



UNIVERSITÉ
LAVAL

GLO-4001/7021

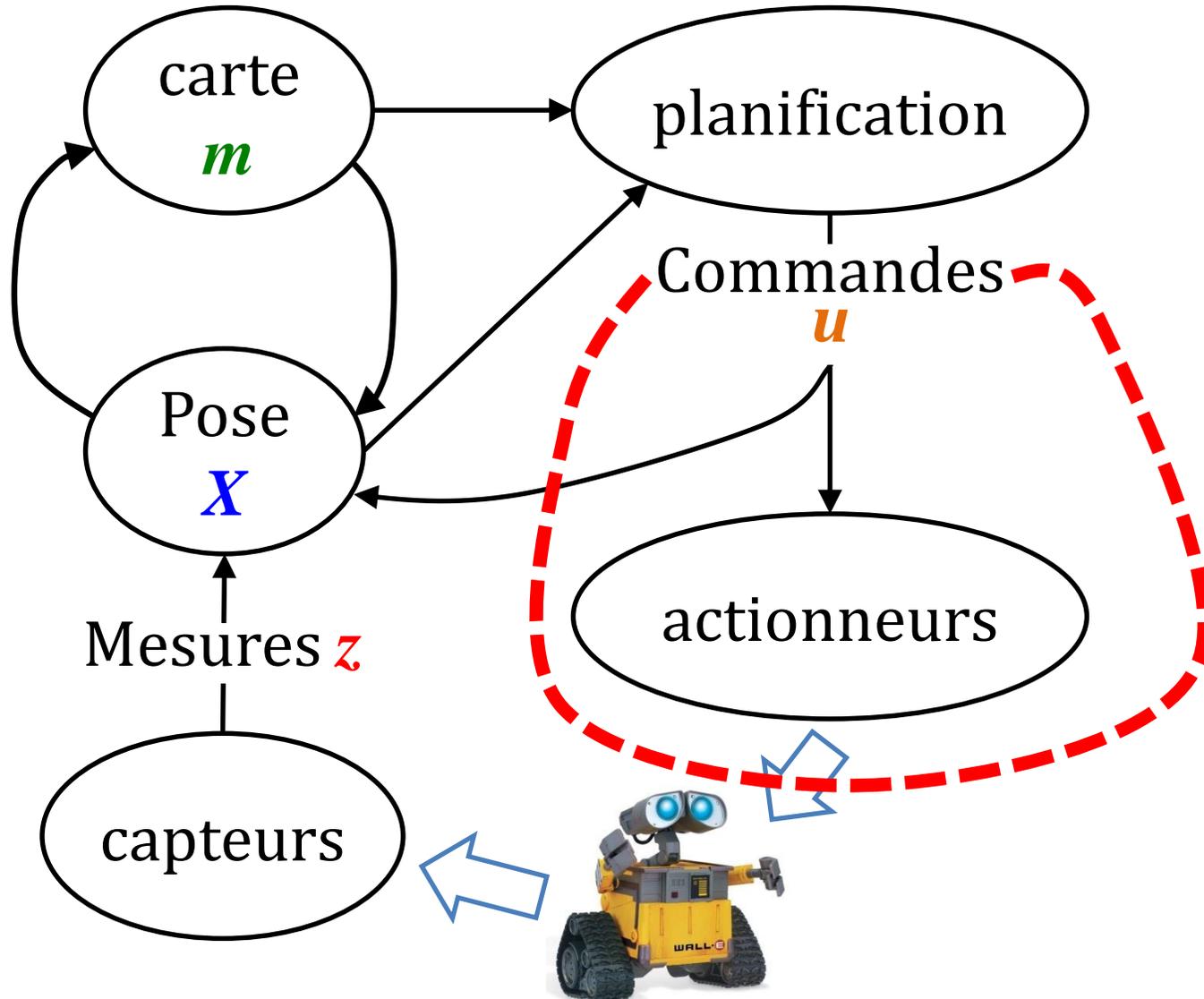
INTRODUCTION À LA ROBOTIQUE

MOBILE

Locomotion à roue

Locomotion

Feuille de route

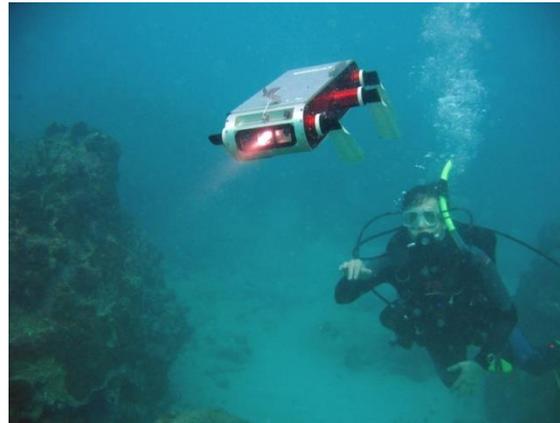


Catégories robots (locomotion)

- Terrestres (3 degrés de liberté)



- Aquatique (6 d.d.l)



- Aérien (6 d.d.l)

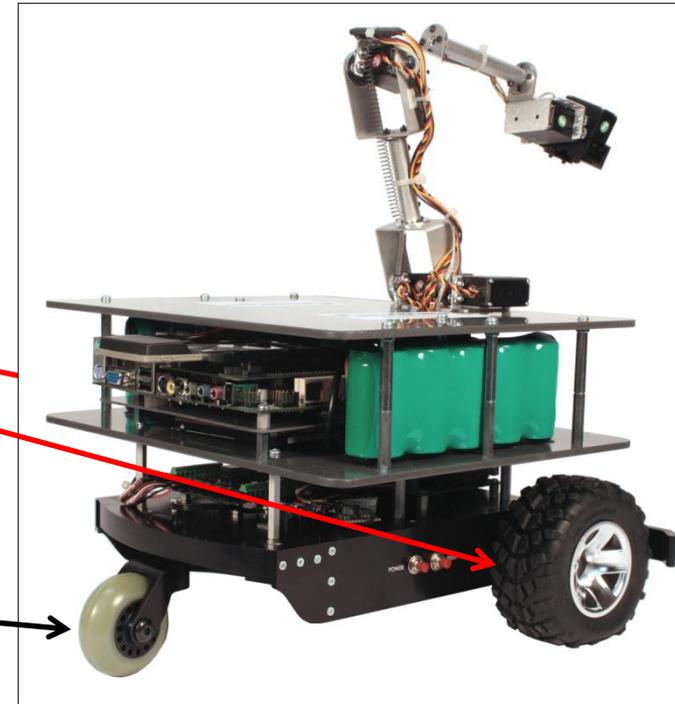


Différents types de conduite à roue

- Nous allons voir
 - conduite différentielle
 - conduite synchrone
 - tricycle
 - épure de Jeantaud

