« Model Driven Engineering » pour la robotique mobile

Tewfik Ziadi

Tewfik.ziadi@lip6.fr

Motivations

- Comment programmer un robot mobile pour réaliser une mission?
  - Exemple de mission :

    « *…avancer, retourner si un obstacle est rencontré*.. »
  - Exemple le robot **wifibot**

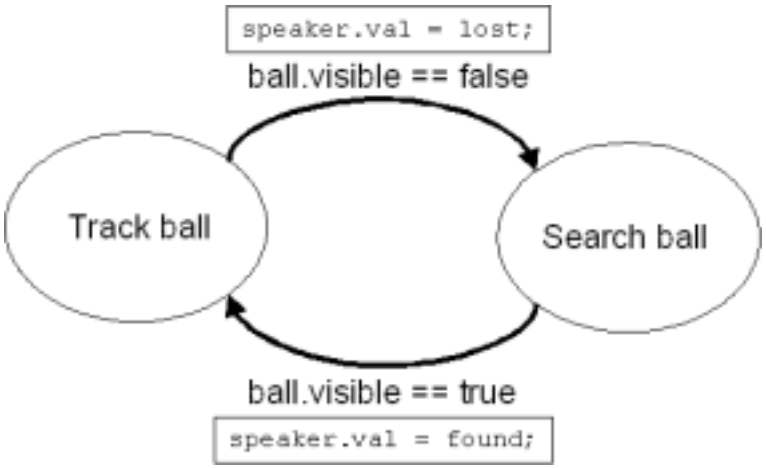
Langages de Programmation

- Des langages classiques (généralistes)
  - Assembleur, C, C++, Java
- Des langages de robotiques plus spécifiques
  - RobotC.
  - Urbiscript (la plateforme URBI)
  - Orocos
  - ..

URBI (Universal Real-time Behavior Interface)

- URBI [Baillie 05].
  - Une plateforme de développement expérimentale pour les robots.
  - Un langage de script et un interpréteur (**urbiscript**).
  - Structures de contrôles et gestion des événements.

urbiscript




```
// Etat de suivi
function suis() {
  whenever (ball.visible) {
    headPan  = headPan + ball.a * camera.xfov * ball.x &
    headTilt = headTilt+ ball.a * camera.yfov * ball.y;
  }
};

// Etat de recherche
function cherche() {
  period = 10s;
  {
    headPan'n  = 0.5 smooth:1s &
    headTilt'n = 1   smooth:1s
  } |
  {
    headPan'n  = 0.5 sin:period ampli:0.5 &
    headTilt'n = 0.5 cos:period ampli:0.5
  }
};
```

urbiscript

```
// Transitions
at (ball.visible == true) {
  stop recherche;
  speaker = trouvee;
  suivi: suis();
};

at (ball.visible ==false ) {
  stop suivi;
  speaker = perdue;
  recherche: cherche();
};
```

Exemple fourni avec OROCOS (Open Robot Control Software)

- Evitement d'obstacles avec un capteur Laser (suite)

Spécifique à ROS/OROCOS

```
void updateHook(){
sensor_msgs::LaserScan msg;
geometry_msgs::Twist cmd;
if(NewData == inport.read(msg)){
   bool halt = false;
   for (int i = min; i < max; i++){
      if (msg.range < range_max){
         halt = true; break;
       }
   }
if(halt){
   double midA, midB;
   midA = std::accumulate(msg.ranges.begin(), msg.ranges.end() – 45,
0);
   midB = std::accumulate(msg.ranges.begin()+45, msg.ranges.end(),0 ;
   if(midA > midB){  cmd.angular.z = 1; }
   else {      cmd.angular.z = - 1;    }
   else cmd.linear.x = 1;
}
outport.write(cmd);
ORO_CREATE_COMPONENT(AvoidObstacleWithLaser)
```

Action

Perception: Détection d'obstacles

Contrôle: Evitement d'obstacle

Remplacement du capteur Laser par 2 capteurs Infrarouges

Code en fonction d'un capteur Laser

```
#include <sensor_msgs/LaserScan.h>
#include<geometry_msgs/Twist.h>
Class AvoidObstacleWithLaser: public
RTT:TaskContext{
private:
        InputPort<sensor_msgs::LaserScan> laser_port;
        OutputPort<geometry_msgs::Twist> outport;
        double min, max, max_range;
public:
AvoidObstaclesWithLaser(const std::string &name):
TaskContext(name), laser_port(''laser_in''),
outport(''twist ''){
        ports()->addPort(laser_port);
        ports()->addPort(outport);
        min = 75;
        max = 105;
        Max_range = 2.0;
}
~AvoidObstaclesWithLaser();
```

Code en fonction de 2 capteurs infraroug

```
#include <sensor_msgs/Range.h>
#include<geometry_msgs/Twist.h>
Class AvoidObstacleWithIR: public RTT:TaskContext{
private:
        InputPort<sensor_msgs::Range> IR_left_port;
        InputPort<sensor_msgs::Range> IR_right_port;
        OutputPort<geometry_msgs::Twist> outport;
        double max_range;
public:
AvoidObstaclesWithIR(const std::string &name):
TaskContext(name), IR_left_port(''left''),
IR_right_port(''left''),
outport(''twist ''){
        ports()->addPort(IR_left_port);
        ports()->addPort(IR_right_port);
        ports()->addPort(outport);
        max_range = 2.0;
}
~AvoidObstaclesWithIR();
```

Remplacement du capteur Laser par 2 capteurs Infrarouges

Code en fonction d'un capteur Laser

```
void updateHook(){
sensor_msgs::LaserScan msg;
geometry_msgs::Twist cmd;
if(NewData == inport.read(msg)){
    bool halt = false;
    for (int i = min; i < max; i++){
       if (msg.range < range_max){
          halt = true; break;
        }
    }
if(halt){
    double midA, midB;
    midA = std::accumulate(msg.ranges.begin(),
msg.ranges.end() – 45, 0);
    midB = std::accumulate(msg.ranges.begin()+45,
msg.ranges.end(),0);
    if(midA > midB){            cmd.angular.z = 1; }
    else {        cmd.angular.z = - 1;    }
    else cmd.linear.x = 1;
}
outport.write(cmd);
ORO_CREATE_COMPONENT(AvoidObstacleWithLaser)
```

Code en fonction de 2 capteurs infraroug

```
void updateHook(){
sensor_msgs::Range msg_left;
sensor_msgs::Range msg_right;
geometry_msgs::Twist cmd;
double ir_left = -1.0, ir_right = -1.0;
if(NewData == IR_left_port.read(msg_left))
                ir_left = msg_left.range;
if(NewData == IR_right_port.read(msg_left))
                ir_right = msg_right.range;
bool halt = false;
if(ir_left > 0.0 && ir_left < max_range ||
                ir_right > 0.0 && ir_right < max_range)
                halt = true;
If(halt){
if(ir_left> ir_right){            cmd.angular.z = 1; }
   else {        cmd.angular.z = - 1;    }
   else cmd.linear.x = 1;
}
outport.write(cmd);
ORO_CREATE_COMPONENT(AvoidObstacleWithIR)
```

Exemple fourni avec OROCOS (Open Robot Control Software)

- Evitement d'obstacles avec un capteur Laser

Spécifique à ROS/OROCOS

Déclaration des ports et des attributs

Ajout des ports et initialisation des attributs

```
#include <sensor_msgs/LaserScan.h>
#include<geometry_msgs/Twist.h>
Class AvoidObstacleWithLaser: public RTT:TaskContext{
private:
        InputPort<sensor_msgs::LaserScan> laser_port;
        OutputPort<geometry_msgs::Twist> outport;
        double min, max, max_range;
public:
AvoidObstaclesWithLaser(const std::string &name): TaskContext(name),
laser_port(''laser_in''),
outport(''twist '')){
        ports()->addPort(laser_port);
        ports()->addPort(outport);
        min = 75;
        max = 105;
        max_range = 2.0;
}
~AvoidObstaclesWithLaser();
```

Constats

Absence d'abstraction et de capitalisation

- Le code de la mission est spécifique à une simulation sous webots + e-puck
- Même mission pour un autre type de robot mobile (e.g.; AIBO)
- Même mission pour un robot réel comme wifobot.

Le roboticien n'est pas un informaticien

- Il faut pas qu'il s'occupe des détails liés au langages de programmation.
- Il doit seulement trouver ses concepts métier.

Utilisation de MDE

- Utilisation de modèles pour la spécification des missions
- Implémentation des générateurs de code

- **Dans ce cours** : deux solutions
  - Une solution utilisant les modèles comportementaux d'UML.
  - Une solution plus complète proposant un DSML pour la robotique mobile.

UML pour la robotique (cf. article ISORC2009)

- Utiliser les diagrammes de séquence et les machines à états pour spécifier la mission
- Génération de code vers URBI
- Application sur le robot AIBO

Machines à états vs. diagrammes de séquence

- Les machines à états:
  - est un formalisme adapté pour la modélisation du comportement des robots.
    - Proche de code : ex. on peut les implémenter facilement avec urbiscript..
  - Mais modéliser directement une machine à états n'est pas intuitive.
- Les diagrammes de séquence
  - Ils sont intuitifs et proches à l'utilisateur
  - Mais surtout pour décrire les exigences et pas pour la génération de code.

Modélisation du comportement

- Utiliser les diagrammes de séquence (DS) pour spécifier les mission d'un robot.
- Générer automatique des machines à états à partir de DS.
- Générer de code à partir des machines à états.

L’approche

- Phase 1:

  Diagrammes de séquence d’UML → machines à états.

- Phase 2

  Machines à états → Code

- Application au robot **AIBO**

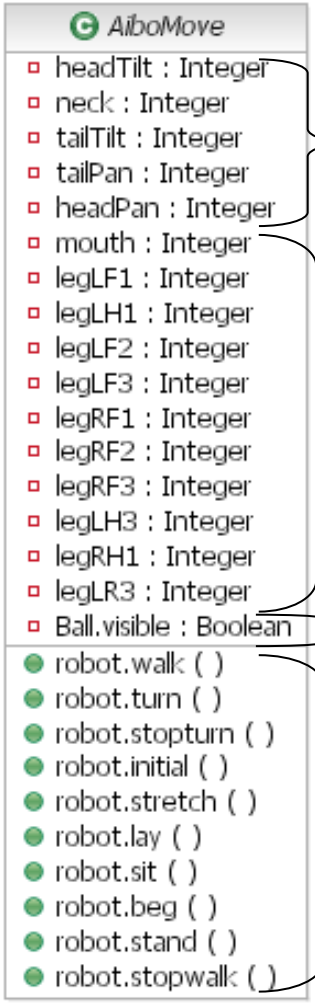
AIBO

AIBO : un robot chien (sony)

- Un système **réactif.**
- Un système **programmable.**
  - URBI : primitives de base (stand(), walk(), turn(),.etc.)
    (ces primitives sont fournies avec URBI installé sur le robot et pas sur le simulateur.
- Un système **modélisable** en UML
  - Un diagramme de classes : la structure d'AIBO
  - Des diagrammes de séquence : les interactions d'AIBO avec l'environnement.

AIBO : diagramme de classe

- Une seule classe principale
  - Raison : on s'intéresse aux réactions d'AIBO vs. l'environnement.



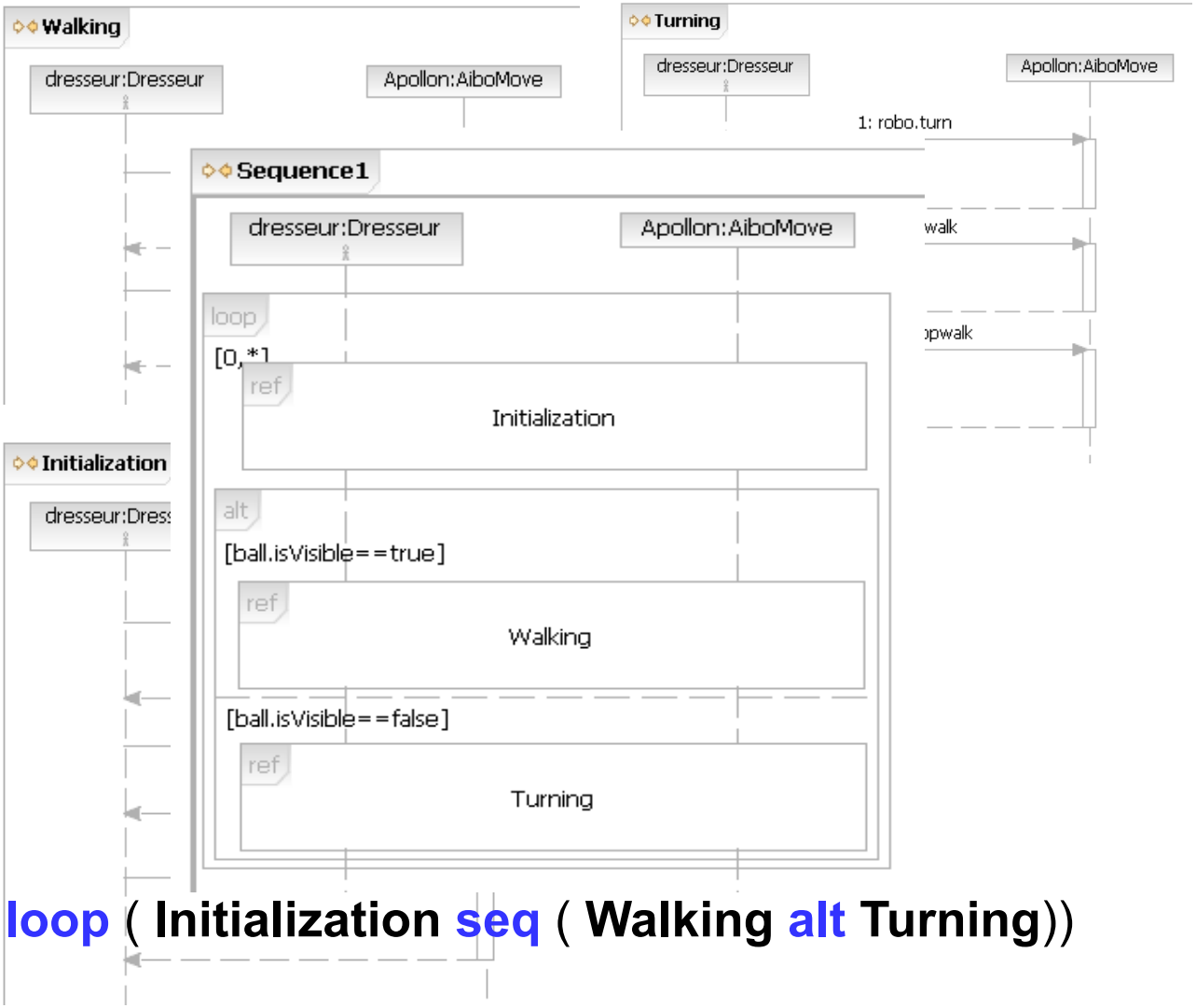
Attributs correspondant aux moteurs de la tête et de la queue

Attributs correspondant aux moteurs des pattes.

