



ISN - Informatique et Sciences du Numérique

TD

TP

Cours

Synthèse

Devoir

Evaluation

Projet

Document ressource

LA ROBOTIQUE

1 – LE ROBOT

Un robot est un **système mécanique** poly-articulé mû par des **actionneurs**, commandé par un **calculateur** et qui est destiné à **effectuer une grande variété de tâches**. Equipé de capacités de **perception**, de **décision** et d'**action** il peut agir de **manière autonome** dans son environnement en fonction de la perception qu'il en a.

Il existe un grand nombre d'autres définitions possibles :

- ❑ traduit du dictionnaire Webster's : "*Un appareil automatique qui peut effectuer des fonctions normalement effectuées par des humains.*" ;
- ❑ Petit Larousse : "*Appareil automatique capable de manipuler des objets ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe ou modifiable.*" ;
- ❑ Institut de robotique d'Amérique, 1979 : "*Un manipulateur reprogrammable multifonctionnel conçu pour déplacer des matériaux, des outils, des pièces ou des composants spécialisés à travers une série de mouvements programmés pour effectuer une tâche précise.*" ;
- ❑ AFNOR (Association Française de Normalisation) : "*Manipulateur commandé en position, reprogrammable, polyvalent, à plusieurs degrés de liberté, capable de manipuler des matériaux, des pièces, des outils et des dispositifs spécialisés, au cours de mouvements variables et programmés pour l'exécution d'une variété de tâches. Il a souvent l'apparence d'un ou plusieurs bras se terminant par un poignet. Son unité de commande utilise, notamment, un dispositif de mémoire et éventuellement de perception et d'adaptation à l'environnement et aux circonstances. Ces machines polyvalentes ont généralement été étudiées pour effectuer la même fonction de façon cyclique et peuvent être adaptées à d'autres fonctions sans modification permanente du matériel.*"

La robotique est un **domaine pluridisciplinaire** qui implique de nombreuses sciences telles que la mécanique, la mécatronique, l'électronique, l'automatique, l'informatique ou l'intelligence artificielle.

Comme un ordinateur ou un téléphone, un robot est formé d'un processeur (ou un microcontrôleur), d'une mémoire et de périphériques. Ces derniers se divisent en périphériques de sortie, ou **actionneurs**, qui permettent au robot de se **mouvoir et d'agir sur son environnement**, et ses périphériques d'entrée, ou **capteurs**, qui lui permettent **d'analyser cet environnement**.

2 – APERÇU HISTORIQUE

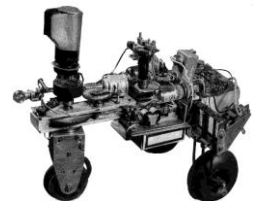
Le terme de robot apparaît pour la première fois dans une pièce de Karel Capek en 1920 : *Rossum's Universal Robots*. Il vient du tchèque **robota** qui veut dire **travail forcé**. Il présente une vision des robots comme serviteurs dociles et efficaces pour réaliser les tâches pénibles.

Les ancêtres des robots sont les **automates**. Un automate très évolué fut présenté par **Jacques de Vaucanson** en **1738** : il représentait un homme jouant d'un instrument de musique à vent. Jacques de Vaucanson créa également un automate représentant un **canard** mangeant et refoulant sa nourriture après ingestion de cette dernière.



- Le mécanisme du canard mécanique de Vaucanson -

La **TORTUE** construite par Grey Walter dans les **années 1950** est **l'un des premiers robots mobiles autonomes**. Elle est capable de se diriger vers une lumière, de s'arrêter face à des obstacles et de recharger ses batteries lorsqu'il arrive dans sa niche.



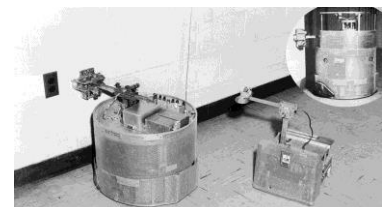
- La TORTUE -

UNIMATE est le **premier robot industriel** créé. Il fut intégré aux lignes d'assemblage de Général Motors en **1961**.



