

INGÉNIERIE DES MODÈLES ET SIMULATION

ÉTUDE DE CAS INDUSTRIELLE

STÉ ITK / ANRT / LIMOS
THESE CIFRE DE GUILLAUME BARBIER

Contribution de l'Ingénierie Dirigée par les //
// Modèles à la Conception de Modèles
Grande Culture



INTRODUCTION

- ✓ Modèles de croissance intégrés dans des outils d'aide à la décision orientés web (JEE)
- ✓ Réflexion sur la généricité et la réutilisabilité des modèles agronomiques
- ✓ Eviter la double implémentation : amélioration de la productivité et diminution du risque

PLAN

Processus de production de modèles pour les OAD d'ITK : une problématique

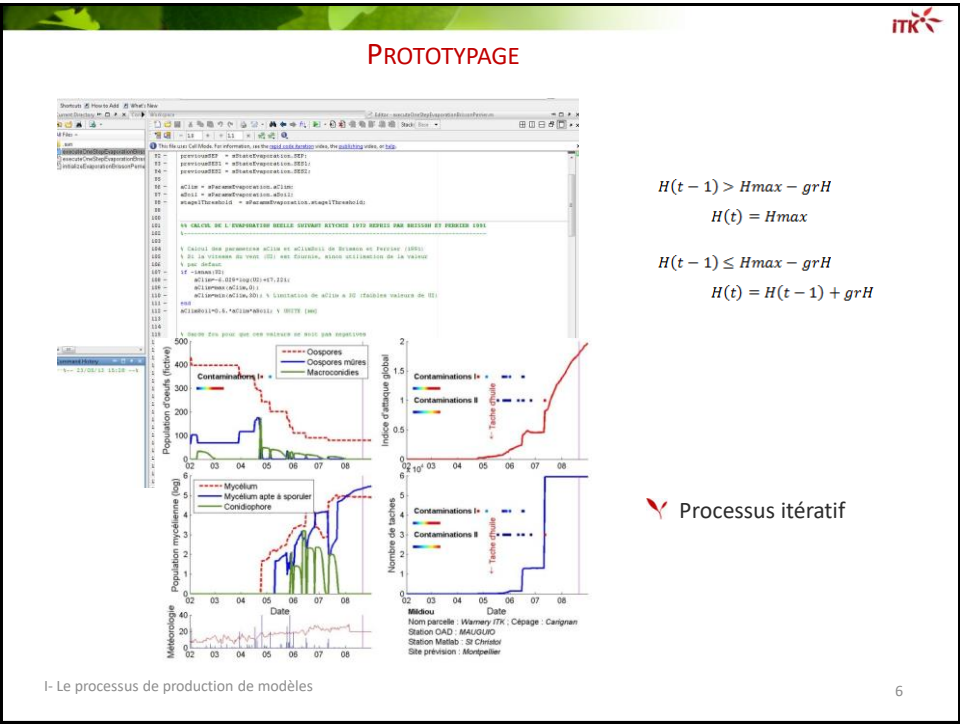
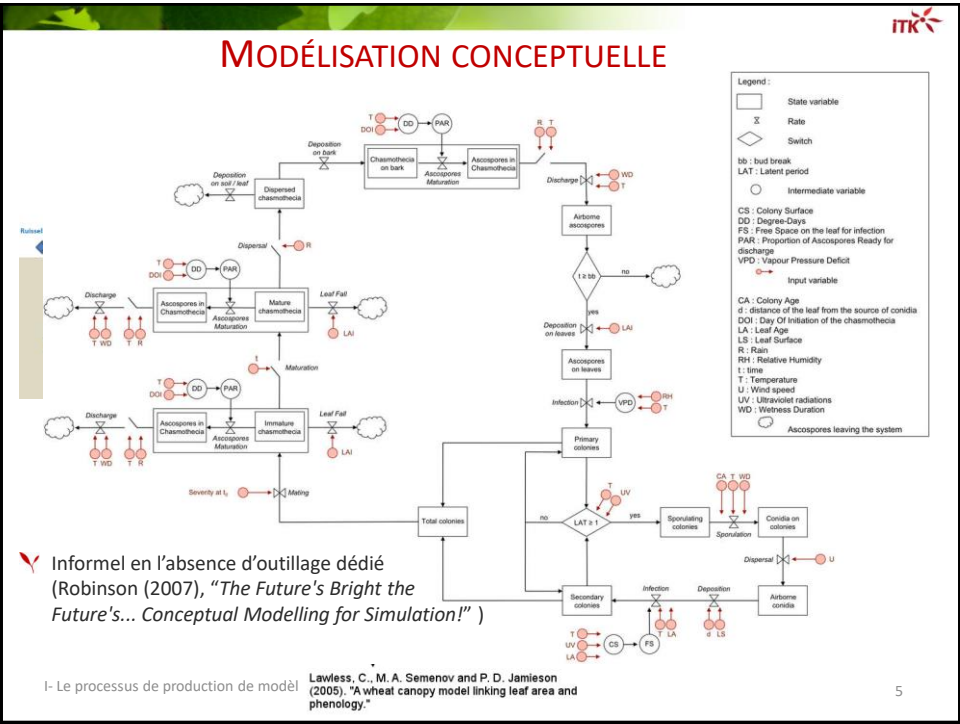
- ✎ Etat de l'art
- ✎ Ingénierie dirigée par les modèles : lien avec la proposition
- ✎ Définition du langage
- ✎ Prototypage de la fabrique et mise en œuvre
- ✎ Conclusion et perspectives

3

ANALYSE



- ✎ Besoin ? (stress hydrique, rendement)
 - ✎ Données disponibles ? (données météo pour la simulation, données de terrain pour la validation du modèle)
 - ✎ Processus à prendre en compte ? (phénomènes biophysiques connus ayant un impact sur les phénomènes à prédire)
- ➡ Etude bibliographique



Coordonnées Solaires

Interception

VAT
Brisson Feddes

Phénologie

Croissance

Azimuth

Rayonnement

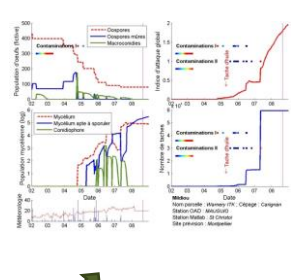
PROBLÉMATIQUE

$$\lambda = \text{Math.abs}(\text{Math.cos}(\text{solarHeightInput}))$$
$$\text{double } I_h = \text{hourlyRadiationInput} - R_d;$$
$$\text{if } (\lambda \leq \text{width/height}) \{$$
$$R_i = 1/\text{interRankLength} * (\lambda * \text{height} + \text{width}) * I_h + n_d * R_d;$$
$$\}$$

