

## Chapitre III

# Les **S**ystèmes de **P**erception

# Les **S**ystèmes de **P**erception

- La fonction perception consiste globalement à saisir un certain nombre d'informations sensorielles dans le but d'acquérir une connaissance et une compréhension du milieu d'évolution.
- Pour un robot mobile, elle est le préalable indispensable aux étapes de localisation et de mise à jour de carte de l'environnement.

# Les **S**ystèmes de **P**erception

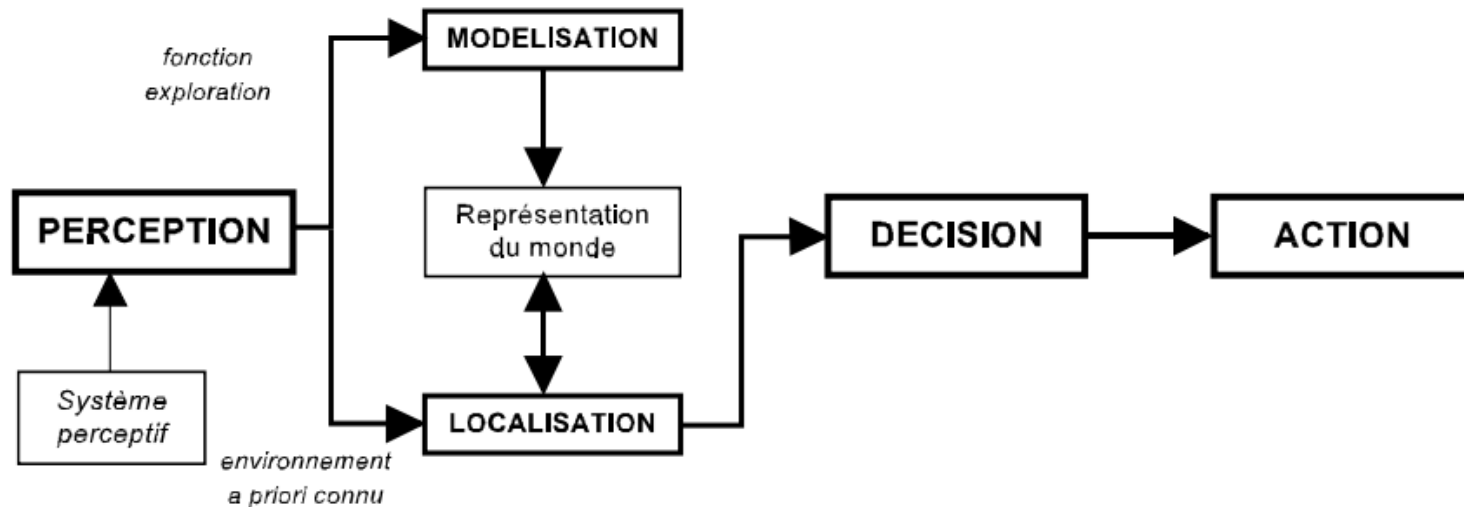


Figure 1-1 : Chaîne fonctionnelle d'un système de navigation.

# Les **S**ystèmes de **P**erception

- Plusieurs constats peuvent être faits sur cet organe essentiel de la chaîne fonctionnelle de la navigation.

## Constat 1



- le choix d'un système de perception est souvent dépendant du milieu d'évolution du robot mobile ainsi que des fonctionnalités mises en œuvre sur le robot pour qu'il puisse remplir sa mission.

# Les **S**ystèmes de **P**erception

## Constat 2



- Un système de perception constitué d'un unique capteur sera rarement suffisant pour percevoir correctement l'environnement. Le système de perception d'un robot mobile intégrera le plus souvent plusieurs capteurs qui seront de types complémentaires pour un enrichissement des informations sensorielles, ou de types redondants pour répondre au problème de fonctionnement en mode dégradé.

# Les **S**ystèmes de **P**erception

## Constat 3



- Coût de l'intégration de capteurs sur le véhicule autonome. La précision désirée et une fréquence d'acquisition élevée seront autant de facteurs qui augmenteront le coût d'un capteur. Il s'agit donc là d'une contrainte qui pèsera inévitablement sur le choix d'un système de perception.

# Les **S**ystèmes de **P**erception

## Classification des Capteurs

La classification des capteurs est généralement faite par rapport à deux familles :

- les capteurs proprioceptifs qui fournissent des informations propres au comportement interne du robot, c'est-à-dire sur son état à un instant donné.

# Les **S**ystèmes de **P**erception

- les capteurs extéroceptifs qui fournissent des informations sur le monde extérieur au robot.

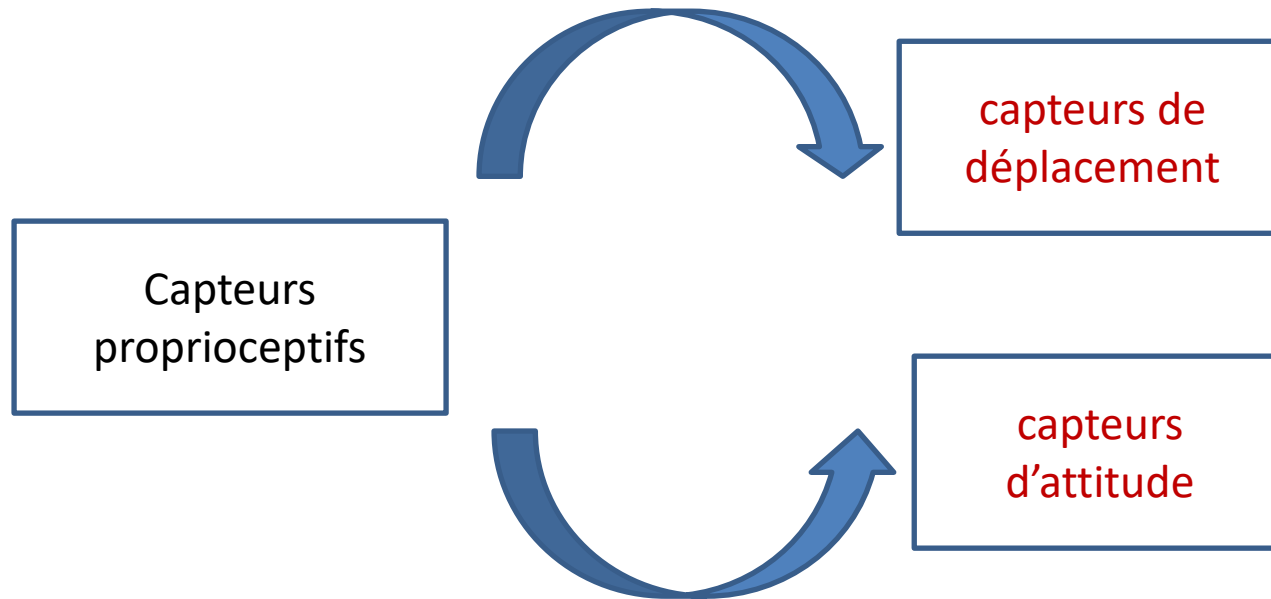


# Les Capteurs Proprioceptifs

- Les capteurs proprioceptifs fournissent, par intégration, des informations élémentaires sur les paramètres cinématiques du robot.
- Les informations sensorielles gérées dans ce cadre sont généralement des vitesses, des accélérations, des angles de giration, des angles d'attitude.