- UNIMATE -

Dans les **années 60**, l'apparition du transistor va conduire à des robots plus complexes mais qui vont réaliser des tâches similaires. Le robot **BEAST** de l'université John Hopkins est capable de se **déplacer au centre des couloirs** en utilisant des **capteurs ultrason**, de chercher des prises électriques en utilisant des photodiodes et de s'y recharger.



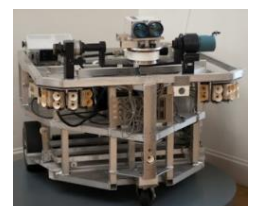
- BEAST -

Les premiers liens entre la recherche en intelligence artificielle et la robotique apparaissent à Stanford en **1969** avec le **robot SHAKEY** qui utilise des **télémètres à ultrason** et une **caméra** et sert de plate-forme pour la recherche en intelligence artificielle.



- SHAKEY -

En France, le **robot HILARE** est le premier robot construit au LAAS, à Toulouse en **1977**.



- HILARE -

Conçu pour se déplacer sur Mars donc sur un terrain accidenté **AMBLER (1990)** expérimenta la **navigation en trois dimensions**. Ce colosse mesurait **5 m de hauteur** et possédait **6 pattes** afin de franchir des terrains accidentés, des pentes et des fossés.



- AMBLER -

GHENGIS, développé en **1990** par le Massachusetts Institute of Technology, est un **insecte mesurant 35 cm** crée pour **expérimenter la marche sur un terrain accidenté**.



- GHENGIS -

Le **robot P2 (1,82 m, 210 kg)**, développé par HONDA en **1996**, est le premier d'une famille de robots, **imitant la marche humaine**.



- P2 -

Le **robot NOMAD** fut conçu en **1998** pour **naviguer dans les environnements extrêmes**. Il a été financé par la NASA et envoyé en Antarctique, pour chasser les météorites martiennes. Le prochain objectif de NOMAD est la **recherche de glace sur la Lune**.



- NOMAD -

Le **Sony Dream Robot** ou **SDR-3X (50 cm, 5kg)**, conçu en **2000**, est le premier **humanoïde à intégrer des capacités motrices et cognitives** (perception et intégration sociale). Il peut marcher, danser, se tenir en équilibre sur un pied... Il dispose d'un **système de reconnaissance vocale** pour dialoguer en utilisant le langage courant et de processeurs dédiés pour **percevoir les objets de couleur uniforme**.



- Sony Dream Robot -

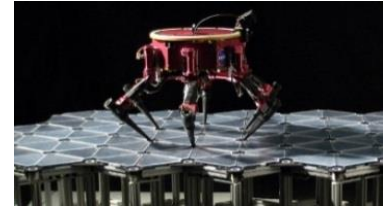
Les systèmes robotiques, n'ont cessés d'évoluer ces dernières années. Voici les derniers robots résultats de la recherche en robotique.

TWENDY-ONE (Department of Mechanical Engineering dans l'université de Waseda à Tokyo) démontre sa capacité à **tenir des objets délicats**. Ce robot très sophistiqué a été développé sous la notamment pour l'aide aux personnes âgées.



- TWENDY-ONE -

Le robot de la NASA nommé **LEMUR** (Limbed Excursion Mechanical Utility Robot) a été conçu pour être capable de **construire, d'inspecter et d'entretenir des structures en orbite autour de la Terre**. Une version réduite pourrait aider à la construction de grandes structures dans l'espace.



- LEMUR -

DA VINCI est un **robot médical** qui permet d'assister les chirurgiens lors des opérations. Il est vendu par l'entreprise américaine Intuitive Surgical. En avril 2011, elle indiquait que 1 750 exemplaires étaient en service dans le monde.



- DA VINCI -

Le **robot de sécurité T-34** arrête immédiatement le moindre intrus détecté. Il possède des capteurs qui **réagissent à la chaleur du corps et au son**. Le propriétaire peut voir les images en direct grâce à la caméra du robot et peut l'autoriser à projeter son filet.



- T-34 -

Développé par SEcom Japon, le robot **MY SPOON** a été spécialement conçu pour **aider les personnes handicapées à prendre leur repas** en utilisant un joystick qui est manipulable par la mâchoire, la main ou les pieds.



- MY SPOON -

Un **robot de sauvetage** conçu par le département des sapeurs-pompiers de Tokyo qui permet d'éloigner une victime d'une zone à risque.



