Modélisation et traduction de systèmes sur puce à base de composants

PFE – Filière Informatique et Réseaux

Nicolas Palix

Tuteur : Gregor Gößler

INRIA Rhône-Alpes

Projet POP ART

ESISAR – Valence

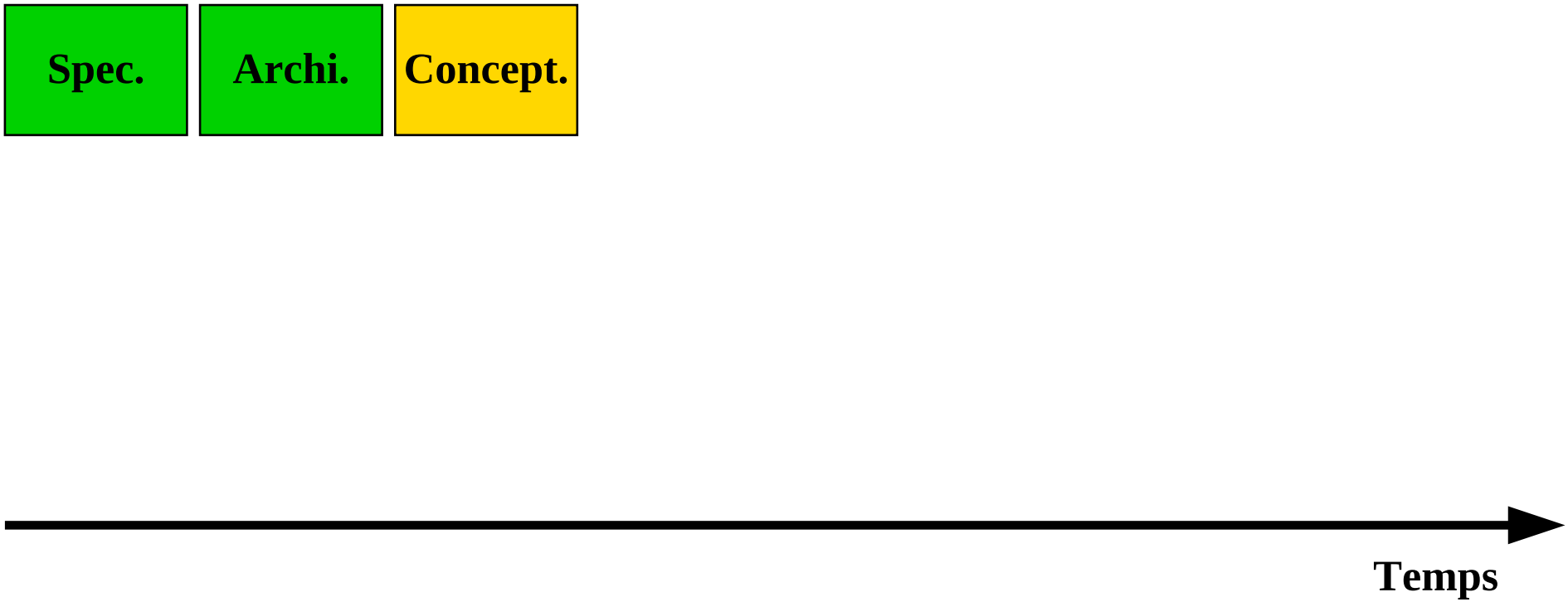
Les systèmes sur puce

- Langages naturels et formels
  - français, anglais
  - UML, SDL

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Les systèmes sur puce

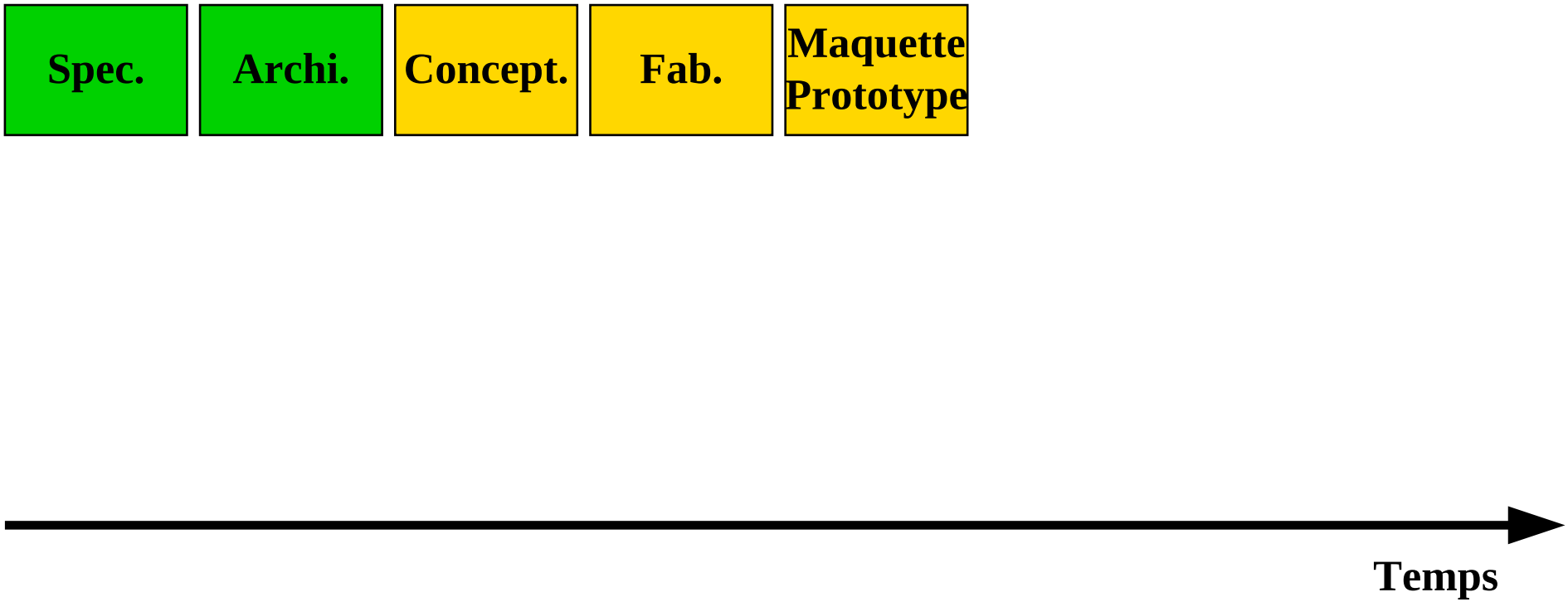
Les systèmes sur puce



- Langages HDL
  - VHDL, Verilog, ISP
- Technique de compilation

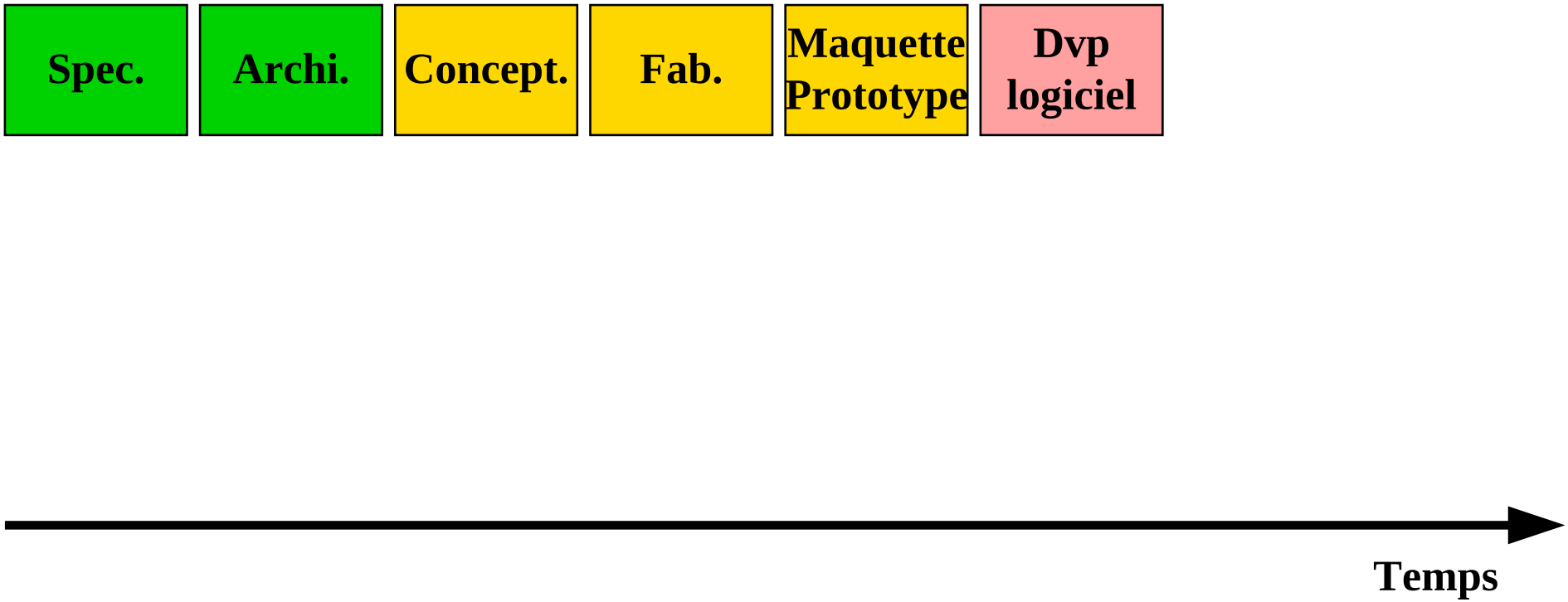
INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Les systèmes sur puce



INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

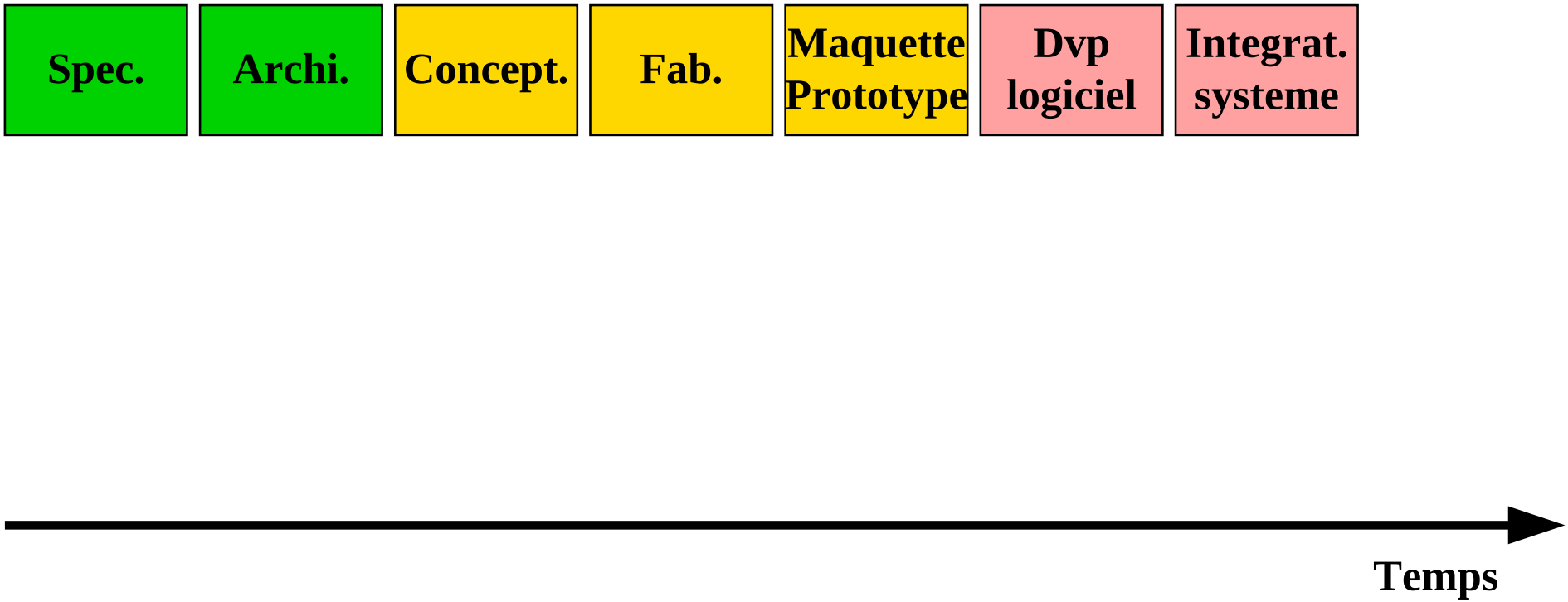
Les systèmes sur puce



- Langages haut-niveau
  - C++, Java

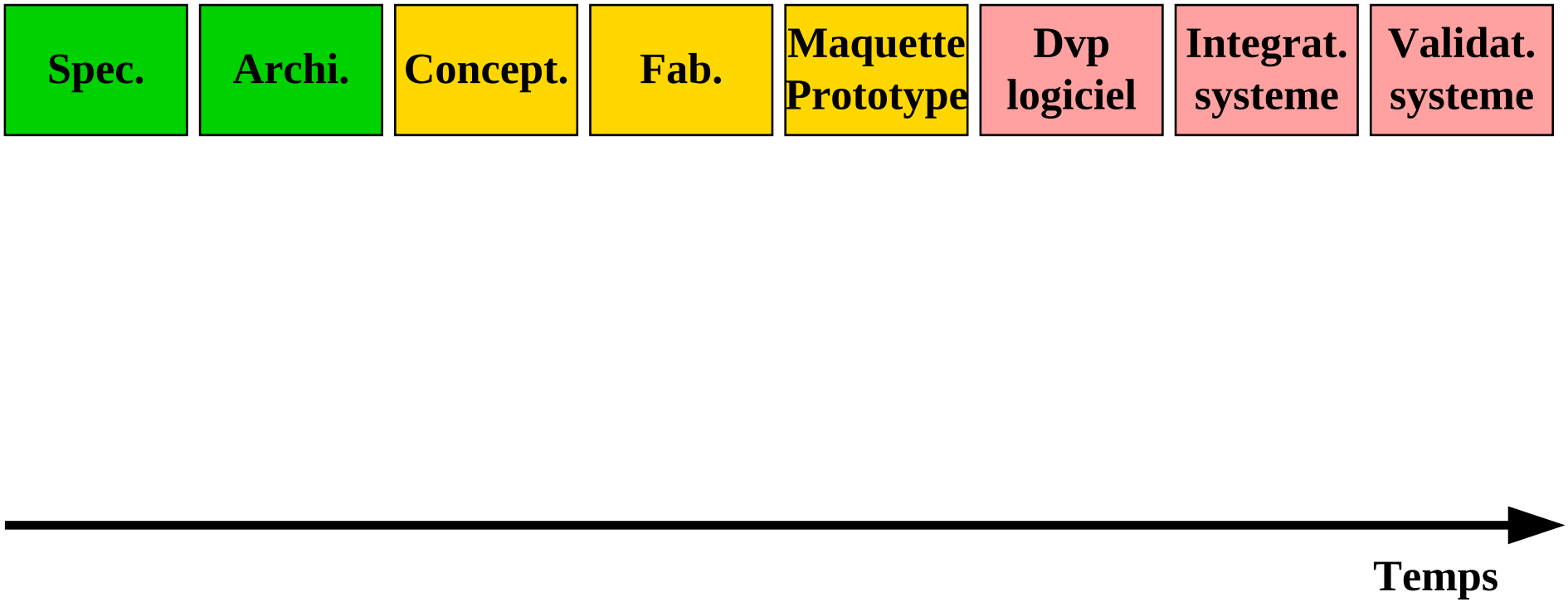
INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Les systèmes sur puce



