

# Approche modulaire pour la planification continue : *Application à la conduite des systèmes de culture*

Mahuna AKPLOGAN<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>INRA: unité de Mathématiques et Informatique Appliquées de Toulouse

<sup>2</sup>École Doctorale Mathématique Informatique Télécommunications de Toulouse



Soutenance de thèse  
15 Mai 2013

# De quoi parlons nous ?

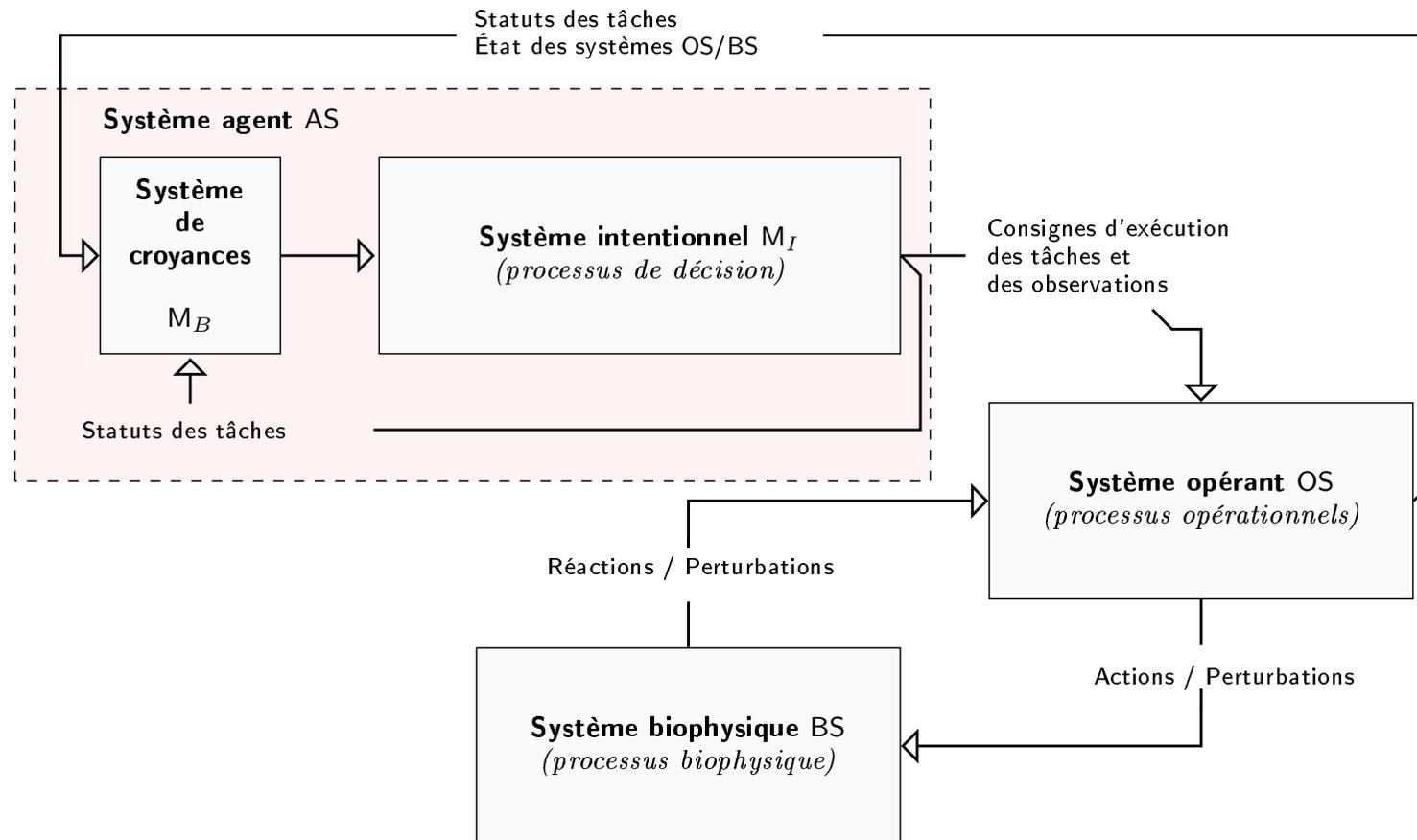
Gestion des systèmes de culture dans une exploitation agricole



**Des processus de décision à reproduire** : allocation des cultures, de ressources, ...

**Opérations agricoles à simuler** : semis, irrigation, récolte, ...

# De quoi parlons nous ?



- ▷ Reproduire la dynamique d'interaction entre des entités agronomiques autonomes, hétérogènes comprenant un agent.
- ▷ Reproduire la construction et l'exécution du plan d'action d'un agriculteur.

# Les classes de problèmes de décision

3 Classes de décisions : **stratégiques** , **tactiques** et **opérationnelles**.

## Décisions stratégiques

Organisation spatiale (**assolement**) et temporelle (**rotation**) des cultures à l'échelle de l'**exploitation** : allocation de cultures aux parcelles sous *contraintes agronomiques* et en fonction des *objectifs* de l'agriculteur (DÉCISION PLURIANNUELLE).

## Décisions tactiques

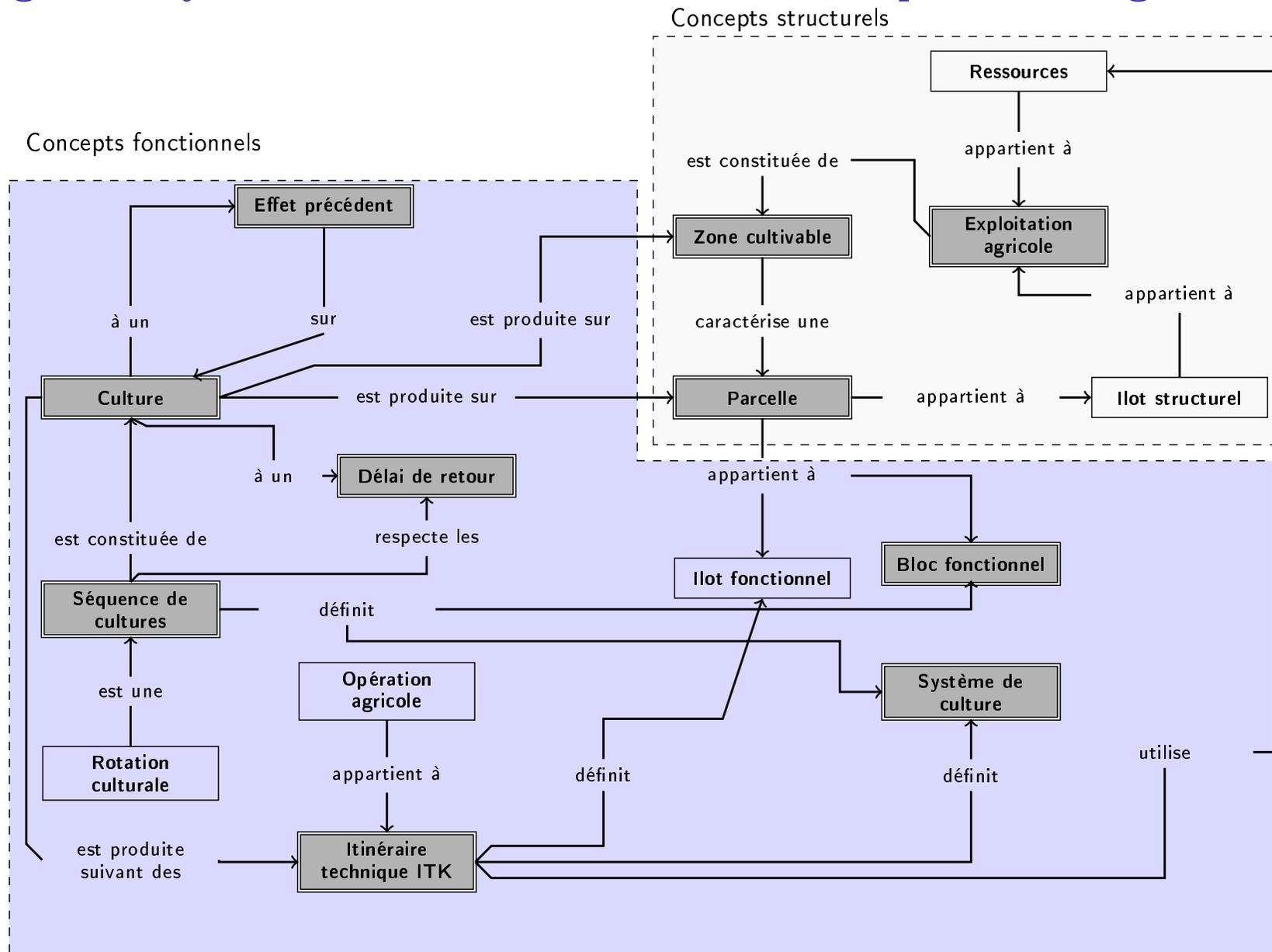
Choix du mode de conduite des cultures (**ITK**) à l'échelle du **système de culture** : assignation d'un plan tactique à chacune des parcelles en fonction des *objectifs* de l'agriculteur (DÉCISION ANNUELLE).

## Décisions opérationnelles

Organisation spatiale et temporelle du travail (**organisation du travail**) à l'échelle de l'**exploitation** : allocation de ressources aux opérations agricoles à mettre en œuvre (DÉCISION JOURNALIÈRE, HEBDOMADAIRE)

# Description d'une exploitation agricole

## Ontologie des systèmes de culture au sein d'une exploitation agricole



# Questions

Peut on réaliser un système capable de simuler un agriculteur dans ses décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles ?

## Deux questions sous-jacentes

- ▷ Comment planifier les décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles en fonction des connaissances de l'agriculteur
- ▷ Comment reproduire la dynamique d'interaction entre ces trois niveaux de décision ?

## Quel cadre pour répondre à ces questions ?

**Discrete Event System Specification - DEVS** - [zeigler00] : cadre événementiel de modélisation et simulation de systèmes distribués et hiérarchiques.

# Sommaire

- 1 Etat de l'art
- 2 Architecture Safihr
- 3 Résolution des problèmes de décision en agronomie
- 4 Interprétation par simulation de plan temporel
- 5 Conclusion générale

# Décision en agronomie

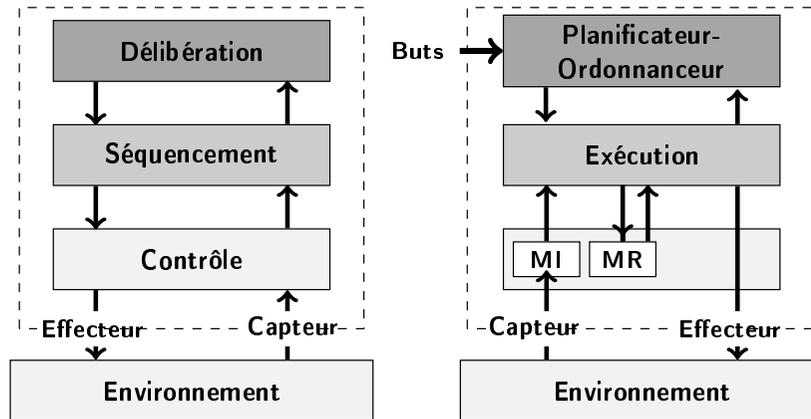
## Des travaux en agronomie sur les niveaux de décision

- ▷ stratégique : prise en compte de l'aspect temporel (**Rotat** [Dogliotti2003], **Rotor** [Bachinger2007]) ou spatial [[McCarl1977, Itoh2003, Sarker2009]]
- ▷ tactique : travaux existants sont basés sur les règles de décision (**Otelo** [Attonaty1993], **Moderato** [Bergez2001], **Decible** [Chatelin2005]), ou l'exécution de plans flexibles (**Diese** [MartinClouaire08]).
- ▷ opérationnel : allocation réactive (**Otelo** [Attonaty1993], **Diese** [MartinClouaire08])

- ▷ Des travaux éparses sur chacun des niveaux de décision.
- ▷ Aucune plateforme pour le couplage les différents niveaux décision.
- ▷ Peu de recours à la diversité des travaux en IA.

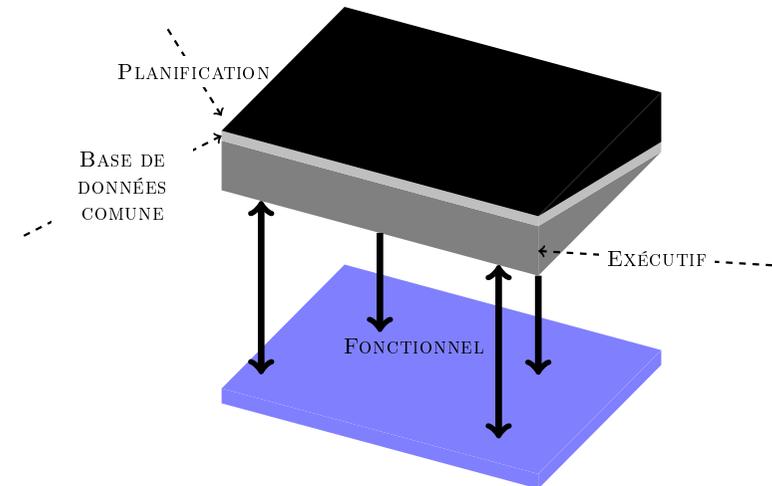
# Architectures robotiques

Deux classes d'architectures robotiques pour le contrôle des systèmes complexes autonomes



(a) ATLANTIS

(b) Remote agent



## 3T [Gat1992, Muscettola1998]

- ▷ différentes représentations par couche
- ▷ difficile à utiliser si la frontière entre la planification et l'exécution est très réduite

## CLARAty [Volpe2000]

- ▷ 2 niveaux et une représentation commune au niveau décisionnel,
- ▷ adapter à l'entrelacement entre planif et l'exécution.

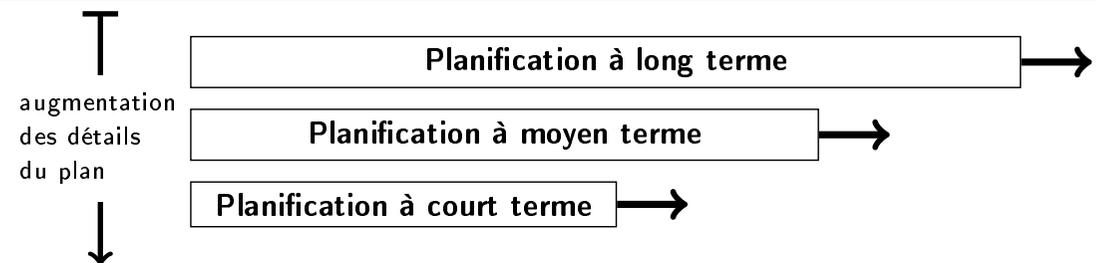
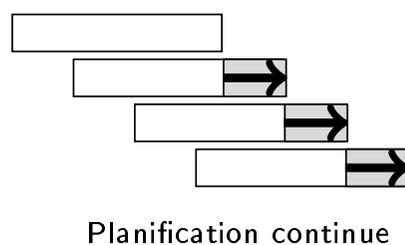
# Planification et exécution (1)

## Planification continue

- ▷ Entrelacer les phases de planification et d'exécution.
- ▷ **Exemple** : système **CLEaR** [Estlin2001] qui combine le planificateur **Casper**<sup>a</sup> [Chien2000] à l'exécutif procédural **TDL**<sup>b</sup> [Simmons1998]

a. Continuous Activity Scheduling, Planning, Execution and Re-planning

b. Task Description Language



## Hiérarchisation de l'horizon de planification [Chien2000]

- ▷ S'inspirer des travaux en planification continue pour entrelacer les décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles.