Génération de code ?

```
1 // RefWorks... // Partielle... // Partielle... // Partielle... // Partielle...
2 // Initialisation des variables de base
3 // Paramètres de base
4 // Paramètres de base
5 // Paramètres de base
6 // Paramètres de base
7 // Paramètres de base
8 // Paramètres de base
9 // Paramètres de base
10 // Paramètres de base
11 // Paramètres de base
12 // Paramètres de base
13 // Paramètres de base
14 // Paramètres de base
15 // Paramètres de base
16 // Paramètres de base
17 // Paramètres de base
18 // Paramètres de base
19 // Paramètres de base
20 // Paramètres de base
21 // Paramètres de base
22 // Paramètres de base
23 // Paramètres de base
24 // Paramètres de base
25 // Paramètres de base
26 // Paramètres de base
27 // Paramètres de base
28 // Paramètres de base
29 // Paramètres de base
30 // Paramètres de base
31 // Paramètres de base
32 // Paramètres de base
33 // Paramètres de base
34 // Paramètres de base
35 // Paramètres de base
36 // Paramètres de base
37 // Paramètres de base
38 // Paramètres de base
39 // Paramètres de base
40 // Paramètres de base
41 // Paramètres de base
42 // Paramètres de base
43 // Paramètres de base
44 // Paramètres de base
45 // Paramètres de base
46 // Paramètres de base
47 // Paramètres de base
48 // Paramètres de base
49 // Paramètres de base
50 // Paramètres de base
51 // Paramètres de base
52 // Paramètres de base
53 // Paramètres de base
54 // Paramètres de base
55 // Paramètres de base
56 // Paramètres de base
57 // Paramètres de base
58 // Paramètres de base
59 // Paramètres de base
60 // Paramètres de base
61 // Paramètres de base
62 // Paramètres de base
63 // Paramètres de base
64 // Paramètres de base
65 // Paramètres de base
66 // Paramètres de base
67 // Paramètres de base
68 // Paramètres de base
69 // Paramètres de base
70 // Paramètres de base
71 // Paramètres de base
72 // Paramètres de base
73 // Paramètres de base
74 // Paramètres de base
75 // Paramètres de base
76 // Paramètres de base
77 // Paramètres de base
78 // Paramètres de base
79 // Paramètres de base
80 // Paramètres de base
81 // Paramètres de base
82 // Paramètres de base
83 // Paramètres de base
84 // Paramètres de base
85 // Paramètres de base
86 // Paramètres de base
87 // Paramètres de base
88 // Paramètres de base
89 // Paramètres de base
90 // Paramètres de base
91 // Paramètres de base
92 // Paramètres de base
93 // Paramètres de base
94 // Paramètres de base
95 // Paramètres de base
96 // Paramètres de base
97 // Paramètres de base
98 // Paramètres de base
99 // Paramètres de base
100 // Paramètres de base
```

Simulation



I- Le processus de production de modèles

9

PLAN

Processus de production de modèles pour les OAD d'ITK : une problématique

Etat de l'art

Ingénierie dirigée par les modèles : lien avec la proposition

Définition du langage

Prototypage de la fabrique et mise en œuvre

Conclusion et perspectives

10

5

ITK

ÉTAT DE L'ART

	Conception visuelle	Syntaxe textuelle	Formalisme Adapté?	Génération Java	Licence	Cible ?
Matlab/ Simulink	+	+	+ / -	+ / - Non portable	- coût	Modélisateur multi-domaine

II – Etat de l'art

11

ITK

PLAN

Processus de production de modèles pour les OAD d'ITK : une problématique

Etat de l'art

Ingénierie dirigée par les modèles : lien avec la proposition

Définition du langage

Prototypage de la fabrique et mise en œuvre

Conclusion et perspectives

12

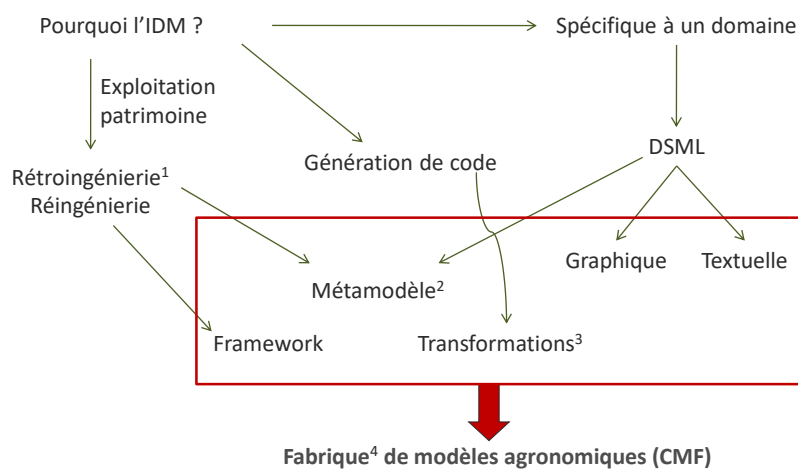
INGÉNIERIE DIRIGÉE PAR LES MODÈLES

✶ Cadre fédérateur récent (début 2000) de techniques plus anciennes

- Rétroingénierie
- Ré-ingénierie
- Modélisation
- Génération automatique de constructions (code, modèles)
- Mise en place de langages dédiés à un domaine (DSLs)

✶ L'élément fédérateur de l'IDM : la notion de métamodèle

INGÉNIERIE DIRIGÉE PAR LES MODÈLES (IDM)

