

# LES ROBOTS MOBILES

**AU 2022-2023**

# LES Robots Mobiles

- Petit historique

**Partie 1**

- Applications, locomotion , systèmes

**Partie 2**

- Effecteurs et actionneurs

**Partie 3**

- Robots mobiles à roues WMR

**Partie 4**

- **Classification des roues**
  - Roue fixe , Centrée , décentrée, suédoise
- **Centre instantané de rotation (ICR)**
- **Degré de Manœuvrabilité**
  - Degrés de mobilité + Degré d'orientation (steer)
- **Cinq types de méthodes de conduite (direction, orientation, steering)**
  - Entraînement différentiel
  - Roues directrices (tricycle, vélos, wagon)
  - Entraînement Synchrone
  - Omnidirectionnel
  - Car Drive (Ackerman Steering)

- Classification des roues
  - Roue fixe , Centrée , décentrée, suédoise

### **Paramètres de la roue d'un robot mobile**

Pour les faibles vitesses, le roulement est un modèle de roue raisonnable. C'est le modèle qui sera considéré dans les modèles cinématiques de WMR (Wheel Mobile Robot).

Les Paramètres de la roue sont:

***$R$  = rayon de roue***

***$V$  = vitesse linéaire de la roue***

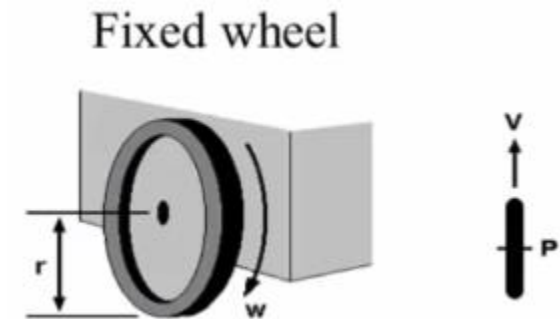
***$\omega$  = vitesse angulaire de la roue***

***$t$  = vitesse de direction***

- Classification des roues
  - Roue fixe , Centrée , décentrée, suédoise

### 1. Roue fixe: 1 DDL

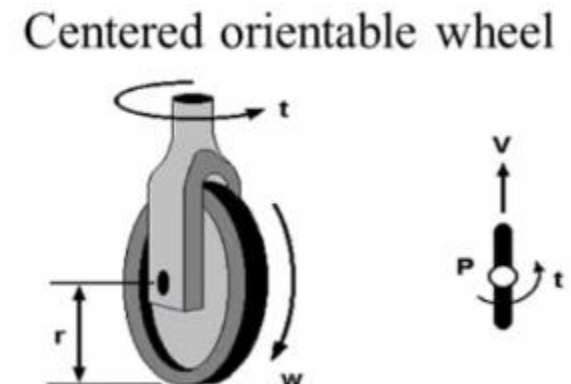
Rotation autour de l'axe de la roue



### 2. Roue centrée orientable: 2 DDL

Rotation autour de l'axe de la roue

Rotation autour du point de contact

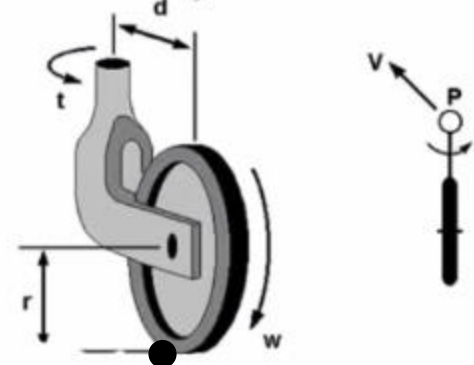


- Classification des roues
  - Roue fixe , Centrée , décentrée, suédoise

### 3. Roue décentrée orientable: 3 DDL (ou pivot ou jockey)

Rotation autour de l'axe de la roue  
Rotation autour du point de contact  
Rotation autour du pivot

Off-centered orientable wheel  
(Castor wheel)



- Classification des roues

- Roue fixe , Centrée , décentrée, suédoise

#### 4. Roues omnidirectionnelles (motorisées ou passives)

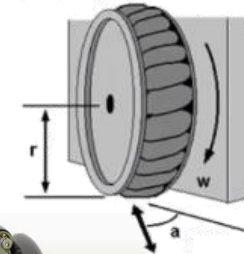
##### a. Roue suédoise (ou mecanum): 3 DDL

Rotation autour de l'axe motorisé de la roue

Rotation autour des roulettes transverses passives

Rotation autour du point de contact

Swedish wheel: omnidirectional property

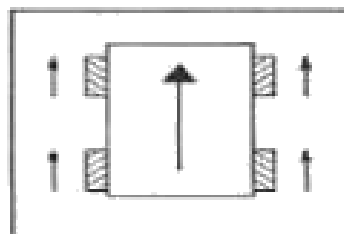
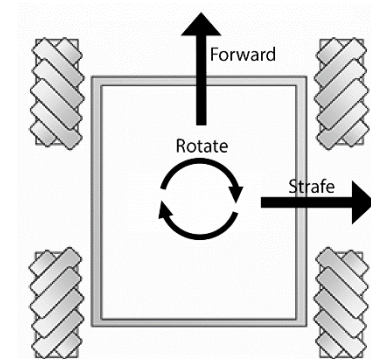


