



Les Rencontres du
Végétal

9^e
édition

2017
16 & 17 janvier
AGROCAMPUS OUEST
ANGERS, FRANCE

RECHERCHE
EXPÉRIMENTATION
INNOVATION

Fruits
Légumes
Ornement
Plantes aromatiques
et médicinales
Semences
Cidriculture
Viticulture
Paysage

Modélisation 3D (fonction-structure) de systèmes de production de la tomate sous serre : avantages, enjeux et défis

Session « Diversité au sein des systèmes de production »

Gerhard BUCK-SORLIN

Professeur, AGROCAMPUS OUEST

Julienne FANWOUA

Chercheuse postdoc, INRA Avignon

PLAN

La modélisation Structuro-Fonctionnelle des Plantes (FSPM)

- Définition
- Travaux précédents

Production des tomates sous serre

- Besoin d'éclairage additionnel, sous quelles circonstances?

L'Eclairage LED

- CIC Climat "Carbon LED"

Le modèle tomate

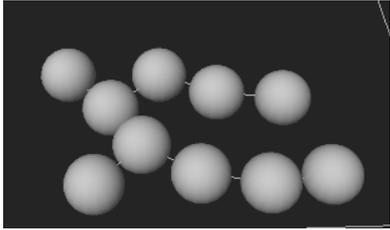
- Structure, données, paramétrage
- Quelques résultats

Discussion

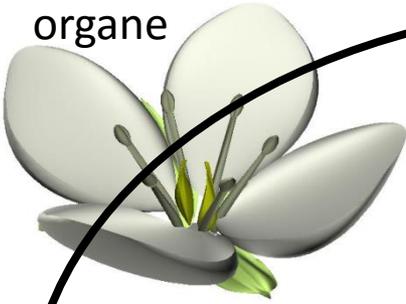
- Utiliser le modèle comme OAD en production
- Comment le modèle peut-il être utile?
- Utilisation d'autres modèles, pour explorer des pratiques horticoles (ex. lumière en verger)

Approche intégrative: Différents échelles

moléculaire



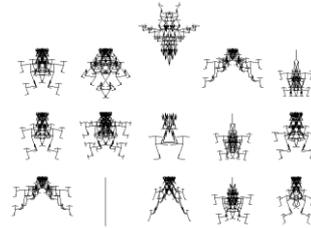
organe



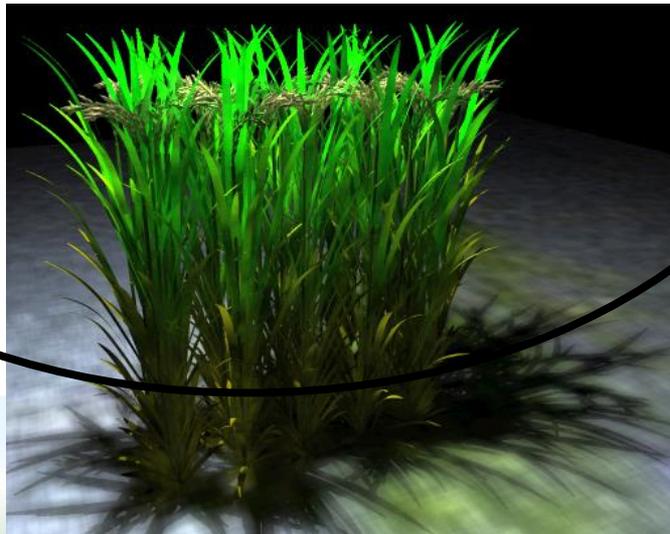
individu



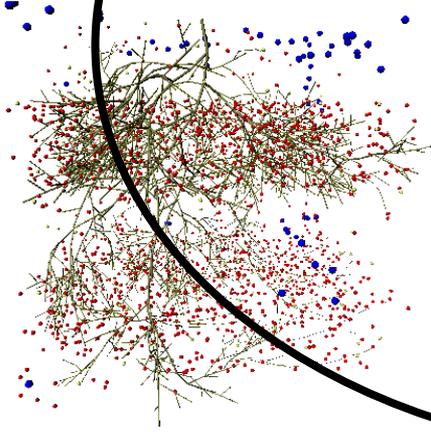
population



canopée



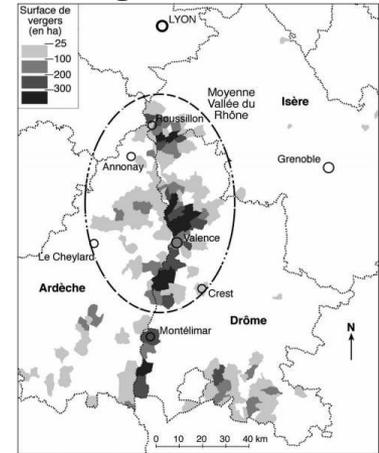
racine - sol



serre



régionale

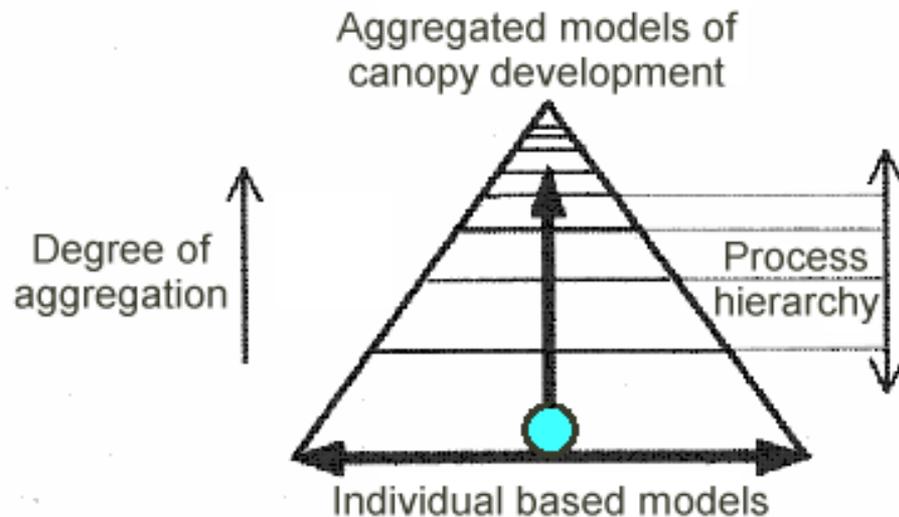


globale



La modélisation Structuro-Fonctionnelle des Plantes (FSPM)

Vos et al. (2007): “Functional–structural plant models, FSPMs or virtual plant models are the terms used to refer to models explicitly describing the development over time of the 3D architecture or structure of plants as governed by physiological processes which, in turn, are driven by environmental factors.”



● : Position of FSPM in the diagram

Un peu d'histoire...

