



## ICN – Informatique et Création Numérique

# MODULE « PROGRAMMER UN ROBOT » : 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."

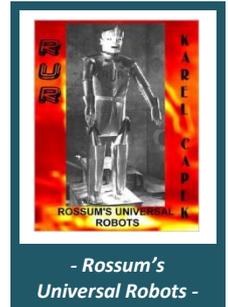
La robotique est un **domaine pluridisciplinaire** qui implique de nombreuses sciences telles que la mécanique, la mécatronique, l'électronique, l'automatique, l'informatique ou l'intelligence artificielle.

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

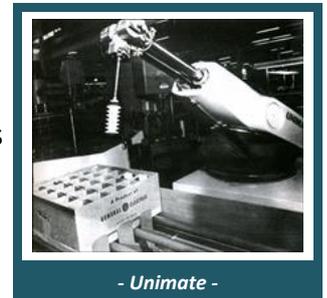
**1920** : Le terme de robot apparaît pour la première fois dans une pièce de Karel Capek : *Rossum's Universal Robots*. Il vient du tchèque **robota** qui veut dire **travail forcé**. Il présente une vision des robots comme serveurs dociles et efficaces pour réaliser les tâches pénibles.



**1950** : 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.



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



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



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

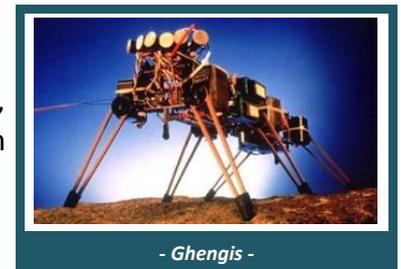




**1990** : Conçu pour se déplacer sur Mars donc sur un terrain accidenté **AMBLER** expérimenta la **navigation en trois dimensions**. Ce colosse mesurait **5 m de hauteur** et possédait **6 pattes** afin de franchir des terrains accidentés, des pentes et des fossés.



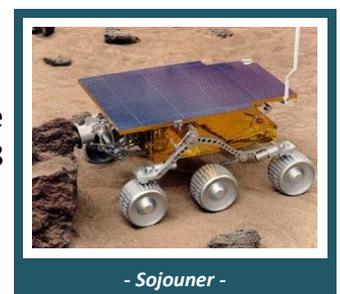
**1990** : **GHENGIS**, développé par le Massachusetts Institute of Technology, est un **insecte mesurant 35 cm** crée pour expérimenter la marche sur un terrain accidenté.



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



**1997** : Le **rover Sojourner** explore pendant 83 jours la surface de la planète Mars. Il s'agit d'un robot mobile doté de six roues, mesurant 65 cm de long, 48 de large et 30 de haut et pesant que 10,6 kg.



**1998** : Le **robot NOMAD** fut conçu 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**.





**1999** : **AIBO** est un chien robot de compagnie développé et commercialisé par Sony. Les AIBOs peuvent se déplacer, voir leur environnement et reconnaître des commandes vocales.



**2000** : Le **Sony Dream Robot** ou **SDR-3X (50 cm, 5kg)** 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**.



**2000** : **DA VINCI** est un **robot médical** qui permet d'assister les chirurgiens lors des opérations. Il est vendu par l'entreprise américaine Intuitive Surgical.



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

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.



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





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 -

Les robots **Partner** ont été fabriqués par Toyota Motor Corporation. Ils sont capables de **jouer de la musique** ensemble en toute **harmonie**.