- Robot de sauvetage -

Le **robot sous-marin ROBOLOBSTER** a été conçu par biomimétisme. Il est destiné à être utilisé pour **reconnaitre les changements dans l'océan et à localiser les mines sous-marines**.



- ROBOLOBSTER -

Ce robot expérimental appelé RED permet **la surveillance et l'exploration**. Il dispose d'un équipement qui lui octroie une **vision en trois dimensions**. IL est destiné à **l'exploration planétaire**.



- RED -

Le **robot tout terrain ATHLETE** (NASA) est capable de **rouler sur des terrains très vallonnés** et de « **marcher** » sur un **terrain extrêmement accidenté**. Même les pentes raides, pour leur future **mission lunaire**, ne devraient pas être un obstacle pour eux.



- ATHLETE -

Les "**ROBOTS AND PLAY**" ont été fabriqués par Toyota Motor Corporation. Ils sont capables de **jouer de la musique** ensemble en toute **harmonie**.



- ROBOTS AND PLAY -

WAKAMARU est un **robot domestique** commercialisé par Mitsubishi Heavy Industry. Il dispose **voix synthétique**. Equipé d'un **téléphone portable intégré**, il peut, par exemple, appeler les secours si son maître a un problème. Il possède des systèmes de reconnaissance vocale et faciale. Il sait également prendre l'initiative de parler à la famille, en utilisant les informations qu'il a obtenues par observation en restant en contact avec la famille ou bien via son organisateur.



- WAKAMURU -

Le robot **BERTI** (Science Museum de Londres) est un **humanoïde** grandeur nature, spécialement réalisé pour **imiter les gestes de l'homme**.



- BERTI -

BIGDOG est un **robot quadrupède** (91 cm de long, 76 cm de haut et 110 kg) destiné à accompagner les soldats en leur **transportant du matériel dans des terrains trop irréguliers** pour les véhicules. Il peut également mener des **opérations d'observation**. Il utilise quatre pattes qui lui permettent de se mouvoir sur un sol impraticable (enneigés ou verglacés) pour des engins ou robots avec des roues.



- BIG DOG -

ROLLIN' JUSTIN est un robot **semi-humanoïde** de conception allemande. Il est équipé de **deux bras rigides** ainsi et de **deux mains** développées par KUKA lui permettant de **manipuler des objets fragiles** avec un contrôle absolu de ceux-ci. ROLLIN' JUSTIN est fixé sur un **châssis à 4 roues** de 360° de libertés qui lui permettent sur terre de se déplacer, mais son objectif reste la **réparation des satellites** en apesanteur.



- ROLLIN' JUSTIN -

Le prototype **BINO3** est **robot de sécurité** à 4 « **yeux** » qui sont des objectifs grand-angle et qui **permettent de suivre un sujet ou un intrus** en douceur.



- BINO3 -

Le robot **PARO** est un **bébé phoque robotisé**. Il peut apprendre son nom, réagir au toucher, émettre des sons et bouger les nageoires, la queue, les sourcils... Il a été conçu pour aider les personnes âgées à **lutter contre la solitude** et à **développer une communication et de l'interaction affective avec les humains**. Son utilisation principale est **animal de compagnie** dans les maisons de retraite japonaise.



- PARO -

Le rover **CURIOSITY** a été développé par la NASA pour **effectuer des prélèvements sur Mars et les étudier sur place**. Pour son alimentation électrique, il utilise un **générateur thermoélectrique à radioisotope** qui remplace des panneaux solaires. Equipé de **six roues** d'un demi-mètre chacune, il est conçu pour parcourir **20 km** et peut gravir des **pententes de 45°**.



- CURIOSITY -

3 – DOMAINES D'APPLICATIONS

Les domaines d'application sont vastes : de la robotique industrielle à la robotique de service.

