

Chapitre 3. Robots mobiles

1. Introduction

Généralement, on regroupe sous l'appellation *robots mobiles* l'ensemble des robots à base mobile, par opposition aux robots manipulateurs (fixes). Contrairement aux robots manipulateurs prévus pour travailler exclusivement dans des espaces connus et de manière répétitive, les robots mobiles sont destinés à évoluer de manière autonome c-à-d pouvoir s'adapter et prendre des décisions dans le but de réaliser une tâche malgré un manque d'informations préliminaires ou éventuellement erronées dans des environnements peu ou pas structurés.

Les robots mobiles peuvent être classifiés selon :

- La locomotion (robots à roues, à chenille, à pattes, etc).
- Le degré d'autonomie.
- Le domaine d'application (voir chapitre 4).

L'aspect particulier de la mobilité impose une complexité technologique qui s'ajoute à celle des robots manipulateurs. La résolution de ce problème passe par l'emploi de tous les moyens disponibles tant au niveau technologique (capteurs, motricité, énergie) qu'à celui du traitement des informations et de décision par l'utilisation des techniques de l'intelligence artificielle.

2. Définitions

2.1 Degré de liberté d'un robot mobile

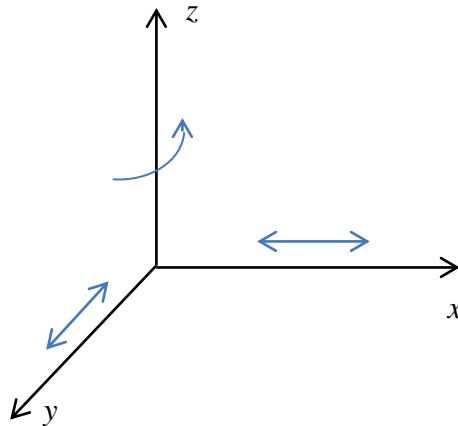
Le nombre de degrés de liberté d'un robot mobile est le nombre de mouvements indépendants que ce robot peut effectuer par rapport à un système de coordonnées déterminé.

2.2 Robots holonomes

Un robot holonome ou omnidirectionnel est un robot possédant trois degrés de liberté :

- Une translation selon l'axe x : avance ou recule.
- Une translation selon l'axe y : vers la droite ou vers la gauche.
- Une rotation selon l'axe z (perpendiculaire au plan x,y) tourne vers la droite ou vers la gauche.

Le robot holonome est donc capable de se déplacer dans n'importe quelle direction quel que soit son orientation (se déplace dans toutes les directions sans manœuvres).



Axes de translation et rotation- robots holonomes-

2.3 Robots non-holonomes : Ces robots possèdent deux degrés de liberté sur un plan :

- Une translation : avance ou recule
- Une rotation : tourne vers la droite ou vers la gauche.

3. Classification des robots mobiles selon le type de locomotion

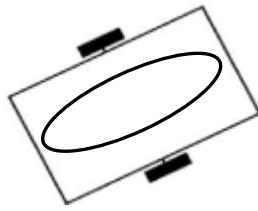
Bien souvent, quand on parle de robotique mobile, on sous-entend robots mobiles **à roues** ou qui se déplacent au sol. Ce sont en effet les systèmes les plus étudiés, parce qu'ils sont plus simples à réaliser que les autres types de robots mobiles (marcheurs, sous-marins ou volants).

3.1 Robots mobiles à roues

Ces robots mobiles sont destinés à évoluer dans les milieux urbains et les intérieurs de bâtiments (terrains plats). Il existe plusieurs types de robots à roues déterminées, principalement, par la position et le nombre de roues utilisées. Nous citerons ici les quatre classes principales de robots mobiles à roues.

a) Robot unicycle

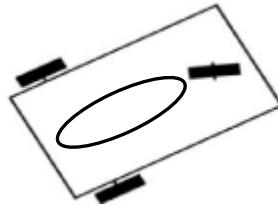
Un robot de type unicycle est actionné par deux roues indépendantes, il possède éventuellement un certain nombre de roues folles pour assurer sa stabilité. C'est un robot non-holonomme. Sa commande peut être très simple, il est en effet facile de le déplacer d'un point à un autre par une suite de rotations simples et de lignes droites.



