

# Perception Avancée et Robotique Mobile

UPJV, Département EEA

Master 2 3EA, EC31

Parcours RoVA

**Fabio MORBIDI**

Laboratoire MIS

Équipe Perception Robotique

E-mail: [fabio.morbidi@u-picardie.fr](mailto:fabio.morbidi@u-picardie.fr)



Electronique

Energie Electrique

Automatique

CM, TD: Mardi et Mercredi 13h30-16h00, salle CURI 305

TP: Jeudi 9h00-12h00, salle TP204

AU 2024-2025



# Ch. 2: Robotique Mobile

- Petit historique

**Partie 1**

- Systèmes, locomotions, applications

**Partie 2**

- Marché mondial et besoins technologiques

**Partie 3**

- Effecteurs et actionneurs

**Partie 4**

- Robots mobiles à jambes, à **roues** et aériens **Partie 5**

# Locomotion à roue



- La plus répandue en robotique mobile
- La plus efficace dans les environnements faits par l'homme
- Simplicité mécanique, construction facile
- Pas de problème d'équilibre (contact permanent des roues)
  - 3 roues garantissent la *stabilité statique*
- Suspension nécessaire à partir de 4 roues pour maintenir le contact permanent dans les terrains irréguliers
  - Comme dans une voiture, la suspension peut être réalisée à l'aide d'*amortisseurs*
  - Pour les robots mobiles à 4 roues évoluant à l'intérieur, la pression limitée des pneus est généralement la suspension basique utilisée



# Locomotion à roue



- **Problèmes**

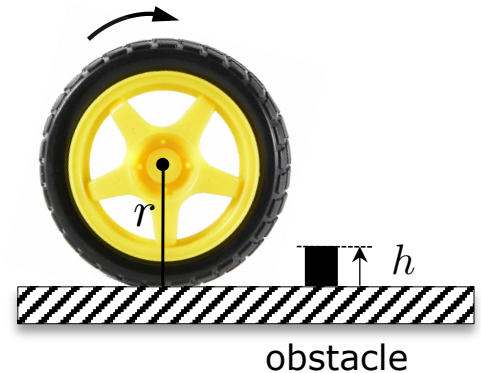
- Traction
- Stabilité
- Manœuvrabilité
- Contrôle
- Contrainte sur milieu de déplacement (terrain plat, peu accidenté)

- Il faut avoir

$$h \ll r$$

où  $h$  est l'hauteur de l'obstacle et  $r$  est le rayon de la roue

- *Solution* : roues larges, locomotion type char



# Locomotion à roue : conception

## Roues standards

### 1. Roue fixe: 1 DDL

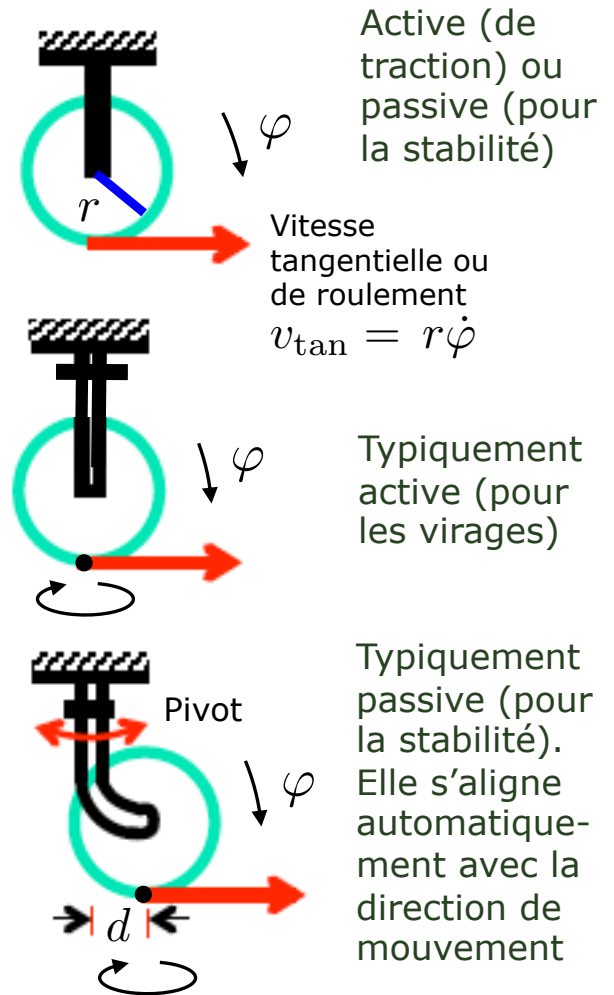
- Rotation autour de l'axe de la roue

### 2. Roue centrée orientable: 2 DDL

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

### 3. Roue décentrée orientable: 3 DDL (ou *pivot*, *jockey*, *caster*, *castor*, *folle*)

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



## 5 classes cinématiques (robots à châssis unique)

Étant donné un robot mobile, soient :