# Les Familles de Capteurs

On peut regrouper les capteurs proprioceptifs en deux familles :



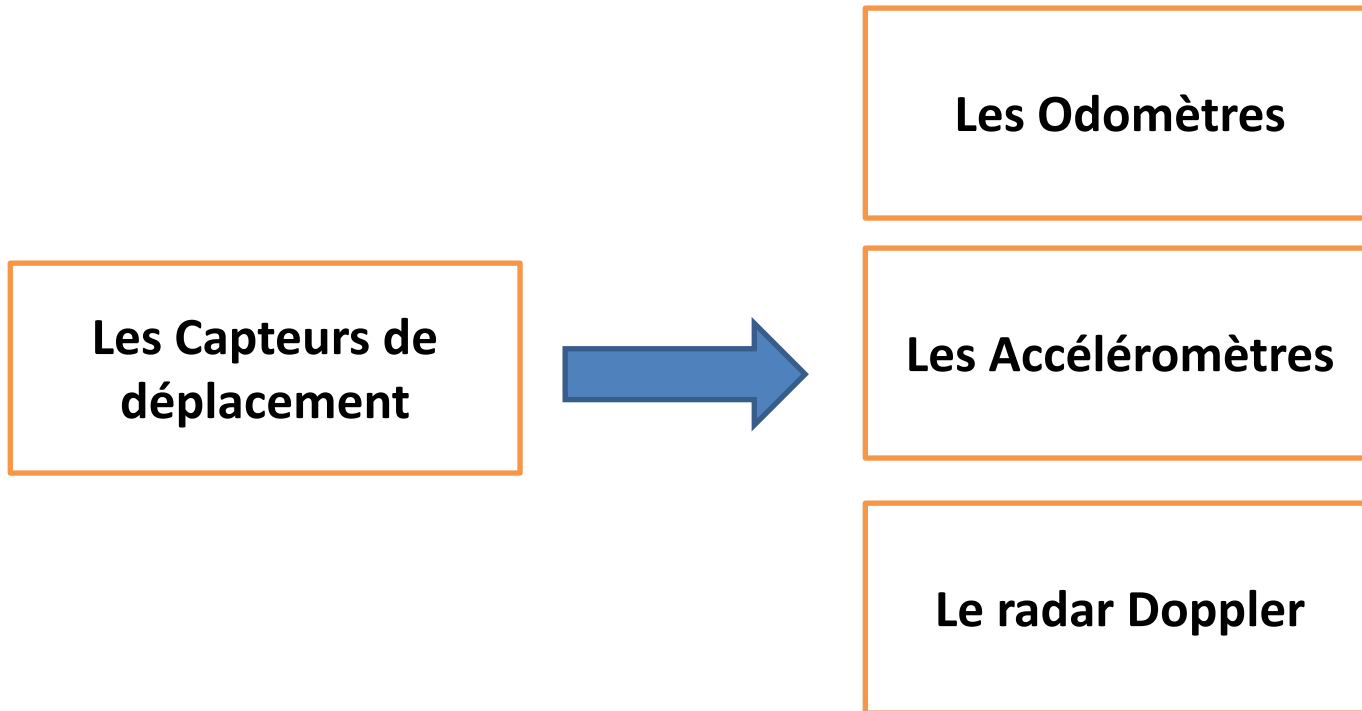
# Les Familles de Capteurs

- les capteurs de déplacement qui comprennent les odomètres, les accéléromètres, les radars Doppler, les mesureurs optiques. Cette catégorie permet de mesurer des déplacements élémentaires, des variations de vitesse ou d'accélération sur des trajectoires rectilignes ou curvilignes.

# Les Familles de Capteurs

- 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 constitués par les gyroscopes et les gyromètres, les capteurs inertiels composites, les inclinomètres, les magnétomètres. Ces capteurs sont en majorité de type inertiel.

# Les Capteurs de Déplacement



# Les Capteurs de Déplacement

## Les Odomètres

- Les odomètres permettent de fournir une quantification des déplacements curvilignes du robot en mesurant la rotation de ses roues. Le calcul de la position relative du robot est réalisé par intégration des rotations élémentaires des roues.
- Les odomètres sont généralement composés de codeurs incrémentaux qui permettent de mesurer les angles de rotation avec une précision qui dépend de la résolution du codeur.

# Les Capteurs de Déplacement

## Les Odomètres

- L'information de déplacement nécessitera la connaissance du diamètre des roues, de l'entraxe des roues, de la structure mécanique et cinématique du véhicule.
- Ce capteur est fortement utilisé en robotique mobile puisqu'il présente l'avantage d'être simple à mettre en œuvre et surtout d'être peu coûteux.

# Les Capteurs de Déplacement

Kit de roues motorisées avec encodeurs et structure aluminium





# Les Capteurs de Déplacement

## Les accéléromètres

- L'accéléromètre est un capteur qui mesure l'accélération linéaire en un point donné. En pratique, la mesure de l'accélération est effectuée à l'aide d'une masse d'épreuve  $M$ , de masse  $m$ , reliée à un boîtier du capteur.
- Le principe de ce capteur est de mesurer l'effort massique non gravitationnel qu'on doit appliquer à  $M$  pour le maintenir en place dans le boîtier lorsqu'une accélération est appliquée au boîtier.

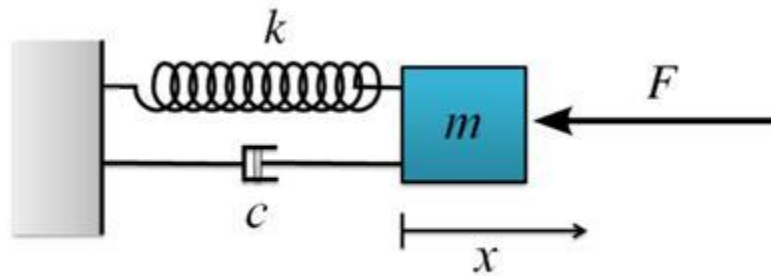
# Les Capteurs de Déplacement

## Les accéléromètres

- Le calcul du déplacement élémentaire du robot est obtenu par double intégration de ces informations.
- Cette double intégration conduit généralement à des accumulations importantes d'erreurs.
- Ce capteur est plus coûteux que des odomètres.

# Les Capteurs de Déplacement

## Principe de l'accéléromètre



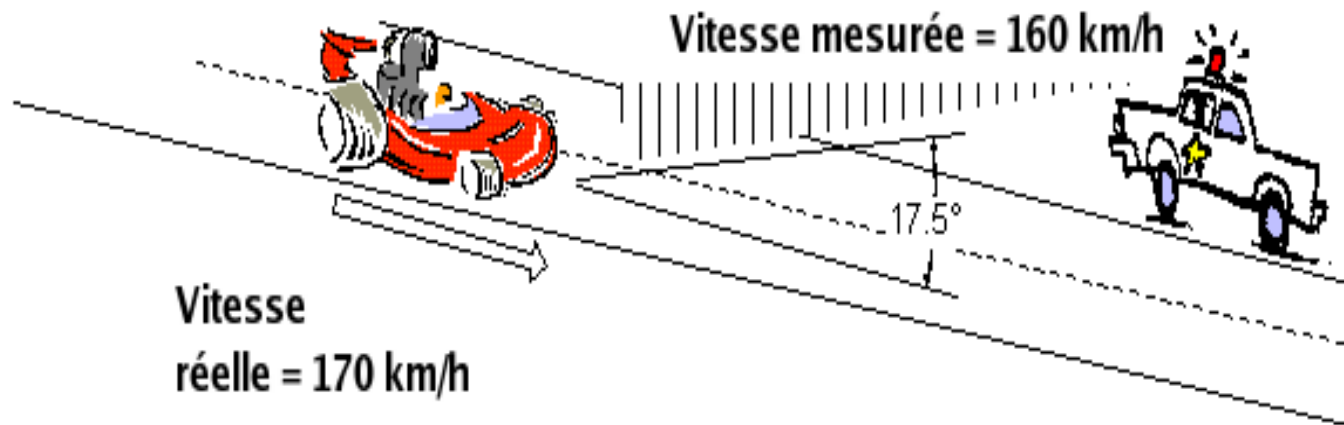
# Les Capteurs de Déplacement

## Le radar Doppler

- Le radar Doppler fournit une estimation instantanée de la vitesse linéaire d'une plate-forme mobile par rapport à un objet de la scène en se basant sur l'effet Doppler-Fizeau.
- Le principe est de diriger un faisceau électromagnétique de fréquence  $F$  vers le sol.
- Le faisceau reçu après rediffusion sur le sol présente un décalage de fréquence  $\Delta F$  proportionnel à la vitesse  $V$  du déplacement relatif du véhicule par rapport au sol.
- L'intégration de la mesure de vitesse fournira une estimation du déplacement du mobile.