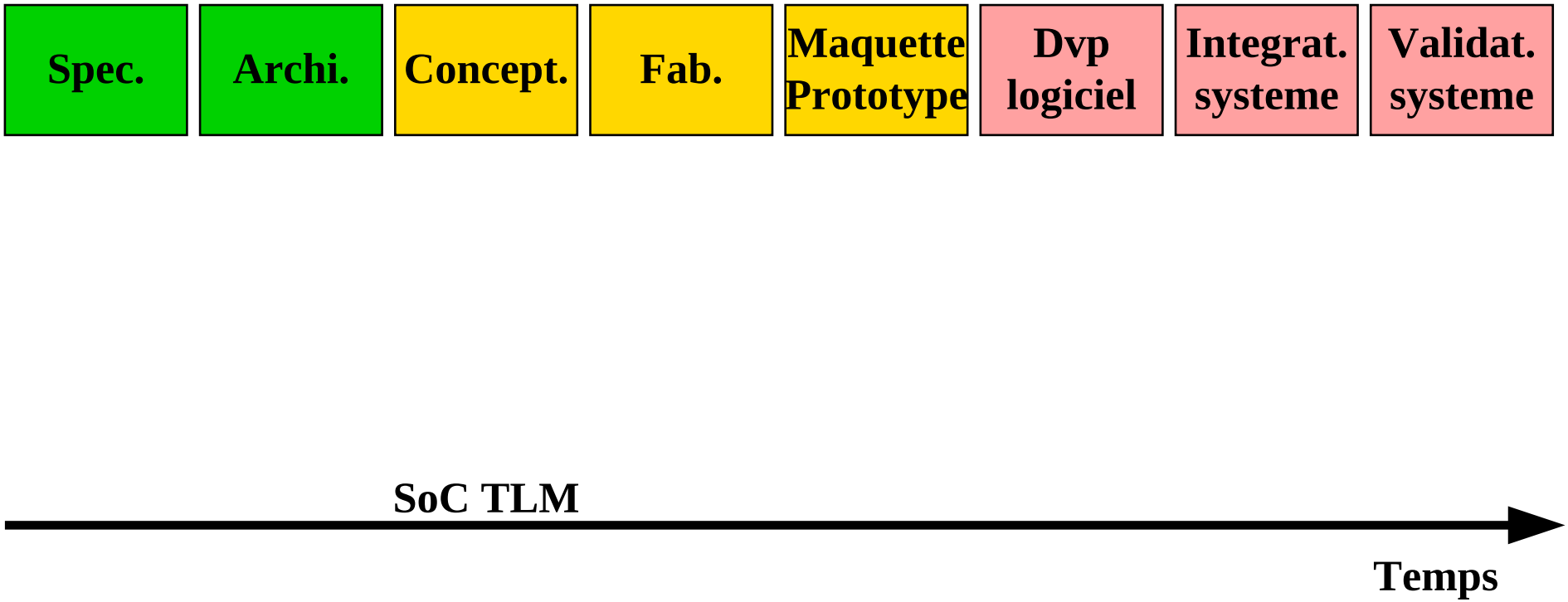
INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Les systèmes sur puce



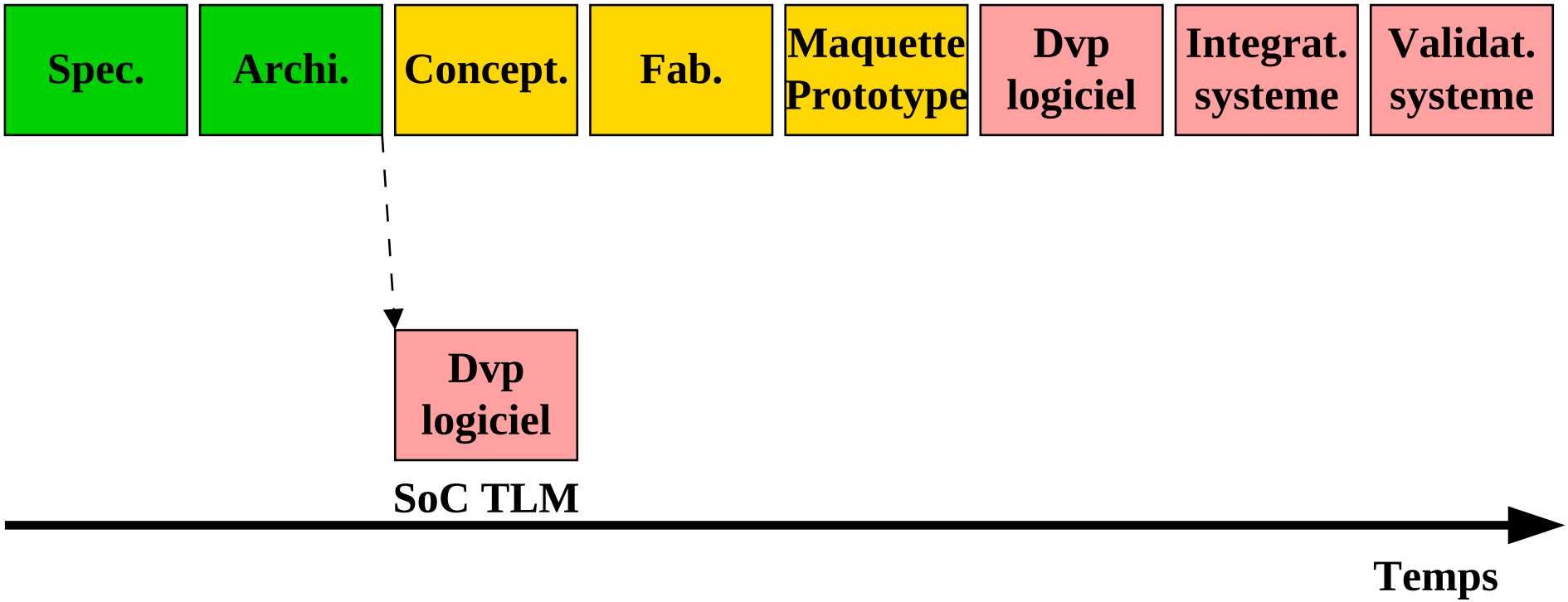
INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Les systèmes sur puce



- Plateforme de simulation TLM

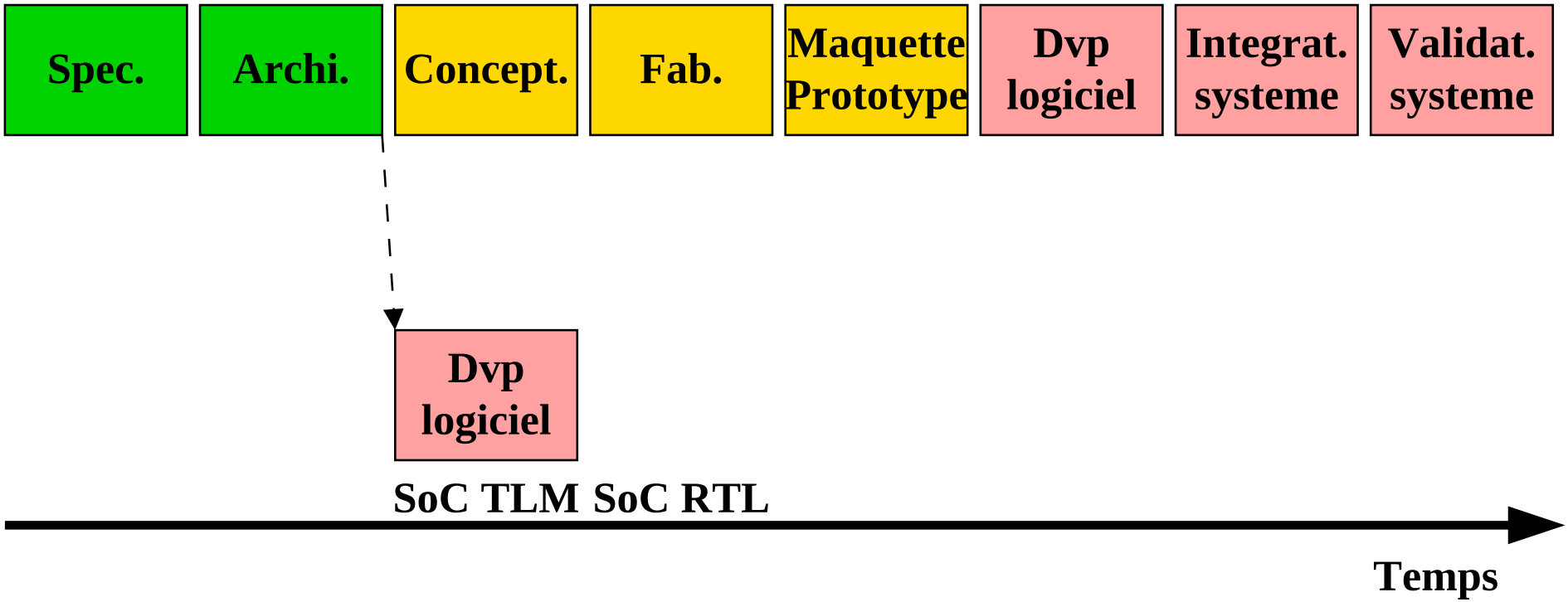
Les systèmes sur puce



- Plateforme de simulation TLM

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

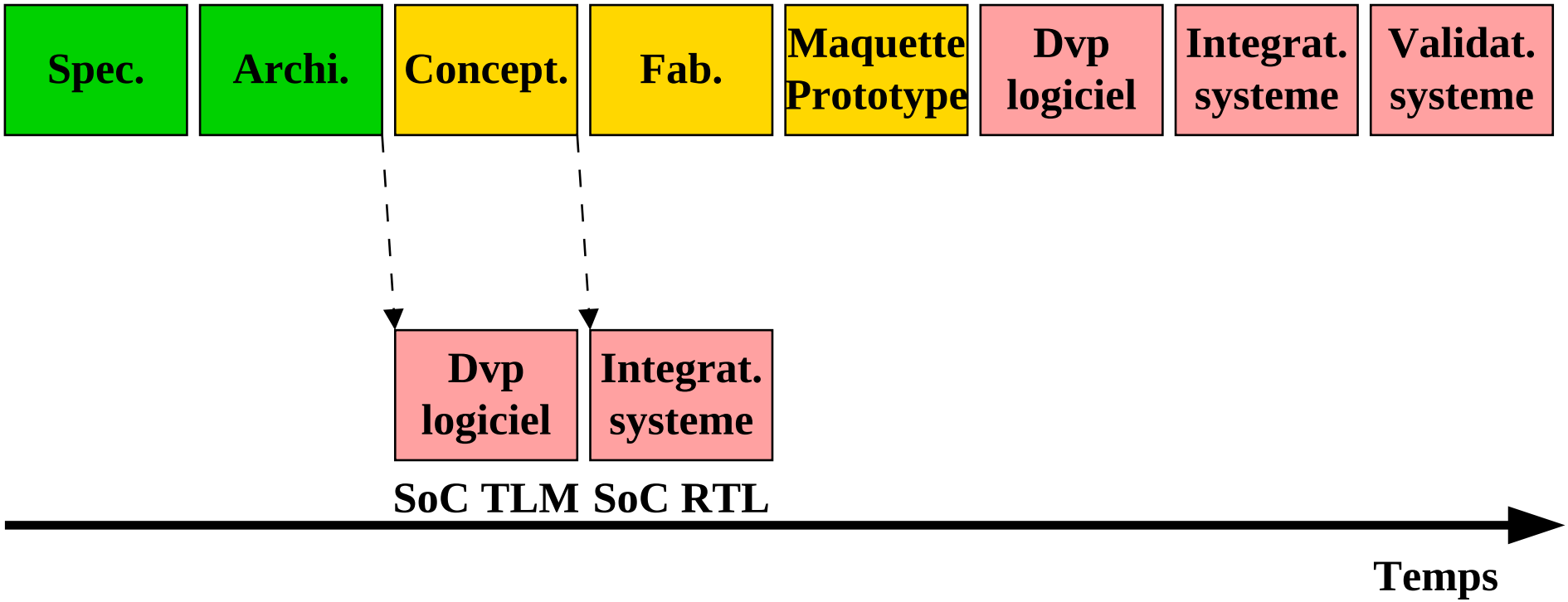
Les systèmes sur puce



- Plateforme de simulation TLM
- Plateforme de simulation RTL

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

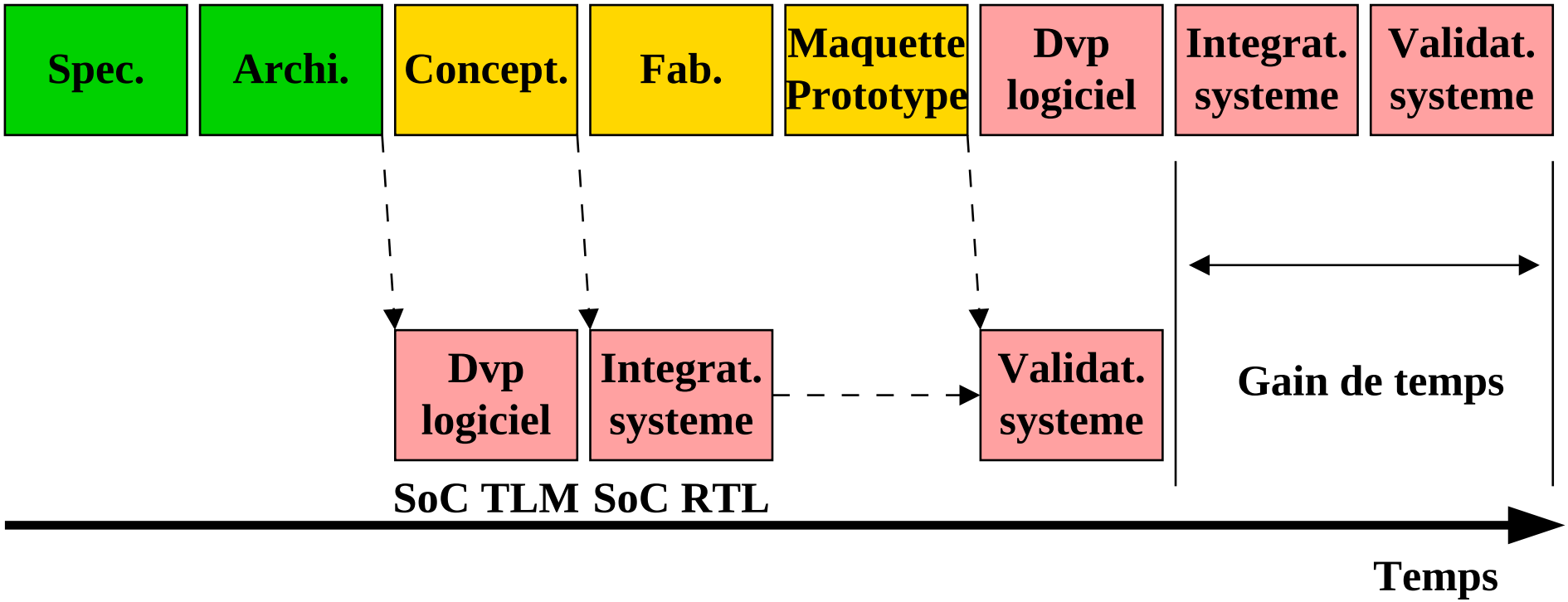
Les systèmes sur puce



- Plateforme de simulation TLM
- Plateforme de simulation RTL

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Les systèmes sur puce



- Plateforme de simulation TLM
- Plateforme de simulation RTL

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Plan

- Contexte
- Contribution
- Étude de cas
- Conclusion

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Plan

- Contexte
  - Modélisation SystemC
  - État de l'art
  - Modèle à base de composants
- Contribution
- Étude de cas
- Conclusion

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Le modèle de SystemC

- SystemC est une librairie C++ qui inclut :

Le modèle de SystemC

- SystemC est une librairie C++ qui inclut :
  - un simulateur à évènements - ordonnanceur

Le modèle de SystemC

- SystemC est une librairie C++ qui inclut :
  - un simulateur à évènements - ordonnanceur
  - la notion hiéarchique de composants

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Le modèle de SystemC

- SystemC est une librairie C++ qui inclut :
  - un simulateur à évènements - ordonnanceur
  - la notion hiéarchique de composants
  - des élèments de base pour la communication

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Le modèle de SystemC

- SystemC est une librairie C++ qui inclut :
  - un simulateur à évènements - ordonnanceur
  - la notion hiéarchique de composants
  - des élèments de base pour la communication
  - l'infrastructure pour construire des canaux plus complexes