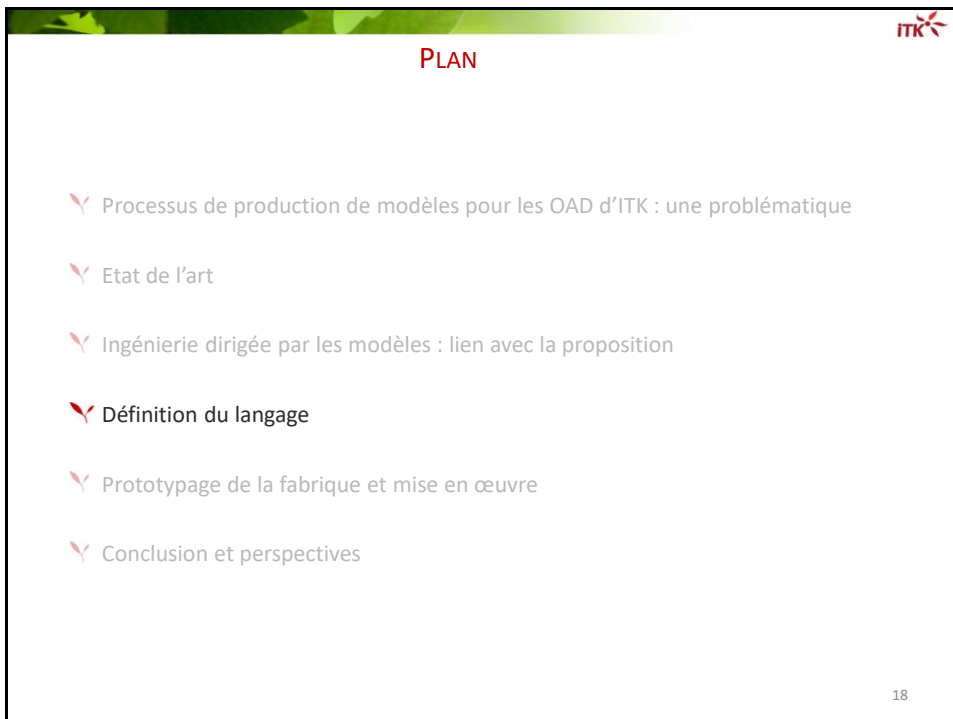
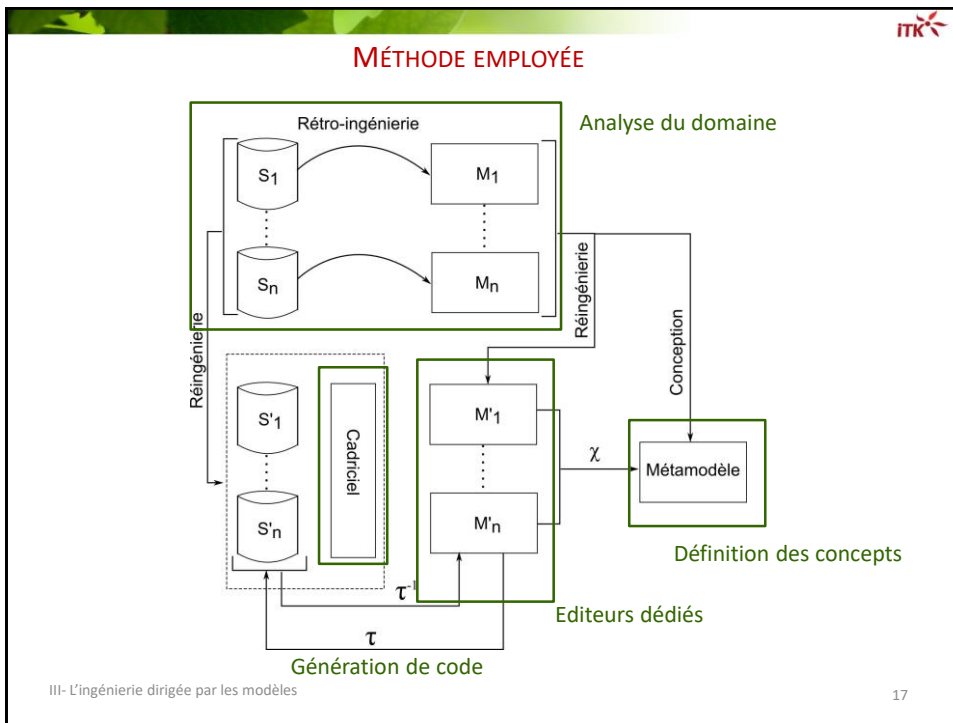


1- Favre, J. M. et al., (2006). "Evolution, rétro-ingénierie et IDM : du code aux modèles". 185-215.

2- Bézivin, J. (2005). "On the unification power of models." *Software and systems modeling* 4(2): 171-188.

3- Hemel, Z. et al.(2008). "Code generation by model transformation: a case study in transformation modularity". 9: 183-198.

4- Greenfield, J. and K. Short (2003). Software factories assembling applications with patterns, models, frameworks and tools. OOPSLA'03. Anaheim, Ca.



ITK

LE MÉTAMODÈLE

```
classDiagram
    class Adapter {
        - timestep: int
        - type: DataType
    }
    class Input {
        - description: string
        - optional: boolean
        - timestep: int
        - type: DataType
        - unit: Unit
    }
    class Output {
        - description: string
        - timestep: int
        - type: DataType
        - unit: Unit
    }
    class DataSink {
    }
    class DataSource {
    }
    class DataProvider {
        - optional: boolean
        - timestep: int
        - type: DataType
        - unit: Unit
    }
    class StageAdvancer {
    }
    class PhenologicalStage {
    }
    class PhenologicalModel {
    }
    class ExecutableModel {
        + execute(): void
    }
    class AtomicModel {
    }
    class PreTreatmentModel {
    }
    class Model {
        - name: string
        - description: string
        - timestep: int
    }
    class CompositeModel {
    }
    class AlternateSequenceModel {
    }

    Adapter "1" -- "*" Input
    Adapter "1" -- "*" Output
    Adapter "1" -- "*" DataSink
    Adapter "1" -- "*" DataSource
    Adapter "1" -- "*" DataProvider
    StageAdvancer "0..1" -- "*" PhenologicalStage
    PhenologicalStage "*" -- "*" PhenologicalModel
    Input "*" -- "*" DataSource : fedBy
    Output "*" -- "*" DataSource : fedBy
    DataSink "*" -- "*" DataSource : linkedTo
    DataSource "0..1" -- "*" DataProvider : fedBy
    DataSource "0..1" -- "*" DataProvider : fedBy
    DataSource "0..1" -- "*" DataProvider : fedBy
    DataSource "0..1" -- "*" DataProvider : fedBy
    ExecutableModel <|-- AtomicModel
    ExecutableModel <|-- PreTreatmentModel
    ExecutableModel <|-- Model
    ExecutableModel <|-- CompositeModel
    ExecutableModel <|-- AlternateSequenceModel
    Model "0..1" -- "*" CompositeModel : nextInFlow
    Model "0..1" -- "*" CompositeModel : firstInFlow
    Model "0..1" -- "*" AlternateSequenceModel : alternateFlow
    CompositeModel "1" -- "*" AlternateSequenceModel
```

Différentes versions publiées :

Barbier, G., F. Pinet and D. R. C. Hill (2011). *ESM Conference*: 130-137
Barbier, G., J. Flusin, V. Cucchi, F. Pinet and D. R. C. Hill (2012). *ESM Conference*: 100-106
Barbier, G., V. Cucchi and D. R. C. Hill (2013 – In press). *Int. Work. Agr. Env. Inf. Dec. Supp. Syst. LNCS 7971* :12p
Barbier, G., V. Cucchi, F. Pinet and D. R. C. Hill (2014). *In Progressions and Innovations in Model-Driven Software Engineering, IGI Global*: 16p
Barbier, G., V. Cucchi, F. Pinet and D. R. C. Hill (2015). *Int. Jour. Agri. Env. Inf. Syst.* : 13p