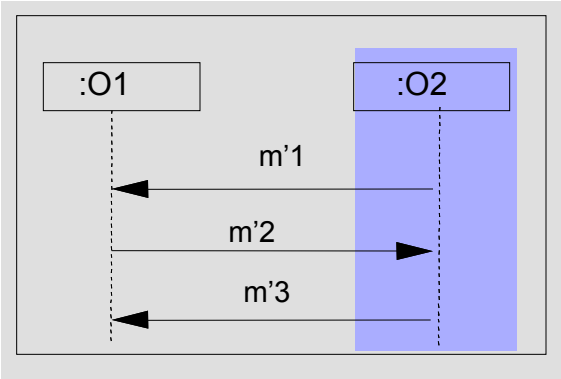
Abstraction de l'image observée. Cet attribut vaut « vrai » si AIBO observe sa balle

Primitives de déplacement fournies par URBI.

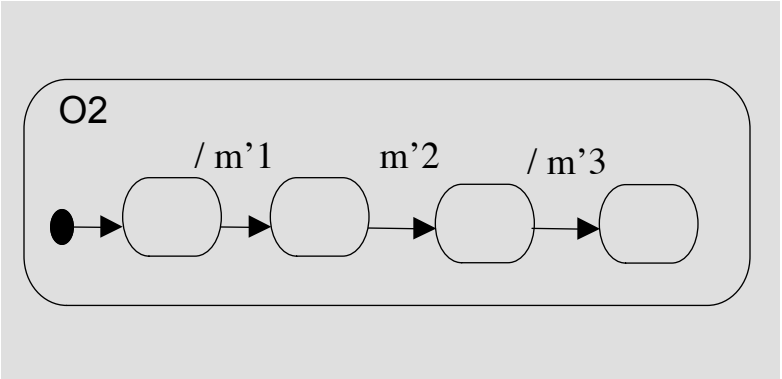
AIBO : diagrammes de séquence



loop (**Initialization** **seq** (**Walking** **alt** **Turning**))



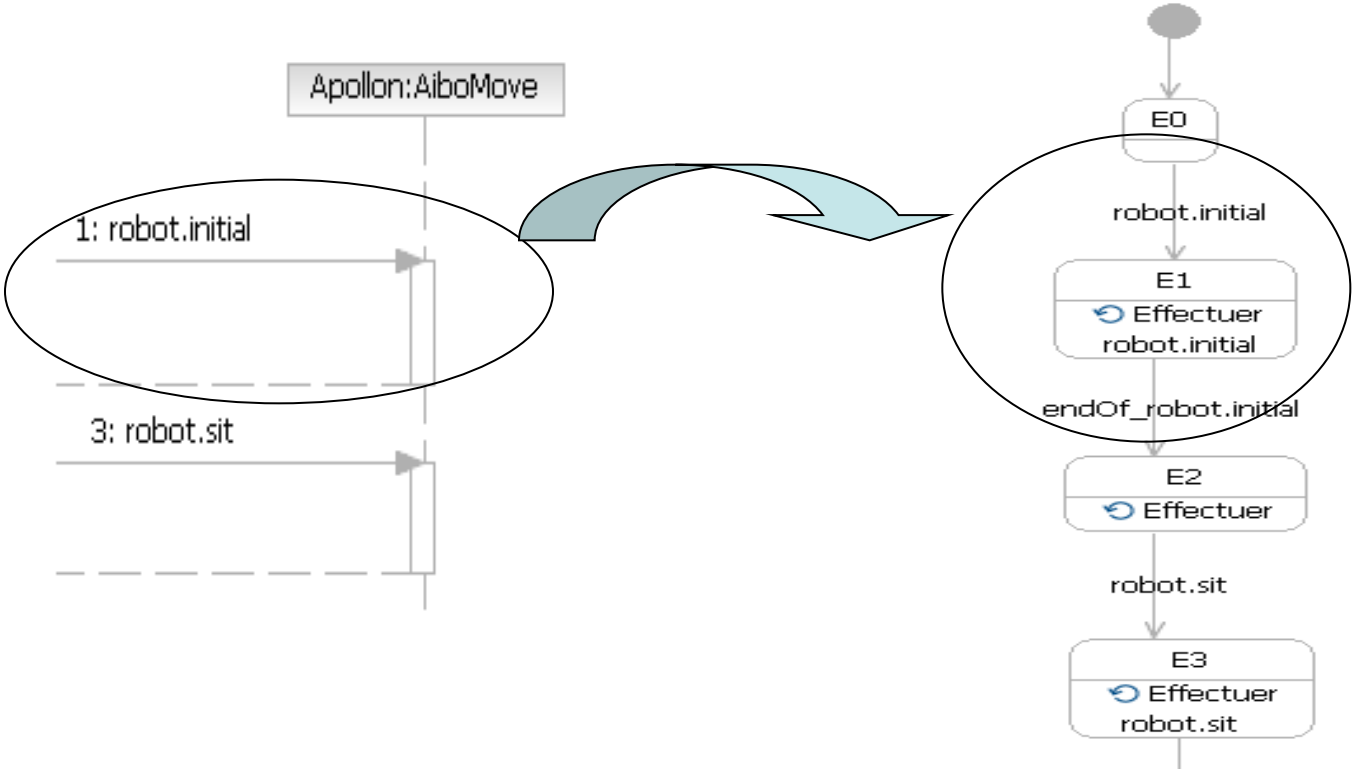
Synthèse automatique



Vue Inter-objets : Plusieurs objets, Un exemple.

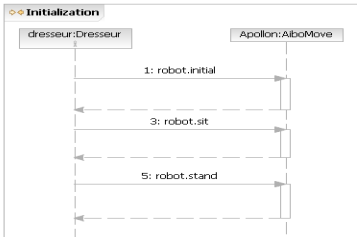
Vue Intra-objet : Un objet, un comportement complet.

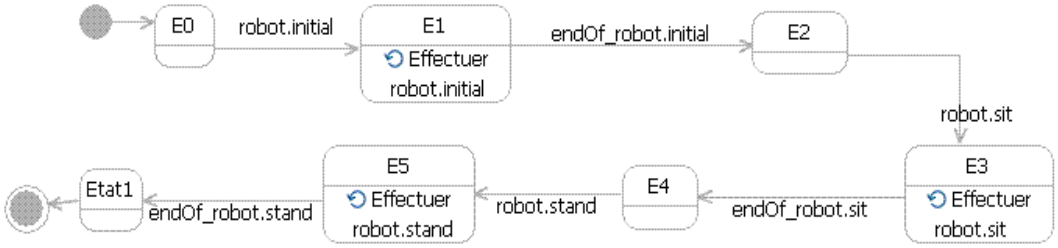
Phase 1 : diag. de séq. vers machine à états



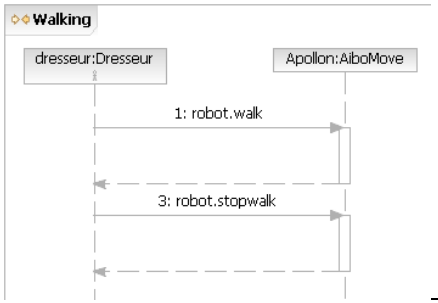
- **P (SD, O) : Un algorithme de synthèse basé sur la projection des événements**

Phase 1 : diag. de séq. vers machine à états

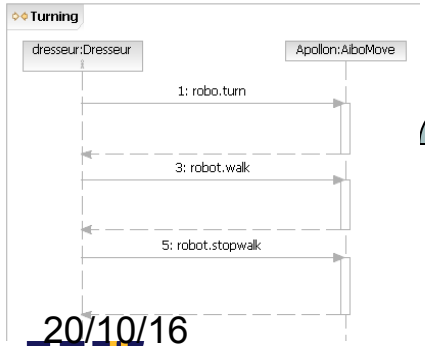


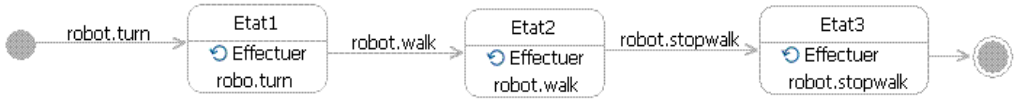


P (Initialization, Apollon)



P (Walking, Apollon)

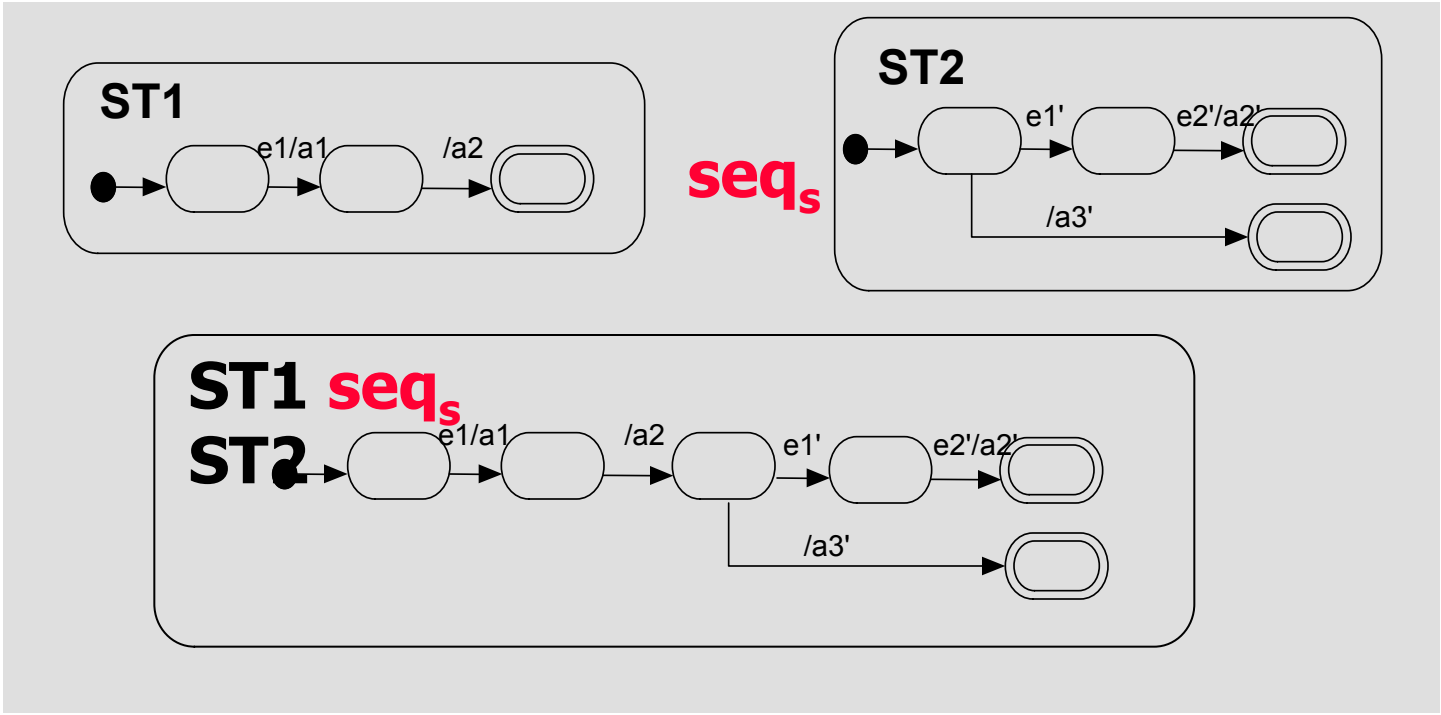




P (Turning, Apollon)