Modèles fonctionnels

(= modèles basés sur des processus)

De Wit *et al.*, 1965



Modèles structurels

(= modèle d'architecture)

Lindenmayer *et al.*, 1968



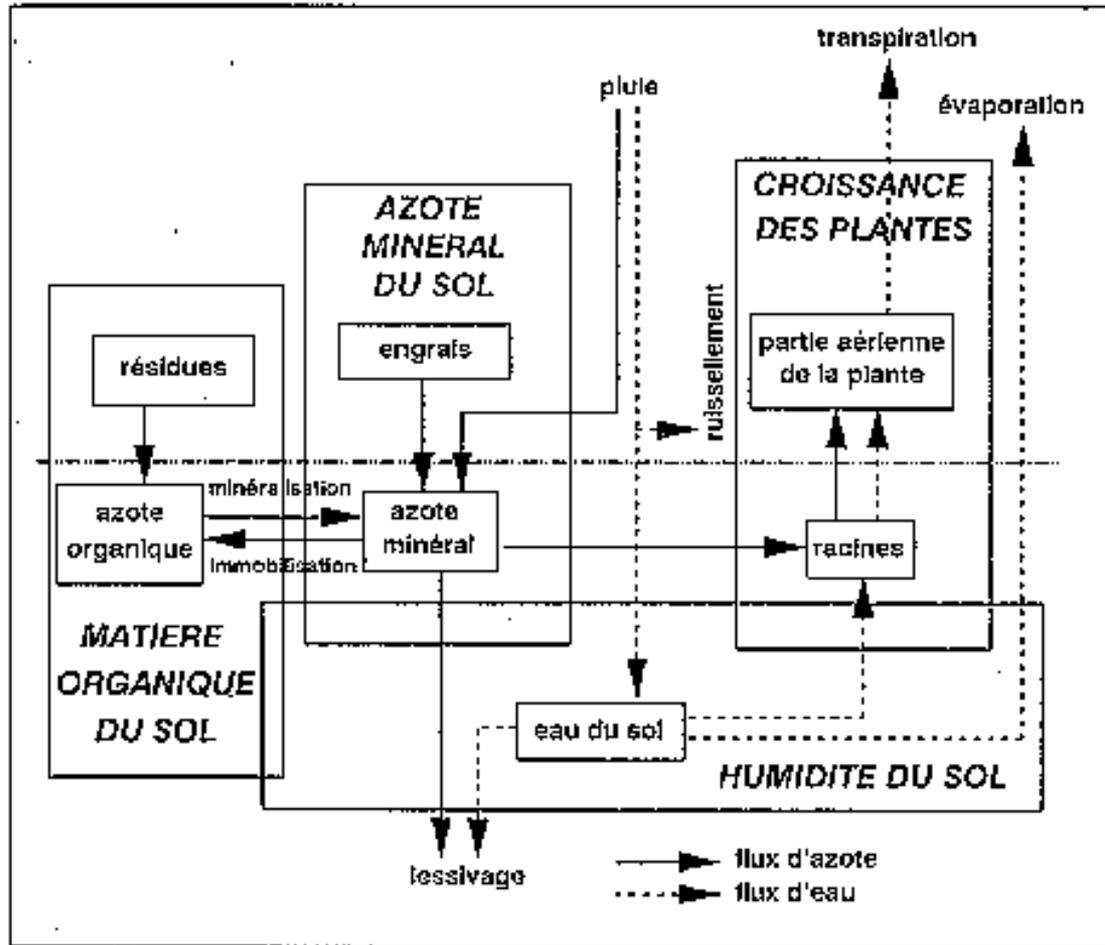
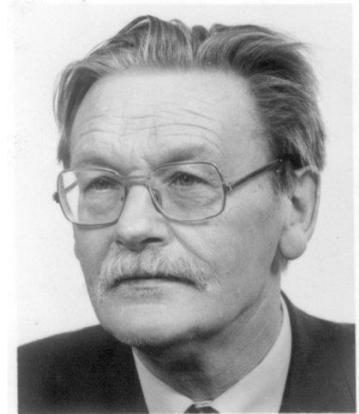
Modèles structuro-fonctionnels des plantes

- Perttunen *et al.*, 1996 & Kurth, 1997: modèles des arbres
- Fournier and Andrieu, 1998 modèle du maïs

Toutes ces approches ont bénéficié des développements en sciences informatiques!

C. T. de Wit (1924 – 1993)

Wageningen Agricultural University



1965:

- *Invention* de la modélisation fonctionnelle des cultures («crop model»)
- Utilisation de la modélisation comme outil d'aide de décision en agriculture et horticulture
- mieux comprendre les processus écophysologiques sous-jacents à la production primaire

Lindenmayer-Systems (L-Systems)

Aristid Lindenmayer, 1925-1989,
Dutch-Hungarian biologist



Lindenmayer systems: Langage formel permettant

- une formalisation de la morphologie et de l'architecture
- représentation des structures ramifiées
- règles pour ramification et croissance → reconstruction des structures complexes
- a engendré une nouvelle branche en théorie mathématique des langues formelles

L-Peach (Allen *et al.* 2005)

- utilisant des L-systems pour
- simuler la structure et le développement de l'arbre
- résoudre des équations différentielles pour les flux de carbone et l'allocation

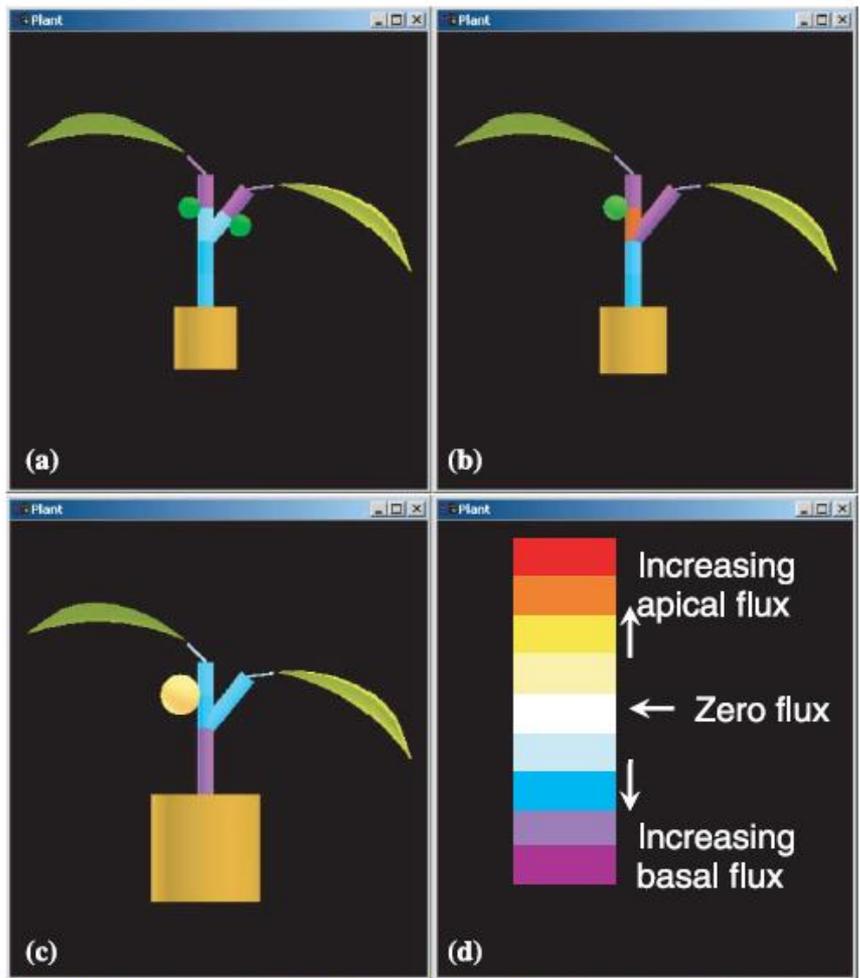
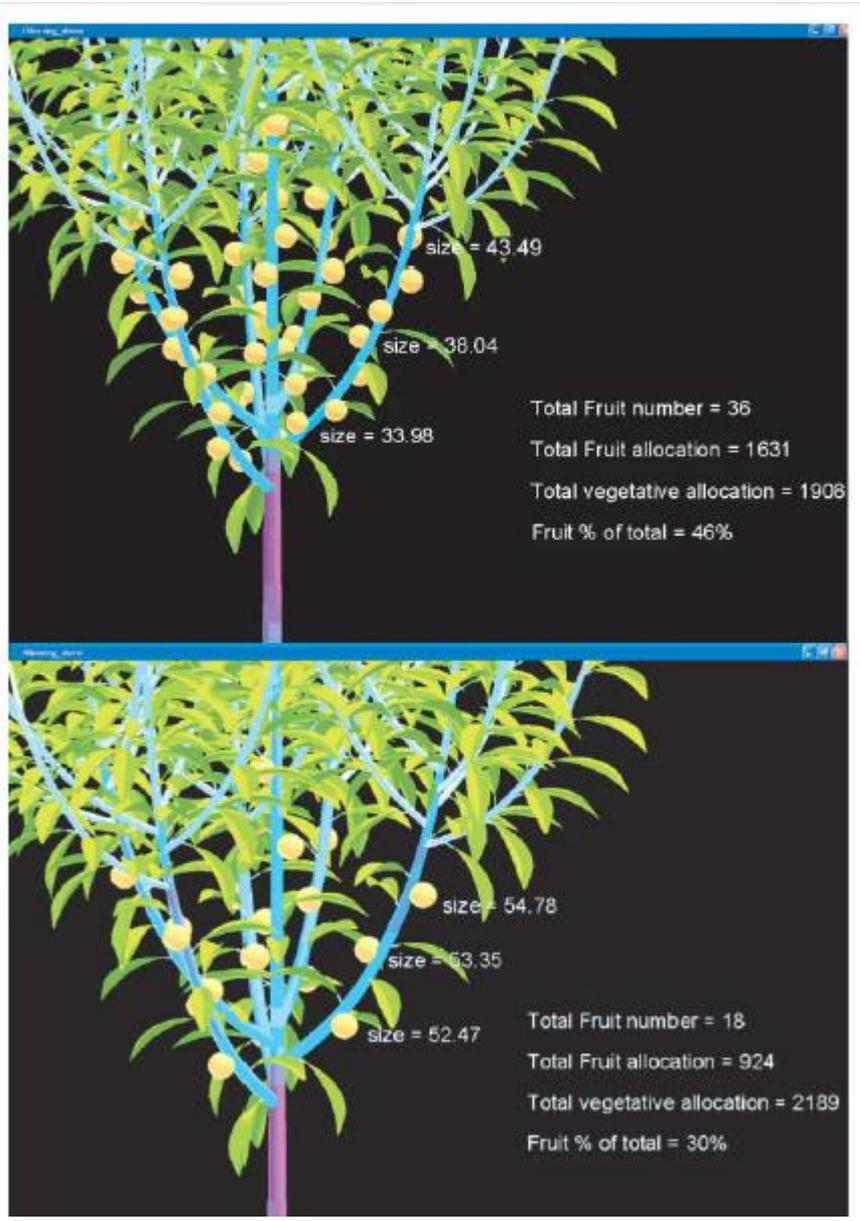