Robot de type unicycle.

b) Robot tricycle

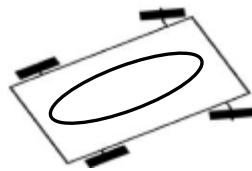
Ce type dit tricycle est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et d'une roue centrée orientable placée sur l'axe longitudinal. Le mouvement du robot est donné par la vitesse des deux roues fixes et par l'orientation de la roue orientable. C'est un robot non-holome.



Robot de type tricycle.

c) Robot voiture

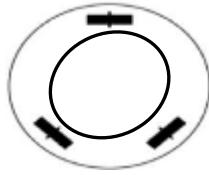
Il est constitué de deux roues fixes placées sur un même axe et de deux roues centrées orientables placées elles aussi sur un même axe. Par rapport aux robots unicycle et tricycles, ce robot est plus stable puisqu'il possède un point d'appui supplémentaire. C'est un robot non-holome.



Robot de type voiture.

d) Robot omnidirectionnel

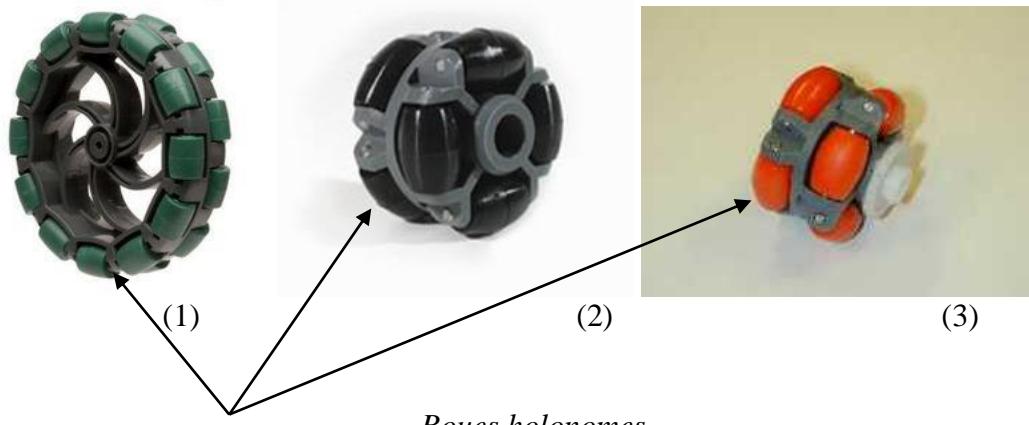
Un robot omnidirectionnel est un robot qui peut se déplacer librement dans toutes les directions. Il est en général constitué de trois roues décentrées orientables placées à 120° les unes par rapport aux autres sur une plateforme ronde.



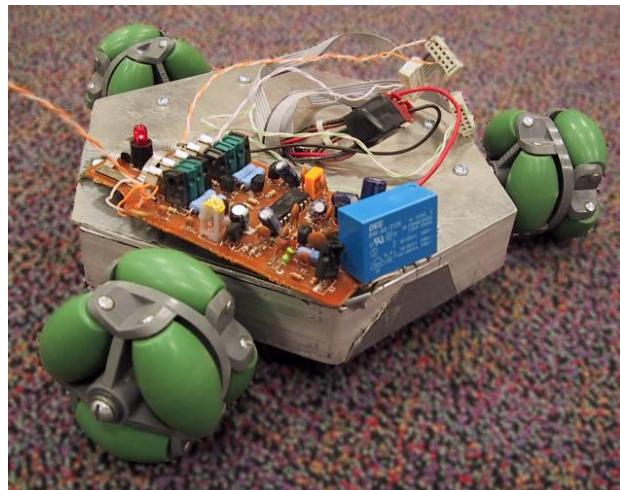
Robot de type omnidirectionnel.