# Les Capteurs de Déplacement

## Le radar Doppler



# Les Capteurs de Déplacement

## Le radar Doppler

- Ce capteur est le plus souvent utilisé en milieu extérieur.
- Il présente le gros avantage d'être insensible aux glissements des roues ou des chenilles du mobile.
- En revanche, sa précision se dégrade rapidement avec la diminution de la vitesse.
- De plus il est généralement lourd à mettre en œuvre, tant du point de vue électronique que du point de vue du traitement des informations reçues.

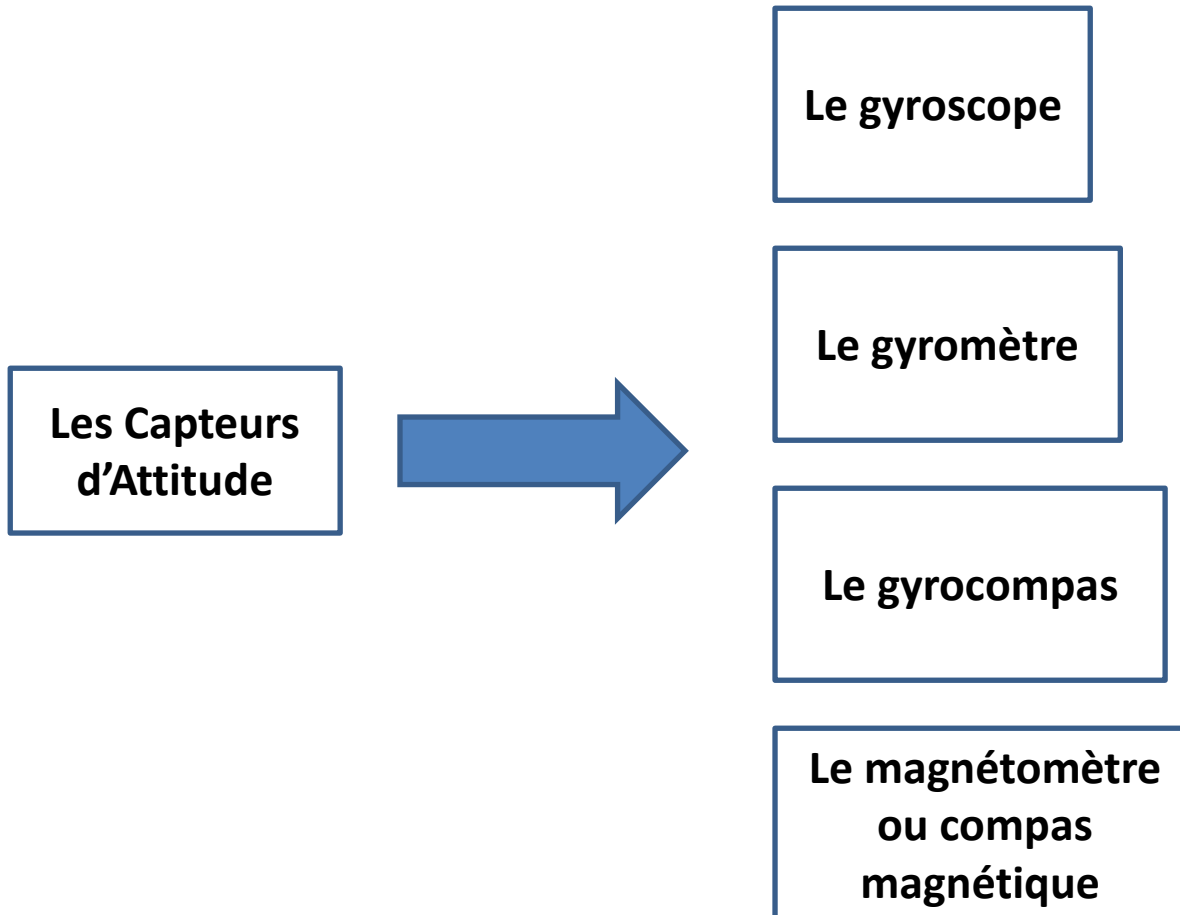
# Les Capteurs d'Attitude

Les capteurs d'attitude permettent d'estimer les paramètres intrinsèques du robot que sont les angles de cap, de roulis et de tangage.

Ces capteurs sont principalement de type inertiel.

Ces capteurs ont pour point commun d'être généralement coûteux et sensibles au bruit, d'où une intégration moins fréquente dans les systèmes embarqués que les odomètres.

# Les Capteurs d'Attitude





# Les Capteurs d'Attitude

## Les gyroscopes

Les gyroscopes sont des capteurs de position angulaire, ils permettent de mesurer une variation angulaire.

Ils sont intéressants en robotique mobile parce qu'ils peuvent compenser les défauts des odomètres.

Une erreur d'orientation odométrique peut entraîner une erreur de position cumulative qui peut être diminuée voire compensée par l'utilisation conjointe de gyroscopes.

# Les Capteurs d'Attitude

## Les gyroscopes



# Les Capteurs d'Attitude

## Les gyroscopes

Les gyroscopes très précis sont trop onéreux pour être utilisés en robotique mobile.

les gyroscopes à fibre optique, connus pour leur grande précision, ont vu leur prix chuter et sont donc devenus une solution attractive pour la navigation en robotique mobile.

# Les Capteurs d'Attitude

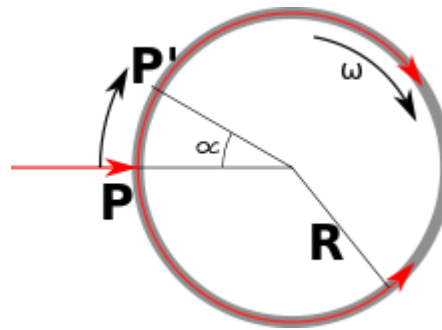
## Le gyromètre

Le gyromètre est un capteur qui permet de mesurer une vitesse angulaire.

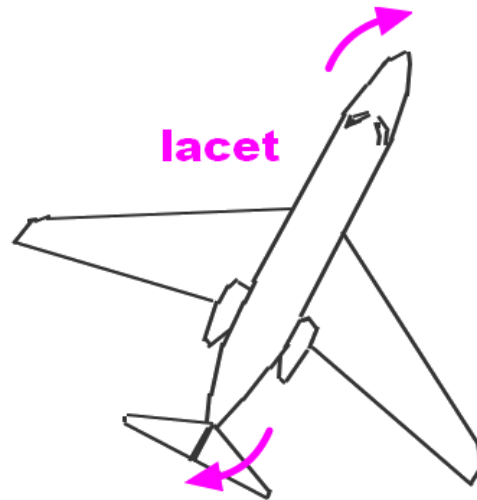
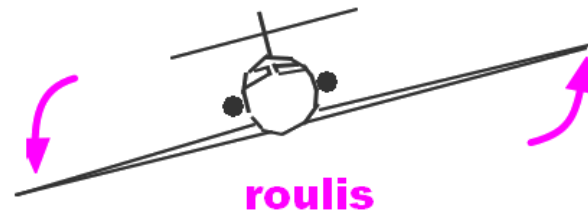
Il existe plusieurs types de gyromètres : les premiers à avoir fait leur apparition furent mécaniques.