Fig. 6 Model output showing carbohydrate fluxes through a simplified tree structure (a); its changes following selective fruit pruning (b); and fruit maturation (c). (d) Visual key to the colors used to indicate directions and relative magnitudes of the fluxes.



Modelling transport processes between sources and sinks in the apple branch: an application of GroIMP's ODE solver



Julienne Fanwoua, Florian Villard, Christian le Morvan, Gerhard Buck-Sorlin

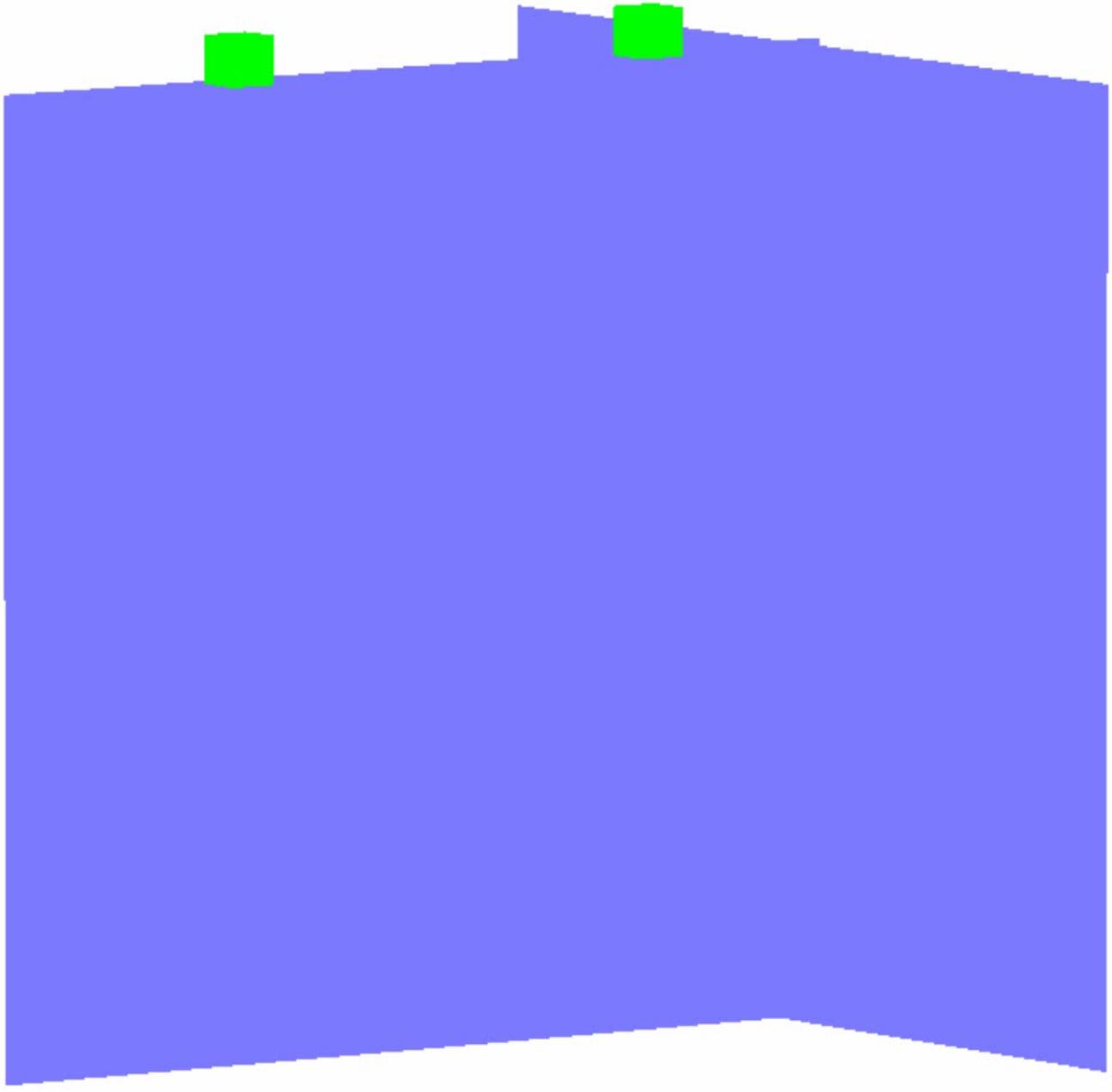
UMR1345 Institut de Recherche en Horticulture et Semences (IRHS)