- Robots Partner -

**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 -

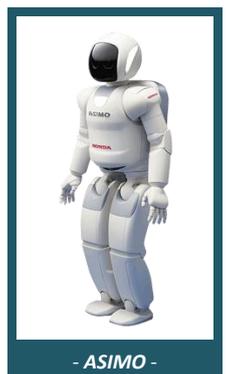
**ROLLIN' JUSTIN** est un robot **semi-humanoïde** de conception allemande. Il est équipé de **deux bras rigides** ainsi et de **deux mains** développées par **KUKA** lui permettant de **manipuler des objets fragiles** avec un contrôle absolu de ceux-ci. ROLLIN' JUSTIN est fixé sur un **châssis à 4 roues**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



- Rollin' Justin -

**ASIMO** est un robot humanoïde développé par la firme japonaise Honda. Il s'agit d'un **robot de recherche**.

Dans la dernière version du robot chaque doigt est équipé d'un détecteur de force et la paume d'un capteur. Le tout est couplé avec une technologie de reconnaissance d'objets fondés sur les tactile sens du toucher et de la vue. Ainsi, ASIMO peut désormais prendre une bouteille d'eau et dévisser son bouchon. Il peut aussi tenir un gobelet en papier sans l'écraser.



- ASIMO -



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.



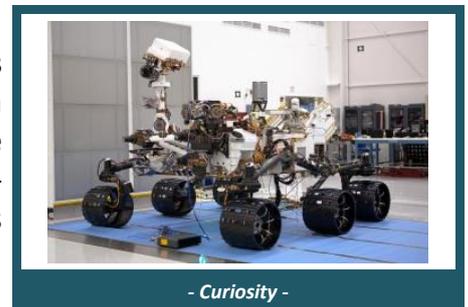
- Paro -

**NAO** est un **robot humanoïde** français, autonome et programmable, initialement développé par la société Aldebaran Robotics, une start-up française située à Paris. Les robots Nao sont utilisés à des fins de recherche et d'éducation dans de nombreuses institutions académiques du monde entier. En 2015, plus de **5 000 Nao** sont utilisées dans plus de 50 pays



- NAO -

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 **pentres de 45°**.



- Curiosity -

Le robot **Pepper** est un robot de 120 cm muni d'un écran tactile. Monté sur trois roues et pesant une trentaine de kilos, il a été déployé dans un premier temps à Tokyo, dans les boutiques de l'opérateur télécom japonais SoftBank, où il a pour mission d'assister et d'égayer les clients. Il peut comprendre 19 langues (français, japonais, anglais...).



- PEPPER -

Le robot **Poppy** est le fruit d'une collaboration entre le **Flower Lab** de l'**INRIA** à **Bordeaux** et l'**ENSTA ParisTech**. Ce robot humanoïde mesure 84 cm, pèse 3,5 kg et possède 25 actionneurs.

Le squelette du robot a entièrement été réalisé avec des **éléments imprimés en 3D**.



- Poppy Humanoïde -

## 3 – DOMAINES D'APPLICATIONS

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

### 3.1 – Robotique industrielle

La **robotique industrielle** permet l'automatisation de certaines tâches sur une chaîne de production. Un robot industriel est programmé pour effectuer des tâches de façon automatique. Il supplée à l'homme dans les tâches dangereuses, génératrices de TMS ou rébarbatives. Il se compose d'un bras polyarticulé, d'une baie de commande et d'un pupitre de programmation.



- Robots anthropomorphes -



- Bras manipulateur (araignée) -



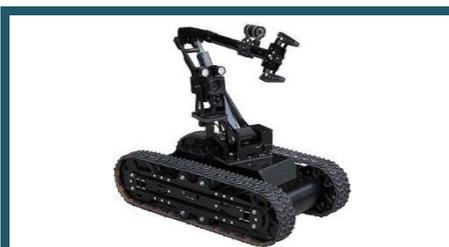
- Bras manipulateur KUKA -



- Bras articulé 6 axes -

### 3.2 – Robotique en environnement hostile

Il s'agit de robots spéciaux, véhicules en télé-opération, matériel et outillages d'intervention ou bancs de test. Ces équipements sont soumis aux contraintes environnementales des milieux hostiles comme celui de l'industrie du nucléaire : résistance aux irradiations, opérations sous eau, etc ...



