

# Robotique Mobile

*Cellule E-learning*



Mohamed Ilyas RAHAL

# Table des matières



<b>Objectifs</b>	3
<b>Introduction</b>	5
<b>I - Chapitre I : Classification et Modélisation des robots mobiles (R-M)</b>	7
1. Introduction sur les robots mobiles .....	7
2. Classification des robots mobiles (R-M) .....	8
2.1. Mode de locomotion .....	8
2.2. Taille .....	9
2.3. Autonomie .....	9
2.4. Capacité de charge .....	9
3. Types de robots mobiles .....	9
4. Modélisation des robots mobiles (R-M) .....	10
4.1. Les différences entre ces types de modèles : .....	10
5. Conclusion .....	11
<b>Glossaire</b>	12
<b>Abréviations</b>	13
<b>Bibliographie</b>	14

# Objectifs



Les objectifs généraux du cours sur la robotique mobile, intégrée aux systèmes électroniques embarqués, peuvent être formulés en utilisant la taxonomie de Bloom pour décrire les niveaux de connaissances visés :

Connaissance (Knowledge) :

- Comprendre les bases fondamentales de la création et de la conception d'applications dans le domaine de l'électronique embarquée, en mettant un accent particulier sur la robotique mobile.
- Apprendre les principes théoriques et pratiques de la robotique mobile et de son intégration avec les systèmes électroniques.

Compréhension (Understanding) :

- Interpréter et expliquer les principes de la robotique mobile, en analysant comment ces principes s'appliquent dans divers contextes.
- Comparer différentes technologies et approches en robotique mobile pour évaluer leurs avantages et leurs limitations.

Application (Application) :

- Développer des compétences pratiques en concevant et en créant des solutions innovantes dans le domaine de la robotique mobile.
- Appliquer les connaissances acquises pour résoudre des problèmes concrets liés à l'efficacité, la qualité, la sécurité et la flexibilité des opérations industrielles.

Analyse (Analysis) :

- Analyser les applications existantes de la robotique mobile pour évaluer leur efficacité et leur pertinence dans divers environnements industriels.
- Évaluer les implications techniques et économiques des technologies de robotique mobile en termes de performance opérationnelle et de coûts.

Évaluation (Evaluation) :

- Évaluer les impacts sociaux, éthiques et économiques des applications de la robotique mobile.
- Critiquer et formuler des recommandations pour améliorer l'adoption et l'implémentation de la robotique mobile dans différents secteurs.

En suivant cette structure, le cours vise à développer chez les étudiants une gamme complète de compétences allant de la connaissance théorique à l'évaluation critique, en passant par l'application pratique des concepts de la robotique mobile intégrée aux systèmes électroniques embarqués.