Équipe Arboriculture Fruitière

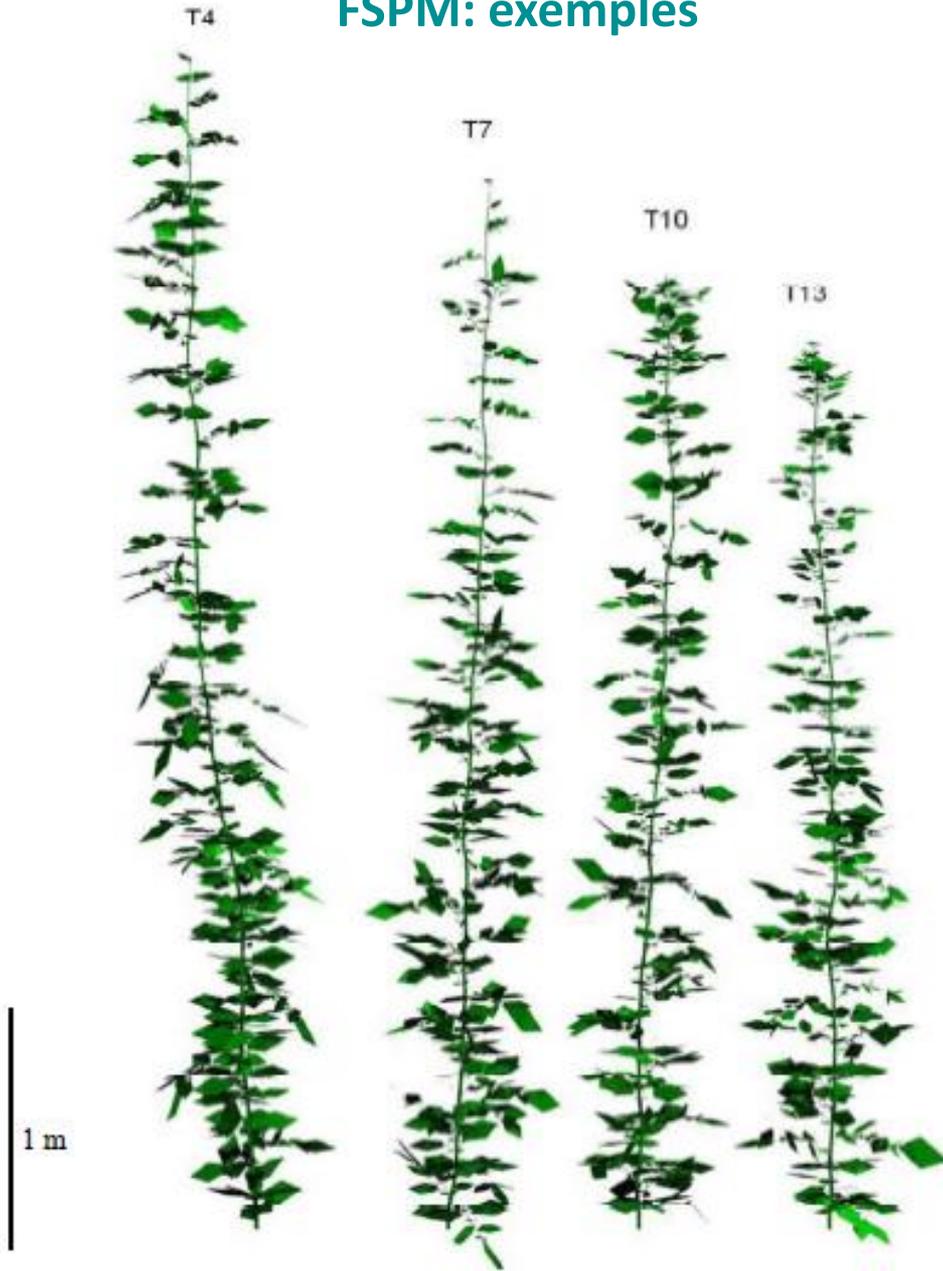
AGROCAMPUS OUEST Centre d'Angers - INRA - Université d'Angers.

Modèle de la forme/du calibre du fruit – relation entre taux de pollinisation, poids des pépins, et poids fraîche de la chaire (Drazeta et al. 2004)





FSPM: exemples

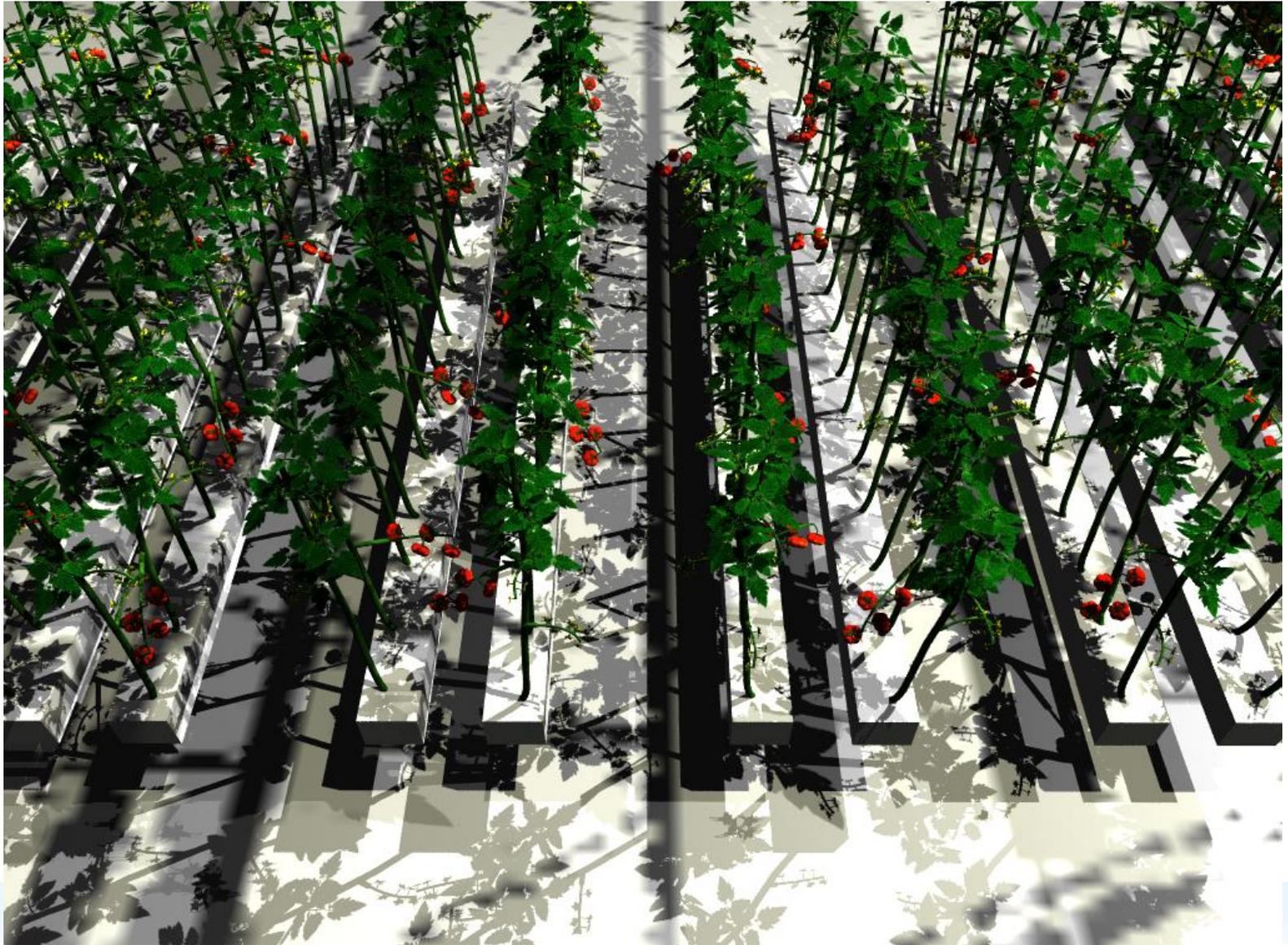


« maquette »: modèle statique,
« Tomate virtuelle »