Robotique industrielle



- Robots anthropomorphes -



- Bras manipulateur (araignée) -



- Bras manipulateur KUKA -



- Bras articulé 6 axes -

Robotique en environnement hostile



- Robot démineur -



- Robot d'intervention en milieu nucléaire -

Robotique spatiale



- Mars Exploration Rover -



- Robot Sojourner -

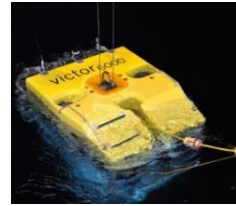


- Bras manipulateur Canadarm2 -

Robotique d'exploration sous-marine



- Robot sous-marin Observer -



- Robot télécommandé Victor 6000 -

Robotique agricole



- Robot autonome AGRIA -



- Robot de traite -

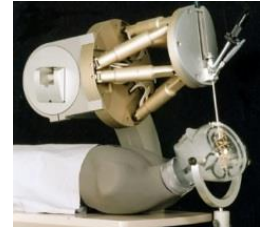
Robotique médicale



- Robot chirurgical Da Vinci -



- Robot mélangeur pharmaceutique -



- Robot chirurgical -

Robotique de service aux personnes



- Robot aspirateur Roomba -



- Véhicule autonome Cycab -



- Robot tondeur -

Robotique humanoïde



- Robot humanoïde HRP-4C -



- Robot humanoïde ANDROIDE -



- Robot humanoïde ASIMO -

Robotique de loisirs



- Robot Lego -



- Robot NAO -



- Drone Parrot -



- Robot AIBO -

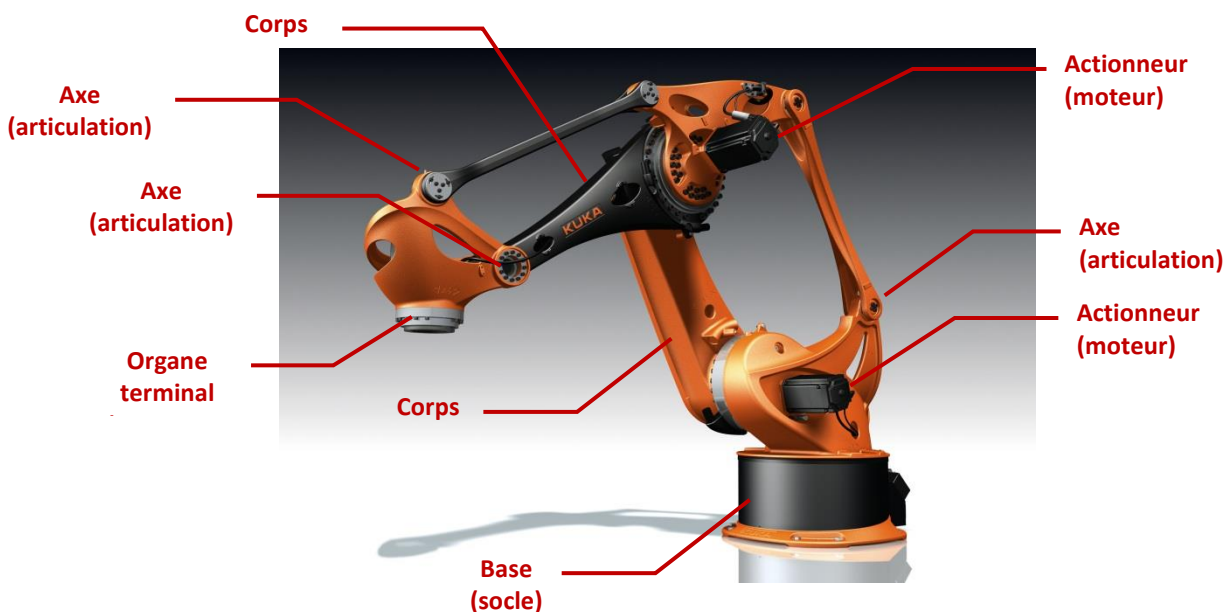
4 – ROBOT MANIPULATEUR

Un **robot manipulateur** est un **bras articulé** destiné principalement à la manipulation et doté d'un certain **degré d'anthropomorphisme**, ainsi que des possibilités élevées de programmation. Cette dernière propriété permet **d'affecter le même robot à des tâches diverses**.

Les principales motivations ayant conduit à l'utilisation des robots manipulateurs dans l'industrie, notamment automobile, sont la **diminution des coûts de productions**, **l'amélioration de la qualité** et de la **reproductibilité des tâches**. Un autre intérêt des robots manipulateurs est la **tolérance à l'environnement**. Ces robots peuvent être substitués à l'homme pour **effectuer des tâches en ambiance polluée** ou dans des **environnements à haut risque** tels que ceux rencontrés dans l'énergie nucléaire.