3D Animation by  
Purusharth Arora &  
Pratik Dumbre

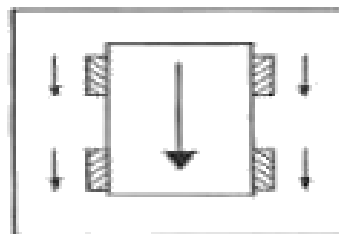
- Classification des roues
  - Roue fixe , Centrée , décentrée, suédoise

#### 4. Roues omnidirectionnelles (motorisées ou passives)

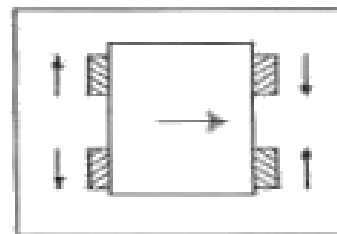
##### a. Roue suédoise (ou mecanum): 3 DDL



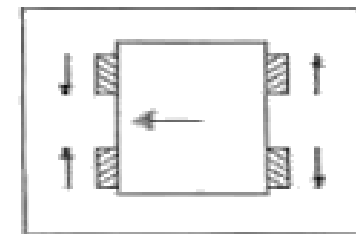
Forward



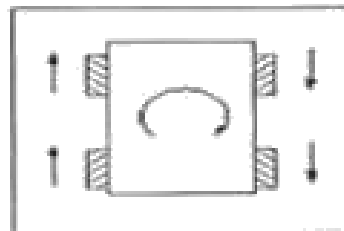
Reverse



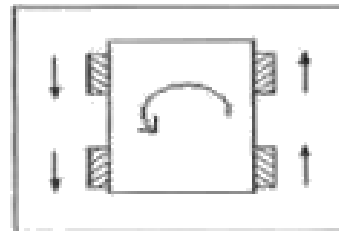
Right slide



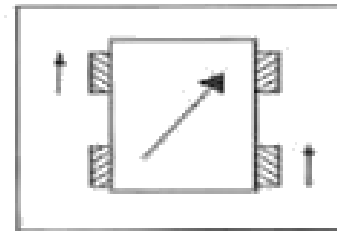
Left slide



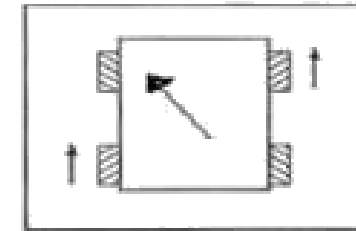
Rotate clockwise



Rotate counter clockwise



Turn Right



Turn Left

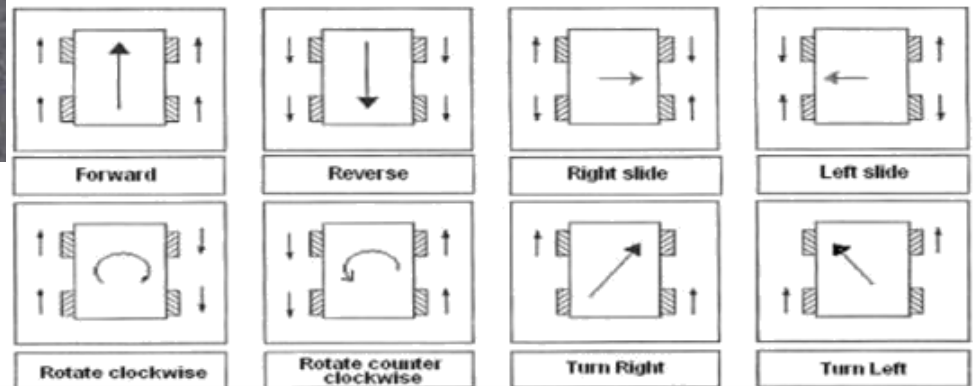
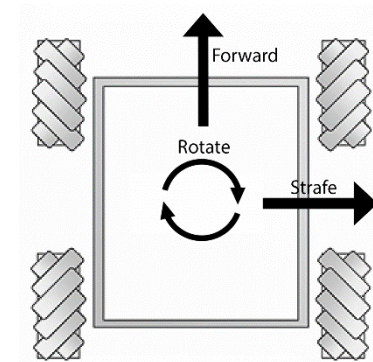
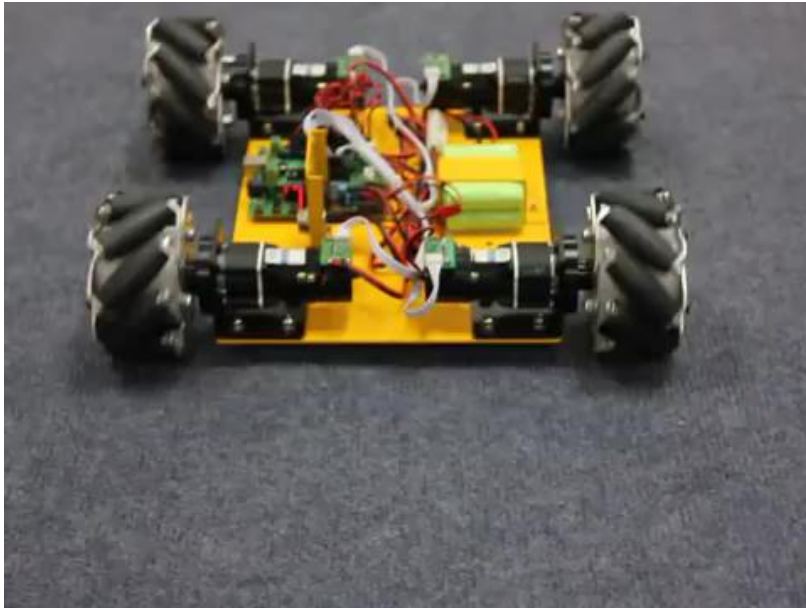
<https://www.robot-maker.com/forum/topic/12236-roues-mecanum/>