Aujourd'hui, on utilise surtout des gyromètres laser ou des gyromètres optiques

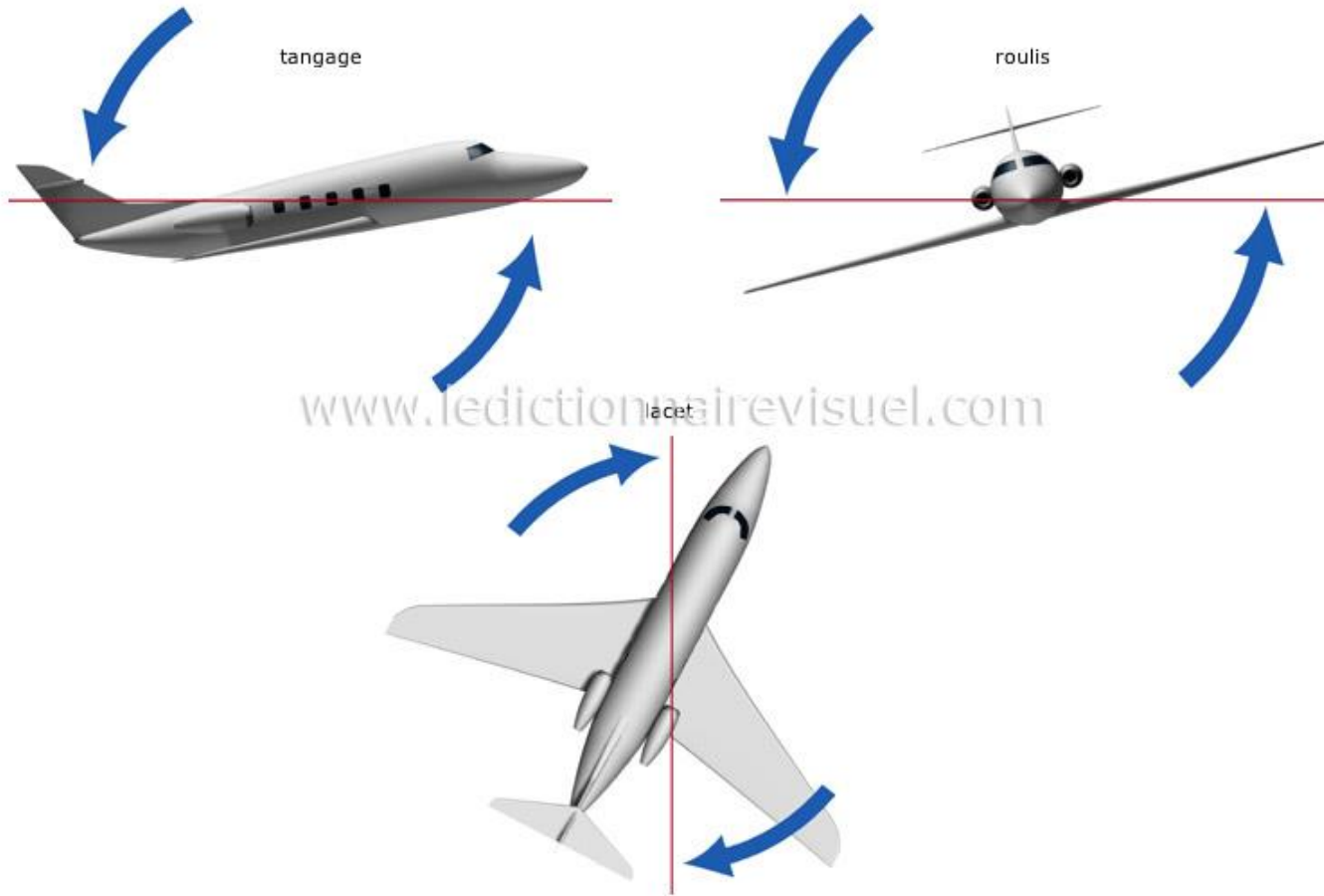
# Le gyromètre



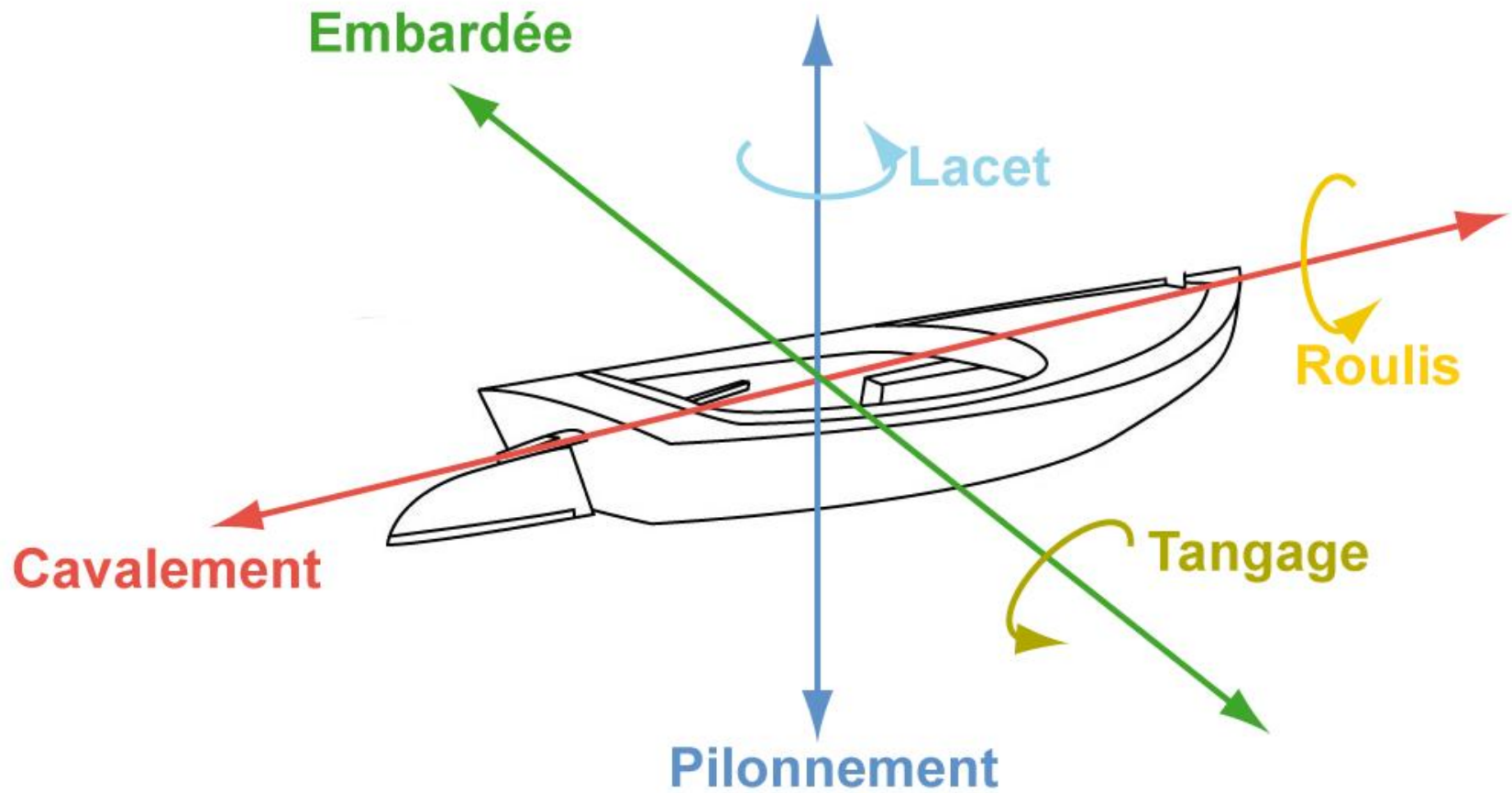
# Le gyromètre



# Le gyromètre



# Le gyromètre





# Les Capteurs d'Attitude

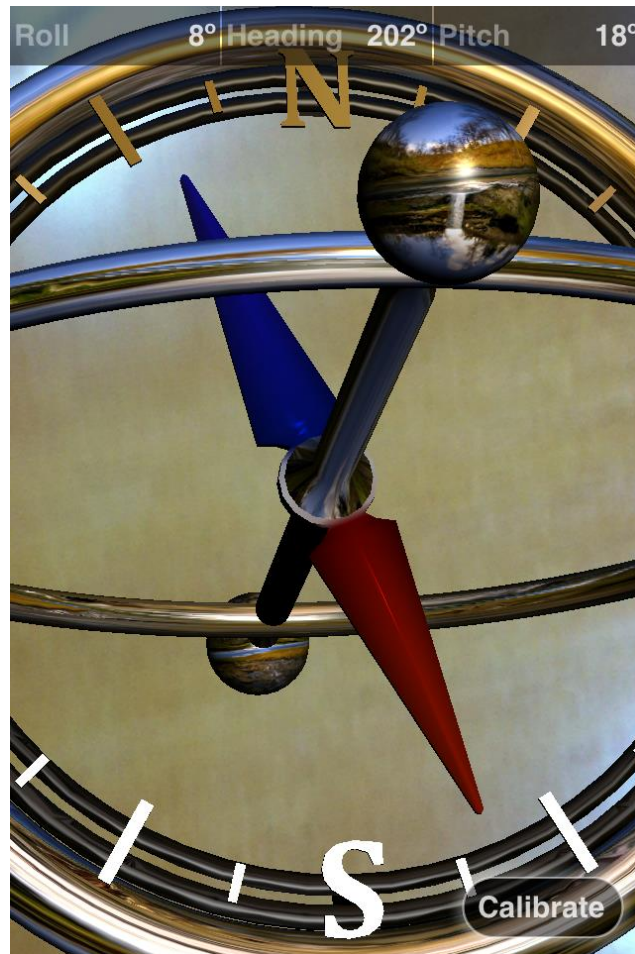
## Le gyrocompas

Le gyrocompas est un capteur qui permet de mesurer le cap.

