

GreenDays 2026

10-11 mars 2026 Sophia (France)

L'architecture logicielle modulaire comme catalyseur pour une robotique autonome durable



Ali BHAR & Mounir SAYADI



Plan

- ❖ **Introduction & enjeux de durabilité**
- ❖ **Modularité logicielle et Matérielle en robotique**
- ❖ **Obsolescence rapide & systèmes propriétaires**
- ❖ **Une architecture universelle, modulaire, frugale et interopérable**
- ❖ **Sobriété computationnelle & longévité des plateformes**
- ❖ **Conclusion & perspectives**

Introduction & enjeux de durabilité

- Croissance rapide du parc robotique
- Cycles de vie très courts
- Accumulation de déchets électroniques
- Systèmes propriétaires fermés
- Pression énergétique croissante
- Nécessité d'une approche durable



Modularité Matérielle en robotique

- Technologie des plateformes de robots mobiles : mature et commercialement viable.
- Composants modulaires disponibles, mais progrès technologiques encore nécessaires.
- Transducteurs (capteurs/actionneurs) et systèmes d'alimentation : qualité à améliorer.
- Middleware d'intégration système : élément clé pour le prototypage rapide.



Modularité logicielle en robotique

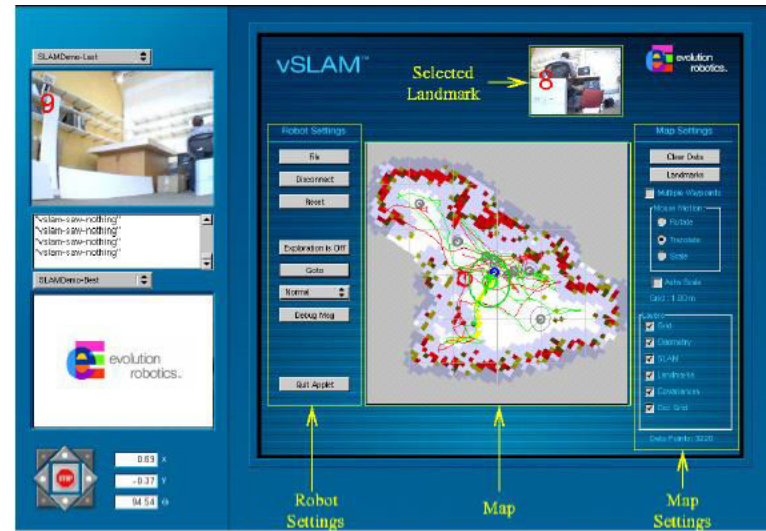
Navigation & Manipulation

- Navigation autonome avec évitement d'obstacles basée sur des capteurs de distance et de vision : technologie établie et déjà utilisée dans des produits commerciaux.
- Locomotion humanoïde bipède : faisabilité technique démontrée.
- Perception autonome guidant la manipulation d'objets, avec modélisation en temps réel de l'espace de travail : prochaine étape majeure à établir.



✓Locomotion humanoïde bipède

✓Visual SLAM



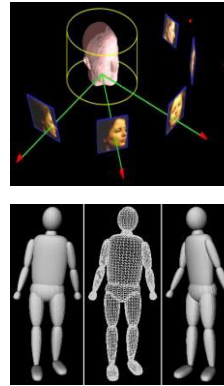
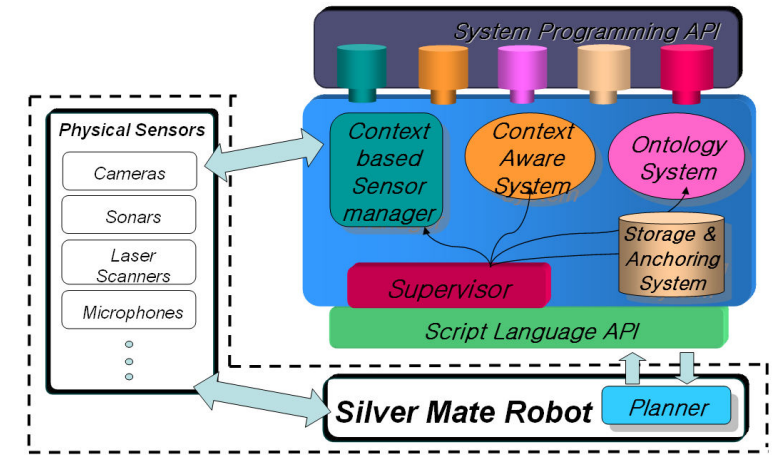
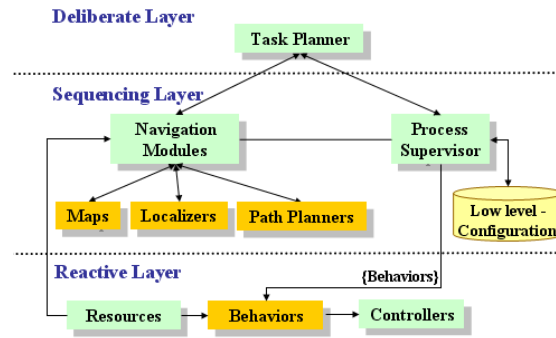
✓Manipulation guidée par la perception