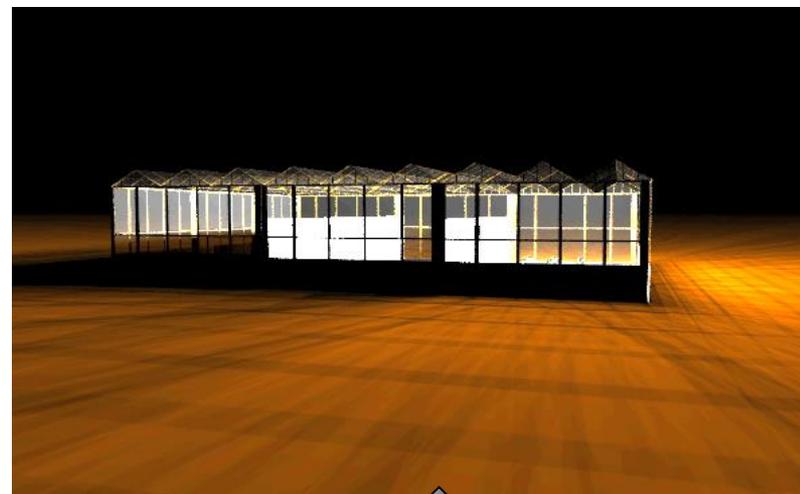
Simuler l'interception de la lumière

Najla et al. 2010

FSPM: exemples



FSPM: exemples



L'Eclairage LED

- Disponibilité de la lumière essentielle pour la qualité de fruit en production sous serre des tomates.
- Peu d'information sur l'influence de la lumière sur qualité des fruits
- Récemment essais d'investiguer effet des différents scenarios de lumière sur l'interception du rayonnement et la photosynthèse foliaire (voir travaux de Buck-Sorlin, de Visser, Sarlikioti...depuis 2009)
- Une approche FSPM apte pour l'intégration des processus physiologiques contribuant au rendement (quantité et qualité).
- Utilisation de la plateforme GroIMP pour créer une serre virtuelle (plantes, lampes, éléments de structure). Lampes: LED et HPS
- Travaux menés à bien par le cadre "CARBON LED" – projet Européen finance par un KIC Climat. Objectif: réduction de l'empreinte carbonique par l'optimisation d'éclairage avec des lampes LED sous serre.

Bayer CropScience



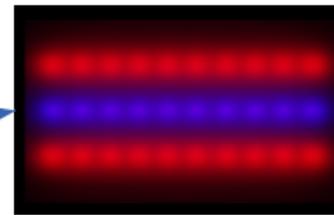
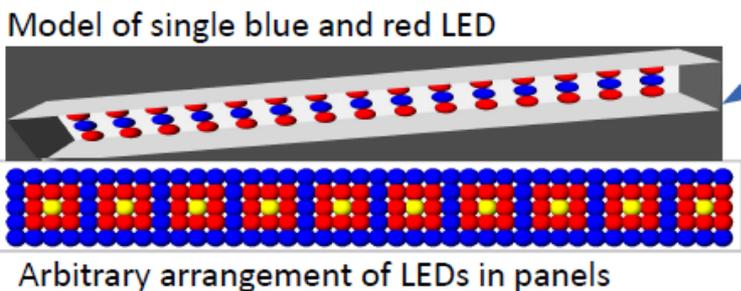
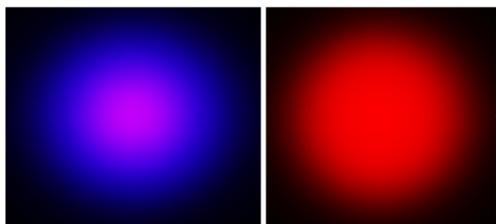
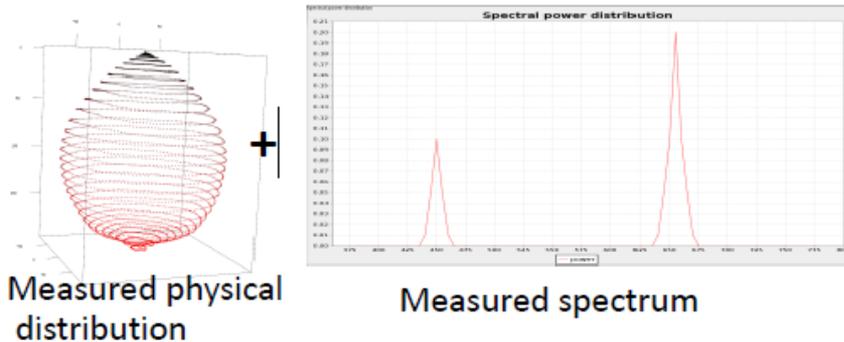
Équipe Carbon-LED



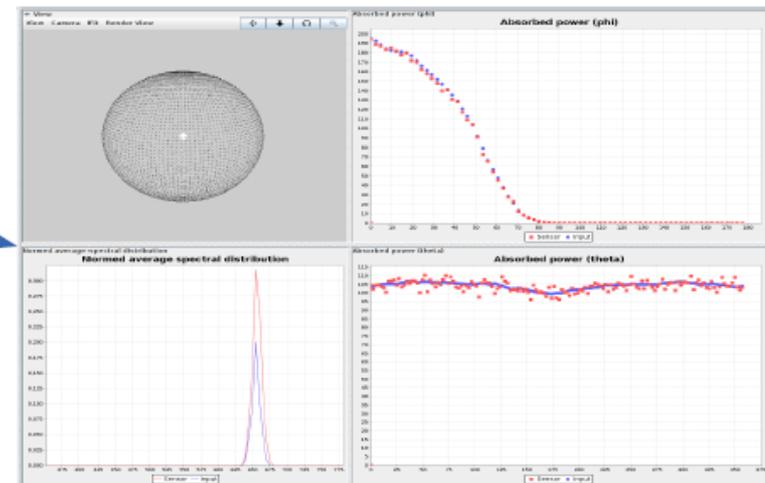
Lanceur des rayons spectrale

Project LED

Progress in modelling (INRA):