Il est composé d'un gyroscope et d'un compas magnétique.

Le gyrocompas conserve le nord magnétique durant tout le déplacement du véhicule, après l'avoir initialement déterminé de façon autonome.

# Le gyrocompas



# Le gyrocompas



# Le gyrocompas



# Les Capteurs d'Attitude

## Le magnétomètre ou compas magnétique

Le magnétomètre qui est aussi appelé compas magnétique mesure la direction du champ magnétique terrestre pour déduire l'orientation du robot.

l'utilisation de ce capteur en milieu intérieur est rendue difficile à cause de la perturbation des mesures par l'environnement magnétique du robot (comme par exemple les lignes d'énergie ou les structures en acier).

# Les Capteurs d'Attitude

## Le magnétomètre ou compas magnétique



# Les Capteurs d'Attitude

## Le magnétomètre ou compas magnétique

Ce capteur a été intégré avec succès dans un système de localisation basé sur le Filtrage de Kalman Etendu.

La caractéristique principale de ce capteur est sa précision moyenne qui, sur un long trajet, est relativement bonne.

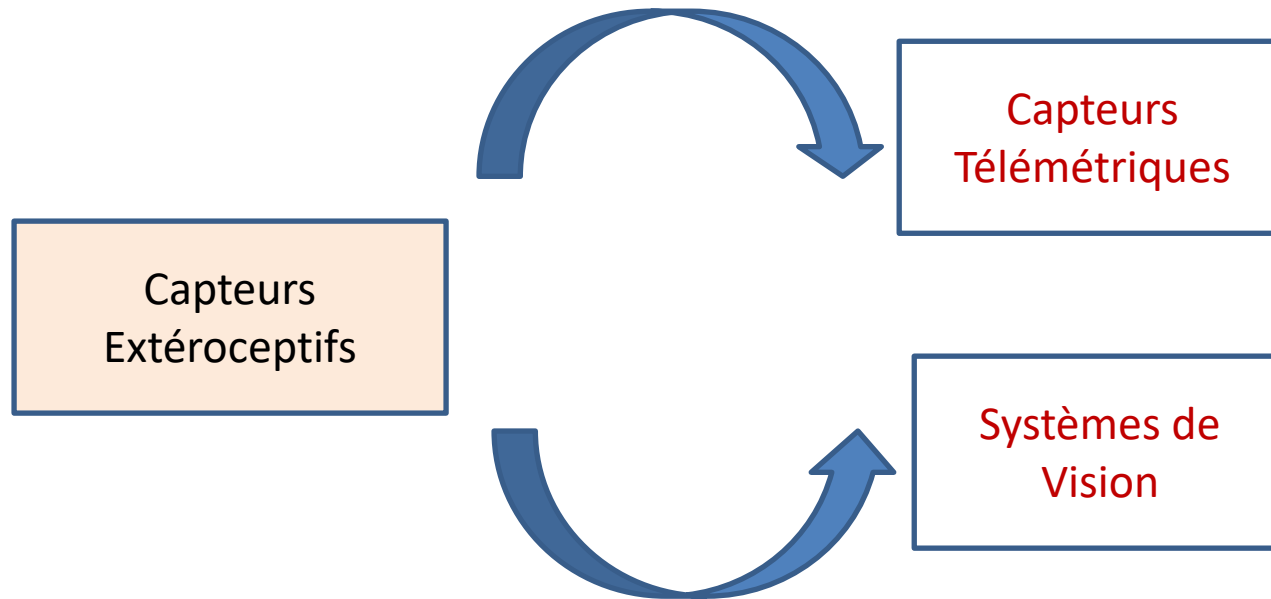
# Les Capteurs Extéroceptifs

- Les capteurs extéroceptifs permettent de percevoir le milieu d'évolution du robot.
- Ils sont généralement le complément indispensable aux capteurs présentés précédemment.
- Des méthodes de fusion de données seront alors utilisées pour conditionner et traiter les informations sensorielles de natures différentes.
- Deux familles de capteurs extéroceptifs embarqués peuvent être identifiées : les capteurs télémétriques et les systèmes de vision.



# Les Capteurs Extéroceptifs

On peut regrouper les capteurs extéroceptifs en deux familles :

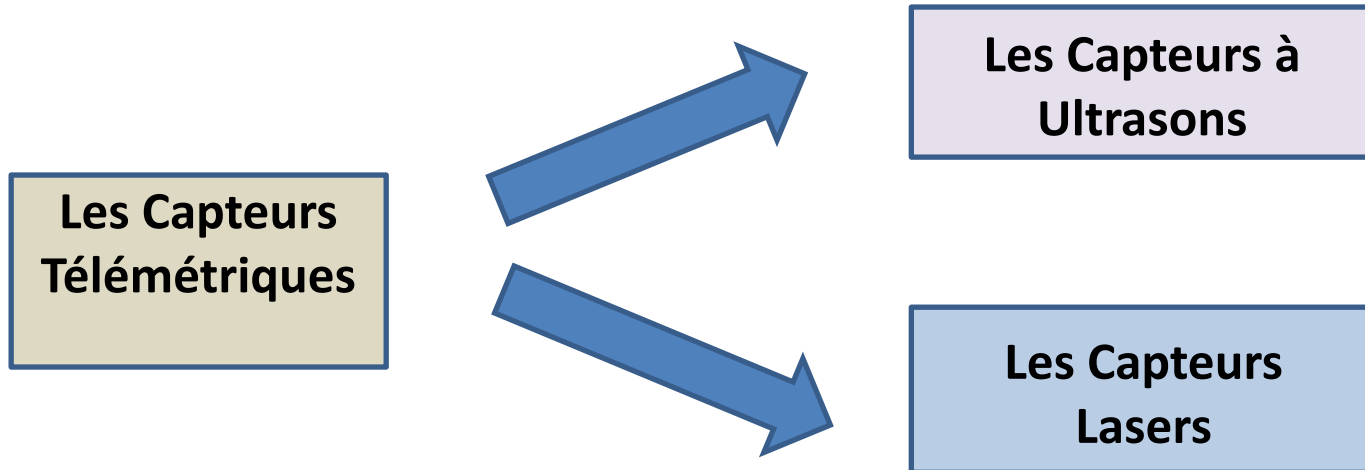


# Les Capteurs Extéroceptifs

Ces capteurs servent pour les actions suivantes :

- Vérification et amélioration de la trajectoire suivie par le robot.
- Mesure des interactions entre le robot et l'environnement.
- Perception de l'environnement.
- Prévention et sécurité.