Configurations roues conduite différentielle

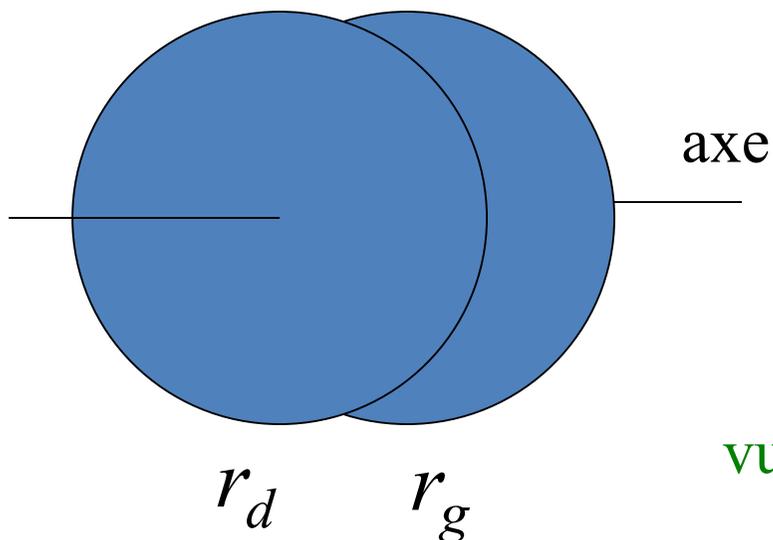
- (rien à voir avec différentiel de voiture)
- 2 roues motorisées indépendamment
- 2 degrés de libertés
- 1 roue libre pour support (*castor*)
- C'est la configuration de vos robots *Kobuki*



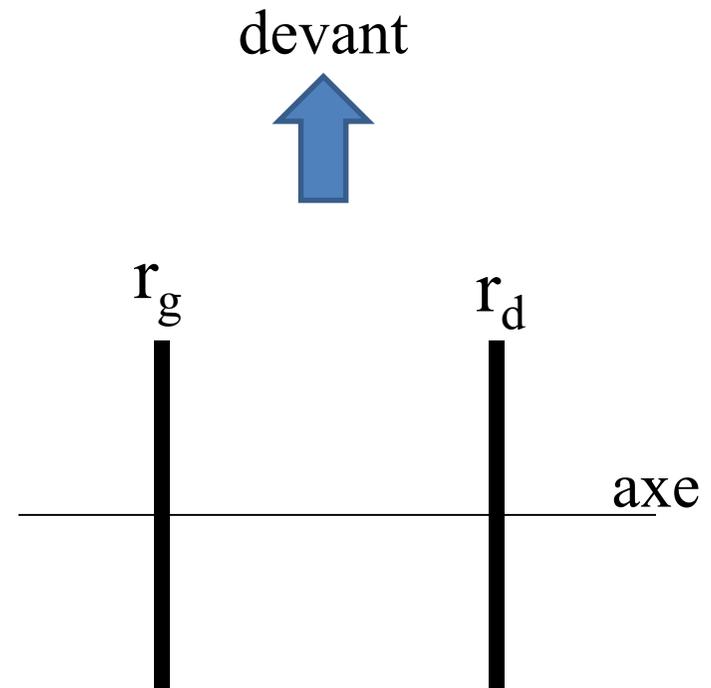
CoroBot de CoroWare

Conduite différentielle (*differential drive*)

- Deux roues parfaitement circulaires
- Infiniment minces
- Mêmes rayons $r_d = r_g$
- Coaxiales
- Adhérence parfaite