# Planification et exécution (2)

## Décision distribuée

- ▷ **IDEA** [Dias03] :<sup>a</sup> approche basée sur la structuration d'un grand nombre de systèmes de contrôle sous la forme d'une collection d'agent en interaction.
  - Coopération de planificateurs fonctionnant sur des horizons différents
  - Des planificateurs vus comme des systèmes de contrôle indépendants.
- ▷ *S'inspirer de IDEA pour faire coopérer des planificateurs spécifiques.*

---

a. Intelligent Distributed Execution Architecture

## Exécution basé sur des modèles

- ▷ **RMPL** [Kim2001] :<sup>a</sup> un exécutif réactif basé sur des modèles d'actions et de contraintes.
  - Prise en compte des contraintes temporelles quantitatives et des contraintes symboliques durant l'exécution.
- ▷ *S'inspirer de RMPL pour proposer un exécutif temporelle en **DEVS**.*

---

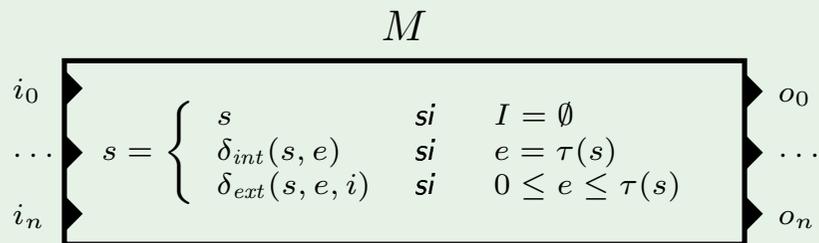
a. Reactive Model-based Programming Language

# Le formalisme DEVS

## DEVS, Discrete Event System Specification [zeigler00]

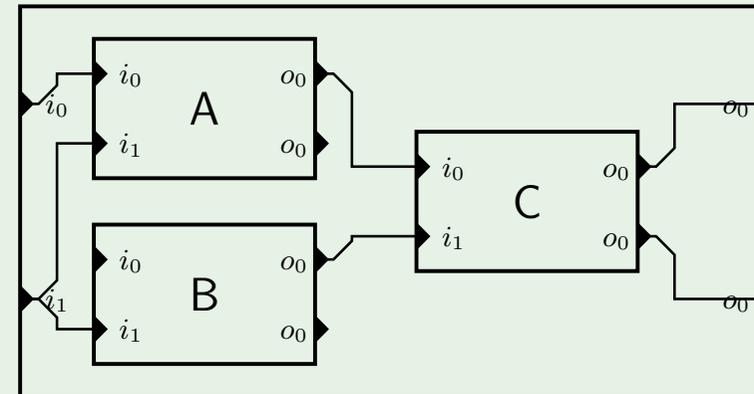
DEVS : formalisme abstrait de M&S basé sur le paradigme des **événements discrets**. Il propose un cadre formel pour le **couplage de modèles**.

### Modèle atomique



Structure composée de **variables** ( $I, O, S$ ) et de **fonctions** (transitions interne  $\delta_{int}(s, e)$  et externe  $\delta_{ext}(s, e, i)$ , avancement de temps  $\tau(s)$ , sortie  $\lambda(s)$ ).

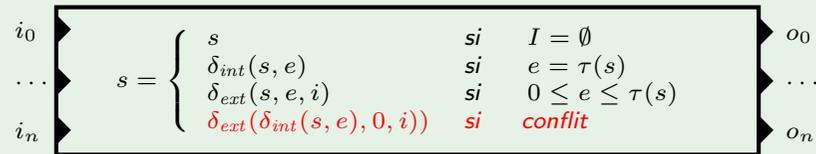
### Modèle couplé



Structure composée de **variables** ( $I, O, N, \{M_n\}, \{\zeta_n\}$ ) et de **fonctions** (transfert  $Z_{n,n'}$  et sélection select) représentant un **graphe statique** et **hiérarchique** de modèles atomiques ou couplés.

# Les extensions DEVS

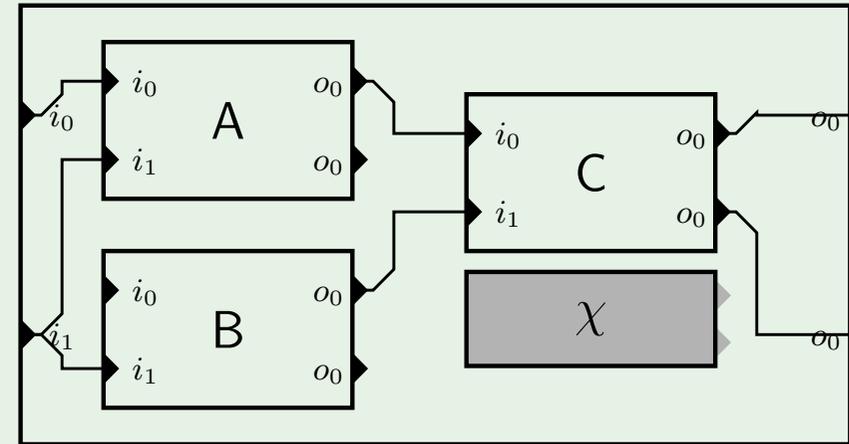
## PDEVs [Chow1994]



PDEVs résout le problème de la fonction select.

- ▶ Ajout d'une **fonction de conflit**  $\delta_{con}$ , pour traiter les transitions interne et externe simultanées.
- ▶ Ajout des **bags d'événements** pour collecter des événements émis à la même date.

## DS-DEVS [Barros1995]



DS-DEVS résout le problème de graphe statique.

- ▶ Ajout d'un **exécutif**  $M_\chi$  pour changer dynamiquement la structure d'un modèle couplé.

## DSDE [Barros1998]

L'extension DSDE généralise les extensions PDEVs et DS-DEVS.

# Plan

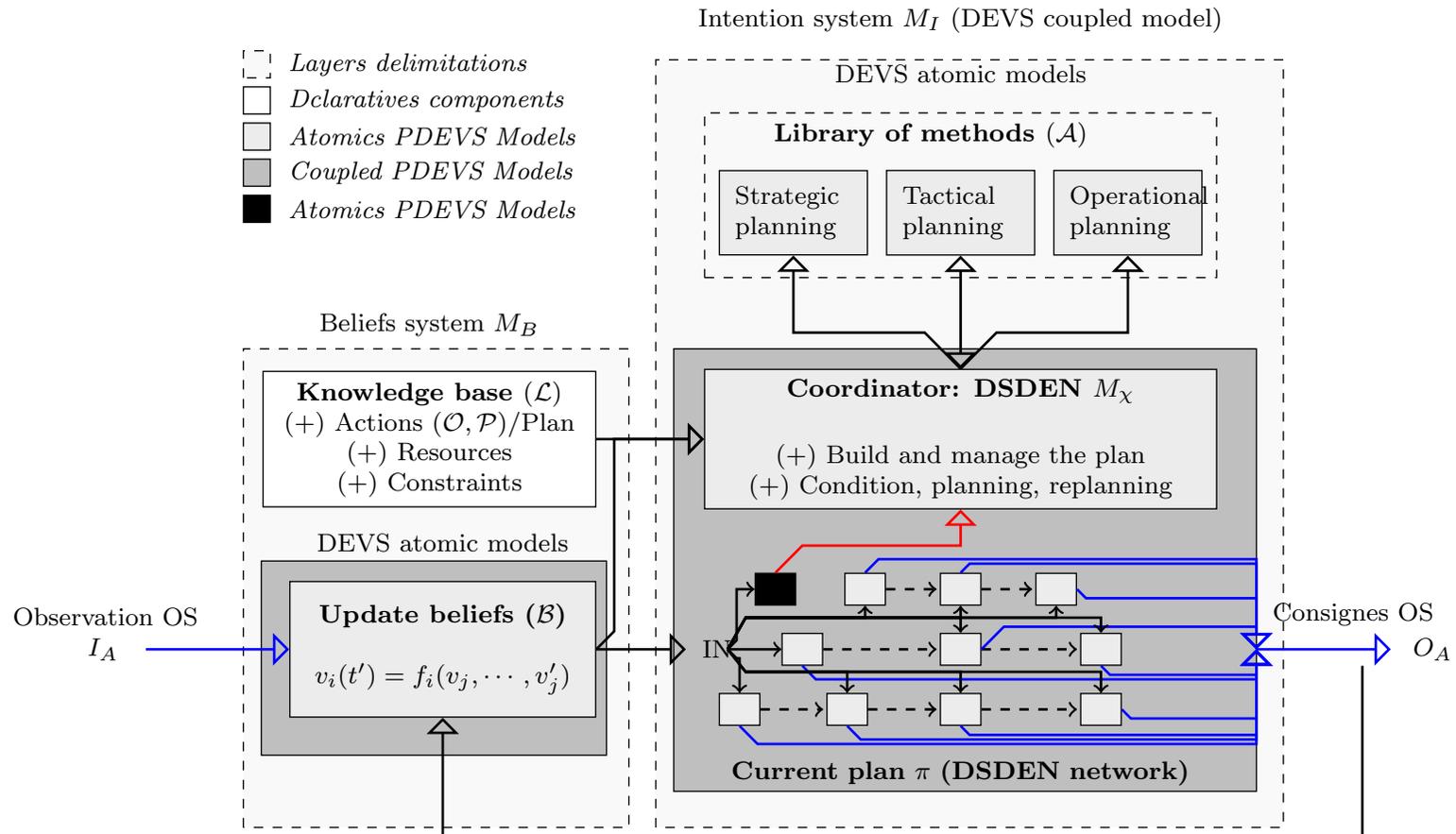
- 1 Etat de l'art
- 2 Architecture Safihr**
- 3 Résolution des problèmes de décision en agronomie
- 4 Interprétation par simulation de plan temporel
- 5 Conclusion générale

# Notre démarche

- ▷ Définir une architecture pour la simulation de la décision.
- ▷ Identifier et mettre en œuvre des méthodes de résolution pour chacun des problèmes de décision.
- ▷ Proposer des mécanismes basés sur DEVS pour l'exécution du plan d'action.
- ▷ Illustrer nos propositions sur une exploitation agricole virtuelle issue des recherches agronomiques de [Dury2011].

# Architecture Safihr

Simulation-based Architecture For Interleaving Heterogeneous decisions in Real world problems



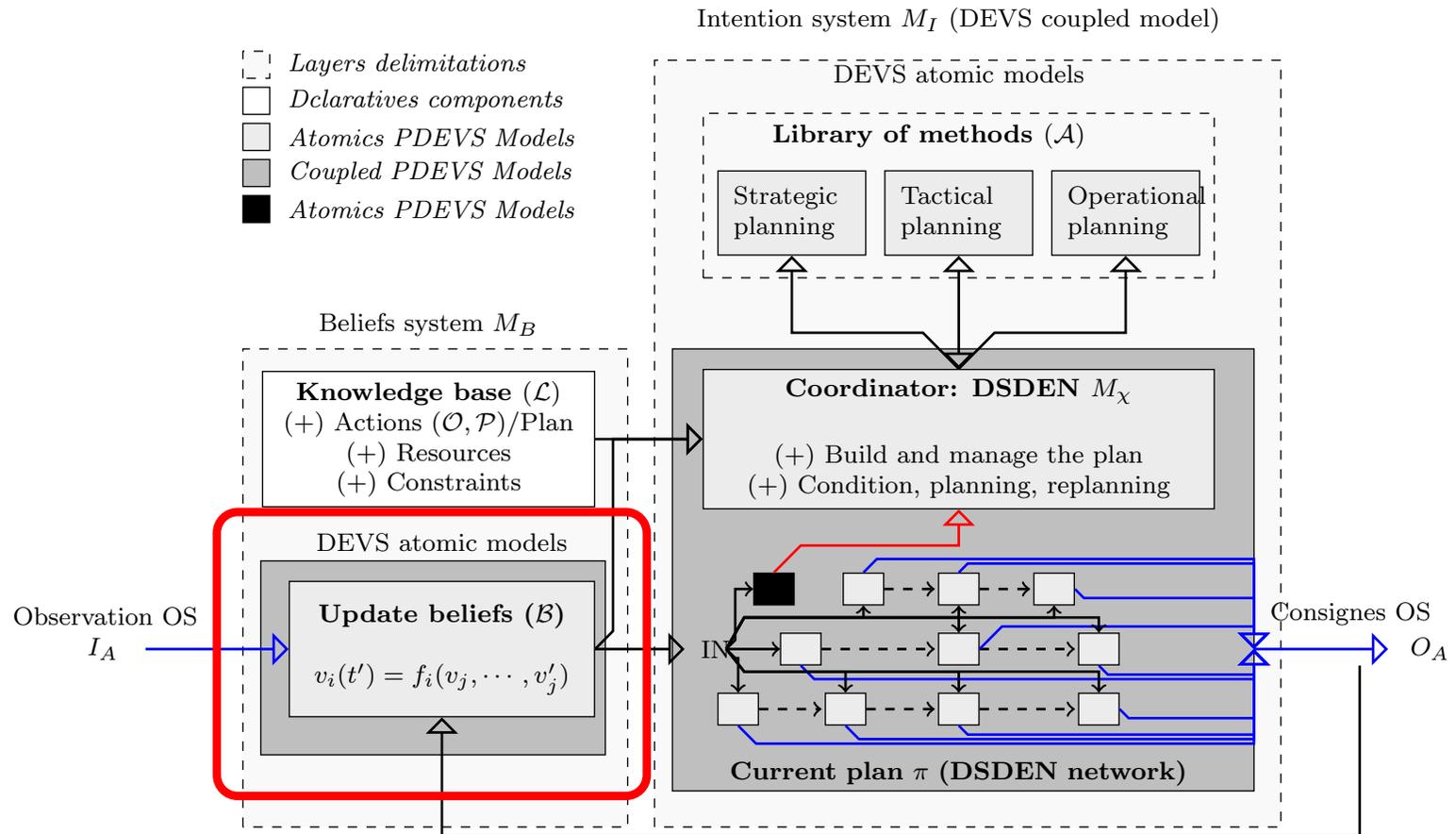
Architecture basée sur DSDE dans lequel l'agriculteur est vu comme un système dynamique, hiérarchique et distribué.

SAFIHR repose sur **4 processus** parallèles.

# Architecture Safihr

## Simulation-based Architecture For Interleaving Heterogeneous decisions in Real world problems

### Processus de détermination d'état

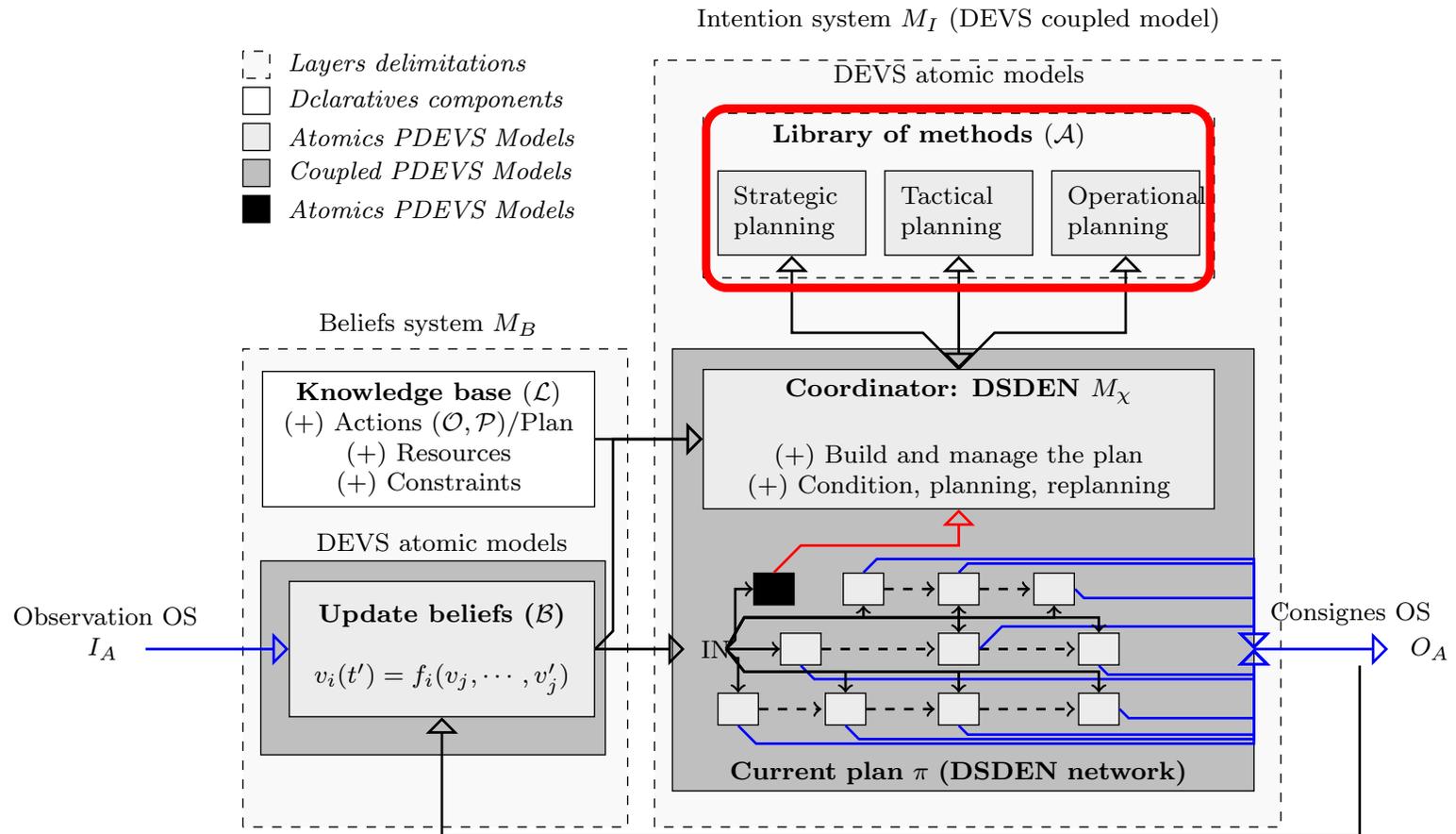


Chargé de la mise à jour des variables d'état, ce processus calcule et délivre des prédicats portant sur l'état du système.