- Classification des roues
  - Roue fixe , Centrée , décentrée, suédoise

#### 4. Roues omnidirectionnelles (motorisées ou passives)

##### a. Roue suédoise (ou mecanum): 3 DDL



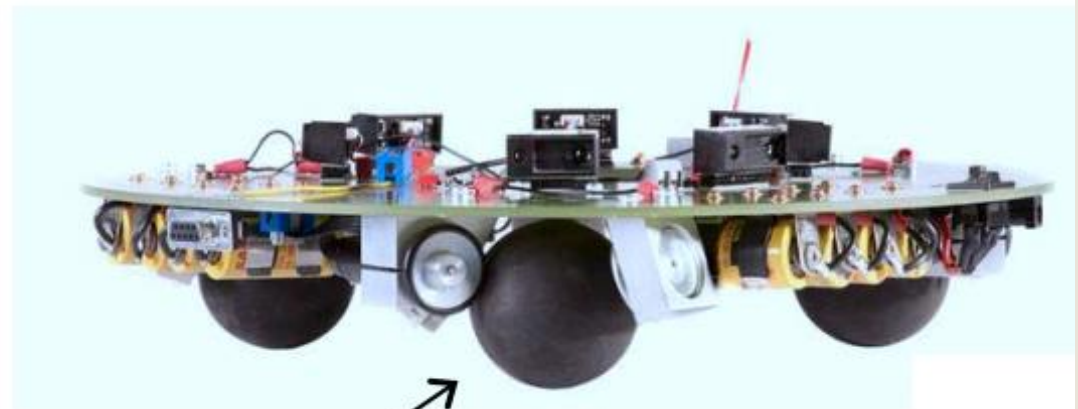
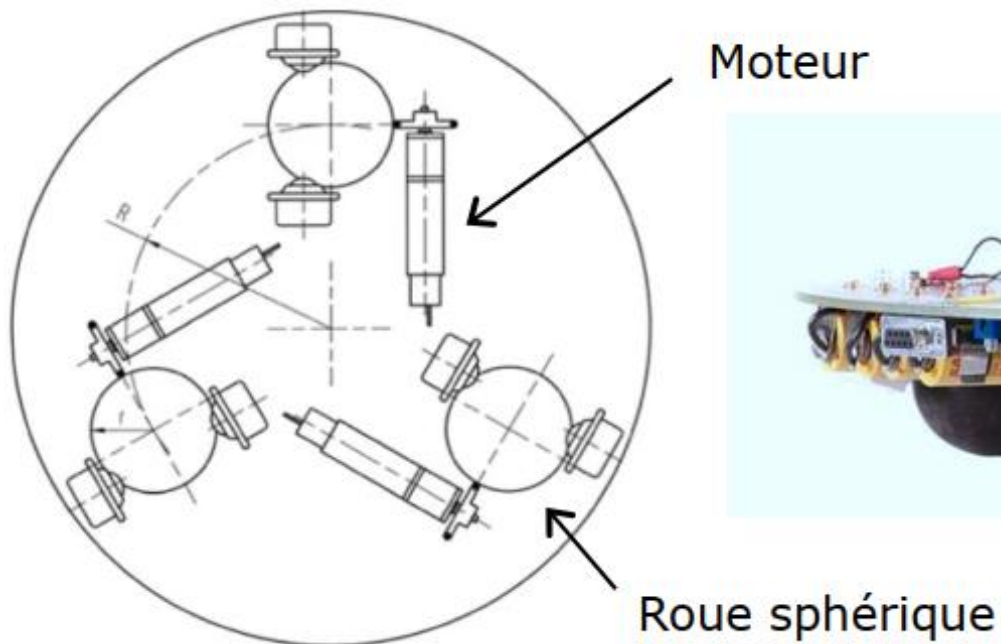
- Classification des roues