IV – Définition du langage

19

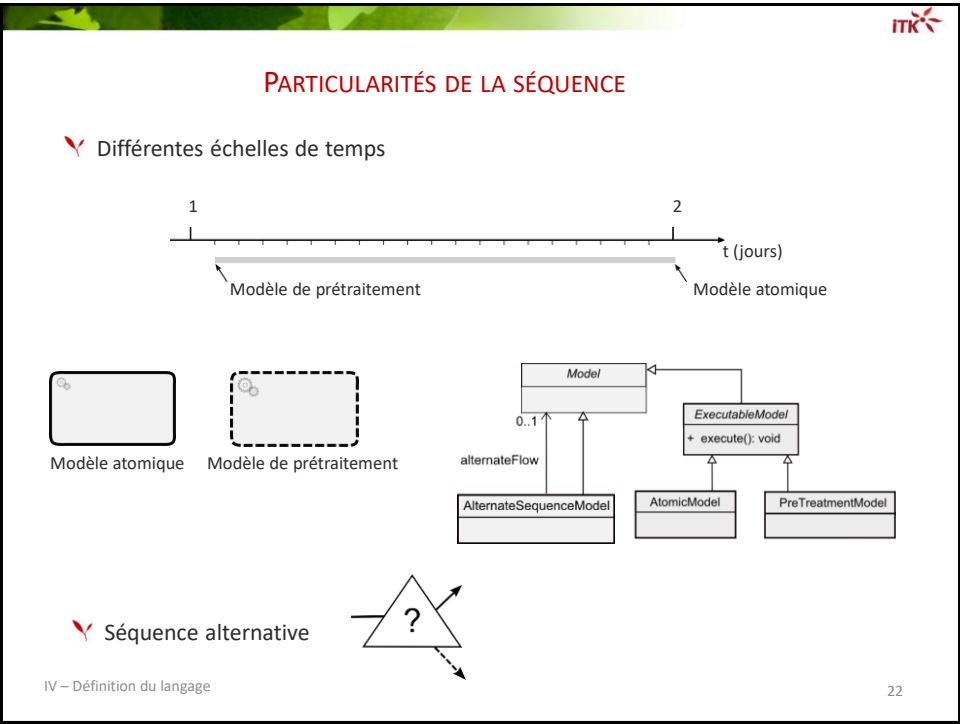
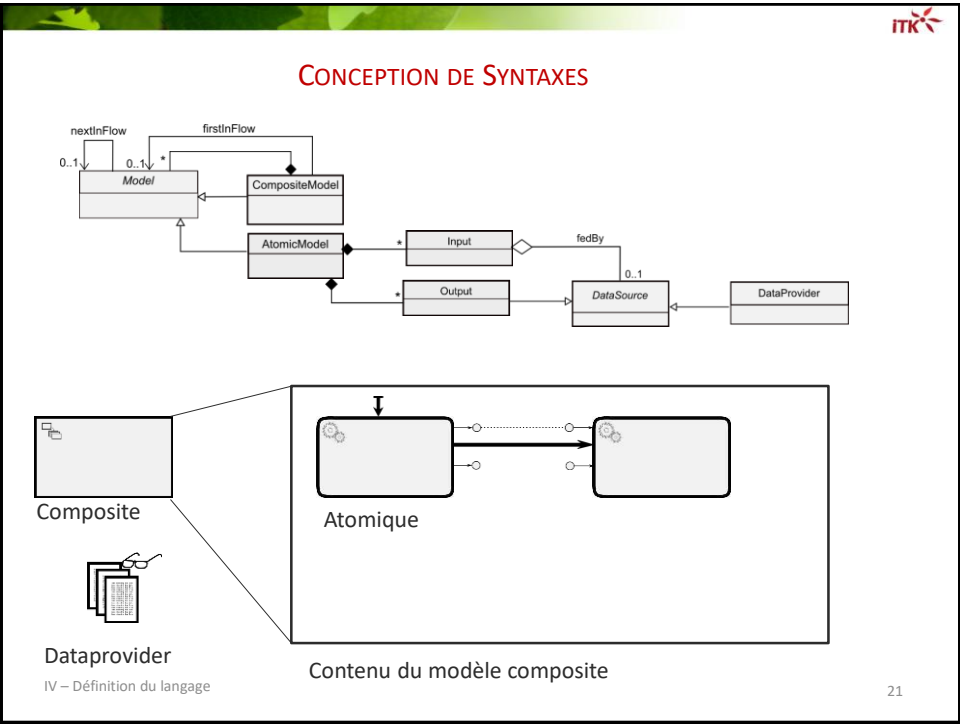
ITK

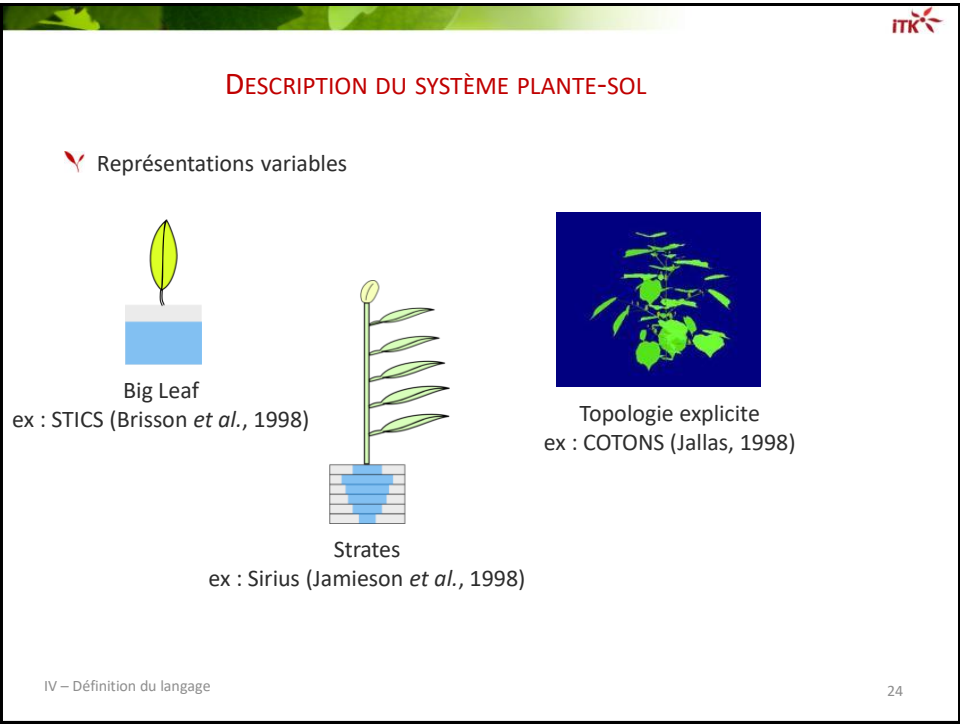
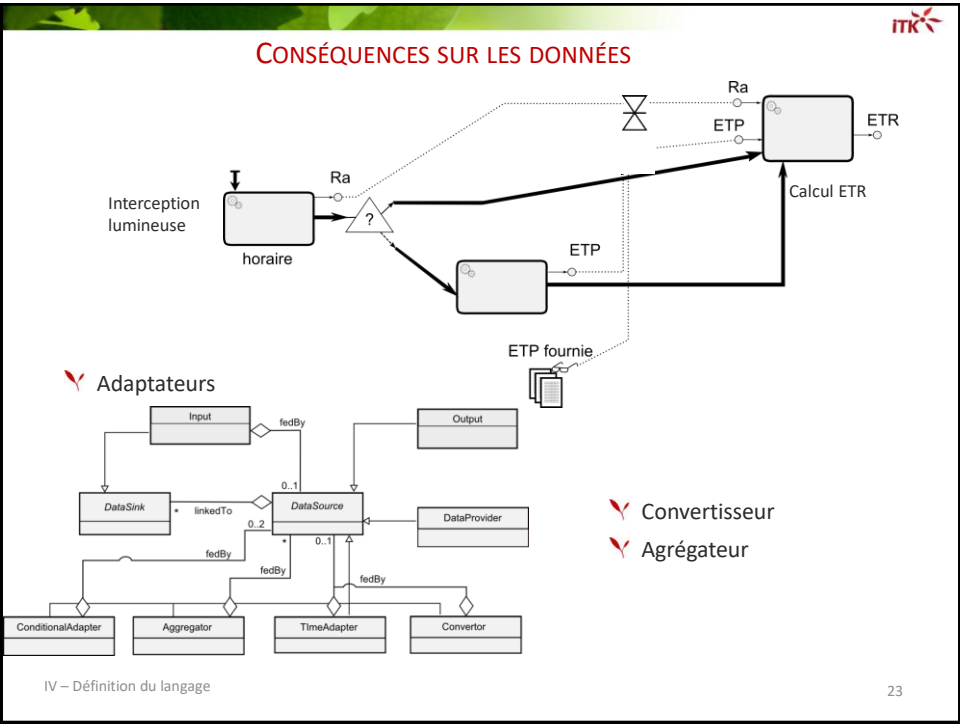
ELÉMENTS D'ANALYSE DU DOMAINE