$N_f$  = nombre de *roues fixes*

$N_s$  = nombre de *roues centrées orientables* (« steerable »)

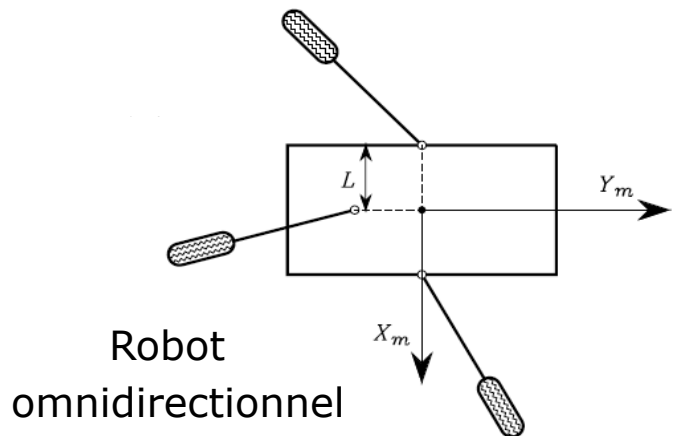
$N_o$  = nombre de *roues décentrées orientables*

Par conséquent :

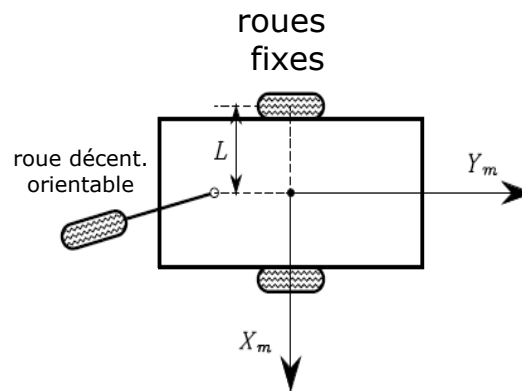
$N$  = nombre total de roues du robot =  $N_f + N_s + N_o$

<b>Classe</b>	<b>Description</b>
I	$N_f = N_s = 0$
II	$N_s = 0, N_f \geq 1$ sur le même axe
III	$N_f = 0, N_s \geq 1$ (synchronisées si $N_s > 1$ )
IV	$N_f \geq 1$ sur le même axe, $N_s \geq 1$ au moins une pas sur l'axe commun des deux roues fixes
V	$N_f = 0, N_s \geq 2$ (synchronisées si $N_s > 2$ )

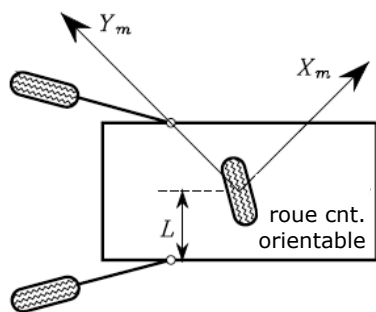
# 5 classes cinématiques : exemples à 3 roues



