



UNIVERSITÉ  
DE MONTPELLIER

# Vers des Missions Robotiques Tolérantes aux Fautes à Garantie de Performance

D. Crestani – L. Lapierre – K. G. Dejean – L. Jaiem

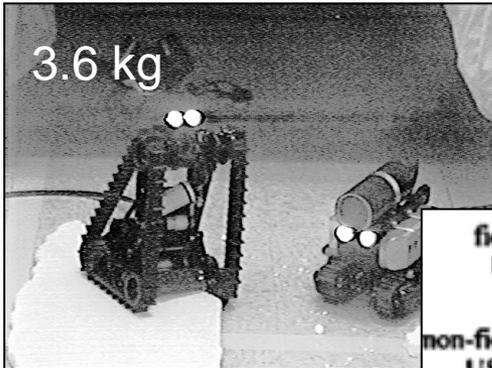
Equipe Explore



# Sommaire

- Fiabilité des robots mobiles
- Autonomie, performance et robotique
- Problématique
- Contexte expérimental
- Méthodologie
- Stratégies
- Performance : Durée – Sécurité – Energie
- Algorithme
- Résultats : Simulation et expérimentaux
- Conclusion et perspectives

# Fiabilité des robots mobiles



3.6 kg

15 robots mobiles

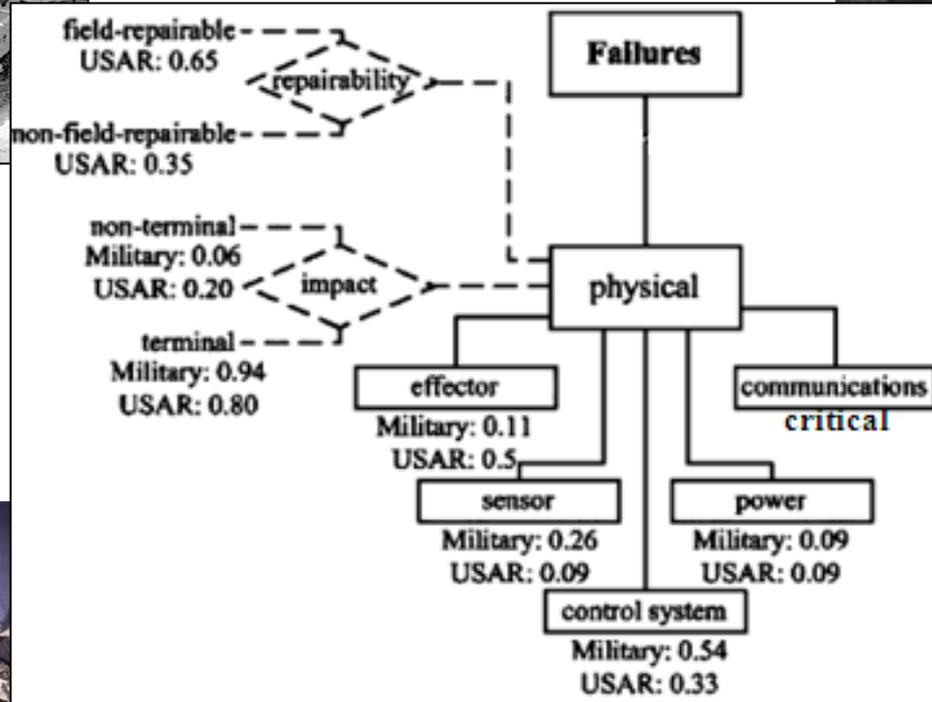


27 tonnes

Sauvetage



World Trade Center



Militaire

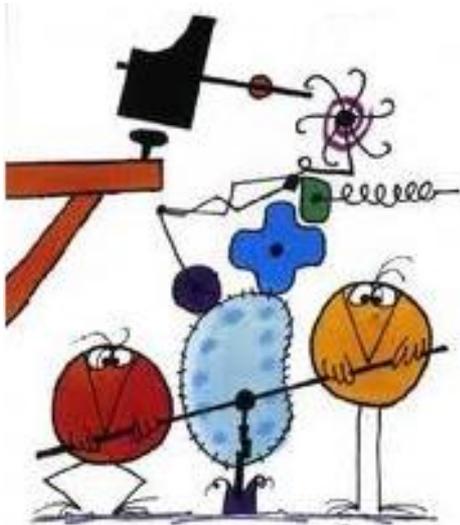


Déminage (Bosnie)