# Architecture Safihr

## Simulation-based Architecture For Interleaving Heterogeneous decisions in Real world problems

### Processus de délibération

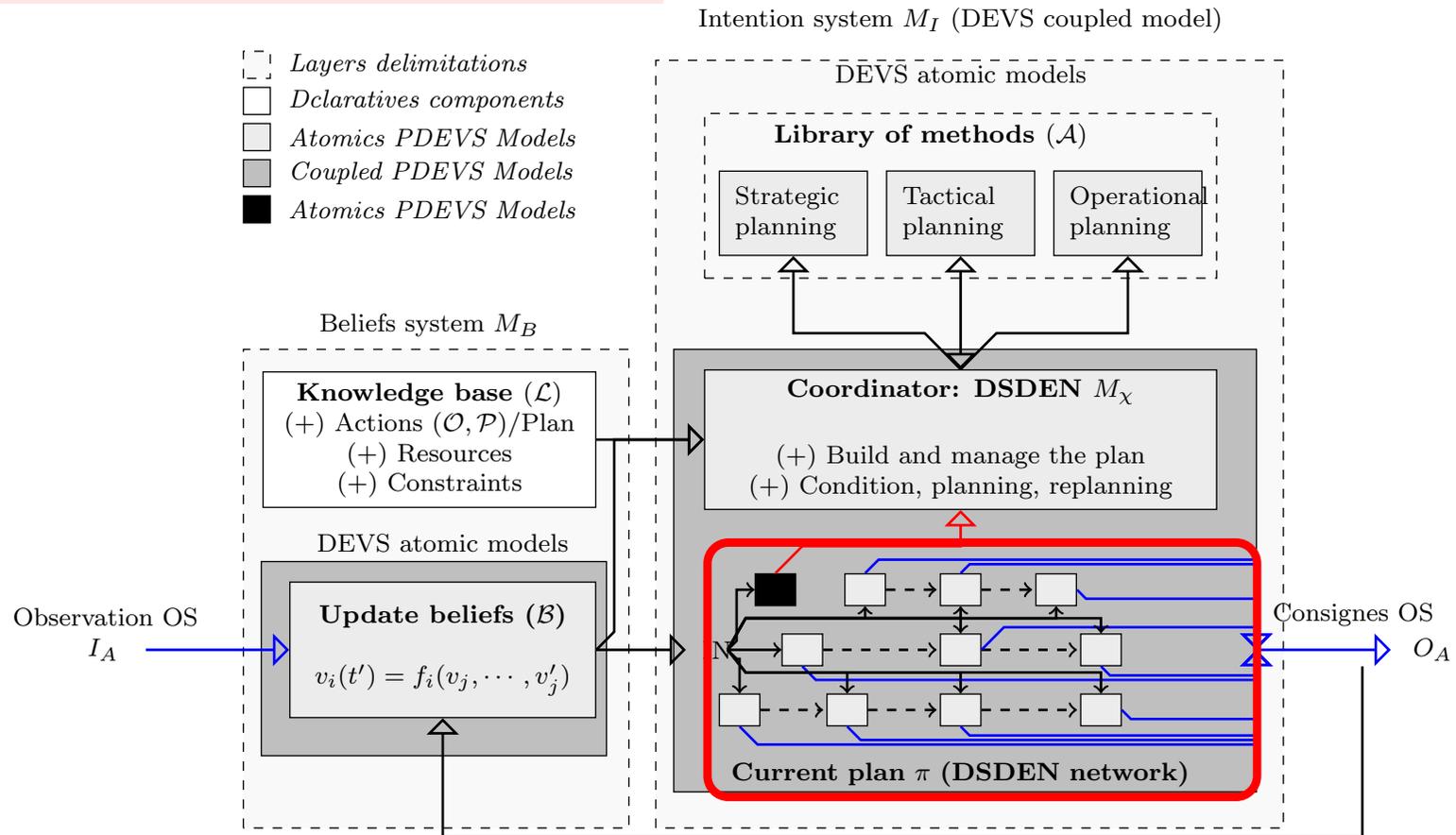


Constitué d'un ensemble de planificateurs spécifiques. Chaque processus de planification est géré par un modèle atomique PDEVS.

# Architecture Safihr

## Simulation-based Architecture For Interleaving Heterogeneous decisions in Real world problems

### Processus d'exécution de plan

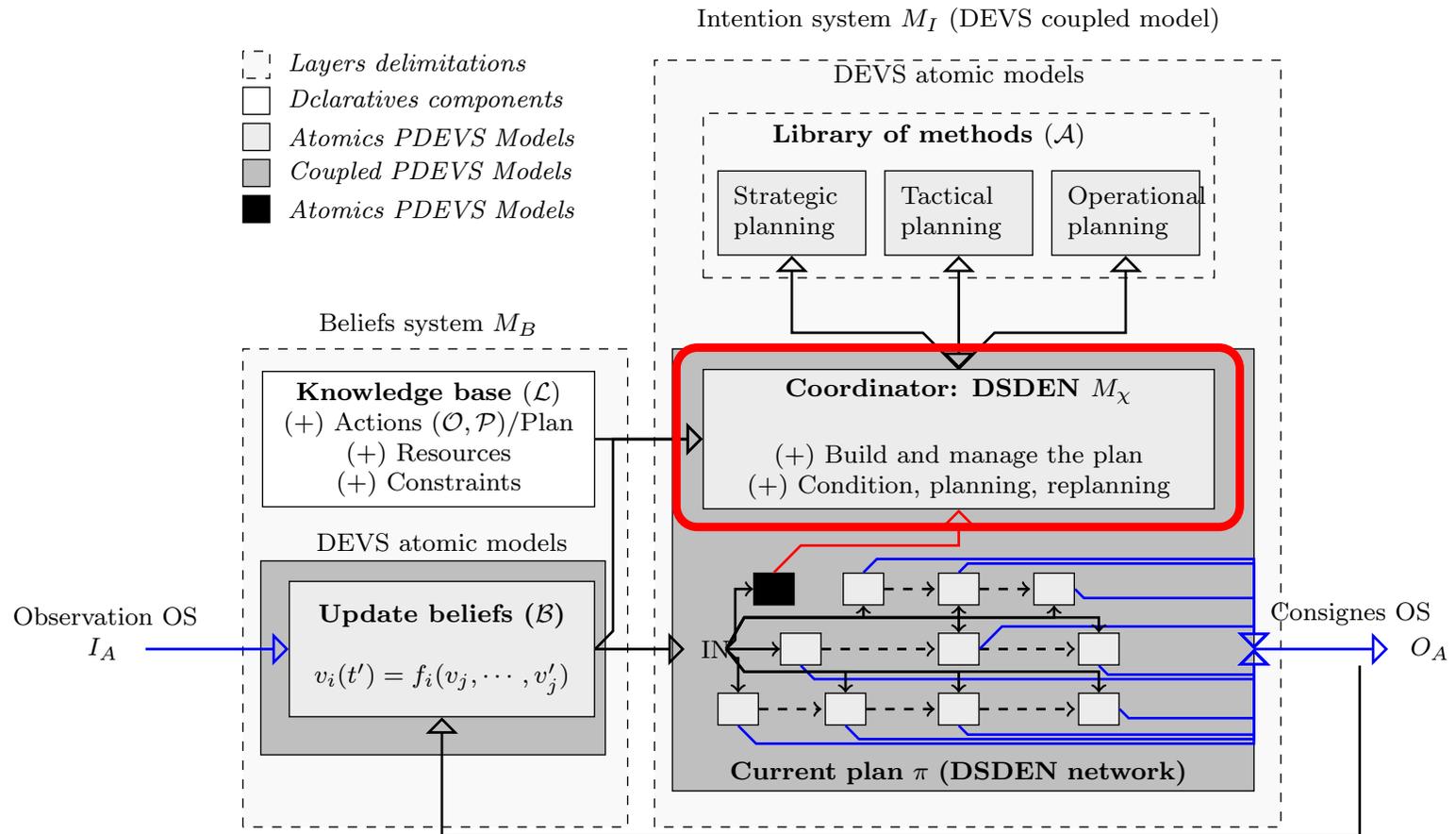


Chargé du contrôle d'exécution du plan courant, il est représenté par le réseau *DSDEN*. Les modèles atomiques du réseau déclenchent des processus de planification ou des processus opérationnels du système physique.

# Architecture Safihr

## Simulation-based Architecture For Interleaving Heterogeneous decisions in Real world problems

### Processus de coordination



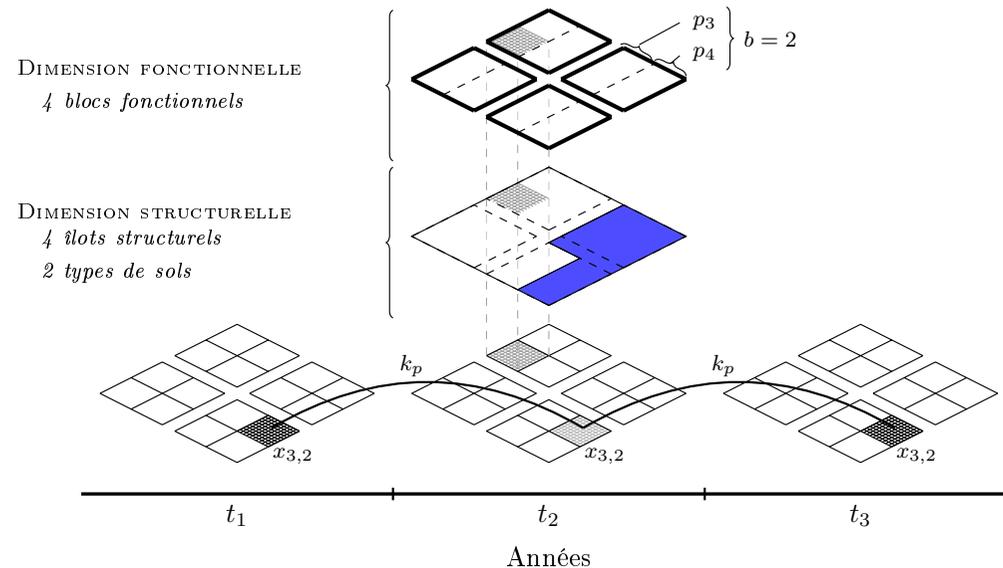
Gère la coordination entre les différents processus et détermine les processus de planification appropriés en fonction des objectifs à atteindre.

# Plan

- 1 Etat de l'art
- 2 Architecture Safihr
- 3 Résolution des problèmes de décision en agronomie**
- 4 Interprétation par simulation de plan temporel
- 5 Conclusion générale

# Planification stratégique

## Les concepts principaux pour l'allocation de culture



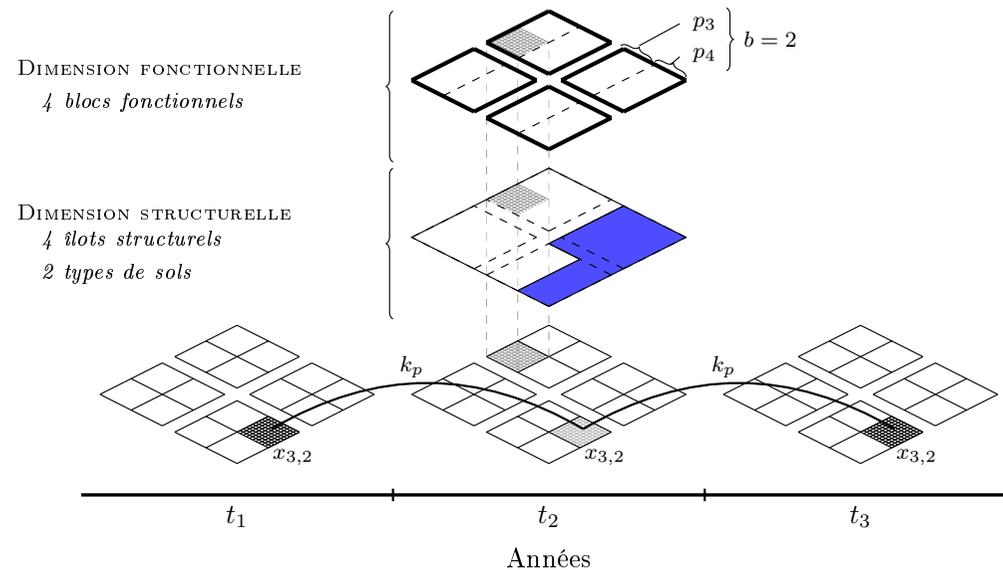
**Parcelle élémentaire (PE)** entité spatiale homogène, indivisible, ayant les mêmes historiques et les mêmes propriétés biophysiques.

**Bloc fonctionnel (BF)** ensemble de parcelles élémentaires qui définit un système de culture.

- Caractérise la *dimension structurelle* (ex. accès à l'eau).
- Séquence de culture et itinéraires techniques communs.
- Structure fixe durant tout l'horizon de planification.

# Planification stratégique

## Les concepts principaux pour l'allocation de culture



### Délai de retour $dr(a)$

Nombre d'années entre deux instances successives d'une culture sur une parcelle élémentaire.

	blé	orge	maïs	colza
$dr(a)$	2	3	2	3

### Effet précédent $k_p(a, b)$

Effet d'une culture sur la suivante.

	<i>culture précédente</i>			
	blé	orge	maïs	colza
blé	4	1	1	0
orge	2	<b>3</b>	1	<b>0</b>
maïs	0	0	3	0
colza	0	0	0	4

# Planification stratégique

Les classes de contraintes : exigence (dure), préférence (souple)

	catégorie	classes de contraintes	impact	type
espace	unité de gestion	zone cultivable	exploitation	dure
		topologie	ilots struc.	souple
		superficie par culture	exploitation	souple
		égalité entre landunit	parcelle	dure
	ressources	capacité de ressources	exploitation	dure
temps	agronomique	délai de retour/itération	exploitation	dure
		rotation de cultures	bloc fct.	dure
		historique	exploitation	dure
		effet précédent	bloc fct.	souple
	unité de gestion	collection de cultures par bloc	bloc fct.	dure
		superficie par culture	exploitation	souple

# Planification stratégique : approche WCSP

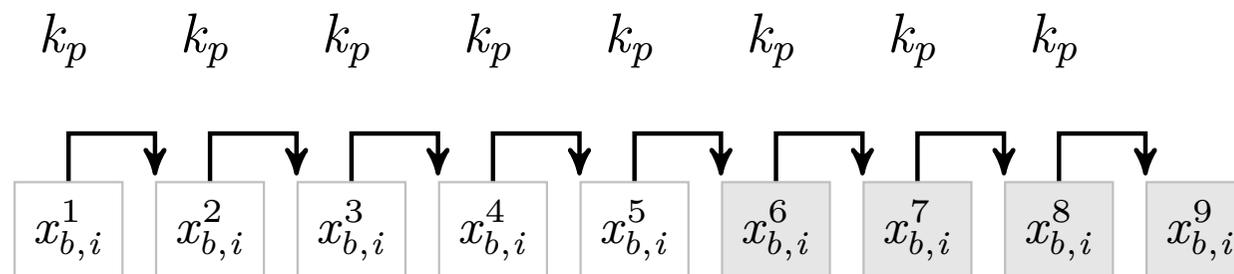
## Définition du problème d'allocation de culture dans le cadre WCSP

**Le formalisme** → un WCSP est défini par un triplet  $\langle \mathcal{X}, \mathcal{D}, \mathcal{W} \rangle$ .

**Problème d'optimisation** → trouver une affectation complète  $a \in l(\mathcal{X})$  qui minimise  $\sum_{w_{s_i} \in \mathcal{W}} w_{s_i}(a[s_i])$

**Solveur TOULBAR2** → permet de définir des fonctions de coûts tabulaires, globales. Algorithme complet de type DFBB.

$\mathcal{X}$  les variables  $x_{b,i}^t$  définissent l'occupation de la parcelle élémentaire  $i$  du bloc  $b$  à la date  $t$  ( $t \in [1, \mathcal{H}]$ ).



$\mathcal{D}$  le domaine  $d_{b,i}$  de variables  $x_{b,i}^t$  correspond à l'ensemble des cultures possibles.

$\mathcal{W}$  Différentes classes de fonctions de coûts.