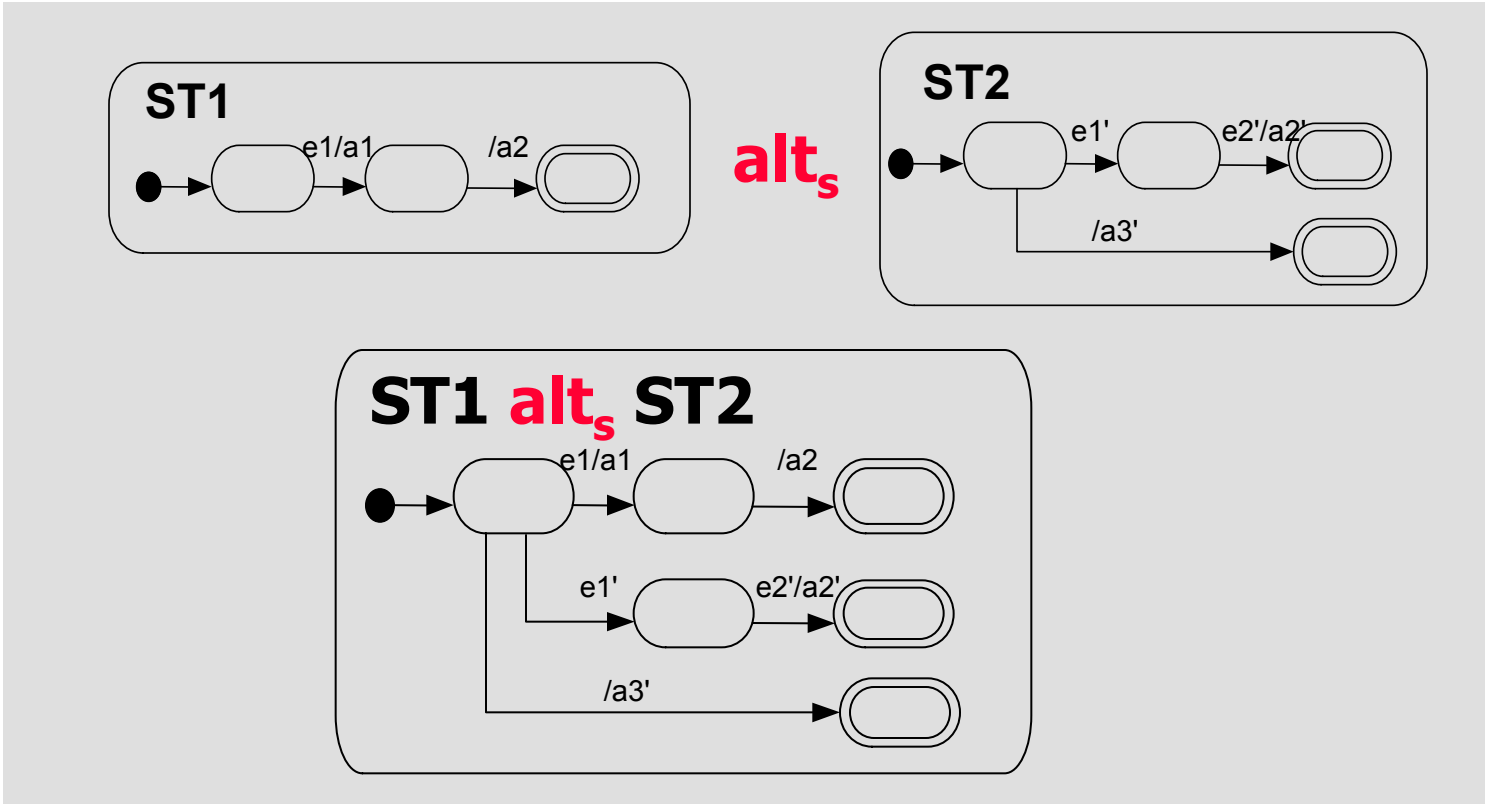
Opérateurs de machines à états

- 1) Séquence (**seq_s**)



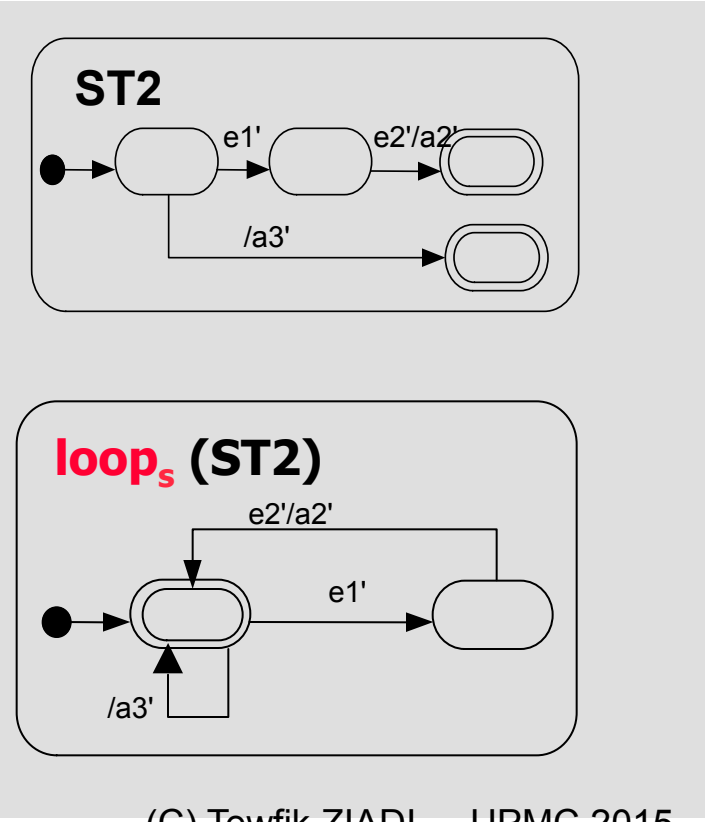
Opérateurs de machines à états(suite)

– 2) Alternative (**alt$_s$**)



Opérateurs de machines à états(suite)

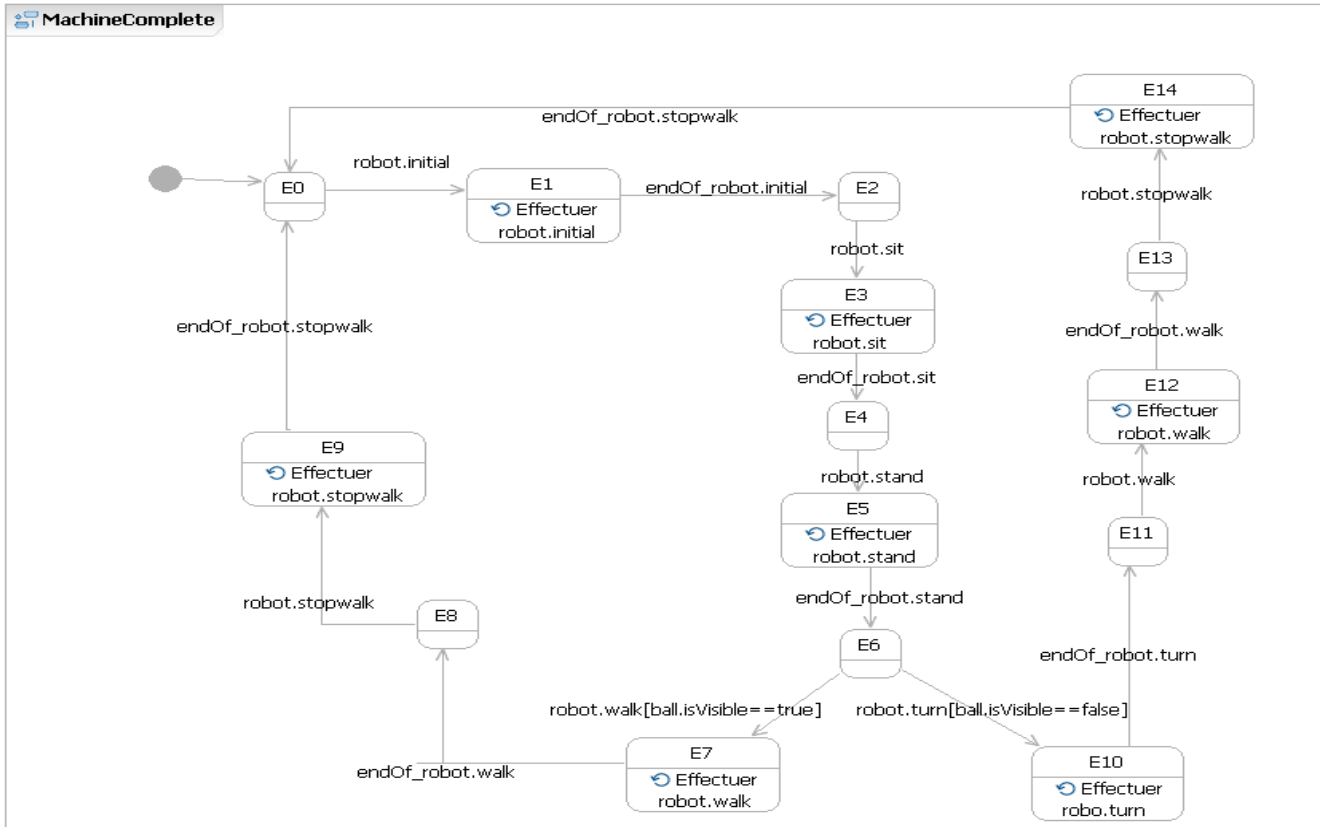
– 3) Itération (**loop$_s$**)



Des diag. de séquence vers machines à états

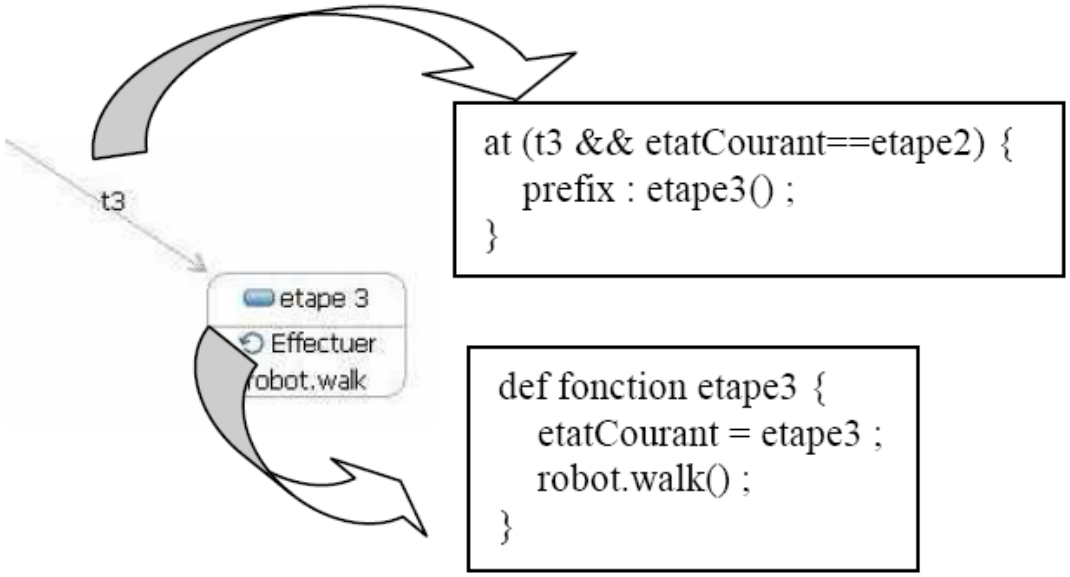
$loop_s$ (P (Initialization, Apollon) seq_s

(P (Walking, Apollon) alt_s P (Turning, Apollon)))

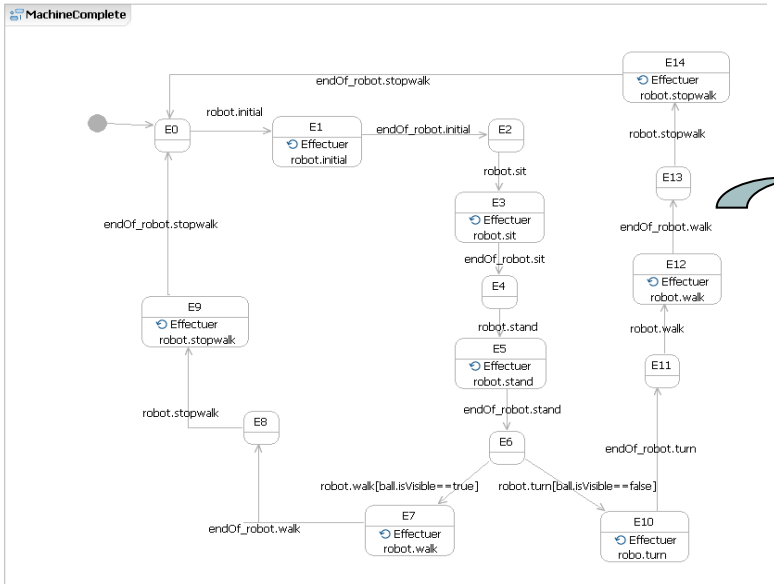


Phase 2 : Machine à états vers code URBI

- Définir une fonction pour chaque état de la machine à états
- Mécanisme de gestion d'événements « at »



Phase 2 : Machine à états vers code URBI



Code URBI pour la machine à états

Critiques

- Seulement pour des missions simples
  - très difficile pour l'utiliser dans le contexte d'une mission complexe (ex. reconnaissance d'un bâtiment)
- Demande que l'utilisateur maîtrise UML
  - C'est pas le cas des roboticiens.
- La solution : proposer un DSML
  - Destiné aux roboticiens
  - Permettant de spécifier des missions complexes.