- MILITAIRE :
- 1.6 faute / jour
- 94 % terminales

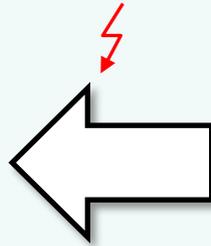
# Localisation des fautes

Événement  
exogène



*Environnement*

*Faute  
d'exécution*



*Faute de  
perception*

*Conscience de  
l'environnement*

*Faute  
matérielle*

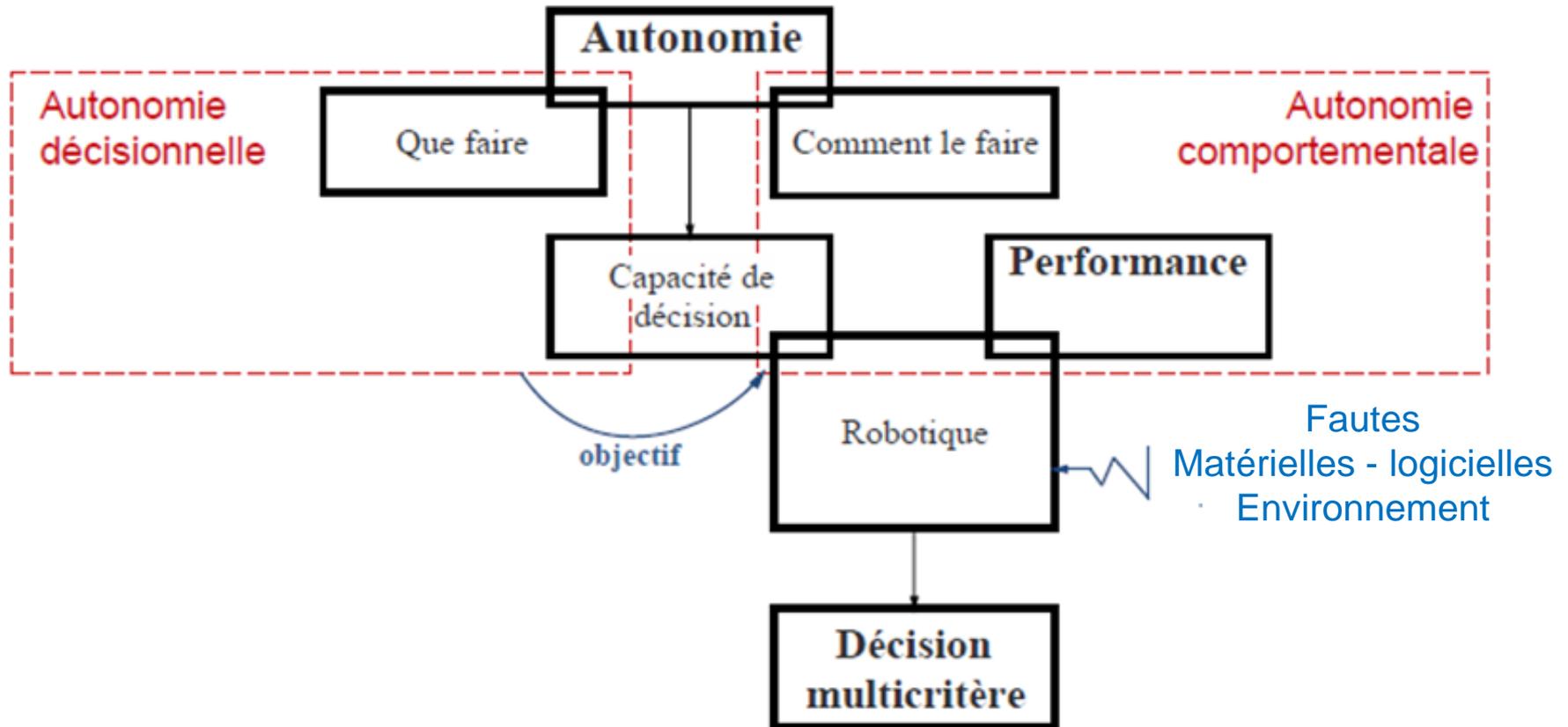


*Faute de  
connaissance*

*Faute  
logicielle*

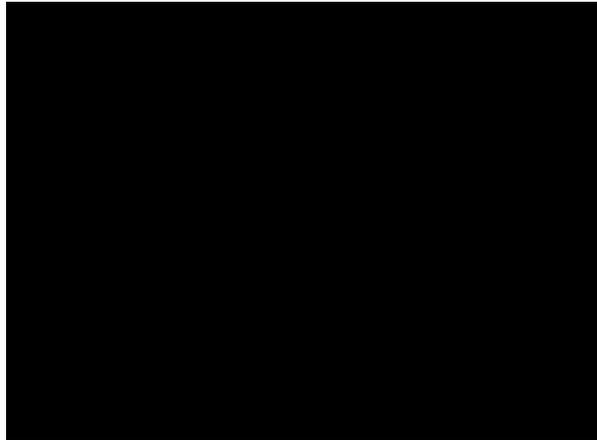
*Système  
autonome*

# Autonomie et Performance



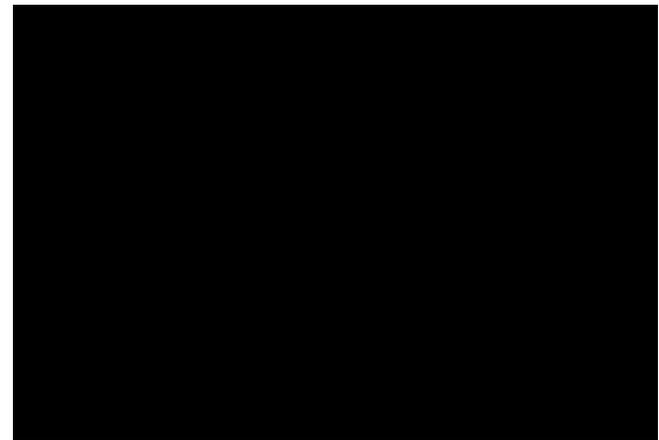
# Performance et Robotique

- Industrielle



- Contexte
  - Environnement limité
  - Connu - non dynamique
  - Energie infinie
- Beaucoup d'indicateurs largement acceptés

- Mission

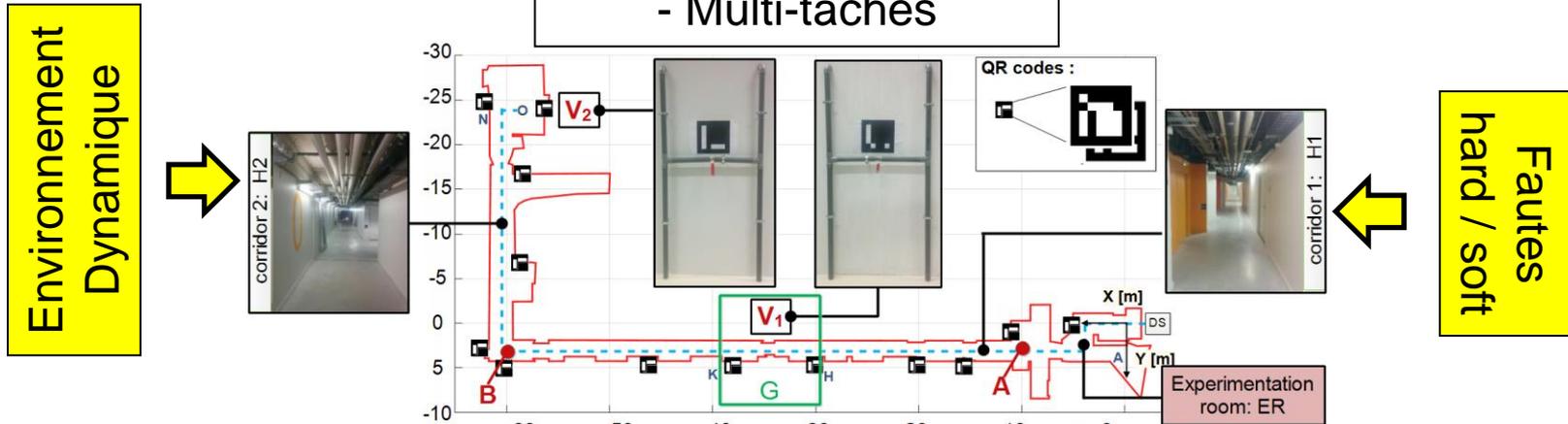


- Contexte
  - Environnement vaste
  - (Non)connu - Dynamique
  - Energie limitée
- Indicateurs orientés utilisateur

# Problématique

## MISSION AUTONOME

- Longue
- Multi-tâches



*Comment gérer dynamiquement en temps réel capteurs, actionneurs, lois de commande, algos*

- Mission réalisée en **sécurité**
- **Energie** dépensée  $\leq E_{max}$
- **Localisation**  $\leq P_{min}$  (Position robot)
- Commande **stable**