# Planification stratégique : approche WCSP

## Quelques fonctions de coûts

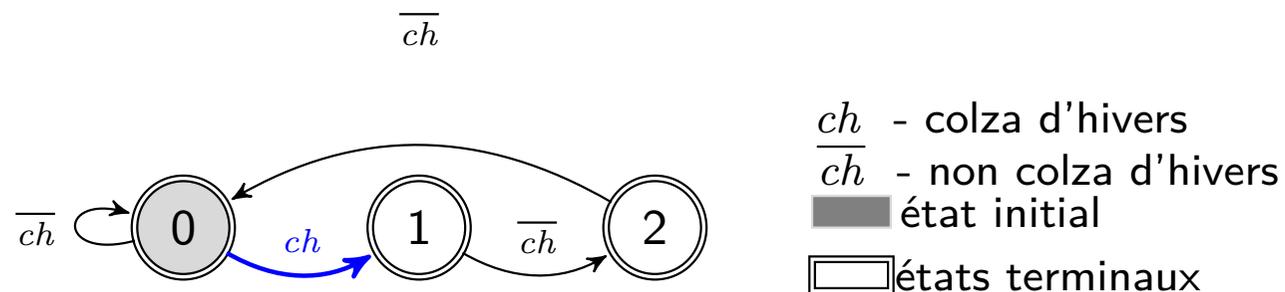
**Zone cultivable** ( $w_{x_{b,i}^t}^{scc}$ ) : fonctions de coûts unaires qui associent un coût

$\infty$  si la culture est interdite sur la PE  $x_{b,i}^t$  et  $0$  sinon.

**Topologie** ( $w_s^{top}$ ) : fonctions de coûts n-aires qui associent un coût  $\delta_1$  si l'un des voisins de la PE  $x_{b,i}^t$  à une culture différente de celle de  $x_{b,i}^t$

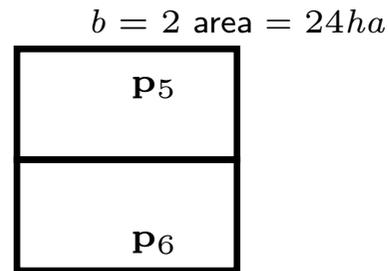
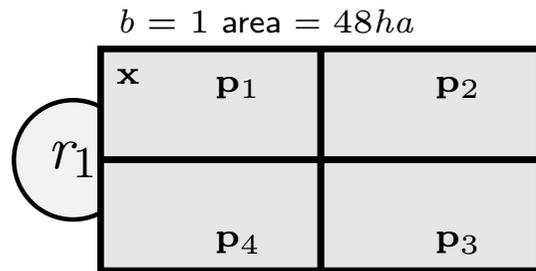
**Capacité de ressources** ( $w_{s_b^t}^{rsc}$ ) : fonctions de coûts globales GCC d'arité  $n$  (cardinalité par valeur). le nombre de PE  $x_{b,i}^t$  affecté à la culture  $a$  est compris entre  $[lb(a), ub(a)]$ . toute déviation est pénalisée par un coût  $\infty$

**Délai de retour** ( $w_{s_b,i}^{tsc}$ ) : fonctions de coûts globales REGULAR d'arité  $\langle$ . chaque REGULAR est associé à un automate qui définit un langage correspondant au délai de retour  $rt(a)$ . ex :  $rt(ch) = 3$ .

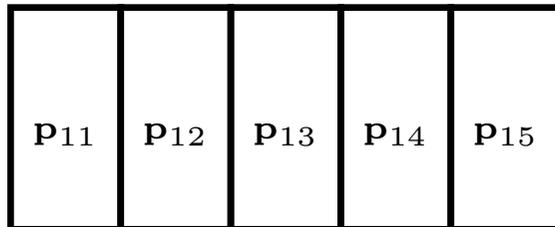


# Planification stratégique : approche WCSP

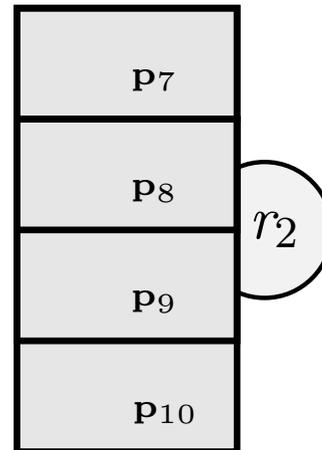
## Expérimentation



$b = 4$  area = 60ha



$b = 3$  area = 48ha



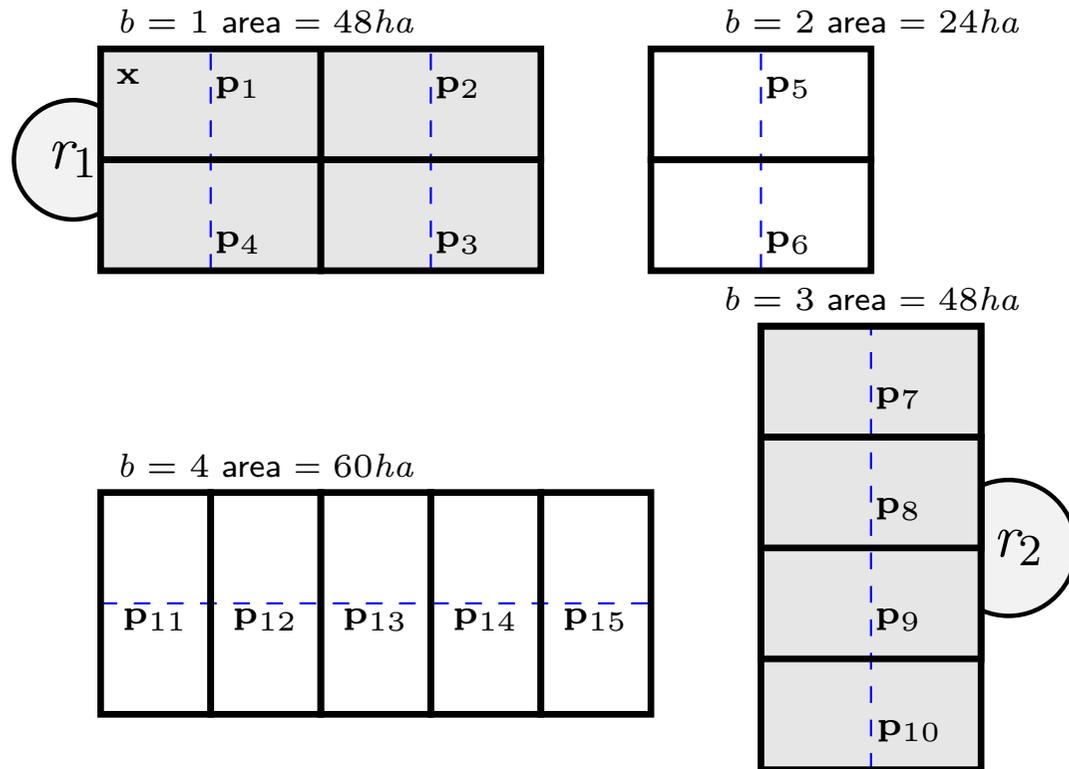
	t1	t2	t3	t4	t5
p1	ma	ma	bh	op	ma
p2	op	ma	ma	bh	op
p3	bh	op	ma	ma	bh
p4	ma	bh	op	ma	ma
p5	bh	op	bh	ch	bh
p6	op	bh	ch	bh	op
p7	ma	ma	ma	ma	ma
p8	ma	ma	ma	ma	ma
p9	ma	ma	ma	ma	ma
p10	ma	ma	ma	ma	ma
p11	bh	ch	bh	op	bh
p12	ch	bh	op	bh	ch
p13	bh	op	bh	ch	bh
p14	op	bh	ch	bh	op
p15	bh	ch	bh	op	bh

15 par. élément.,  $h = 5$ ,  $\mathcal{H} = 9$

Légende : Maïs (ma), Blé (bh), Orge (op) et Colza (ch)

# Planification stratégique : approche WCSP

## Expérimentation



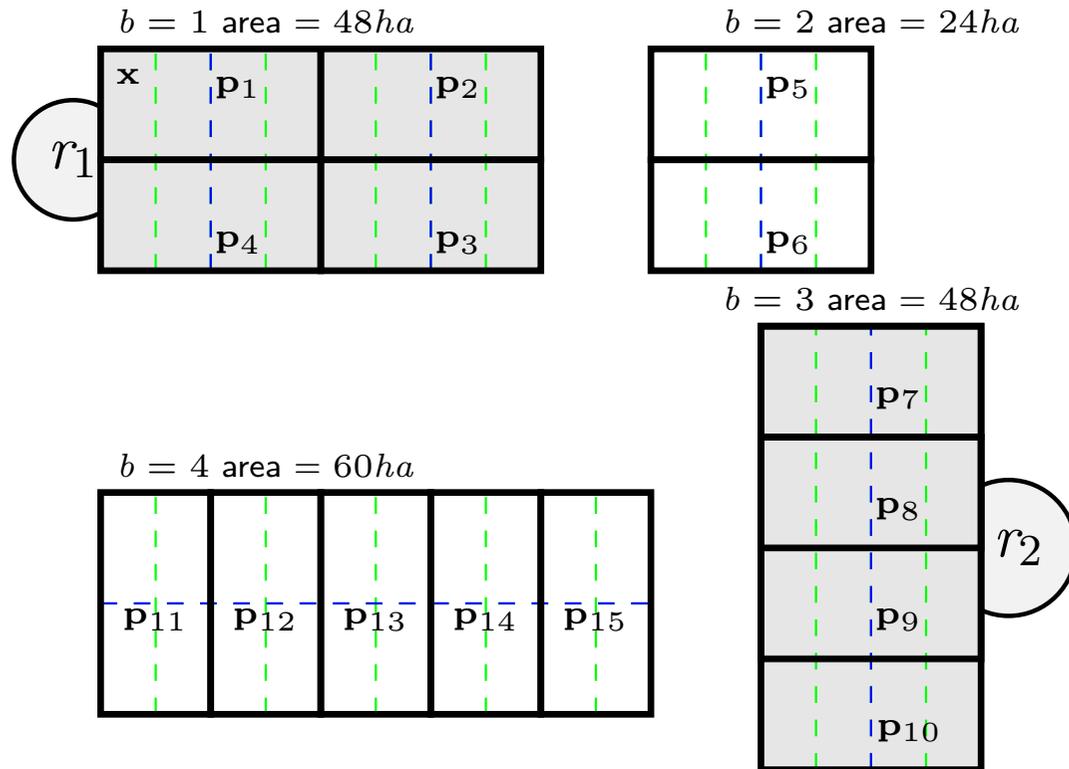
	t1	t2	t3	t4	t5
p1	ma	ma	bh	op	ma
p2	op	ma	ma	bh	op
p3	bh	op	ma	ma	bh
p4	ma	bh	op	ma	ma
p5	bh	op	bh	ch	bh
p6	op	bh	ch	bh	op
p7	ma	ma	ma	ma	ma
p8	ma	ma	ma	ma	ma
p9	ma	ma	ma	ma	ma
p10	ma	ma	ma	ma	ma
p11	bh	ch	bh	op	bh
p12	ch	bh	op	bh	ch
p13	bh	op	bh	ch	bh
p14	op	bh	ch	bh	op
p15	bh	ch	bh	op	bh

30 par. élément.,  $h = 5$ ,  $\mathcal{H} = 9$

Légende : Maïs (ma), Blé (bh), Orge (op) et Colza (ch)

# Planification stratégique : approche WCSP

## Expérimentation



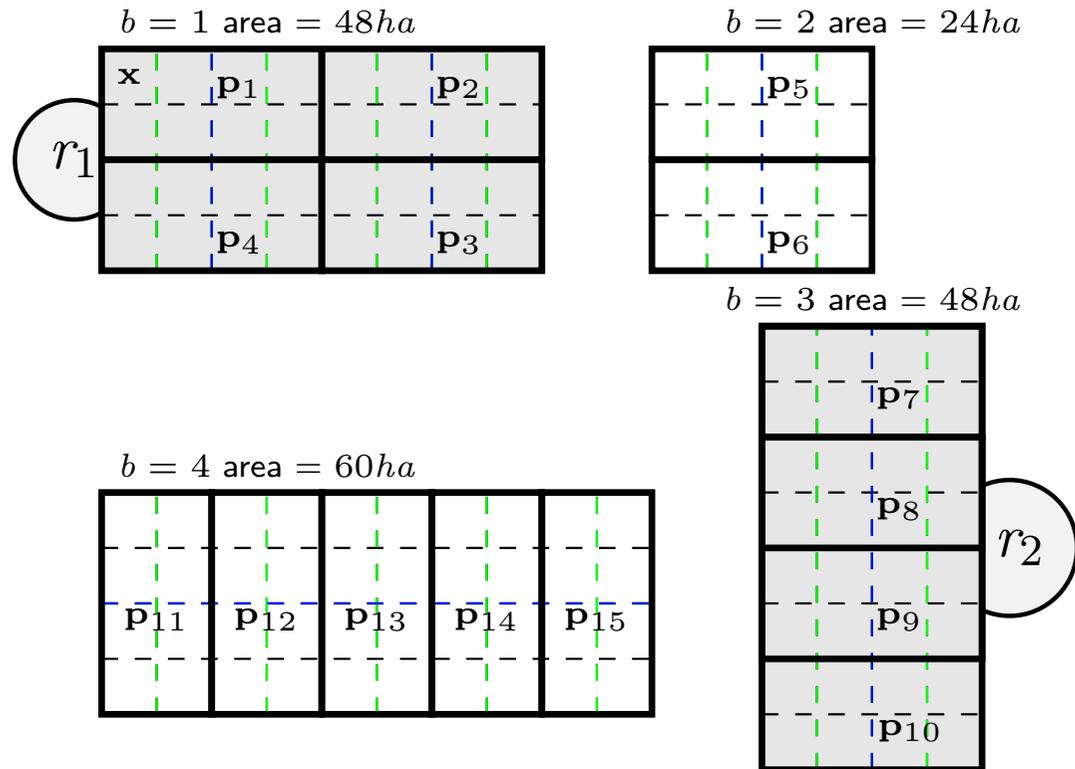
	t1	t2	t3	t4	t5
p1	ma	ma	bh	op	ma
p2	op	ma	ma	bh	op
p3	bh	op	ma	ma	bh
p4	ma	bh	op	ma	ma
p5	bh	op	bh	ch	bh
p6	op	bh	ch	bh	op
p7	ma	ma	ma	ma	ma
p8	ma	ma	ma	ma	ma
p9	ma	ma	ma	ma	ma
p10	ma	ma	ma	ma	ma
p11	bh	ch	bh	op	bh
p12	ch	bh	op	bh	ch
p13	bh	op	bh	ch	bh
p14	op	bh	ch	bh	op
p15	bh	ch	bh	op	bh

60 par. élément.,  $h = 5$ ,  $\mathcal{H} = 9$

Légende : Maïs (ma), Blé (bh), Orge (op) et Colza (ch)

# Planification stratégique : approche WCSP

## Expérimentation



	t1	t2	t3	t4	t5
$p_1$	ma	ma	bh	op	ma
$p_2$	op	ma	ma	bh	op
$p_3$	bh	op	ma	ma	bh
$p_4$	ma	bh	op	ma	ma
$p_5$	bh	op	bh	ch	bh
$p_6$	op	bh	ch	bh	op
$p_7$	ma	ma	ma	ma	ma
$p_8$	ma	ma	ma	ma	ma
$p_9$	ma	ma	ma	ma	ma
$p_{10}$	ma	ma	ma	ma	ma
$p_{11}$	bh	ch	bh	op	bh
$p_{12}$	ch	bh	op	bh	ch
$p_{13}$	bh	op	bh	ch	bh
$p_{14}$	op	bh	ch	bh	op
$p_{15}$	bh	ch	bh	op	bh

120 par. élément.,  $h = 5$ ,  $\mathcal{H} = 9$

Légende : Maïs (ma), Blé (bh), Orge (op) et Colza (ch)

# Planification stratégique : approche WCSP

## Expérimentation

- ▷ Deux modélisations :
  - ▷ Approche directe : versions classiques des fonctions de coût globales.
  - ▷ Approche décomposée : les fonctions de coût globales sont décomposées (i) en fonctions de coût d'arité 3 (ou moins) en ajoutant des variables intermédiaires [Allouche2012], (ii) ou en contraintes *among*.
- ▷ Expérimentation sur une machine mono cœur Intel T9600 de 2.8 GHz, avec 4 GB of RAM, sous Linux.