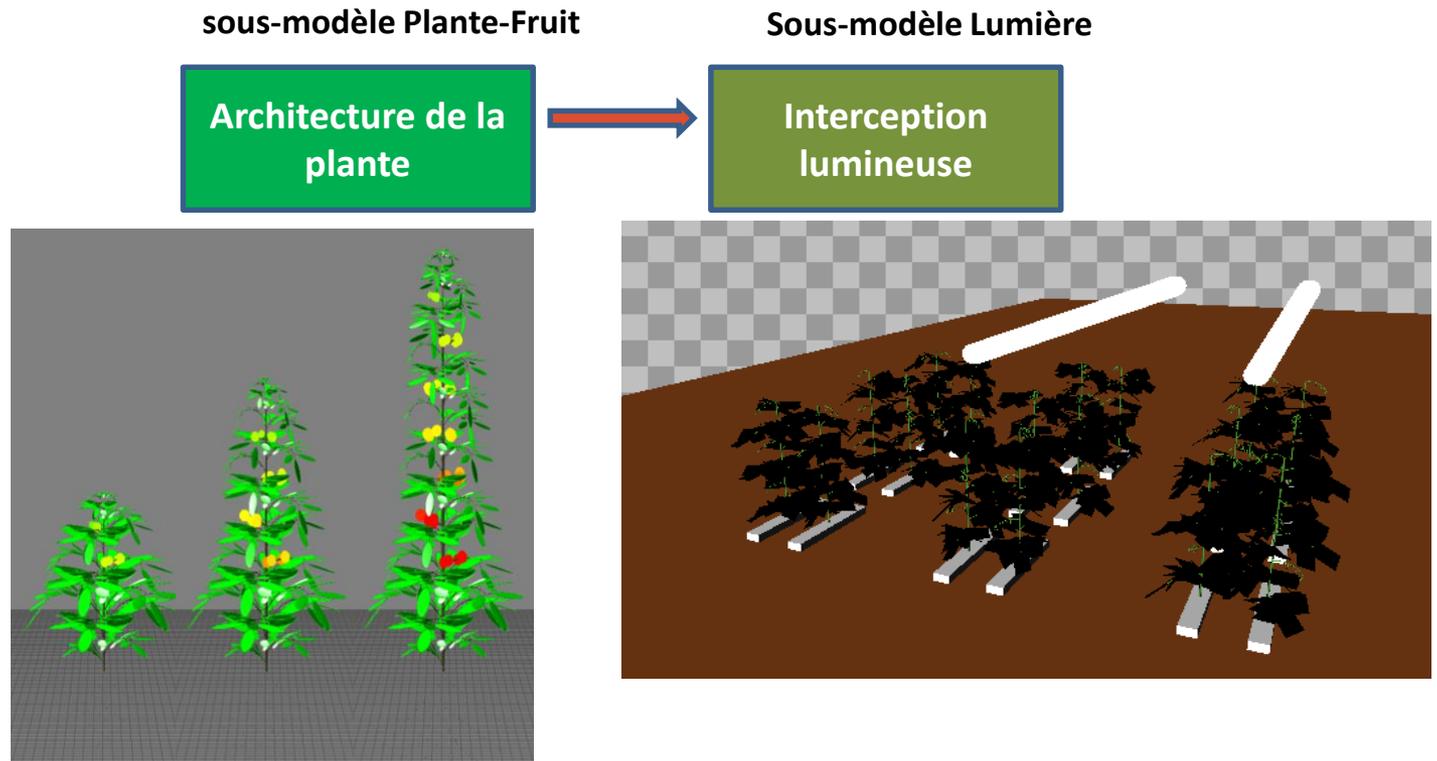


The simulated double-sided LED panel, as used in the greenhouse

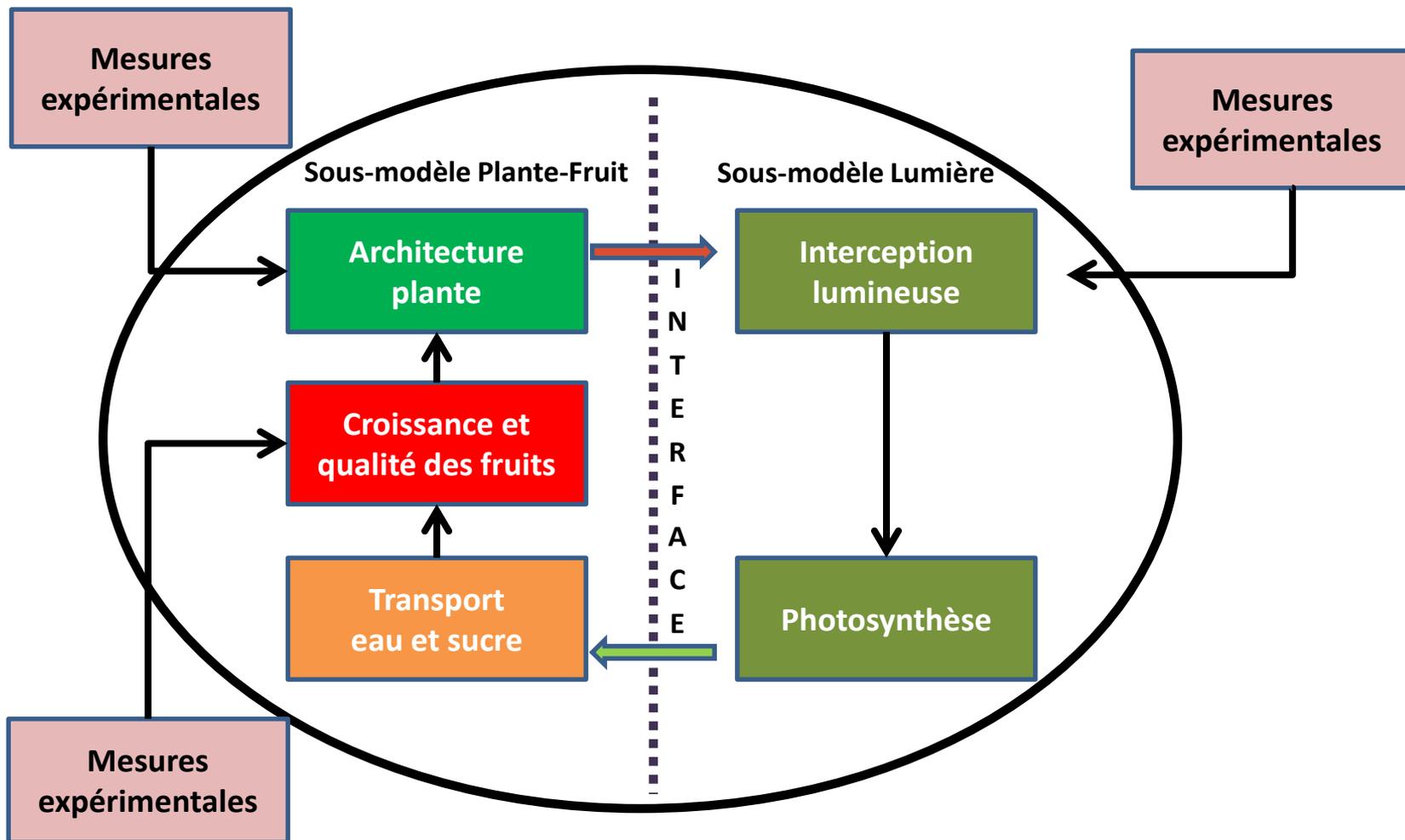


Very good agreement between measurement and simulation

Structure du modèle



Structure du modèle



Paramétrage du modèle

Sous-modèle Plante-Fruit

Mesures expérimentales

- Plantes** Vitesse d'apparition des organes
Vitesse d'expansion des organes
SLA (surface foliaire spécifique)
Dimension/orientation des organes,
etc.
- Fruits** Poids frais, % matière sèche,
conductivité de la cuticule, teneur en
sucre, etc.



Mesure de la conductance cuticulaire

Sous-modèle Lumière

Mesures expérimentales

- Couvert** Densité de culture,
orientation des rangs,
caractéristiques des
sources lumineuse, etc.



Serre expérimental Bleiswijk, Pays-Bas

Le sous-modèle Lumière

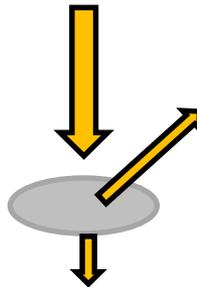
Le modèle lumière intégré de GroIMP : principe

Scène virtuelle

Source (s) de lumière



Objet(s) virtuels
(propriétés optiques)