**Durée Mission**  $\leq T_{max}$

**Même en présence de fautes**

# Contexte Expérimental

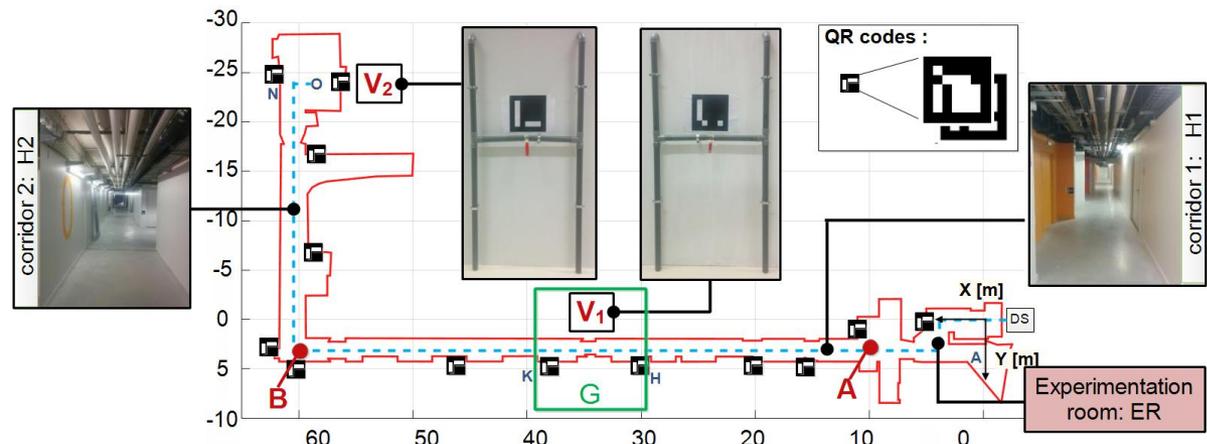
- Ressources matérielles



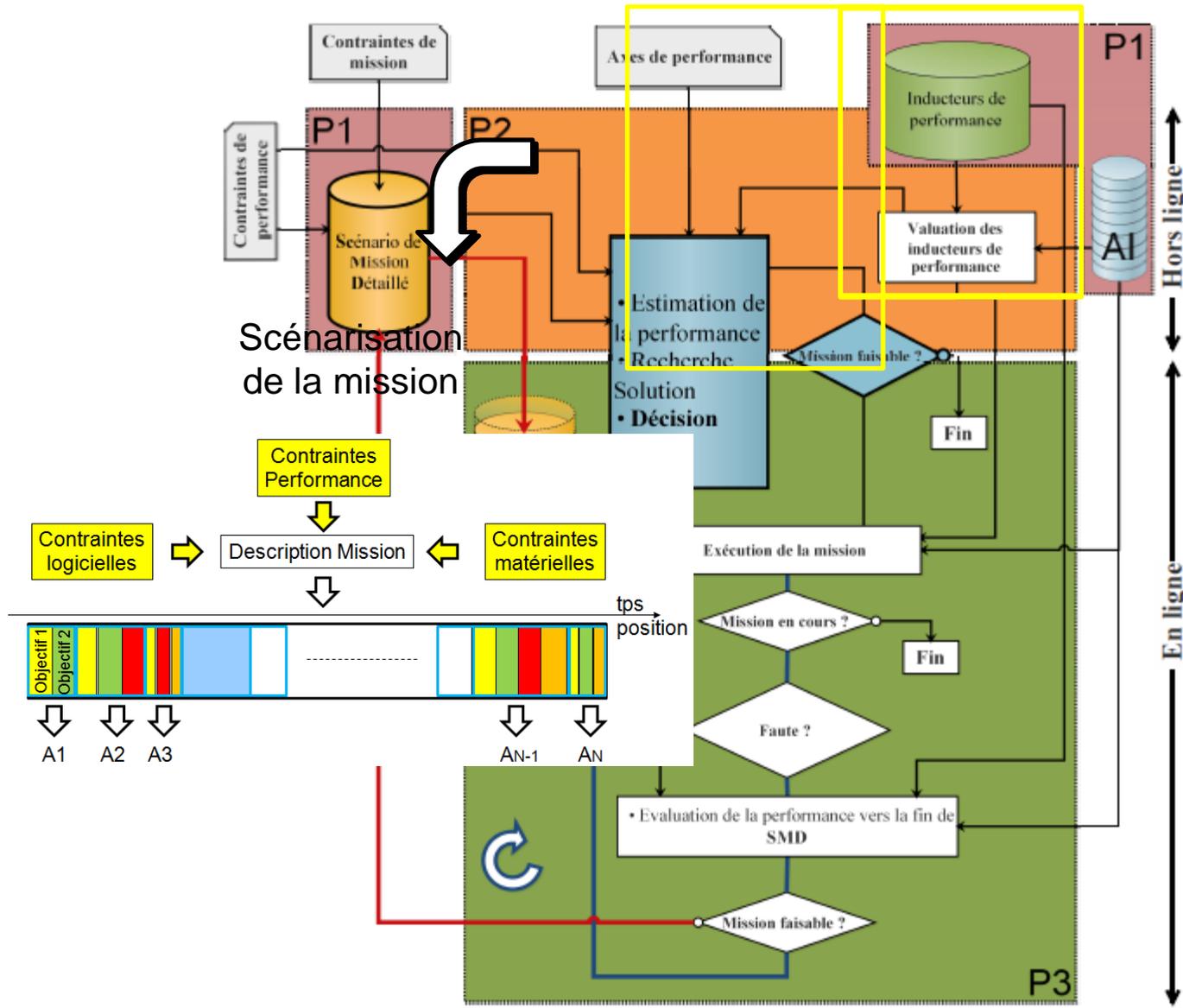
- Mission  
~ 200 m

- Ressources logicielles

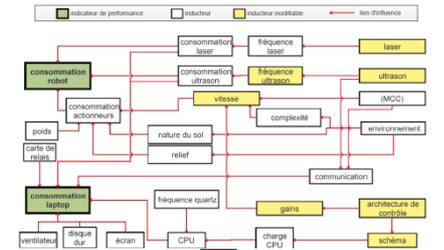
- Déplacement (A -> B) : 7
- Rotation : 1
- Localisation : 3
- Analyse Image : 1