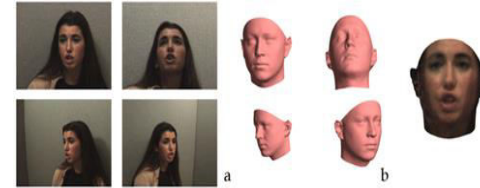
Modularité logicielle en robotique

Perception et raisonnement

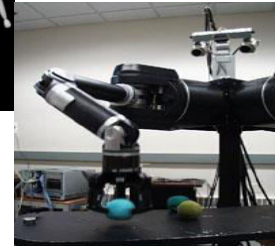
- Capacité de planification hybride (combinant approche comportementale et délibérative) déjà implémentée dans certains produits commerciaux.
- Reconnaissance de visages et d'objets, ainsi que le suivi de mouvements, ont connu des avancées significatives pour des applications commerciales.
- La compréhension du contexte reste une capacité encore à implémenter pleinement.



✓ Recognition & Tracking

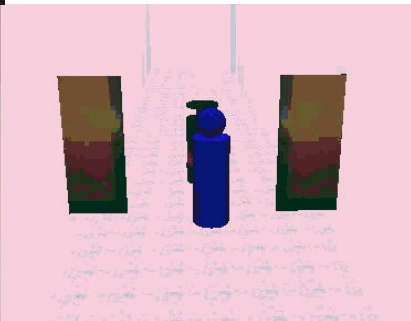


✓ Learning



✓ Hybrid Planning Capability

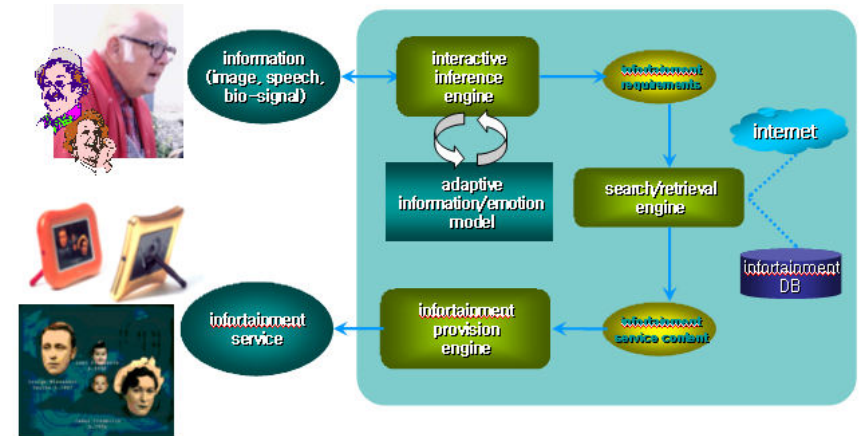
✓ Context Understanding



Modularité logicielle en robotique

Interaction Humain–Robot

- Un niveau de base d'interaction humain–robot (verbale, visuelle et gestuelle) a déjà été implémenté.
- L'interaction émotionnelle et la réalisation coopérative de tâches homme–robot sont en cours de développement en laboratoire.
- Les interactions mentales et sociales de niveau avancé nécessitent encore des recherches approfondies.



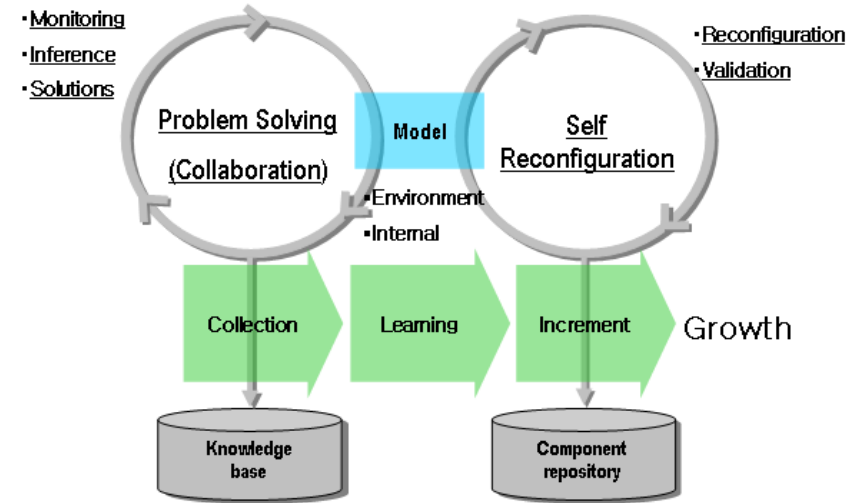
- ✓ Interaction gestuelle
- ✓ Interaction émotionnelle
- ✓ Interaction mentale