Les principales caractéristiques d'un robot manipulateur sont :

- ❑ **précision** ;
- ❑ **répétabilité** : **erreur maximale de positionnement** répété de l'outil en tout point de son espace de travail ;
- ❑ **vitesse maximale** de translation ou de rotation de chaque axe ;
- ❑ **Accélération maximale** pour chaque axe dans la configuration la plus défavorable (inertie maximale, charge maximale) ;
- ❑ **charge utile** : **charge maximale** que peut porter le robot sans dégrader la répétabilité et les performances dynamiques.



5 – ROBOTS MOBILES

On regroupe sous l'appellation **robots mobiles** l'ensemble des robots à **base mobile**, par opposition notamment aux robots manipulateurs. L'usage veut néanmoins que l'on désigne le plus souvent par ce terme les **robots mobiles à roues**. Les autres robots mobiles sont en effet le plus souvent désignés par leur type de locomotion, qu'ils soient **marcheurs**, **sous-marins** ou **aériens**.

5.1 – Domaine d'application

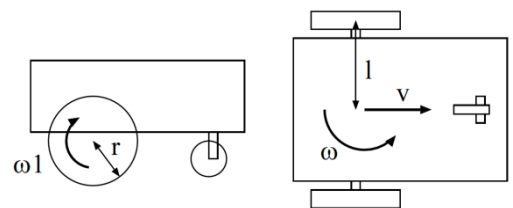
Les robots mobiles à roues constituent le gros des robots mobiles. Cependant, malgré leur simplicité apparente, ces systèmes ont soulevé un **grand nombre de problèmes difficiles**. Alors que les robots manipulateurs se sont aujourd'hui généralisés dans l'industrie, **rare sont les applications industrielles** qui utilisent des robots mobiles : chariots guidés, robots aspirateur ou tondeurs. L'industrialisation de ces systèmes bute sur divers problèmes délicats. Ceux-ci viennent essentiellement du fait que, 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 dans des environnements peu ou pas structurés**.

La robotique mobile reste pour l'instant très limitée à des **applications très pointues** (militaire, spatiale...) ou des **activités de loisirs**.

Néanmoins, les études et les recherches sur la robotique mobile est d'avoir permis d'augmenter considérablement les connaissances sur la **localisation** et la **navigation** de systèmes autonomes.

5.2 – Les plates-formes mobiles différentielles

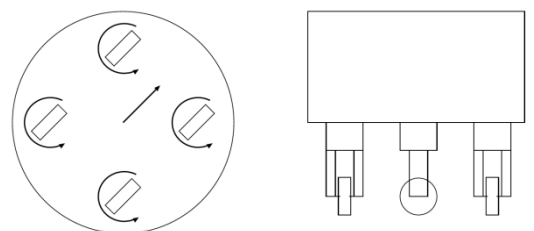
Un robot mobile à configuration différentielle comporte **deux roues commandées indépendamment**. Une ou plusieurs roues folles peuvent être ajoutées à l'avant ou à l'arrière du robot pour assurer sa stabilité. Cette plate-forme est très simple à commander, puisqu'il suffit de **spécifier les vitesses des deux roues**. Elle permet également au **robot de tourner sur place**.



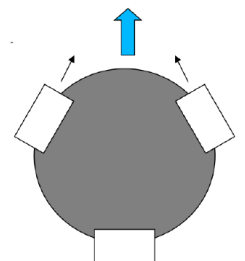
5.3 – Les plates-formes mobiles omnidirectionnelles

Les plates-formes omnidirectionnelles permettent de découpler de manière plus nette le contrôle de la rotation et de la translation d'un robot et sont donc quasiment holonomes.

Il existe différents types de plateformes omnidirectionnelles. Le premier utilise **trois ou quatre roues qui tournent à la même vitesse** pour fournir une translation et un mécanisme qui permet **d'orienter simultanément ces roues** dans la direction du déplacement souhaitée. Ce système permet un contrôle très simple et relativement rapide car **les changements de direction ne concernent que les roues** et peuvent donc se faire très vite.