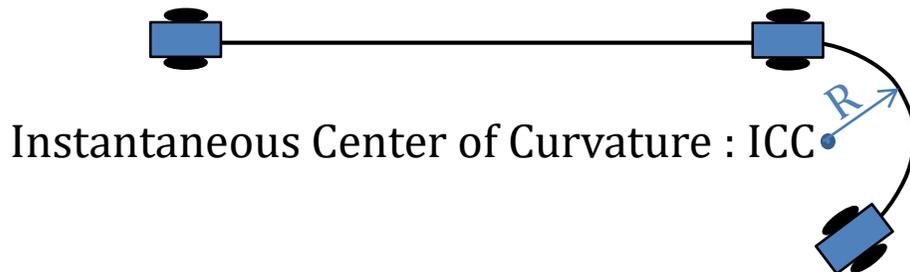
vue côté



vue de haut

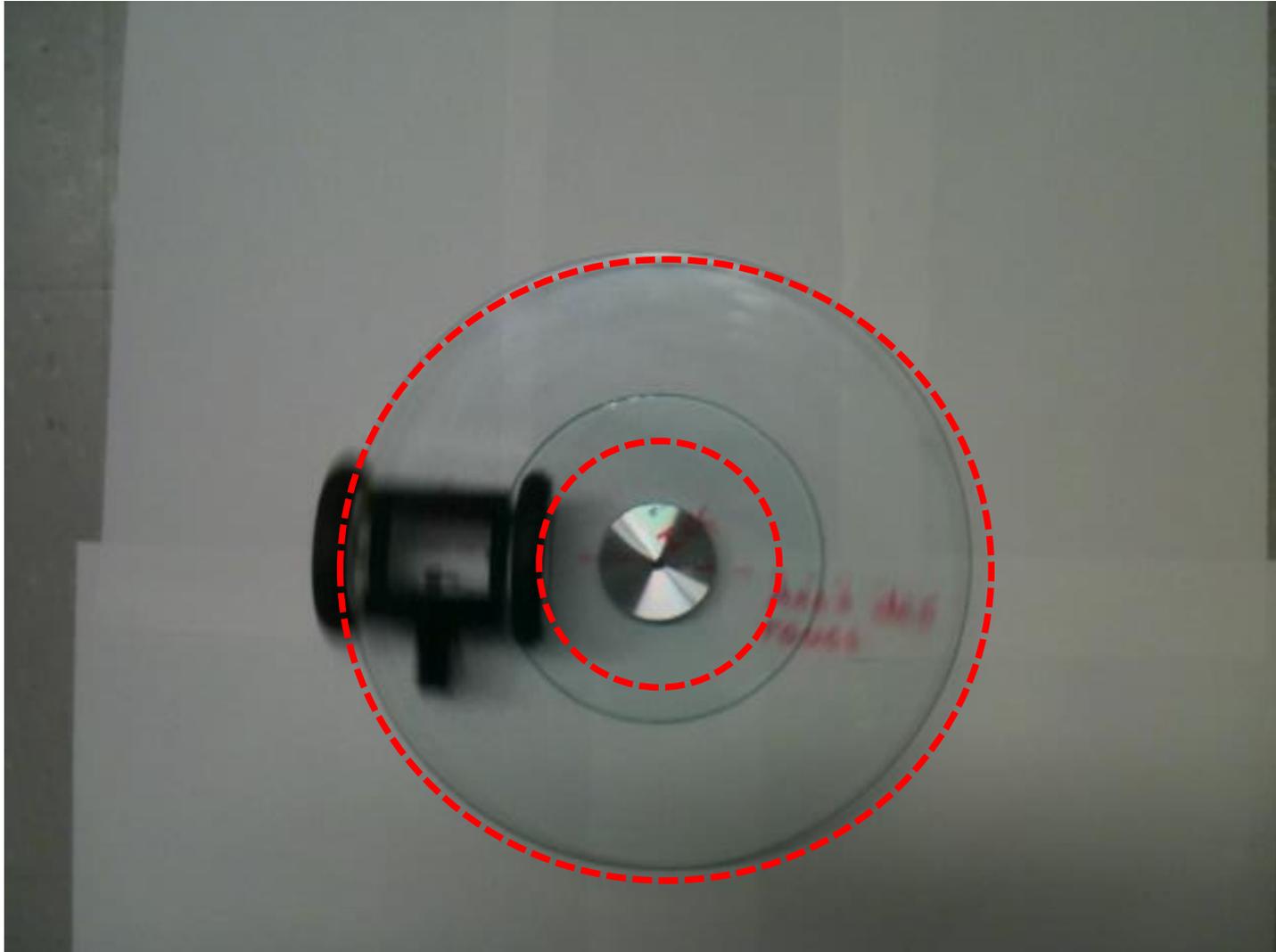
Trajectoire pour véhicule

- Décomposée en :
 - ligne droite $R = \infty$
 - courbe $0 < R < \infty$ Rayon de courbure R
 - rotation sur place $R = 0$



Propriété de l'ICC : situé sur le prolongement de l'axe des roues

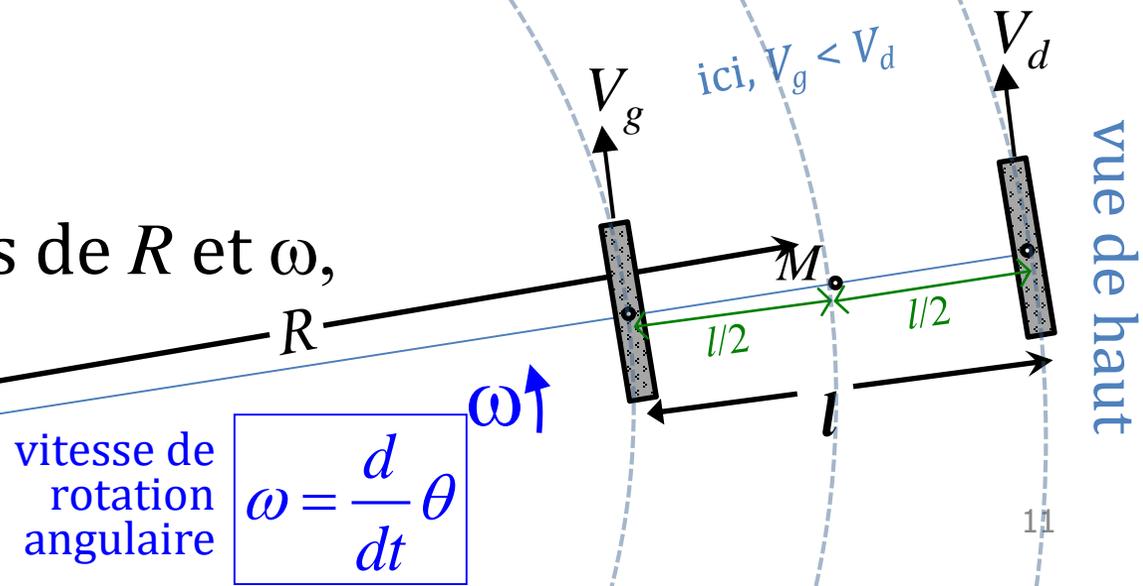
Comme si fixé sur table tournante...



Déplacement conduite différentielle

- Deux roues séparées par l
- Point M situé entre les deux roues
- Vitesses aux roues-moteurs V_g et V_d constantes (sur intervalle de temps) **connues** (commandes u)
- Point M va se déplacer sur une courbe de rayon R , centrée à ICC (qui est sur la ligne des axes des roues)
- $V = r\omega$ (ω en rad/s)
- Quelles sont les valeurs de R et ω , à partir de l , V_g et V_d ?

Important : toutes les pièces du robot se déplacent sur des arcs de cercle



Centre instantané de rotation (ICC)

vitesse de rotation angulaire

$$\omega = \frac{d}{dt} \theta$$

Déplacement conduite différentielle

Pour V_g et V_d constants (commandées) et l , on cherche R :

Relations entre les vitesses linéaires et la vitesse angulaire : $V=r\omega$
important!