L'avantage principal du robot omnidirectionnel est qu'il est holonome puisqu'il peut se déplacer dans toutes les directions. Cependant, ceci est réalisé au dépend d'une complexité structurelle (mécanique) plus grande. [7]

Mécaniquement, on obtient ces trois degrés de liberté en utilisant les trois roues dites *holonomes* qui sont des *roues à galets*. Ce sont des roues qui peuvent tourner librement sur un axe perpendiculaire à l'axe de rotation de la roue. Les galets sont les pièces vertes sur la première figure, noires sur la deuxième figure et organes sur la dernière figure.



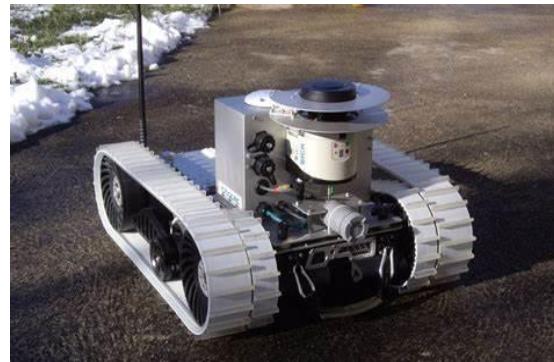
Roues holonomes.



Robot holonome.

3.2 Robot à chenilles

L'utilisation des chenilles présente l'avantage d'une bonne adhérence au sol et d'une faculté de franchissement d'obstacles. L'utilisation est orientée vers l'emploi sur sol accidenté ou de mauvaise qualité au niveau de l'adhérence (présence de boue, herbe, etc).



Robot à chenilles.

3.3 Robots mobiles marcheurs (à pattes)

Ils sont destinés à réaliser des tâches variées dont l'accès au site est difficile, dangereux ou impossible à l'homme. Ils ont un nombre important de degrés de liberté par rapport aux robots manipulateurs. Leur déplacement est inspiré de la marche des animaux et notamment de celle des insectes.



Robot à pattes.

3.4 Robots rampants

Les robots rampants présentent une solution facilitant l'accès à des environnements ou espace de travail étroites ou de type tunnel.



Robot rampant.

4. Classification des robots mobiles selon le degré d'autonomie

4.1 Autonomie (*robot autonome*)

On considère qu'un robot est autonome s'il est capable d'adapter son comportement à l'environnement. L'autonomie est la capacité propre d'un robot à percevoir, analyser, communiquer, planifier et prendre des décisions et agir afin d'atteindre les objectifs qui lui ont été fixés par un opérateur humain à l'aide d'une interface homme/machine. Selon ce critère, on peut classer les robots mobiles selon les catégories suivantes :

4.1.1 Robots télécommandés : Ce sont des robots commandés par un opérateur (machine ou être humain), qui leurs dicte chaque tache à réaliser (avancer, reculer, tourner à droite...etc.).

4.1.2 Robots semi-autonomes : Ce type de robot effectuent un certain nombre de tâche par eux même d'une façon autonome mais peuvent recevoir des commandes de control par un opérateur ou s'appuyer sur des trajectoires prédéfinies pour naviguer.

Exemple : Véhicules à guidage automatique (AGV : Automated Guided Vehicle), Les AGV s'appuient sur des pistes prédéfinies (marquage au sol) et nécessitent souvent la surveillance d'un opérateur. Ils sont généralement utilisés pour livrer ou déplacer des objets (marchandise, etc.) dans des environnements contrôlés tels que les usines.