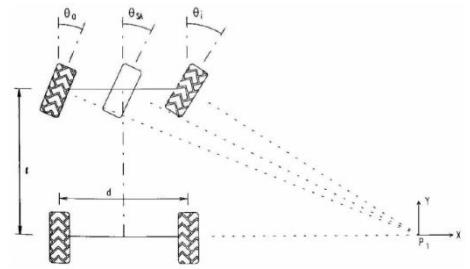


Une deuxième catégorie de plateformes utilise des **roues dites "suédoises"**. La plateforme comporte trois roues dont les axes sont fixes. Les déplacements dans toutes les directions et en rotation sont obtenus en **faisant varier individuellement les vitesses des roues**. La plateforme tourne sur place lorsque les trois roues tournent dans le même sens, à la même vitesse. Lorsqu'une roue est fixe, et que les deux autres tournent en sens opposé, la plateforme avance en direction de la roue fixe. Différentes combinaisons de vitesses permettent d'obtenir des déplacements quelconques.



5.4 – Les plates-formes mobiles de types voitures

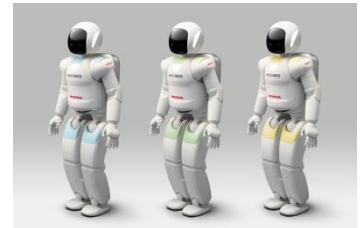
Des plates-formes de type voiture (non holonomes), sont également utilisées en robotique notamment dans le domaine **des véhicules intelligents**. Ces plates-formes sont **difficiles à commander** car elles ne peuvent pas tourner sur place et doivent manœuvrer, ce qui peut être difficile dans des environnements encombrés.



5.5 – Les plates-formes à pattes

Des plates-formes à **deux, quatre** ou **six pattes** peuvent également être utilisées. Elles ont l'avantage théorique de pouvoir se déplacer sur des terrains assez complexes, même si en pratique la plupart de ces plates-formes ne fonctionnent que sur des sols plans.

Les plates-formes à six pattes sont relativement pratiques car le robot peut être en équilibre permanent sur au moins 3 pattes, ce qui facilite le contrôle. Les plates-formes à deux ou quatre pattes sont plus complexes à commander et le simple contrôle de la stabilité et d'une allure démarche correcte reste aujourd'hui difficile, ce qui les rend en général relativement lentes.



6 – CAPTEURS UTILISES EN ROBOTIQUE MOBILE

En 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**. Dans le premier cas, on parle de **capteurs proprioceptifs** comme exemple les capteurs de position ou de vitesse des roues et les capteurs de charge de la batterie. Les capteurs renseignant sur l'état de l'environnement, donc de ce qui est extérieur au robot lui-même, sont appelés **capteurs extéroceptifs**. Il s'agit de capteurs donnant la distance du robot à un objet l'environnement, la température, signalant la mise en contact du robot avec l'environnement, etc.

6.1 – Mesure de la vitesse et déplacement à partir de la rotation des roues

Chaque roue motrice d'un robot mobile est généralement associée à un servomoteur. Celui-ci est équipé d'un dispositif de mesure de rotation grâce à **codeur optique disposé sur l'axe de la roue**. Il s'agit d'un capteur **proprioceptif**.



Le problème majeur de cette mesure est que l'estimation de la vitesse de déplacement fournie **dépend très fortement de la qualité du contact entre la roue (ou la patte) et le sol**. L'erreur de cette méthode se retrouve principalement sur **l'estimation de la direction du robot**, tandis que la mesure de la **distance parcourue est souvent de meilleure qualité**.

