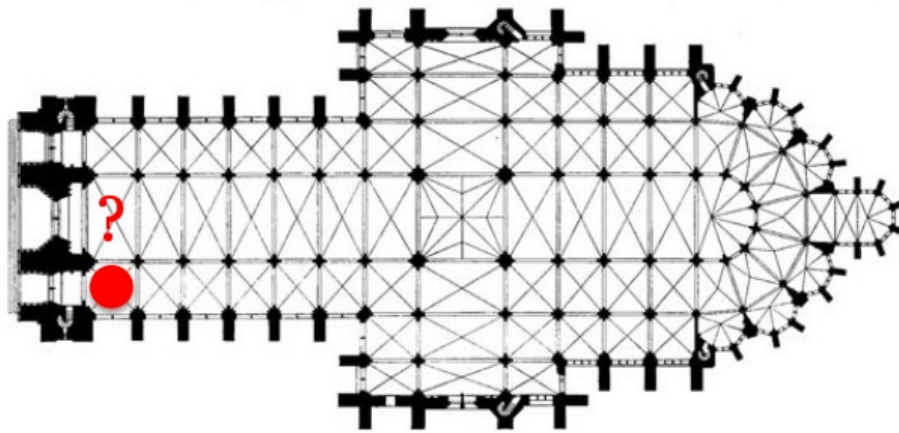


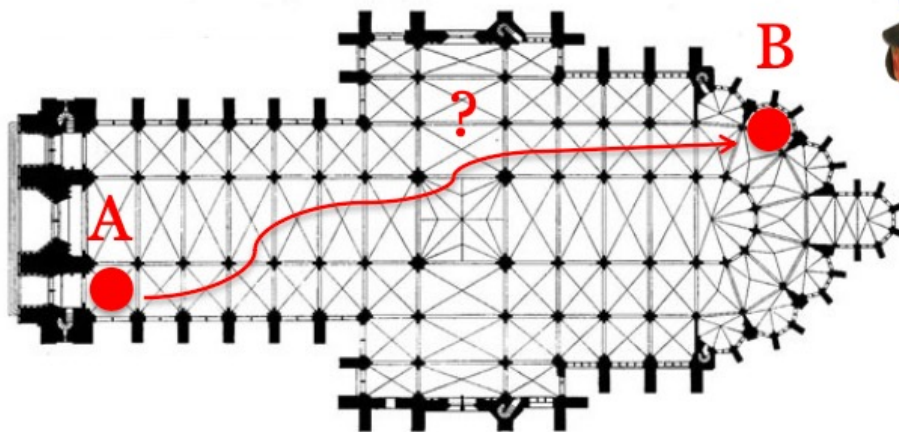
Problématique

Deux problèmes cruciaux ... et fortement liés



Où suis-je?

Localisation !



Comment aller de A à B ?

Navigation !

et aussi ...

- Comment détecter B ?
- Comment éviter les obstacles ?

Méthode de Localisation

Localiser: “*Déterminer la place de quelque chose, l'endroit où se situe quelque chose*” (Dict. La Rousse)