Solution 2 : un DSML pour la la robotique

- Proposer un DSML permettant de spécifier d'une manière abstraite les missions.
- Implémenter des transformations vers :
  - les plateformes robotiques (e.g.; wifibot)
  - Les simulateurs (e.g.; webot)

Exigences pour le DSML

- Comprendre comment les roboticiens définissent leurs missions
  - Analyse de domaine
- Pouvoir spécifier la mission d'une manière qui permettent de viser plusieurs plateformes
  - Des robots (ex. wifibot)
  - Des simulateurs (ex.; webots)

Robotique mobile: concepts

- Capteur (*sensors*)
  - *Def. « Un capteur désigne un dispositif permettant d'acquérir des données provenant de l'environnement de robot »*
- Pour les robots mobiles :

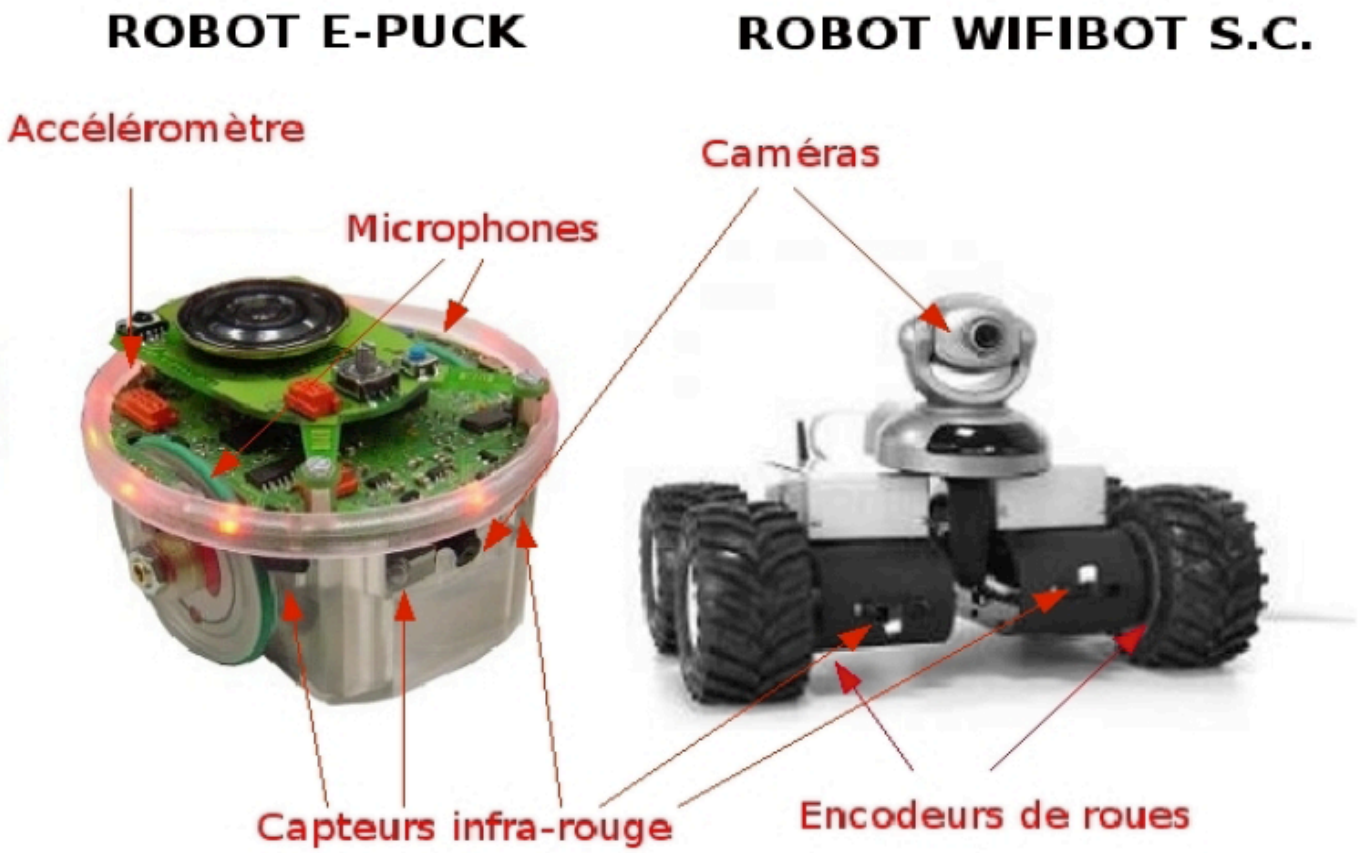
  infra-rouge,, *sonars*, laser, caméra, microphone

Robotique : terminologies

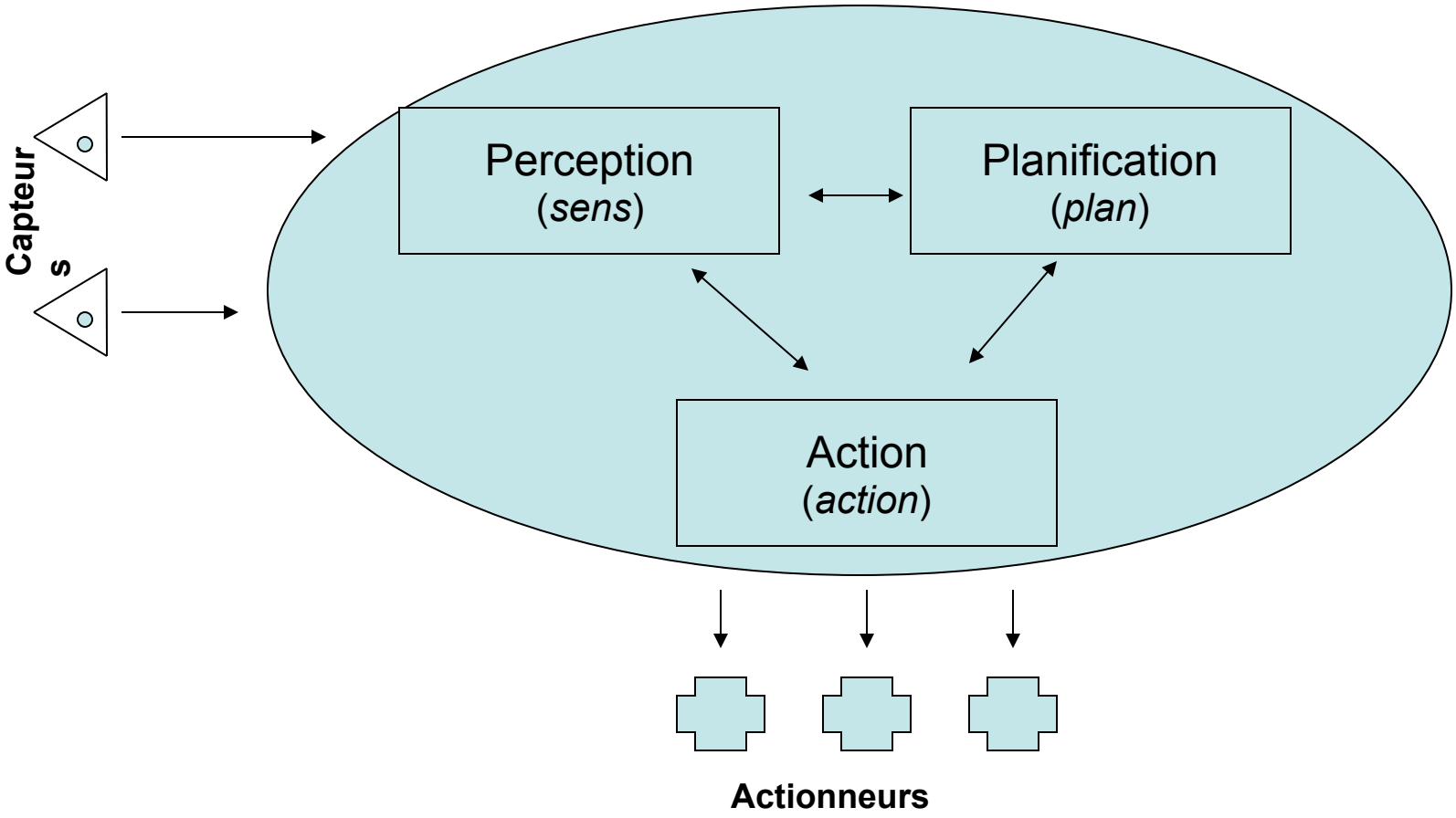
- Actionneurs (actuator)
  - Def. « *Un actionneur est le dispositif permettant au robot d'effectuer une action»*

- Pour les robots mobiles:
  - *Les moteurs des roues du robot.*

Exemples



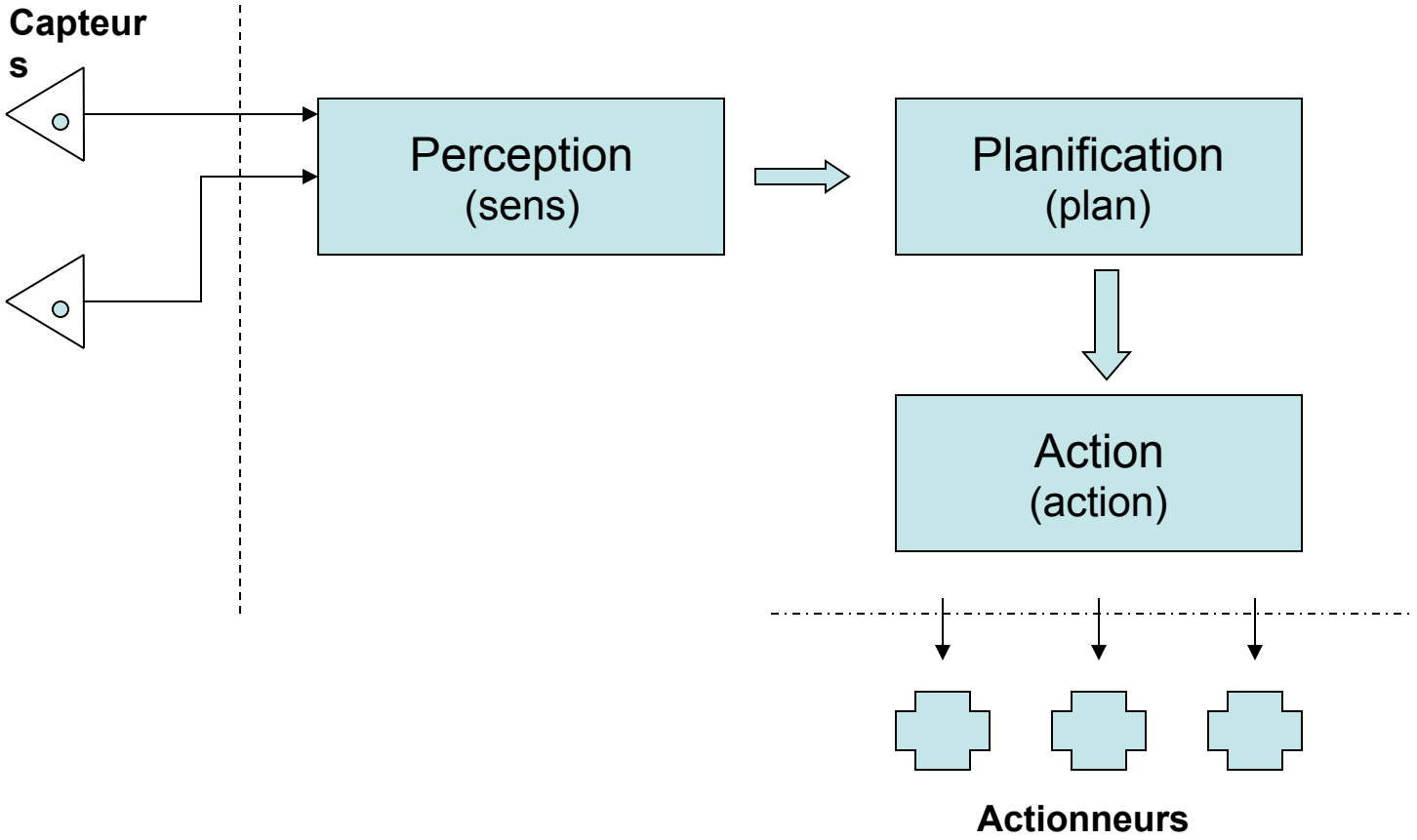
Contrôle de robots



Contrôle de robots

- Perception (*sens*)
  - La collection des informations depuis les capteurs
- Planification (*plan*)
  - Identifier les actions à réaliser en fonction des buts de la mission
- Action (*action*)
  - Réaliser les actions en émettant les commandes aux actionneurs

Architecture « délibérative »
« Think hard, act later »



Boucle de contrôle SPA

```
while (true){
//PERCEPTION
            // 1. SENS : extraction des informations provenant des capteurs
              vectorInformation = extractAllInformation();
             //2. Modélisation d'une représentation du monde réel

//PLANIFICATION
        //génération d'un plan d'actions à effectuer à partir du but  et du monde
        plan = planfication(goal, world) ;

//ACTION
            //exécution deu plan d'actions
    for step in plan {
      execute(step);
      }

}
```

Architecture « délibérative »
« Think hard, act later »

- Inconvénients
  - Le robot est arrêté pendant l'étape de planification!
  - Le monde réel change dans le temps et le plan devient obsolète !