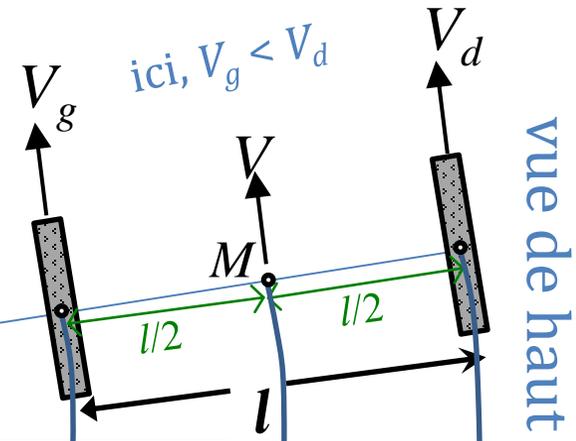
$$\left\{ \begin{array}{l} V_d = (R + \frac{l}{2})\omega \\ V_g = (R - \frac{l}{2})\omega \end{array} \right. \xrightarrow{\text{isole } \omega} \frac{V_d}{(R + \frac{l}{2})} = \omega$$

substitue ω : $V_g = (R - \frac{l}{2}) \frac{V_d}{(R + \frac{l}{2})} \Rightarrow V_g (R + \frac{l}{2}) = (R - \frac{l}{2}) V_d$

$$R(V_g - V_d) = -V_g \frac{l}{2} - V_d \frac{l}{2} \Rightarrow -\frac{l}{2}(V_g + V_d) \Rightarrow R = \frac{l}{2} \frac{V_d + V_g}{V_d - V_g}$$

Aussi :

$$\omega = \frac{V_d - V_g}{l} \quad V = \frac{V_d + V_g}{2}$$



Centre instantané de rotation (ICC)

Sanity check

$$R = \frac{l}{2} \frac{V_d + V_g}{V_d - V_g}$$

- Si $V_g = V_d$, je vais en ligne droite

$$R = \frac{l}{2} \frac{V_g + V_d}{0} = \infty$$

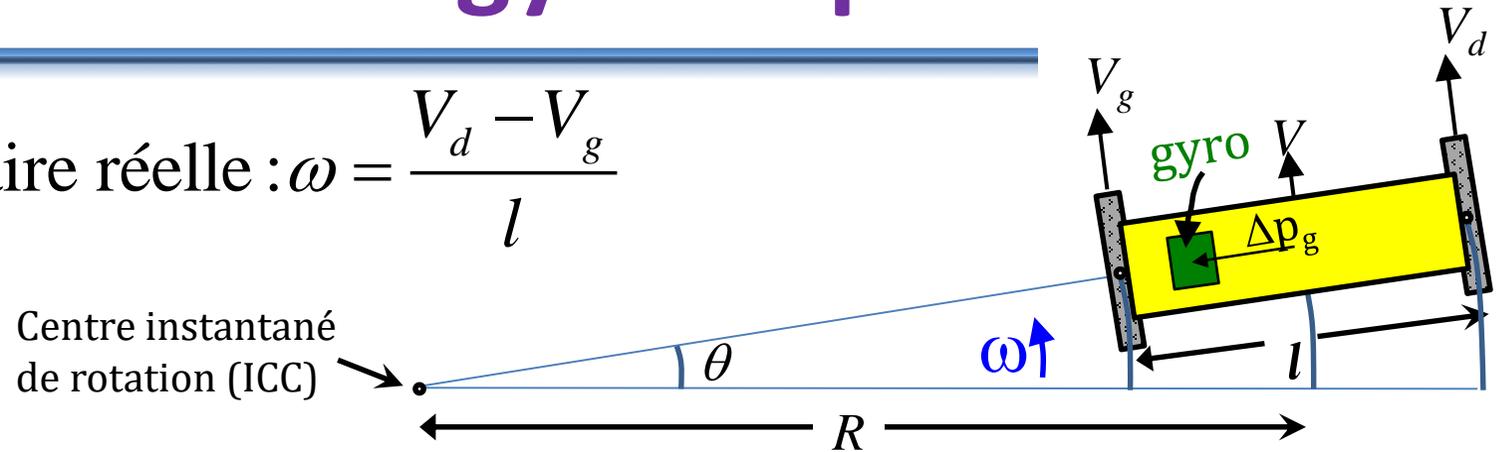
Cercle rayon infini == droite

- Si $V_g = -V_d$, je tourne sur place

$$R = \frac{l}{2} \frac{0}{2V_d} = 0$$

Mesures avec gyroscope à taux

Vitesse angulaire réelle : $\omega = \frac{V_d - V_g}{l}$

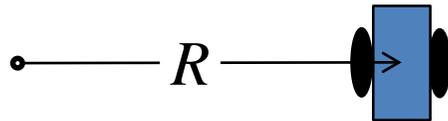
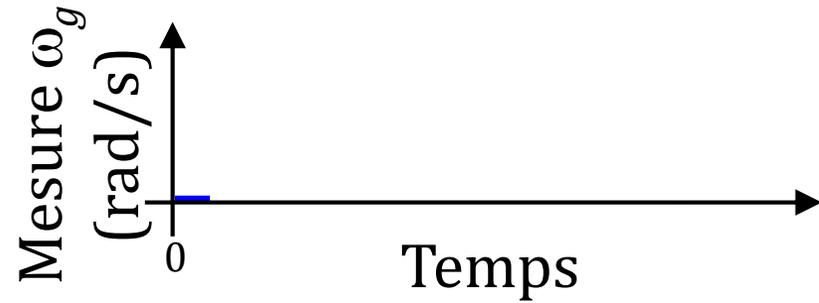


- Si je place un gyroscope sur le robot décentré de Δp_g , quel sera la vitesse angulaire mesurée ω_g ?

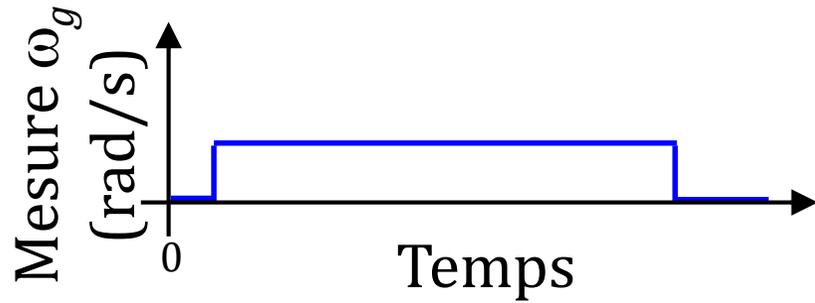
$$\omega_g = \omega + \text{bruit}$$

- La mesure ω_g du gyro ne dépendra pas :
 - du rayon de courbure R
 - de la position Δp_g du gyroscope sur le robot (gyro à plat, bien entendu)