Hypothèse: une carte de l'environnement est disponible



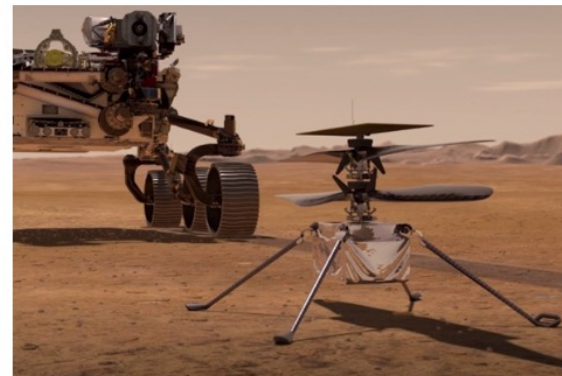
← Localisation facile

Localisation difficile →

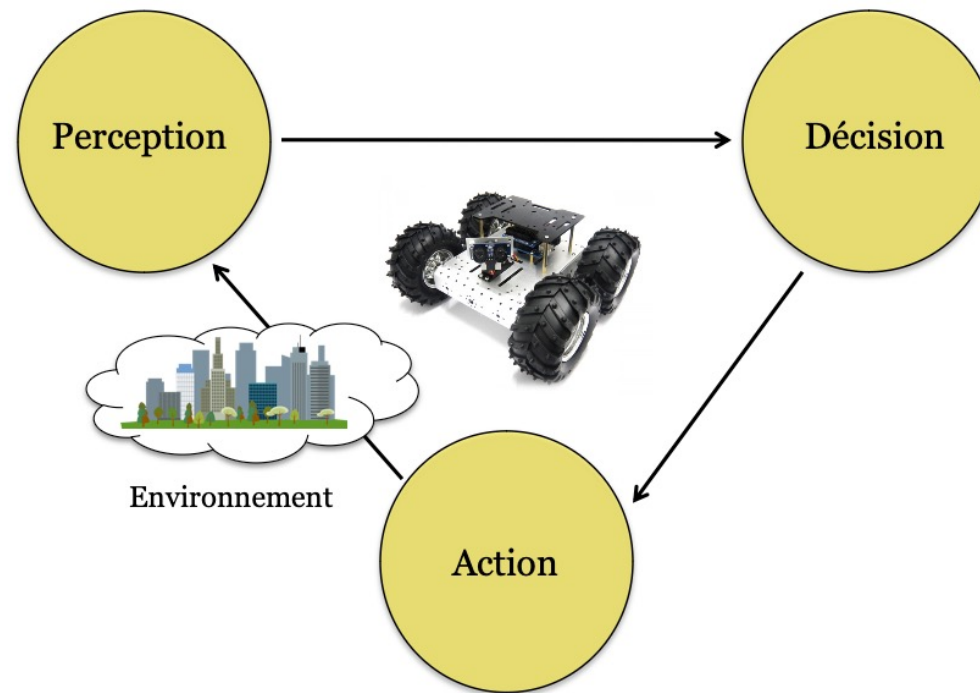


Méthode de Localisation

- Robots mobiles
 - Milieu ouvert
 - Pas de lien fixe avec l'environnement
 - Pas de mesures directes de la pose (position et orientation)
 - Zone de mouvement « sans limite »



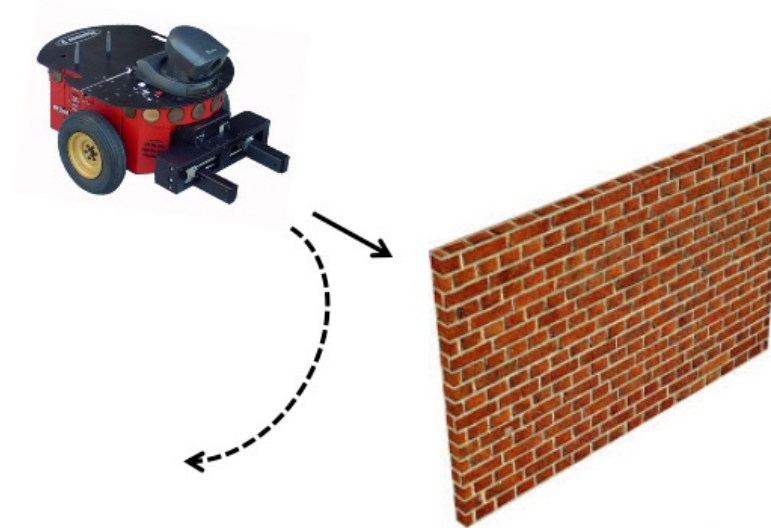
Méthode de Localisation



Paradigme “See-Think-Act”

Méthode de Localisation

Exemple ...