- Roue fixe , Centrée , décentrée, suédoise



- b. Roue sphérique*

- ❑ Principe inverse de la souris du PC
- ❑ Réalisation ardue



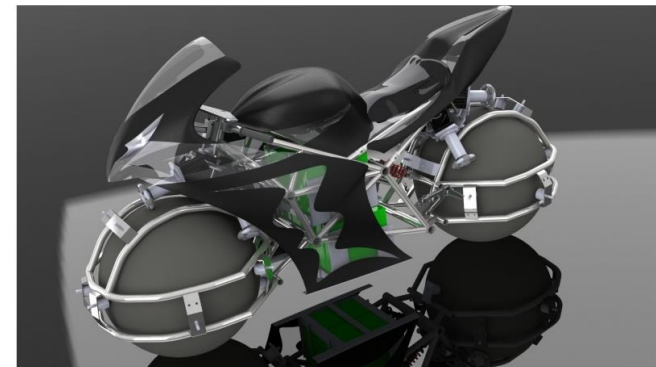
- Classification des roues
  - Roue fixe , Centrée , décentrée, suédoise

***b. Roue sphérique***

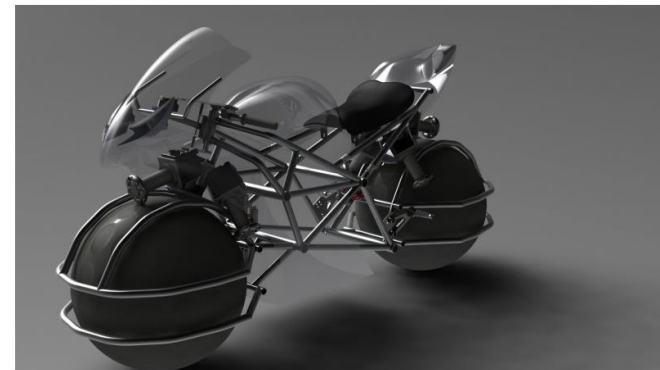
- ☐ Principe inverse de la souris du PC
- ☐ Réalisation ardue



<https://fr.motor1.com/news/537372/pneu-roue-sphere-goodyear-citroen/>










Concept de moto à roues sphériques



Les sphères sont entraînées par trois points de frottement


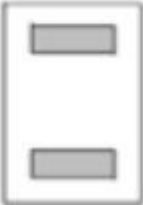
## La locomotion à roue: conception

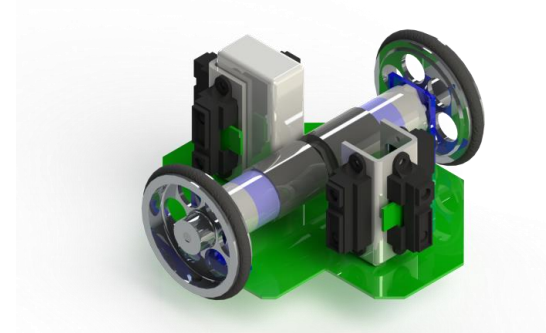
Configurations de roues pour véhicules roulants

Icône de chaque type de roues	
	roue omnidirectionnelle passive (sphérique, suédoise) ou roue pivot passive
	roue suédoise motorisée
	roue standard passive
	roue standard motorisée
	roue pivot motorisée et orientable
	roue standard orientable
	roues connectées

## La locomotion à roue: conception

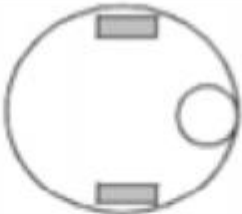


Configurations de roues pour véhicules roulants

nombre de roues	arrangement	description	exemples typiques
2		une roue directionnelle devant, une roue motorisée à l'arrière	vélo, moto
		système à deux roues à conduite différentielle dont le centre de gravité est sous l'axe	robot personnel Cye, PT (Segway)



## La locomotion à roue: conception



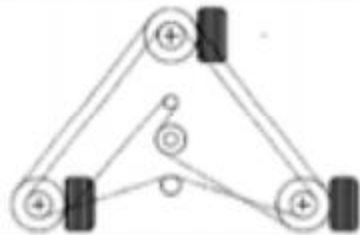
Configurations de roues pour véhicules roulants

3		conduite différentielle à deux roues et un troisième point de contact	Nomad Scout, smartRob (EPFL), e-Puck (EPFL), AmigoBot (Adept)
		deux roues motorisées indépendamment à l'arrière/avant, une roue omnidirectionnelle passive à l'avant/arrière	Beaucoup de robots d'intérieur comme Pygmalion et Alice (EPFL)
		deux roues connectées de traction (différentielle) à l'arrière, une roue libre orientable à l'avant	Piaggio minitruck