# Introduction



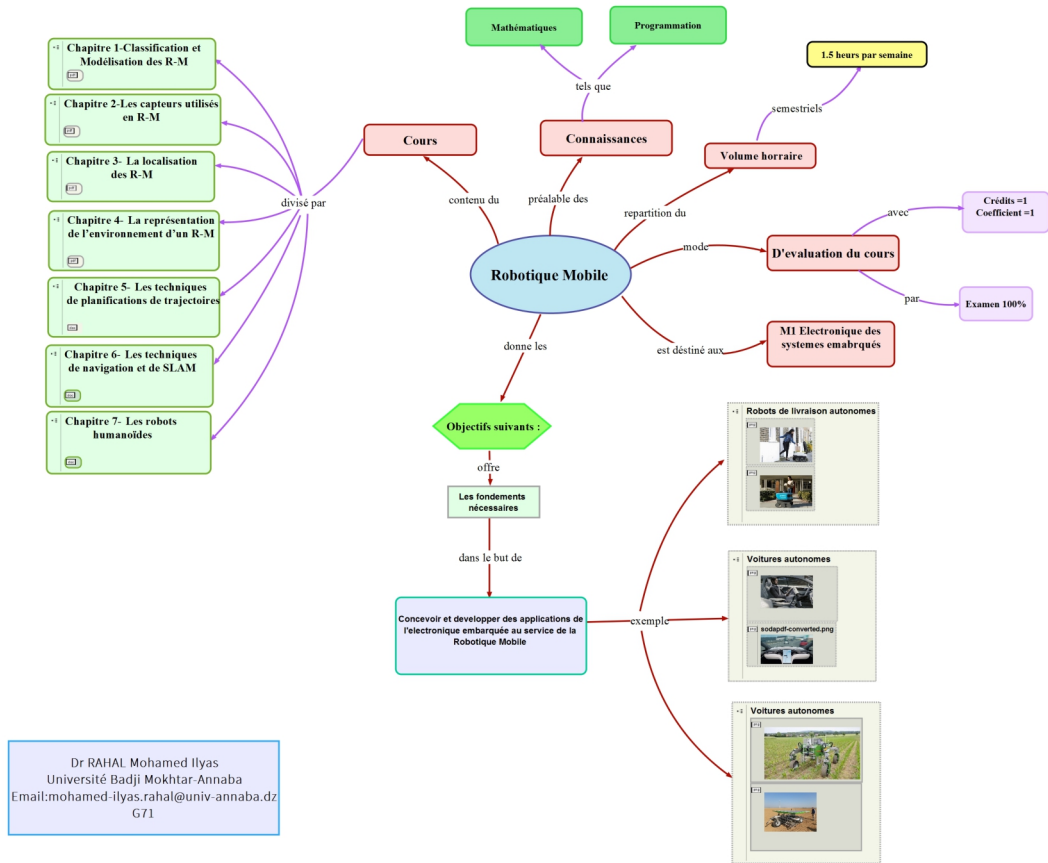
La robotique mobile est un domaine technologique dynamique et en pleine expansion, qui intègre des avancées en robotique, intelligence artificielle (IA) et capteurs pour créer des systèmes autonomes capables de se déplacer et d'interagir de manière intelligente dans divers environnements. Ce cours propose une vue d'ensemble structurée de la robotique mobile en explorant les aspects clés de cette discipline complexe. Nous commencerons par la classification et la modélisation des robots mobiles, pour comprendre les différents types de robots et leurs mécanismes de fonctionnement. Nous poursuivrons avec une étude des capteurs utilisés, essentiels pour la perception et la collecte de données dans les systèmes robotiques. Le chapitre suivant portera sur la localisation des robots, une fonction cruciale pour déterminer leur position avec précision. Nous examinerons également la représentation de l'environnement, qui permet aux robots de créer des modèles internes de leur milieu pour naviguer efficacement. Les techniques de planification de trajectoires seront abordées pour découvrir comment les robots planifient leurs déplacements en évitant les obstacles. Nous explorerons ensuite les techniques de navigation et de SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), qui permettent aux robots de se localiser et de cartographier leur environnement en temps réel. Enfin, le cours se conclura par une étude des robots humanoïdes, qui imitent les mouvements humains et posent des défis uniques en matière de conception et d'application. Ce parcours complet offre une compréhension approfondie des principes et technologies qui façonnent la robotique mobile, préparant ainsi les étudiants à concevoir et développer des systèmes robotiques avancés capables d'opérer dans des environnements variés et complexes.

L'objectif du chapitre 1 est d'examiner et comparer les divers types de robots mobiles ainsi que leurs modèles de modélisation afin d'évaluer leurs applications et

performances dans différents environnements. Cela nécessite non seulement une compréhension approfondie des concepts, mais aussi une évaluation de leur pertinence

et efficacité dans des situations concrètes.

L'objectif du chapitre 2 est d'identifier et de décrire les différents types de capteurs utilisés en robotique mobile, d'analyser leur fonctionnement et leur rôle, et d'évaluer leur impact sur la perception, la navigation et l'interaction des robots avec leur environnement.



La carte mentale du cours Robotique Mobile

# Chapitre I : Classification et Modélisation des robots mobiles (R-M)



## 1. Introduction sur les robots mobiles

Les robots mobiles (RM<sup>\*</sup>) sont des machines autonomes capables de se déplacer dans leur environnement pour accomplir diverses tâches. Ils sont équipés de systèmes de locomotion, tels que des roues, des chenilles, des jambes ou des propulseurs, qui leur permettent de se déplacer de manière autonome.

