Interactions avec d'autres organismes vivants
(adventices, pathogènes, animaux)

Domaine de validité : champ, parcelle d'essai,
chambre de culture

Amélioration
génétique

Changement
climatique

Diversification
des itinéraires
techniques



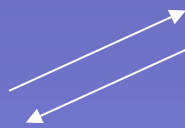
Modèles de plantes

Idéalement :

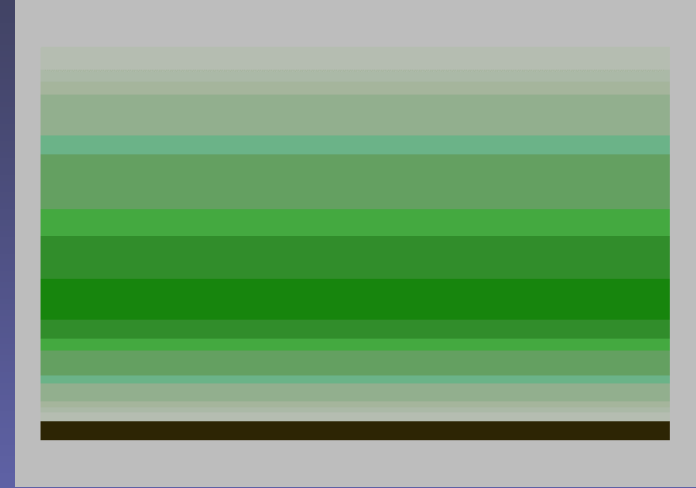
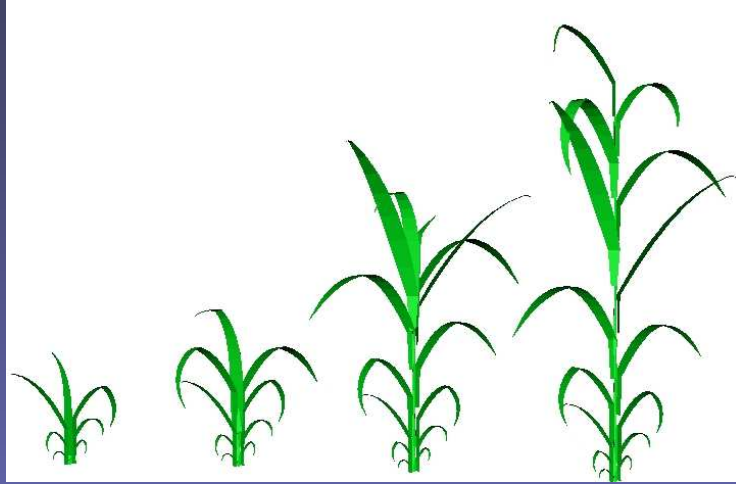
(par = Gen ; var = Env.)

Modèles d'autres formes
biologiques

Modèles de
l'environnement physique



Plantes virtuelles et modèles de cultures



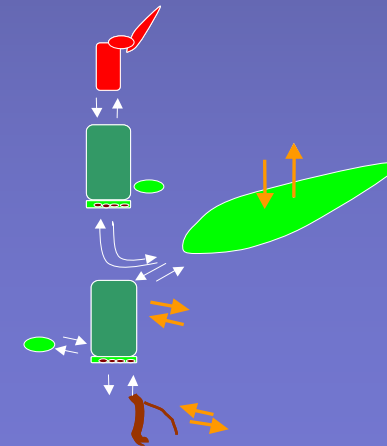
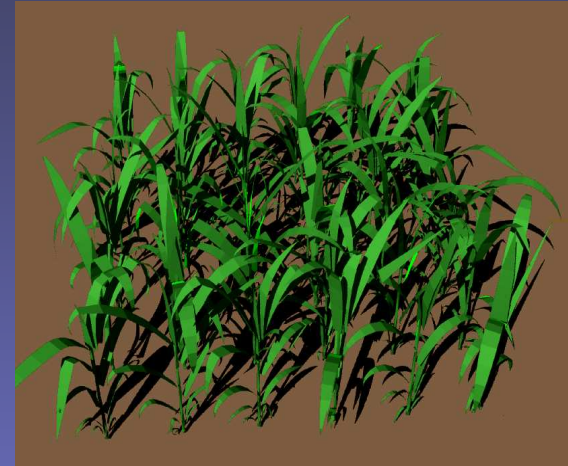
- Centré plante, spécifiques
- Champ= {plantes}, plante={organes}
- 3D => Phytoclimat à l'échelle des organes
- Modules : Développement / morphogénèse / fonctionnement des organes / flux entre organes