# Les Capteurs Télémétriques

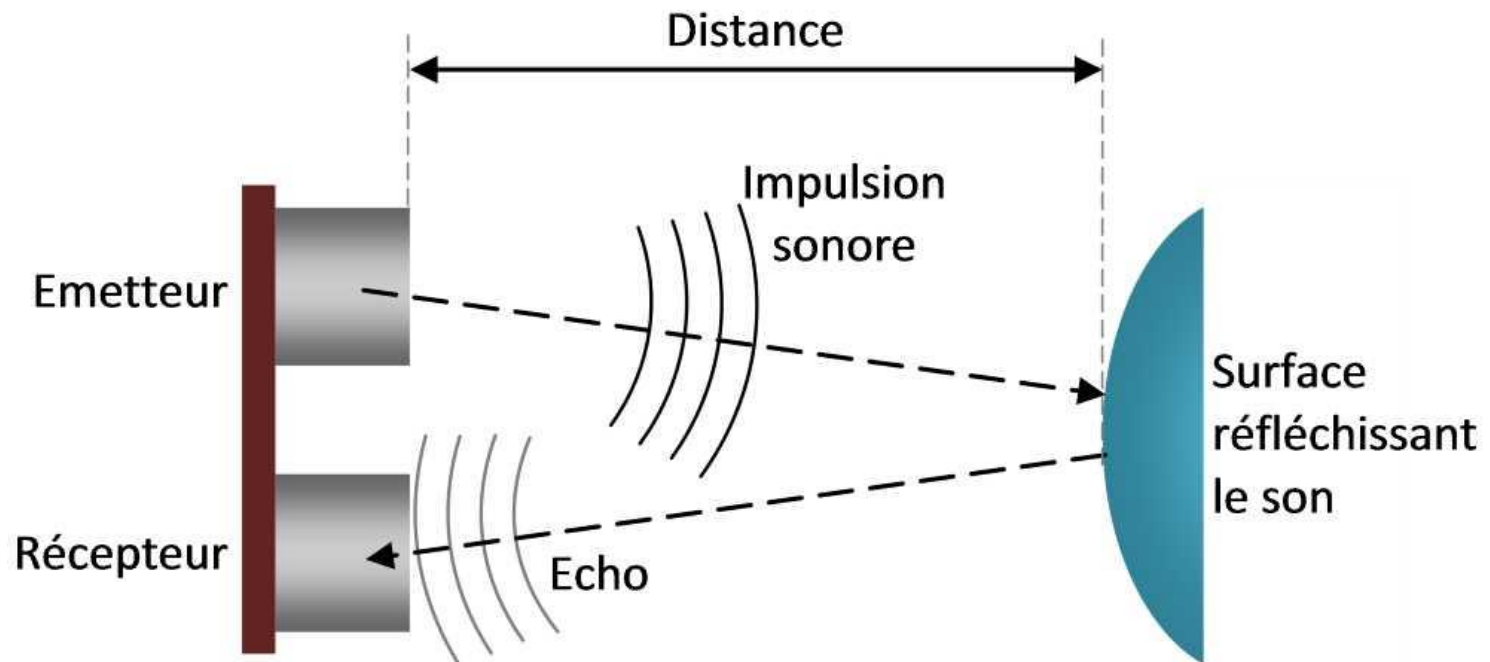


# Les Capteurs à Ultrasons

- Le capteur ultrasonore fait partie des capteurs de distance à portée moyenne. On le trouve sur tous les robots mobiles. Souvent plusieurs capteurs sont montés autour du robot formant une ceinture de sécurité.
- Leur rôle principal est la détection des obstacles.
- Son principe de fonctionnement est comme suit : Un faisceau émis est réfléchi par un obstacle et capté par le capteur. La durée séparant l'émission et la réception est mesurée, ce qui donne la distance.

# Les Capteurs à Ultrasons

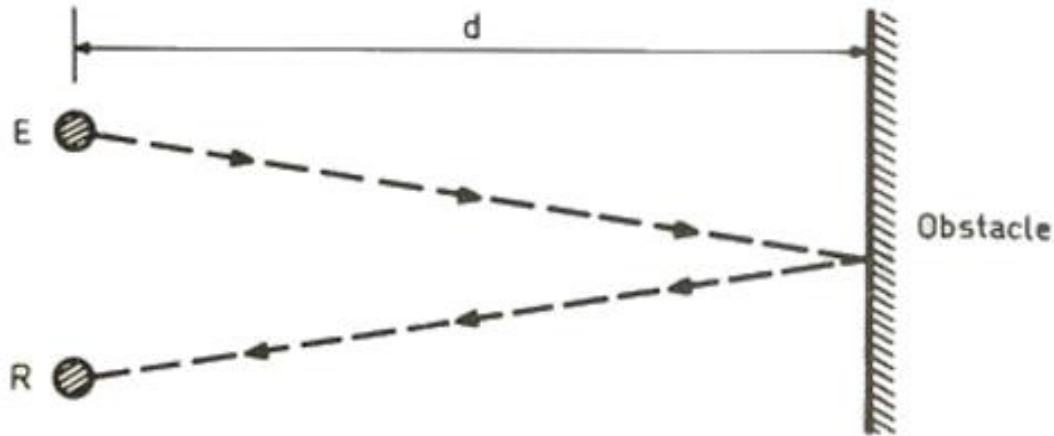
## Principe



# Les Capteurs à Ultrasons

## Principe

Réflexion sur un obstacle



$$t = \frac{2d}{V}$$

- t : Temps entre émission et réception
- d : Distance entre source et obstacle
- V : Vitesse de déplacement des ultrasons dans l'air

# Les Capteurs à Ultrasons

## Exemple de Capteur



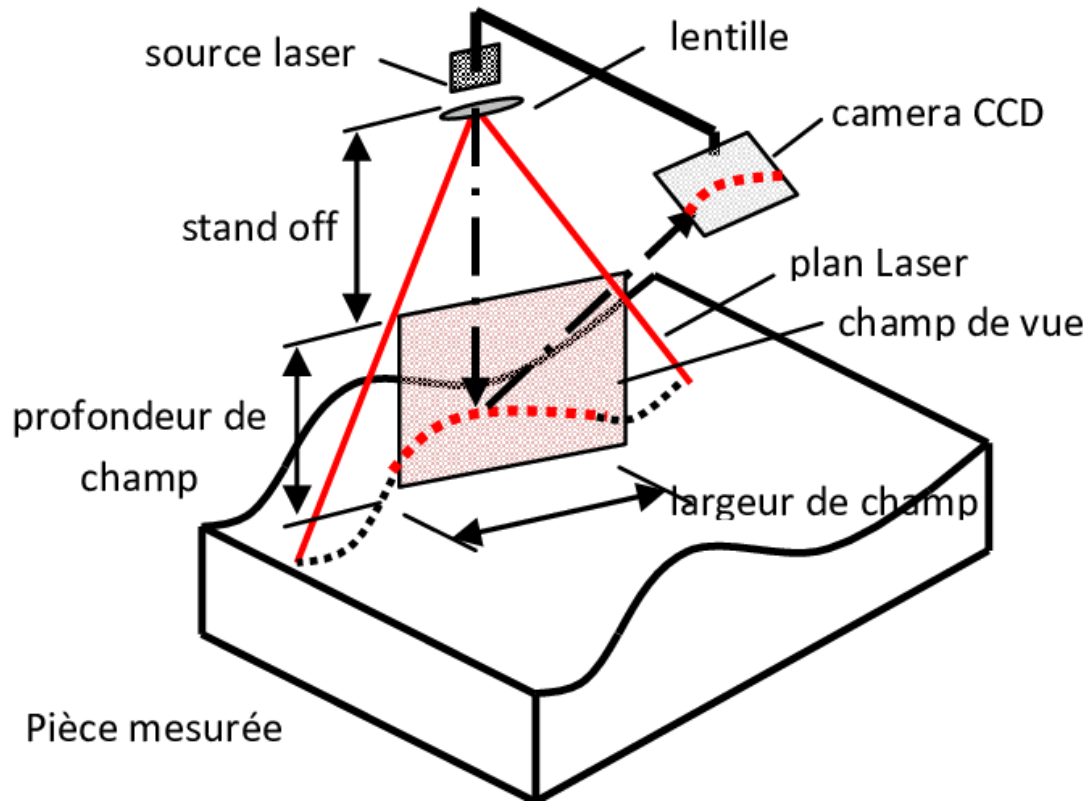
# Les Capteurs Lasers

- Le capteur laser est basé sur l'émission d'une onde électromagnétique structurée. Ce capteur permet donc d'obtenir un faisceau d'ondes très concentré, contrairement aux capteurs ultrasonores.
- Les systèmes laser possèdent de nombreux avantages qui en font des capteurs souvent utilisés dans les applications de robotique mobile :
  - **La résolution angulaire** : des faisceaux angulairement très fins peuvent être obtenus avec des lentilles d'émission de petite taille.
  - **La réponse optique des cibles** : les longueurs d'ondes courtes permettent d'obtenir un écho pour des angles d'incidence du faisceau sur la cible allant jusqu'à 75°, et améliorent de ce fait la probabilité de détection.
  - **La précision sur la mesure de distance** : Une précision de l'ordre du dixième de millimètre peut être obtenue sur des distances de l'ordre de 30 mètres.