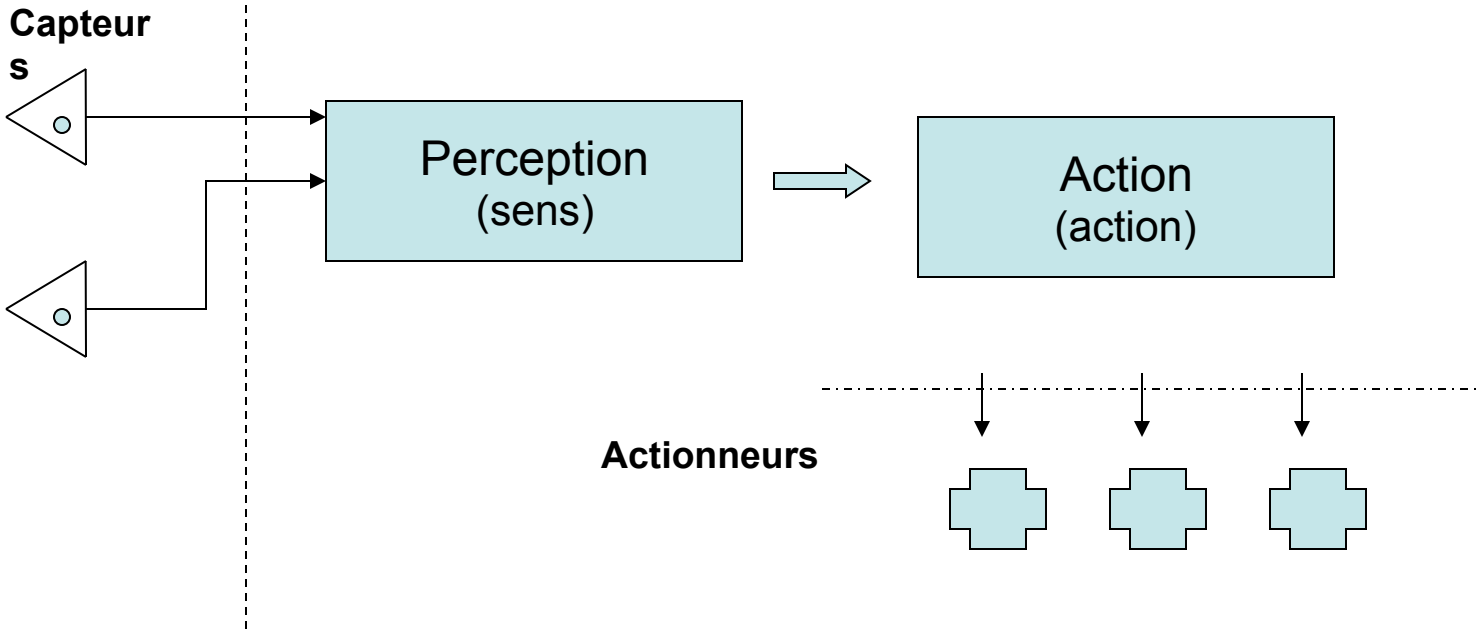
→ Architecture abandonnée depuis les années 80!!

Contrôle « réactif »
Don’t think (re) act

- Une collection de blocs : sense-act (if-then)
  - blocs qui s'exécutent en parallèle
  - très rapide et réactifs

- Inconvénients
  - Pas de mémoire (pas de sauvegarde du passé)
  - Trop de responsabilités aux capteurs qui ne sont pas fiables

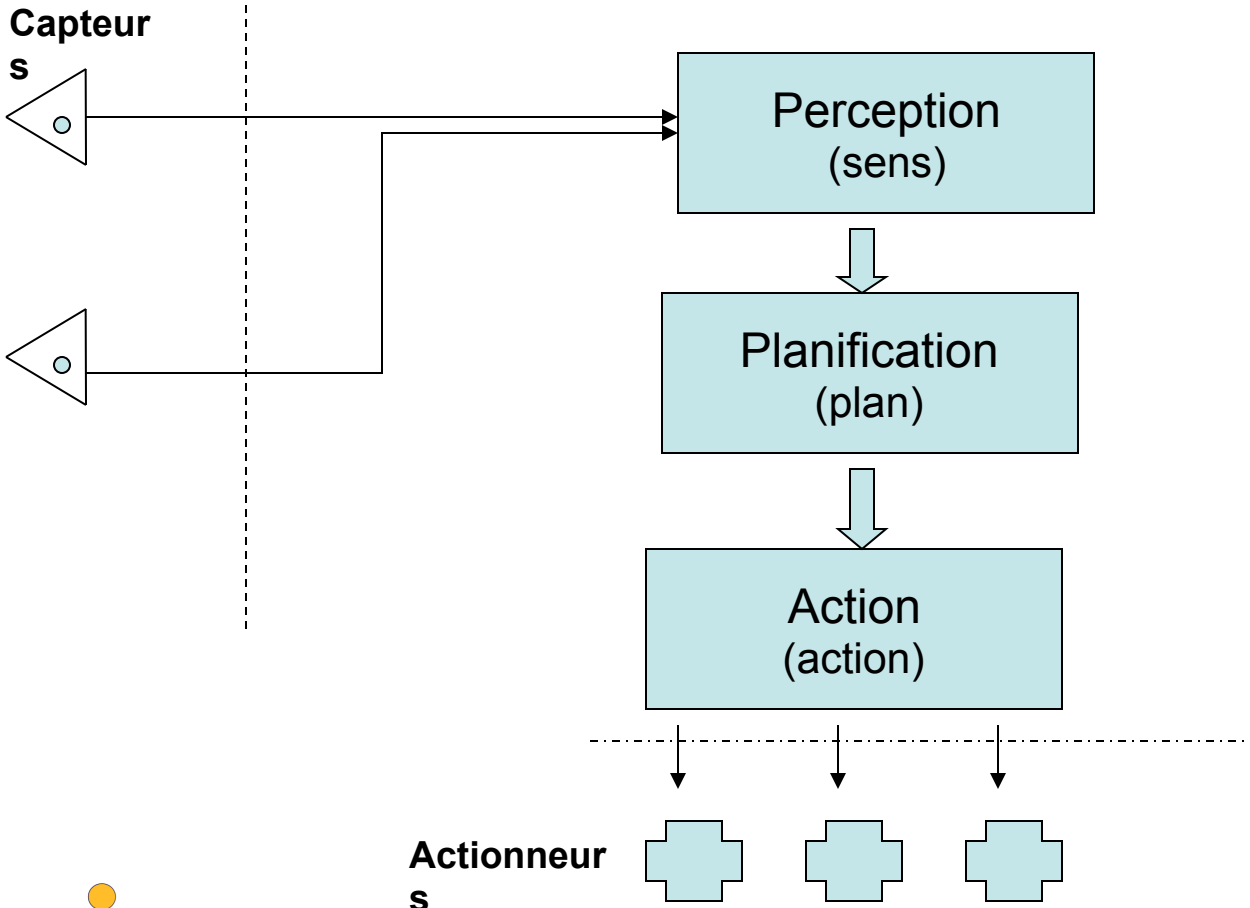
Contrôle « réactif »
Don’t think (re) act



L'architecture « hybride »
Think and act independently,

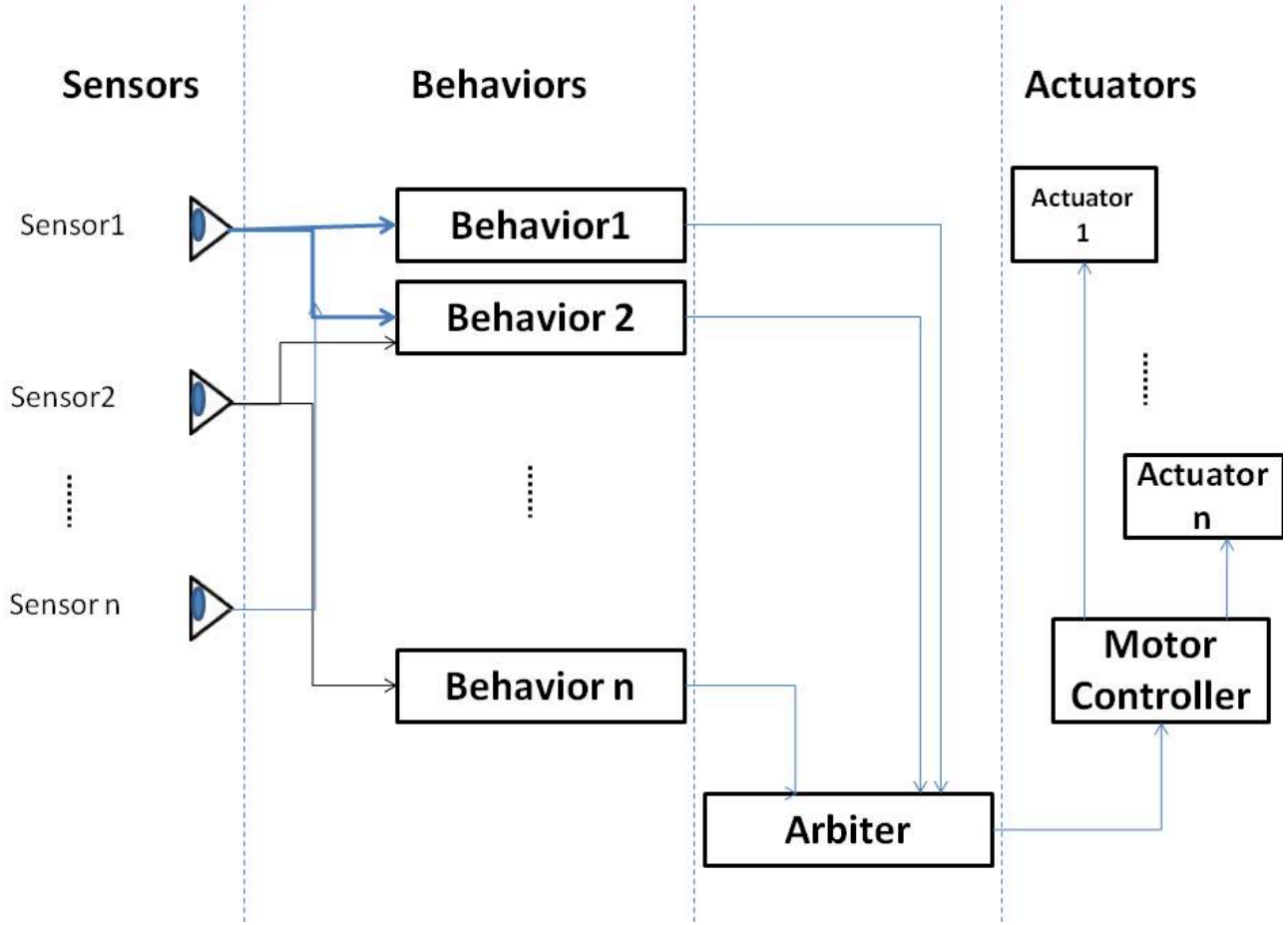
- Combiner deux niveaux :
  - Contrôle réactive
  - Contrôle délibérative
  - Niveau intermédiaire pour lier les deux niveaux
- Souvent appelé architecture 3T