- Centré couvert, généralistes
- Champ = n x plante moyenne
- Milieu continu homogène => couches
- Modules : Phénologie / mise en place LAI / fabrication biomasse / clefs de répartition

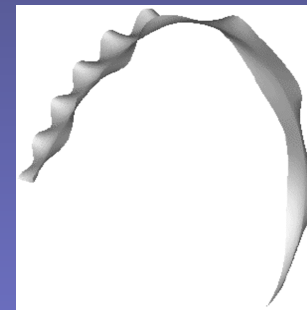
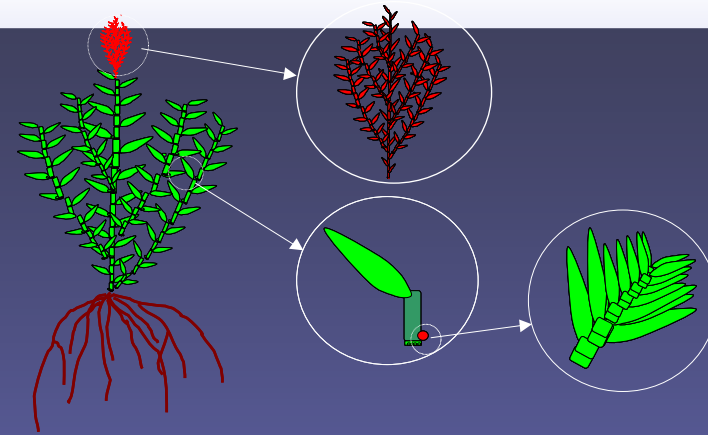
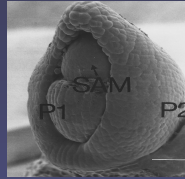
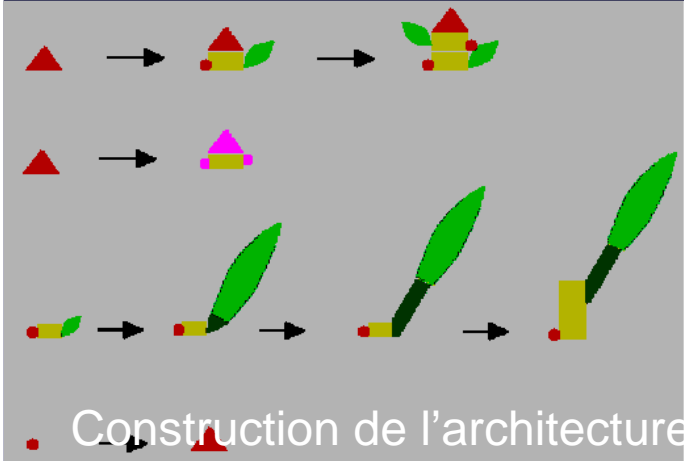


La modélisation « plante virtuelle » des cultures

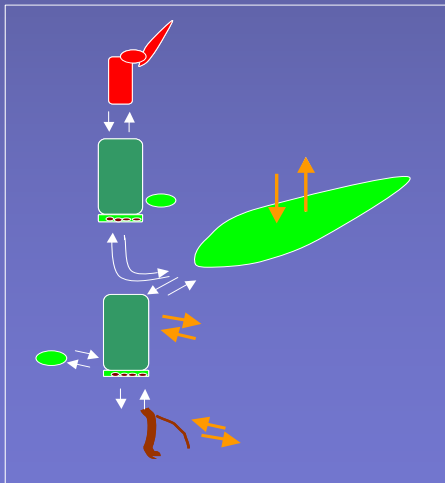
- Objet
 - Modèles dynamiques de fonctionnement
 - Architecture explicite (1D/3D)
 - Individu-centré, descriptions à l'échelle de l'organe
- But
 - Intégration fine des processus intra-plante pour la simulation du fonctionnement des cultures
- Réalisations actuelles
 - Simulateurs de développement 3D de plante
 - Modèles environnementaux pour structures 3D
 - Simulation de processus ciblés



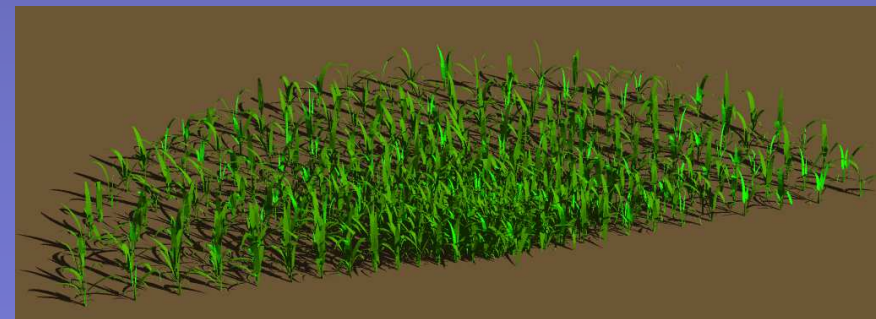
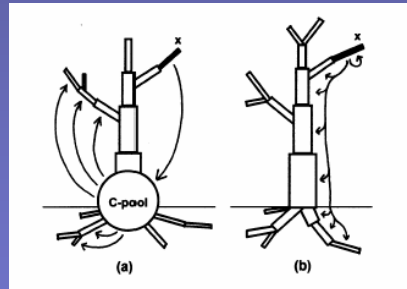
Fonctionnalités requises