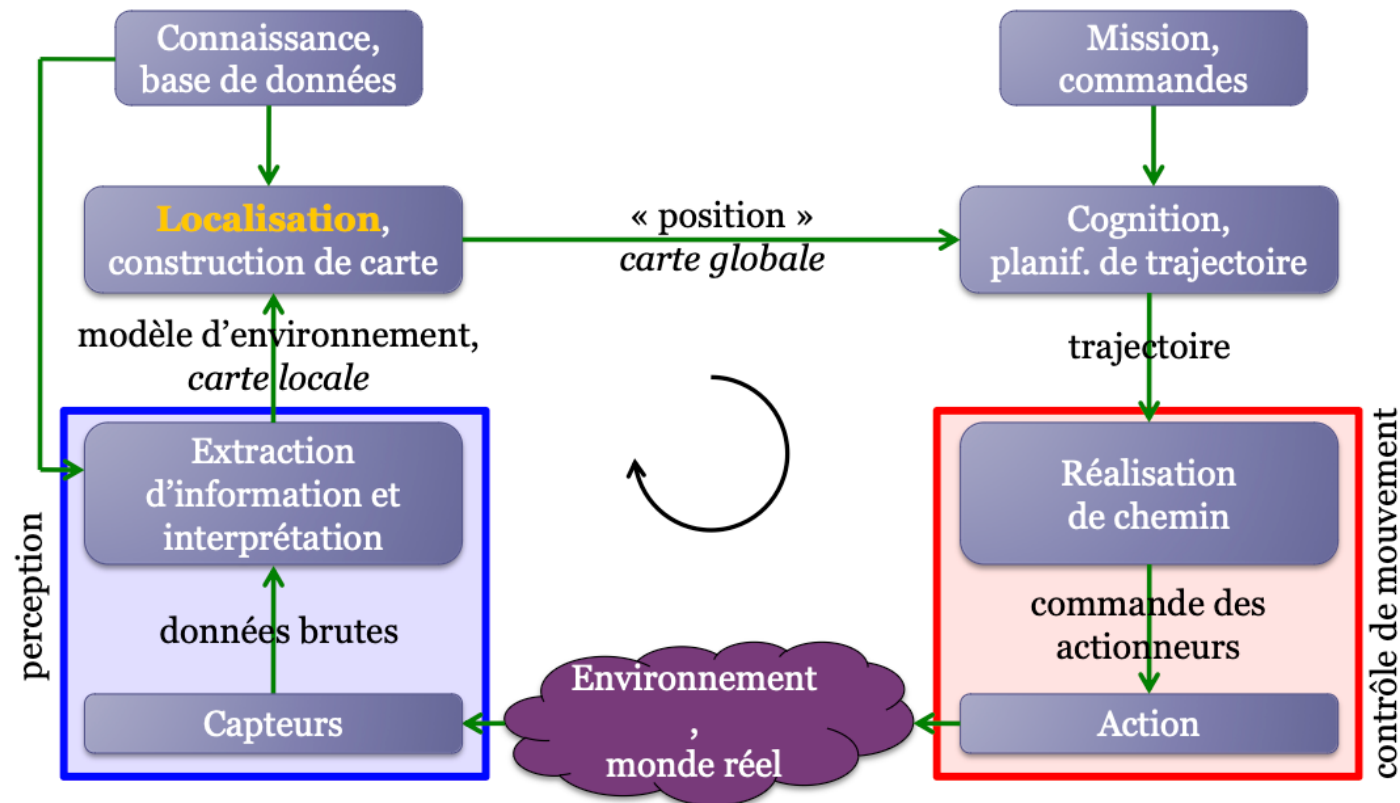
Perception: Il y a un mur en face !

Décision: Il faut tourner à droite

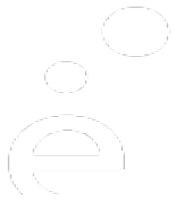
Action: Régler la vitesse de la roue gauche et de la roue droite, par ex.

Méthode de Localisation

Où intervient la localisation ?



Les défis de la localisation



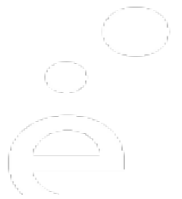
- **Le bruit**
 - de perception (capteurs)
 - d'actionnement (actionneurs)

- **L'aliasing perceptuel**
 - Il définit le fait que deux lieux distincts peuvent avoir la même apparence

Les défis de la localisation



- Intuitivement
 - « GPS précis » : solution ultime pour la localisation
 - Il informe le robot de sa position exacte
 - Intérieur et extérieur
 - Réponse immédiate à la question « où suis-je ? »
 - Mais ... un tel capteur n'existe pas !
 - GPS précis à *quelques mètres* (DGPS plus précis, mais cher)
 - GPS est inadapté pour des environnements à taille humaine et encore moins pour les micro- et les nano-robots
 - GPS ne fonctionne pas à l'intérieur ou dans un environnement encombré (« canyons urbains »)