- Simulation suivant un pas de temps journalier
- Différentes fonctions biophysiques représentées par des formalismes logiques et mathématiques
- Se transmettent des informations et/ou utilisent de données agro-environnementales
- Une grande fonction peut être subdivisée (modèles hiérarchiques)
- Exécution séquentielle

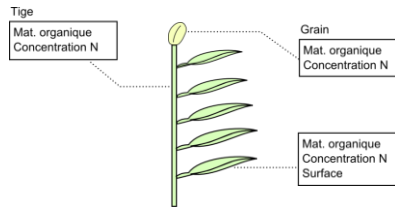
IV – Définition du langage

20

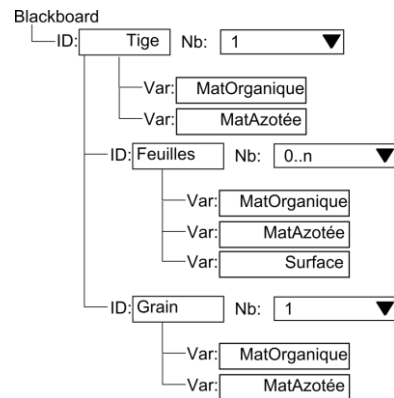




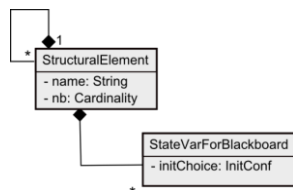
CAS PRATIQUE



Syntaxe concrète



Métamodèle

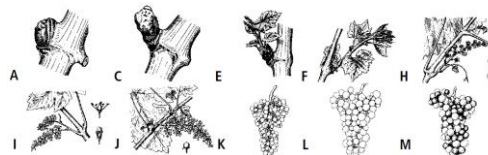


IV – Définition du langage

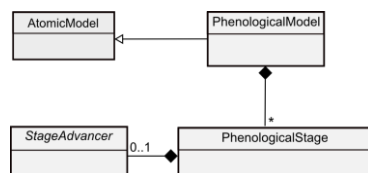
25

LA PHÉNOLOGIE

Différents stades de développement



Différents stades phénologiques de la vigne suivant l'échelle de Baggiolini (Baggiolini 1952)



Modèle phénologique

IV – Définition du langage

26



PLAN

- ✎ Processus de production de modèles pour les OAD d'ITK : une problématique
- ✎ Etat de l'art
- ✎ Ingénierie dirigée par les modèles : lien avec la proposition
- ✎ Définition du langage
- ✎ Prototypage de la fabrique et mise en œuvre
- ✎ Conclusion et perspectives

27



OBTENTION DU PROTOTYPE

- ✎ Stage 2^{ème} année ISIMA Jérémie Flusin (5 mois , été 2012)
- ✎ Environnement Eclipse
- ✎ Exploitation des plugins : EMF / GMF / EuGENia / Acceleo

EMF / Ecore	Syntaxe Abstraite
GMF / EuGENia	Syntaxe Concrète + Mapping C -> A
Acceleo / Framework	Sémantique + Mapping A -> S

V – Prototypage de la fabrique et mise en œuvre

28

ITK

MISE EN ŒUVRE

dispeausim.c3m_simulator_diagram

dispeausim.c3m_simulator_diagram#1

dispeausim_blackboard.c3m

MainModel

VinePlot

dpWindVelocity

rhMean

dpetpDailyRg

HourlyGlobalRadiation

Rain

Temperature

dpTopping

dplrrigation

ETP

dpTrimming

V – Prototypage de la fabrique et mise en œuvre

29

ITK

MISE EN ŒUVRE (2)

dispeausim.c3m_simulator_diagram

dispeausim_blackboard.c3m

dispeausim.c3m_simulator_diagram#1

SunCoordinates

azimut

height

intercept_GlobalRadiation

Interception

absorbedRaAdapt

Ra

ETRforSoil

Irrigation

RainforSoil

VarBrissonFeddes

Palette

Models

CompositeModel

AtomicModel

PreTreatmentModel

PhenologicalModel

AlternateSequenceModel

NextInFlow

AlternateInFlow

Data

Input

Output

LinkedTo

Sources

Aggregator

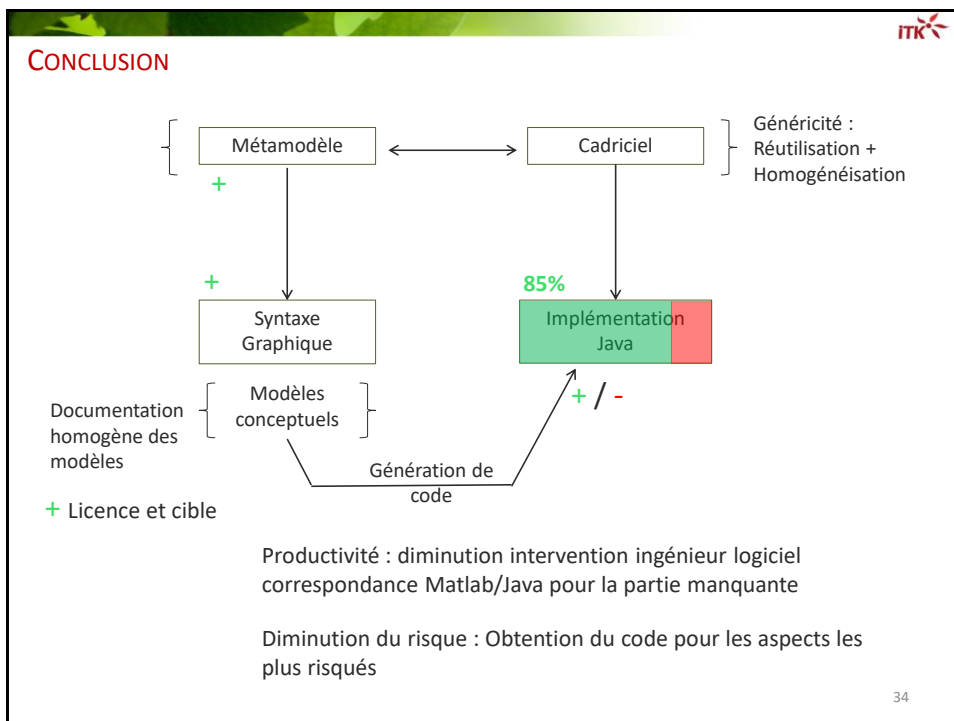
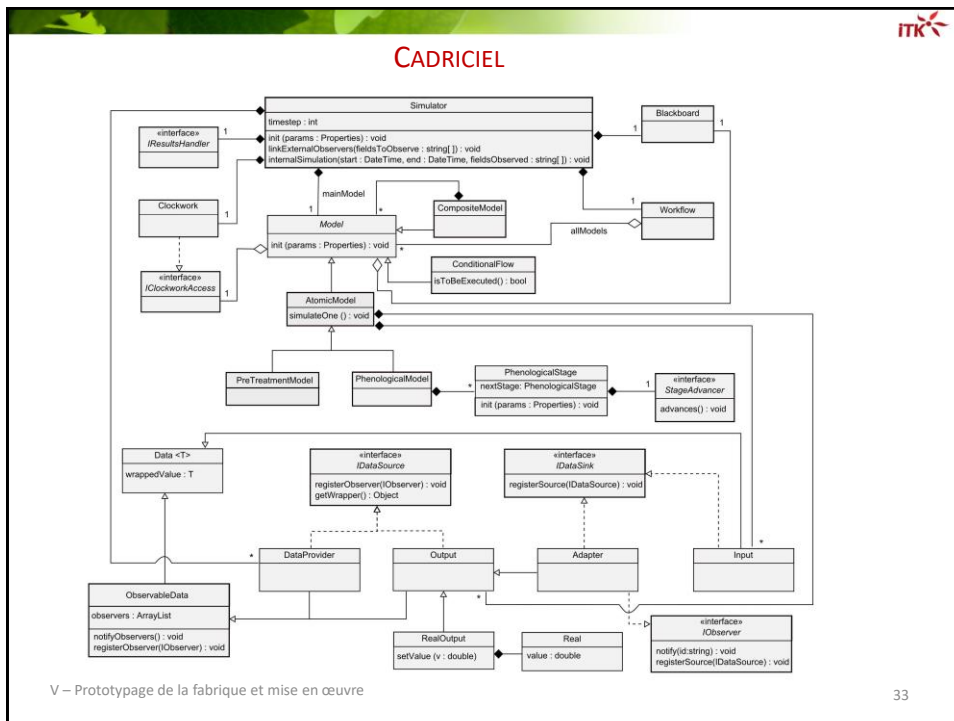
Converter