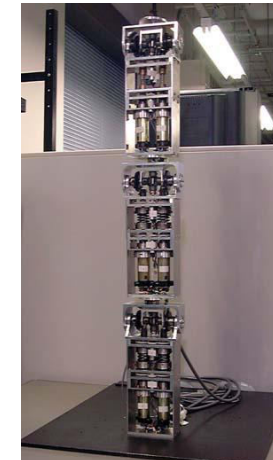
Modularité logicielle en robotique

Sûreté de fonctionnement & Sécurité

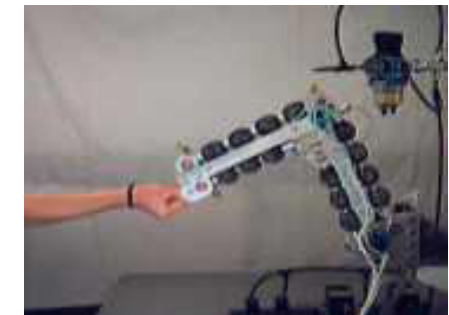
- La sûreté de fonctionnement d'un robot est la clé de son succès commercial.
- La coexistence humain-robot impose que les robots de service soient souples et sûrs.
- La capacité d'auto-réparation et d'auto-adaptation des robots de service est hautement souhaitable.



✓ Auto Réparation/Adaptation



✓ Robot Souple



Obsolescence rapide & systèmes propriétaires

Obsolescence rapide du matériel

- Nouveaux capteurs → matériel remplacé
- Nouveaux algorithmes → cartes obsolètes
- Nouveaux standards → plateformes inutilisables → **Gaspillage technologique massif**

Impact environnemental

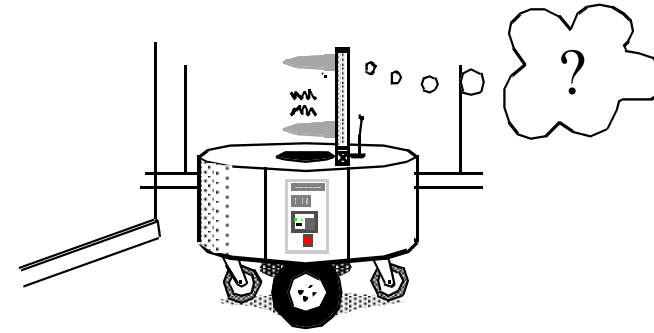
- Déchets électroniques
- Surconsommation de matériaux
- Empreinte carbone élevée
- Renouvellement matériel non nécessaire



Obsolescence rapide & systèmes propriétaires

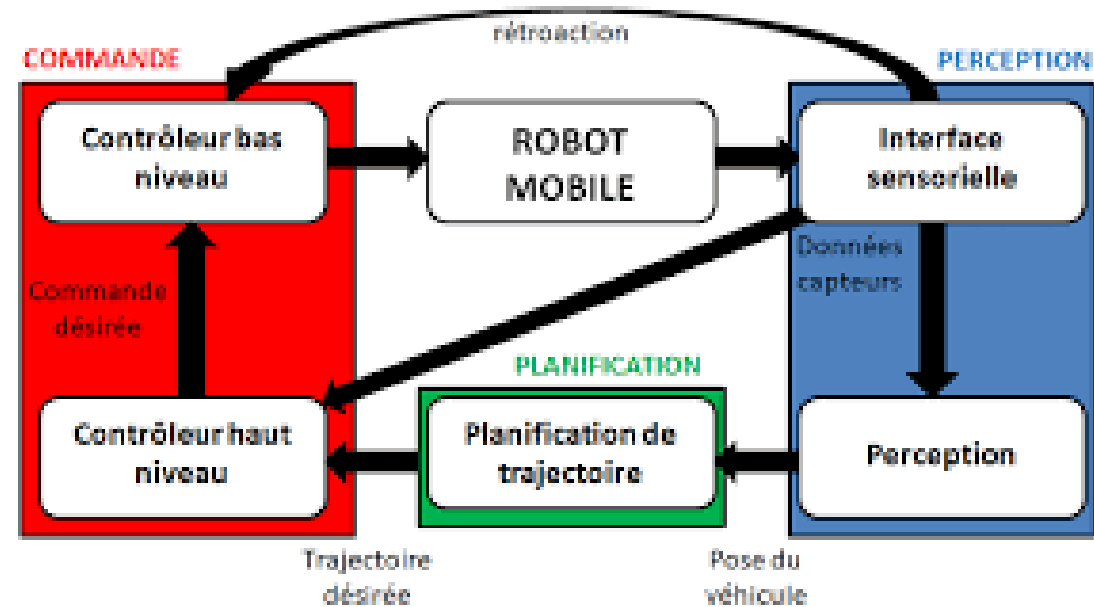
Systèmes propriétaires fermés

- Code inaccessible
- Écosystèmes verrouillés
- Pas de mise à jour possible
- Pas de réparation ou d'évolution



Conséquences des systèmes fermés

- Dépendance au constructeur
- Obsolescence programmée ou subie
- Incompatibilité entre plateformes
- Perte de flexibilité et de durabilité