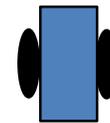
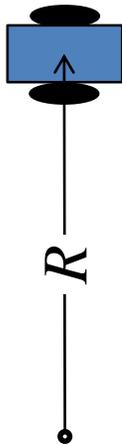
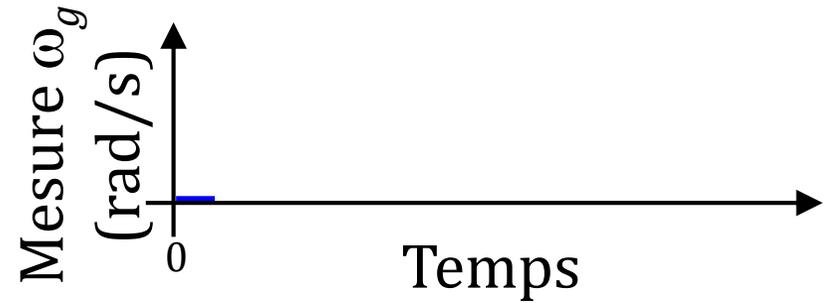
Exemple des signaux du gyroscope



Exemple des signaux du gyroscope



||



Gyroscope mesure la même chose

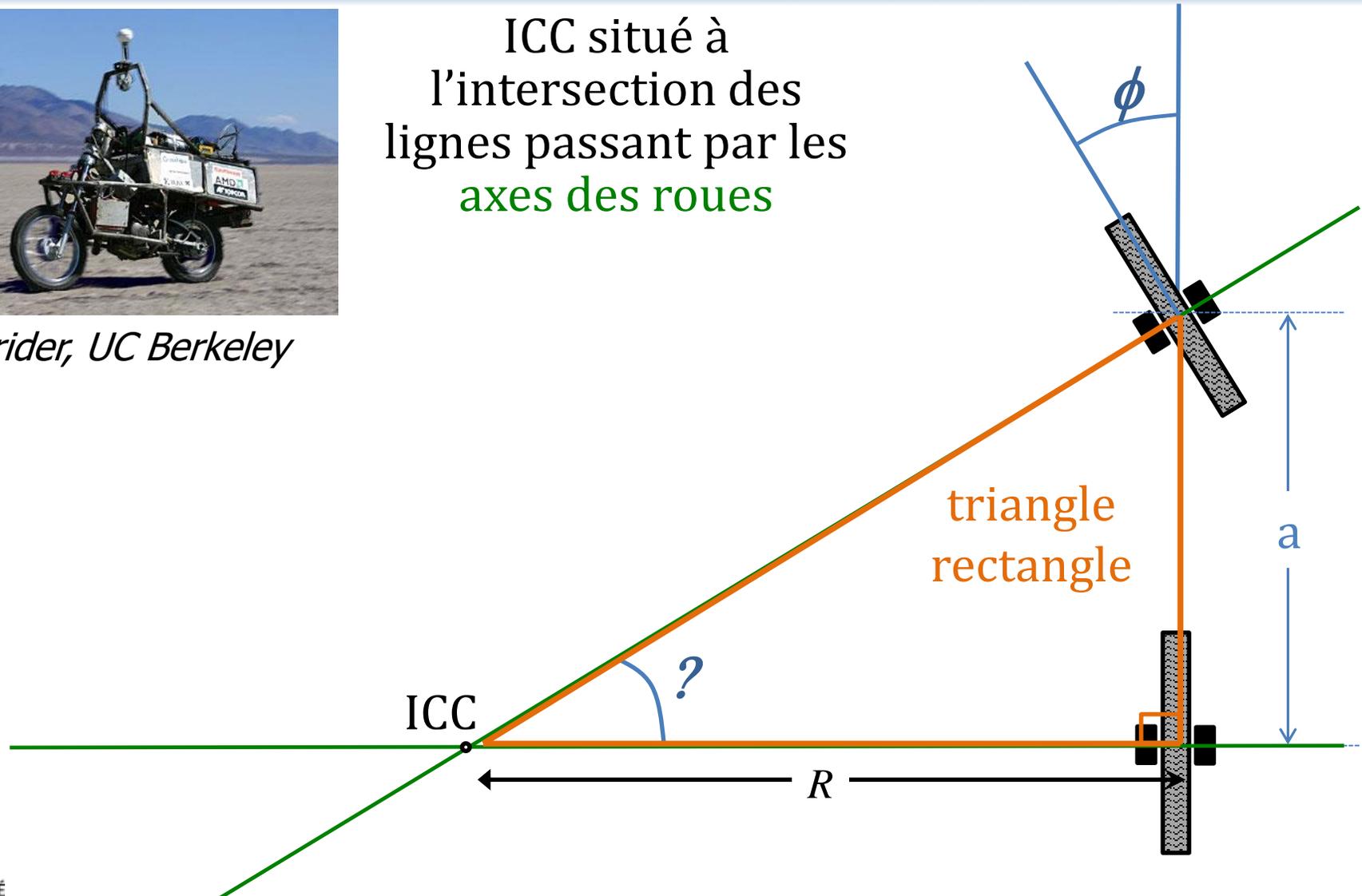
Autres configurations de roues

Conduite bicyclette : trouver R et ICC



ghostrider, UC Berkeley

ICC situé à
l'intersection des
lignes passant par les
axes des roues



Conduite bicyclette : trouver R et ICC



ghost rider, UC Berkeley

Nécessairement $\theta = \phi$

sanity check

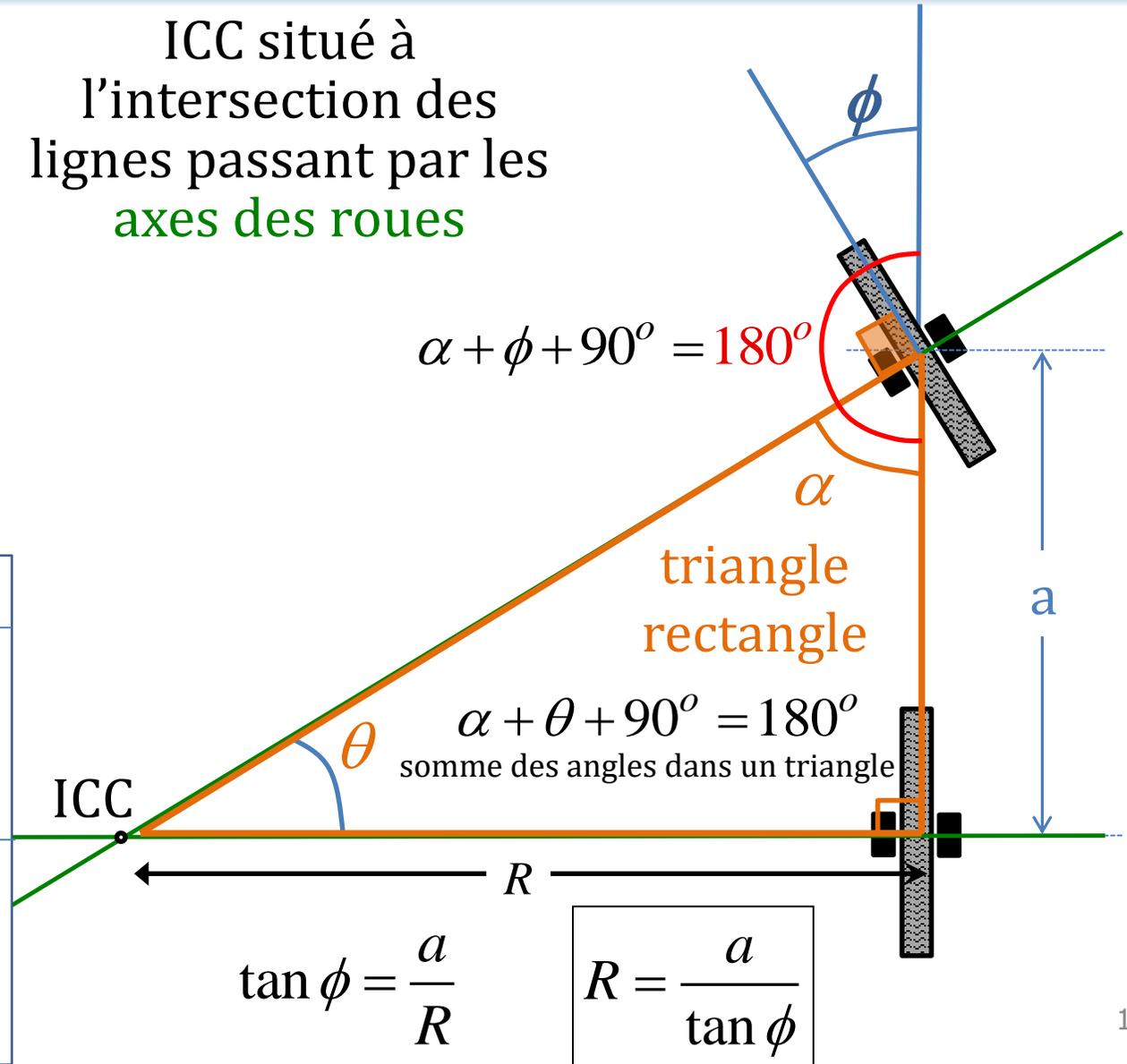
$\phi=0 \rightarrow$ ligne droite

$$R = \frac{a}{\tan(0)} = \frac{a}{0} = \infty$$

$\phi=90^\circ \rightarrow$ pivote sur r. arr.

$$R = \frac{a}{\tan(90^\circ)} = \frac{a}{\infty} = 0$$

ICC situé à
l'intersection des
lignes passant par les
axes des roues



Conduite bicyclette

- Simplification très utilisée pour les voitures autonomes
- Régime conduite standard
 - pas de dérapage (contrôlé ou non)
 - rotation faible du volant (grand rayon de braquage)
- Découplage de la commande :
 - longitudinal (frein, accélérateur)
 - transversal (volant)

Épure de Jeantaud (Ackerman)