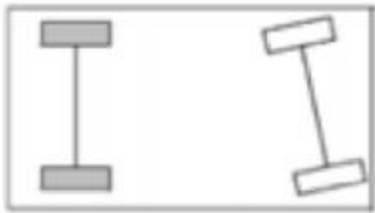
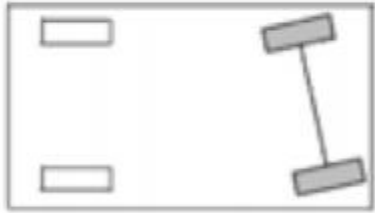

## La locomotion à roue: conception

Configurations de roues pour véhicules roulants

3		deux roues libres à l'arrière, une roue orientable de traction à l'avant	Neptune (Univ Carnegie Mellon, CMU), Hero-1
		Trois roues, suédoises ou sphériques, motorisées arrangées en triangle ; mouvement omnidirectionnel possible	Palm Pilot Robot Kit (CMU), Tribolo (EPFL)
		Trois roues motorisées orientables synchronisées ; orientation du châssis non contrôlable	DenningMRV-2, I-Robot B24, Nomad 200

## La locomotion à roue: conception

Configurations de roues pour véhicules roulants

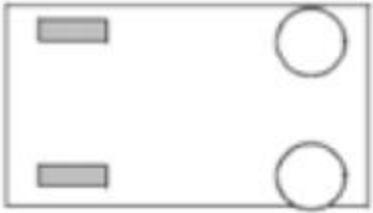


4		deux roues motorisées à l'arrière, deux roues orientables à l'avant ; l'orientation des deux roues doit être différente pour éviter les frottements	voiture à direction arrière
		deux roues motorisées et orientables à l'avant, deux roues libres à l'arrière ; l'orientation des deux roues doit être différente pour éviter les frottements	voiture à direction avant
		quatre roues orientables ou fixes (cond. différ.) motorisées	Hyperion (CMU) Pioneer 3-AT et Seekur Jr (Adept)



## La locomotion à roue: conception

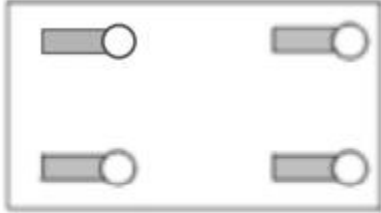


Configurations de roues pour véhicules roulants

4

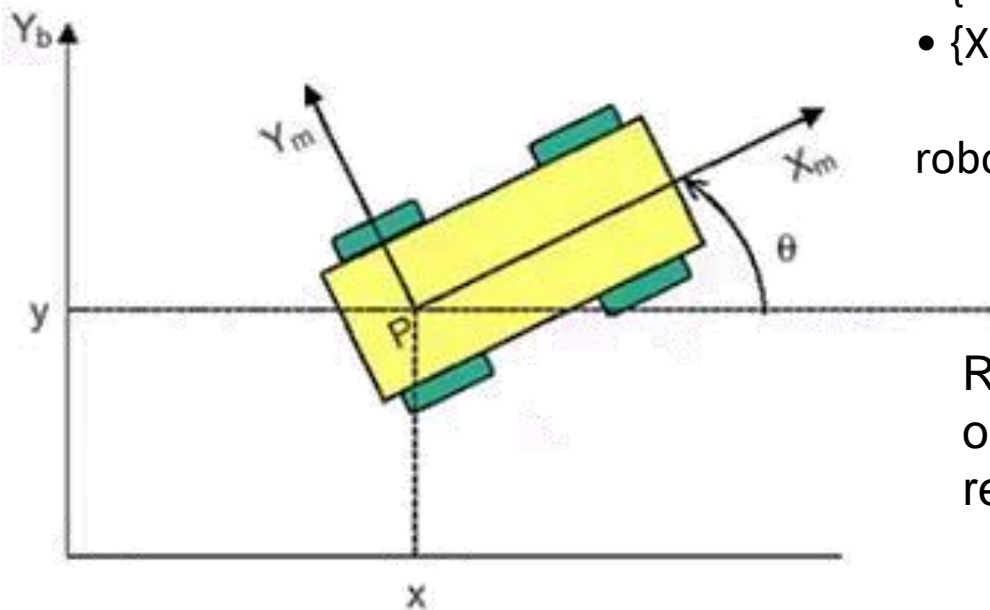
	Traction (différentielle) à deux roues à l'arrière/avant, deux roues omnidirectionnelles à l'avant/arrière	Charlie (DMT-EPFL)
	Quatre roues omnidirectionnelles (suédoises)	Uranus (CMU), youBot (Kuka)
	conduite différentielle à deux roues avec deux points de contact supplémentaires	Khepera II (K-Team) Hyperbot Chip (EPFL)

## La locomotion à roue: conception

Configurations de roues pour véhicules roulants

4		Quatre roues pivot motorisées et orientables	Nomad XR4000
6		Deux roues motorisées et orientables, alignées au centre, une roue omnidirectionnelle à chaque coin	
		Traction (différentielle) à deux roues au centre, une omnidirectionnelle (ou pivot) à chaque coin	Terregator (CMU) Pioneer LX (Adept)