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Le modèle de SystemC

- SystemC est une librairie C++ qui inclut :
  - un simulateur à évènements - ordonnanceur
  - la notion hiéarchique de composants
  - des élèments de base pour la communication
  - l'infrastructure pour construire des canaux plus complexes
- SystemC permet de modéliser à différents niveaux de détails :

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Le modèle de SystemC

- SystemC est une librairie C++ qui inclut :
  - un simulateur à évènements - ordonnanceur
  - la notion hiéarchique de composants
  - des élèments de base pour la communication
  - l'infrastructure pour construire des canaux plus complexes
- SystemC permet de modéliser à différents niveaux de détails :
  - Behavioral Level Modeling (BLM)

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Le modèle de SystemC

- SystemC est une librairie C++ qui inclut :
  - un simulateur à évènements - ordonnanceur
  - la notion hiéarchique de composants
  - des élèments de base pour la communication
  - l'infrastructure pour construire des canaux plus complexes
- SystemC permet de modéliser à différents niveaux de détails :
  - Behavioral Level Modeling (BLM)
  - Hardware Oriented Data Type

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Le modèle de SystemC

- SystemC est une librairie C++ qui inclut :
  - un simulateur à évènements - ordonnanceur
  - la notion hiéarchique de composants
  - des élèments de base pour la communication
  - l'infrastructure pour construire des canaux plus complexes
- SystemC permet de modéliser à différents niveaux de détails :
  - Behavioral Level Modeling (BLM)
  - Hardware Oriented Data Type
  - Register Transfert Level Modeling (RTL)

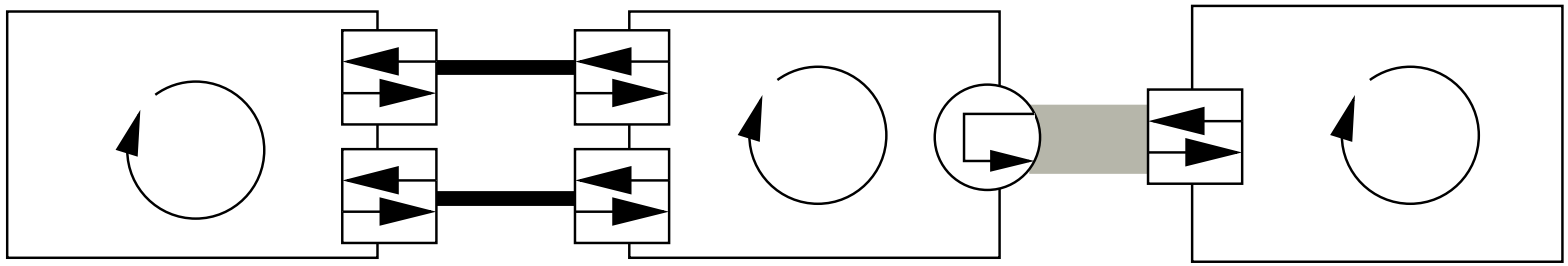
INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Le modèle de SystemC

- SystemC est une librairie C++ qui inclut :
  - un simulateur à évènements - ordonnanceur
  - la notion hiéarchique de composants
  - des élèments de base pour la communication
  - l'infrastructure pour construire des canaux plus complexes
- SystemC permet de modéliser à différents niveaux de détails :
  - Behavioral Level Modeling (BLM)
  - Hardware Oriented Data Type
  - Register Transfert Level Modeling (RTL)
- Utilisée pour former une plateforme TLM

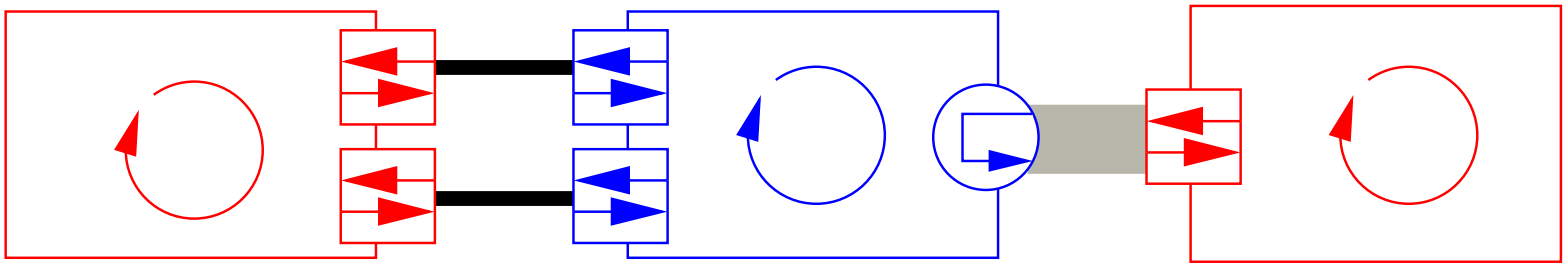
INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Les objets SystemC



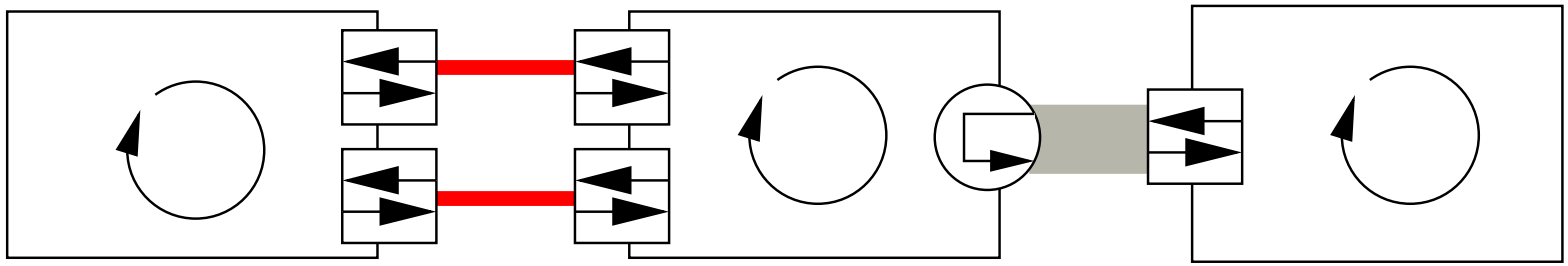
- Modèle d'un système : une architecture

Les objets SystemC



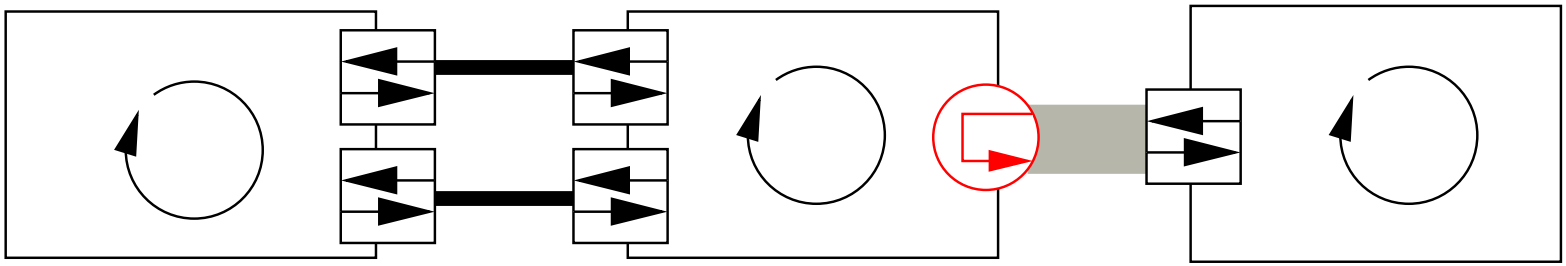
- Modèle d'un système : une architecture
- Composants: modules et canaux hiérarchiques

Les objets SystemC



- Modèle d'un système : une architecture
- Composants: modules et canaux hiérarchiques
- Canaux primitifs, assurent le transport d'informations

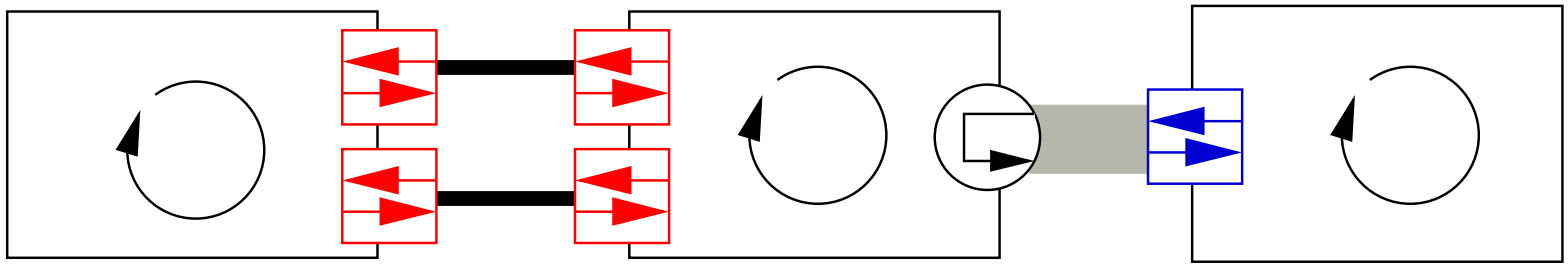
Les objets SystemC



- Modèle d'un système : une architecture
- Composants: modules et canaux hiérarchiques
- Canaux primitifs, assurent le transport d'informations
- Interfaces, protocole d'accès à un canal

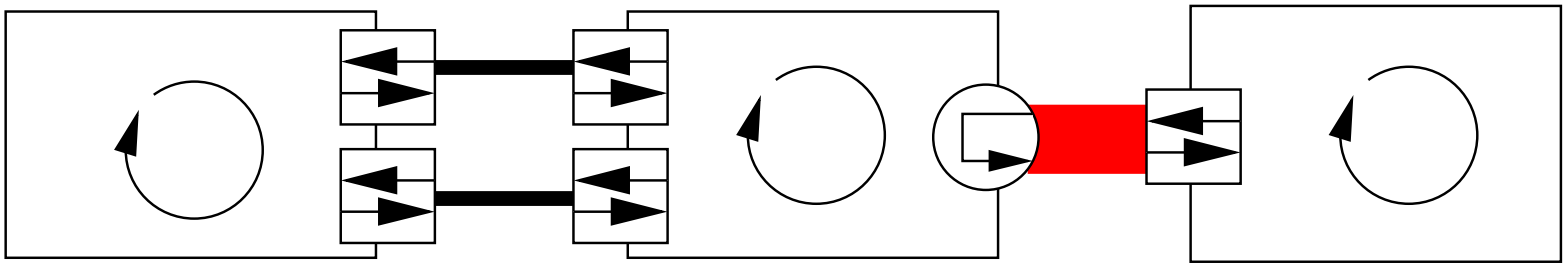
INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Les objets SystemC



- Modèle d'un système : une architecture
- Composants: modules et canaux hiérarchiques
- Canaux primitifs, assurent le transport d'informations
- Interfaces, protocole d'accès à un canal
- Ports, implémentent une interface

Les objets SystemC



- Modèle d'un système : une architecture
- Composants: modules et canaux hiérarchiques
- Canaux primitifs, assurent le transport d'informations
- Interfaces, protocole d'accès à un canal
- Ports, implémentent une interface
- Liens port-canal, pour connecter les composants

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Primitives de communication

- Asymétrique : Emetteur/Récepteur

Primitives de communication

- Asymétrique : Emetteur/Récepteur
- Les événements

Primitives de communication

- Asymétrique : Emetteur/Récepteur
- Les événements
  - Notification immédiate

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Primitives de communication

- Asymétrique : Emetteur/Récepteur
- Les événements
  - Notification immédiate
  - Notification temps nul

Primitives de communication

- Asymétrique : Emetteur/Récepteur
- Les événements
  - Notification immédiate
  - Notification temps nul
  - Notification temporisée

Primitives de communication

- Asymétrique : Emetteur/Récepteur
- Les événements
  - Notification immédiate
  - Notification temps nul
  - Notification temporisée
- Les signaux

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Primitives de communication

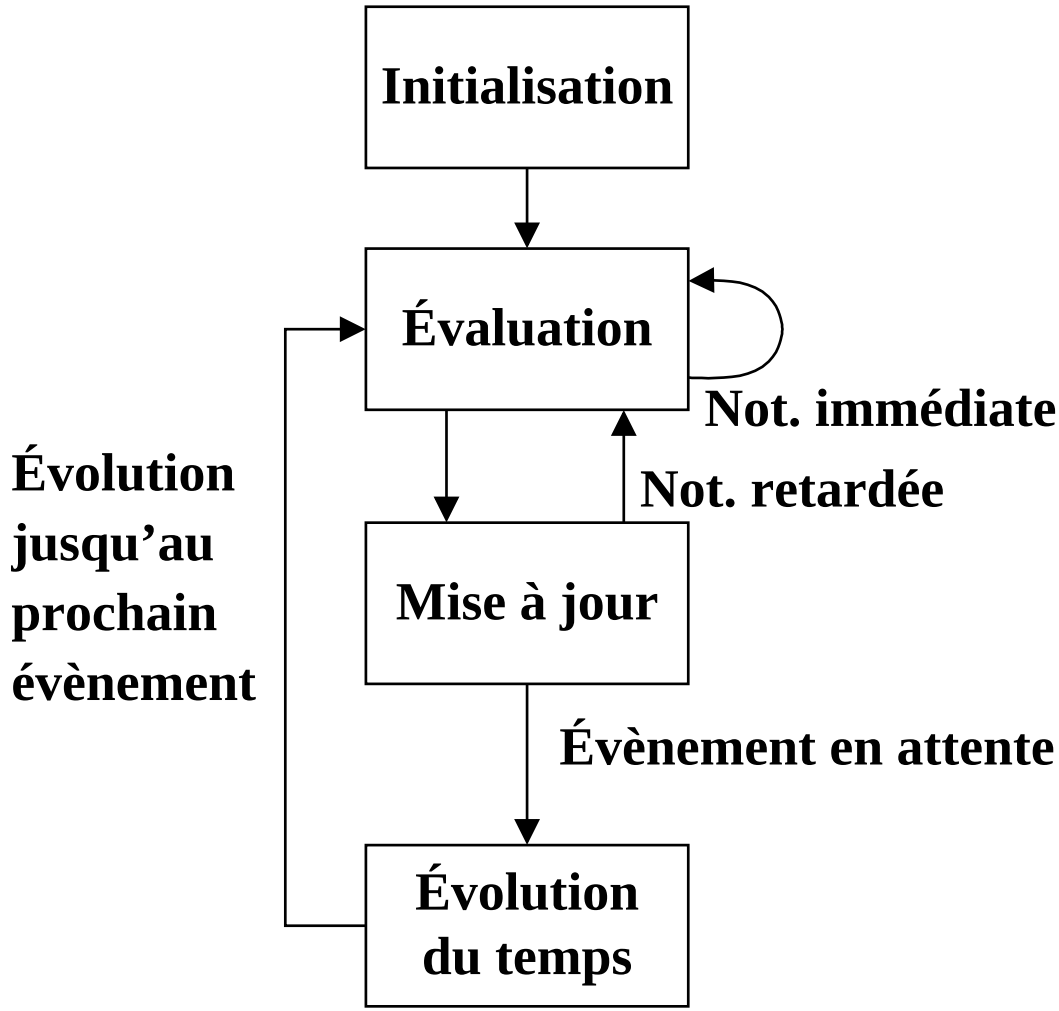
- Asymétrique : Emetteur/Récepteur
- Les événements
  - Notification immédiate
  - Notification temps nul
  - Notification temporisée
- Les signaux
  - Notification temps nul

Primitives de communication

- Asymétrique : Emetteur/Récepteur
- Les événements
  - Notification immédiate
  - Notification temps nul
  - Notification temporisée
- Les signaux
  - Notification temps nul
  - Transporte divers types de données