- Voitures standards



smartTer, ETH Zurich

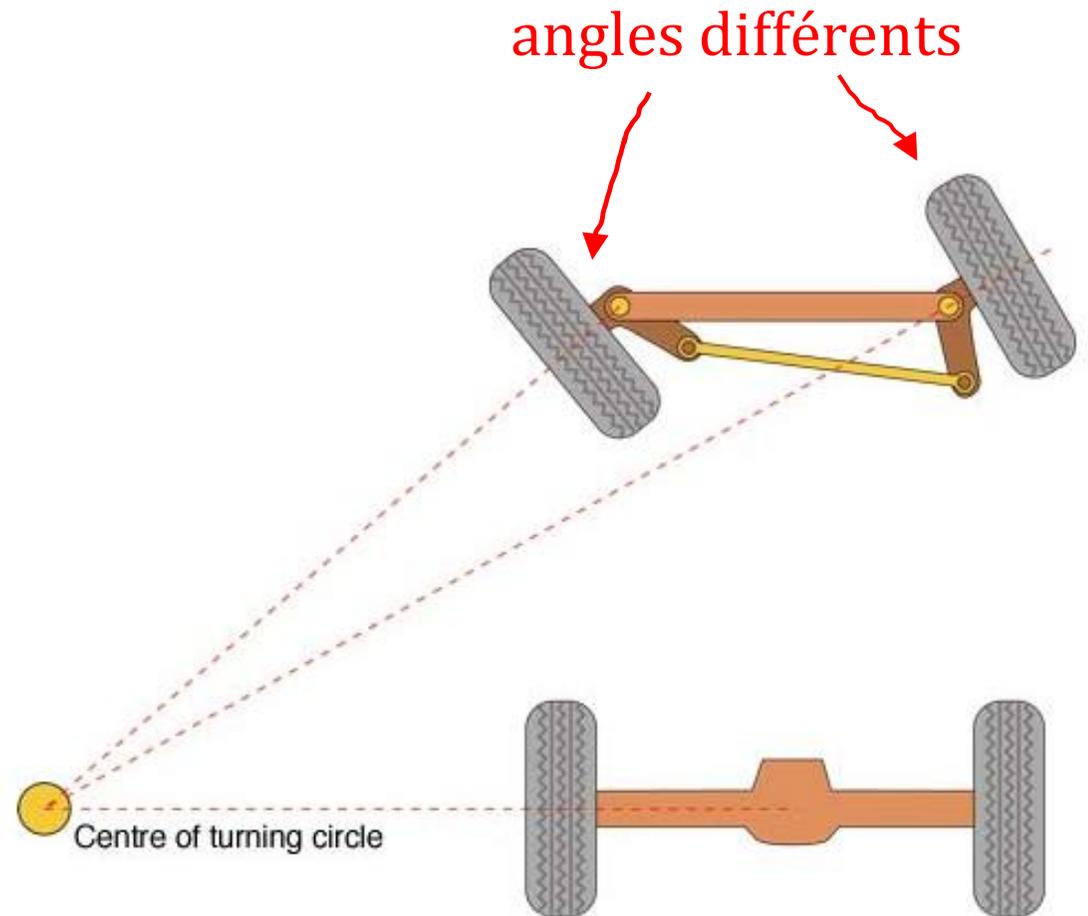
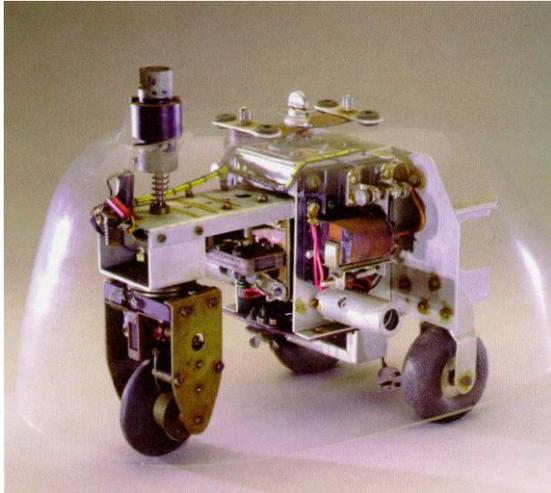
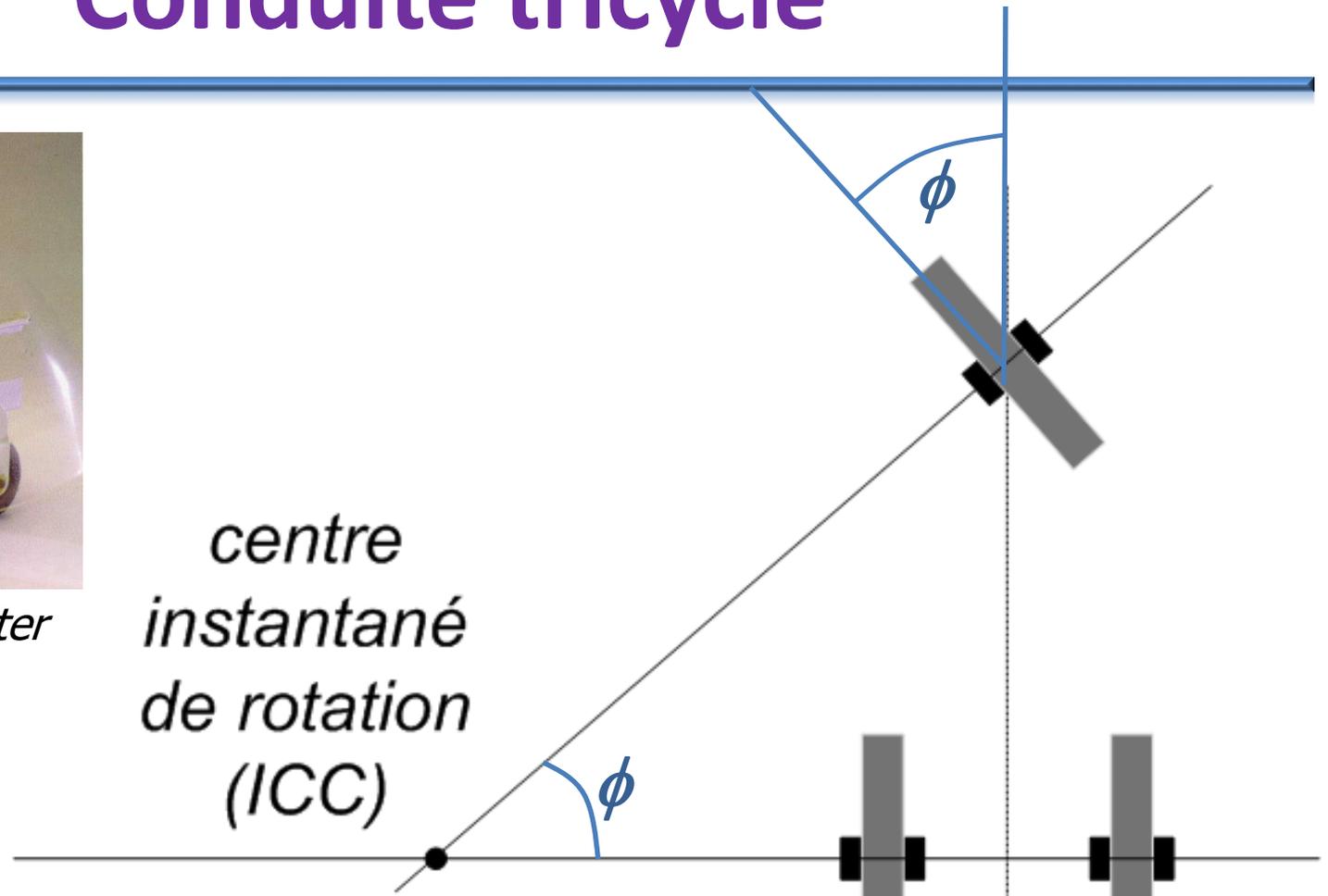