L'architecture « hybride »
Think and act independently,

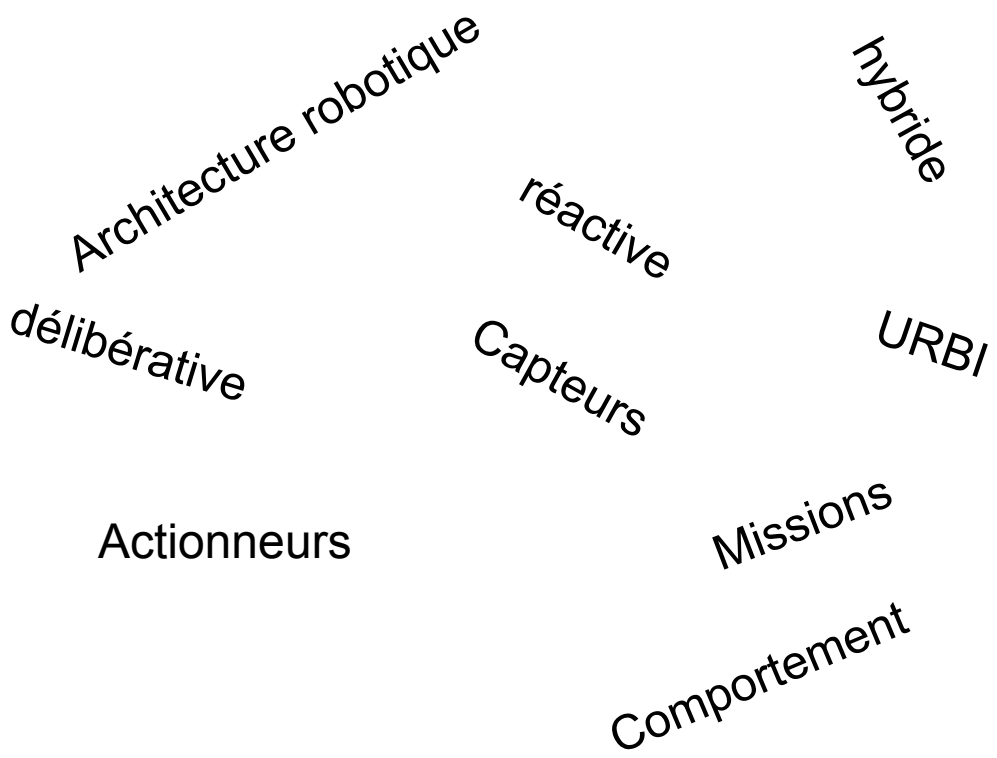


L'architecture «Behavior-Based »
Think the way that you act

- Une autre alternative des architectures hybrides
  - Elle combine « délibération » et « réaction »
- Une collection de « comportements » et non pas de blocs réactifs.
  - Comportement plus complexe qu'un « if-then »



DSML : analyse du domaine



C’est quoi un DSML

- **Une syntaxe abstraite** (le méta-modèle)
  - Un ensemble de concepts et de relations entre ces concepts
  - Des règles/contraintes sur les concepts (well-formedness rules)
- **Une syntaxe concrète**
  - Représentation graphique et/ou textuelle

Un mini DSML pour la robotique mobile

- Un exemple d'un DSML basée sur l'architecture « behavior-based »
  - Un méta-modèle (Ecore)
- Génération de code vers urbiscript.
  - Vers le simulateur (webots)
  - Vers le robot (wifibot)

Le DSML

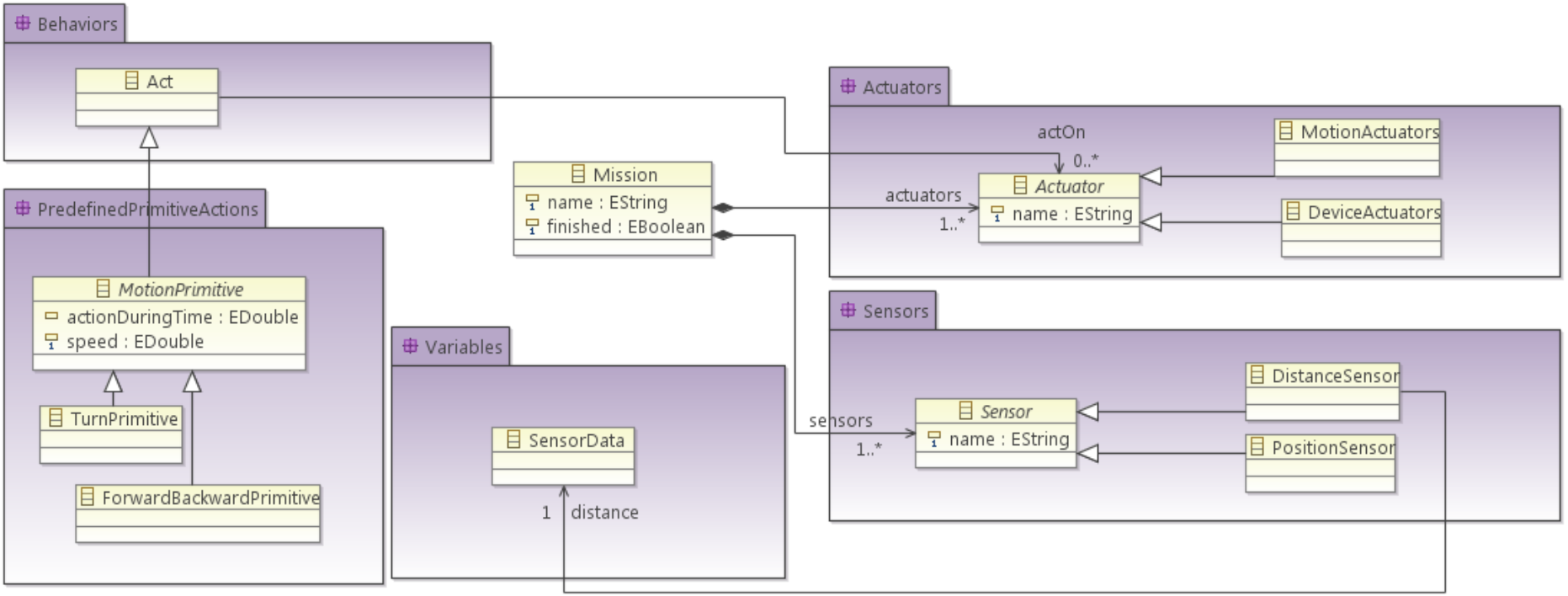
- Étape 1 : définition de la mission
  - Capteur et Actionneur « abstrait »
  - Identifier des comportements
    1. Comportements dits de « survie » (eg. Eviter les obstacles)
    2. D'autres comportements nécessaires pour réaliser la mission.

    Chaque comportement est modélisé sous forme d'une machine à état.

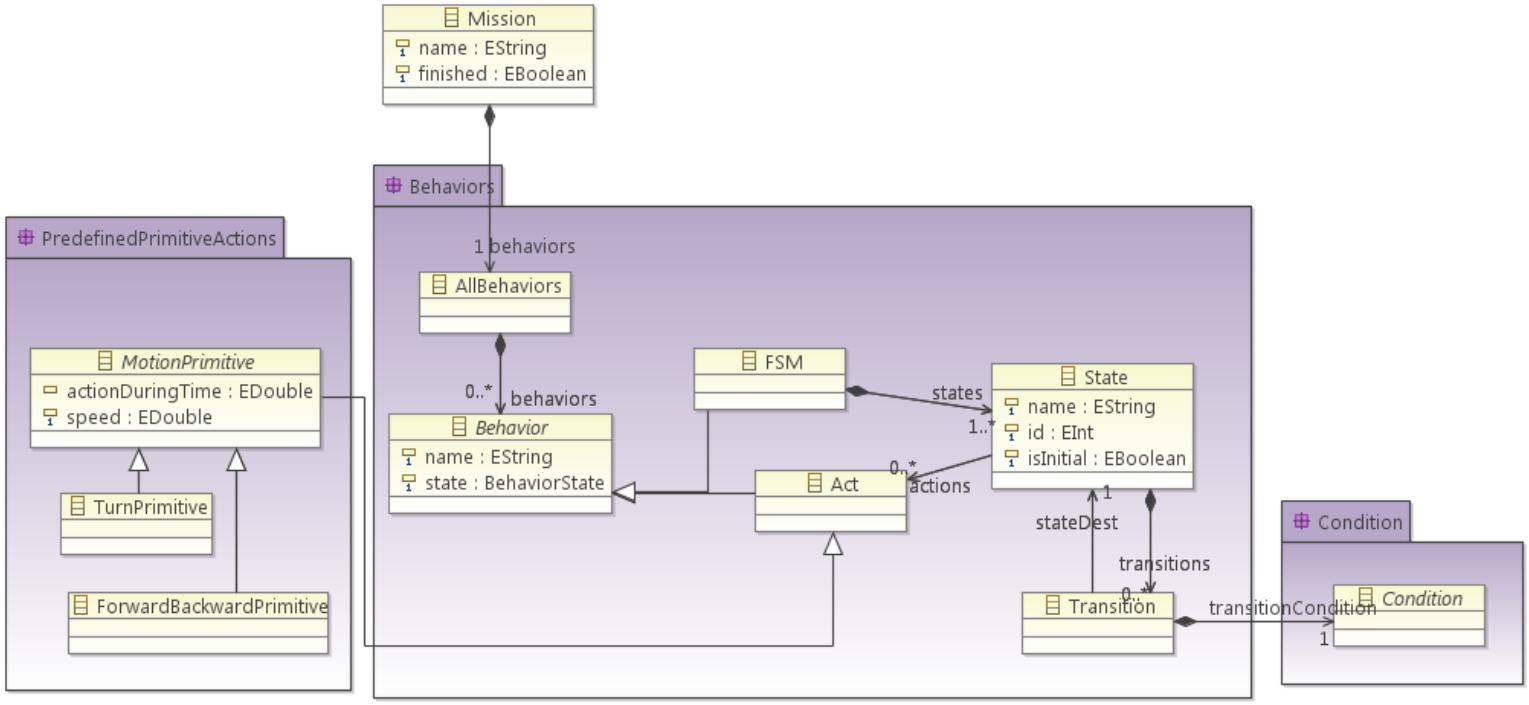
Le DSML

- Étape 2 : Configuration
  - Le choix de la plateforme (un robot et/ou simulateur)
  - Mapping entre capteurs et actionneurs abstraits et ceux de la plateforme (« concret »)
- Étape 3: Génération de code(urbiscript) et exécution