Une architecture universelle, modulaire, frugale et interopérable

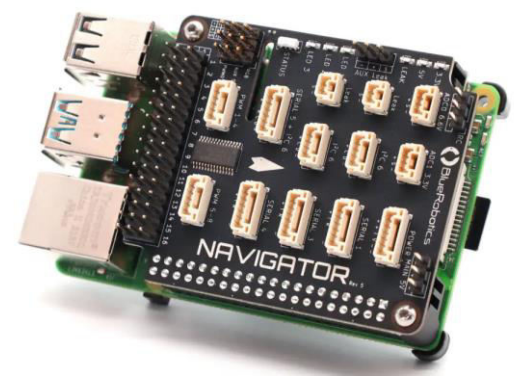
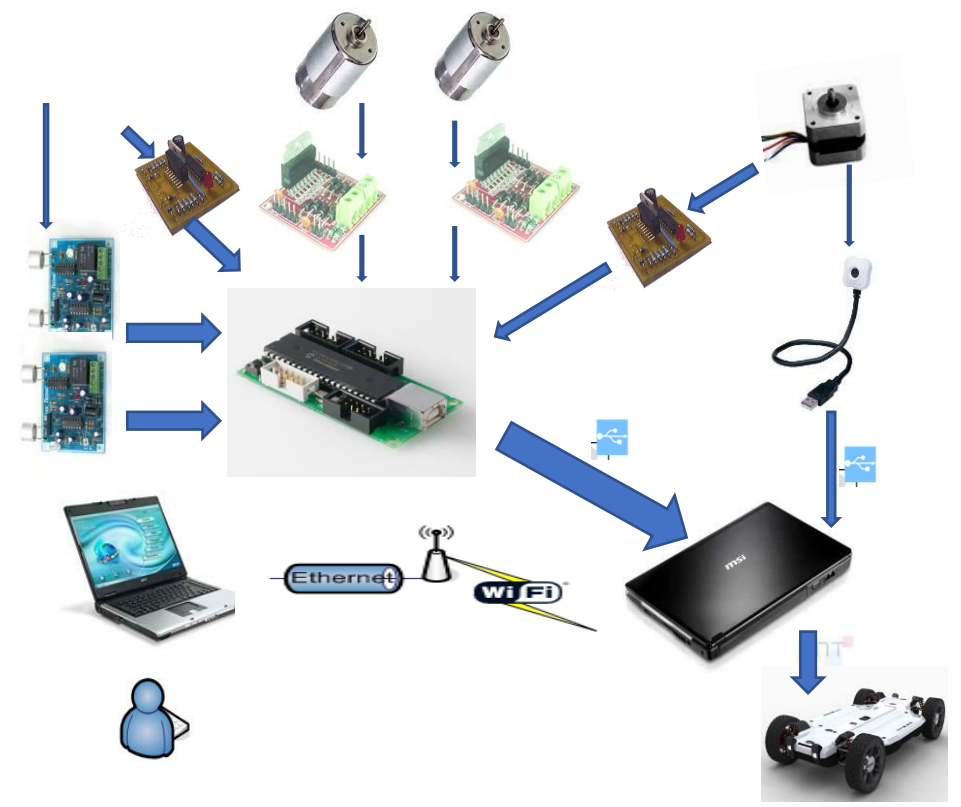
Besoin d'un changement de paradigme

Passer d'une robotique centrée sur le matériel → à une robotique centrée sur le logiciel, ouverte et durable.

Vers une architecture universelle

Une architecture capable de fonctionner sur **tout robot mobile**, indépendamment :

- du châssis
- des capteurs
- du système embarqué

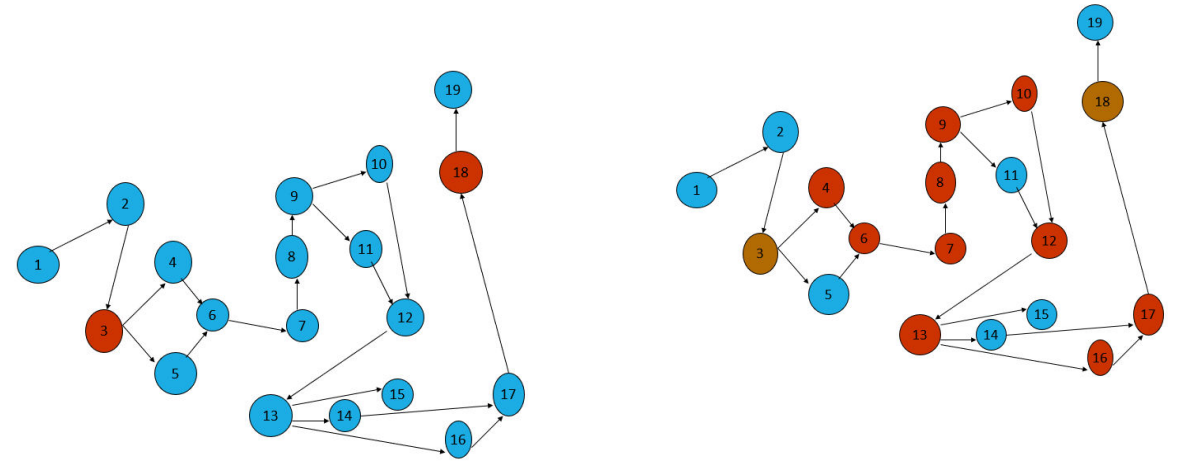
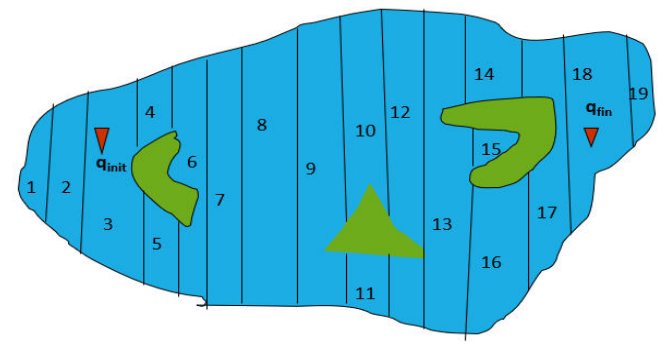
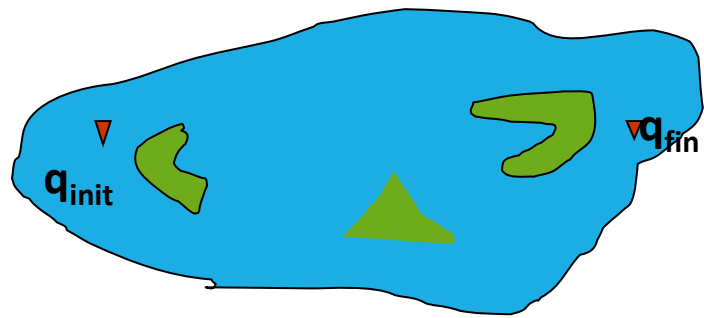