	$n$	$e$	Optimum	Direct		Decomposed	
				Time(s)	Nodes	Time(s)	Nodes
B1234-LU15*	135	465	1.824	15.64	236	<b>0.11</b>	38
B1234-LU30*	270	922	3.660	103.96	759	<b>0.40</b>	92
B1234-LU60*	540	1.804	7.492	30.624	129.592	<b>2.19</b>	210
B1234-LU120*	1.080	3.568	14.800	-	-	<b>23.90</b>	3.153

**Figure** : Recherche d'une solution optimale

# Planification stratégique : approche WCSP

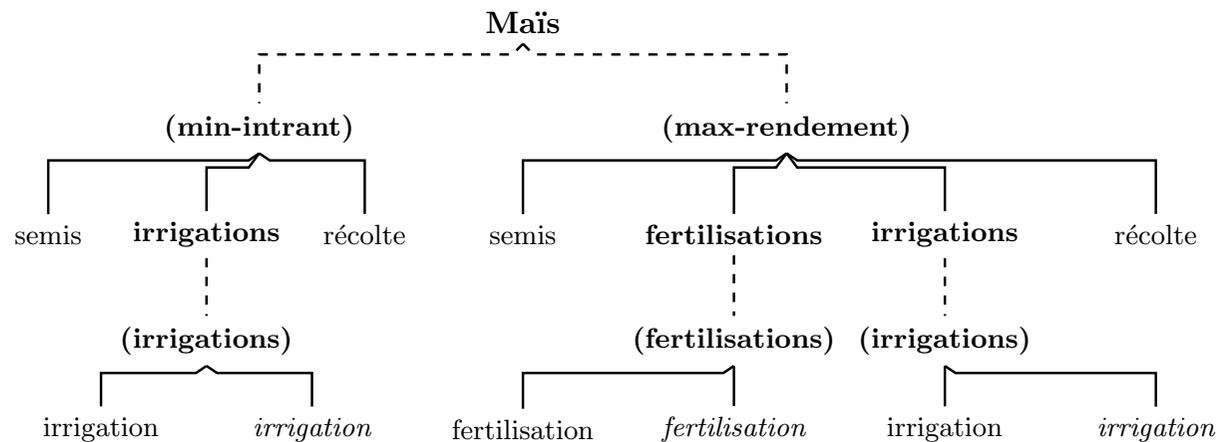
## Expérimentation



**Figure :** Illustration de 2/136 plans stratégiques, solutions de l'instance B1234-LU60\* : ■ Blé d'hiver, ■ Orge de printemps, ■ Maïs, ■ Colza d'hiver

# Planification tactique : approche HTN

- ▷ Itinéraires techniques (ITKs) constitués de tâches duratives sous contraintes temporelles et de ressources
- ▷ Nous représentons les ITKs comme des décompositions d'un réseau de tâches hiérarchiques [Nau1999]



## Particularités

- ▷ Pas d'effet attendu sur les tâches mais des effets globaux suivant les objectifs.
- ▷ Heuristique de décomposition basée sur une fonction globale qui permet d'explicitier les interdépendances (ressources) entre les différents modes de conduites des cultures.

# Planification tactique : approche HTN

## Algorithme de planification tactique

**Entrées:**  $\Pi^{str}$  ;  $\Pi^{tac}$  ;  $pref$  ;  $Q_{max}$

1 **début**

2 *Construction des îlots fonctionnels (  $x_{b,i}^t \in Is_{b,c}^t$  ssi  $x_{b,i}^t = c$  )*

3 **pour chaque** *Pour chaque ITK de culture faire*

4 *réaliser l'expansion du HTN suivant la décomposition ITK*

5 *consommation ressources par ITK (  $Q_{itk,i}(r_k) = \sum_{a \in \mathcal{A}} q(r_k, a)$  )*

6 *consommation ressources îlots fonct. (  $Q_{itk}^{idisl}(r_k) = \sum_{i \in Is_{b,c}^t} Q_{itk,i}(r_k)$  )*

7 **Rechercher l'affectation optimale des ITK en fonction des consommations de ressources**

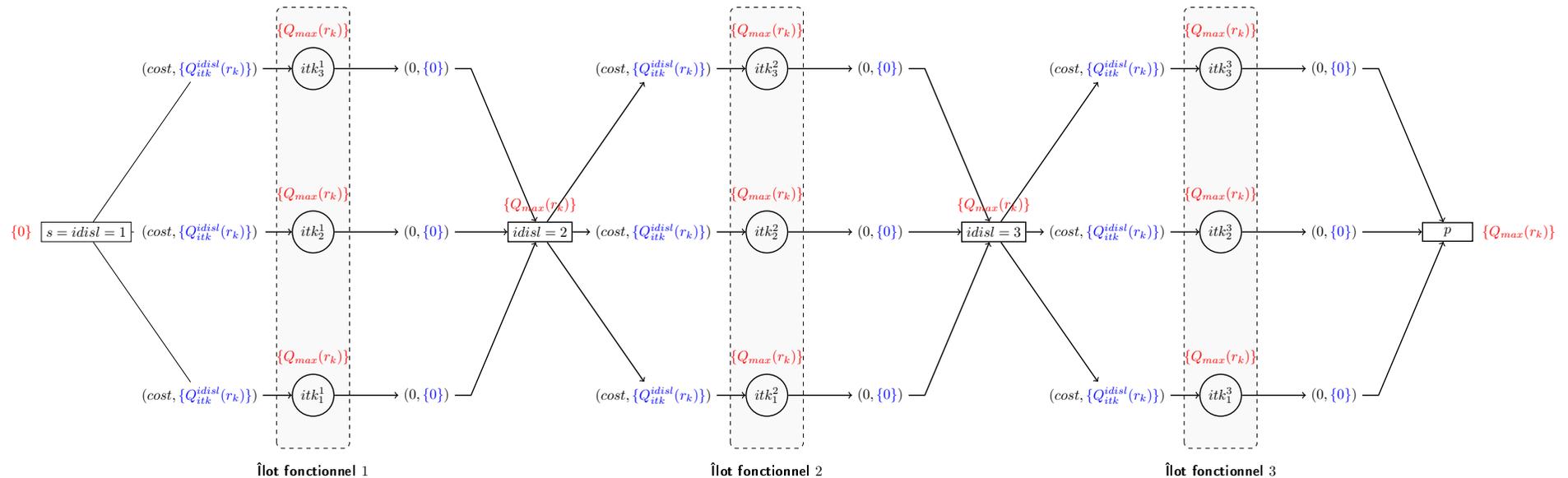
8 *Propager les contraintes temporelles pour chaque parcelle élémentaire et mettre à jour  $\Pi^{tac}$*

9 **retourner**  $\Pi^{tac}$

10 **fin**

# Planification tactique : approche HTN

## Choix des décompositions dans les HTN



## Heuristique (PCC sous contrainte de ressources)

Le problème d'affectation des ITKs aux îlots fonctionnels est équivalent à un problème de recherche de plus court chemin dans un graphe multivalué.

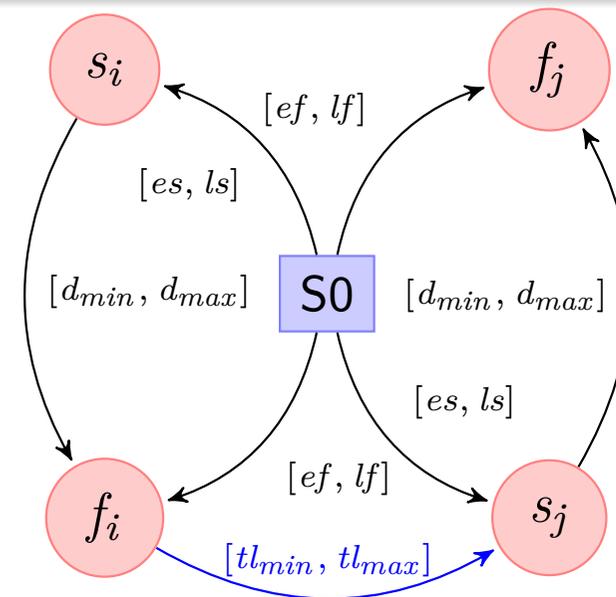
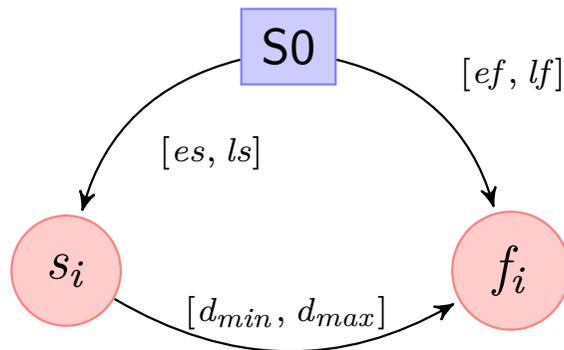
- Un nœud du graphe représente un îlot fonctionnel ou ITK.
- Un arc est étiqueté par un vecteur de consommations des ressources.
- La ressource  $r_0$  est associée au coût à payer pour traverser l'arc.
- Algorithme de résolution : programmation dynamique (type SPPRC).

# Planification tactique : approche HTN

## Prise en compte des contraintes temporelles

- ▶ Contraintes temporelles sur les HTN inspirée de SIADEx [Castillo2005]
- ▶ Réseau temporel modélisé par un STN (*Simple Temporal Network* [Dechter1991]).
- ▶ Trouver les domaines des  $s_i, f_i$  qui rendent le réseau consistence.

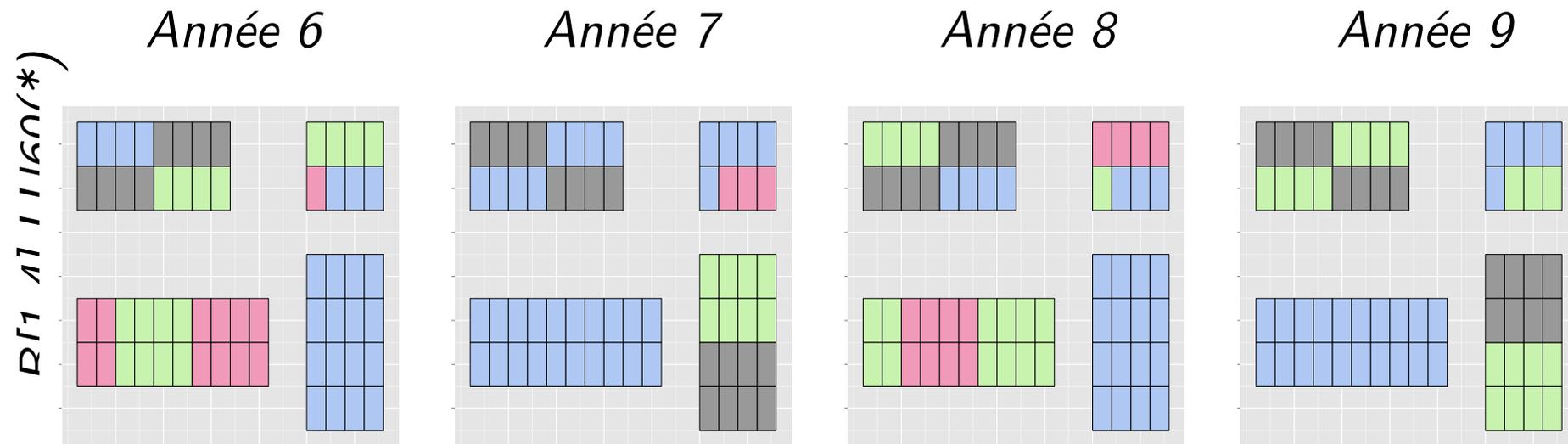
Représentation temporelle d'une tâche



- ▶ Propagation des contraintes temporelles (Algorithme Floyd-Warshall).
- ▶ Propagation réalisée de manière incrémentale.

# Planification tactique : approche HTN

## Expérimentation



**Figure** : plan stratégique : ■ Blé d'hiver, ■ Orge de printemps, ■ Maïs, ■ Colza d'hiver

Instance	B[1-4]-LU60(*)			
Année	6	7	8	9
Nb Îlots	9	7	9	7
<b>T (ms)</b>	<b>1.8</b>	<b>1.3</b>	<b>1.65</b>	<b>1.28</b>

**Table** : Performance pour la recherche des solutions.

# Planification opérationnelle : ordonnancement

- Déterminer l'organisation du travail quotidien sur la base des ITK sélectionnés.
- Horizon de planification glissant et défini en fonction de la structure du réseau de tâches en attente d'activation.

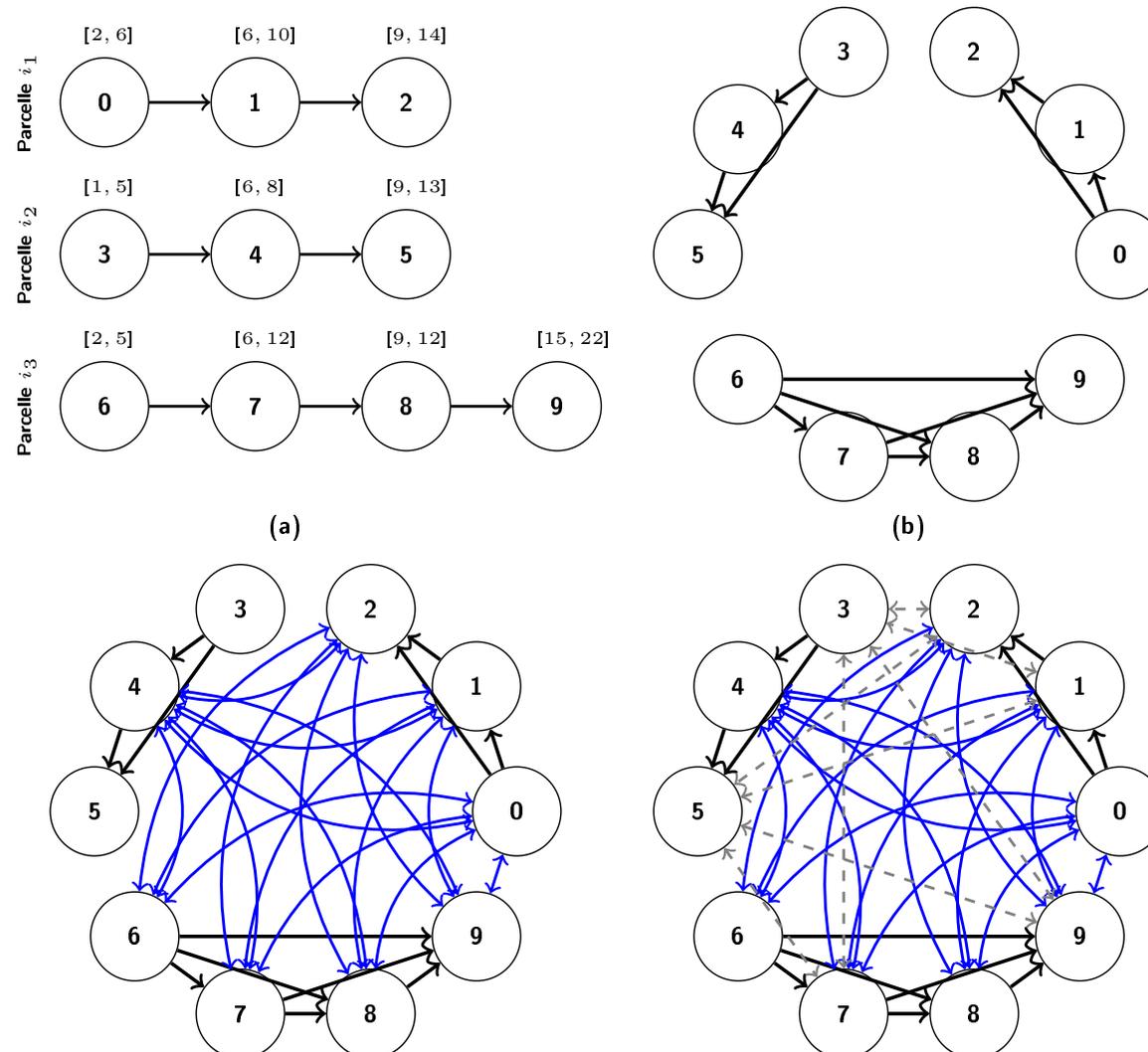
## Approche de résolution

- ▷ Version améliorée de coloration de graphe.
- ▷ Les nœuds du graphe sont des tâches.
- ▷ Les arcs représentent les précédences et les ressources.
  - ▶ unidirectionnels pour la précédence,
  - ▶ bidirectionnels pour les ressources.
- ▷ Heuristique de découverte : **nœud de degré maximum qui minimise**