- Robot démineur -



- Robot Pompier Colossus -



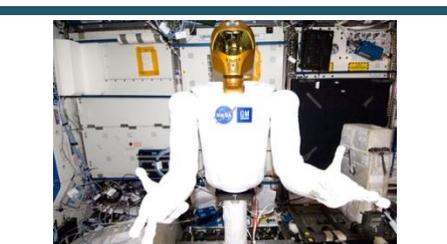
- Robot d'intervention en milieu nucléaire -

### 3.3 – Robotique spatiale

Les scientifiques ont pris le parti d'envoyer des robots pour explorer le système solaire, dans des environnements souvent mortels pour l'homme. La robotique spatiale s'inscrit notamment dans la mission d'exploration robotique, l'assistance aux astronautes et l'entretien en orbite.



- Mars Exploration Rover -



- Robot assistant Robonaut 2 (R2) -

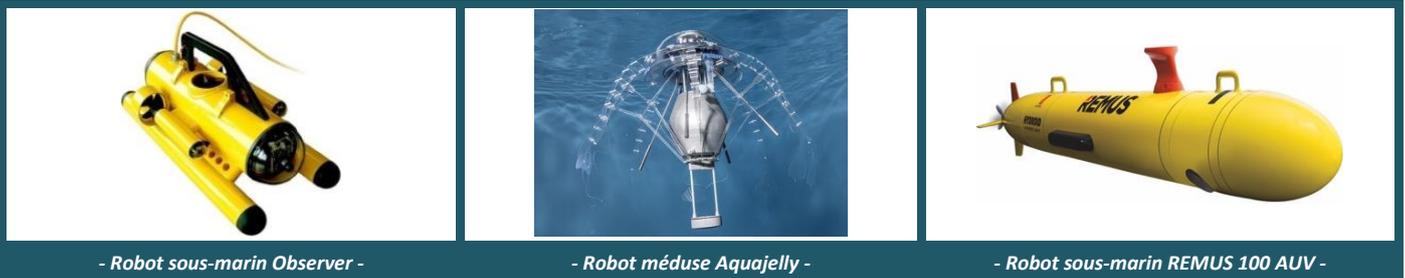


- Bras manipulateur Canadarm2 -



### 3.4 – Robotique d’exploration sous-marine

Un **robot sous-marin autonome (AUV, pour « Autonomous Underwater Vehicle »** en anglais), est un robot qui se déplace dans l'eau de manière autonome.



### 3.5 – Robotique agricole

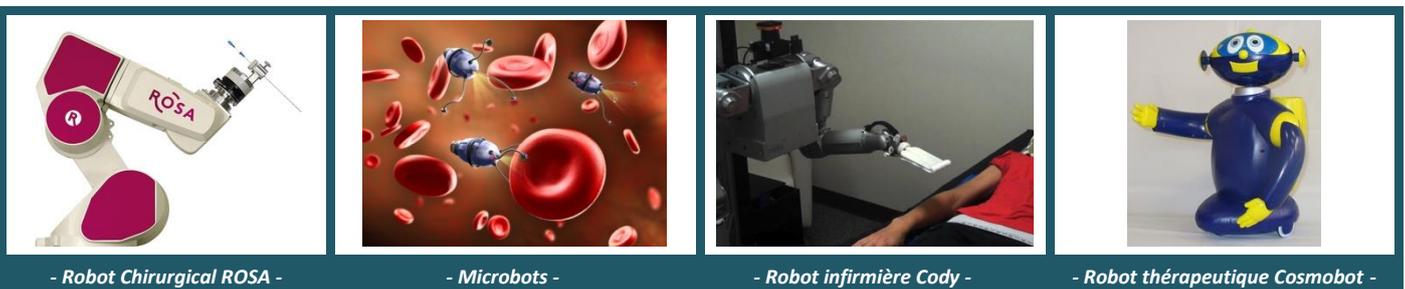
Les **robots agricoles** permettent d’accomplir certaines tâches dans le domaine de l’agriculture et de l’horticulture. Ces robots sont utilisés pour automatiser les **récoltes** ou la **traite des animaux**. Un secteur d’innovation concerne les travaux de **désherbage** permettant, par l’utilisation de robots, de limiter l’utilisation de produits phytosanitaires.