# Méthodologie

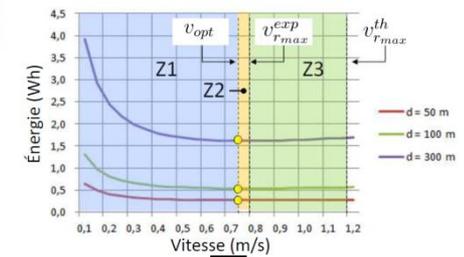


## Diagramme interdépendance



Inducteur de performance

Fonction d'utilité

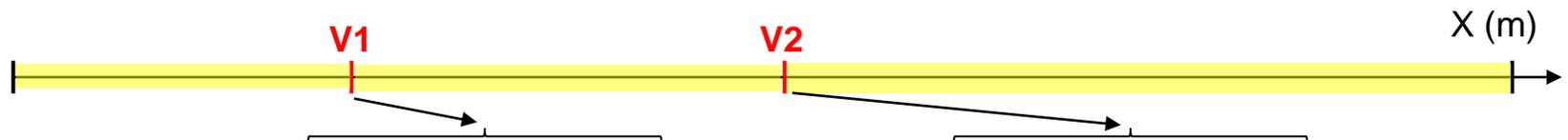
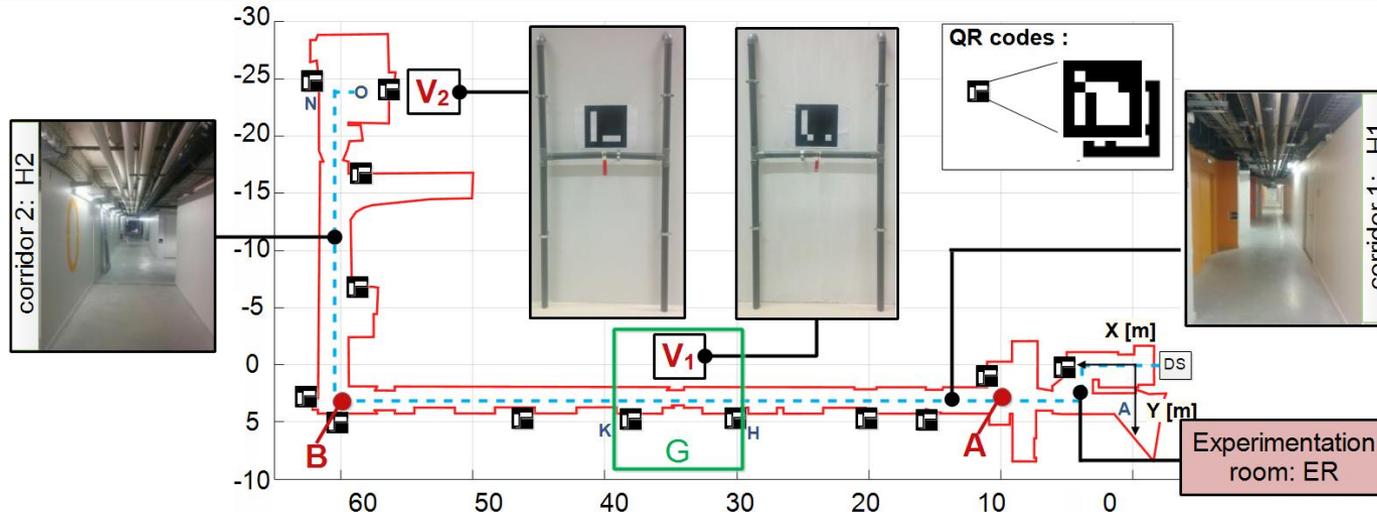


Indicateur de performance

# Stratégies

- **Marge** : Pour être robuste aux imprécisions des modèles, des trajectoires, aux imprévus (évitement d'obstacles).
  - Marge de temps et d'énergie
- **S1** : Aller le plus vite possible en étant en sécurité.
- **S2** : Utiliser les schémas de contrôle les plus énergivores permettant de satisfaire les contraintes énergétiques car ils sont en général les plus performants.

# Axe Durée



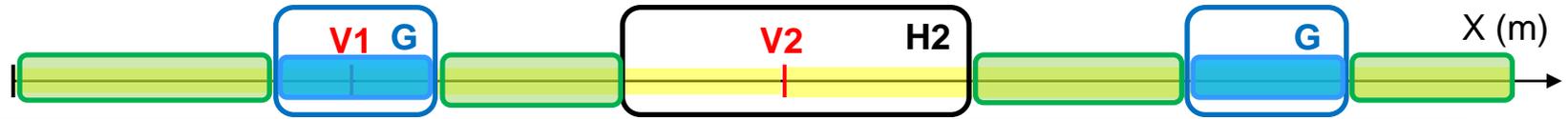
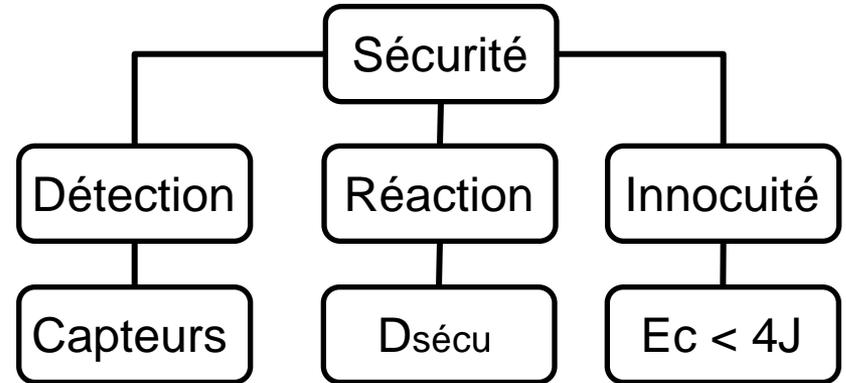
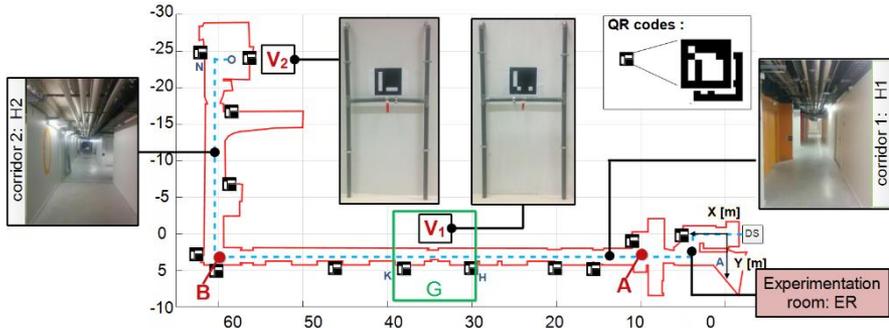
$x_i - x_{i-1}$ (m)	0-34		34-37		37		37		37		37-91.5		91.5-93.5		93.5		93.5		93.5		93.5-187	
Objective	FM	L	FM	AL	R	L	IA	R	L	FM	L	FM	AL	R	L	IA	R	L	FM	L	FM	L
OT	7	3	7	1	1	2	1	1	2	7	3	7	1	1	2	1	1	2	7	3	7	3
NB	21		7		2		1		2		21		7		2		1		2		21	