4.1.3 Robots autonomes : (AMR: Autonomous Mobile robot) Les AMR se déplacent et prennent des décisions en temps réel au fur et à mesure de leurs déplacements dans un environnement inconnu au préalable. Des capteurs et des caméras les aident à avoir des informations sur leur environnement. Les unités de traitement embarqués les aident à les traiter et à prendre une décision, qu'il s'agisse de se s'arrêter ou de se déplacer pour éviter un ouvrier qui arrive (obstacle), de choisir précisément le bon paquet à prendre ou de sélectionner un objet déterminé.

5. Architecture des robots mobiles

L'architecture d'un robot mobile comporte généralement trois modules :

5.1 Structure mécanique, motricité et énergie

- La structure mécanique est déterminée par les moyens assurant la motricité (roues, chenilles, ...).
- La motricité (déplacements) des robots sont réalisés par des actionneurs (électriques, pneumatiques ou hydrauliques).
- L'énergie : est assurée par batteries qui sont rechargées périodiquement de manière automatique ou manuelle.

5.2 Organes de sécurité

Un robot peut être amené à fonctionner au voisinage du personnel. Donc, il est obligatoire qu'il soit doté d'organes sécurité (des capteurs sont disponibles tout autour du robot mobile afin de détecter des obstacles ou des événements).

5.3 Unités de traitement des informations et gestion des tâches :

Le traitement des informations et gestion des tâches constituent le module central d'intelligence qui établit les commandes permettant la navigation du robot mobile.

- **Navigation** : c'est la capacité du robot mobile d'aller d'une position initiale à une position finale de manière autonome (sans intervention de l'opérateur). La navigation nécessite la mise en œuvre des fonctionnalités suivantes :
 - **Perception (capteurs et caméras)**: Il s'agit essentiellement de *déetecter* les obstacles et d'effectuer éventuellement une *modélisation de l'environnement* pour fournir les informations nécessaires à la décision sur la tâche à réaliser.
 - **Décision (raisonnement)** : L'environnement étant perçu et modélisé, il faut décider le type de mouvement à exécuter en générant des consignes de vitesses appropriées à envoyer au robot (pour un mouvement réactif par exemple) ou en choisissant une trajectoire à exécuter.
 - **Action (commande)**: Il s'agit alors de veiller à réaliser le mouvement ou la trajectoire décidée (se déplacer, s'arrêter, se déplacer tout en évitant les obstacles, etc).

6. Capteur en robotique mobile

Dans le domaine de la robotique mobile, on classe traditionnellement les capteurs en deux catégories selon qu'ils mesurent l'état du robot lui-même ou l'état de son environnement.

- **Capteurs proprioceptifs** : qui mesurent l'état du robot lui-même. (capteurs de position ou de vitesse des roues et les capteurs de charge de la batterie, etc).
- **Capteurs extéroceptifs** : qui informent sur l'état de l'environnement, donc de ce qui est extérieur au robot (capteurs donnant la distance du robot à l'environnement, la température, signalant la mise en contact du robot avec l'environnement, etc).

6.1 Capteurs proprioceptifs

On peut regrouper ces capteurs internes en deux types :

- **Les capteurs de déplacement** : permettant de mesurer des déplacements élémentaires, des variations de vitesse ou d'accélération (trajectoires rectilignes ou curvilignes). Ils comprennent :

- **Les odomètres** : permettant de fournir une quantification des déplacements curvilignes du robot en mesurant la rotation de ses roues.
- **Les accéléromètres** : permettant de mesurer l'accélération linéaire du robot mobile sur lequel il est fixé).
- **Les capteurs d'attitude** : qui mesurent deux types de données : les angles de cap et les angles de roulis et de tangage. Ils sont principalement :

- **Les gyroscopes**: permettant de mesurer une variation angulaire.
- **Les gyromètres**: permettant de mesurer une vitesse angulaire,
- **Les inclinomètres** : indiquant l'inclinaison (angles par rapport à l'horizon).
- **Les magnétomètres**: indiquant l'orientation du robot.