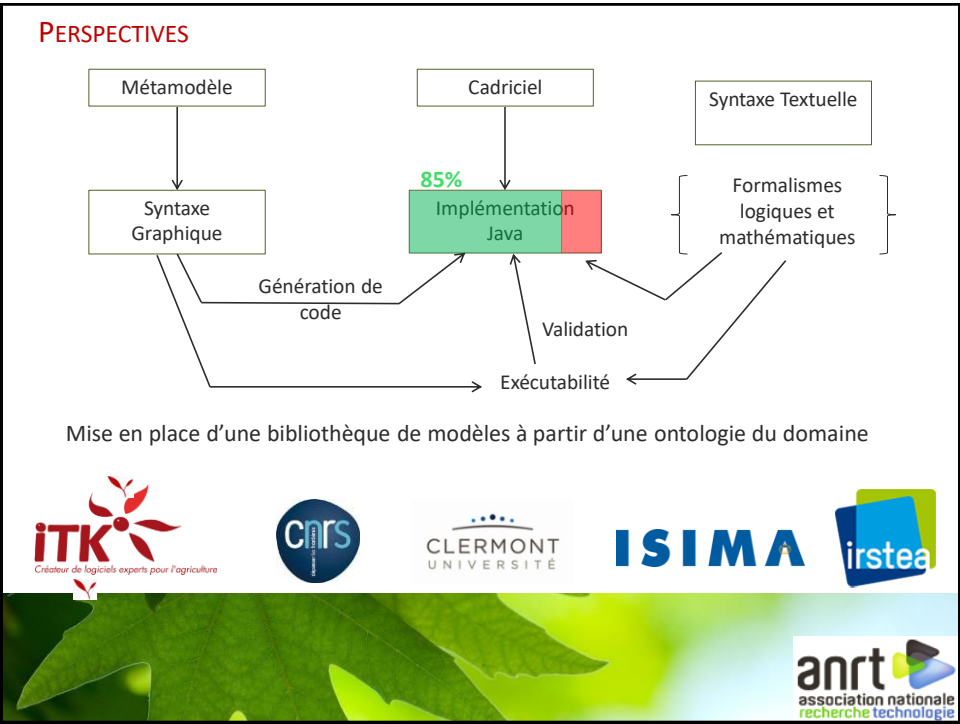
ConditionalAdapter

TemporalAdapter

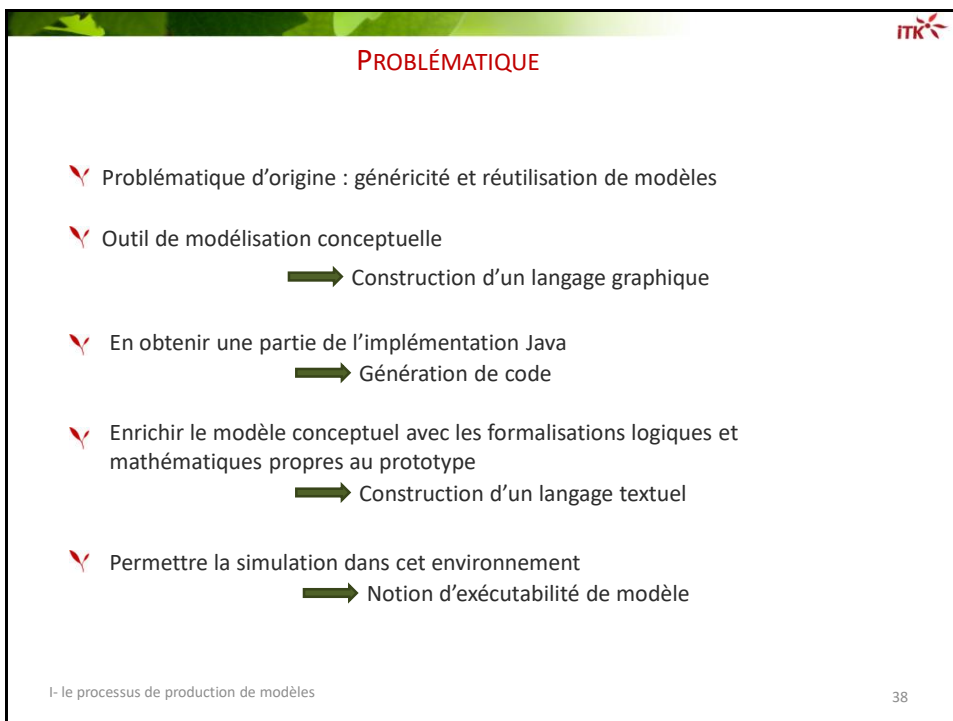
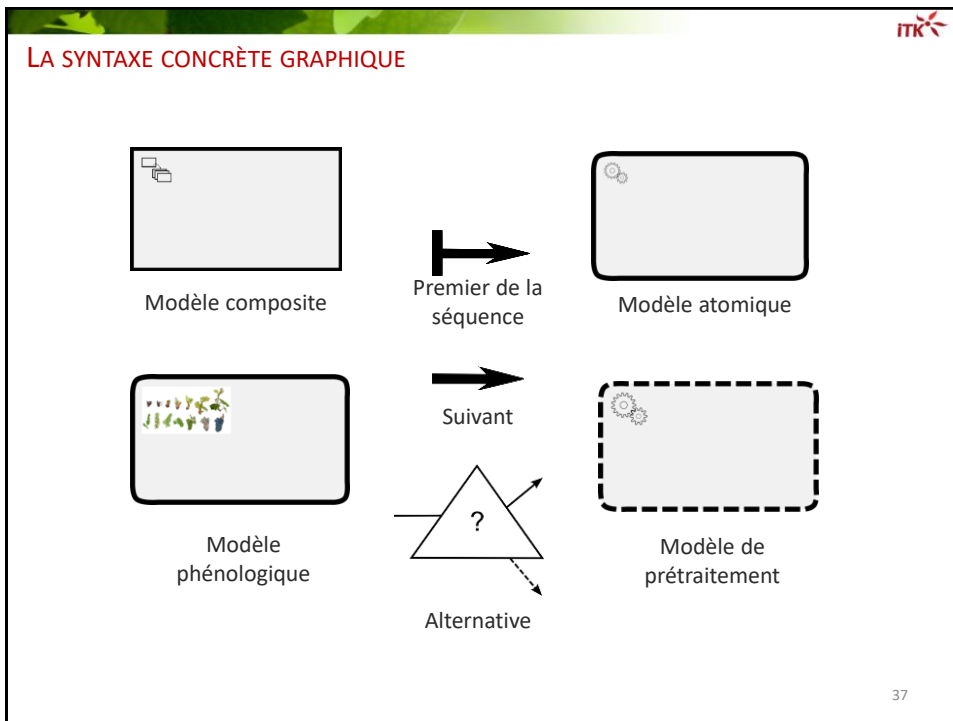
V – Prototypage de la fabrique et mise en œuvre