# Notation



Posture: position( $x, y$ ) and orientation  $\theta$

- $\{X_m, Y_m\}$  - moving frame
- $\{X_b, Y_b\}$  - base frame

robot posture in base frame  $\mathbf{q} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix}$

Rotation matrix expressing the orientation of the base frame with respect to the moving frame

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

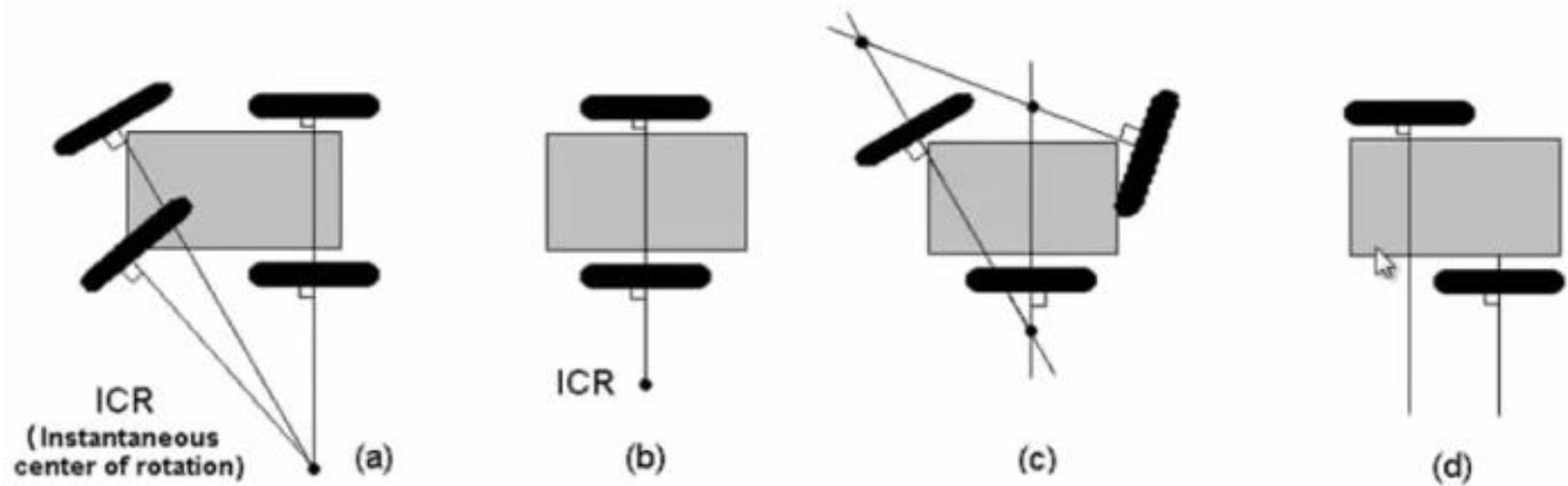
- **Centre instantané de rotation (ICR)**

Le *Centre Instantané de Rotation* (ICR) d'un robot mobile est le point où les prolongements des axes de rotation des roues se coupent,

Le ICR est un point de *vitesse nulle* autour duquel tourne le robot de façon instantanée appelé aussi (ICC) centre de curvative instantané

Instantaneous center of rotation (ICR) or  
Instantaneous center of curvature (ICC)

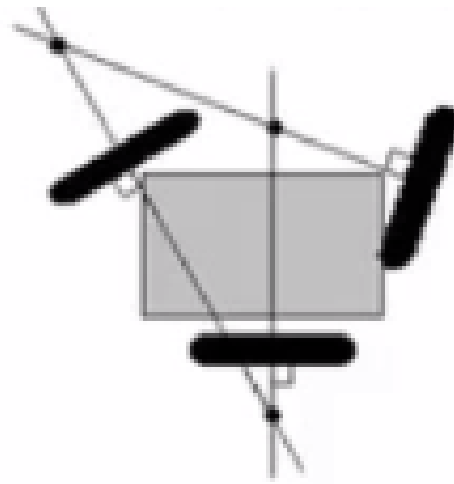
- **Centre instantané de rotation (ICR)**



- **Degré de Manœuvrabilité**

- Degrés de mobilité + Degré d'orientation (steer)

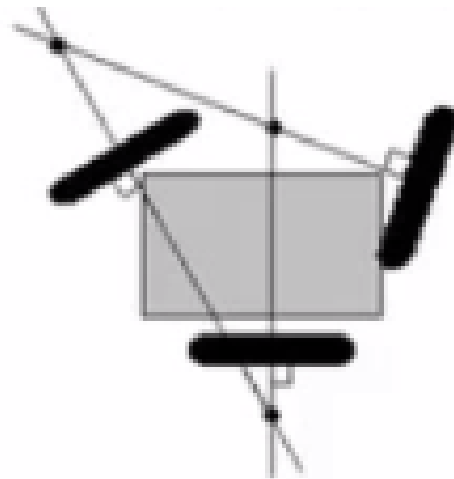
- **Degrés de mobilité: DoF (DDL) du robot en mouvement**