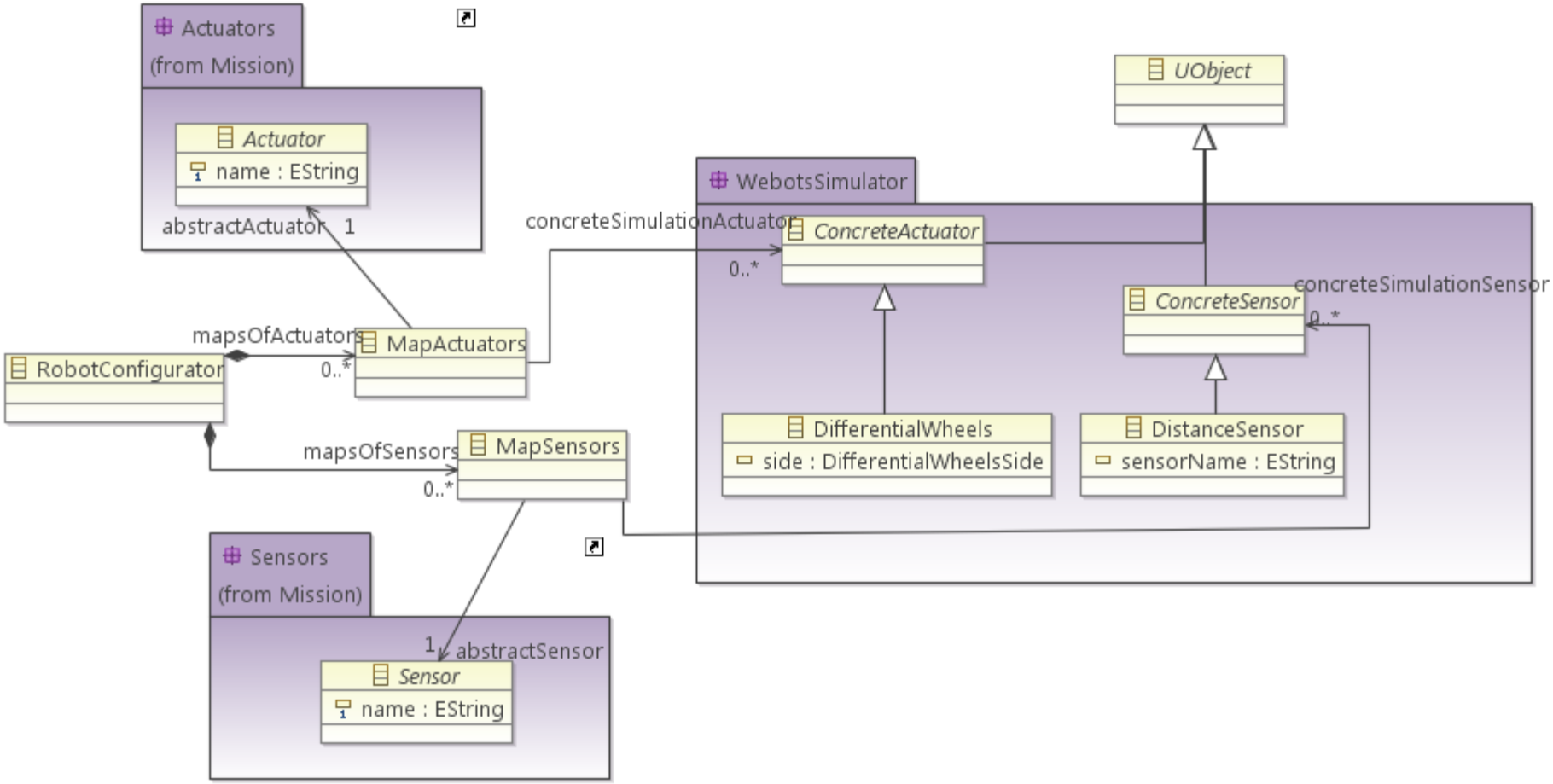
Capteurs et actionneurs abstraits



Comportement



Configuration pour webots



Transformations vers scripts

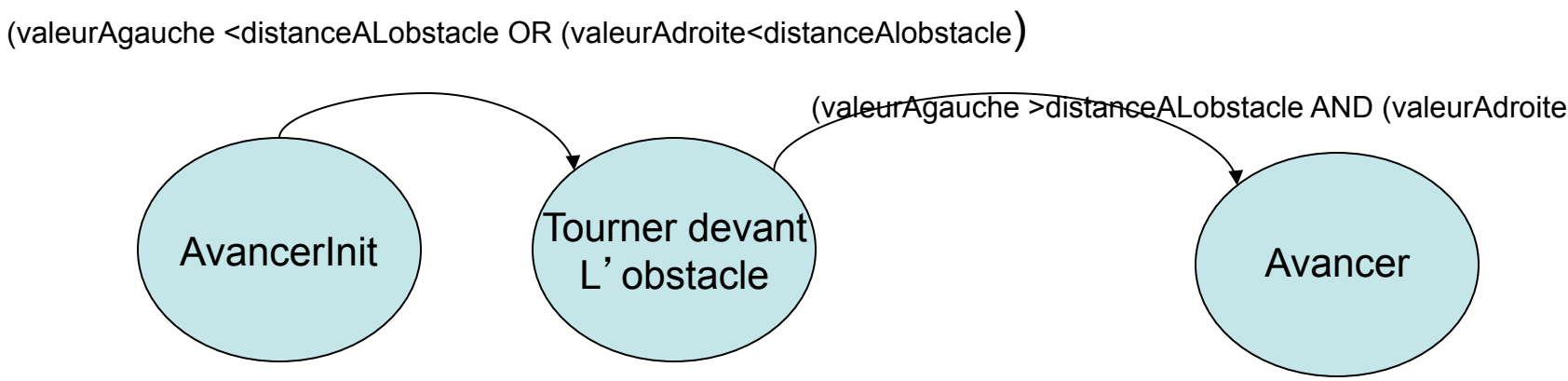
- Un fichier par capteur abstrait de la mission
- Un fichier par actionneur abstrait
- Un fichier pour la mission:
  - Les variables de la mission
  - Les capteurs abstraits utilisés
  - Les actionneurs abstraits utilisés
  - Les FSM en utilisant les fonctions et l'opérateur « at »

Exemple mission demi-tour

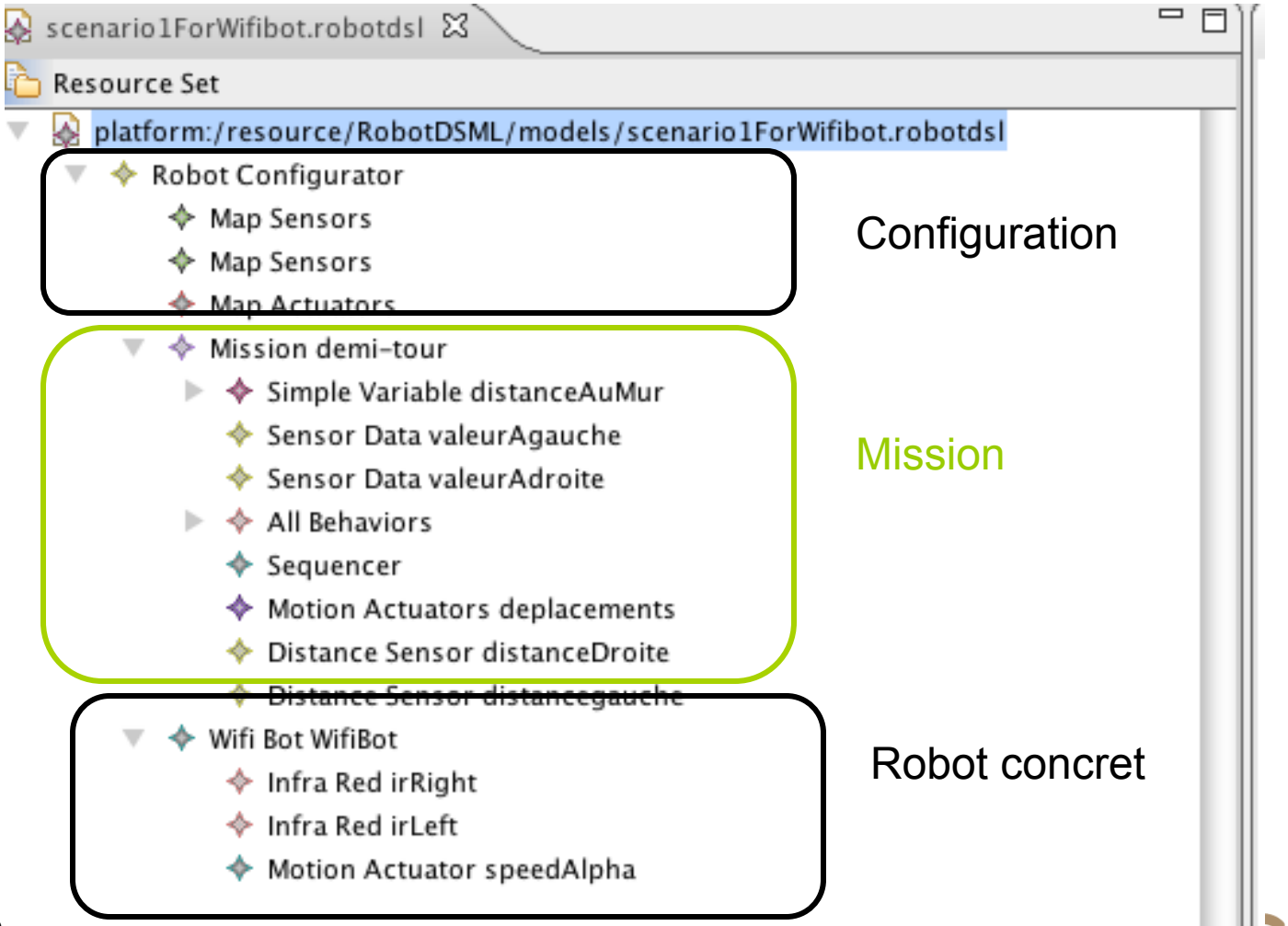
- Capteurs abstraits:
  - distanceDroite
  - distanceGauche
- Actuators
  - Motion Actuators : deplacement

Exemple mission demi-tour

- Comportement
  - Action Primitive : avancer
  - Action Primitive : tourner
  - FSM



Exemple : mission-demi-tour



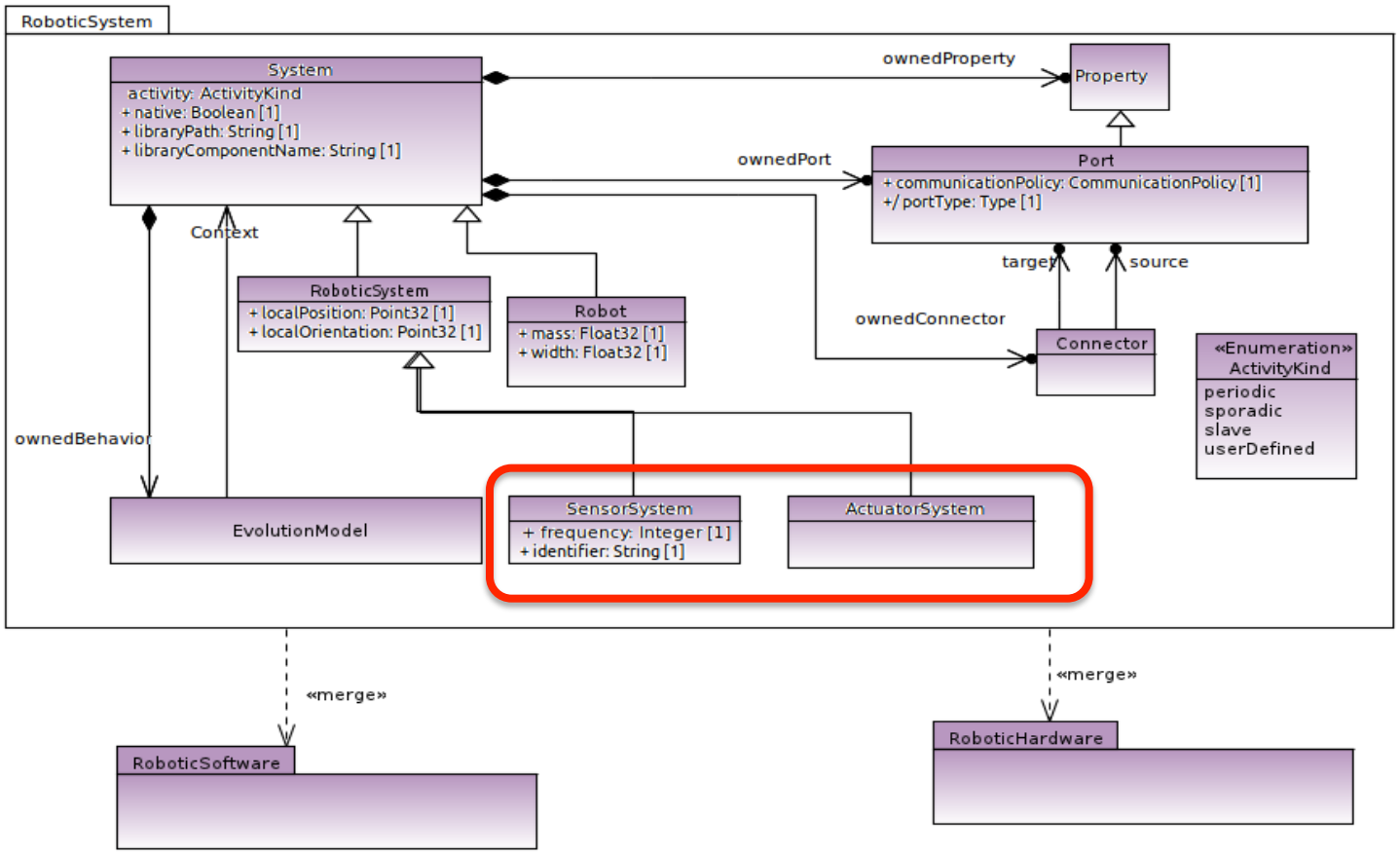
Un DSML complet : RobotML (2009-2013)

Platform for **RO**botic modeling and **T**ransformations for **E**nd-**U**sers and **S**cientific communities