$$\begin{cases} s_i \\ f_i - s_i \end{cases} \quad \forall j \in \mathcal{N}$$

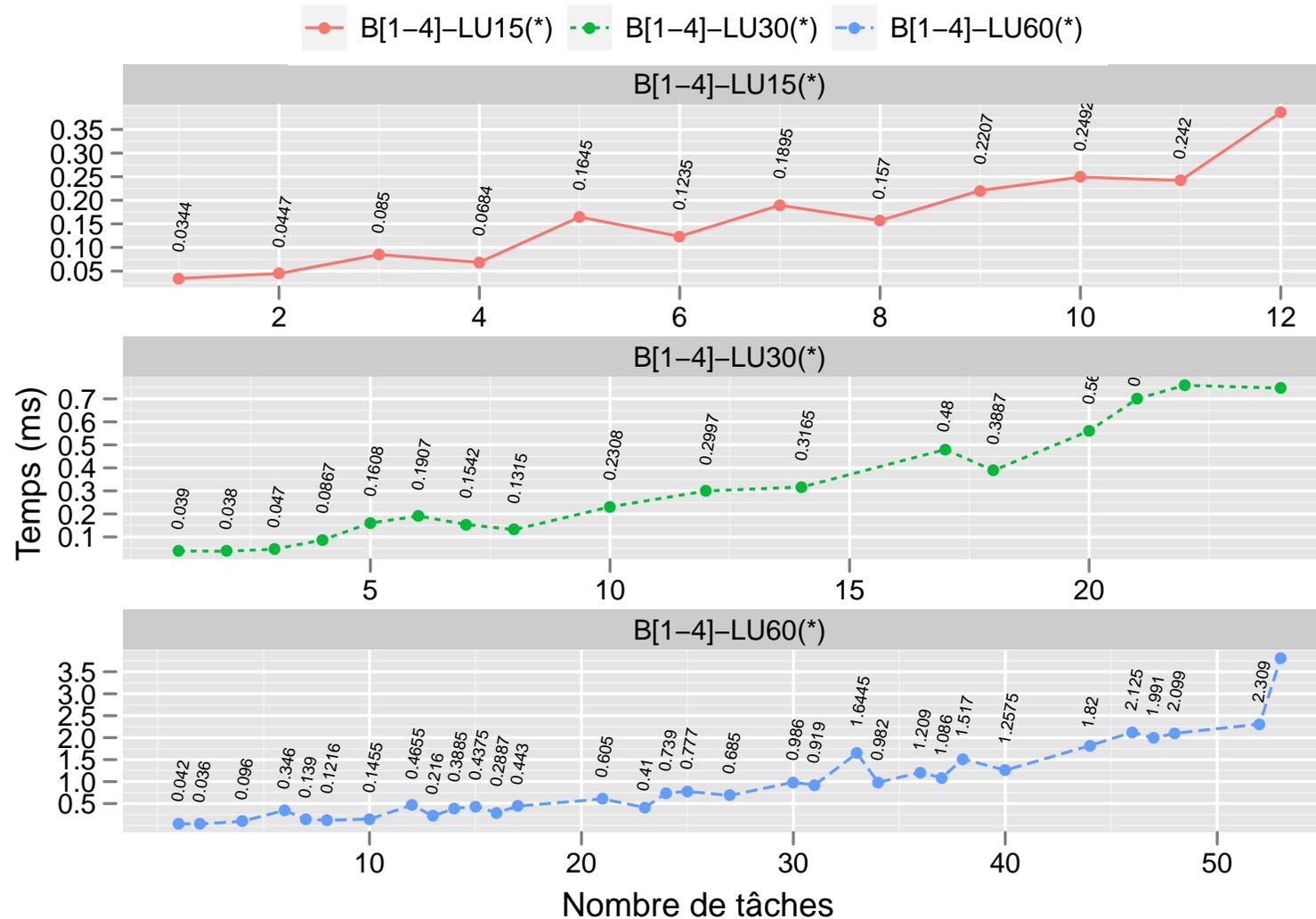
# Planification opérationnelle : ordonnancement

tâche $j$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ressource 1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
ressource 2	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1



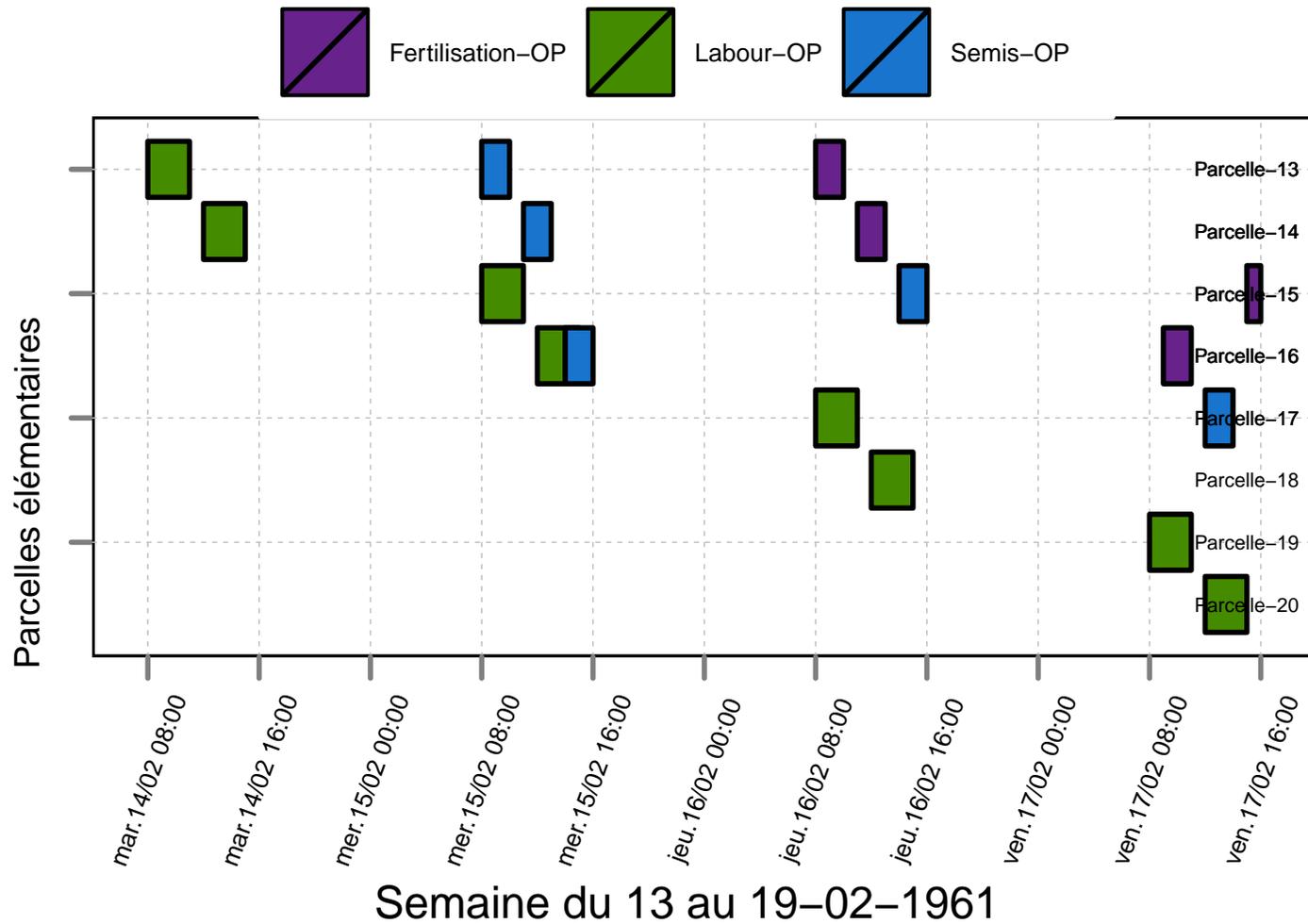
# Planification opérationnelle : ordonnancement

## Expérimentation



# Planification opérationnelle : ordonnancement

## Expérimentation

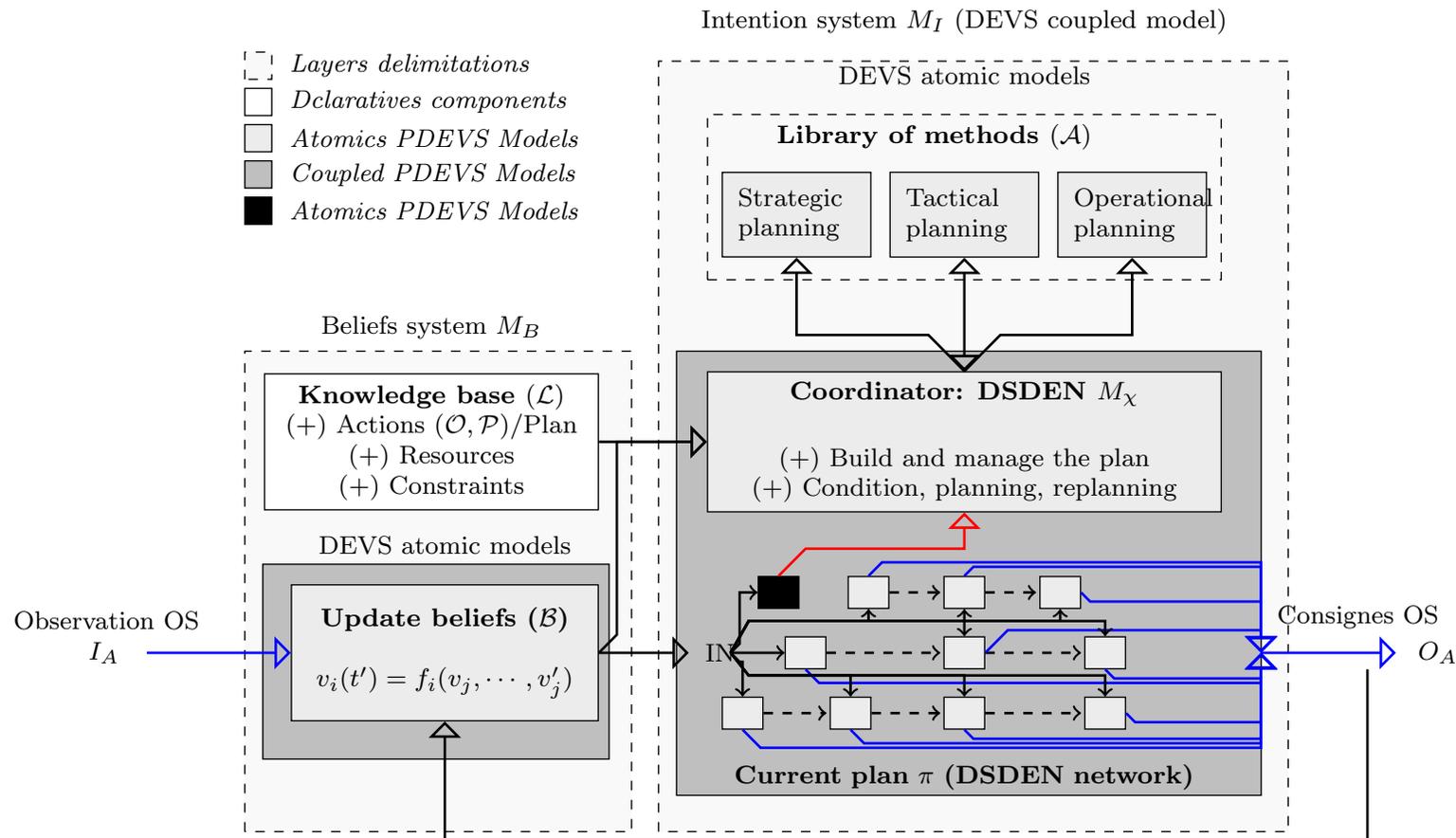


# Plan

- 1 Etat de l'art
- 2 Architecture Safihr
- 3 Résolution des problèmes de décision en agronomie
- 4 Interprétation par simulation de plan temporel**
- 5 Conclusion générale

# Exécution des plans en DEVS

## Rappel de l'architecture Safihr



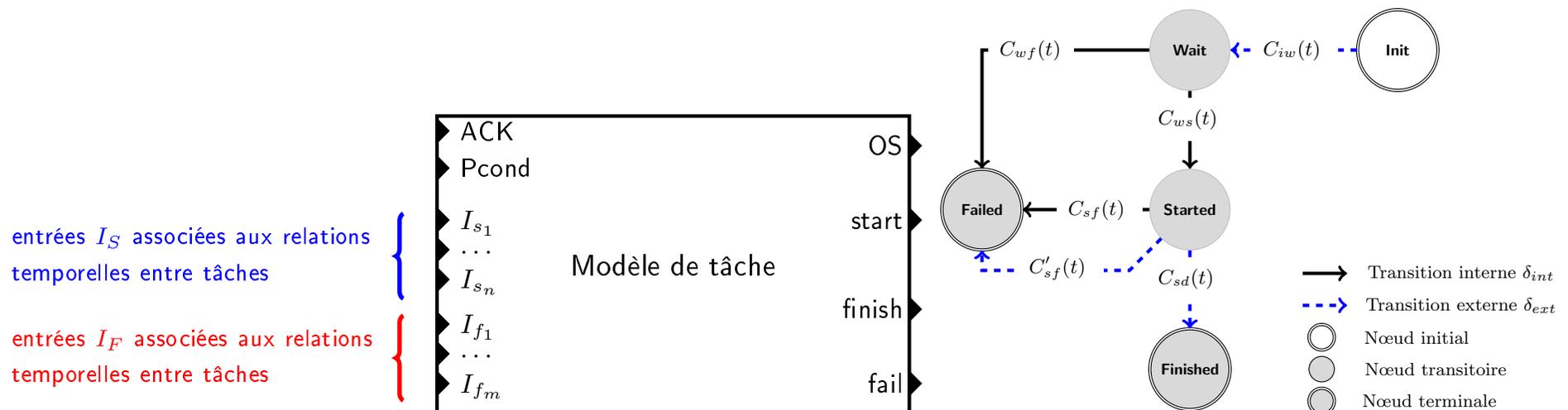
- ▷ Approche orientée modèles pour l'exécution de plans temporelles.
- ▷ L'ensemble de modèles disponibles dans  $\chi$  sont les tâches **opérationnelles** et de **planifications**.
- ▷ Le plan courant est représenté par le réseau DSDEN associé à l'exécutif.

# Exécution des plans en DEVS

## Description des modèles de tâches

L'état  $S_T$  des tâches est défini par :

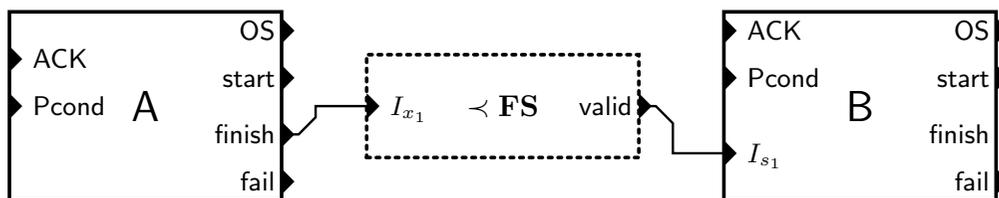
- le statut des tâches et les préconditions d'activation,
- les contraintes temporelles sur le début et la fin ( $[l_s, u_s[$ ,  $[l_f, u_f[$ ),
- les gardes temporelles sur le démarrage et la fin des tâches ( $\vec{\Theta}_S, \vec{\Theta}_F$ ) et leur validité ( $\vec{\Omega}_S, \vec{\Omega}_F$ ),
- la validité des contraintes liée aux relations temporelles de démarrage ou de fin  $\beta_S, \beta_F$ .



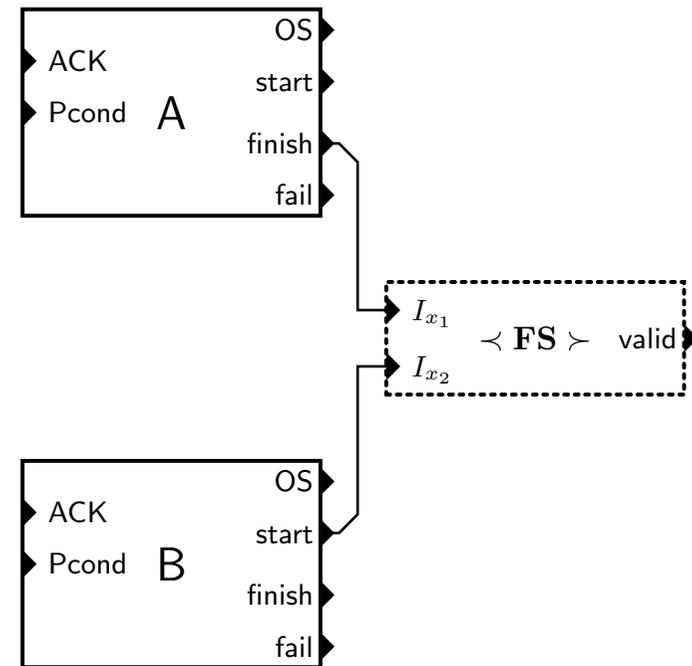
# Exécution du plan courant en DEVS

## Description des modèles de relations temporelles entre les tâches

- ▷ Interprétation basée sur les précédences (FS, SF, SS, FF),
- ▷ Interprétation par synchronisation (FS, SF, SS, FF).