Les RM sont utilisés dans de nombreux domaines, tels que l'industrie, la logistique, la recherche scientifique, la médecine, l'exploration spatiale, l'agriculture, la surveillance et bien d'autres encore. Ils peuvent effectuer une large gamme de tâches, allant de simples déplacements d'un point à un autre à des tâches plus complexes, telles que la manipulation d'objets, l'inspection, la cartographie, la surveillance, etc.

Les robots mobiles sont équipés de capteurs, tels que des caméras, des lidars, des capteurs de proximité, des gyroscopes, des accéléromètres, etc., qui leur permettent de percevoir leur environnement et de prendre des décisions en fonction des informations recueillies. Ils utilisent également des algorithmes de planification<sup>\*</sup> et de contrôle pour naviguer dans leur environnement, éviter les obstacles, suivre des trajectoires prédéfinies ou s'adapter aux changements de l'environnement.

Les RM peuvent être contrôlés de différentes manières. Certains sont télécommandés par des opérateurs humains, tandis que d'autres sont autonomes et prennent des décisions en temps réel en fonction de leur perception de l'environnement. Certains robots mobiles peuvent également être programmés pour effectuer des tâches spécifiques de manière répétitive.

L'avancement des technologies de l'intelligence artificielle, de la vision par ordinateur, de la robotique et des capteurs a permis de développer des RM de plus en plus performants et polyvalents. Ils sont devenus des outils précieux pour augmenter la productivité, améliorer la sécurité, réduire les coûts et accomplir des tâches qui seraient difficiles, dangereuses ou impossibles pour les humains [1]<sup>\*\*\*</sup>.

En somme, ce chapitre ouvre la voie à une compréhension approfondie des fondements théoriques et pratiques nécessaires à l'avancement de la robotique mobile moderne. En explorant la classification des robots selon divers critères et l'application de modèles mathématiques avancés, les lecteurs seront mieux équipés pour aborder les défis complexes liés à la conception, à la modélisation et à l'optimisation des robots mobiles dans un monde en constante évolution.



Figure 1-Exemples de robots commerciaux ou de recherche.

## 2. Classification des robots mobiles (R-M)

La classification et la modélisation des (RM) sont des domaines importants de la robotique. **La classification des robots mobiles\*** consiste à regrouper les différents types de RM en fonction de leurs caractéristiques et de leurs capacités. Il existe plusieurs façons de classer les RM, notamment en fonction de leur mode de locomotion\* (roues, chenilles, jambes, etc.), de leur taille, de leur autonomie, de leur capacité de charge, etc.

Voici **une classification des RM en fonction de différentes caractéristiques** :

### 2.1. Mode de locomotion

- **Robots mobiles à roues RMR\*** : Ces robots sont équipés de roues pour se déplacer. Ils sont souvent utilisés dans des environnements intérieurs et extérieurs et sont adaptés à une grande variété de tâches.
- **Robots mobiles à chenilles RMC\*** : Ces robots utilisent des chenilles pour se déplacer, ce qui leur permet de surmonter des terrains difficiles et accidentés. Ils sont souvent utilisés dans des applications telles que l'exploration minière, la recherche et le sauvetage, etc.
- **Robots mobiles à jambes RMJ\*** : Ces robots imitent le mouvement des jambes humaines pour se déplacer. Ils sont souvent utilisés dans des environnements difficiles d'accès où les roues ou les chenilles ne sont pas adaptées, tels que les terrains accidentés ou les zones sinistrées.



## 2.2. Taille

- **Micro-robots mobiles MRM\*** : Ce sont de petits robots mobiles, souvent de la taille d'un insecte, utilisés pour des applications miniatures ou dans des environnements restreints.
- **Robots mobiles de taille moyenne RMTM\*** : Ces robots ont une taille plus grande que les micro-robots, mais restent relativement compacts et maniables.
- **Robots mobiles de grande taille RMGT\*** : Ces robots sont de grande taille et peuvent être utilisés pour des tâches nécessitant une capacité de charge élevée ou une envergure importante.

## 2.3. Autonomie

- **Robots mobiles télécommandés RMT\*** : Ces robots sont contrôlés par des opérateurs humains à distance.
- **Robots mobiles semi-autonomes RMSA\*** : Ces robots sont capables de réaliser certaines tâches de manière autonome, mais nécessitent une supervision humaine pour des décisions complexes.
- **Robots mobiles autonomes RMA\*** : Ces robots sont capables de se déplacer et d'accomplir des tâches de manière autonome, sans intervention humaine directe.