Nbre alternatives = 7 260 624

•  $V_{max}(\text{robot}) = 0.8 \text{ m/s}$

**Impossible  
pratiquement**

# Axe Sécurité



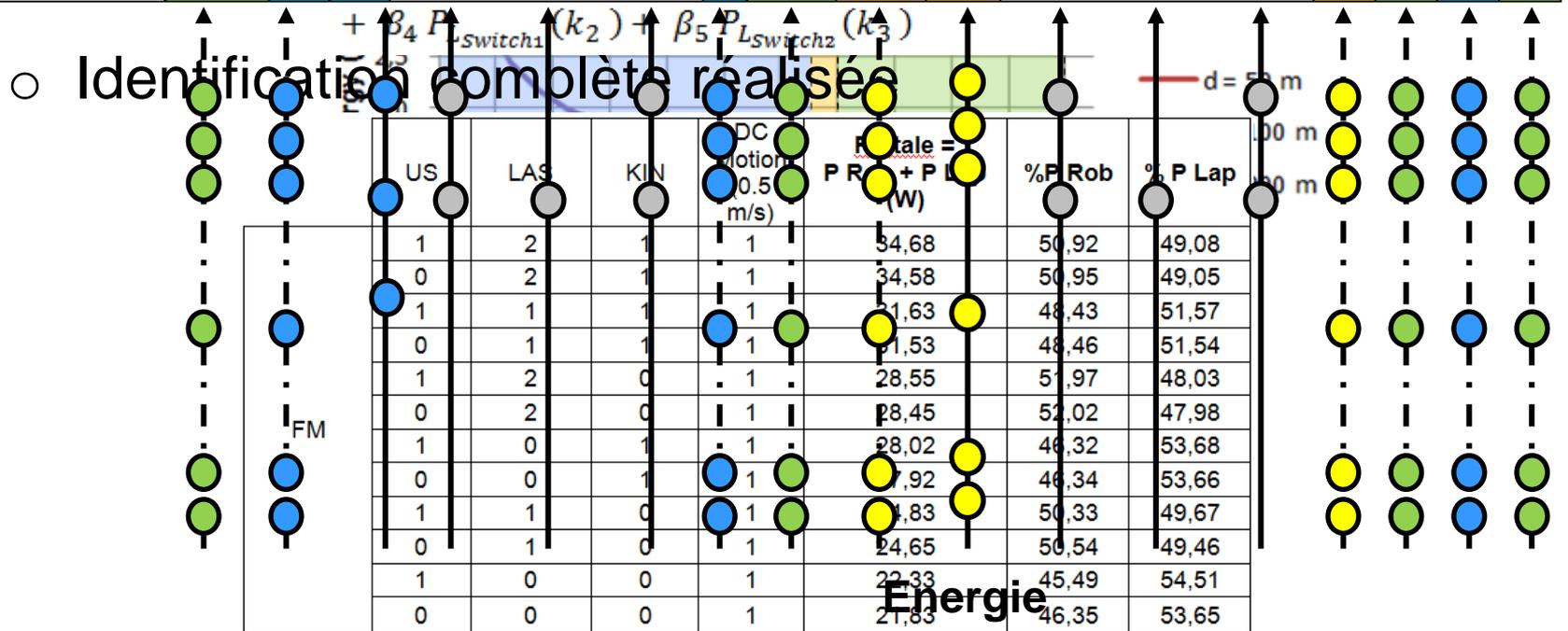
$x_i - x_{i-1}$ (m)	0 - 34			37	37	37	37 - 93.5				93.5	93.5	93.5	93.5 - 187			
Objective $O_i$	DS → V1			↻	⊗	↻	V1 → V2				↻	⊗	↻	V2 → DS			
$n_{alt_i}$	21			2	1	2	21				2	1	2	21			
Task $T_k$	FM / L			R	VD	R	FM / L				R	VD	R	FM / L			
$A_k^{c_j}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$n_{alt_k}$	21	9	3	2	1	2	9	21	21	7	2	1	2	21	21	9	21
$V_{max}$ (m/s)	[Green]			[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Blue]	[Green]	[Orange]	[Orange]	[Orange]	[Orange]	[Orange]	[Orange]	[Green]	[Blue]	[Green]

Nbre alternatives  $V_{max}(100) = 21 \cdot 100 = 896742224$

Alternative ?  
Energie

# Axe Energie

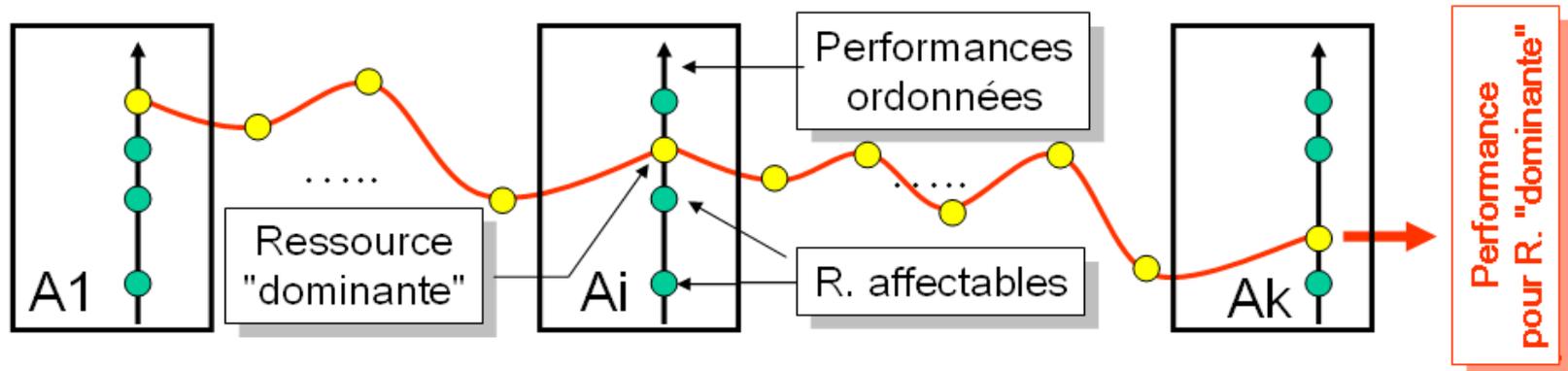
$x_i - x_{i-1}$ (m)	0 - 34			37	37	37	37 - 93.5				93.5	93.5	93.5	93.5 - 187			
Objective $O_i$	DS → V1			↻	⊗	↻	V1 → V2				↻	⊗	↻	V2 → DS			
$n_{alt_i}$	21			2	1	2	21				2	1	2	21			
Task $T_k$	FM / L			R L	VD	R L	FM / L				R L	VD	R L	FM / L			
$A_k^{c_j}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$n_{alt_k}$	21	9	3	2	1	2	9	21	21	7	2	1	2	21	21	9	21
$V_{max}$ (m/s)	[Green][Blue][Blue]			[Grey]			[Blue]	[Green]	[Orange]	[Orange]	[Grey]			[Orange]	[Green]	[Blue]	[Green]



# Algorithme

*Comment choisir et configurer les alternatives  
à utiliser de façon à satisfaire les objectifs de performance imposés ?*

- Problème sac-à dos multicritères
  - NP-Complet
- Algorithme
  - Complexité linéaire
  - Bonne solution en peu d'itérations => temps réel