**Figure :** La tâche A précède la tâche B.



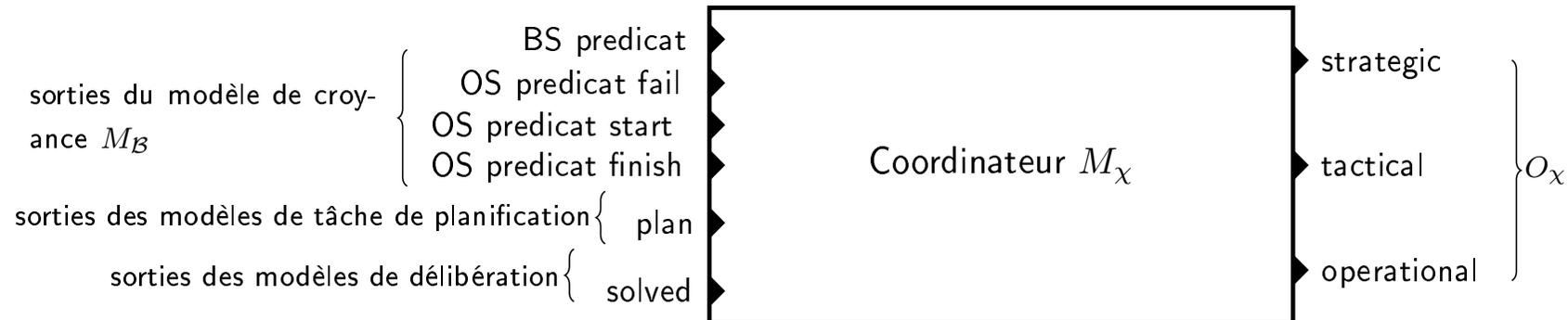
**Figure :** Le fin de la tâche A doit coïncider avec le début de la tâche B.

# Exécution des plans temporelles en DEVS

## Description du coordinateur

### Un modèle générique du coordinateur

- ▷ Gérer la coordination entre les différents processus et déterminer puis déclencher les méthodes de résolution (modéliser par l'exécutive  $M_x$ ).

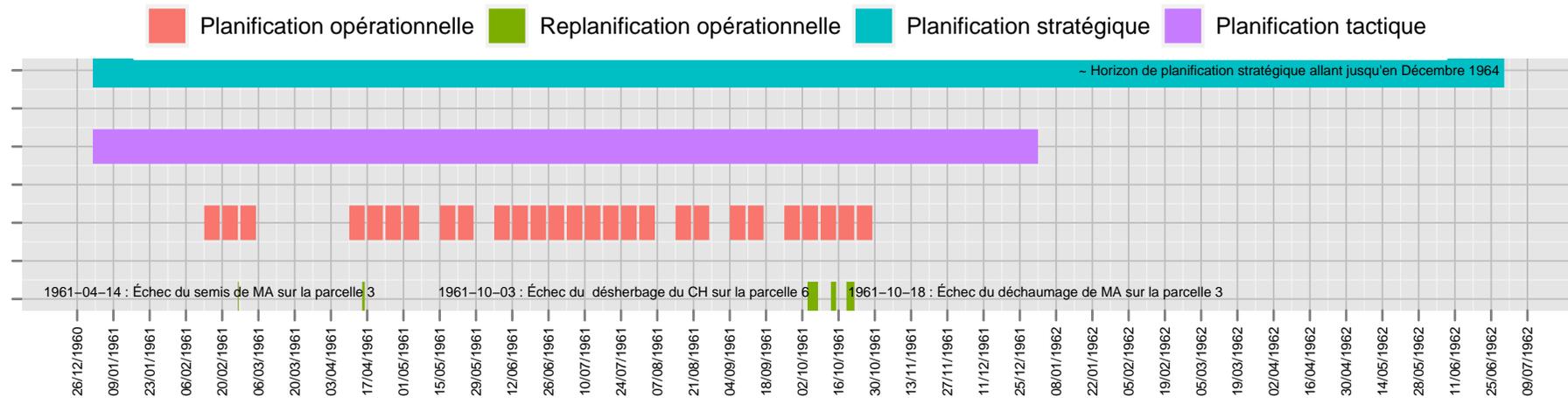


### Les éléments importants du coordinateur

- ▷ Un automate qui décrit les besoins de planification et les conditions déclenchement.
- ▷ Trois plans (stratégique, tactique, opérationnel) à maintenir continuellement.
- ▷ Les mécanismes de mise à jour du réseau de tâches courants.

# Exécution des plans en DEVS

## Application



	Orge de printemps					
	LU-4			LU-5		LU-12
	<i>Plowing</i>	<i>Sowing</i>	<i>Fertilization</i>	<i>Plowing</i>	<i>Sowing</i>	<i>Plowing</i>
1961-02-11	Wait	Wait	Wait	Wait	Wait	Wait
1961-02-12	Wait	Wait	Wait	Wait	Wait	Wait
1961-02-13	<b>Started</b>	Wait	Wait	Wait	Wait	Wait
1961-02-14	Finished	<b>Started</b>	Wait	<b>Started</b>	Wait	Wait
1961-02-15	Finished	Finished	<b>Started</b>	Finished	Wait	Wait
1961-02-16	Finished	Finished	Finished	Finished	<b>Started</b>	<b>Started</b>
1961-02-17	Finished	Finished	Finished	Finished	Finished	Finished
1961-02-18	-	-	-	-	-	-

# Plan

- 1 Etat de l'art
- 2 Architecture Safihr
- 3 Résolution des problèmes de décision en agronomie
- 4 Interprétation par simulation de plan temporel
- 5 Conclusion générale**

# Conclusions générales

## Originalités méthodologiques

- ▷ Une architecture modulaire nommée Safihr, permettant d'intégrer des méthodes de résolution de problèmes de décision.
- ▷ Un entrelacement de méthodes pour répondre à un problème global.
- ▷ Un ensemble de méthodes de résolutions spécifiques à chacun des sous-problèmes de décision.
- ▷ Une approche originale pour l'exécution de plans temporels en DEVS.

## Originalités pour le domaine applicatif

- ▷ Prise en compte de la dimension spatio-temporelle de la décision stratégique.
- ▷ Exhaustivité des solutions de la décision stratégique.
- ▷ Raisonnement global sur les ressources pour le choix des ITK lors de la décision tactique.
- ▷ Une mise en œuvre réalisée sur un cas d'étude représentatif.

# Perspectives

## Architecture Safihr

- ▷ Intégration de nouvelles méthodes de résolution de problème de décision.
- ▷ Développer des méthodes pour l'évaluation de la qualité des plans stratégiques, tactiques et opérationnels obtenus.

## Approfondissement des approches de planification

- ▷ Étude comparative des approches de planification stratégique.
- ▷ Prise en compte du climat et de sa variabilité pour les décisions tactique et opérationnelle.

## Renforcement de la pertinence agronomique

- ▷ Étude comparative avec des approches traditionnelles en agronomie.
- ▷ Adapter l'échantillonnage spatial aux problèmes réels.
- ▷ Intégrer la dynamique de la structure de l'exploitation.

Merci pour votre attention

# References I



David Allouche, Christian Bessiere, Patrice Boizumault, Simon de Givry, Patricia Gutierrez, Samir Loudni, Jean-Philippe Métivier, and Thomas Schiex.  
Filtering decomposable global cost functions.  
In *AAAI*, 2012.



J.M. Attonaty, M.H. Chatelin, J.C. Poussin, and L.G. Soler.  
Advice and decision support systems in agriculture : new issues.  
In *Farm level information systems*, pages 89–101, Woudschoten, Zeist, The Netherlands, 1993.



J Bachinger and P Zander.  
ROTOR, a tool for generating and evaluating crop rotations for organic farming systems.  
*European Journal of Agronomy*, 26(2) :130–143, 2007.



Fernando J. Barros.  
Dynamic structure discrete event system specification : a new formalism for dynamic structure modeling and simulation.  
In *WSC '95 : Proceedings of the 27th conference on Winter simulation*, pages 781–785, Washington, DC, USA, 1995. IEEE Computer Society.



Fernando J. Barros.  
Abstract simulators for the dsde formalism.  
In *Proceedings of the 30th conference on Winter simulation, WSC '98*, pages 407–412, Los Alamitos, CA, USA, 1998. IEEE Computer Society Press.

# References II



J.-E. Bergez, P. Debaeke, J.-M. Deumier, B. Lacroix, D. Leenhardt, P. Leroy, and D. Wallach.

MODERATO : an object-oriented decision tool for designing maize irrigation schedules.  
*Ecological Modelling*, 137(1) :43 – 60, 2001.



Luis A. Castillo, Juan Fernández-Olivares, Óscar García-Pérez, and Francisco Palao.

Temporal enhancements of an htn planner.  
In *CAEPIA*, pages 429–438, 2005.



M. H. Chatelin, C. Aubry, J. C. Poussin, J. M. Meynard, J. Massé, N. Verjux, Ph. Gate, and X. Le Bris.

DéciBlé, a software package for wheat crop management simulation.  
*Agricultural Systems*, 83(1) :77 – 99, 2005.



Steve Chien, Russell Knight, Andre Stechert, Rob Sherwood, and Gregg Rabideau.

Using iterative repair to improve responsiveness of planning and scheduling.  
In *Proceedings of the Fifth International Conference on Artificial Intelligence Planning and Scheduling*, pages 300–307, 2000.



A.C.H. Chow and B.P. Zeigler.

Parallel DEVS : a parallel, hierarchical, modular, modeling formalism.  
In *Proceedings of the 26th conference on Winter simulation*, pages 716–722, Orlando, Florida, United States, 1994.

# References III



Rina Dechter, Itay Meiri, and Judea Pearl.  
Temporal constraint networks.  
*Artif. Intell.*, 49 :61–95, May 1991.



M. Bernardine Dias.  
A real-time rover executive based on model-based reactive planning.  
*In In The 7th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space, 2003.*



S. Dogliotti, W. A. H. Rossing, and M. K. van Ittersum.  
Rotat, a tool for systematically generating crop rotations.  
*European Journal of Agronomy*, 19(2) :239 – 250, 2003.



Jérôme Dury.  
*The cropping-plan decision-making : A farm level modelling and simulation approach.*  
PhD thesis, Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse) - SEVAB,  
Décembre 2011.  
INRA, UMR 1248 AGIR, F-31326 Castanet-Tolosan, France.



Tara Estlin, Rich Volpe, Issa Nesnas, Darren Mutz, Forest Fisher, Barbara Engelhardt, and Steve Chien.  
Decision-making in a robotic architecture for autonomy.  
*In In Proceedings of the International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics, and Automation in Space (iSAIRAS, 2001.*

# References IV



Erann Gat.

Integrating planning and reacting in a heterogeneous asynchronous architecture for controlling real-world mobile robots.

In *AAAI*, pages 809–815, 1992.



Takeshi Itoh, Hiroaki Ishii, and Teruaki Nanseki.

A model of crop planning under uncertainty in agricultural management.

*International Journal of Production Economics*, 81-82 :555–558, 2003.



Phil Kim, Brian C. Williams, and Mark Abramson.

Executing reactive, model-based programs through graph-based temporal planning.

In *Proceedings of the 17th international joint conference on Artificial intelligence - Volume 1*, pages 487–493, San Francisco, CA, USA, 2001. Morgan Kaufmann Publishers Inc.



Roger Martin-Clouaire and Jean-Pierre Rellier.

Modelling and simulating work practices in agriculture.

*International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies*, 2009.



B. A McCarl, W. V Candler, D. H Doster, and P. R Robbins.

Experiences with farmer oriented linear programming for crop planning.

*Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, 25(1) :17–30, 1977.

# References V



Nicola Muscettola, P Pandurang Nayak, Barney Pell, and Brian C Williams.  
Remote agent : To boldly go where no AI system has gone before.  
*Artificial Intelligence*, 103(1-2) :5-47, 1998.



D. Nau, Y. Cao, A. Lotem, and Muqoz M. Avila.  
Shop : Simple hierarchical ordered planner.  
In *15th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 968-973, 1999.



Ruhul Sarker and Tapabrata Ray.  
An improved evolutionary algorithm for solving multi-objective crop planning models.  
*Computers and Electronics in Agriculture*, 68(2) :191-199, 2009.



Reid Simmons and David Apfelbaum.  
A task description language for robot control.  
In *in Proceedings of the Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 1998.



R Volpe, Issa Nesnas, T Estlin, D Mutz, R Petras, and H Das.  
Claraty : Coupled layer architecture for robotic autonomy.  
Technical report, D-19975, Jet Propulsion Laboratory, 2000.



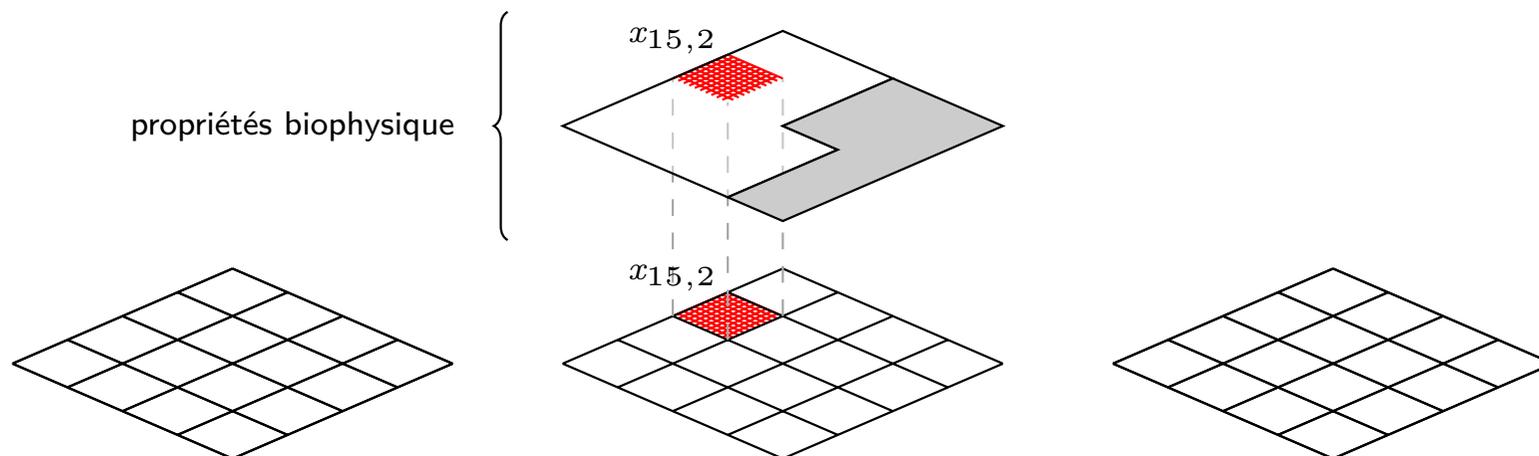
B. P. Zeigler, D. Kim, and H. Praehofer.  
*Theory of modeling and simulation : Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems*.  
Academic Press, 2000.