### 3.6 – Robotique médicale

Les robots liés à la pratique médicale deviennent de plus en plus répandus dans les domaines suivants :

- **Robots d’assistance chirurgicale** tels que les robots « Da Vinci » ou « Rosa ».
- **Microbots magnétiques** qui sont des petits robots utilisés dans diverses opérations, telles que la suppression de la plaque des artères d'un patient ou d'aide contre les affections oculaires.
- **Robots aides-soignants** qui des manipulateurs mobiles.
- **Robots thérapeutiques** tels que Cosmobot robot permettant de d’améliorer le traitement des enfants ayant une déficience visuelle ou encore PARO, le bébé phoque conçu comme une thérapie assistée par l'animal pour les personnes âgées.



### 3.7 – Robotique de service domestique

La robotique de service permet d'assister l'homme dans ses de la vie courante, contribuant à améliorer son bien-être.



- Robot aspirateur Roomba -



- Véhicule autonome Cycab -



- Robot tondeur -

### 3.8 – Robotique humanoïde

Un **robot humanoïde** est un **robot** dont l'apparence générale rappelle celle d'un corps humain. Généralement, les **robots humanoïdes** ont un torse avec une tête, deux bras et deux jambes, bien que certains modèles ne représentent qu'une partie du corps, par exemple à partir de la taille.



- Robot Humanoïde HRP-4C -



- Robot humanoïde Atlas -



- Robot humanoïde HRP-3 Promet MK-II -

### 3.9 – Robotique de loisirs

Le secteur de la robotique ludique est en plein développement Il s'agit de robots destinés aux **loisirs individuels** mais également utilisés dans **l'enseignement** pour la découverte de l'informatique et de la robotique. Sony fut un précurseur sur le marché, avec son robot AIBO.