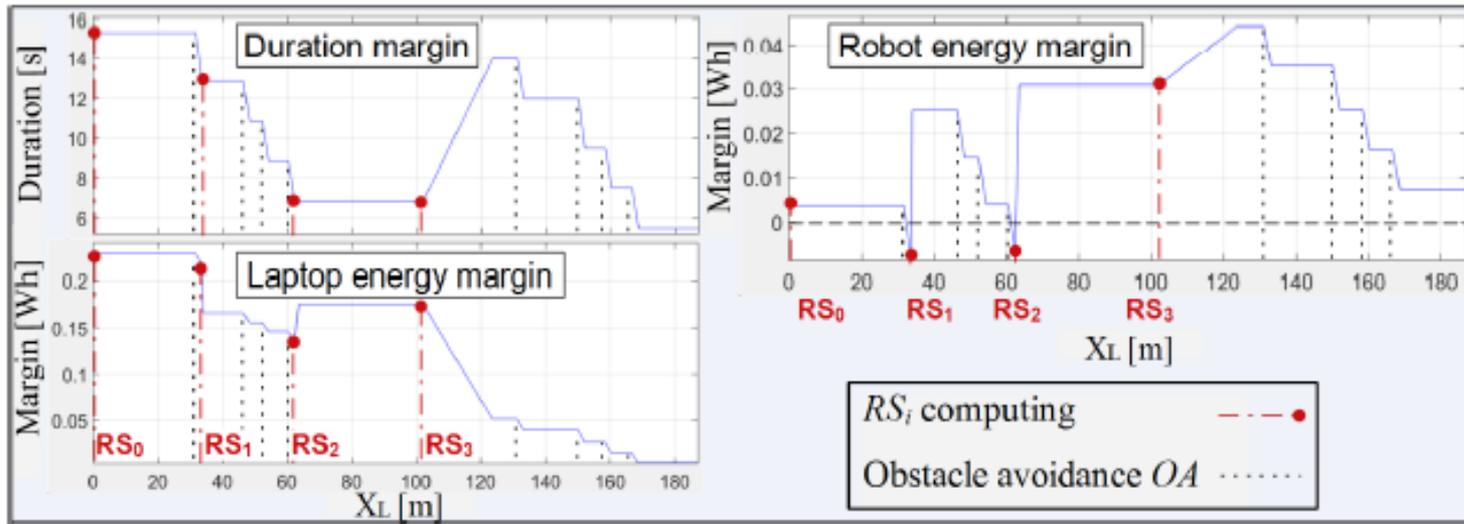


# Simulation – Mission 1

- Objectifs
  - Stabilité : Freq(Ctrl) = 10 Hz
  - Localisation : OK
  - Sécurité : Vérifiée
  - E\_Laptop < 2 Wh
  - E\_Robot < 1.9 Wh
  - Durée Mission < 390 s

# Résultats simulation

- Déroulement Mission



- Affectation ressources

$A_k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	$GAI \geq$	IT
$RS_0$	1	1	1	2	3	2	1	1	1	1	2	3	2	1	1	1	4	$2 \cdot 10^{13}$	724
$RS_1$		1	1	2	3	2	1	1	1	1	2	3	2	1	1	1	5	$1 \cdot 10^{12}$	651
$RS_2$								1	1	1	2	3	2	1	1	1	6	$1 \cdot 10^9$	499
$RS_3$														7	7	7	7	$1 \cdot 10^4$	187

(1): SMZ-2LAS-US/KIN, (2): OPR/KIN, (3): VALVE ANALYSIS, (4): SMZ-2LAS/KIN, (5): SMZ-US/KIN, (6): SMZ-US/NONE, (7): CENTERING-2LAS-US/GOL

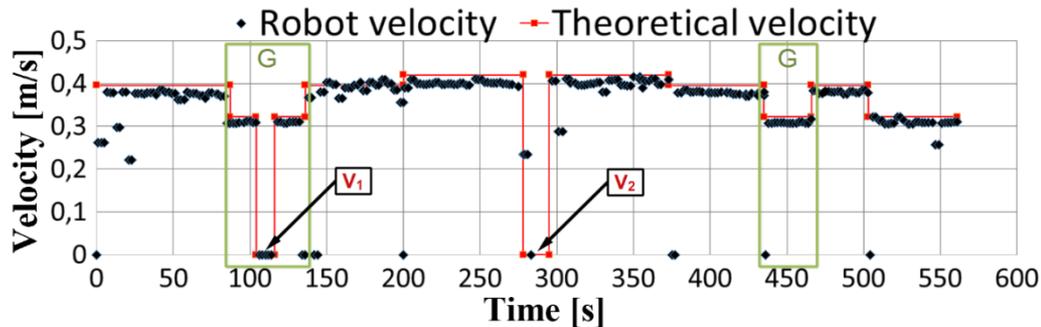
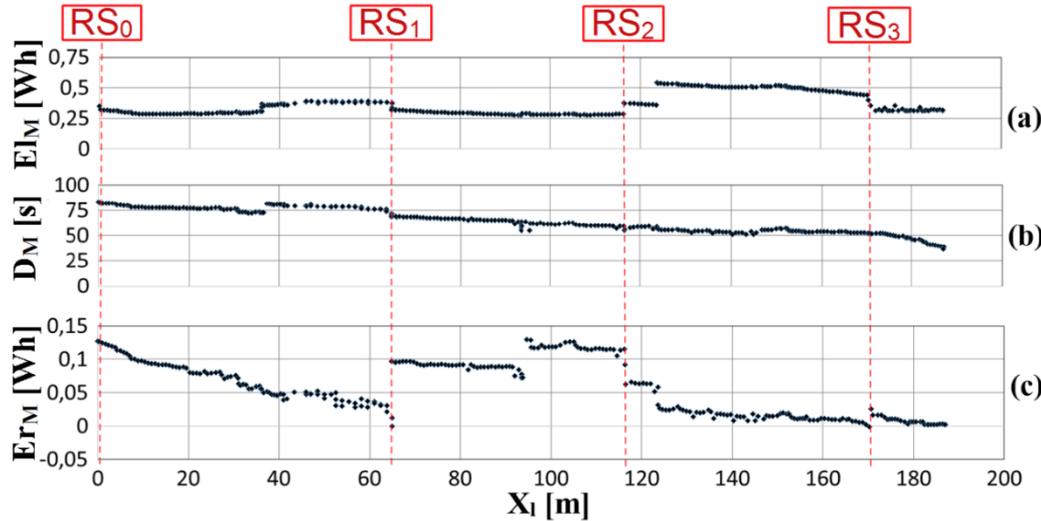
# Expérimentation – Mission 2

- Objectifs
  - Stabilité : Freq(Ctrl) = 10 Hz
  - Localisation : OK
  - Sécurité : Vérifiée
  - E\_Laptop < 2.8 Wh
  - E\_Robot < 2.4 Wh
  - Durée Mission < 600 s