6.2 Capteurs extéroceptifs

Les capteurs extéroceptifs permettent de percevoir le milieu d'évolution du robot. Ils sont complémentaires aux capteurs présentés précédemment. Les types de capteurs extéroceptifs sont :

- **Les capteurs télémétriques** : capteur laser, capteurs à infrarouge, capteurs ultrasons.
- **Les systèmes de vision** : Caméras.

7. Actionneurs en robotique mobile

Tout comme les robots manipulateurs. Les robots mobiles utilisent généralement trois types d'actionneurs :

- **Actionneurs électriques** : Technologie basée sur plusieurs propriétés telle que l'effet magnétique (moteurs), l'effet piézoélectrique, etc.
- **Actionneurs hydrauliques** : Technologie basée sur la propriété d'incompressibilité des fluides.
- **Actionneurs pneumatiques** : Technologie basée sur les propriétés de compression et de dilatation.

Dans le domaine de la robotique mobile les actionneurs électriques sont les plus utilisés (moteurs à courant continu, les moteurs pas à pas, les servomoteurs, etc).

8. Autres classes de robots mobiles

8.1 Robots humanoïdes

Les robots humanoïdes prennent souvent des formes semblables à celles de d'un corps humain. Généralement, Ils ont un torse avec une tête (même un visage, des yeux et une bouche), deux bras et deux jambes et deux pieds. Ces robots ressemblent aux humains par la forme mais aussi par la perception du milieu environnant et par leurs réactions. Ils peuvent se déplacer dans des environnements conçus pour l'homme, utiliser des outils ou appareils conçus pour l'homme, prendre des objets et communiquer avec les être humain de plusieurs manières (modes) vu qu'ils sont dotés de leur propre intelligence artificielle (systèmes embarqués).

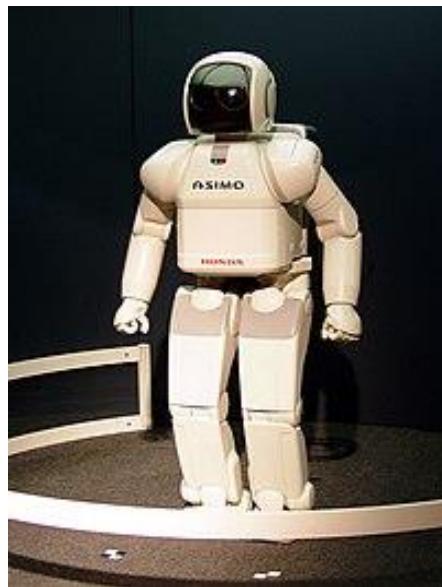
Principaux intérêts de la robotique humanoïde

- *Compatibilité avec le monde des humains*: Sans adaptation de notre environnement, ils pourraient vivre en harmonie avec nous au quotidien pour nous aider et utiliser nos infrastructures.
- *Diversité de tâches* : grande diversité de tâches à réaliser.

Principaux défis de la robotique humanoïde

- *Complexité de conception mécanique* exprimée en termes de nombre de ses degrés de liberté (très grand nombre d'actionneurs) et de capteurs. Cela conduit à une complexité au niveau de modélisation, traitement et commande.

- *Problème d'équilibre* : Un robot humanoïde marche sur ses deux jambes après un apprentissage ou grâce à un programme destiné à cet effet. Néanmoins, le défi est de faire marcher ce robot tout en gardant l'équilibre et lui donnant la capacité de se relever s'il tombe.
- *Aspect sécurité* : vu le milieu où ils interviennent et les tâches confiées à ces robots (généralement les milieux domestiques), il est clair que les robots humanoïdes doivent être particulièrement sûr pour tous les objets et êtres vivants.



Robots humanoïde ASIMO de Honda.