http://www.anr-proteus.fr

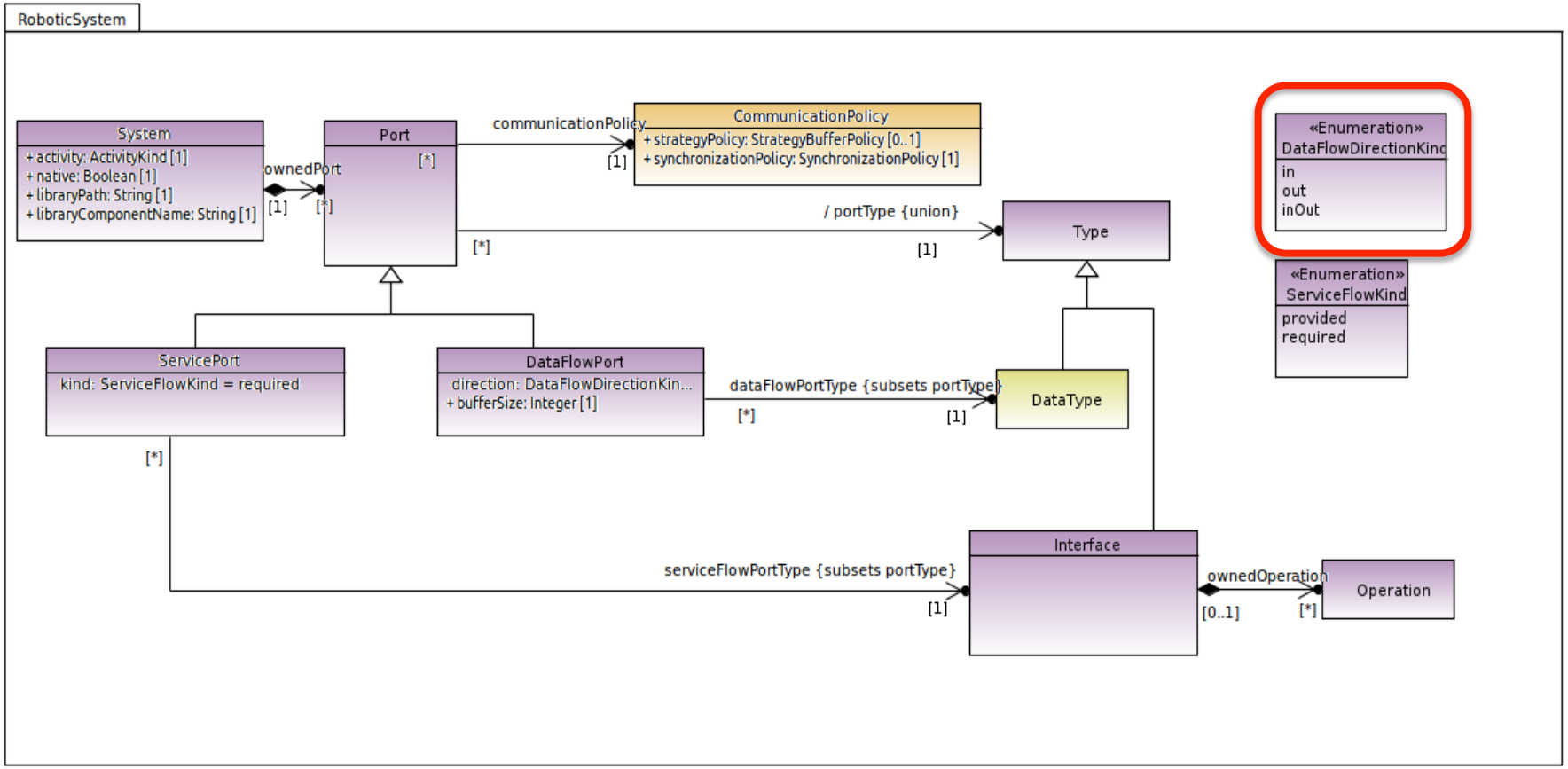
La partie architecture de RobotML

- Distinction entre les composants matériels et les composants de contrôle



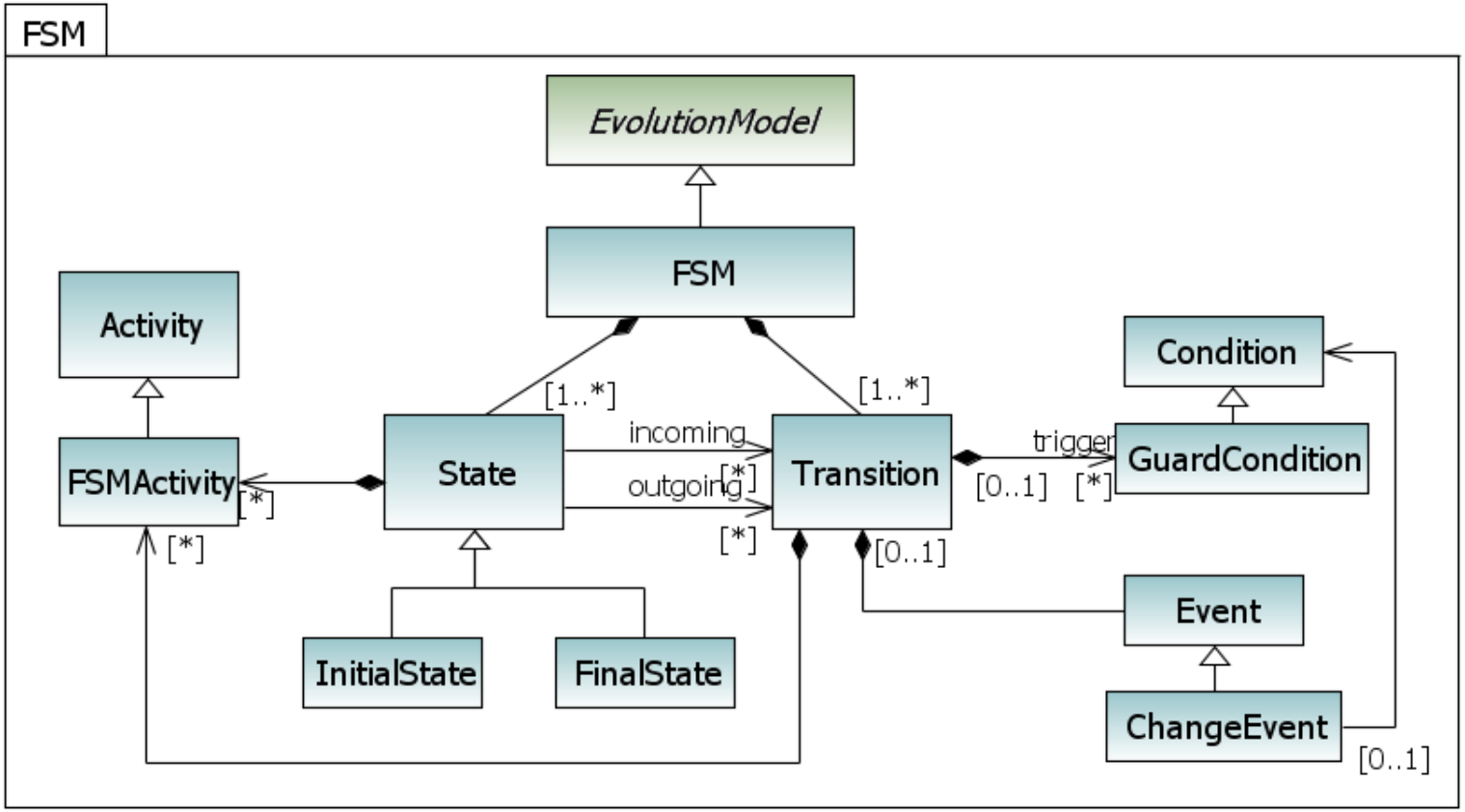
La partie communication de RobotML

- Union des concepts des plateformes cibles

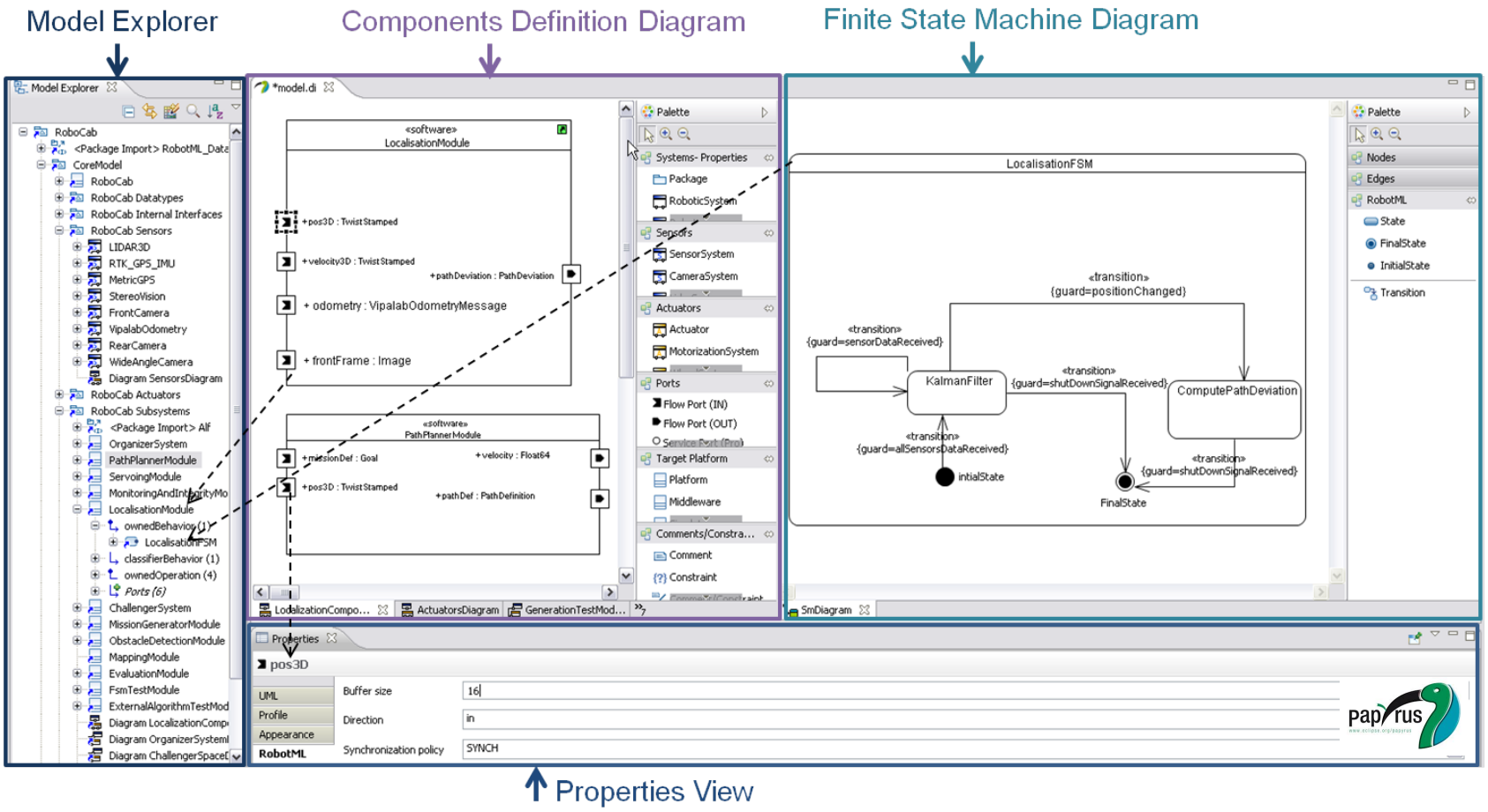


La partie contrôle de RobotML

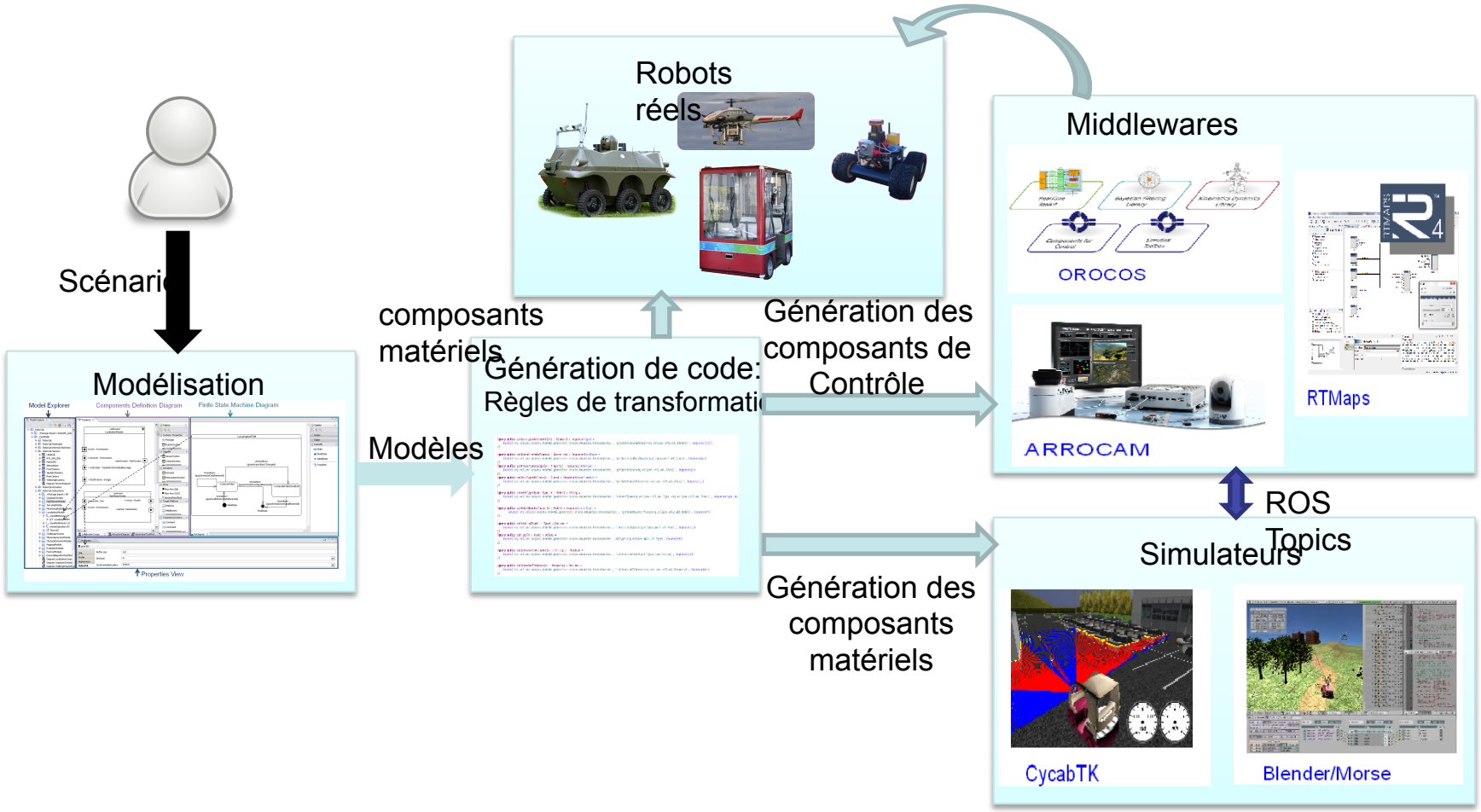
- Représentation des différents types de contrôle



Syntaxe concrète de RobotML



La chaîne d'outillage RobotML



Conclusion

- La Robotique est un domaine qui illustre bien l'intérêt de l'IDM
  - Le besoin de l'abstraction
  - Le besoin de capitaliser les missions
- MAIS il faut travailler avec les roboticiens
  - Analyse de domaine
- Dans ce cours
  - UML pour la robotique
  - Un exemple d'un mini DSML.

- Vous êtes toujours des informaticiens :)