- Robot Lego EV3 -



- Robot NAO -



- Robot AIBO -



- Robot Poppy Ergo Jr -

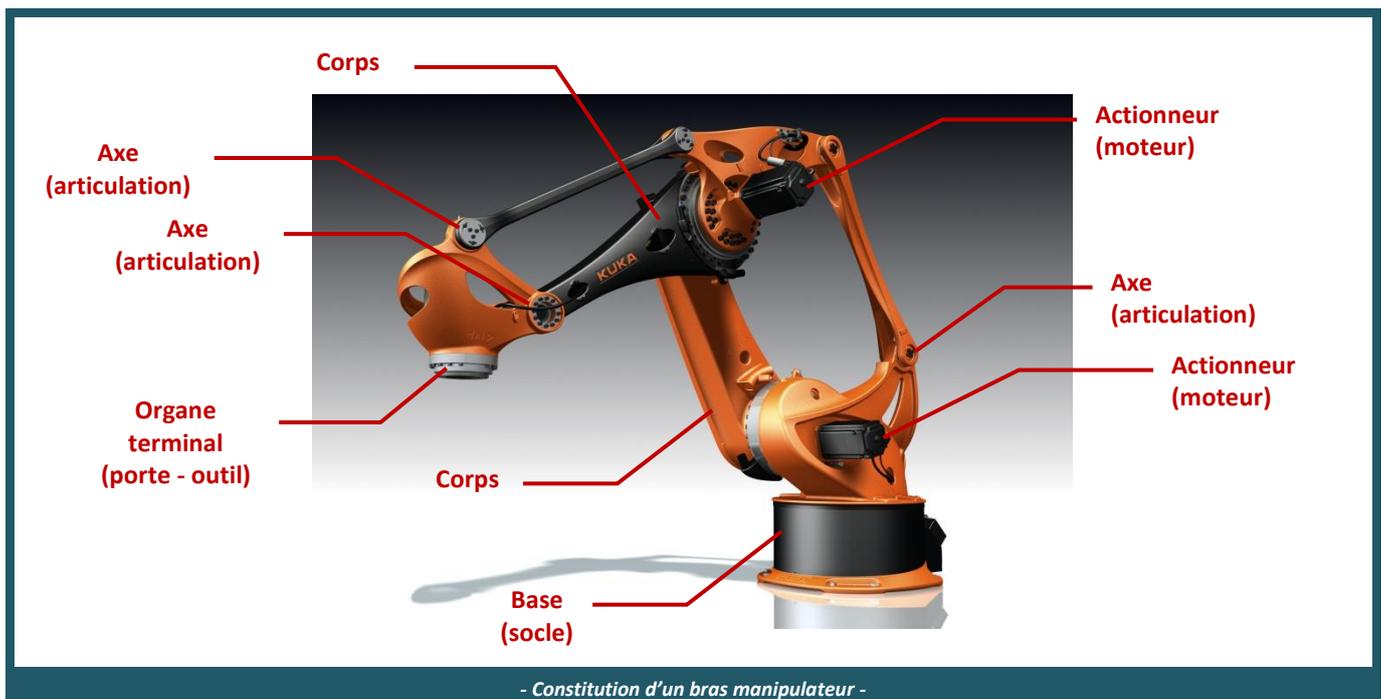


## 4 – ROBOT MANIPULATEUR

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.



## 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**.



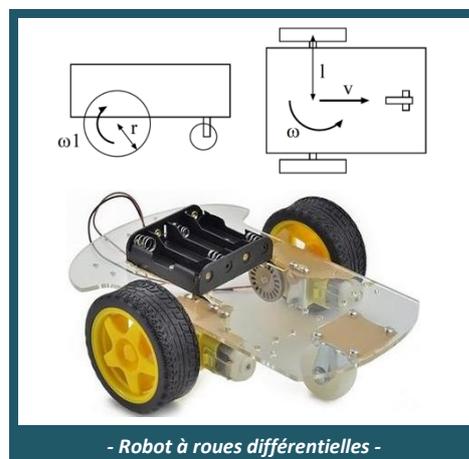
## 5.1 – Domaine d'application

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

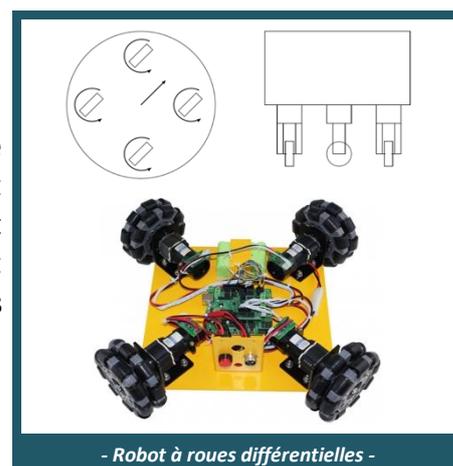
Un robot mobile à configuration différentielle comporte **deux roues commandées indépendamment**. Une ou plusieurs roues folles peuvent être ajoutées à l'avant ou à l'arrière du robot pour assurer sa stabilité. Cette plate-forme est très simple à commander, puisqu'il suffit de **spécifier les vitesses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



## 5.3 – Les plates-formes mobiles omnidirectionnelles

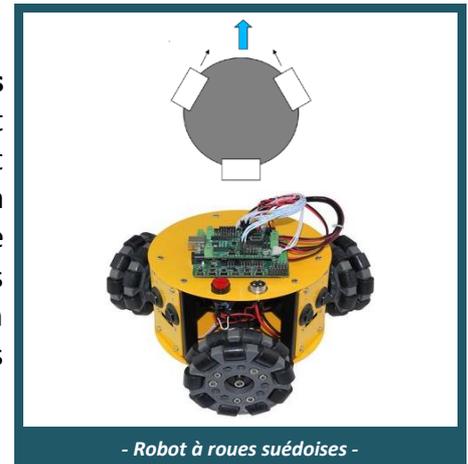
Les plates-formes omnidirectionnelles permettent de découpler de manière plus nette le contrôle de la rotation et de la translation d'un robot. Il existe différents types de plateformes omnidirectionnelles.

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.