# Planification stratégique : approche WCSP

## Zone cultivable : fonctions de coûts tabulaires

- Compatibilité de culture en fonction des propriétés biophysiques
- $\forall t \in [h + 1, \mathcal{H}], \forall b \in \mathcal{B}, \forall i \in \mathcal{N}_b$ , soit  $w_{x_{b,i}}^{scc}$  une fonction de coût unaire associé à la compatibilité spatial des cultures.

$$\forall a \in d_{b,i}, w_{x_{b,i}}^{scc}(a) = \begin{cases} \infty & \text{si } a \text{ est interdit sur la parcelle élémentaire} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

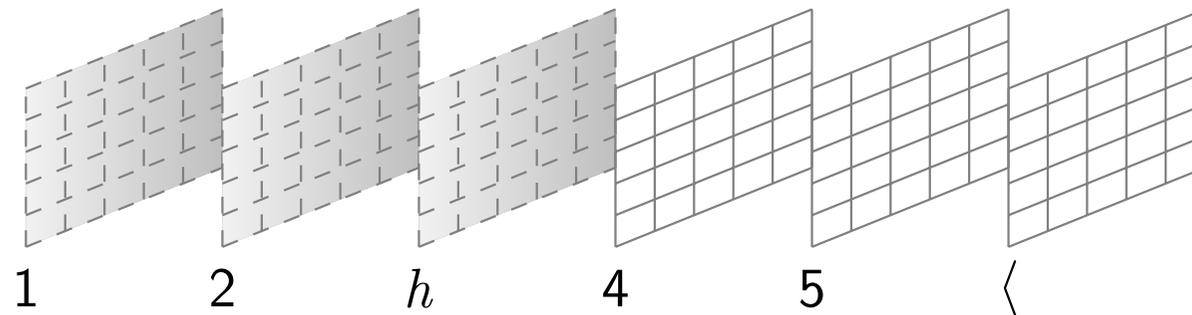


# Planification stratégique : approche WCSP

## Historique des parcelles élémentaires : fonctions de coûts tabulaires

- Chaque parcelle élémentaire a un historique donné
- $\forall b \in \mathcal{B}, \forall i \in \mathcal{N}_b, \forall t \in [1, h]$ , soit  $w_{x_{b,i}^t}^{hst}$  une fonction de coût unaire associé à l'historique des valeurs de la parcelle élémentaire.

$$\forall a \in d_{b,i}, w_{x_{b,i}^t}^{hst}(a) = \begin{cases} 0 & \text{si } a = \text{historic}(x_{b,i}^t) \\ \infty & \text{sinon} \end{cases}$$

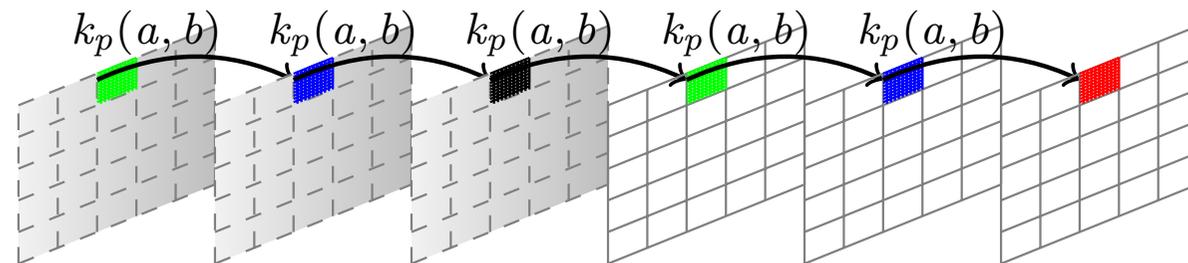


# Planification stratégique : approche WCSP

## Effet précédent : fonctions de coûts tabulaires

- Chaque pair précédent/suivant de culture est associée à un coût  $k_p$  correspondant à l'effet précédent
- $\forall t \in [1, \mathcal{H}], \forall b \in \mathcal{B}, \forall i \in \mathcal{N}_b$ , soit  $w_{x_{b,i}^t, x_{b,i}^{t+1}}^{csq}$  une fonction de coût binaire associée à l'effet précédent  $k_p$ .

$$\forall a \in d_{b,i}, \forall a' \in d_{b,i} \quad w_{x_{b,i}^t, x_{b,i}^{t+1}}^{csq}(a, a') = k_p(a, a')$$

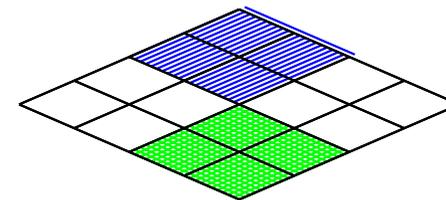
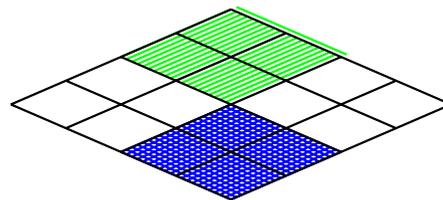
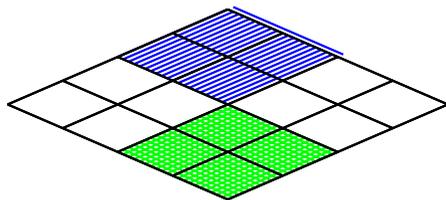


# Planification stratégique : approche WCSP

## Topologie de l'exploitation : fonctions de coûts tabulaires

- Les parcelles élémentaires ayant la même culture doivent être spatialement groupées.
- $\forall t \in [h + 1, \mathcal{H}], \forall b \in \mathcal{B}, \forall i \in \mathcal{N}_b$ , soit  $w_s^{top}$  une fonction de coût d'arité  $n$  associée à la topologie de l'exploitation. considérons la fonction de voisinage de Von Neumann :

$$w_s^{top}(a, a_n, a_s, a_e, a_w) = \begin{cases} 0 & \text{si } a = a_n = a_s = a_e = a_w \\ \delta_1 & \text{sinon} \end{cases}$$

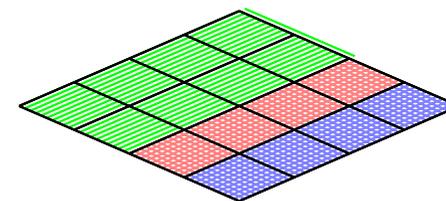
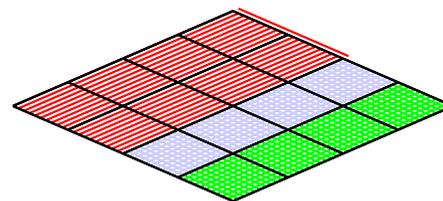
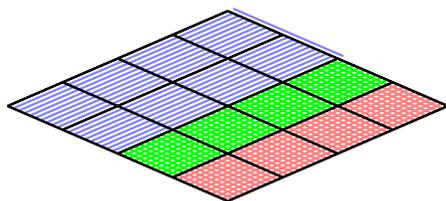


# Planification stratégique : approche WCSP

Collection de cultures par bloc : fonctions de coûts globale « same »

- Sur l'horizon  $[h + 1, \mathcal{H}]$ , le même sous ensemble de culture doit être affecté à chacune des parcelles élémentaires du bloc fonctionnel.
- $\forall (i, j) \in \mathcal{N}_b \times \mathcal{N}_b$  ( $i \neq j$ ), les valeurs affectées aux séquences temporelles de variables définissant  $i$  doivent être une permutation de celles de  $j$

$$\text{SAME}(\underbrace{x_{b,i}^{h+1}, \dots, x_{b,i}^{\langle \cdot \rangle}}_i, \underbrace{x_{b,j}^{h+1}, \dots, x_{b,j}^{\langle \cdot \rangle}}_j)$$



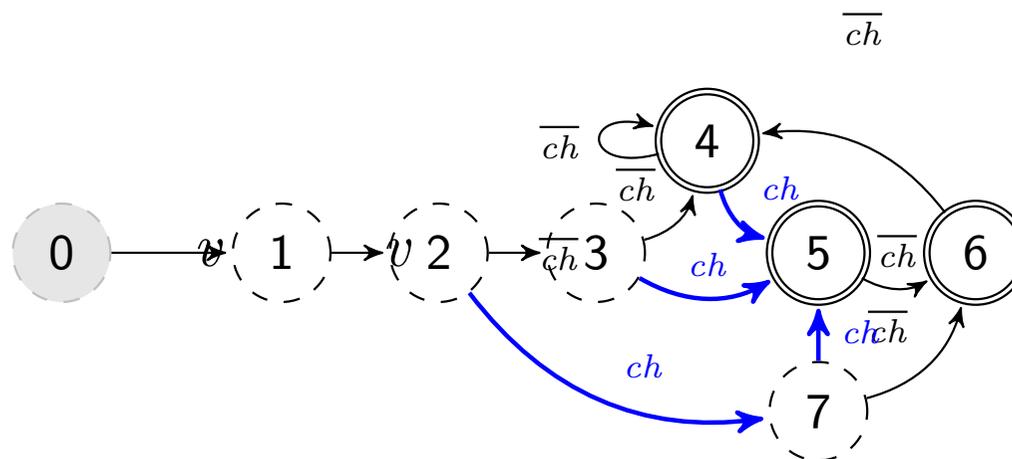
# Planification stratégique : approche WCSP

Délai de retour des cultures : fonctions de coûts globale « regular »

- Le délai de retour est prise en compte en définissant pour chaque culture un langage tel que  $\forall t' \neq t, x_{b,i}^t = x_{b,i}^{t'} = a$  **ssi**  $t' \geq t + dr(a)$ .

$\forall t \in [1, \mathcal{H}], \forall b \in \mathcal{B}, \forall i \in \mathcal{N}_b, \forall a \in d_{b,i}$ , soit  $m_{b,i}^a$  un automate

REGULAR( $x_{b,i}^1, \dots, x_{b,i}^t, \dots, x_{b,i}^h, m_{b,i}^a$ )  
où  $m_{b,i}^a$  est le langage.



Exemple de l'automate associé au colza d'hiver (ch).  $dr(ch) = 3$  et  $h = 4$ .

# Planification stratégique : approche WCSP

Contrainte de ressource consommable : fonctions de coûts globale « gcc »

- Des capacités fixes de ressources sont disponibles sur les blocs fonctionnels de l'exploitation.
- À chaque date  $t \in [h + 1, \mathcal{H}]$ , l'allocation de ressource est perçue comme un problème de comptage.

## 2 hypothèses

- 1 Homogénéité surfacique des parcelles élémentaires.
- 2 Ressources supposées consommables et systématiquement renouvelables chaque année sans aucune fonction de production.

$\forall t \in [h + 1, \mathcal{H}]$  soit  $w_{s_b^t}^{rsc}$  une fonction de coût globale d'arité  $\mathcal{H}_b$

$$w_{s_b^t}^{rsc} = \text{GCC}(x_{b,1}^t, \dots, x_{b,\setminus b}^t, lb, ub)$$
$$\forall a \in \bigcup d_{b,i}, \quad lb(a) \leq |\{x_{b,i}^t \in s_b^t \mid x_{b,i}^t = a\}| \leq ub(a)$$

# Planification stratégique : approche WCSP

## Proportions des cultures : fonctions de coûts globale « soft-gcc »

- Les préférences relatives aux propositions annuelle et pluriannuelles des cultures sont définies par une version relaxée de la contrainte globale de cardinalité (soft-gcc)

$$\text{soft-gcc}(s, lb, ub, z, \mu) = \{(a[s], a_z) \mid a[s] \in l(s), a_z \in d_z, \mu(a[s]) \leq a_z\}$$

**Mesure de violation** nombre minimum de variables dont les valeurs doivent être changées afin de satisfaire la contrainte gcc associée (*variable-based violation measure*).

### Proportion annuelle par culture

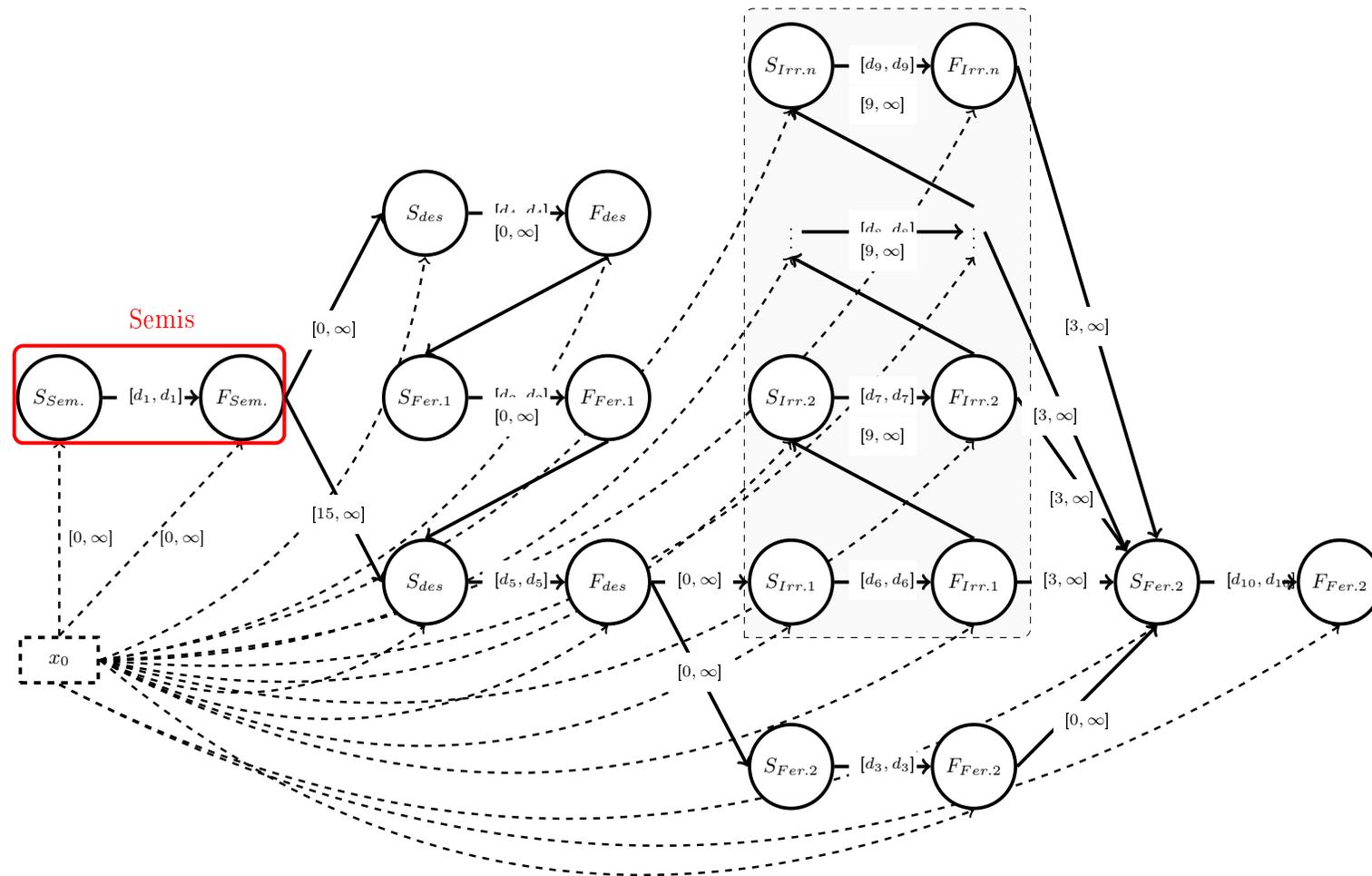
$w_{s_b^t}^{sbc}$  un soft-gcc d'arité  $|\mathcal{B}'|$  associé au bloc  $b$  à  $t$ .  
 $s_b^t = \{x_{b,i}^t \mid i \in [1 \dots \mathcal{N}_b]\}$ .

### Proportion pluriannuelle par parcelle élémentaire

$w_{s_{b,i}}^{tbc}$  un soft-gcc d'arité  $(\mathcal{H} - h)$  associé à chaque parcelle élémentaire  $i$ .  $s_{b,i} = \{x_{b,i}^{h+1}, \dots, x_{b,i}^{\mathcal{H}}\}$ .

# Planification tactique : approche HTN

Exemple du réseau temporelle représentant un ITK de maïs



- ▷ Chaque nœud indique soit l'instant de démarrage soit l'instant de fermeture d'une tâche.
- ▷ Les arcs définissent les relations temporelles entre des instants

# Exécution des plans en DEVS

## Description des modèles de relations temporelles entre les tâches

- ▷ Interprétation basée sur les précédences
- ▷ Interprétation par synchronisation

RELATIONS TEM- PORELLES	INTERPRÉTATIONS BASÉES SUR LES PRÉCÉDENCES ( $\prec$ )	INTERPRÉTATION PAR SYN- CHRONISATION ( $\prec . \succ$ )
$(A, \mathbf{FS}, B)$ $[FS_{AB}^{min}, FS_{AB}^{max}[$	$FS_{AB}^{min} + F_A \leq t$	$(\min(F_A, S_B) + FS_{AB}^{min} \leq t)$ $\wedge$ $(t < \min(F_A, S_B) + FS_{AB}^{max})$
$(A, \mathbf{SF}, B)$ $[SF_{AB}^{min}, SF_{AB}^{max}[$	$SF_{AB}^{min} + S_A \leq t$	$(\min(S_A, F_B) + SF_{AB}^{min} \leq t)$ $\wedge$ $(t < \min(S_A, F_B) + SF_{AB}^{max})$
$(A, \mathbf{SS}, B)$ $[SS_{AB}^{min}, SS_{AB}^{max}[$	$SS_{AB}^{min} + S_A \leq t$	$(\min(S_A, S_B) + SS_{AB}^{min} \leq t)$ $\wedge$ $(t < \min(S_A, S_B) + SS_{AB}^{max})$
$(A, \mathbf{FF}, B)$ $[FF_{AB}^{min}, FF_{AB}^{max}[$	$FF_{AB}^{min} + F_A \leq t$	$(\min(F_A, F_B) + FF_{AB}^{min} \leq t)$ $\wedge$ $(t < \min(F_A, F_B) + FF_{AB}^{max})$