Photosynthèse

← Lumière absorbée
Lumière reflétée
Lumière transmise

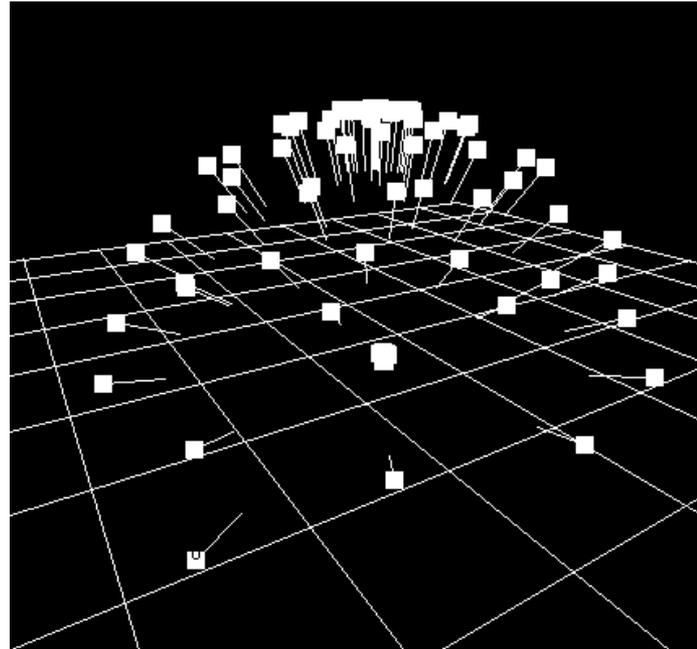
Le sous-modèle Lumière

La scène virtuelle

Définir les trois sources de lumière

La lumière du jour: deux composantes

- Lumière diffuse (72 objets)
- Lumière directe



Le sous-modèle Lumière

La scène virtuelle

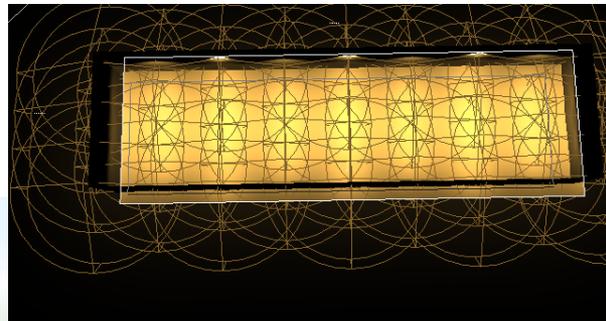
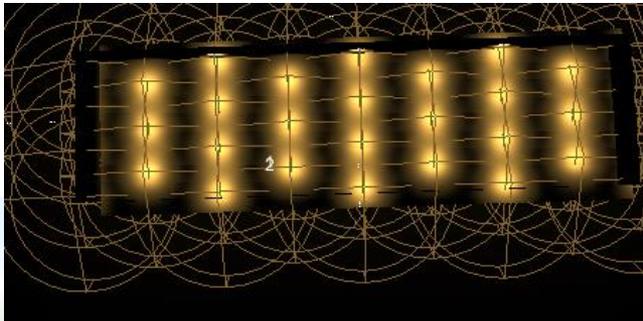
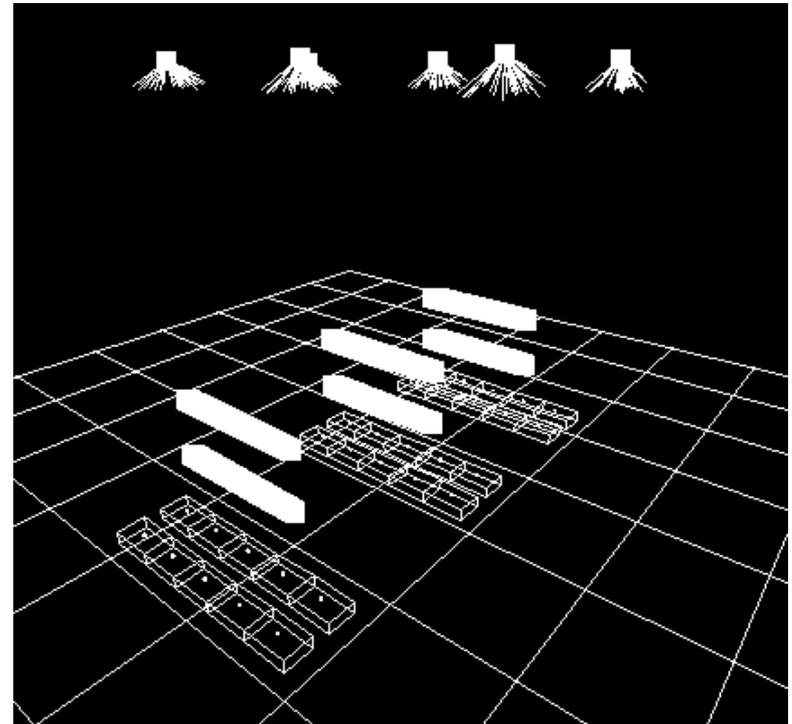
Définir les trois sources de lumière

La lumière du jour: deux composantes

- Lumière diffuse (72 objets)
- Lumière directe

Les Lampes HPS (puissance, spectre)

Les Lampes LED (puissance, spectre)

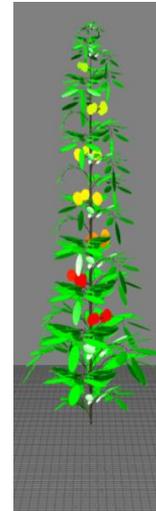


Le sous-modèle Lumière

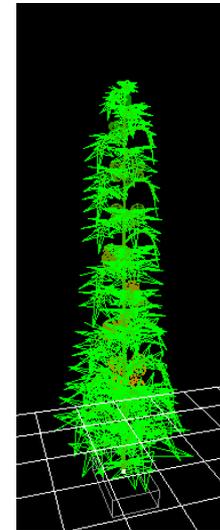
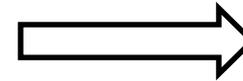
La scène virtuelle

Définir les trois sources de lumière

Importer l'architecture 3D de la plante de tomate
(toutes les 24 h)



Sous-modèle
Plante-Fruit



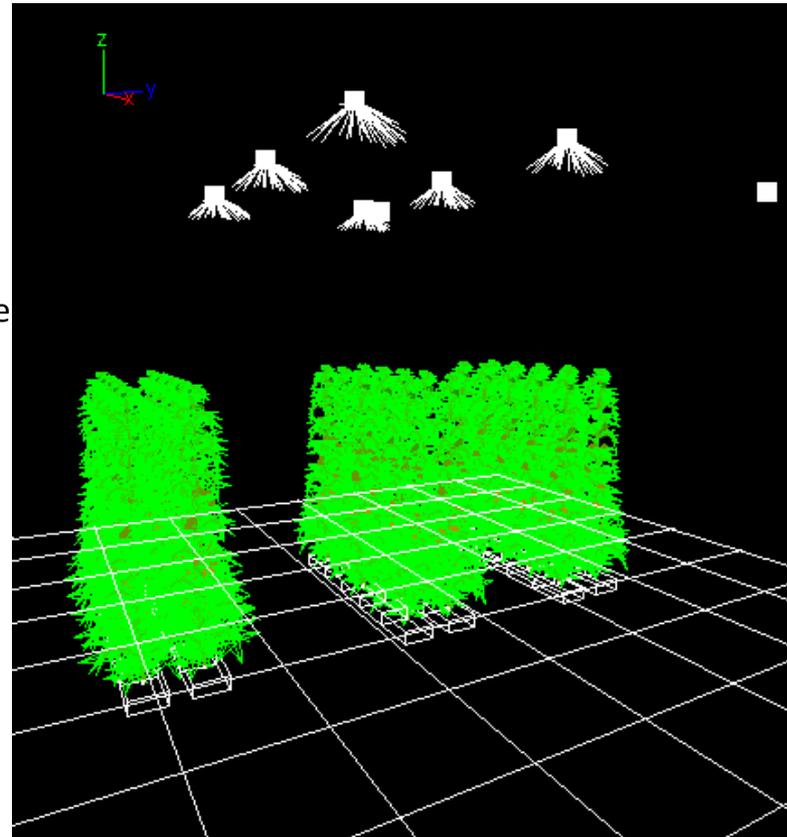
Sous-modèle
Lumière

Le sous-modèle Lumière

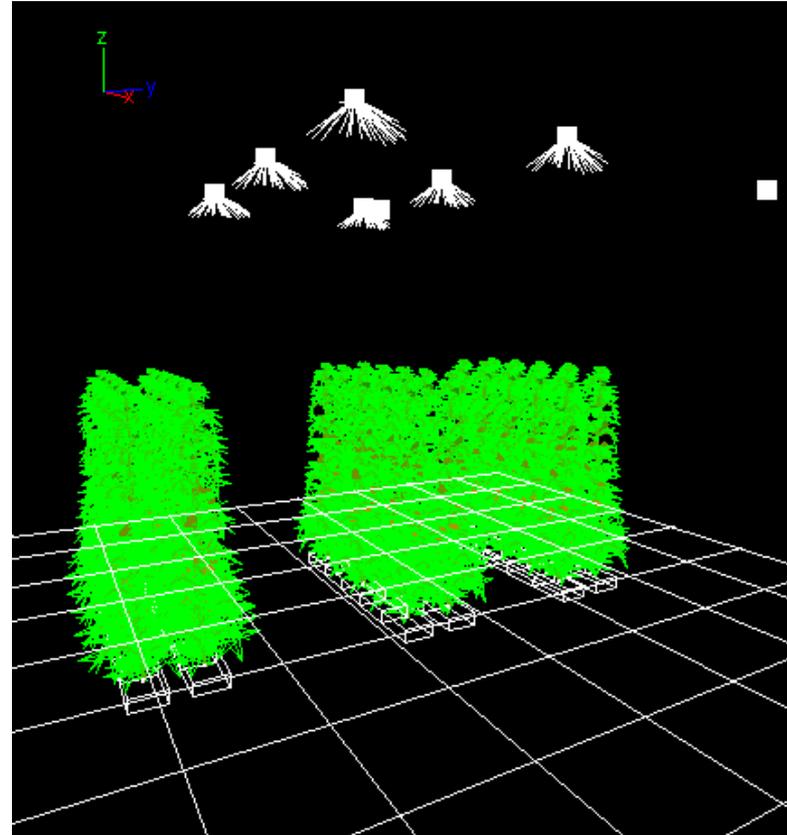
La scène virtuelle

Définir les trois sources de lumière

Importer l'architecture 3D de la plante de tomate
(toutes les 24 h)