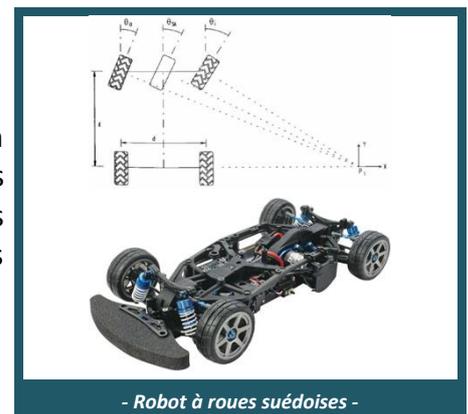


Une deuxième catégorie de plateformes utilise des **roues dites "suédoises"**. La plateforme comporte trois roues dont les axes sont fixes. Les déplacements dans toutes les directions et en rotation sont obtenus en **faisant varier individuellement les vitesses des roues**. La plateforme tourne sur place 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 tout type de déplacements.



#### 5.4 – Les plates-formes mobiles de types voitures

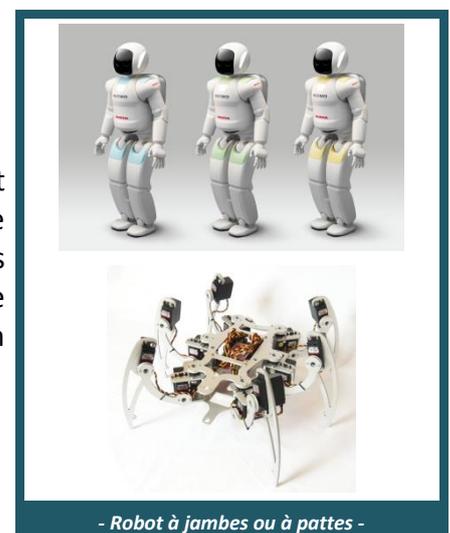
Des plates-formes de type voiture, sont également utilisées en robotique notamment dans le domaine **des véhicules intelligents**. Ces plates-formes sont **difficiles à commander** car elles ne peuvent pas tourner sur place et doivent manœuvrer, ce qui peut être difficile dans des environnements encombrés.



#### 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

En robotique, 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**

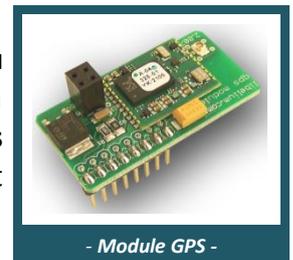


- Codeur optique -

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

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**.



- Module GPS -

Le **gyromètre** permet 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.



- Module Gyromètre -

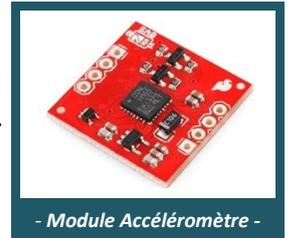
Le **compas** ou **boussole (magnétomètre)** fournit une information **d'orientation** par rapport au **nord magnétique terrestre**. Il permet d'obtenir l'orientation du robot avec une **précision de 3 à 4 degrés**. Sensibles aux masses métalliques présentes dans les bâtiments ils sont utilisés en étant placés soigneusement sur le robot pour éviter l'influence des certains composants du robot.



- Module Boussole -



Un **accéléromètre** permet de mesurer l'**accélération** du robot en mouvement. Il peut être : mécanique (**jauges de contraintes**), électromécaniques (**effets piézo-électrique**), électriques (**effet capacitif** ou **réductance variable**).



- 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 infrarouge. La mesure des radiations infrarouges est limitée car la **qualité est très dégradée au delà d'un mètre**. Ces dispositifs sont essentiellement utilisés comme **détecteurs de proximité**, ou de **présence**. Ils sont également sensibles aux conditions extérieures, notamment à la lumière ambiante et au type de surfaces.



- Capteur infrarouge -

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**.



- Capteur ultrason -

Un **téléomètre laser** permet 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 portée du capteur dépend de la réflectivité des milieux rencontrés. Un capteur de bonne qualité peut atteindre une portée de **30 m**.



- Capteur Laser -

### 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.

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** permettant de calculer la position et éventuellement la direction et la position du robot. Elle peut également être utilisée pour **détecter des "guides" de navigation** pour le robot, tels que des routes ou des couloirs.



- Capteur infrarouge -