Les défis de la localisation

- Au delà des limitations du GPS
 - Localisation est *plus* que la connaissance de position absolue



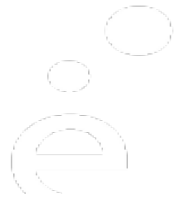
Exemple: *robot interactif*

- Éventuellement besoin d'une position absolue
- Position relative aux humains aussi importante
- La tâche de localisation doit inclure:
 - Perception (multi-capteurs) pour identifier les humains
 - Calcul de sa position relative aux humains

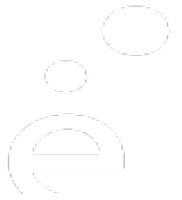
Les défis de la localisation



- Atteindre un lieu particulier demande plus qu'une « simple » localisation
 - Étape de décision
 - Sélection de stratégie pour atteindre le but
- Besoin d'acquérir ou de créer un modèle de son environnement: une carte (cf. SLAM)
 - Aide le robot dans sa planification de trajectoire
- En résumé, la localisation c'est plutôt:
 - Construire une carte de l'environnement
 - Déterminer la position du robot relativement à cette carte



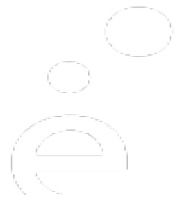
Les défis de la localisation



- Éléments cruciaux de cette localisation:
 - Les capteurs du robot
 - Les actionneurs du robot
- Les capteurs et les actionneurs d'un robot sont *inexactes* et *incomplets*
 - Une mesure parfaite n'existe pas
 - Tout l'environnement ne peut être mesuré d'un coup

Le bruit de perception

- Perception
 - Capteurs: fondamentaux
 - Leur degré de discrimination de l'environnement est critique
- *Le bruit des capteurs*
 - Inconsistance de mesures dans un même environnement
 - Source:
 - Primitives de l'environnement non perçues (ex. droites)
 - Négligence de ces primitives

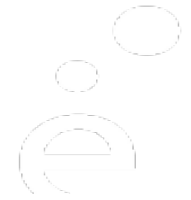


Le bruit d'actionnement

- Les difficultés de la localisation ne reposent pas uniquement sur les capteurs
- Les actionneurs sont aussi « bruités »
 - À cause de la perception ou non
 - Une même action ordonnée par le robot peut engendrer *différentes réalisations* ...
... même si du point de vue du robot, l'état initial avec l'action est parfaitement connu

Le bruit d'actionnement

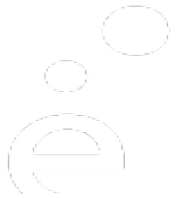
- Les actionneurs d'un robot mobile induisent une incertitude sur l'état futur
- Pour un robot, se déplacer *accroît* son incertitude
- La *couche décisionnelle* peut minimiser cet effet
 - Planification et/ou interprétation adaptée
 - Retour des capteurs dans la boucle de commande