## 2.4. Capacité de charge

- **Robots mobiles légers RML\*** : Ces robots ont une capacité de charge limitée et sont utilisés pour des tâches légères ou de manipulation d'objets de petite taille.
- **Robots mobiles de charge moyenne RMCM\*** : Ces robots peuvent transporter des charges plus importantes, tels que des colis ou des équipements.
- **Robots mobiles de charge lourde RMCL\*** : Ces robots sont conçus pour transporter des charges lourdes par exemple dans des applications industrielles ou logistiques.

### Remarque

---

Il est important de noter que cette classification n'est pas exhaustive et qu'il existe de nombreux autres critères pour classer les robots mobiles. De plus, certains robots peuvent combiner plusieurs caractéristiques, par exemple des robots mobiles à roues de grande taille et autonomes.....

## 3. Types de robots mobiles

- **Robots mobiles volants RMV\*** : Les robots mobiles volants, également appelés drones, sont des robots capables de voler dans les airs. Ils sont souvent utilisés pour des applications telles que la surveillance, la cartographie, la livraison de colis, etc.
- **Robots mobiles sous-marins RMSM\*** : Ces robots sont conçus pour opérer dans des environnements subaquatiques. Ils sont utilisés pour l'exploration océanique, la recherche marine, la maintenance des infrastructures sous-marines, etc.

- **Robots mobiles humanoïdes RMH\*** : Ces robots sont conçus pour ressembler et se déplacer comme des êtres humains. Ils sont souvent utilisés dans des applications de recherche, d'assistance aux personnes handicapées, de divertissement, etc [2]\*.

## 4. Modélisation des robots mobiles (R-M)

La **modélisation des robots mobiles** consiste à créer des modèles mathématiques qui décrivent le comportement et les caractéristiques des robots mobiles. Ces modèles peuvent être utilisés pour simuler le mouvement des robots, prédire leur performance, concevoir des algorithmes de contrôle, etc. Les modèles de robots mobiles peuvent être basés sur des équations cinématiques, dynamiques ou probabilistes, en fonction des besoins spécifiques de l'application.

La classification et la modélisation des robots mobiles sont des sujets de recherche actifs dans le domaine de la robotique. De nombreuses études sont menées **pour développer de nouveaux types de robots mobiles et améliorer leur performance et leur autonomie**. Ces avancées sont essentielles pour permettre aux robots mobiles de réaliser des tâches de plus en plus complexes dans des environnements variés.

Les modèles de robots mobiles basés sur des équations cinématiques, dynamiques ou probabilistes sont utilisés pour décrire le comportement et les caractéristiques des robots mobiles. Chaque type de modèle a ses propres caractéristiques et est adapté à des besoins spécifiques de l'application.

Pour synthétiser la commande d'un système robotique, il est généralement nécessaire de disposer d'un modèle précis du système. La modélisation doit être réalisée de manière rigoureuse pour obtenir un modèle qui se rapproche le plus possible du système réel. Cela est essentiel pour garantir les performances souhaitées en termes de précision, de rapidité, de robustesse, et notamment pour assurer un suivi de trajectoire efficace.

### 4.1. Les différences entre ces types de modèles :

1. **Modèles cinématiques** : Les modèles cinématiques décrivent la relation entre les mouvements des différentes parties du robot mobile, telles que les roues ou les articulations, et sa position et son orientation dans l'espace. Ces modèles sont basés sur des équations géométriques et sont utilisés pour prédire le mouvement du robot en fonction de ses commandes de contrôle. Les modèles cinématiques sont souvent utilisés pour la planification de trajectoires et la navigation des robots mobiles.
2. **Modèles dynamiques** : Les modèles dynamiques prennent en compte les forces et les moments qui agissent sur le robot mobile, ainsi que les propriétés physiques telles que la masse, l'inertie et les frottements. Ces modèles sont basés sur des équations de la physique, telles que les lois de Newton, et permettent de prédire le mouvement du robot en fonction des forces appliquées. Les modèles dynamiques sont utilisés pour la conception de contrôleurs avancés et la simulation du comportement du robot dans des environnements complexes.
3. **Modèles probabilistes** : Les modèles probabilistes utilisent des techniques de probabilité et de statistiques pour représenter l'incertitude associée aux mesures et aux estimations dans le mouvement du robot. Ces modèles prennent en compte les erreurs de capteurs, les bruits de contrôle et d'autres sources d'incertitude. Les modèles probabilistes, tels que les filtres de Kalman et les méthodes de Monte Carlo, sont utilisés pour l'estimation de l'état du robot, la localisation et la cartographie simultanées (SLAM) et d'autres tâches de perception et de planification[3]\*.