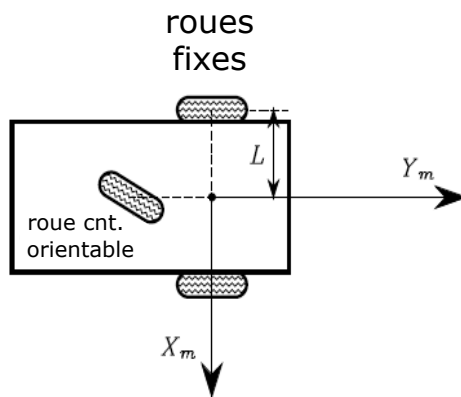
Cl. I:  $N_o = 3$



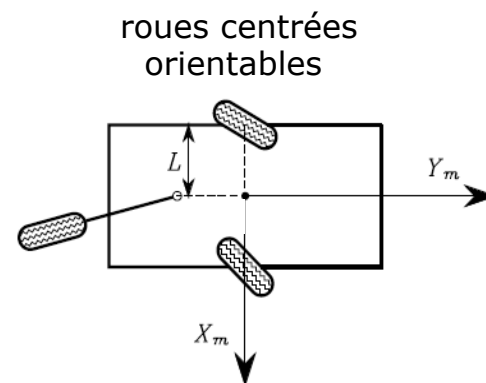
Cl. II:  $N_f = 2, N_o = 1$



Cl. III:  $N_s = 1, N_o = 2$



Cl. IV:  $N_f = 2, N_s = 1$



Cl. V:  $N_s = 2, N_o = 1$

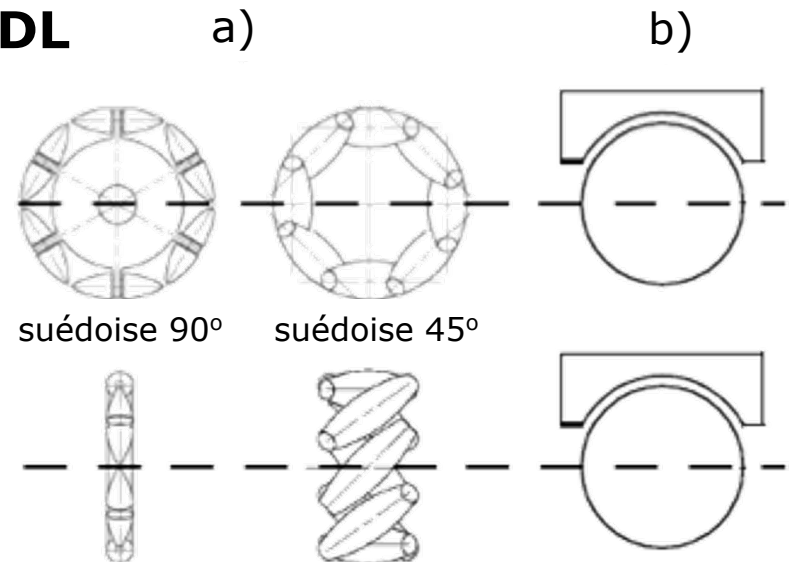
# Locomotion à roue : conception

## Roues omnidirectionnelles (actives ou passives)

### a) Roue suédoise

(ou Mecanum ou Ilon): 3 DDL

- Rotation autour de l'axe (motorisé) de la roue
- Rotation autour des roulettes transverses passives
- Rotation autour du point de contact



### b) Roue sphérique

- Principe inverse de la souris du PC
- Réalisation ardue





# Locomotion à roue : conception

- Inconvénients de la *roue suédoise*:
  - Vibration verticale à cause des contacts discontinus de la roue avec le sol, pendant le mouvement
  - Durée de vie plus courte par rapport à une roue standard (usure/dégradation plus rapide)

suédoise 90°



Double Rotacaster  
(2 rangées  
de roulettes)



Triple Rotacaster  
(3 rangées  
de roulettes)

suédoise 45°



# Locomotion à roue : conception

## Remarques :

- Les types de roues précédents ont des *cinématiques différentes* : par conséquent, le choix d'un type de roue a un *impact* important sur la *cinématique globale* du robot
- Les *roues standards* sont *directionnelles*
  - Pour changer de direction, la roue doit d'abord tourner autour de l'axe vertical de rotation
- La *roue suédoise* et la *roue sphérique* sont moins contraintes :
  - Seul l'axe principal de la roue suédoise est actionné
  - Les roulettes de la roue suédoise sont *passives* mais sont peu résistantes à un mouvement dans une autre direction, perpendiculaire pour la *roue suédoise*  $90^\circ$  et intermédiaire pour la *roue suédoise*  $45^\circ$

# Locomotion à roue : conception

## Remarques :

- Type et arrangement de roues sont fortement corrélés
  - À considérer *simultanément* lors de la conception d'un robot mobile
- Problèmes importants pour les robots à roues :
  - *Stabilité*
  - *Manœuvrabilité*
  - *Commandabilité*



# Stabilité

## ■ *Stabilité statique*

### **Deux roues**

- Minimum théorique !
- Centre de gravité (CG) *sous* l'axe des deux roues
- Les roues doivent être de grand diamètre
- Percussion du sol à un 3<sup>e</sup> point possible  
(le robot peut basculer en raison de sa dynamique)

### Exemples:

#### 1) Cye de *Robotics*

- Robot domestique porte aspirateur



# Stabilité

## 2) Gyropode électrique

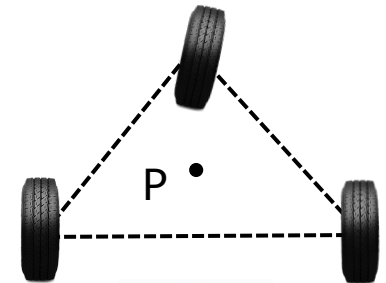
- Transport urbain
- Contrôle actif nécessaire



### ■ *Stabilité statique*

#### Trois roues

- Minimum pour stabilité statique *assurée*
- La projection du centre de gravité, P, incluse dans le triangle formé par les roues (à savoir, le *polygone de sustentation*)