8.1 Robots volants (drones)

Un drone ou U.A.V (Unmanned Aerial Vehicle : Véhicule Aérien Sans Pilote) est un aéronef (hélicoptères, multicoptères, avions) sans pilote humain à bord. Les drones peuvent être pilotés *à distance*, de façon *semi autonome ou autonome*. Ils peuvent emporter des charges utiles, le rendant capable d'effectuer des tâches spécifiques, pendant une durée de vol qui peut varier en fonction de ses capacités (énergie).

Les drones ont initialement été utilisés dans les applications militaires (surveillance et la reconnaissance ou comme arme) avant de se populariser pour tâches et applications de nature civile :

- Observation des phénomènes naturels (tsunamis, volcans, avalanches, etc).
- Pulvérisation des pesticides sur les terrains agricoles.
- Mesures du taux de pollution dans l'environnement.
- Surveillance de trafic dans les réseaux routiers, etc.



Drone de surveillance.

Classification des robots volants selon le mode de propulsion

a) Voilures fixes

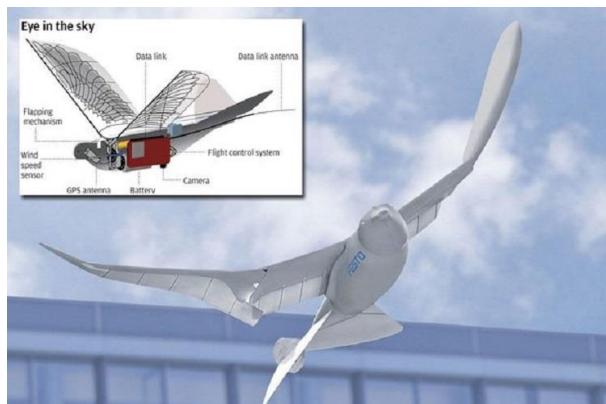
Ces drones utilisent des ailes fixes dans leur mode de déplacement.



Drone avec ailes fixe.

b) Ailes battantes

Les ailes battantes constituent un système de propulsion alternatif pour les minidrones. Les battements d'ailes reproduisent le vol des insectes ou des oiseaux.



Drone chinois de surveillance avec ailes battantes.

c) Voilures tournantes : Ces drones font un décollage et atterrissage vertical. Ils ont plusieurs avantages par rapport aux aéronefs à ailes fixes.

- Ils sont capables d'effectuer un vol stationnaire à basse vitesse et à faible altitude, ce qui est très utile dans les applications de surveillance et de poursuite et permet de fournir des informations détaillées sur les secteurs surveillés.

- Possibilité du décollage et l'atterrissement vertical de ces drones permet de les utiliser dans n'importe quel terrain, à l'inverse des drones à ailes fixes, qui nécessitent des pistes spéciales pour leur décollage et leur atterrissage.

- ils peuvent effectuer des mouvements dans n'importe quelle direction dans leur plan latéral.

Il existe plusieurs configurations pour ces robots

- **Mono-rotor :** Les drones mono-rotor sont dotés d'un seul rotor comme actionneur principal. Ces avions ont un moteur puissant qui permet un décollage vertical et des ailerons d'une grande surface pour assurer la maniabilité de l'appareil.



Drone monorotor (Japan).

- **Bi-rotors :** Il existe plusieurs types de configurations à deux rotors tels que l'hélicoptère classique composé d'un rotor principal et d'un rotor en queue.



Drone birotor.

- **Tri-rotors** : Le tri-rotor est constitué de deux rotors à l'avant qui tournent dans des sens opposés et un rotor à l'arrière avec orientation réglable.



Drone trirotor.

- **Quadri-rotor** : Un quadri-rotor est un drone à voilure tournante composé de quatre rotors. Il est constitué de quatre pales à pas fixe accouplées à des moteurs à courant continu. Les quadri-rotors utilisent deux paires d'hélices à pas fixe identiques, deux dans le sens des aiguilles d'une montre et deux dans le sens inverse. Pour diriger ces drones, les rotors tournant dans le même sens doivent être placées l'un en face de l'autre



Drone quadri-rotor.