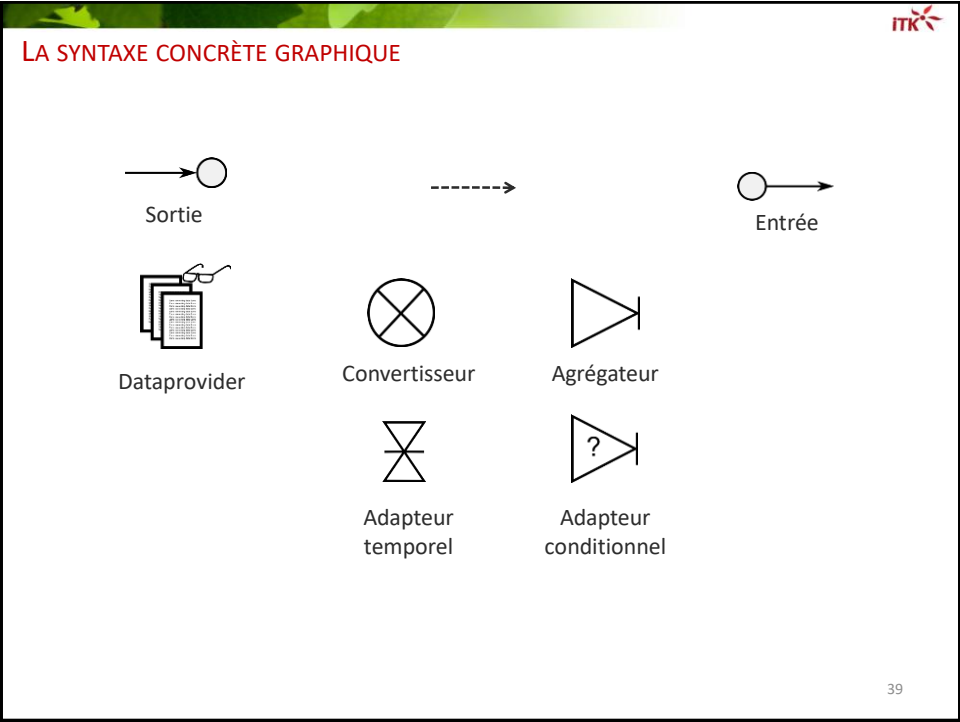
30





Mots-clés	Signification
blackboard	Accès direct au blackboard des accesseurs permettent de parcourir les éléments structurels, les variables d'état sont accessibles en lecture/écriture
clock	Accès à différentes représentations du temps au cours de la simulation et à des fonctions de comparaison de dates
currentStage	Accès au stade phénologique actuel
for (i:=a ; i<b) { ... }	Boucle itérative avec incrément de 1 sur la valeur i, a et b valeurs entières et a inférieur ou égal b. A priori la spécification d'une autre valeur pour l'incrément n'est pas nécessaire. Autre notation possible <i>for (i:= a, b)</i>
if (...) else endif	Opérateur conditionnel si / sinon
while (...) { }	Boucle while répétition tant que la condition exprimée est vraie
foreach (ChildElement _elem in Element)	Boucle permettant de parcourir une collection de sous-éléments du <i>blackboard</i>
int i, real r, bool b, string s	Déclaration de variables locales
=	Opérateur d'affectation
>, <, <=, >=, ==, !=	Opérateurs de comparaison
+, -, *, /, ^, exp	Opérateurs mathématiques : addition, soustraction, multiplication, division, puissance et exponentielle





ÉTAT DE L'ART

- Virtual Laboratory Environment ¹ (C++, peu adapté à nos modélisateurs)
- Record ² (comme VLE, accessibilité?, licence)
- OpenAlea ³ (Python, tout visuel, partage de connaissance, licence)
- Outils étrangers (Ptolemy, Kepler, Atom3, Apsim + modcom)

1-Quesnel, G., et al., (2009). "The Virtual Laboratory Environment - An operational framework for multi-modelling, simulation and analysis of complex dynamical systems." *Simulation Modelling Practice and Theory*, **17**(4): 641-653.

2- Bergez, et al., (2012). "An Open Platform to Build, Evaluate and Simulate Integrated Models of Farming and Agro-Ecosystems." *Environmental Modelling & Software*, doi:10.1016/j.envsoft.2012.03.011.

3- Pradal, C., et al., (2008). "OpenAlea: A visual programming and component-based software for plant modeling." *Functional Plant Biology*, **35**(9 & 10): 751-760.