image: wikipedia

Conduite tricycle



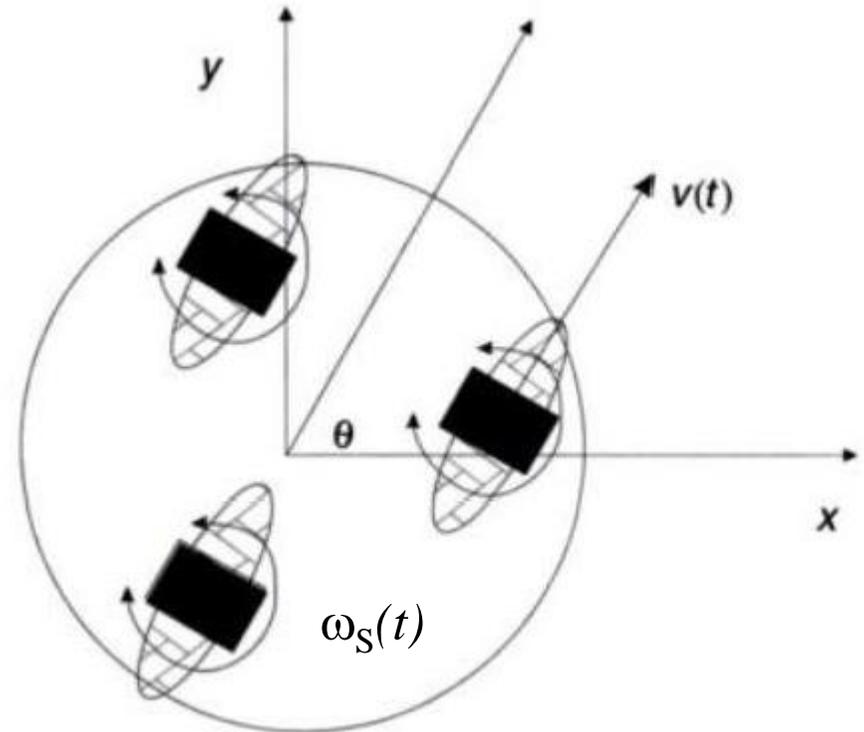
la tortue de Grey Walter



(même solution que bicyclette)