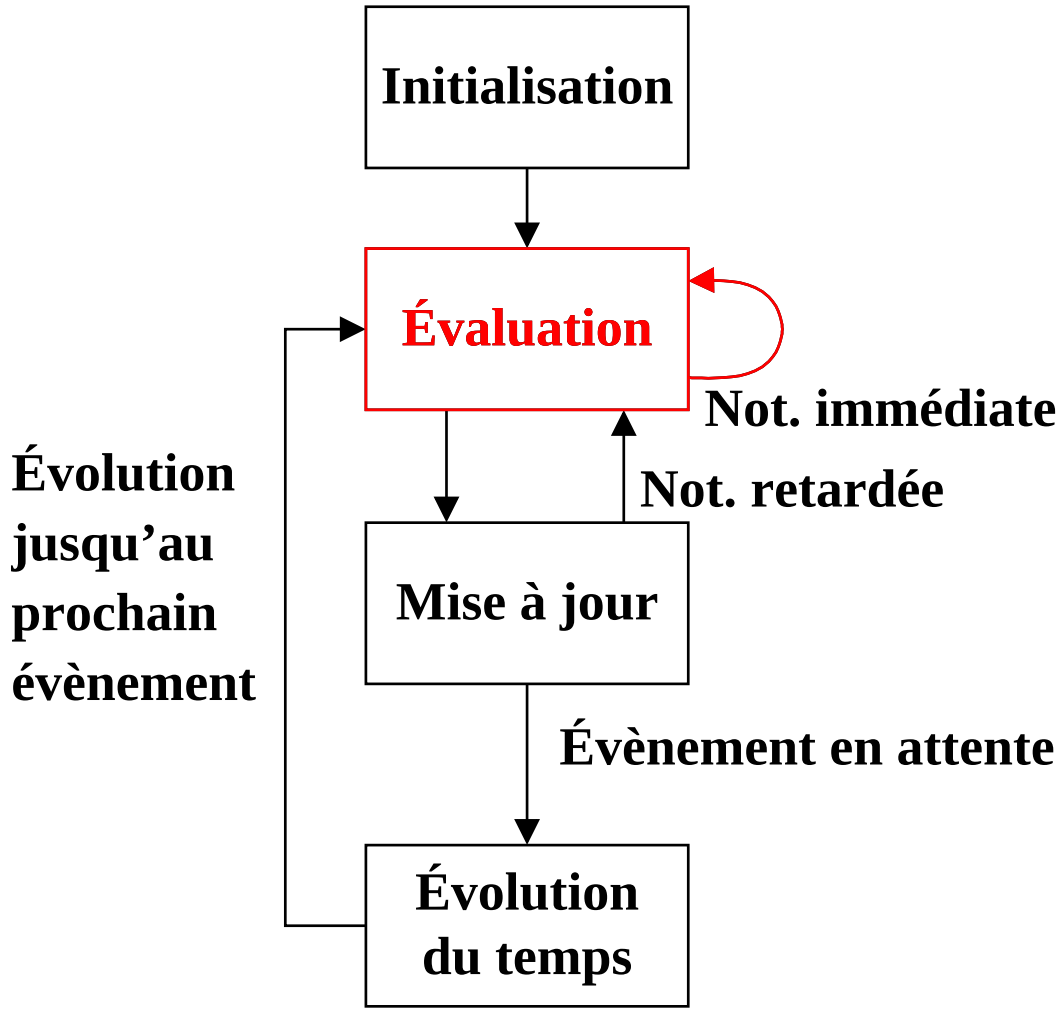
Ordonnanceur SystemC

- Évolution du temps



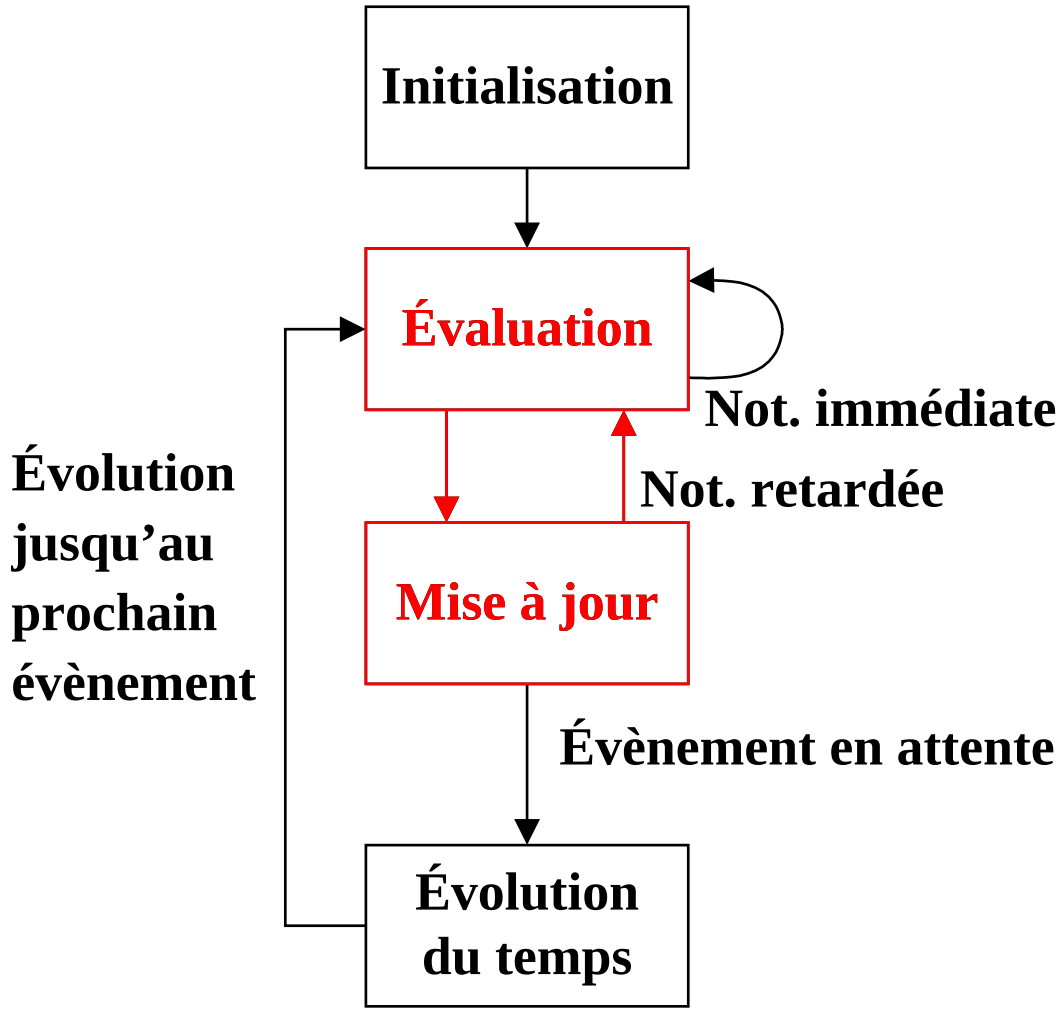
Ordonnanceur SystemC

- Évolution du temps
  - δ-pas



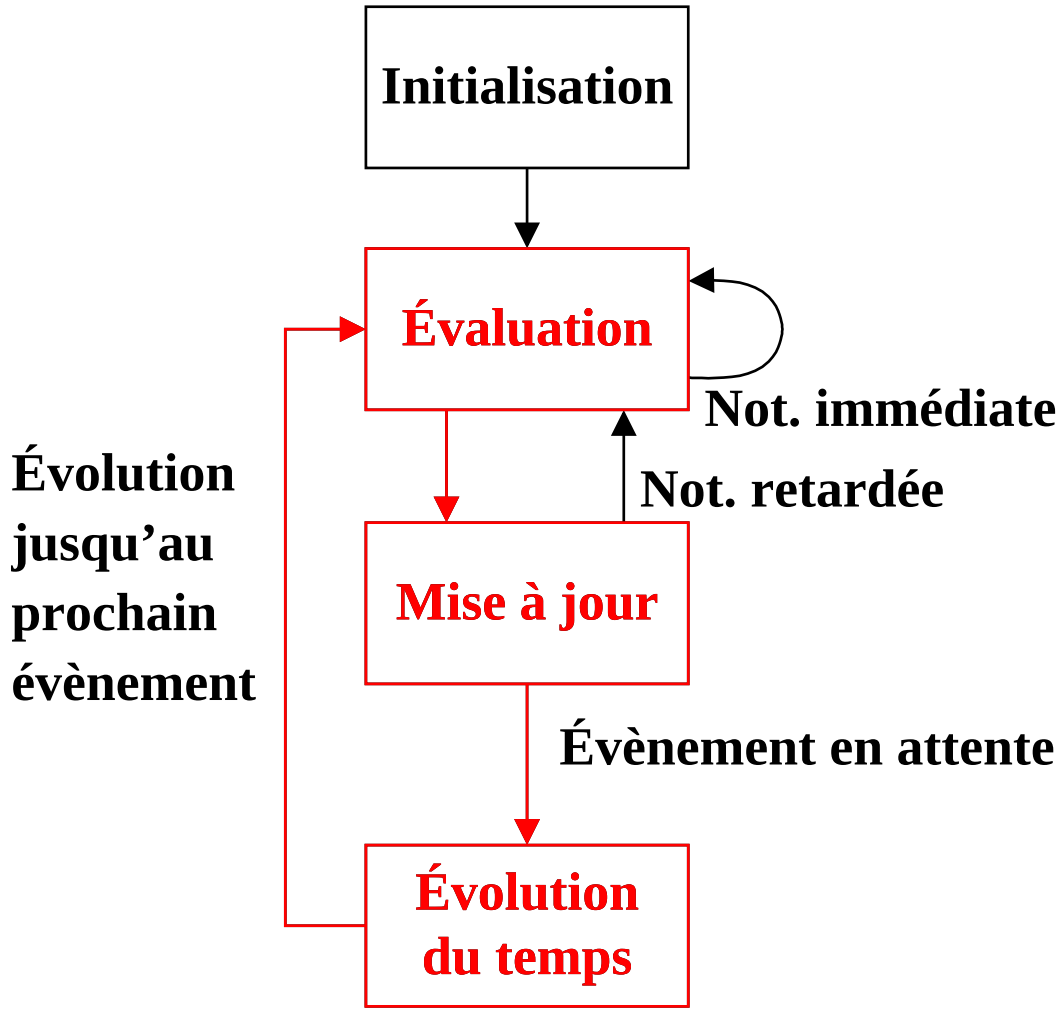
Ordonnanceur SystemC

- Évolution du temps
  - δ-pas
  - δ-cycle



Ordonnanceur SystemC

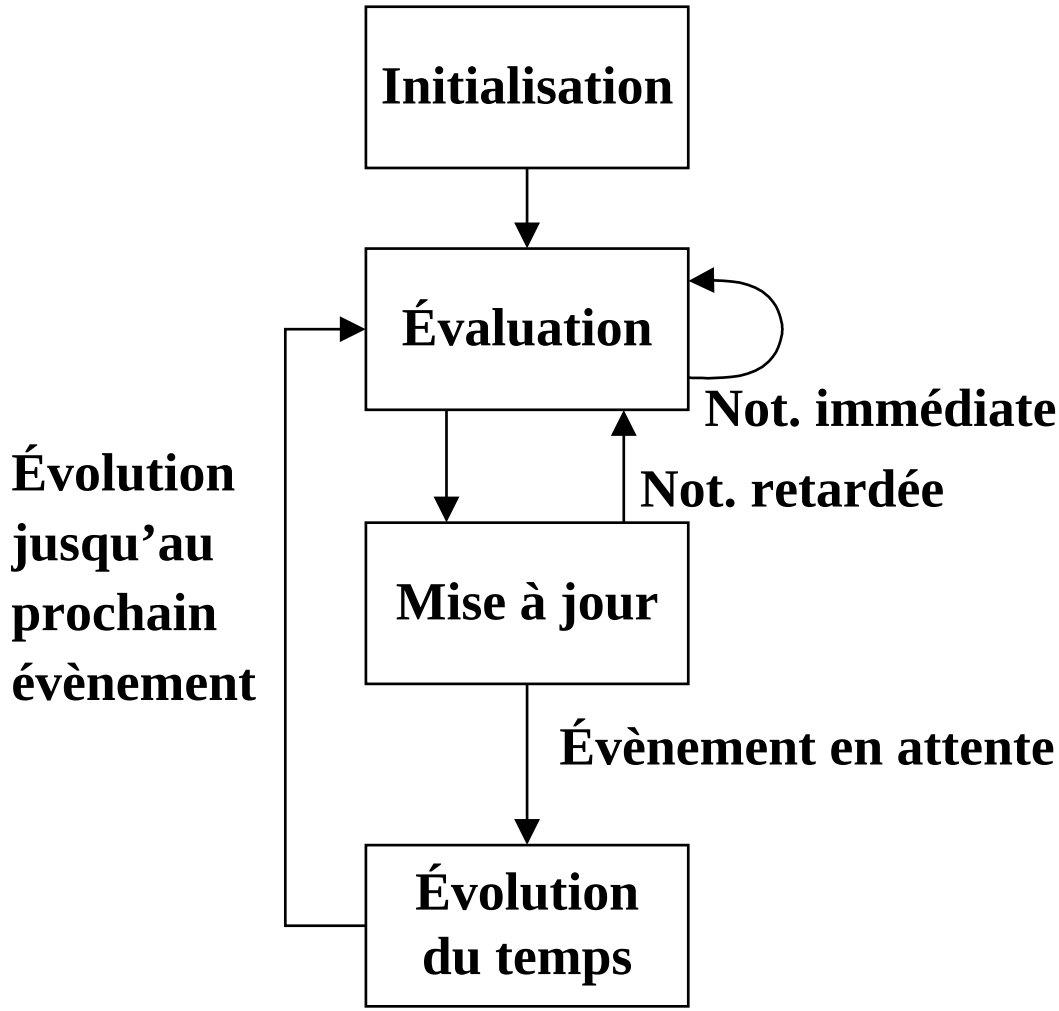
- Évolution du temps
  - δ-pas
  - δ-cycle
  - temps simulé



INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Ordonnanceur SystemC

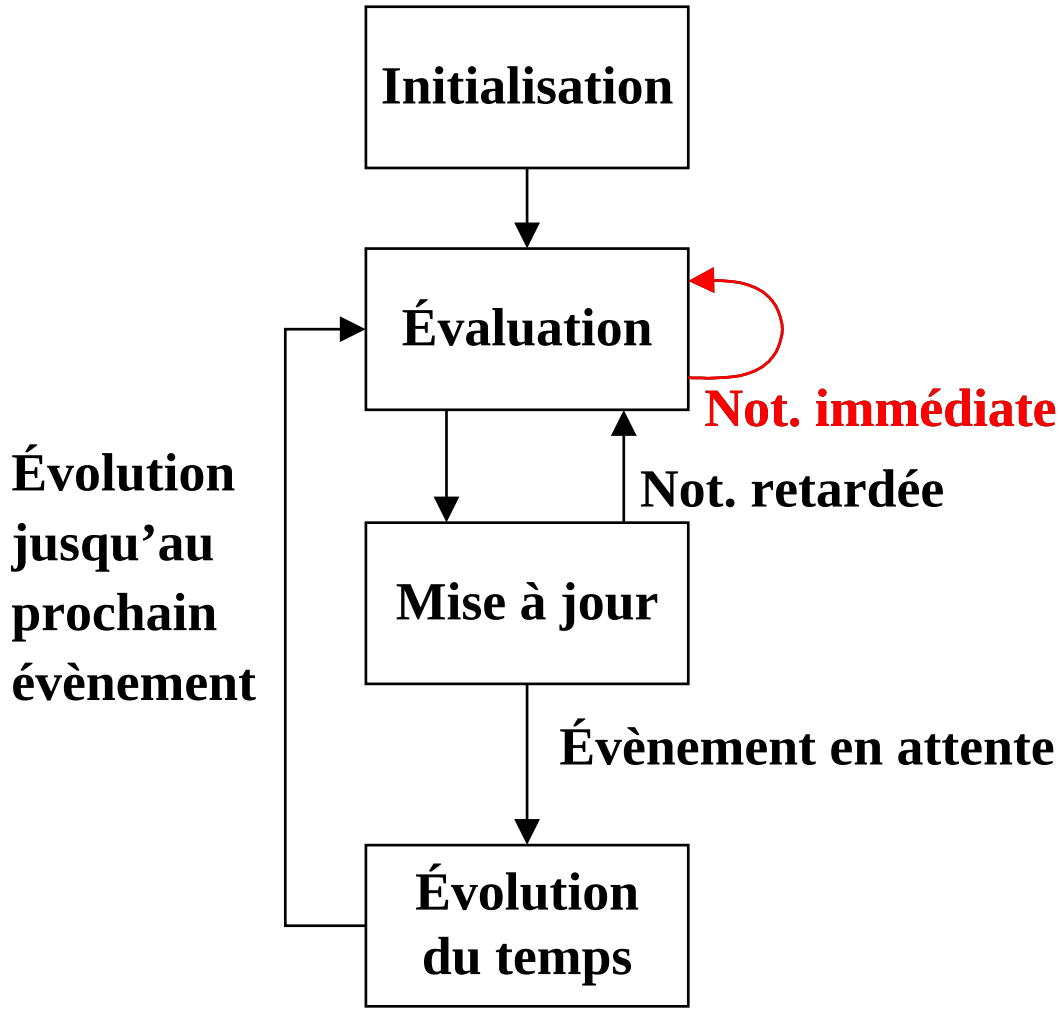
- Évolution du temps
  - δ-pas
  - δ-cycle
  - temps simulé
- Notification et sensibilité