Une architecture universelle, modulaire, frugale et interopérable

Architecture modulaire

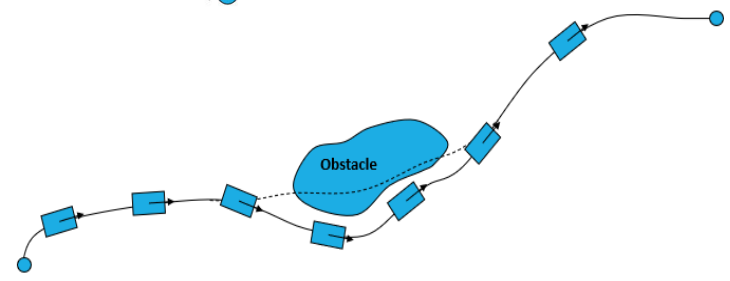
Modules indépendants pour :

- perception
- navigation
- décision
- commande bas niveau



Architecture frugale

- Capteurs simples
- Algorithmes légers
- Pas de dépendance au deep learning
- Consommation minimale

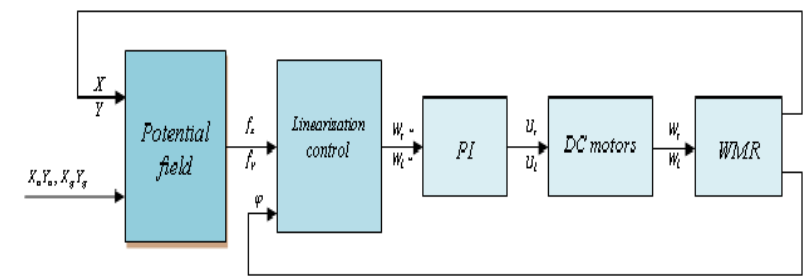
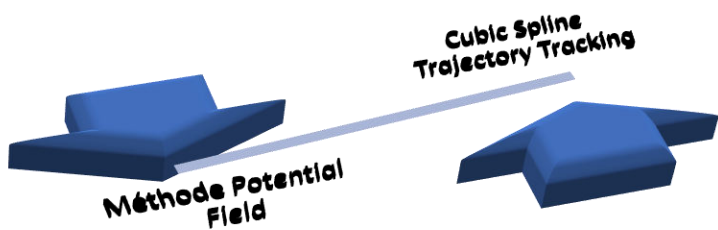
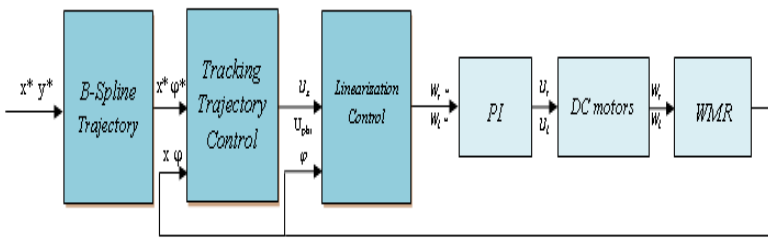
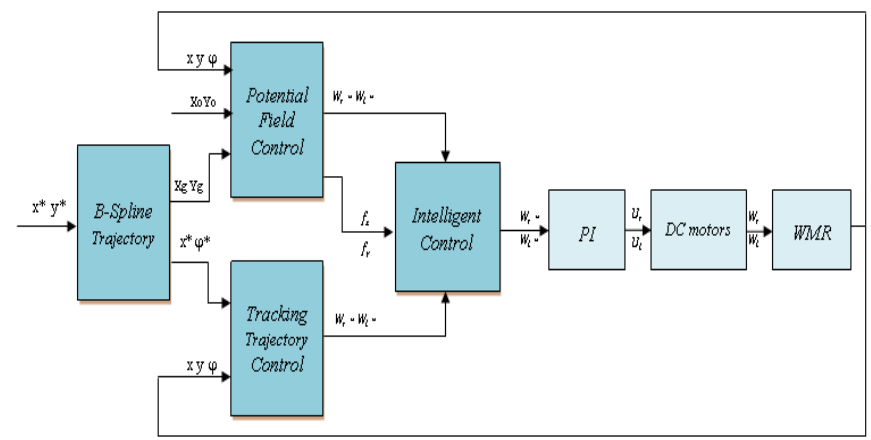
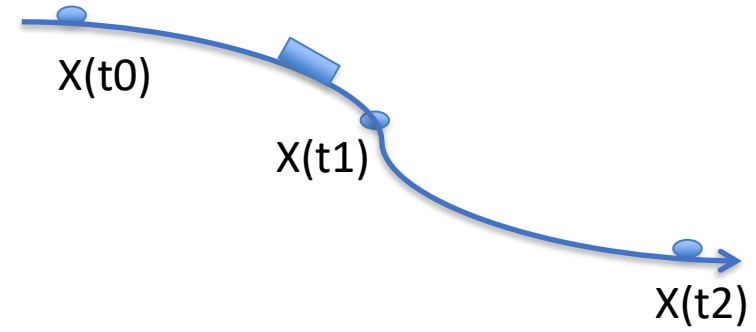