# Résultats expérimentaux

- Déroulement Mission

*Faute LAS2*

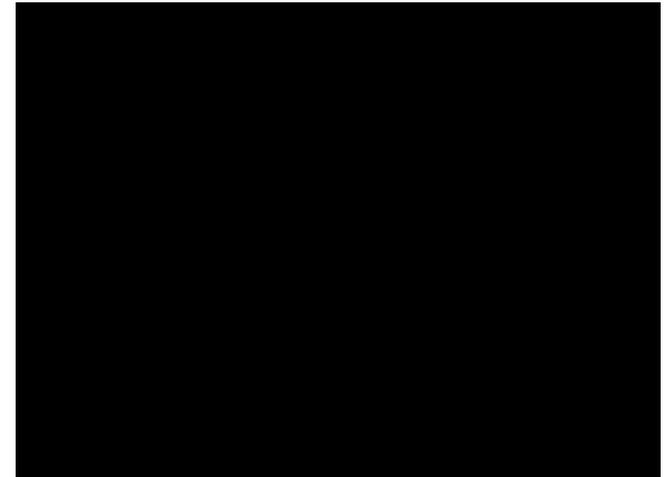


- Affectation ressources

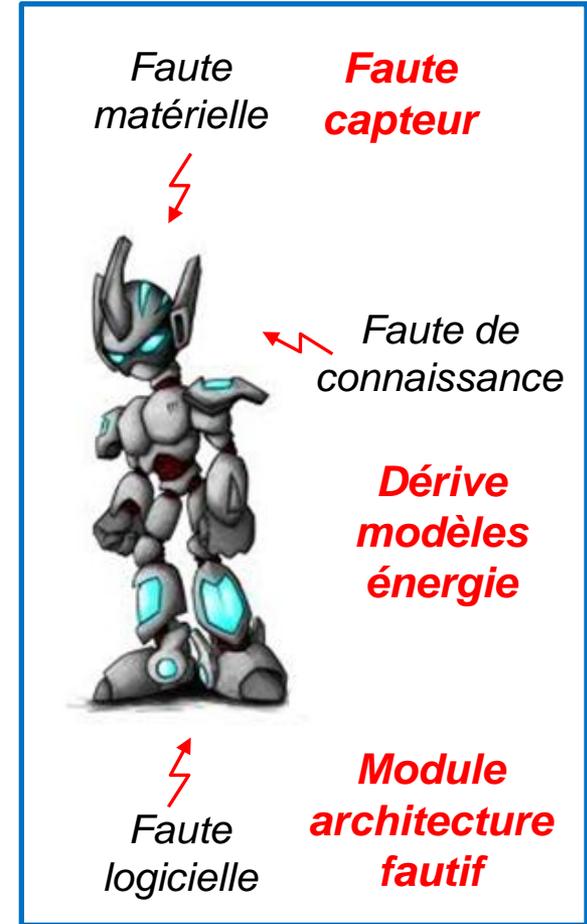
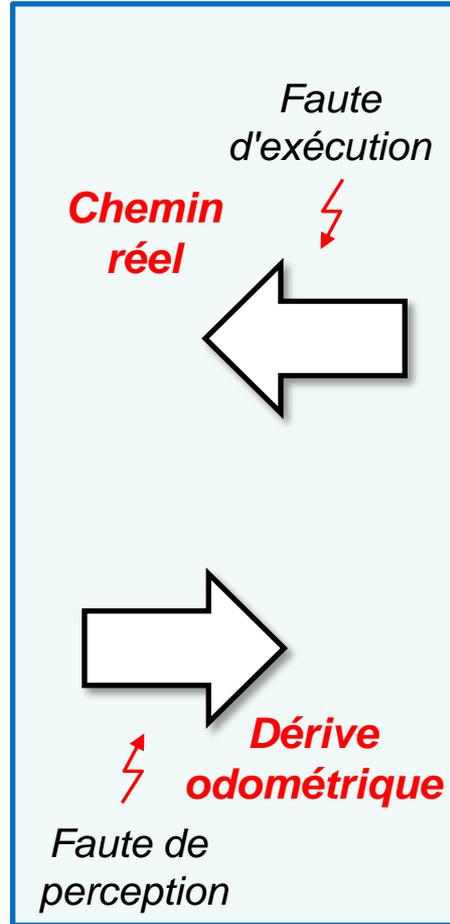
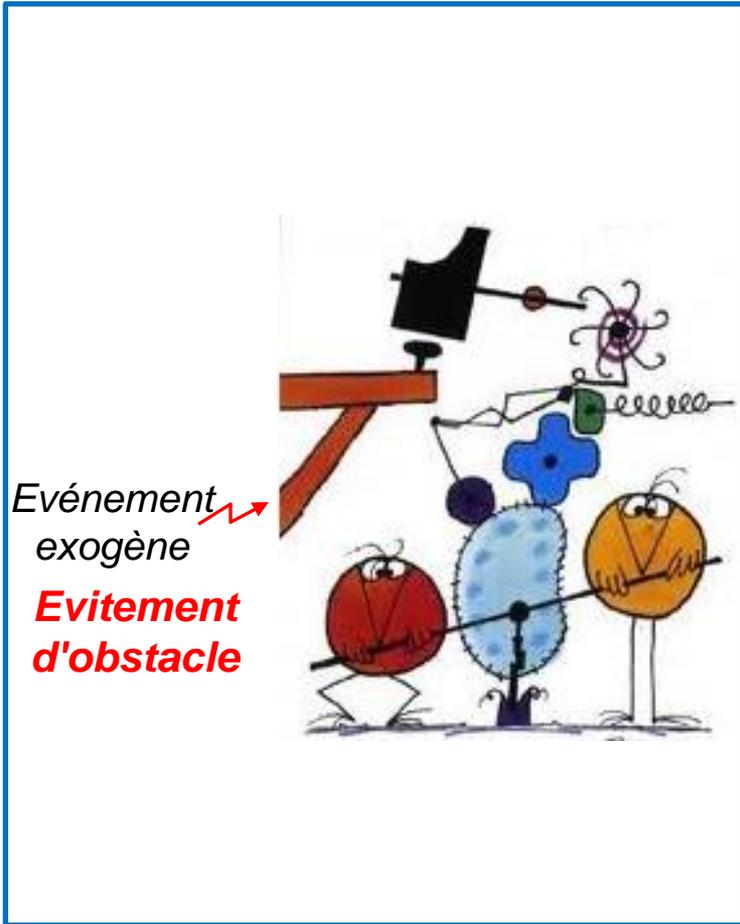
$A_k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$RS_0$	1	1	1	2	3	2	1	1	1	1	2	3	2	1	1	1	4
$RS_1$								1	1	1	2	3	2	1	1	1	5
$RS_2$														6	6	7	6
$RS_3$																	7

AI = {(1): SMZ-2LAS-US/KIN, (2): OPR/KIN, (3): VALVE ANALYSIS, (4): SMZ-1LAS/KIN, (5): PF/KIN, (6): SMZ-1LAS/KIN, (7): SMZ-US/KIN, etc.}