géométrie



Gestion des flux entre modules et modules/environnement dans un « système dynamique à structure dynamique »



Environnement



Un exemple:

LAI vs nombre, extension, forme, durée de vie des feuilles

Besoin historique

Couvert monospécifique et conditions « optimales » de croissance :
dynamique LAI(t) pour calcul de l'interception du rayonnement.
Saturation quand $LAI > 4$

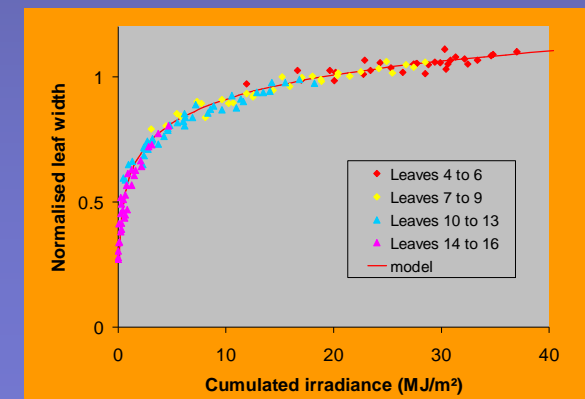
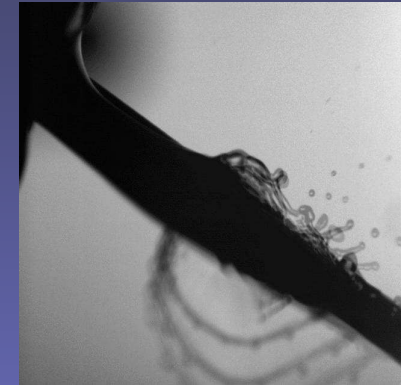
Aujourd'hui (et/ou demain) :

- Prise en compte des différences variétales de comportement dans l'installation et la durée de vie des feuilles
- Climat foliaire = climat des pathogènes ; C et N foliaire = substrat pour les pathogènes ;
- Comment les distances entre feuilles modifient-elles la propagation des épidémies ?
- Quelles feuilles ont été protégées par un traitement ? Quelle sera la durée de vie du produit compte tenu des conditions d'exposition à la lumière ?
- Quelle est l'agressivité d'un génotype vis-à-vis de la compétition de la lumière avec les adventices ?
- Comment les propriétés foliaires sont-elles perçues par un capteur (mesures indirectes, télédétection)



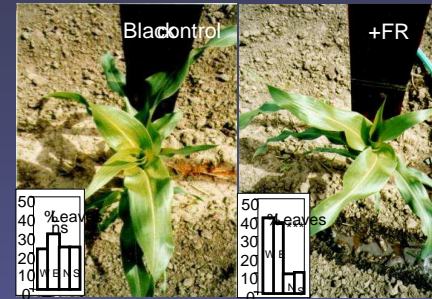
Applications liées à la capacité de simulation du développement 3D/microclimat 3D (reproduction d'expériences)

- Applications à la télédétection (simulation du signal)
- Analyse de partage des ressources (eg compétition pour la lumière) en couverts hétérogènes
- Établissement de lois de réponse locales
- Calcul physiques
 - Rayonnement (stades jeunes, organes spécifiques, micro champs,...)
 - Splashing
 - Interception pluie, stem flow

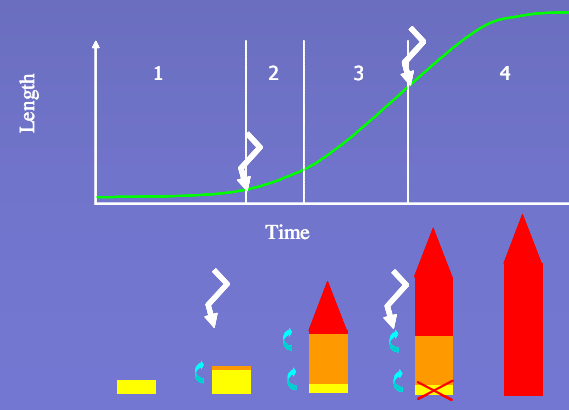
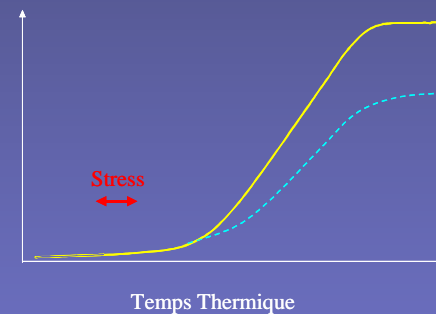