Ordonnanceur SystemC

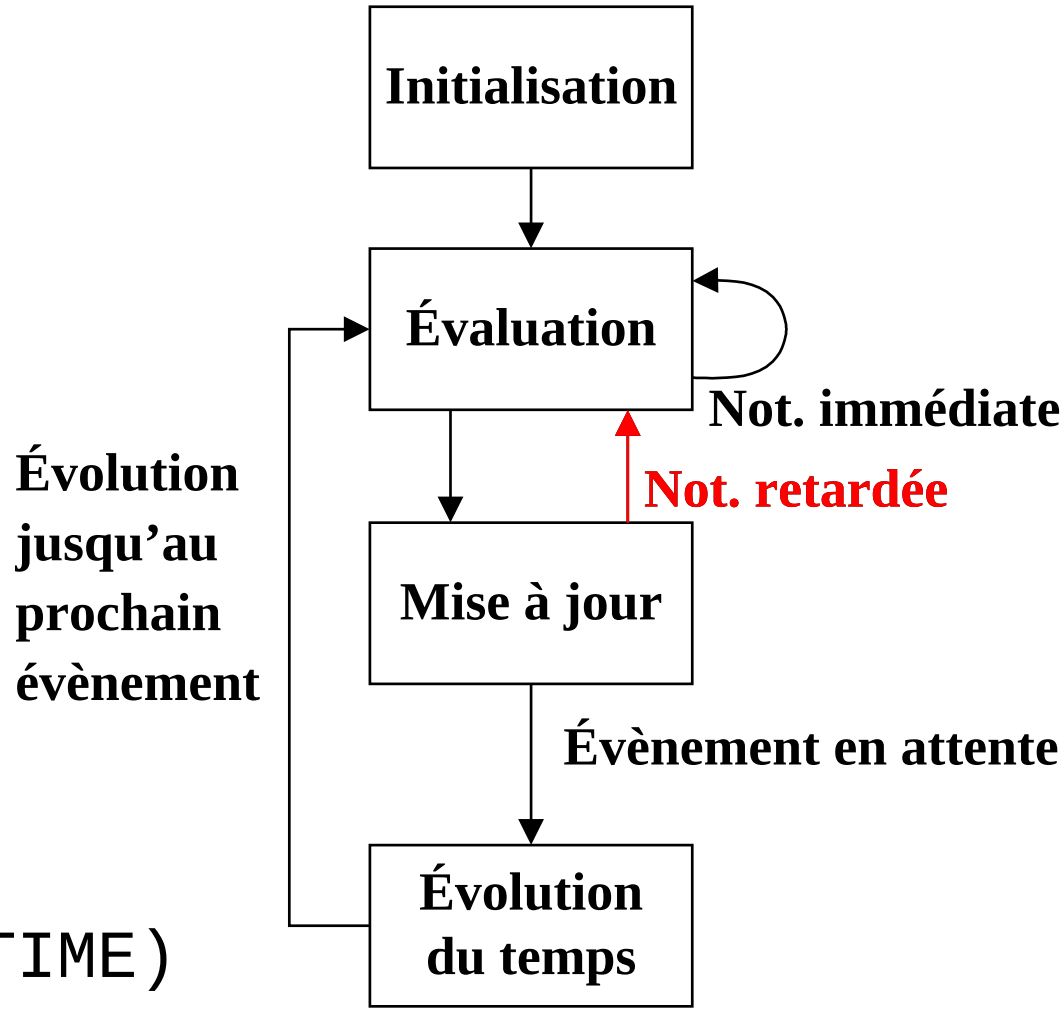
- Évolution du temps
  - δ-pas
  - δ-cycle
  - temps simulé
- Notification et sensibilité
  - immédiate

```
e.notify()
```



Ordonnanceur SystemC

- Évolution du temps
  - δ-pas
  - δ-cycle
  - temps simulé
- Notification et sensibilité
  - immédiate
  - δ-délai



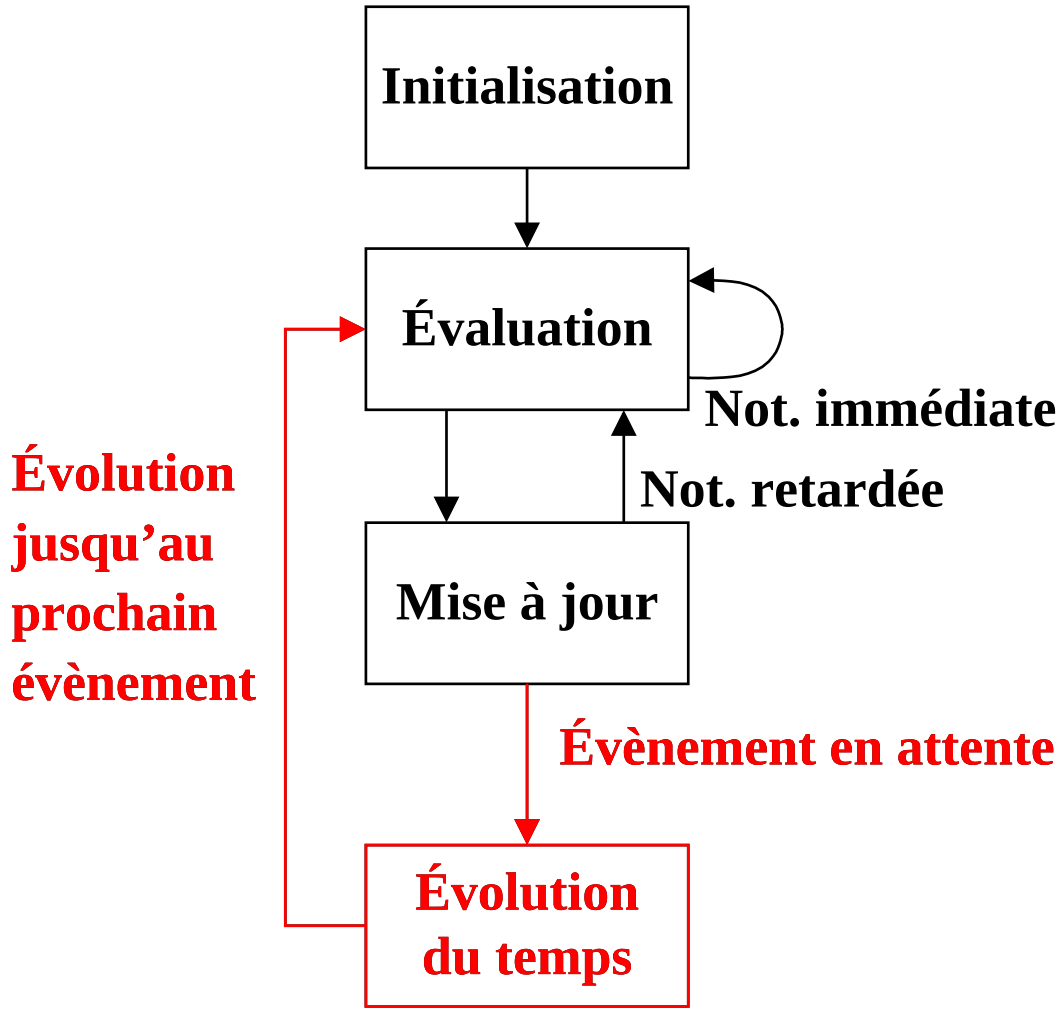

```
e.notify(SC_ZERO_TIME)
```

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Ordonnanceur SystemC

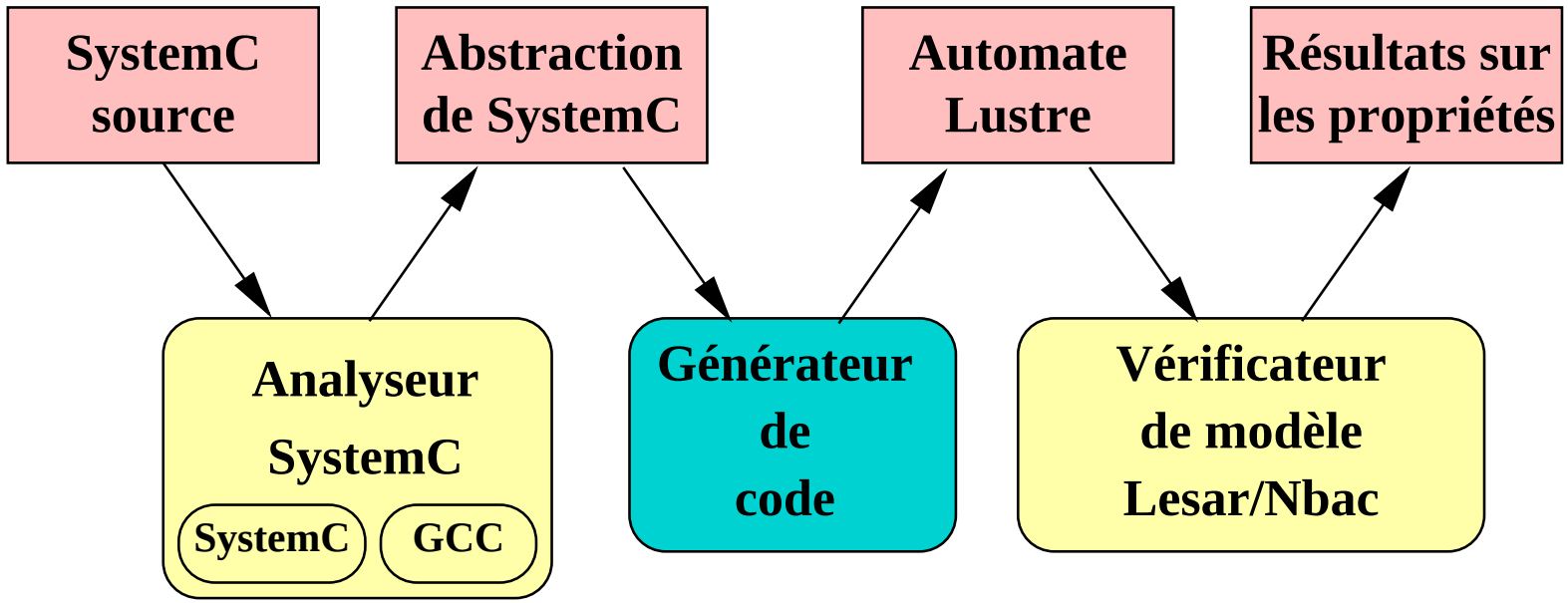
- Évolution du temps
  - δ-pas
  - δ-cycle
  - temps simulé
- Notification et sensibilité
  - immédiate
  - δ-délai
  - temporisée

```
e.notify(t)
```

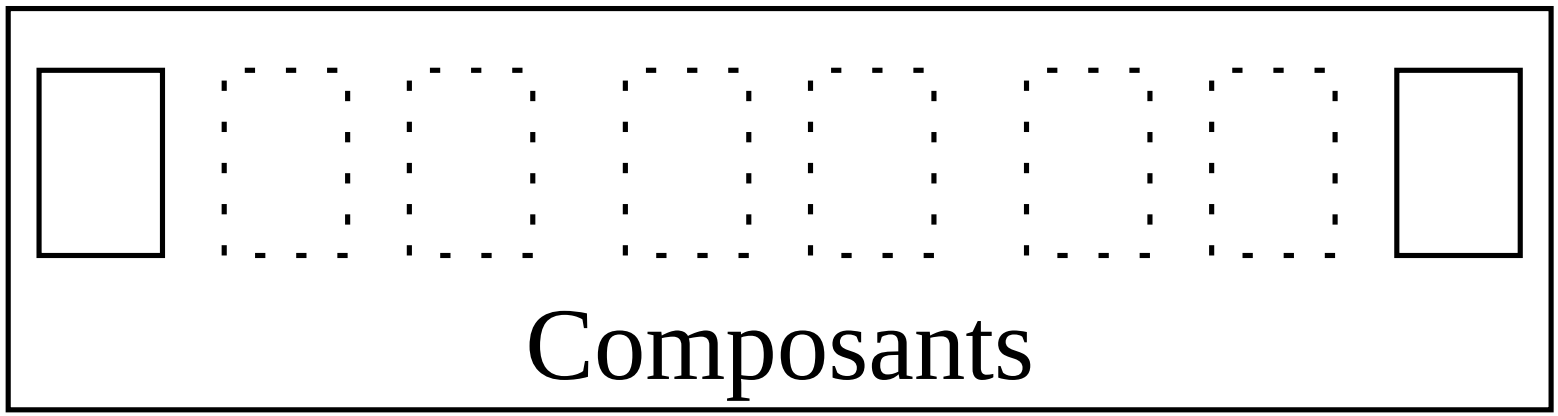


INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

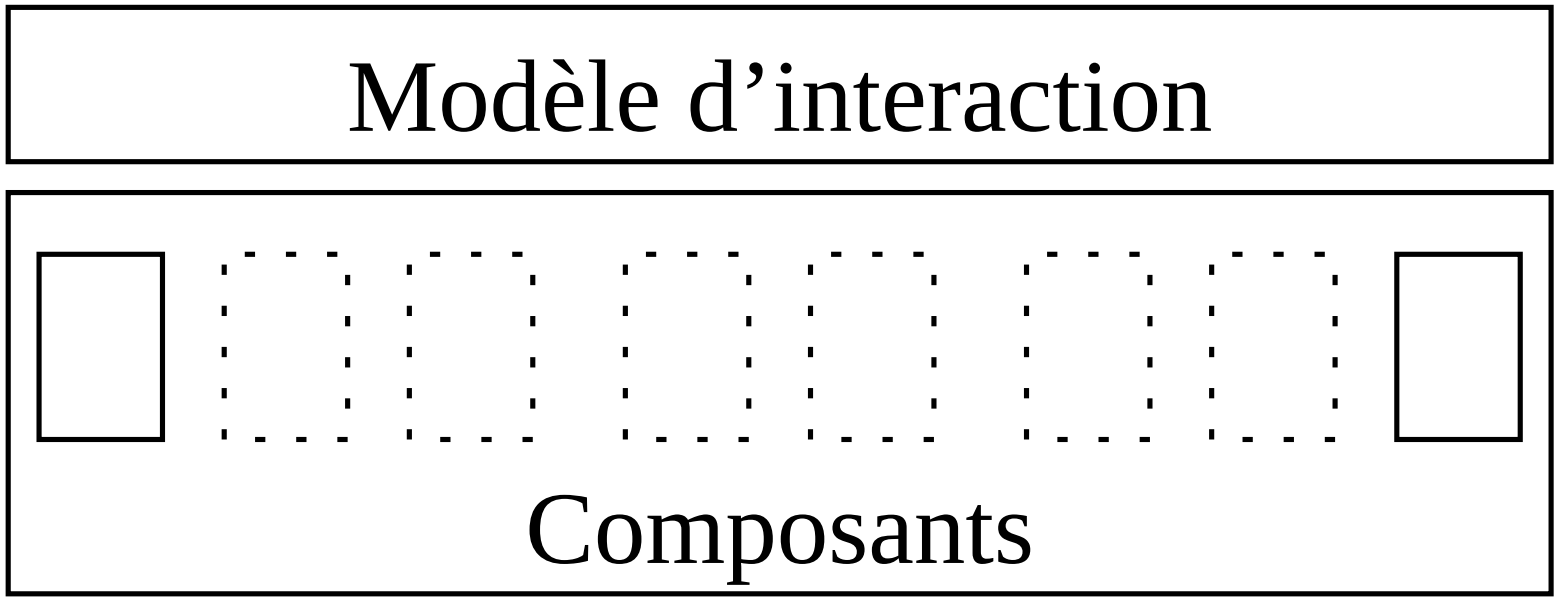
État de l'art


SystemC source
Abstraction de SystemC
Automate Lustre
Résultats sur les propriétés
Analyseur SystemC
SystemC
GCC
Générateur de code
Vérificateur de modèle Lesar/Nbac