Une architecture universelle, modulaire, frugale et interopérable

navigation modulaire

Modules indépendants :

- évitement d'obstacles
- suivi de trajectoire
- commande moteur
- fusion de capteurs



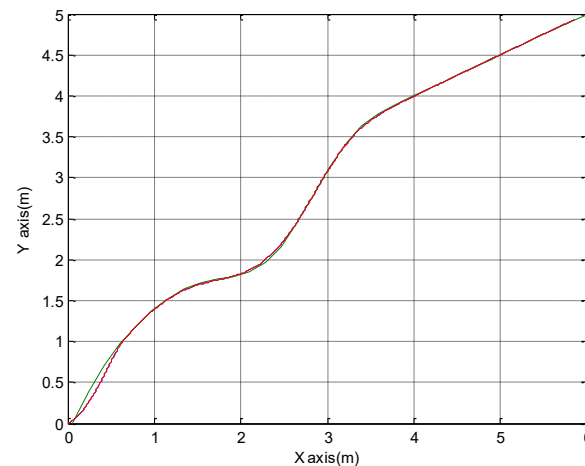
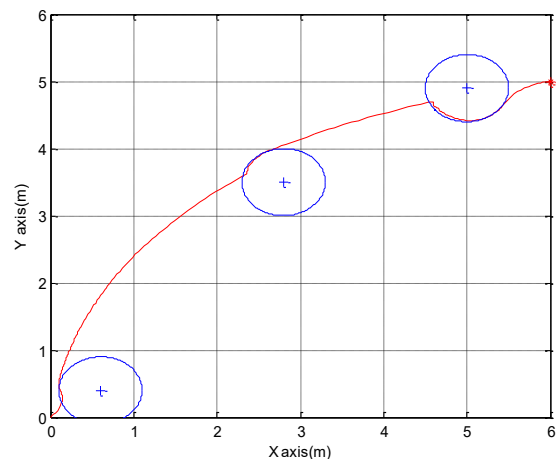
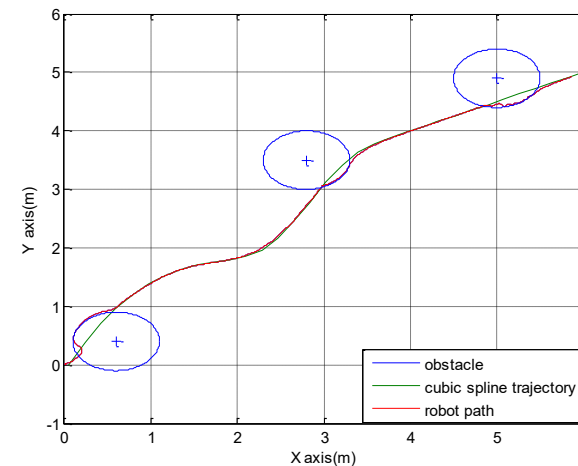
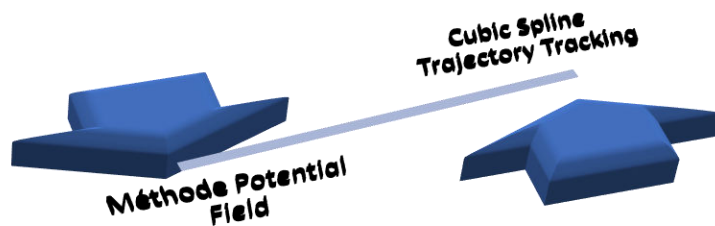
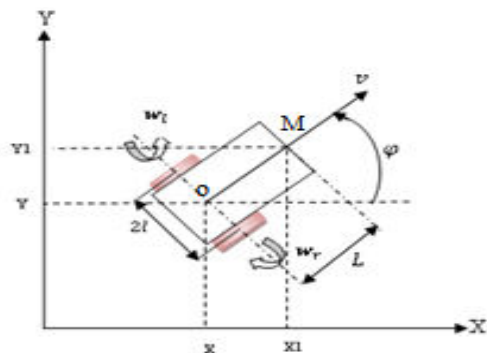
Une architecture universelle, modulaire, frugale et interopérable