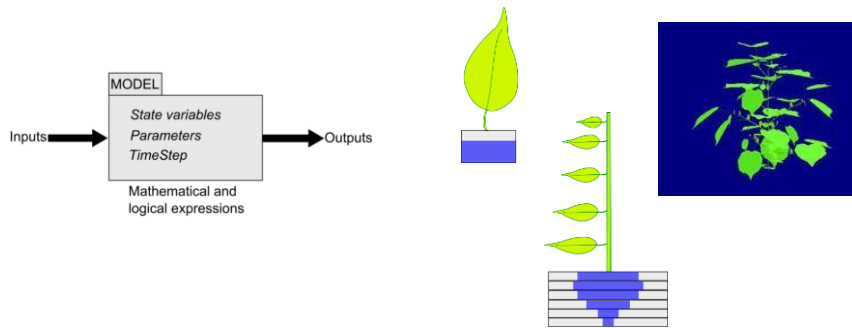
II- Etat de l'art

40

ANALYSE DU DOMAINE MODÈLES AGRONOMIQUES



Représentations variables : processus et systèmes plante-sol



41

ANALYSE MODÈLES AGRONOMIQUES



- ❖ Séquentiels (pas de temps apparent 1 journée)
- ❖ Pas de temps effectif variable
- ❖ Système métrique non standardisé
- ❖ Phénologie donné exemple pour ancrer la notion
- ❖ Reprendre un modèle conceptuel pour faire apparaître données / séquence, marquer l'absence de la représentation du système plante pourtant fondamentale dans la structure du modèle

42

DISCUSSION



- ✎ Travail visant à améliorer le processus de production chez ITK
 - Outil formel pour la modélisation conceptuelle
 - Outil permettant la documentation du modèle grande culture
 - Génération de 85% de l'implémentation Java
- ✎ Manque un point central : la spécification du comportement par la mise en œuvre d'une syntaxe textuelle
- ✎ Amélioration de la productivité et diminution du risque
- ✎ A confirmer par la pratique

45

CONCLUSION



- ✎ Utilisateurs cibles : modélisateurs scientifiques
 - Orientation spécifique au domaine
 - Formalismes simples
 - Intérêt pour les écrans de synthèses
- ✎ Plateforme de production JEE
 - Eclipse
 - Fort potentiel IDM et génération
- ✎ Réutilisation
 - Décomposition
 - Sérialisation XMI
 - Adaptateurs
- ✎ Bon outil de conception / documentation
- ✎ Obtention du code pour les aspects les plus risqués (disjonction)
- ✎ Homogénéisation de la représentation et de l'implémentation des modèles d'ITK

46

PERSPECTIVES



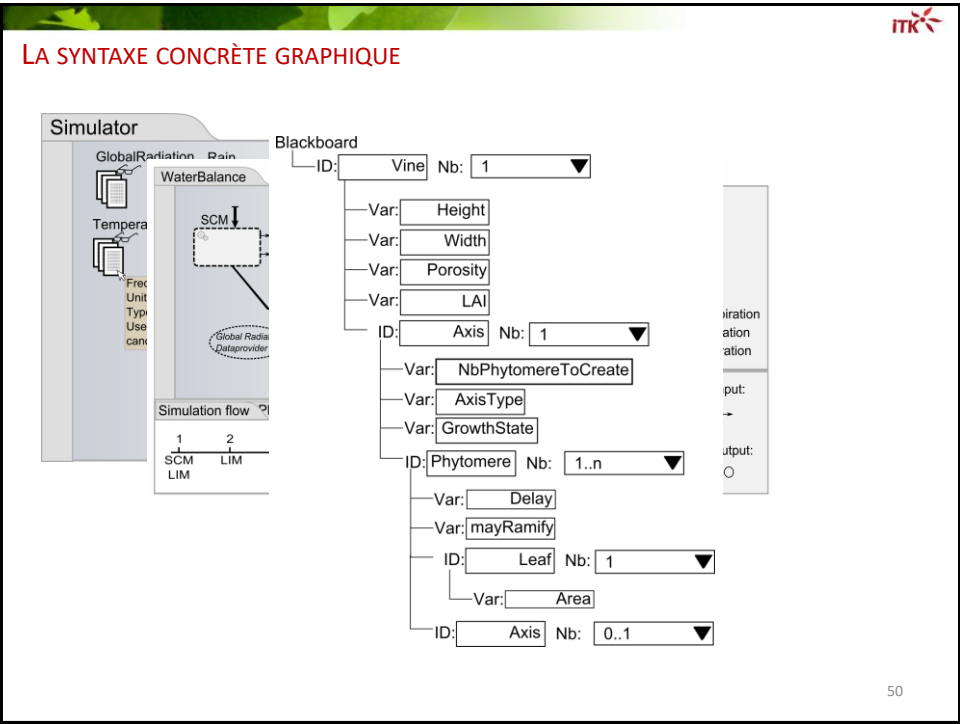
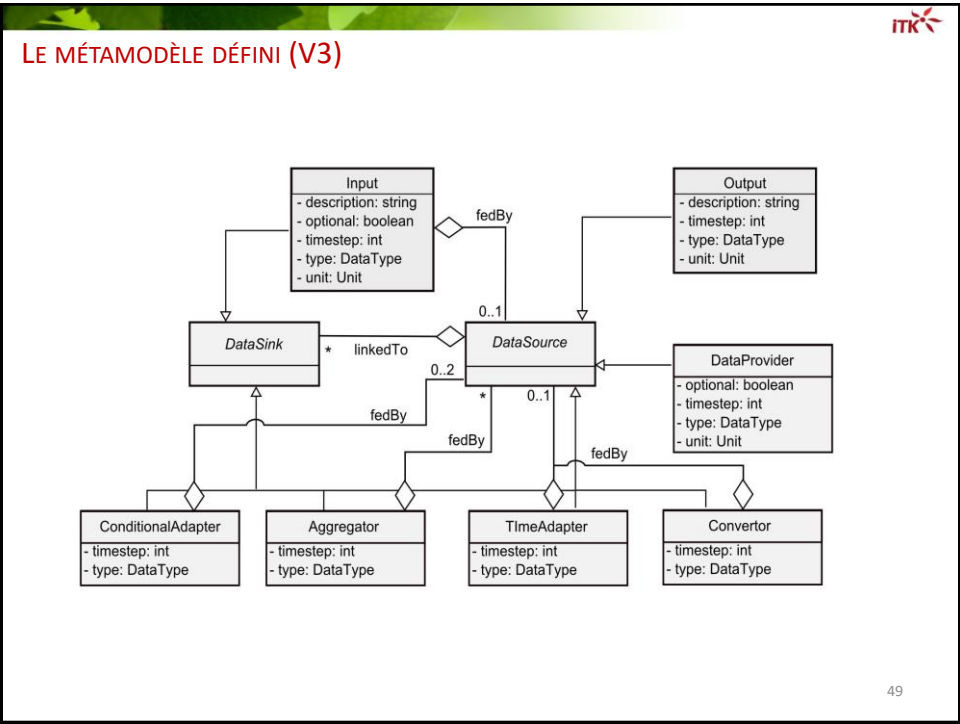
- ✧ Mise en place d'une syntaxe concrète textuelle
- ✧ Simulation dans la fabrique de modèles agronomiques
- ✧ Mise en place d'une bibliothèque de modèles à partir d'une ontologie du domaine
- ✧ Génération de tests de comparaison entre le modèle dans CMF et l'implémentation Java
- ✧ Branchement avec OpenMOLE et génération de plans d'expérience

47

ANNEXES



48



ITK

LA SYNTAXE CONCRÈTE GRAPHIQUE POUR LE BLACKBOARD

Blackboard

ID: Stem Nb: 0..1
1
1..n
0..n

ID: Phytomere Nb: 1..n

ID: Leaf Nb: 1

ID: Stem Nb: 0..1

Blackboard

ID: Vine Nb: 1

Var: Height

Type: Real

Initial value defined by: Parameters
onCreation
Defaulted

Default value: 0

Units: cm

51