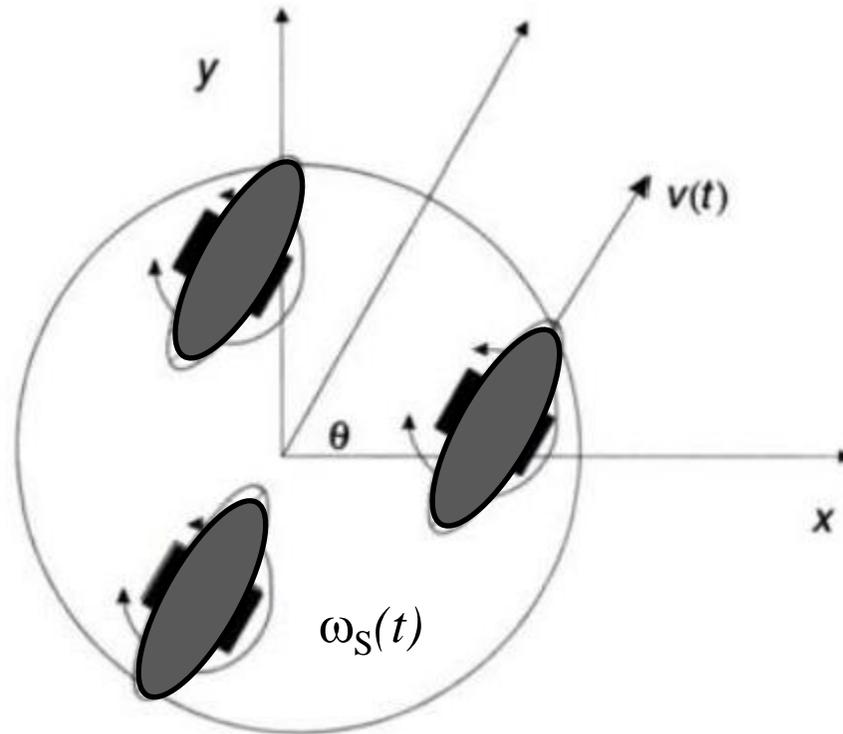
Conduite Synchronone

- Rotation des roues synchronisée par chaîne ou courroie
- 1 moteur pour $v(t)$
- 1 moteur pour $\omega_s(t)$
- Liens mécaniques réduisent les erreurs



Conduite Synchronisée

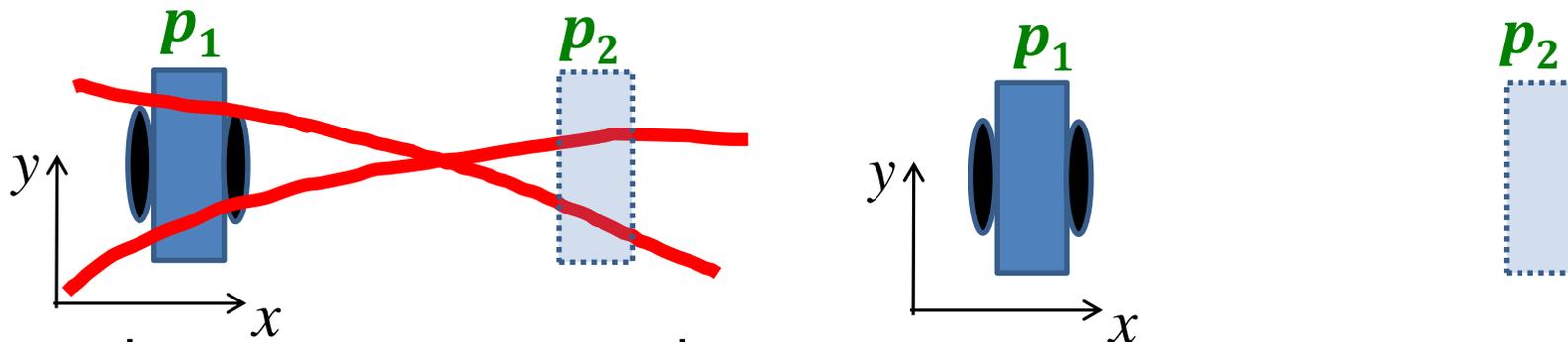
- Exemple rotation $\omega_s(t)$



Contraintes non-holonomes

- On ne peut pas changer la pose p du robot de façon arbitraire (pas trajectoire arbitraire)

$p_1 = [x_1, y_1, \theta_1] \rightarrow p_2 = [x_2, y_2, \theta_2]$ n'est pas toujours possible



dp/dx est 0 pour ce véhicule, quand $\theta = 90^\circ$

quand le nombre de degré de liberté commandé est moins que le nombre de degré de liberté du système.

(ici, 2 moteurs mais 3 d.d.l)

Contraintes non-holonomes

- Contraintes souvent exprimées par des dérivées sur la pose du robot
- Pour conduite différentielle :
 - robot ne peut pas se déplacer de côté
 - « stationnement parallèle »

Véhicules à roues : sources d'erreur

$$V_r = \text{rayon}_{\text{roue}} * \omega_{\text{moteur}}$$

- Usure du pneu : ($\text{rayon}_{\text{roue}}$ change)
- Couple du moteur 
- Précision du moteur : (ω_{moteur} est incorrect)
- Terrain inégal : « bruit mécanique »
- Friction pneu/terrain
- Friction de la roue de support (castor)



Approche probabiliste!

Résumé véhicule à roues

- Trajectoires composées d'une suite de courbes
- Défini par longueur d'arc et centre de rotation instantané (**ICC**)
- L'**ICC** se trouve à l'intersection des droites prolongeant les axes de rotation des roues

Roues Mecanum/Swedish



Roues Mecanum/Swedish



RMP 400 Omni de Segway