Le modèle cinématique est donné par :

$$\dot{x}_1 = \dot{x}_4 = \dot{x} - c\dot{\theta}; \dot{x}_2 = \dot{x}_3 = \dot{x} - c\dot{\theta}; \dot{y}_1 = \dot{y}_2 = \dot{y} + a\dot{\theta}; \dot{y}_3 = \dot{y}_4 = \dot{y} - b\dot{\theta}$$

Tel que :

$\dot{X}, V_x$  : vitesse selon l'axe  $X$  du robot mobile par rapport au repère fixe  $R(O, X, Y)$

$\dot{Y}, V_y$  : vitesse selon l'axe  $y$  du robot mobile par rapport au repère fixe  $R(O, X, Y)$

Avec :

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_x \cos\theta - v_y \sin\theta \\ v_x \sin\theta + v_y \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \cos\theta - \dot{y} \sin\theta \\ \dot{x} \sin\theta + \dot{y} \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \end{bmatrix} = R(\theta) \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix}$$

Pour plus de détails sur la modélisation, veuillez consulter ce [lien](#):

## 5. Conclusion

La sélection du type de modèle dépend des besoins spécifiques de l'application.

- Les modèles cinématiques sont souvent utilisées lorsque la dynamique du robot n'est pas critique et que la planification de trajectoires est suffisante.
- Les modèles dynamiques sont utilisés lorsque des contrôleurs précis et réactifs sont nécessaires, et que la dynamique du robot doit être prise en compte.
- Les modèles probabilistes sont utilisés lorsque l'incertitude est présente dans les mesures et les estimations, et que des algorithmes de filtrage et d'estimation sont nécessaires.

Il est important de noter que ces types de modèles ne sont pas mutuellement exclusifs et peuvent être combinés pour obtenir des modèles plus complets et précis des robots mobiles.

# Glossaire



## Algorithmes de planification et de contrôle

Méthodes utilisées par les robots pour naviguer, éviter les obstacles et adapter leur comportement en temps réel.

## Capteurs :

Dispositifs permettant aux RM de percevoir leur environnement. Exemples incluent caméras, lidars, capteurs de proximité, gyroscopes, accéléromètres.

## Robot mobile (RM)

Machine autonome capable de se déplacer dans son environnement pour accomplir diverses tâches

## Systèmes de locomotion

Mécanismes permettant aux RM de se déplacer, incluant des roues, chenilles, jambes ou propulseurs.

# Abréviations

**MRM** : Micro-robots mobiles

**R-M** : Robotique Mobile

**RMA** : Robots mobiles autonomes

**RMC** : Robots mobiles à chenilles

**RMCL** : Robots mobiles de charge lourde

**RMCM** : Robots mobiles de charge moyenne

**RMGT** : Robots mobiles de grande taille

**RMH** : Robots mobiles humanoïdes

**RMJ** : Robots mobiles à jambes

**RML** : Robots mobiles légers

**RMR** : Robots mobiles à roues

**RMSA** : Robots mobiles semi-autonomes

**RMSM** : Robots mobiles sous-marins

**RMT** : Robots mobiles télécommandés

**RMTM** : Robots mobiles de taille moyenne

**RMV** : Robots mobiles volants

# Bibliographie



Livre : Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2011). Introduction to Autonomous Mobile Robots (2nd ed.). MIT Press.

Livre : Thrun, S., Burgard, W., & Fox, D. (2005). Probabilistic Robotics. MIT Press.

Livre : Siciliano, B., & Khatib, O. (Eds.). (2016). Springer Handbook of Robotics (2nd ed.). Springer.