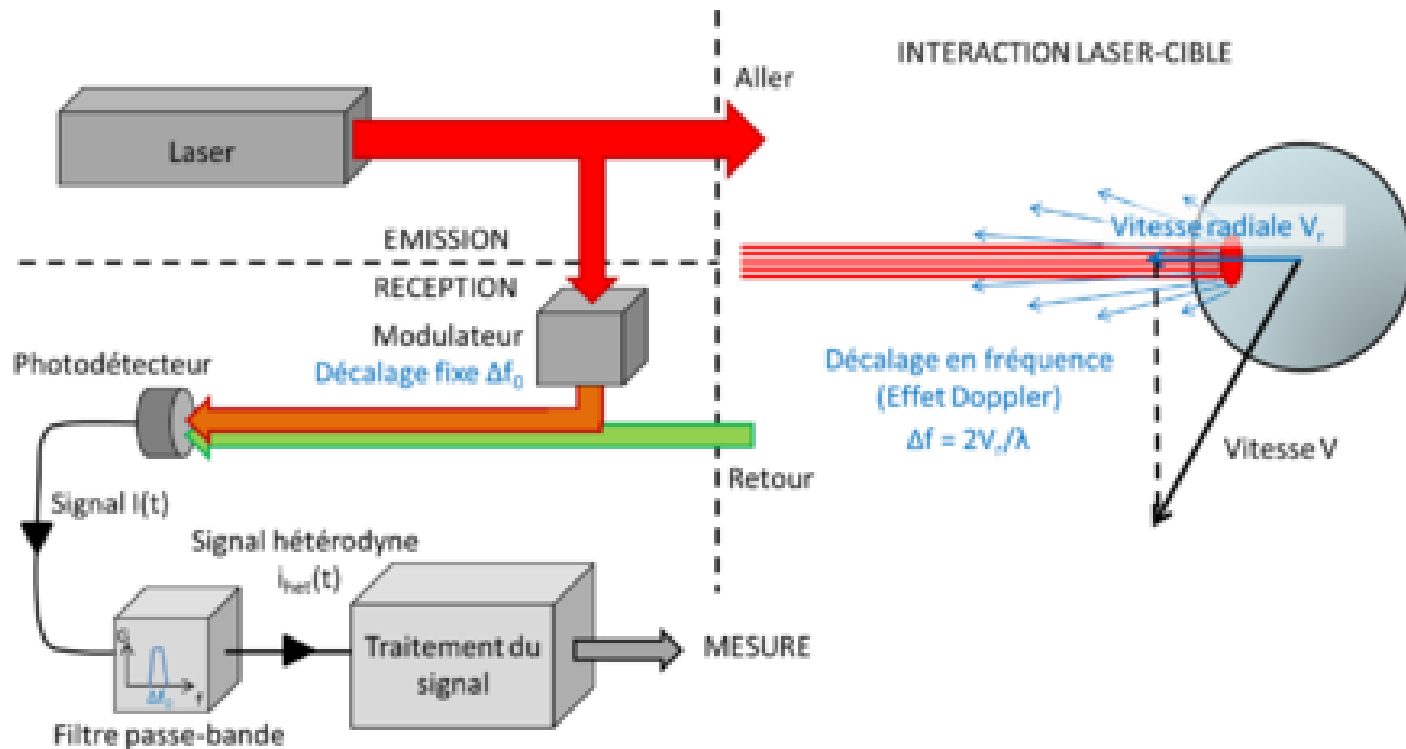
# Les Capteurs Lasers

## Principe



# Les Capteurs Lasers

## Principe



# Les Capteurs Lasers

En robotique les systèmes laser sont utilisés principalement de trois manières différentes :

- **En télémètre** : ils sont alors utilisés, tout comme les capteurs à ultrasons, pour des mesures de distances.
- **En goniomètre** : ils sont utilisés pour des mesures d'angles.
- **En source de lumière structurée** : ils sont généralement utilisés pour la modélisation 3D de l'environnement. La source laser sera dans ce cas toujours associée à une caméra et fournira des informations sur la profondeur.

# Les Capteurs Lasers

## Exemple de Capteur



# Les **S**ystèmes de **V**ision

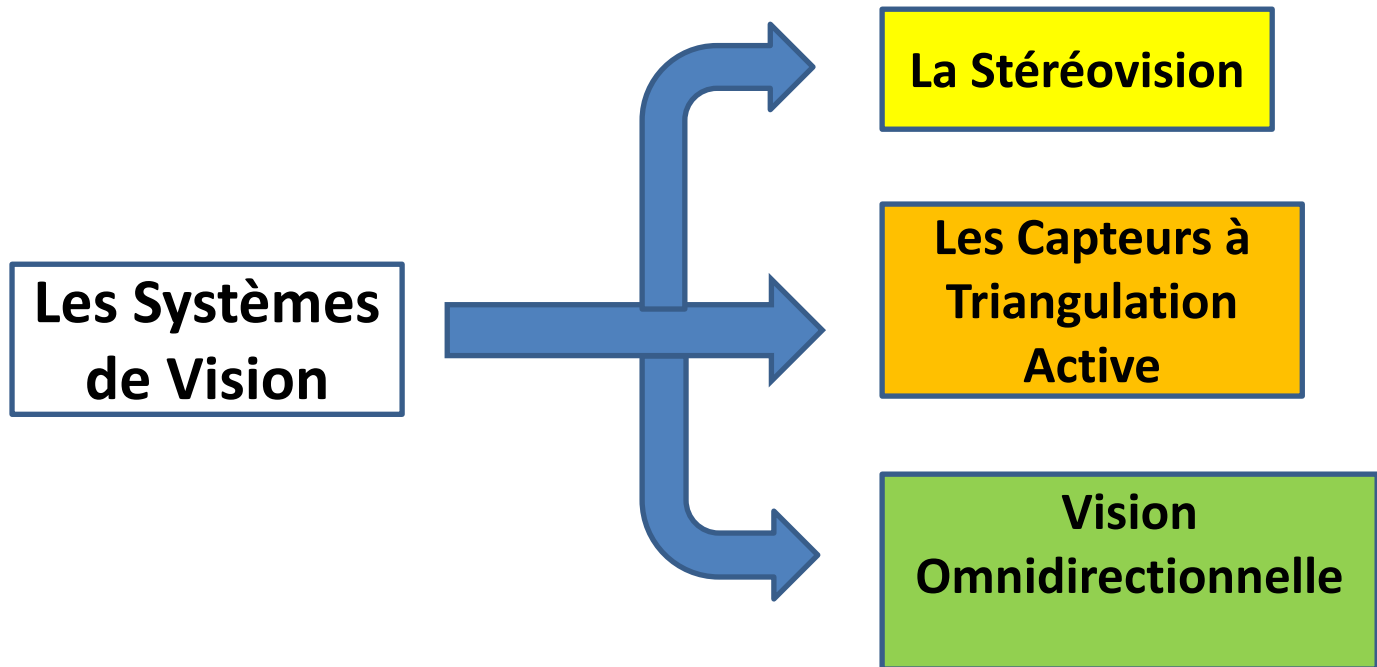
- Les systèmes de vision en robotique sont basés sur l'utilisation d'une caméra CCD. L'arrivée des capteurs CCD (Charge Coupled Device), en 1975, a été déterminante dans l'évolution de la vision : la rapidité d'acquisition, la robustesse et la miniaturisation sont autant d'avantages qui ont facilité leur intégration.
- Les systèmes de vision sont très performants en termes de portée, précision et quantité d'informations exploitables. Ils sont de plus les seuls capables de restituer une image sensorielle de l'environnement la plus proche de celle perçue par l'être humain.