Modélisation mathématique

$$\dot{x} = \frac{(w_r + w_l)r}{2} \cos\phi$$

$$\dot{y} = \frac{(w_r + w_l)r}{2} \sin\phi$$

$$\dot{\phi} = \frac{(w_r - w_l)r}{2l}$$



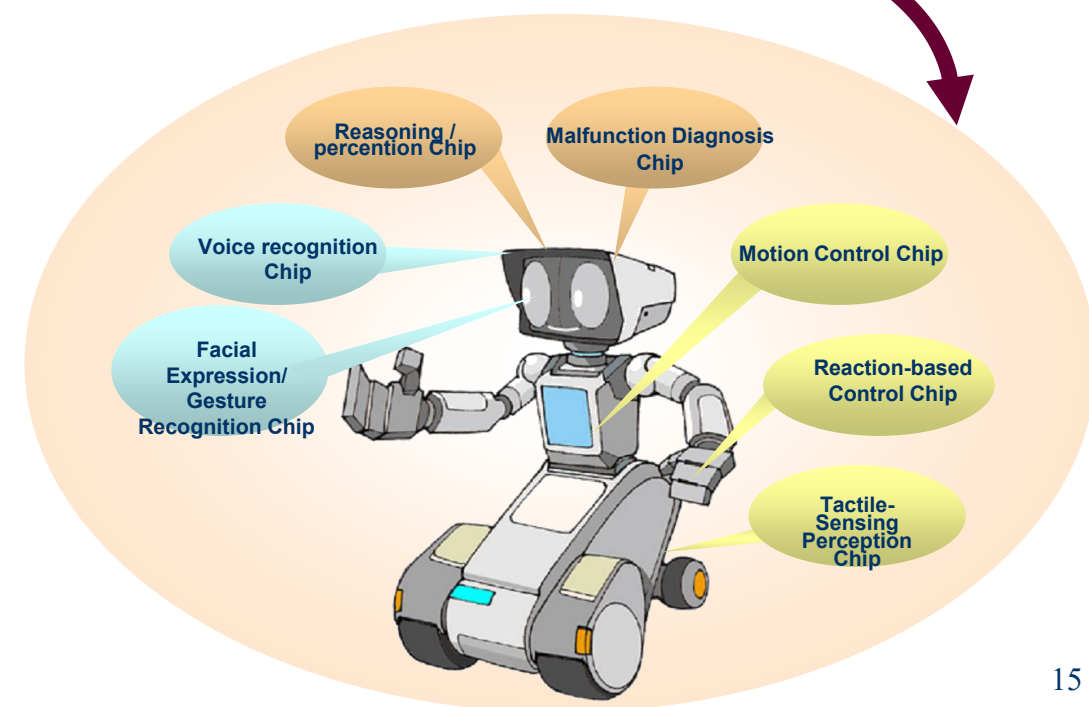
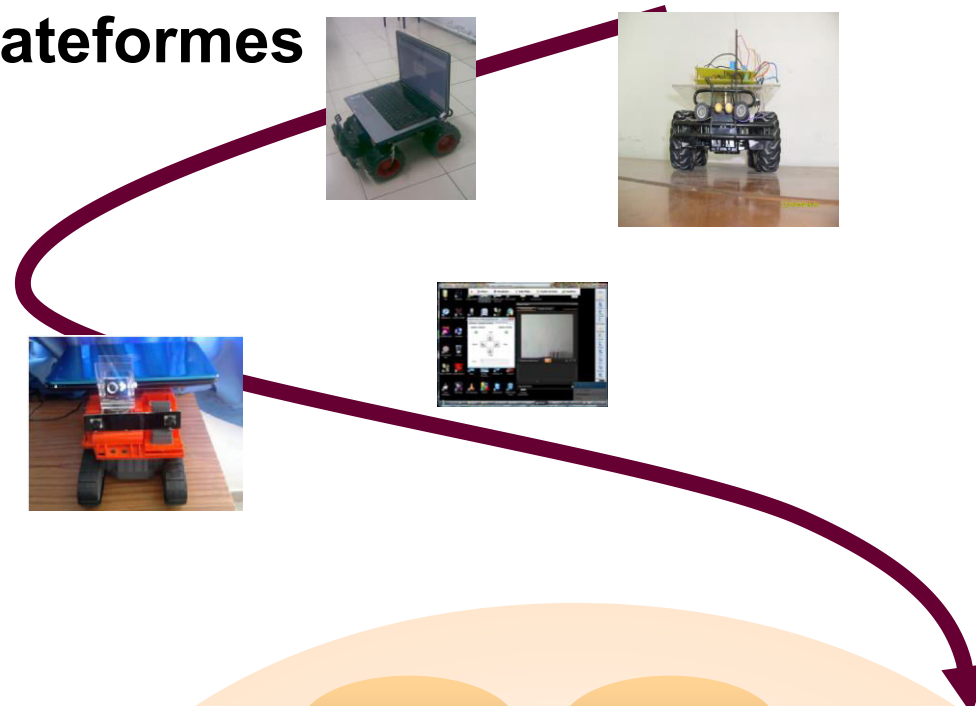
Sobriété computationnelle & longévité des plateformes