### ■ *Stabilité dynamique*

- Mêmes problématiques que avec les robots à jambes
- Stabilité dynamique possible avec *une seule roue* (cf. robot Mirokaï et Exercice III du TD3)



Mirokaï

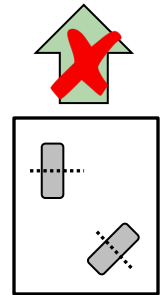
# Locomotion à roue : conception

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

# Locomotion à roue : conception

## Remarque :

- Pour un ensemble de roues donné, toute disposition ne conduit pas à une **solution viable**
- Un mauvais choix peut limiter la mobilité du robot ou occasionner d'éventuels **blocages** (par ex. deux roues fixes non parallèles : le robot ne peut pas se déplacer en ligne droite !)



- Configurations de roues pour *véhicules roulants*

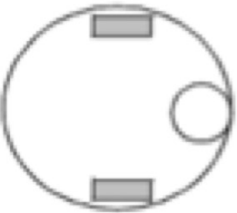
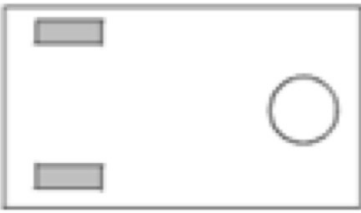

nombre de roues	arrangement	description	exemples typiques
2		une roue directionnelle devant, une roue motorisée à l'arrière	vélo, moto, trottinette électrique
		système à deux roues à conduite différentielle dont le centre de gravité est sous l'axe	robot personnel Cye, gyropode

(\*)

(\*) Configuration *rarement utilisée*: manœuvrabilité modérée et commandabilité très pauvre

# Locomotion à roue : conception



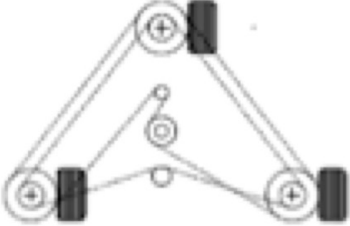
- Configurations de roues pour véhicules roulants

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



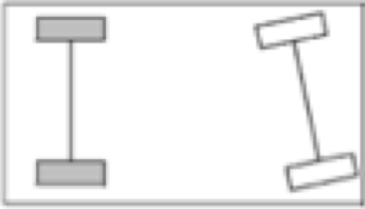
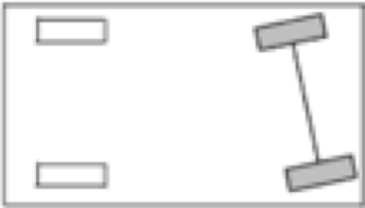
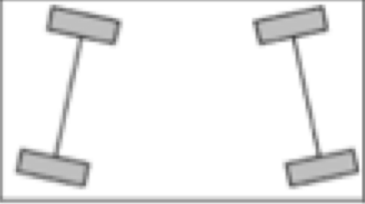
# Locomotion à roue : conception

- Configurations de roues pour véhicules roulants

3		trois 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

# Locomotion à roue : conception

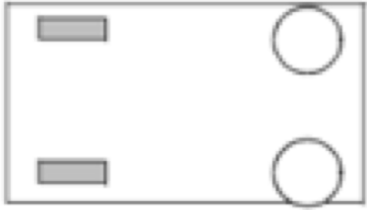


- Configurations de roues pour véhicules roulants

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 (conduite différentielle) motorisées	Hyperion (CMU). Pioneer 3-AT, Seekur Jr (Adept), Husky (Clearpath) [roues fixes]

# Locomotion à roue : conception

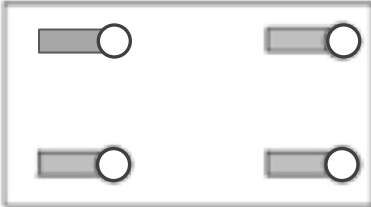
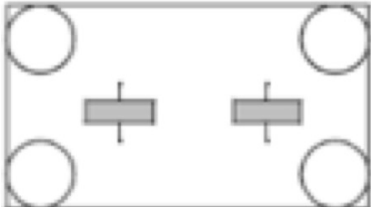

- Configurations de roues pour véhicules roulants

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) , SUMMIT XL Steel (Robotnik)
	Conduite différentielle à deux roues avec deux points de contact supplémentaires	Khepera II (K-Team) Hyperbot Chip (EPFL)

# Locomotion à roue : conception

- Configurations de roues pour véhicules roulants

4		Quatre roues pivot motorisées et orientables	Nomad XR4000 RB Vogui (Robotnik)
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)