Le sous-modèle Lumière



Le sous-modèle Lumière

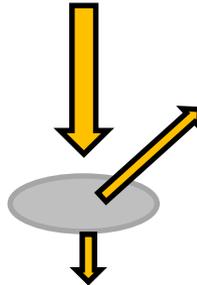
Le modèle lumière intégré de GroIMP : principe

Scène virtuelle

Source (s) de lumière



Objet(s) virtuels
(propriétés optiques)



Photosynthèse ←

Lumière absorbée
Lumière reflétée
Lumière transmise

Le sous-modèle Lumière

Simuler la photosynthèse foliaire: selon Lieth et Pasian (1990)

$$P_n = \frac{\alpha I + P_m - \sqrt{(\alpha I + P_m)^2 - 4\alpha I P_m \theta}}{2\theta} - R_d$$

P_n = photosynthèse nette ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

R_d = respiration à l'obscurité

α = efficacité photosynthétique

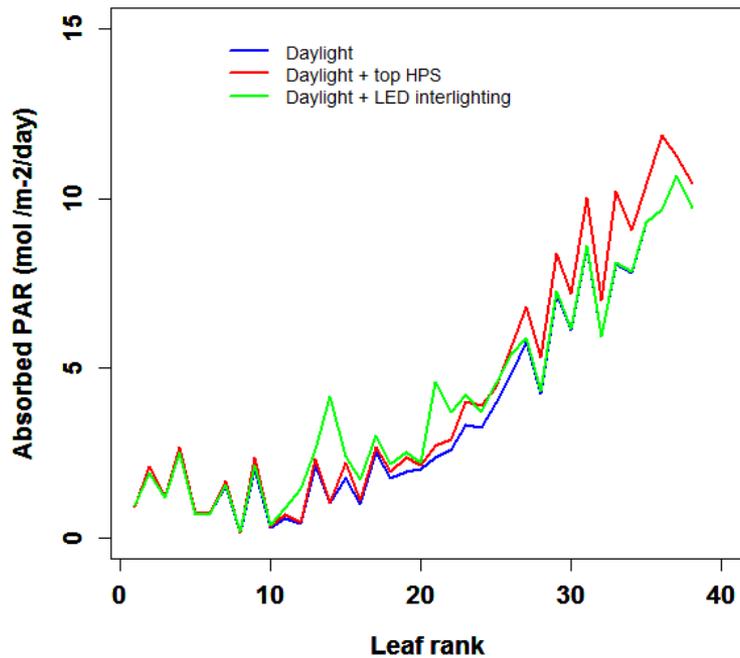
I = lumière absorbée ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

P_m = photosynthèse maximale ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$): varie avec l'âge des feuilles et la température;

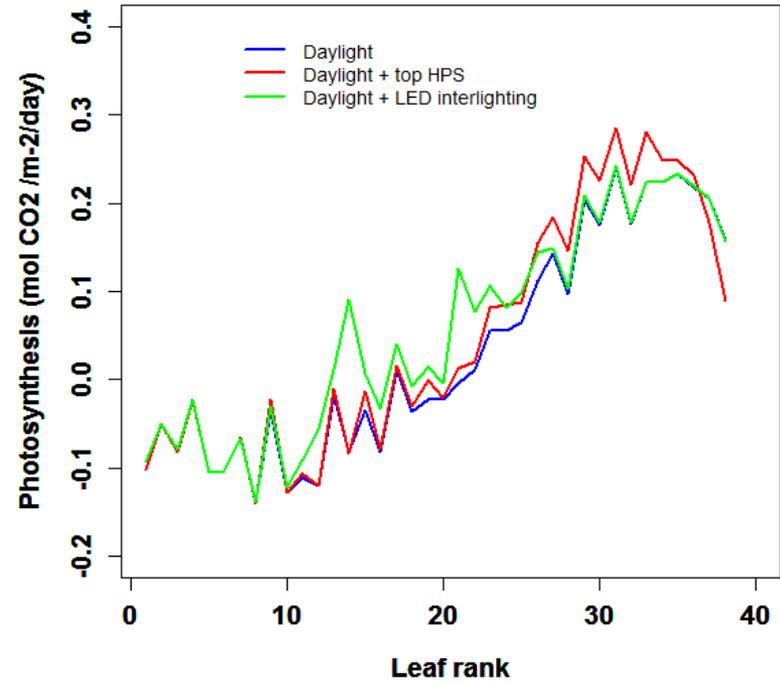
θ = paramètre de forme

Résultats: simulations

Lumière absorbée par jour et par rang foliaire



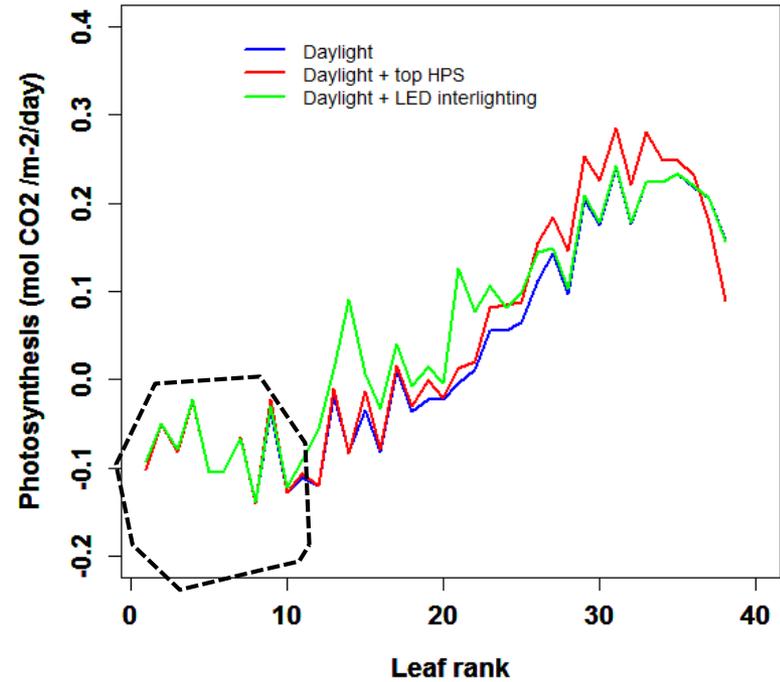
Photosynthèse par jour et par rang foliaire



Résultats: simulations



Photosynthèse par jour et par rang foliaire



Discussion

- Tester (*in silico*) l'effet de facteurs climatiques et pratiques culturales sur la croissance des fruits :
 - *différentes sources de lumière (lumière du jour, lampes)*
 - *caractéristiques des lampes*
 - *position des lampes*
 - *densité des plantes*
 - *variété de tomate*

- Tester l'effet du microclimat lumineux sur la qualité des fruits

Discussion



Discussion

- Tester (*in silico*) l'effet de facteurs climatiques et pratiques culturales sur la croissance des fruits :
 - *différentes sources de lumière (lumière du jour, lampes)*
 - *caractéristiques des lampes*
 - *position des lampes*
 - *densité des plantes*
 - *variété de tomate*
- Tester l'effet du microclimat lumineux sur la qualité des fruits
- FSPM et OAD
 - Le FSPM de tomate: déjà un outil d'aide à la décision?***