6.2 – Mesure d'orientation et de position

- ❑ Utilisé en **mode différentiel** (la localisation se fait à l'aide de **deux récepteurs**, dont l'un est statique et positionné avec précision dans l'environnement) le **GPS** permet d'obtenir la **localisation du robot** avec une précision de **l'ordre du centimètre**. Ce type de dispositif est donc plutôt destiné au positionnement en extérieur. Ce système de mesure, n'autorise des **rafraîchissements que toutes les 200 ms** ce qui empêche toute commande en temps-réel. Il est donc principalement utile pour des **recalages ponctuels**.
- ❑ Les **gyromètres** sont des capteurs proprioceptifs qui permettent de mesurer l'**accélération angulaire** du robot. On peut en déduire **l'orientation du robot** ceci par rapport à un référentiel fixe selon un ou plusieurs axes.
- ❑ Les **compas** et les **boussoles** (ou **magnétomètres**) fournissent une information **d'orientation** par rapport au **nord magnétique** terrestre. Il s'agit de **capteurs extéroceptifs**. Ce type de capteur permet d'obtenir l'orientation du robot avec une **précision de 3 à 4 degrés**. Ils sont délicats à utiliser en intérieur car très sensibles aux masses métalliques présentes dans les bâtiments et leur structure. En pratique, on les utilise principalement en extérieur en apportant le plus grand soin à leur positionnement sur le robot pour éviter les influences des composants du robot.
- ❑ Les **accéléromètres** permettent de mesurer **l'accélération** du robot en mouvement. L'accéléromètre peut être : mécanique (**jauges de contraintes**), électromécaniques (**effets piézo-électrique**), électriques (**effet capacitif** ou **réductance variable**).



- Module GPS -



- Module Gyromètre -



- Module Boussole -



- Module Accéléromètre -

6.3 – Mesure de proximité et de distance

On appelle **téléométrie** toute technique de mesure de distance par des **procédés acoustiques, optiques** ou **radioélectriques**. L'appareil permettant de mesurer les distances est lui appelé **téléomètre** ou **capteurs téléométriques**. Ces capteurs basés sur des mesures de l'environnement du robot, sont des **capteurs extéroceptifs**.

Les **capteurs infrarouges** sont constitués d'un ensemble émetteur/récepteur fonctionnant avec des rayonnements infrarouges. La mesure des radiations infrarouges est limitée car la **qualité est très dégradée au delà d'un mètre**. Ces dispositifs ne servent que rarement de téléomètres. On les rencontrera le plus souvent comme **détecteurs de proximité**, ou de **présence**. Ce type de détection est sensible aux conditions extérieures, notamment à la lumière ambiante et au type de surfaces sur lesquelles se réfléchissent les infrarouges.

- ❑ Les **capteurs ultrasonores** utilisent des vibrations sonores dont les fréquences vont de **20 kHz à 200 kHz**. Les ultrasons émis se propagent dans l'air et **sont réfléchis partiellement lorsqu'ils heurtent un corps solide**. La **distance** entre la source et la cible peut être déterminée en **mesurant le temps séparant l'émission des ultrasons du retour de l'écho**. Les systèmes ultrasonores présentent un certain nombre de défauts : directivité de l'émission des ondes ; alternance des périodes d'émission et de réception ; atténuation de la puissance des ondes ...



- Module Ultrason -

- Les **télémètres laser** permettent d'obtenir des **mesures de distance précises**. Une **impulsion lumineuse très courte** est envoyée par l'intermédiaire d'une **diode laser** de faible puissance. La réflexion de cette onde donne un écho qui est détecté au bout d'un temps proportionnel à la distance capteur-obstacle. La direction des impulsions est modifiée par rotation d'un miroir, l'angle de balayage couvrant généralement entre **100 et 180 degrés**. La portée du capteur dépend de la réflectivité des milieux rencontrés, mais une valeur typique de **30 m** est atteinte avec un télémètre de bonne qualité.

6.4 – Les caméras

L'utilisation d'une caméra pour percevoir l'environnement est une méthode attractive car elle semble proche des méthodes utilisées par les humains. Le traitement des données volumineuses et complexes fournies par ces capteurs reste cependant difficile à l'heure actuelle, même si cela reste une voie de recherche très explorée.

Une **caméra standard** peut être utilisée de différentes manières pour la navigation d'un robot mobile. Elle peut être utilisée pour **détecter des amers visuels** à partir desquels il sera possible de calculer la position du robot. Si ces amers sont simplement ponctuels, ou de petite taille, il sera en général simplement possible **d'estimer leur direction**. Dans le cas où les amers sont des objets connus en 2 ou 3 dimensions, il sera en général possible **d'estimer complètement la position** du robot par rapport à la leur. Elle peut également être utilisée pour **détecter des "guides" de navigation** pour le robot, tels que des routes ou des couloirs.