- **Degré de Manœuvrabilité**

- Degrés de mobilité + Degré d'orientation (steer)

- **Degrés de mobilité: DoF (DDL) du robot en mouvement**

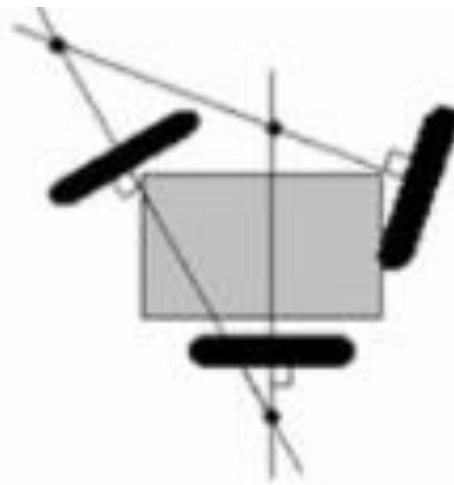


Cannot move  
anywhere (No ICR)

- **Degré de Manœuvrabilité**

- Degrés de mobilité + Degré d'orientation (steer)

- **Degrés de mobilité: DoF (DDL) du robot en mouvement**



Cannot move  
anywhere (No ICR)

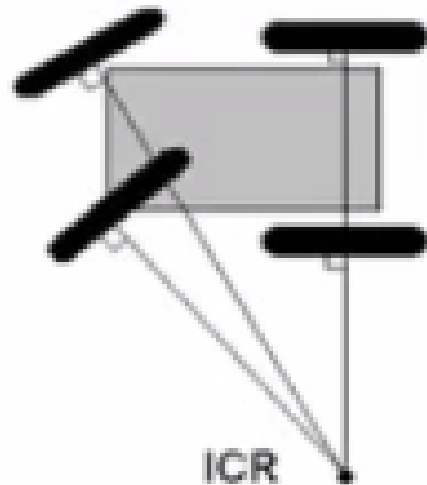
- Degree of mobility : 0



- **Degré de Manœuvrabilité**

- Degrés de mobilité + Degré d'orientation (steer)

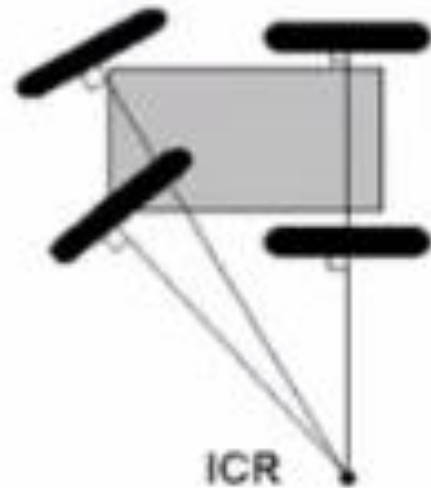
- **Degrés de mobilité: DoF (DDL) du robot en mouvement**



- **Degré de Manœuvrabilité**

- Degrés de mobilité + Degré d'orientation (steer)

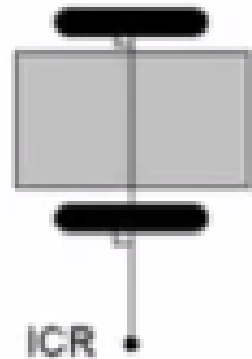
- **Degrés de mobilité: DoF (DDL) du robot en mouvement**



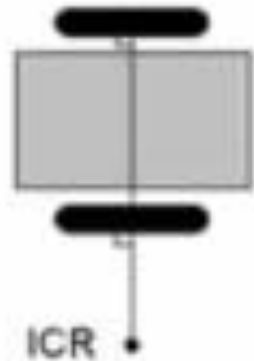
Fixed arc motion  
(Only one ICR)

- Degree of mobility : 1

- **Degré de Manœuvrabilité**
  - Degrés de mobilité + Degré d'orientation (steer)
  - **Degrés de mobilité: DoF (DDL) du robot en mouvement**



- **Degré de Manœuvrabilité**
  - Degrés de mobilité + Degré d'orientation (steer)
  - **Degrés de mobilité: DoF (DDL) du robot en mouvement**



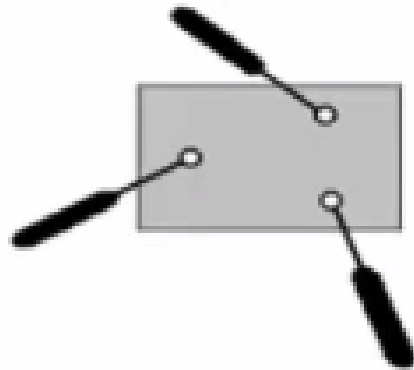
Variable arc motion  
(line of ICRs)

- Degree of mobility : 2

- **Degré de Manœuvrabilité**

- Degrés de mobilité + Degré d'orientation (steer)