- Les modèles IA lourds → GPU → forte consommation
- Les robots doivent fonctionner longtemps
- La frugalité augmente la fiabilité et la durabilité
- Optimisation des ressources
- Réduction de la charge processeur
- Moins d'énergie consommée
- Plus grande autonomie

Longévité des plateformes

Grâce à la modularité :

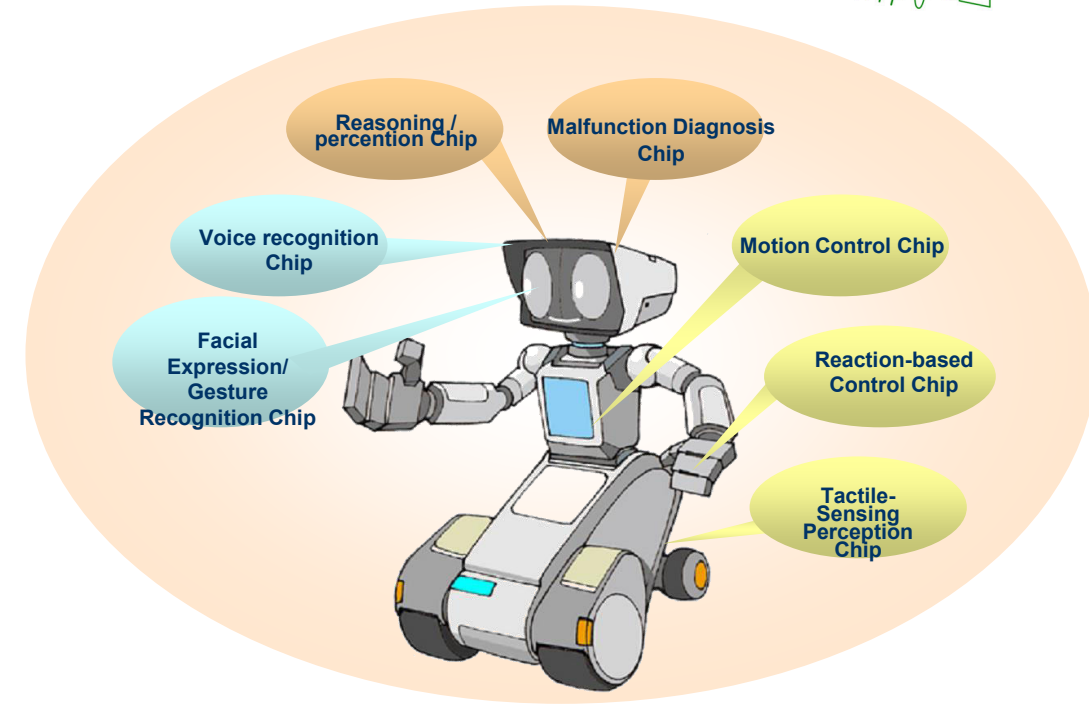
- un robot peut évoluer
- un module peut être remplacé
- le matériel reste fonctionnel plus longtemps



Conclusion & perspectives

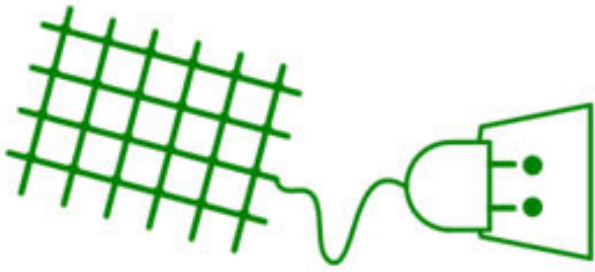
La durabilité en robotique repose sur :

- la modularité logicielle
- la frugalité computationnelle
- l'interopérabilité
- la longévité des plateformes



Perspectives

- Architecture robotique ouverte, modulaire et standardisée pour accélérer le prototypage
- Normes industrielles renforcées pour la sécurité, l'évaluation et la certification
- Coopération internationale autour d'une robotique frugale et durable
- Extension de l'approche modulaire aux drones, AGV/AMR et robots collaboratifs
- Déploiement de plateformes pédagogiques durables pour la formation et la recherche



GreenDays 2026

10-11 mars 2026 Sophia (France)

Merci pour votre attention !

ali.bhar@univ-jfc.fr

bhar_ali@yahoo.com