Le bruit d'actionnement

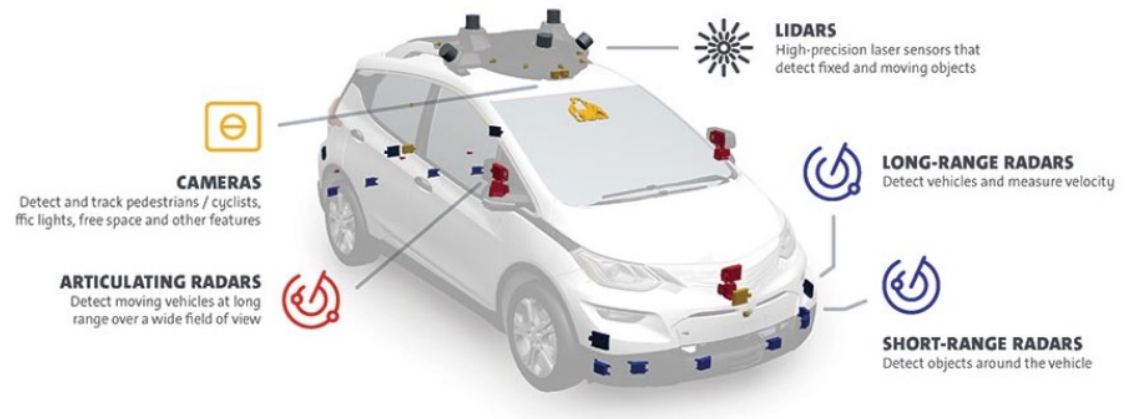
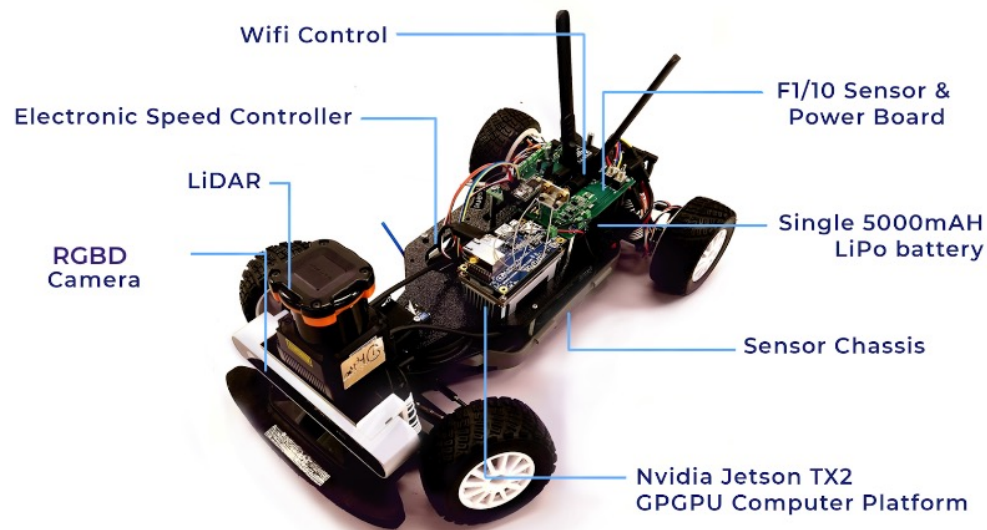


- Nature du bruit en robotique mobile
 - Du point de vue du robot
 - Impossibilité d'estimer sa propre position à partir de la connaissance de sa cinématique/dynamique
 - Vrai source d'erreur
 - Modèle incomplet de l'environnement
 - Type de surface non modélisé (rigidité, glissement, etc.)
 - Évènements non envisagés (une personne pousse le robot, drone perturbé par une rafale de vent, etc.)