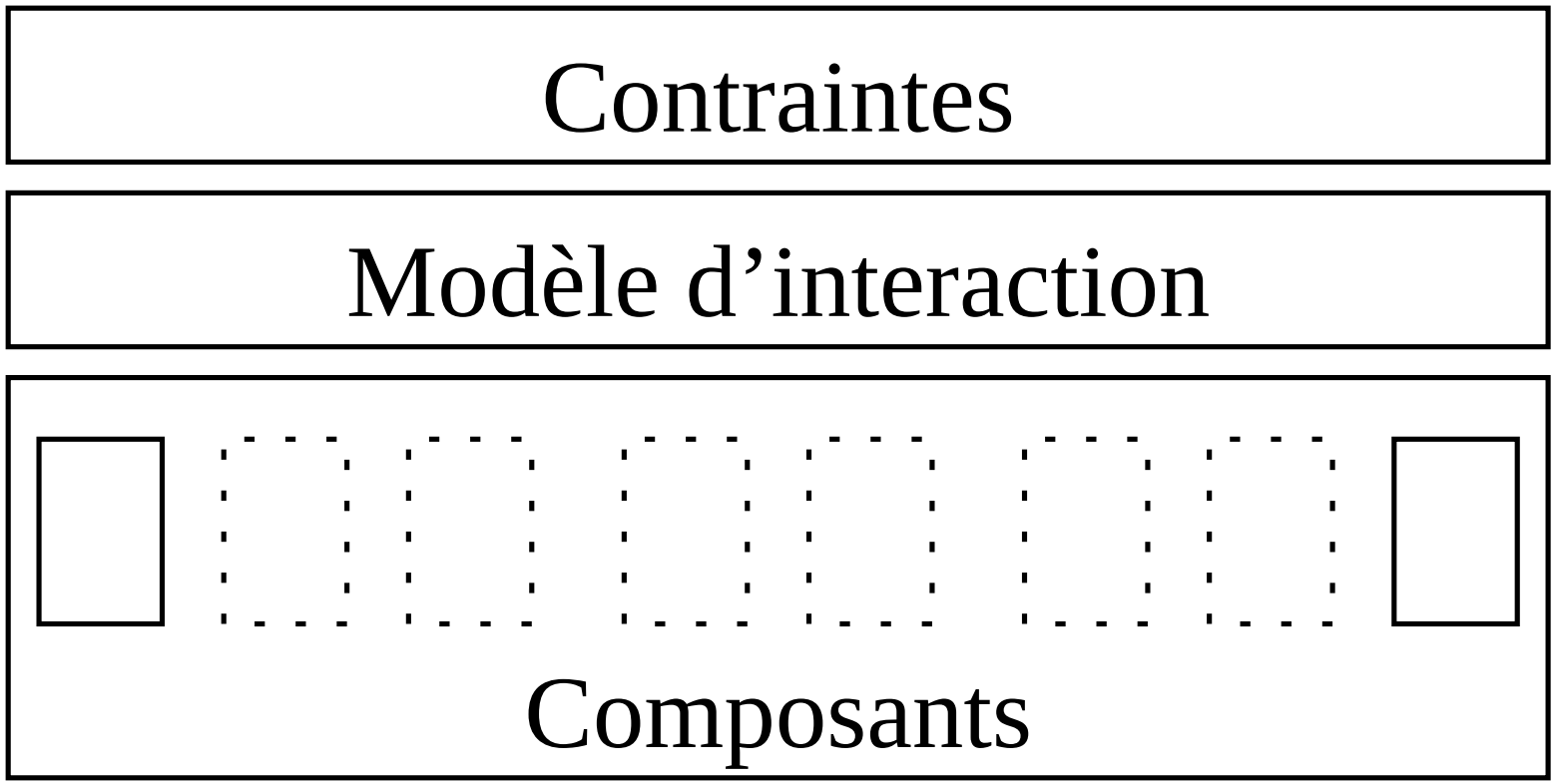
Modèle à base de composants



Modèle à base de composants



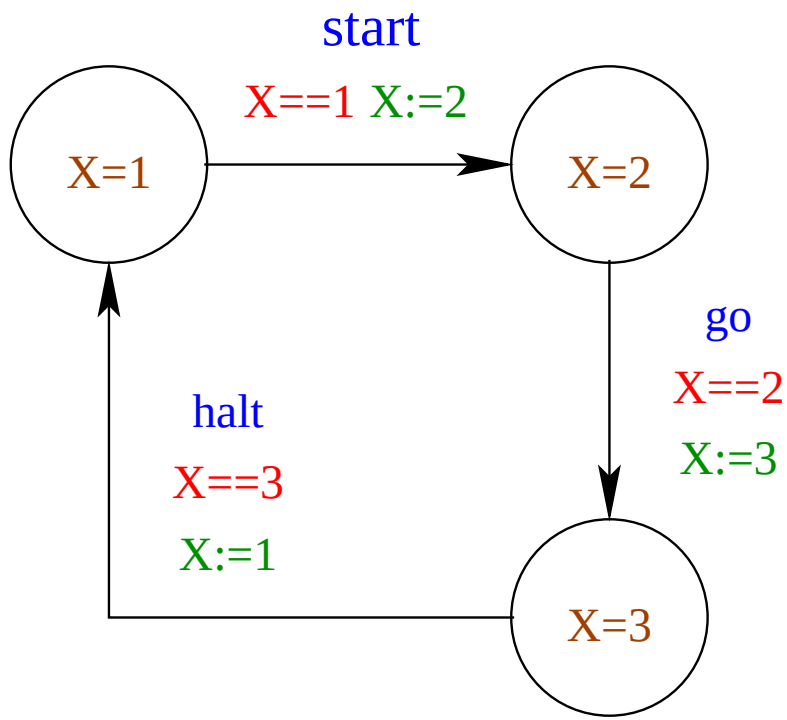
Modèle à base de composants



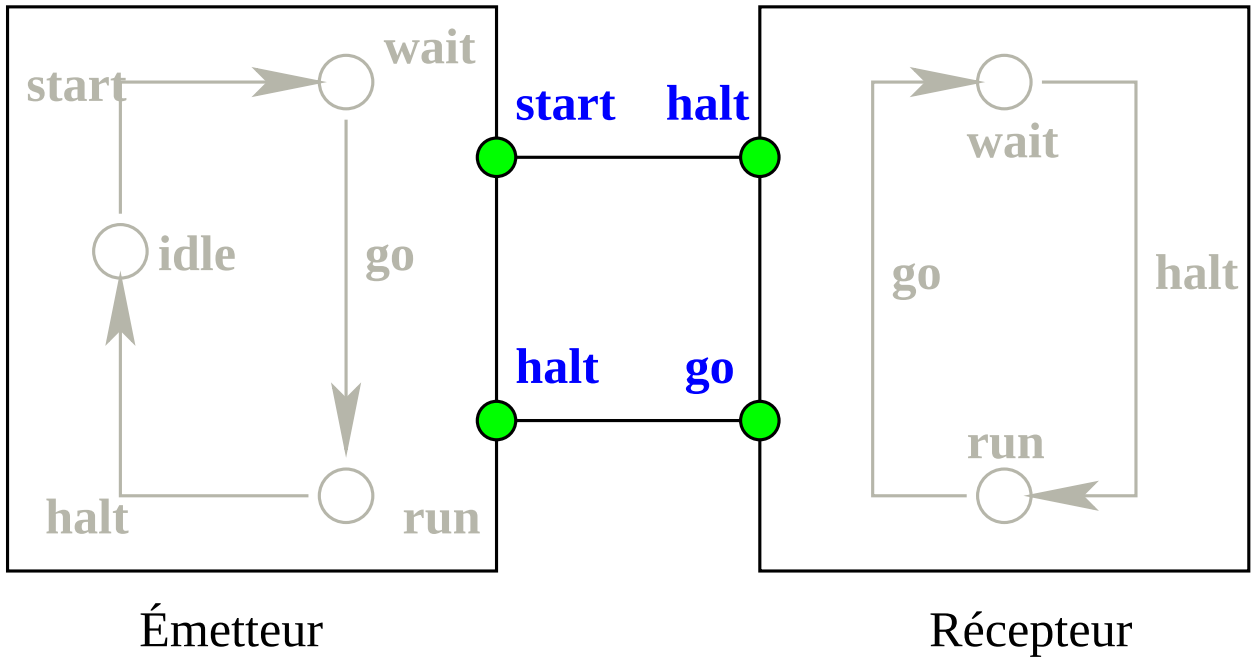
INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Les composants

X	Variables
IC	Interactions
G	Gardes sur X
F	Fonctions de transition transition



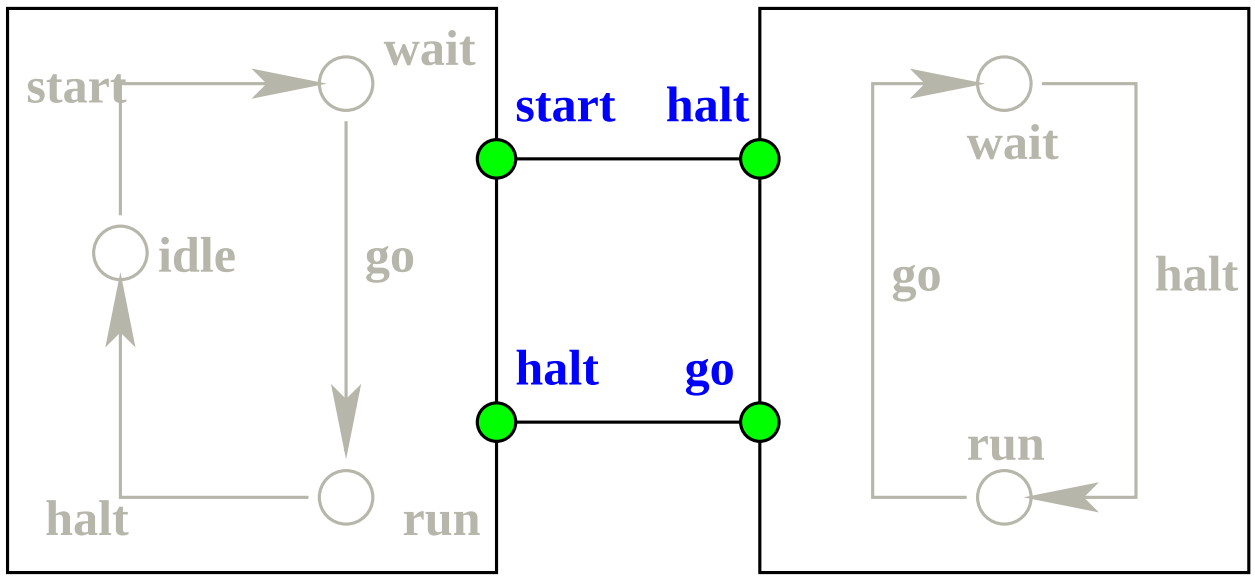
Le modèle d'interaction



- IC^{+} = {Émetteur.go, Émetteur.start|Récepteur.halt, Émetteur.halt|Récepteur.go}
- IC^{-} = {Émetteur.start, Émetteur.halt, Récepteur.go, Récepteur.halt}

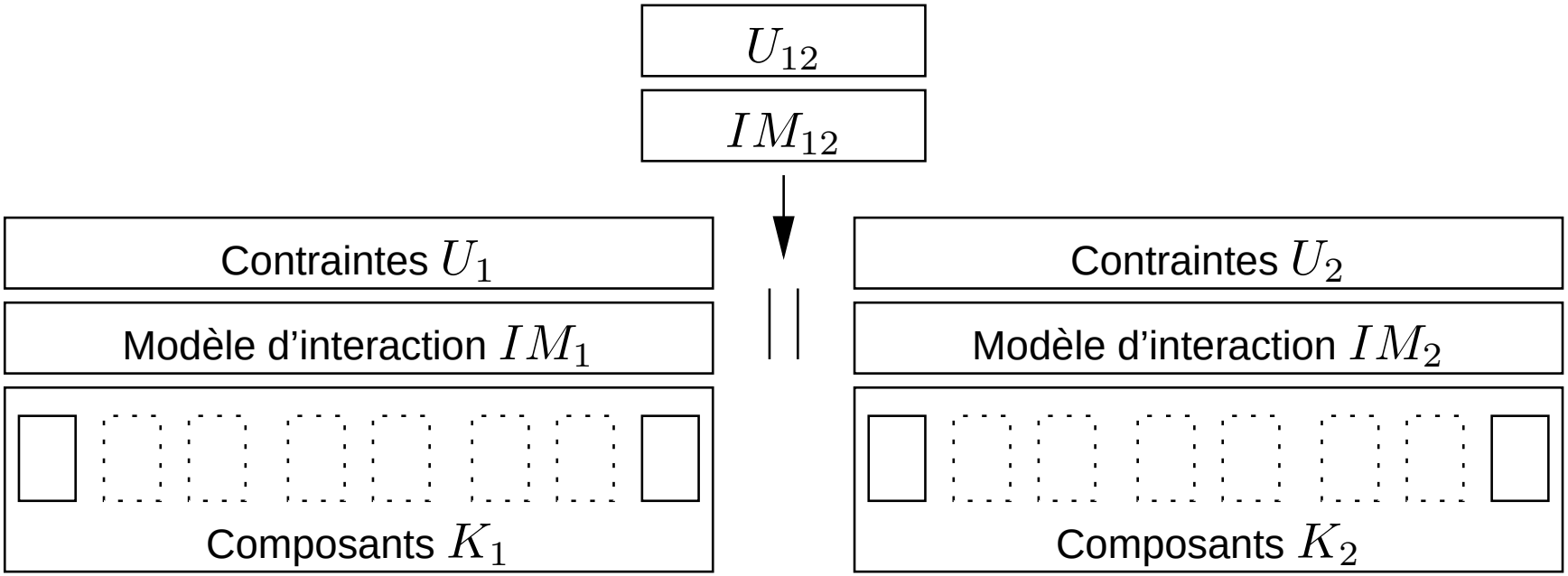
Contraintes

Toujours $\neg$ (emetteur.run $\wedge$ recepteur.run)