Applications liées à la capacité d'intégration de l'organe au peuplement

- Analyse plus fine de l'interaction génotype-environnement
- Intégration/extrapolation de lois de réponses locales
- Modélisation des réponses différées aux stress
- Modélisation des régulations par interaction entre organes
- Modélisation couplée plante-pathogènes. Cf C. Robert



Madoni, 2002



Fournier, 2005



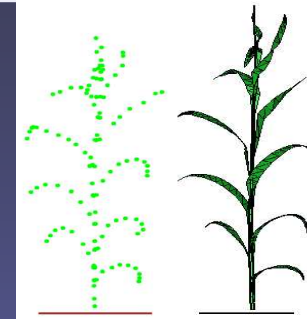
Applications « non concurrentielles » aujourd'hui

- Modélisation généraliste (multi processus) des cultures et test de scénarios ou prédiction de rendements
- Modélisation « haut débit » ou à grande échelle
- Approches mixtes possibles



Diversité des approches et outils utilisant des architectures 3D

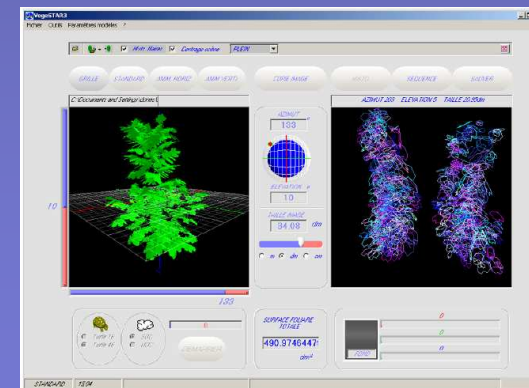
- Modèles de simulation dynamique
 - L-Systèmes (L-Studio, graphal)
 - AMAPphysio
 - GroImp
- Reconstructions statiques/infographie
 - BPMS/Modica
 - PlantFrame
 - AMAPsim
 - L-systèmes
- Analyses et modélisation stochastique
 - AMAPmod
- Fit et reproduction d'expérience
 - Digiplant/greennlab
- Outils d'analyse 'fonctionnels'
 - Vegestar
 - Y-Plant
 - AMAPmod



Modica (Drouet)



AMAPsim



Végestar (Sinoqu)



Les principaux pays qui ont investi

- **Europe** :
 - **France** (cf prochaine dia)
 - **Pays Bas** : Virtual Plant Network à Wageningen (utilisation de GroIMP, L-système, GreenLab : chrysanthème, rosier, blé)
 - **Allemagne** : Univ. Halle : Virtual Plant Group (orge, colza)
Université de Cottbus: développement de GroIMP
 - Belgique : Univ. Liège (Interaction génétique-Environnement, maïs)
 - Royaume Uni : UCL (télé-détection) + bientôt SCRI (plantes-maladies) ?
- **Canada** : Univ. Calgary : Informatique : développement des L-systemes
- **Australie** :
 - Univ. Brisbane : Méthode d'acquisition 3D, Applications des L-systèmes : Cotton, maïs, sorgho)
 - Vers APSIM 3D ?
- **Chine** : Utilisation de GreenLab/DigiPlante (blé, riz, maïs, ...)



Principales équipes en France : INRA, CIRAD, INRIA

Modélisation du fonctionnement des cultures Modèles à l'échelle de l'organe

INRA Montpellier Lepse : stress hydrique
INRA Clermont
INRA Avignon : systèmes racinaires

Modèles microclimatiques et physiques

INRA Clermont : lumière, température (arbres)
INRA Grignon : lumière, eau
CIRAD Montpellier : lumière, température
INRA Avignon : télédétection, proxidtection

Plantes Virtuelles de culture

INRA Montpellier : tournesol, vigne, arabidopsis, maïs
INRA Lusignan : ray-grass, trèfle
INRA Mons : maïs, miscanthus, froid
INRA Angers : plantes ornementales
INRA Grignon : blé, colza, maladies foliaires
CIRAD Montpellier : riz

Informatique et sciences de la modélisation

INRIA Montpellier : AmapMod, ALEA
ECP Sceaux + INRIA Roquencourt : Digiplante