Why do we need Frame Transformations on AV

Sensors provides measurement in the frame of reference specific to that sensor



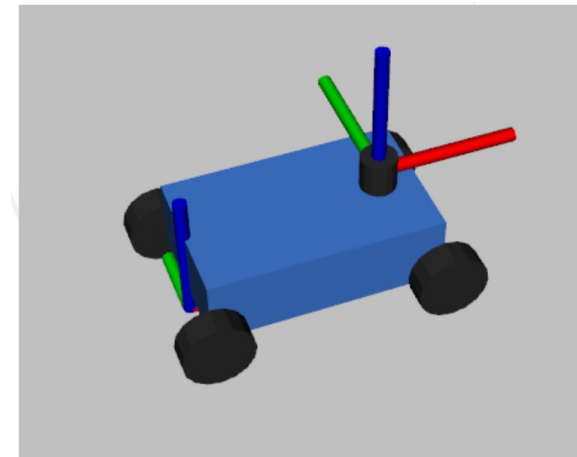
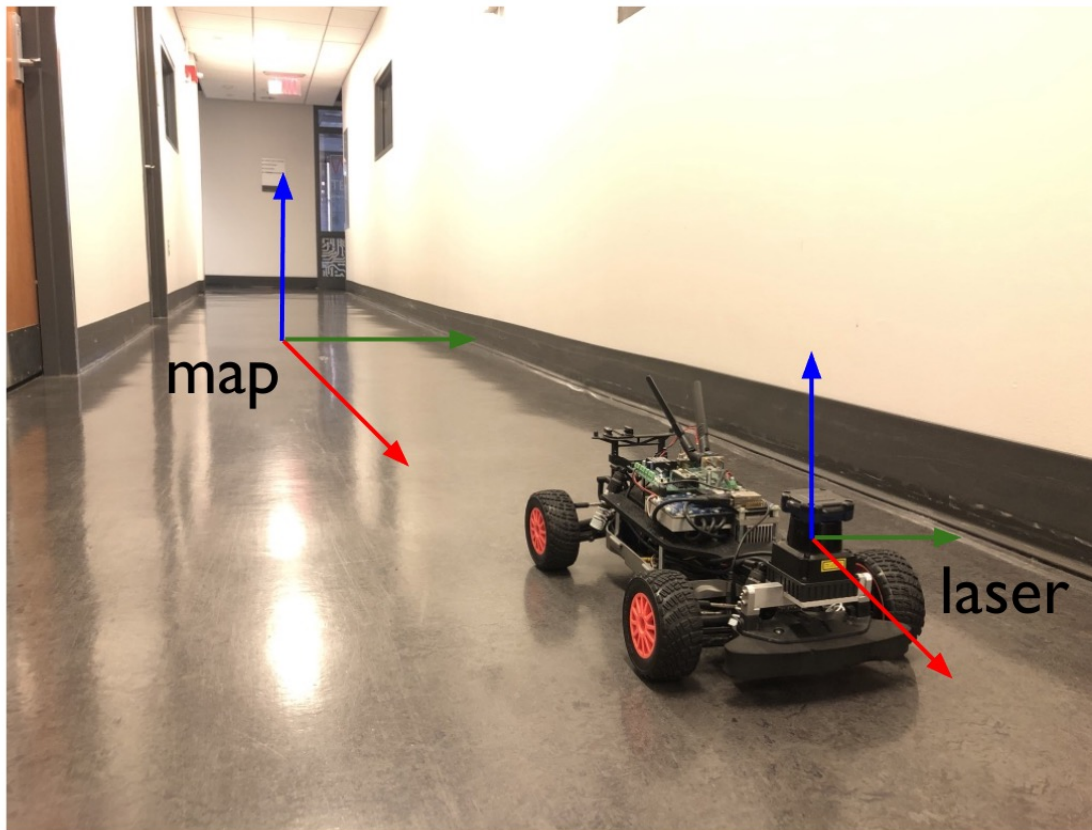
www.autonomousvehicletech.com

Summary: why do we need transforms between frames?

- Data is usually provided in the most convenient frame to the data source
- If we had two disconnected maps (e.g. submaps), we might want to know their location w.r.t. Each other within a global world frame
- We want to localize ourselves on a map
- If an obstacle is detected in the *laser* frame, maybe we want to know where it is in the world, i.e. in the *map* frame
- We need to know the transforms between frames of components on the car for more accurate actuation
- ...

Utilisation des données odométriques

Définition des repères



Rotation Matrix

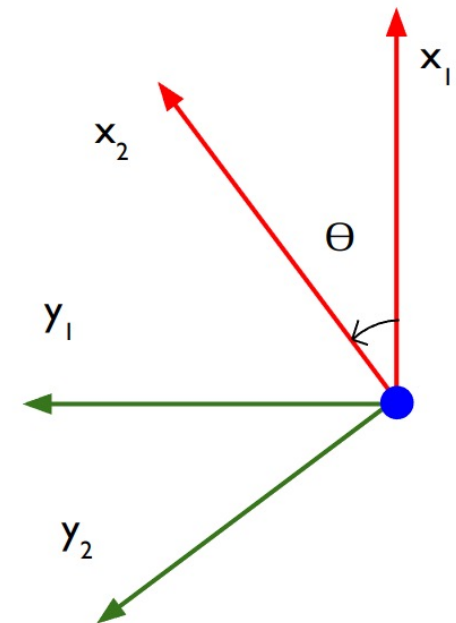
$$\mathbf{x}_2 = \cos(\theta)\mathbf{x}_1 + \sin(\theta)\mathbf{y}_1$$