Émetteur Récepteur

Composition

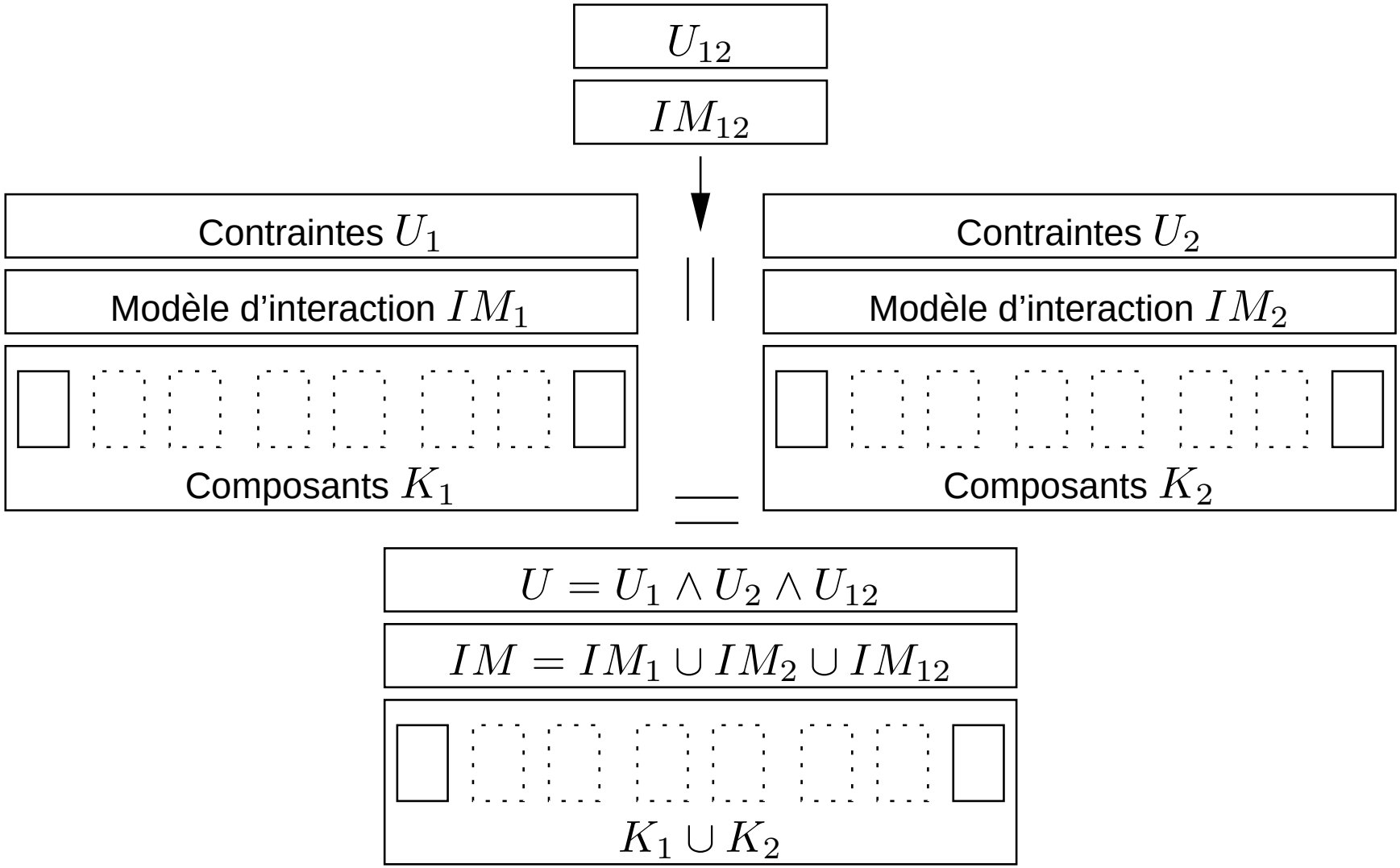


$$U = U_1 \wedge U_2 \wedge U_{12}$$

$$IM = IM_1 \cup IM_2 \cup IM_{12}$$

$$K_1 \cup K_2$$

Composition



Résultats

- Vérification compositionnelle des propriétés

Résultats

- Vérification compositionnelle des propriétés
  - Non-blocage global (système)

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Résultats

- Vérification compositionnelle des propriétés
  - Non-blocage global (système)
  - Non-blocage des composants

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Résultats

- Vérification compositionnelle des propriétés
  - Non-blocage global (système)
  - Non-blocage des composants
  - Vivacité

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Résultats

- Vérification compositionnelle des propriétés
  - Non-blocage global (système)
  - Non-blocage des composants
  - Vivacité
  - Déterminisme

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Résultats

- Vérification compositionnelle des propriétés
  - Non-blocage global (système)
  - Non-blocage des composants
  - Vivacité
  - Déterminisme
- Implémentation : Prometheus

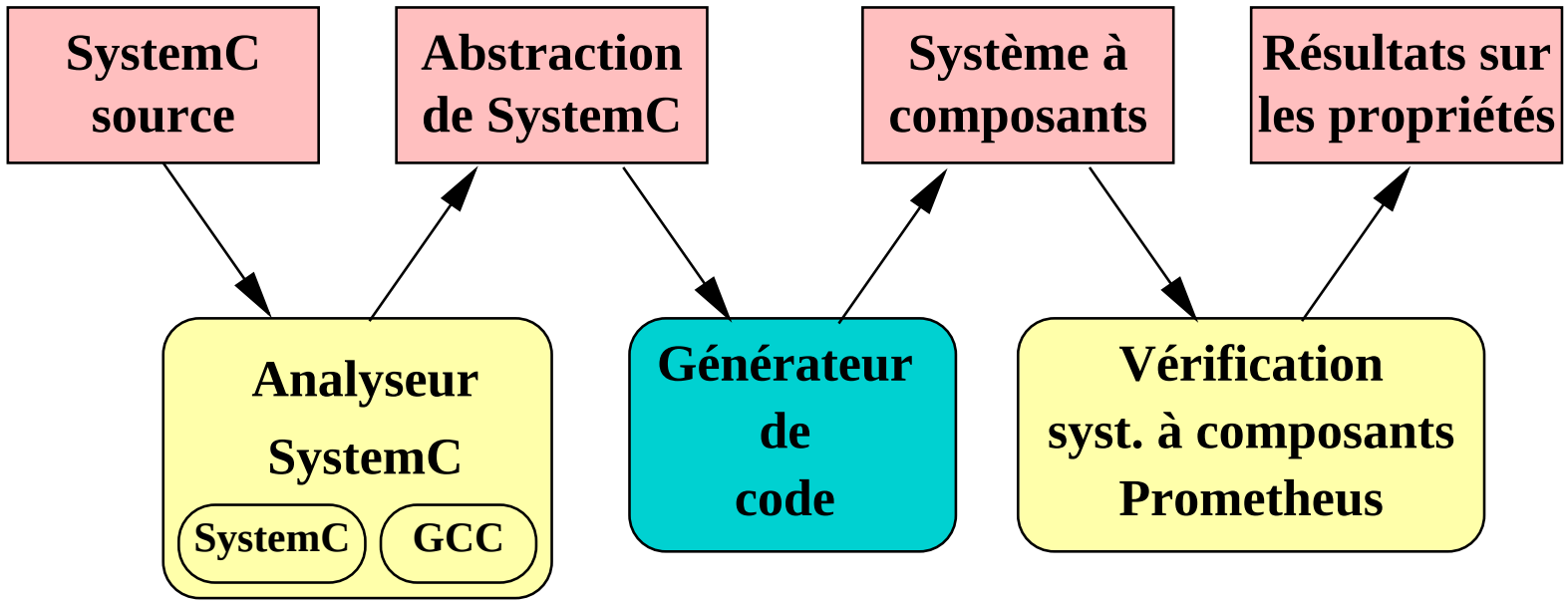
INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Plan

- Contexte
- Contribution
  - Génération du modèle
  - Exemples de traduction des primitives
- Étude de cas
- Conclusion

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Intégration du travail



Génération du modèle

- Parcours du modèle SystemC

Génération du modèle

- Parcours du modèle SystemC
  - Les objets

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Génération du modèle

- Parcours du modèle SystemC
  - Les objets
  - Leur processus

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Génération du modèle

- Parcours du modèle SystemC
  - Les objets
  - Leur processus
  - Parcours en profondeur de l'arbre abstrait associé

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Génération du modèle

- Parcours du modèle SystemC
  - Les objets
  - Leur processus
  - Parcours en profondeur de l'arbre abstrait associé
  - La liste d'interconnexions (netlist)

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Génération du modèle

- Parcours du modèle SystemC
  - Les objets
  - Leur processus
  - Parcours en profondeur de l'arbre abstrait associé
  - La liste d'interconnexions (netlist)
- Construction du modèle compositionel

Génération du modèle

- Parcours du modèle SystemC
  - Les objets
  - Leur processus
  - Parcours en profondeur de l'arbre abstrait associé
  - La liste d'interconnexions (netlist)
- Construction du modèle compositionel
  - Traduction des structures C++

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Génération du modèle

- Parcours du modèle SystemC
  - Les objets
  - Leur processus
  - Parcours en profondeur de l'arbre abstrait associé
  - La liste d'interconnexions (netlist)
- Construction du modèle compositionel
  - Traduction des structures C++
  - Traduction des primitives SystemC

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Génération du modèle

- Parcours du modèle SystemC
  - Les objets
  - Leur processus
  - Parcours en profondeur de l'arbre abstrait associé
  - La liste d'interconnexions (netlist)
- Construction du modèle compositionel
  - Traduction des structures C++
  - Traduction des primitives SystemC
  - Composition des interactions

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Génération du modèle

- Parcours du modèle SystemC
  - Les objets
  - Leur processus
  - Parcours en profondeur de l'arbre abstrait associé
  - La liste d'interconnexions (netlist)
- Construction du modèle compositionel
  - Traduction des structures C++
  - Traduction des primitives SystemC
  - Composition des interactions
  - Interactions liées à la netlist

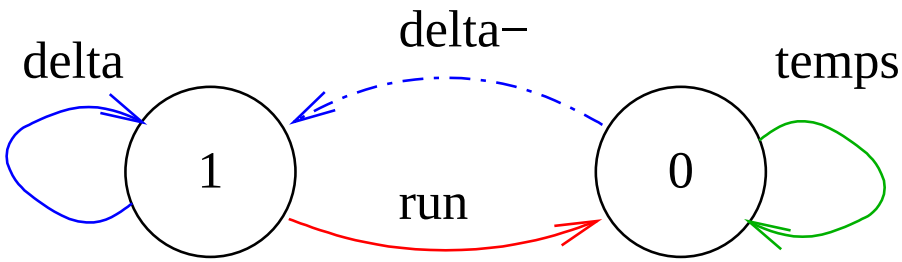
INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Génération du modèle

- Parcours du modèle SystemC
  - Les objets
  - Leur processus
  - Parcours en profondeur de l'arbre abstrait associé
  - La liste d'interconnexions (netlist)
- Construction du modèle compositionel
  - Traduction des structures C++
  - Traduction des primitives SystemC
  - Composition des interactions
  - Interactions liées à la netlist
  - Ordonnanceur

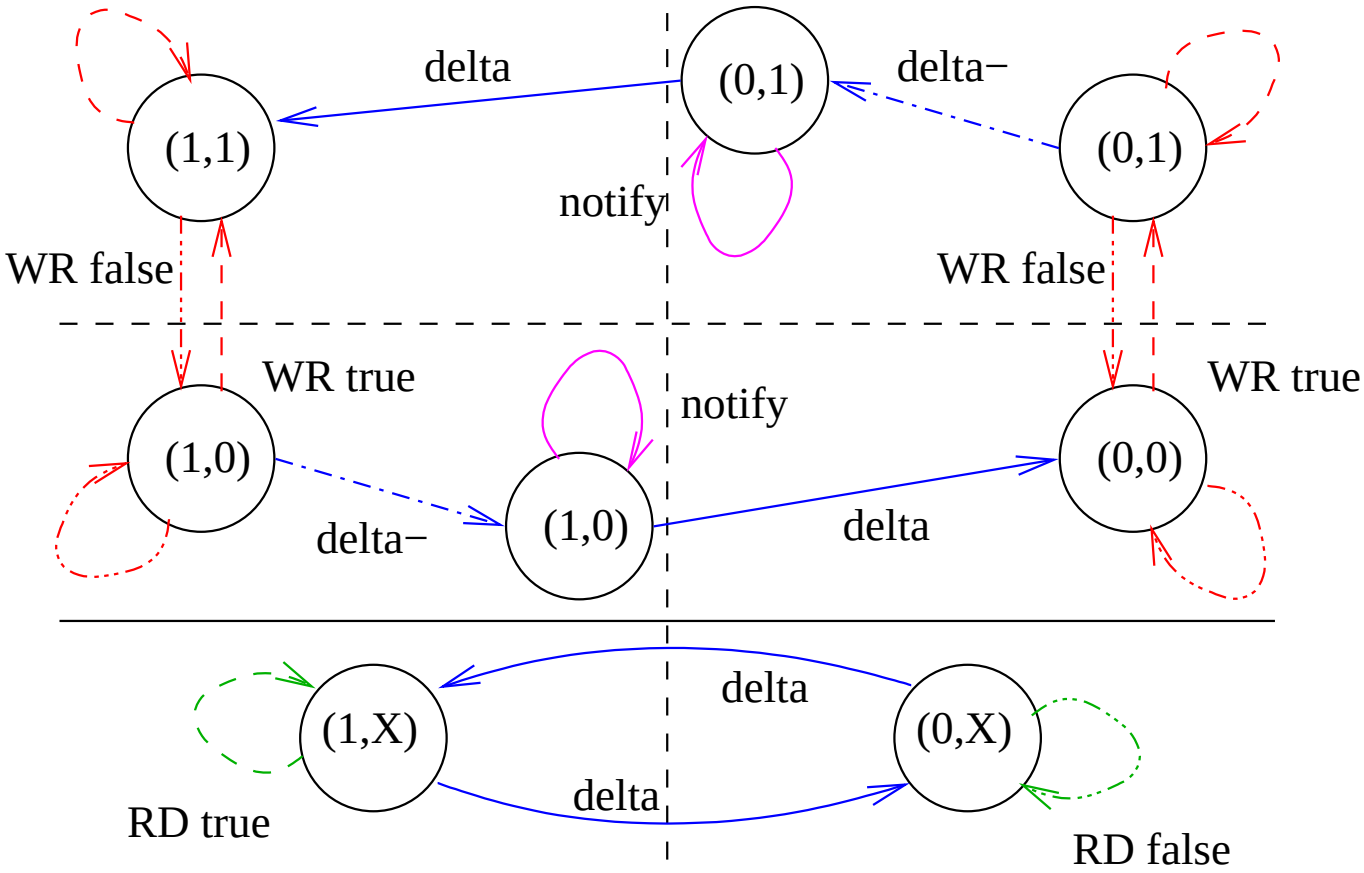
INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Traduction du modèle d'exécution



- (phase de mise à jour)
- Toutes les actions sont incomplètes
- $\alpha|sched.run \prec \beta|sched.delta$
- $\alpha|sched.temps \prec \beta|sched.delta-$

Traduction signal booléen



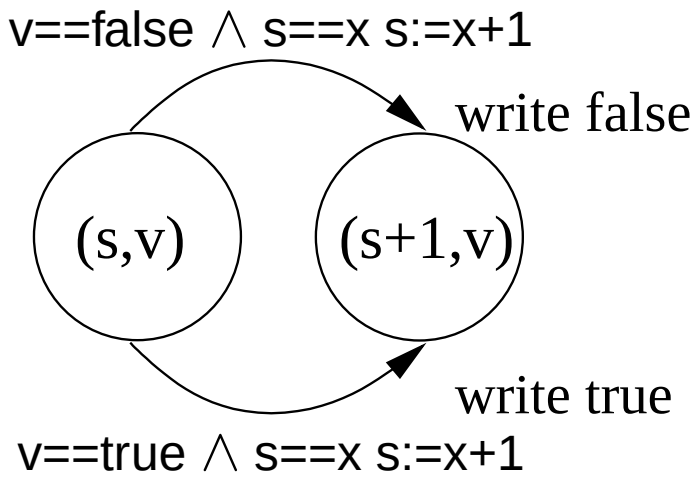
(valeur courante, valeur future)