8.2 Robots sous-marins

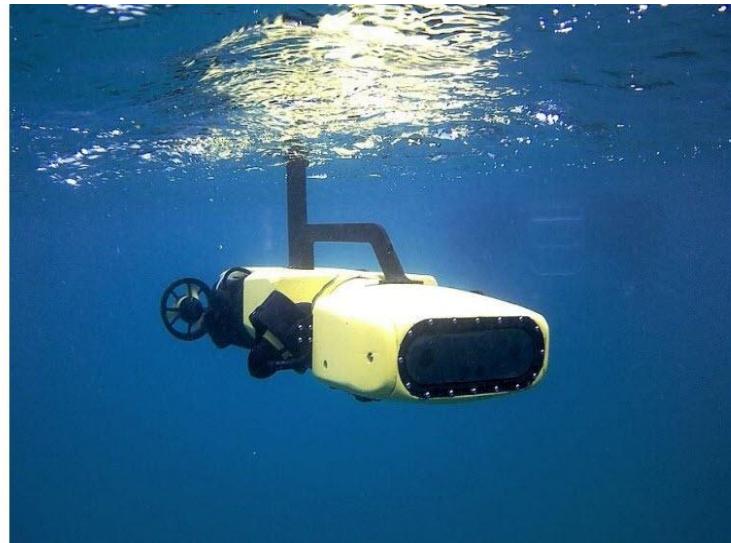
Ces robots sont conçus pour être étanche à l'eau et pouvoir ainsi se déplacer sous l'eau. Un robot autonome sous-marin (AUV: Autonomous Underwater Vehicle) est un robot qui se déplace dans l'eau de manière autonome, contrairement à un véhicule sous-marin télé-opéré (ROV: Remotely Operated Vehicle).

8.3.1 Caractéristiques des robots sous-marins

- **Conception** : En général, les AUV ont une forme de torpille afin de minimiser leur traînée hydrodynamique, ce qui permet de baisser la consommation d'énergie et donc d'augmenter leur portée.
- **Taille** : Les plus petits sont transportables à la main, alors que les plus gros atteignent plusieurs mètres de longueur.
- **Energie** : Les AUV sont alimentés par des batteries. L'autonomie de batterie varie de quelques heures à quelques dizaines d'heures.
- **Navigation** : On programme en surface une trajectoire prédefinie puis le robot l'exécute de façon autonome une fois sous la mer.
- **Communication** : Les communications avec le robot sont très limitées durant la mission en raison des très faibles débits des modems acoustiques. Ainsi, les données collectées ne sont accessibles que lorsque le robot revient en surface.
- **Motricité (propulsion)** : Les AUV sont propulsés par un ou plusieurs moteurs à hélice, complétés parfois par des gouvernes.
- **Missions** : La récupération de données cartographiques, atmosphériques, chimiques, vidéo, sonores et bien d'autres. Pour cela, ils doivent être capables de supporter la pression des profondeurs qui augmente d'environ 1 bar tous les 10 mètres et être équipés d'un matériel spécialement adapté.



AUV pour l'identification des mines et leur destruction (KNM Hinnøy en 2012).



Robot sous-marin australien capable de traquer et tuer une étoile de qui fait des ravages dans la Grande barrière de corail.

9. Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à la robotique mobile. Dans un premier temps, nous avons introduit quelques notions et définitions relatives à ce domaine. Ensuite, nous avons abordé les différentes classes des robots mobiles qui sont catégorisés soit selon le type de locomotion (à roues, à chenille à pattes, etc) ou selon le degré d'autonomie (robots télécommandé, semi autonome ou autonome). Nous avons aussi abordé l'architecture d'un robot mobile et les différents composants matériels et logiciels le constituant. Enfin, une brève description des autres types de robots mobiles, notamment les robots humanoïdes, les robots volants et les robots sous-marins, a été réalisée avec des illustrations.