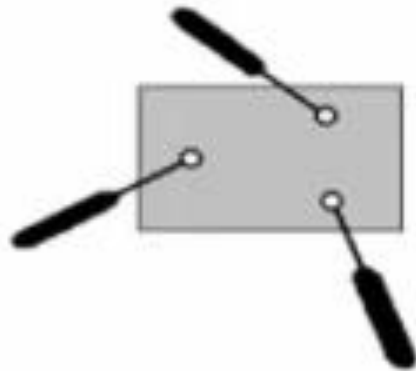
- **Degrés de mobilité: DoF (DDL) du robot en mouvement**



- **Degré de Manœuvrabilité**

- Degrés de mobilité + Degré d'orientation (steer)

- **Degrés de mobilité: DoF (DDL) du robot en mouvement**



Fully free motion

(ICR can be located at any position)

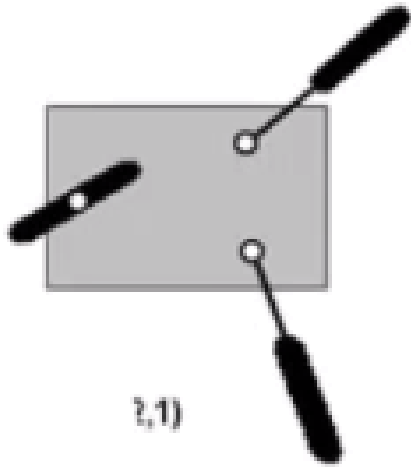
- Degree of mobility : 3

- **Degré de Manœuvrabilité**

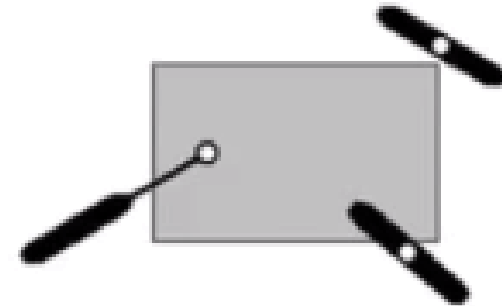
- Degrés de mobilité + Degré d'orientation (steer)

- **Degrés d'orientation :**

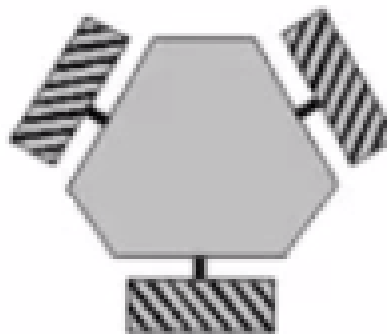
Examples of robot types (degree of mobility, degree of steerability)



(b,1)



(e) type (1,2)

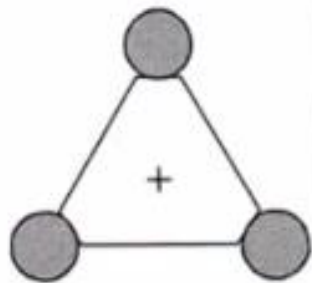


(f) type (3,0)

- **Degré de Manœuvrabilité**

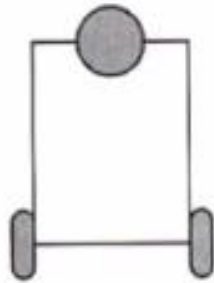
- Degrés de mobilité + Degré d'orientation (steer)

$$\delta_M = \delta_m + \delta_s$$



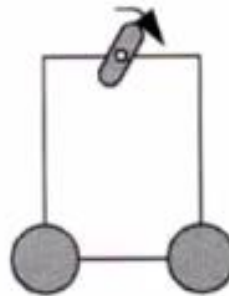
Omnidirectional

$\delta_M = 3$   
 $\delta_m = 3$   
 $\delta_s = 0$



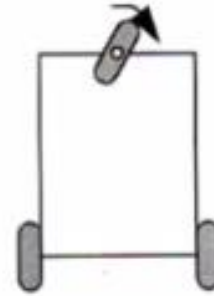
Differential

$\delta_M = 2$   
 $\delta_m = 2$   
 $\delta_s = 0$



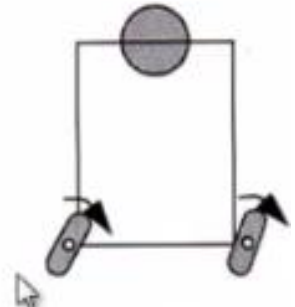
Omni-Steer

$\delta_M = 3$   
 $\delta_m = 2$   
 $\delta_s = 1$



Tricycle

$\delta_M = 2$   
 $\delta_m = 1$   
 $\delta_s = 1$



Two-Steer

$\delta_M = 3$   
 $\delta_m = 1$   
 $\delta_s = 2$



- **Contrainte non holonome:**

The robot can instantly move forward and backward, but can not move sideward



Parallel parking,  
Series of maneuvers