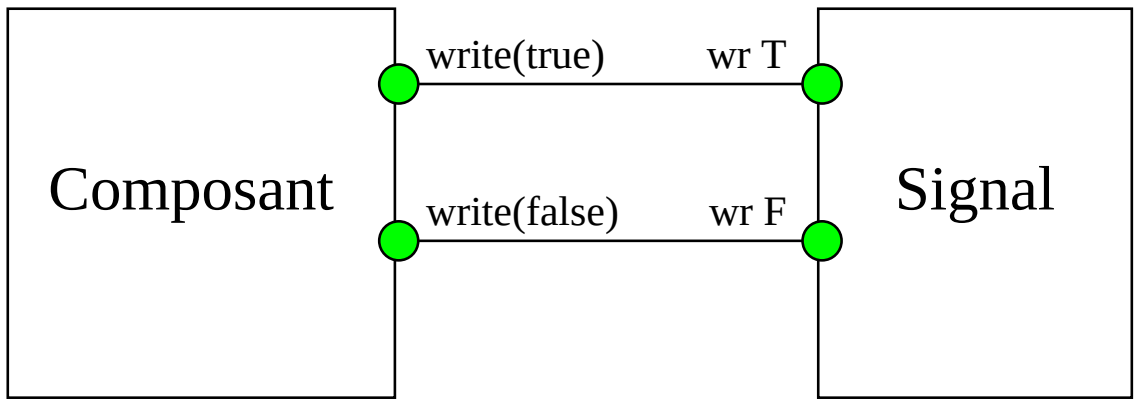
Toutes les actions sont incomplètes

$$\alpha|\sigma.delta- \prec \beta|\sigma.\{write, read\}$$

Traduction write

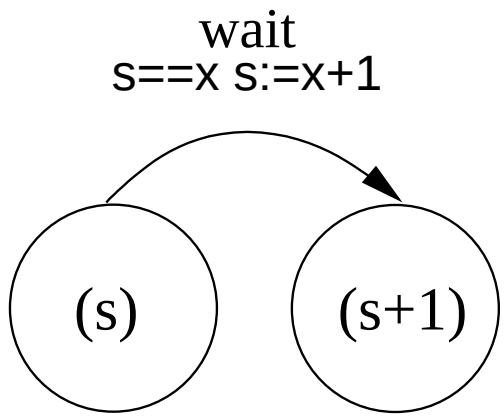
- Syntaxe : `<port>.write(<var>)`
- Interactions :
  - incomplètes
  - avec le composant Signal

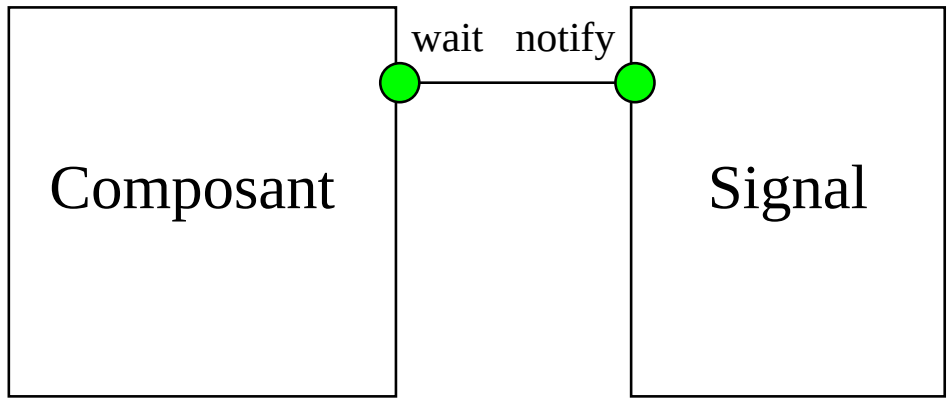




Traduction wait

- Syntaxe : `wait()`
- Interactions :
  - incomplètes
  - avec le composant Signal





Plan

- Contexte
- Contribution
- Étude de cas
- Conclusion

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Étude de cas

Émetteur

```
bool y;
y = true;
while (true) {
  my_output.write(y);
  wait(10, SC_US);

  y = false;
  wait(10, SC_MS);

  my_output.write(false);
  wait(10, SC_US);

}
```

Récepteur

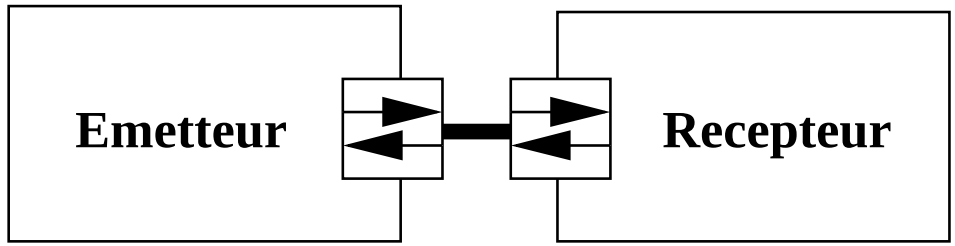
```
while(true) {
    wait();
    wait();
  }
```

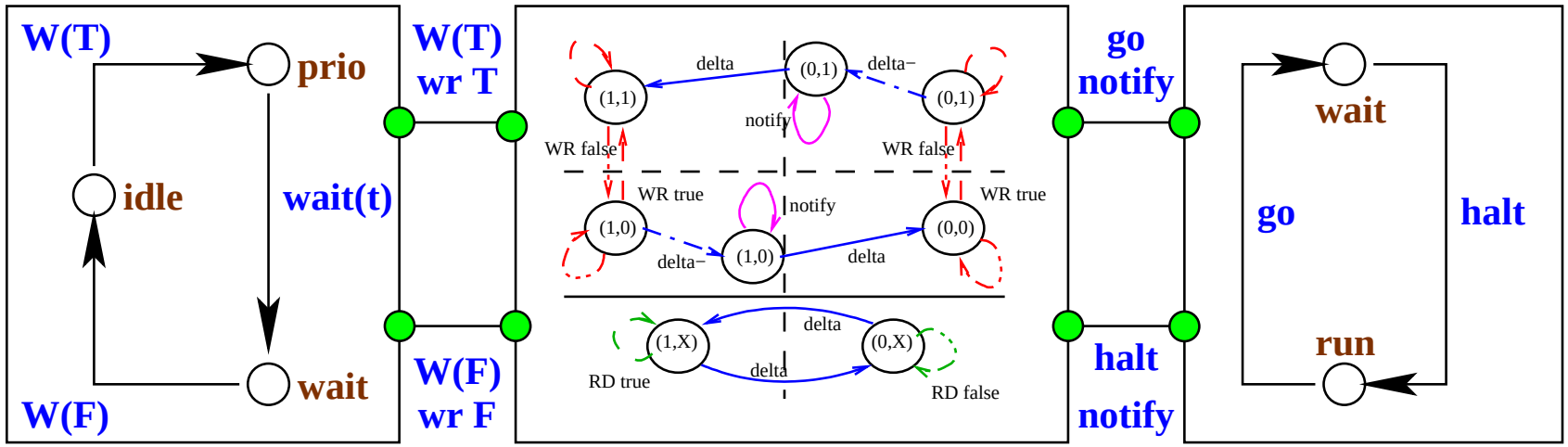
Architecture

```
emitter  *my_emitter =
 new emitter("my_emitter");
receiver *my_receiver =
 new receiver("my_receiver");
sc_signal<bool> wire;

my_receiver->my_input(wire);
my_emitter->my_output(wire);

wire.write(false);
```

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

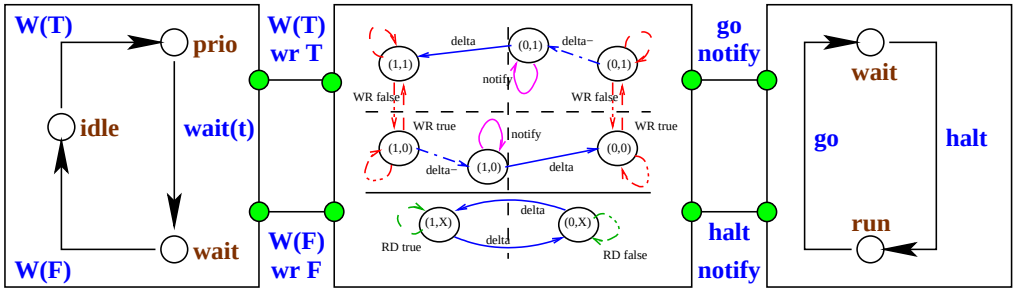
Étude de cas





Emetteur Signal Récepteur

Étude de cas

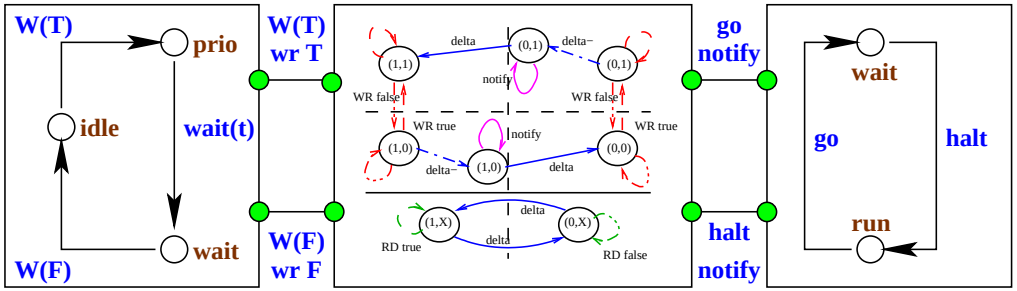


Emetteur Signal Récepteur

Diagnostique de Prometheus :

- Le système composé est sans blocage

Étude de cas

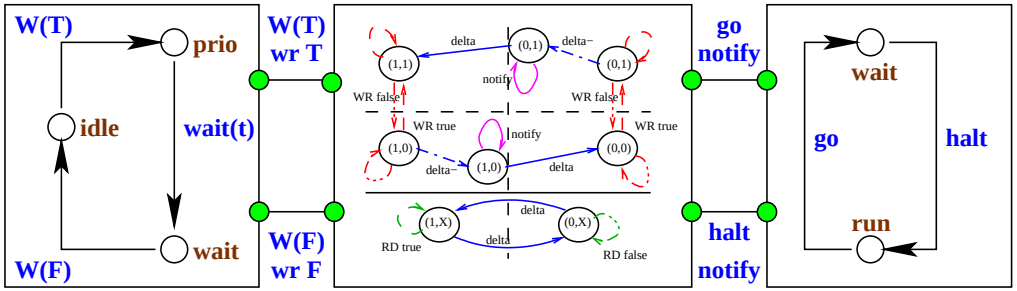


Emetteur Signal Récepteur

Diagnostique de Prometheus :

- Le système composé est sans blocage
- Le signal est sans blocage

Étude de cas

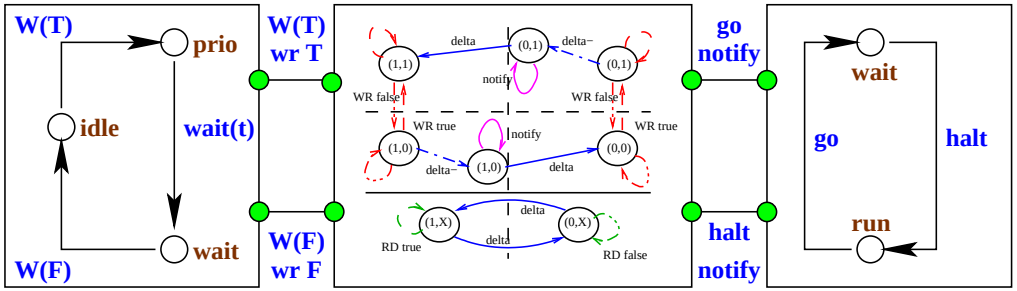


Emetteur Signal Récepteur

Diagnostique de Prometheus :

- Le système composé est sans blocage
- Le signal est sans blocage
- L'émetteur est sans blocage

Étude de cas

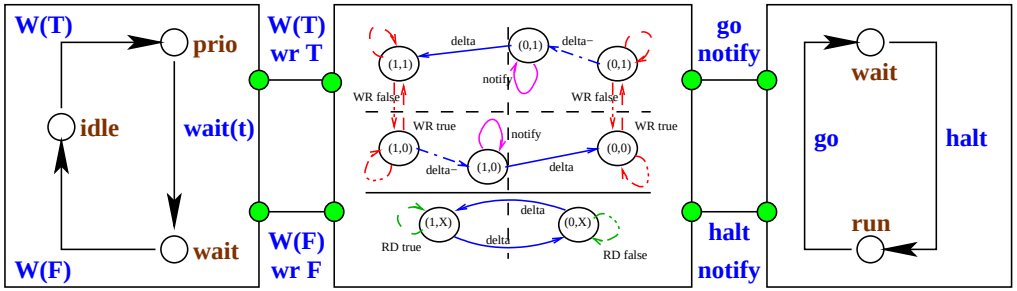


Emetteur Signal Récepteur

Diagnostique de Prometheus :

- Le système composé est sans blocage
- Le signal est sans blocage
- L'émetteur est sans blocage
- Le récepteur est sans blocage

Étude de cas

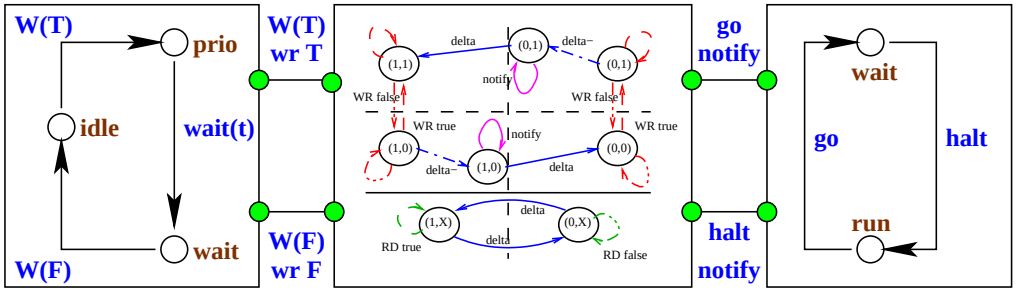


Emetteur Signal Récepteur

Diagnostique de Prometheus :

- Le système composé est sans blocage
- Le signal est sans blocage
- L'émetteur est sans blocage
- Le récepteur est sans blocage
- Ils sont vivaces $\Rightarrow$ exécution infinie

Étude de cas



Emetteur Signal Récepteur

Diagnostique de Prometheus :

- Le système composé est sans blocage
- Le signal est sans blocage
- L'émetteur est sans blocage
- Le récepteur est sans blocage
- Ils sont vivaces $\Rightarrow$ exécution infinie
- Le système est localement confluent et déterministe

Conclusion

- Proposition d'une méthode de traduction de modèle SystemC vers un modèle de système à transitions

Conclusion

- Proposition d'une méthode de traduction de modèle SystemC vers un modèle de système à transitions
- Développement d'une implémentation

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Conclusion

- Proposition d'une méthode de traduction de modèle SystemC vers un modèle de système à transitions
- Développement d'une implémentation
- Préservation de la structure à composants

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Conclusion

- Proposition d'une méthode de traduction de modèle SystemC vers un modèle de système à transitions
- Développement d'une implémentation
- Préservation de la structure à composants
- Vérification de propriétés sur ce modèle

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Conclusion

- Proposition d'une méthode de traduction de modèle SystemC vers un modèle de système à transitions
- Développement d'une implémentation
- Préservation de la structure à composants
- Vérification de propriétés sur ce modèle
- Coopération : ST Microelectronics

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Conclusion

- Proposition d'une méthode de traduction
  de modèle SystemC
  vers un modèle de système à transitions
- Développement d'une implémentation
- Préservation de la structure à composants
- Vérification de propriétés sur ce modèle
- Coopération : ST Microelectronics
- Découverte de SystemC et de la vérification formelle

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Perspectives

- Gestion des modules multi-processus

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Perspectives

- Gestion des modules multi-processus
- Gestion des événements

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Perspectives

- Gestion des modules multi-processus
- Gestion des événements
- Gestion des variables non booléennes

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Perspectives

- Gestion des modules multi-processus
- Gestion des événements
- Gestion des variables non booléennes
- Gestion de structures C++/SystemC/TLM supplémentaires

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Perspectives

- Gestion des modules multi-processus
- Gestion des événements
- Gestion des variables non booléennes
- Gestion de structures C++/SystemC/TLM supplémentaires
- Expérimenter le passage à l'échelle
  $\Rightarrow$ Application à un cas réel

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR

Des questions ?

Merci de votre attention

INRIA RHÔNE-ALPES POP ART ESISAR