$$\mathbf{y}_2 = -\sin(\theta)\mathbf{x}_1 + \cos(\theta)\mathbf{y}_1$$

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

x

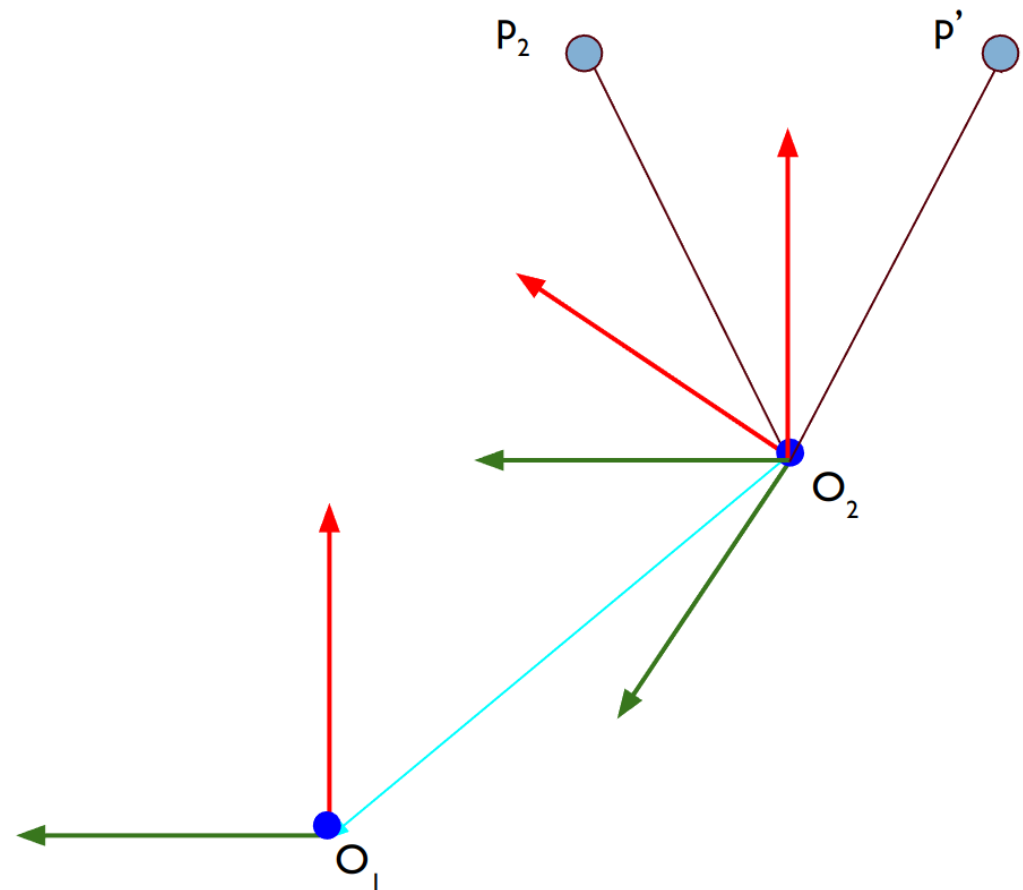
y



Putting everything together (with translation)