# Les **S**ystèmes de **V**ision

- On peut localiser le robot avec une ou plusieurs caméras en repérant des balises ou des amers. Les problèmes d'appariement d'un objet vu par une caméra avec une connaissance à priori de l'environnement ou d'un objet vu par deux caméras sont répandus avec ce type de capteurs.
- Les techniques qui permettent d'obtenir des informations 3D à partir d'un tel capteur sont généralement liées à l'adjonction d'un autre capteur. Dans ce cadre nous pouvons identifier les techniques suivantes :

# Les **S**ystèmes de **V**ision

## Techniques Utilisées



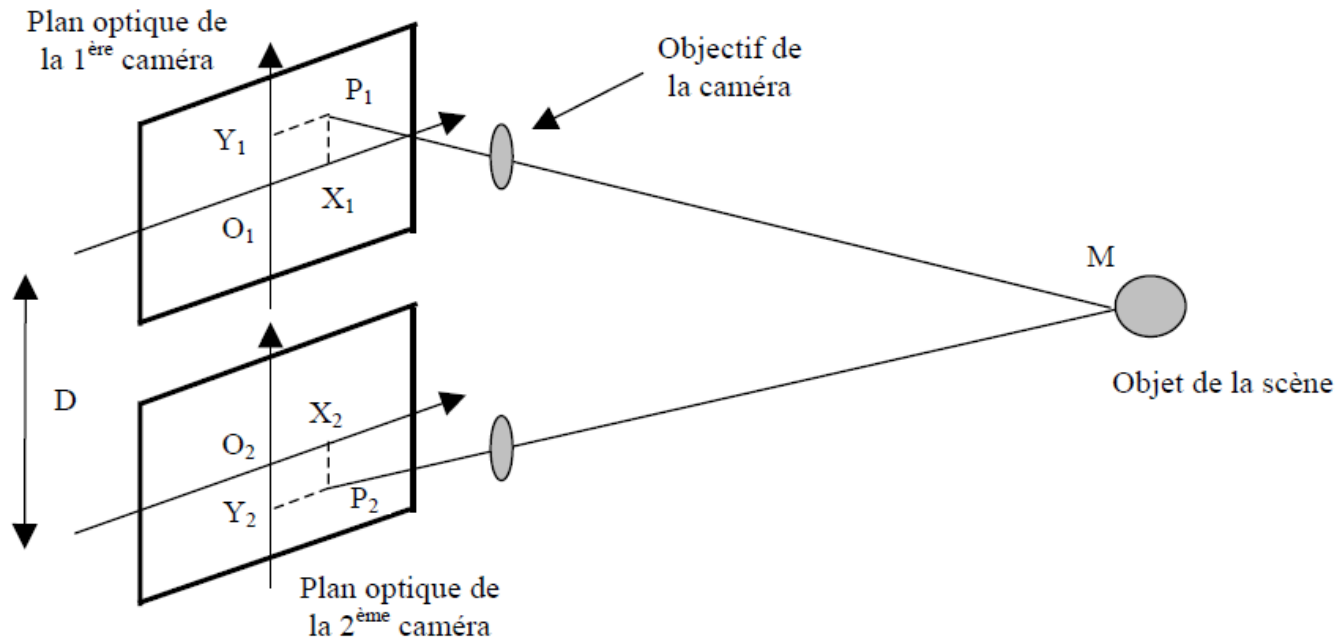
# La Stéréovision

- La stéréovision consiste à observer une même scène avec deux caméras qui sont éloignées l'une de l'autre et dont on connaît la distance qui les séparent.
- Connaissant la géométrie exacte du système stéréoscopique, la première étape de reconstruction 3D consiste à mettre en correspondance les deux images.
- Cette phase réside dans la détermination de couples de points observés dans les deux images, ou dans l'appariement de points d'intérêt. L'information 3D pourra alors être fournie par triangulation.



# La Stéréovision

## Principe



# La Stéréovision

- La stéréovision est basée sur le même principe de reconstitution de la profondeur que la vision chez l'être humain.
- La stéréovision est utilisée dans de nombreuses autres applications robotiques telles que la modélisation 3D de scènes d'intérieur, la détection d'amers et la cartographie d'environnement.

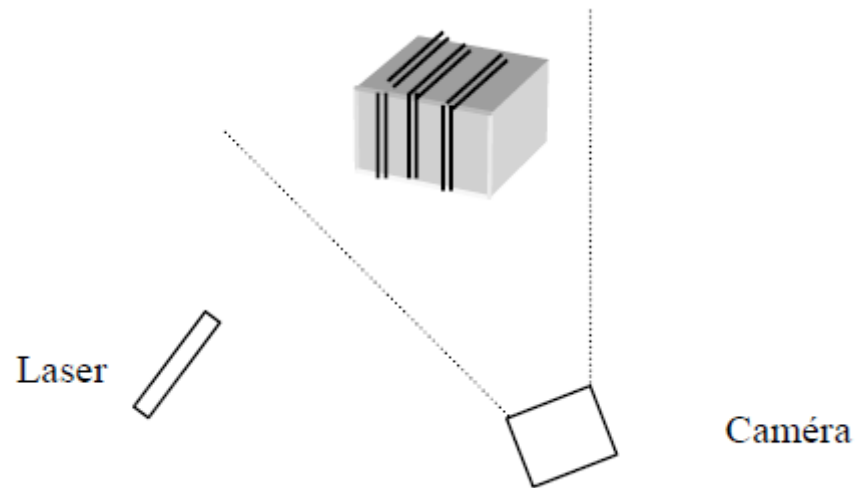
# Les **S**ystèmes de **V**ision

## Les Capteurs à Triangulation Active

- L'obtention de la 3D est gérée comme pour la stéréovision, mais on remplace une caméra par un laser qui sera chargé de projeter un motif de lumière structurée.
- Le principe est d'éclairer l'environnement avec une lumière cohérente et de l'observer avec une caméra sous un certain parallaxe. Connaissant la position de la source lumineuse et celle de la caméra, l'information peut être obtenue par triangulation.

# Les Capteurs à Triangulation Active

## Principe



Triangulation par plusieurs plans laser

# Les Capteurs à Triangulation Active

- Ces capteurs sont utilisés pour obtenir des images de profondeur, mais également pour l'évitement d'obstacles et pour la numérisation d'objet 3D.
- La technique de triangulation active est plus robuste que la stéréovision car elle permet de faire l'économie de l'étape de mise en correspondance. En revanche la précision n'est pas uniforme sur l'ensemble de l'image : plus un objet est éloigné, plus l'erreur de mesure est importante.

# Les **S**ystèmes de **V**ision

## Vision Omnidirectionnelle

- Ces systèmes de perception associent une caméra CCD et un élément permettant d'obtenir une vue sur 360 degrés de l'environnement.
- Ils sont de plus en plus utilisés en robotique mobile au détriment de la vision monoculaire.
- Suivant l'élément ou les éléments ajoutés à une caméra CCD, on pourra distinguer quatre techniques pour obtenir une image omnidirectionnelle.

# Vision Omnidirectionnelle

## ➤ Génération d'images par utilisation de plusieurs caméras .

Cette première technique consiste à utiliser plusieurs caméras couvrant un champ de vision égal à 360 degrés : par exemple quatre caméras séparées par des angles de 90 degrés.

## ➤ Génération d'images multiples par rotation d'une caméra.

Cette deuxième technique consiste à faire pivoter une caméra autour d'un axe. Cette méthode permet d'avoir une prise de l'environnement avec une seule caméra, mais il faut effectuer une rotation complète avant d'obtenir une vue de 360 degrés.

## ➤ Utilisation de lentille spéciale.

Cette troisième méthode consiste à ajouter un ensemble optique sur la caméra CCD afin de dévier les rayons lumineux, comme par exemple l'oeil de poisson.

## ➤ Utilisation de miroirs convexes.