- Mission



# Amélioration tolérance aux fautes

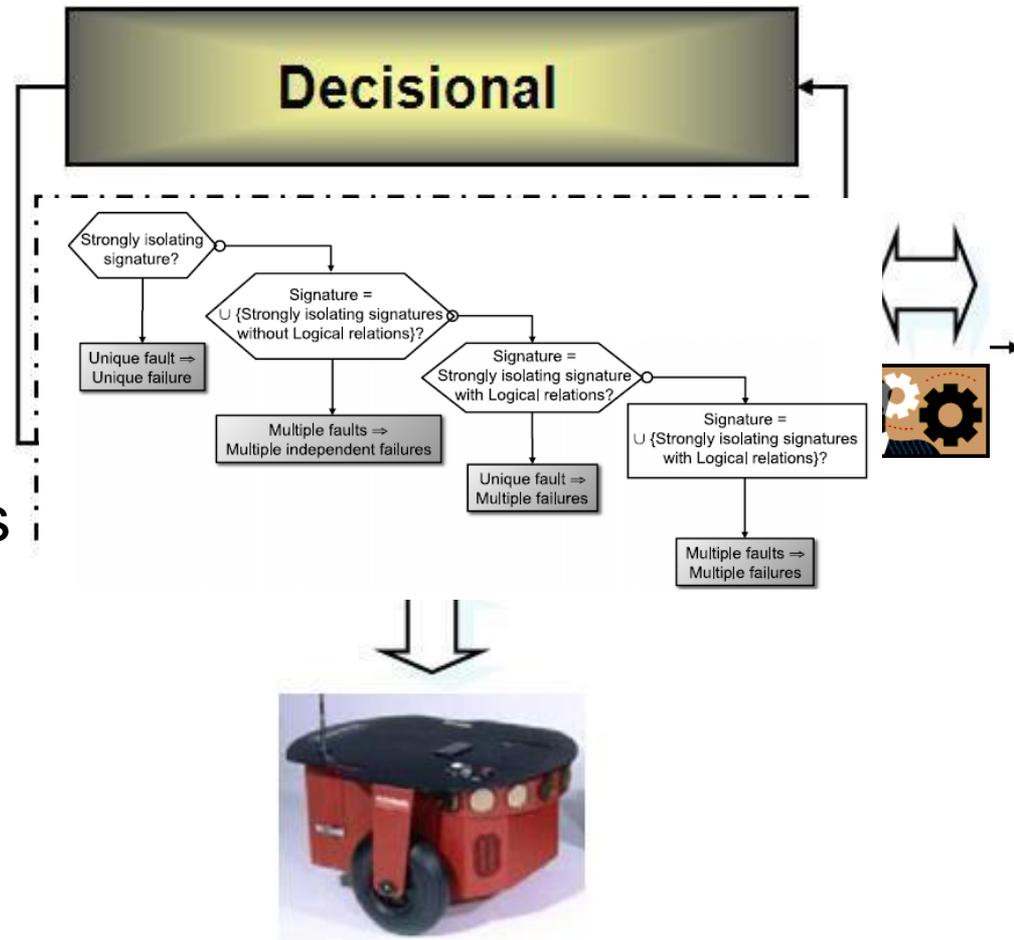


# Conclusion

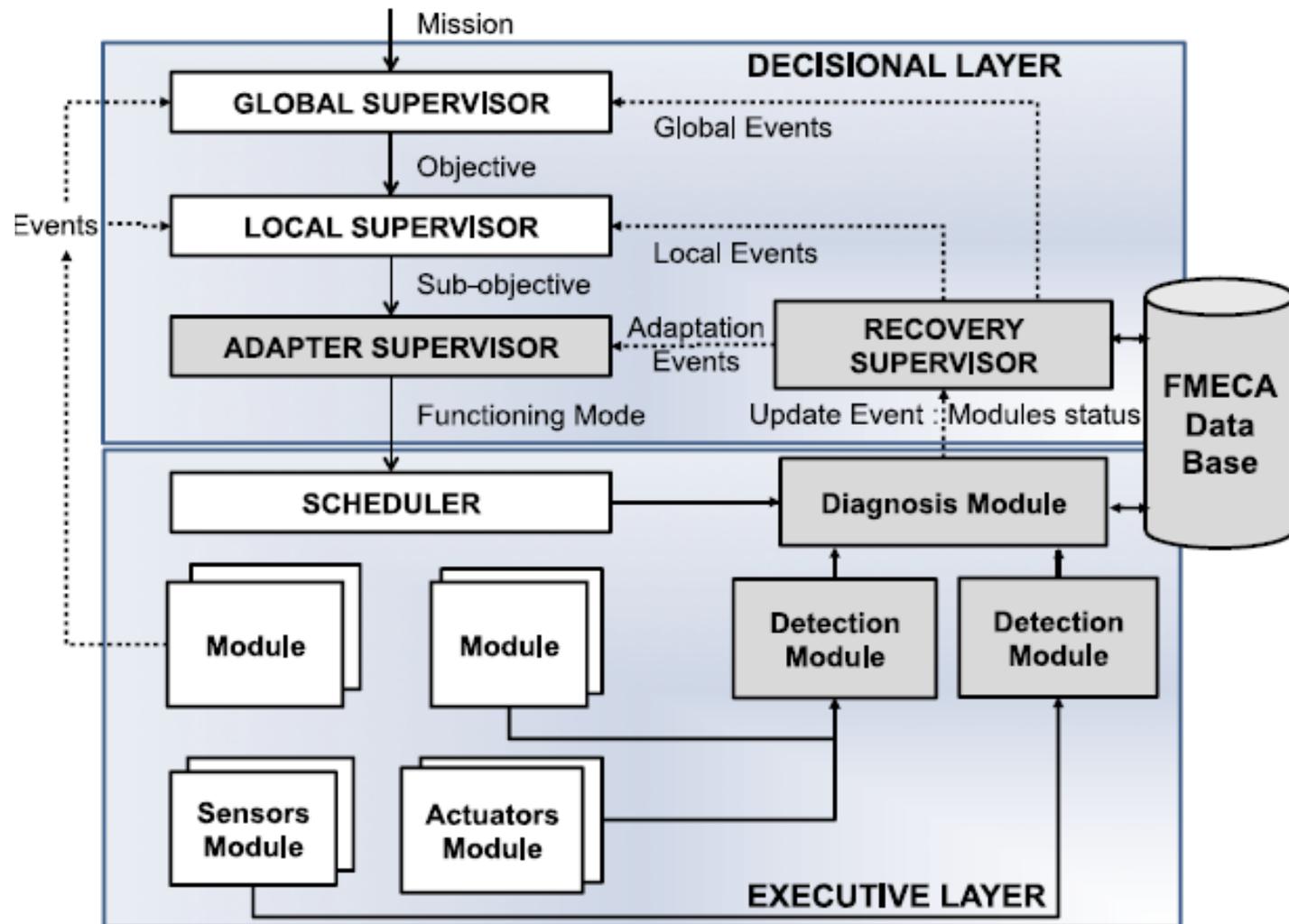
- Performance mission complexe de longue durée peu abordée : Axe Sécurité – Energie – Durée
- Complexité combinatoire très importante
- Méthodologie générique (3 axes)
  - Gestion énergie robot ET laptop
- Reconfiguration en temps réel
  - Amélioration mécanisme de recouvrement pour la tolérance aux fautes
  - Tolérance aux fautes : dynamisme - défaillances hard/soft

# Perspectives

- Identification
  - AMDEC / Ishikawa
  - Sévérité fautes
- Détection & Diagnostic
  - Timing checks
  - Reasonableness checks
  - Safety-bag
  - Model based monitoring
- Réaction
  - Reconfiguration
  - Ajustement niveau autonomie



# Architecture tolérante aux fautes





**GT S3**

Sûreté – Surveillance - Supervision

**GT 2**

Véhicules Autonomes

**GT 4**

Architectures de Contrôle  
pour la Robotique

*Mêmes problématiques  
(Vue architecture et contrôle)*

*Futures sessions communes ?*

*Contact : [passama@lirmm.fr](mailto:passama@lirmm.fr)*