First we apply the rotation

$$p' = \mathbf{R}_2^1 p_2$$

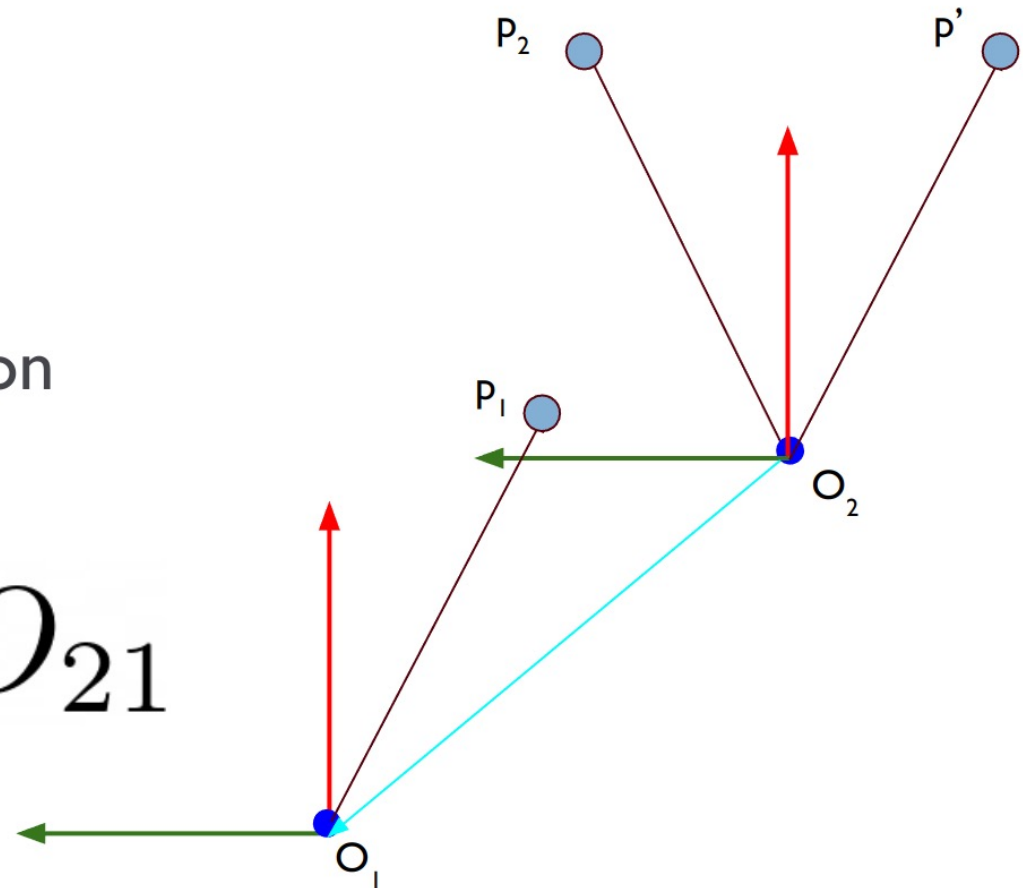


Putting everything together (with translation)

$$p' = \mathbf{R}_2^1 p_2$$

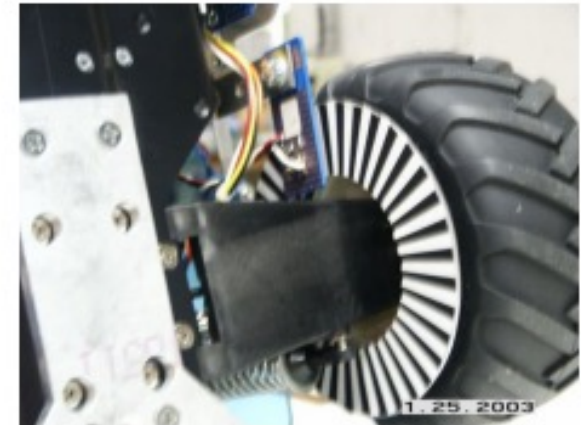
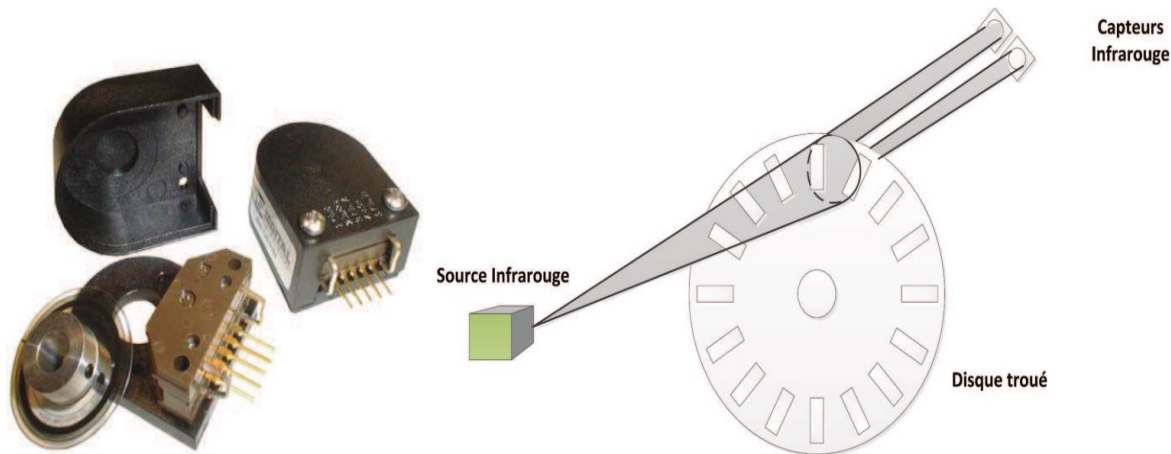
Then we apply the translation

$$p_1 = \mathbf{R}_2^1 p_2 + O_{21}$$

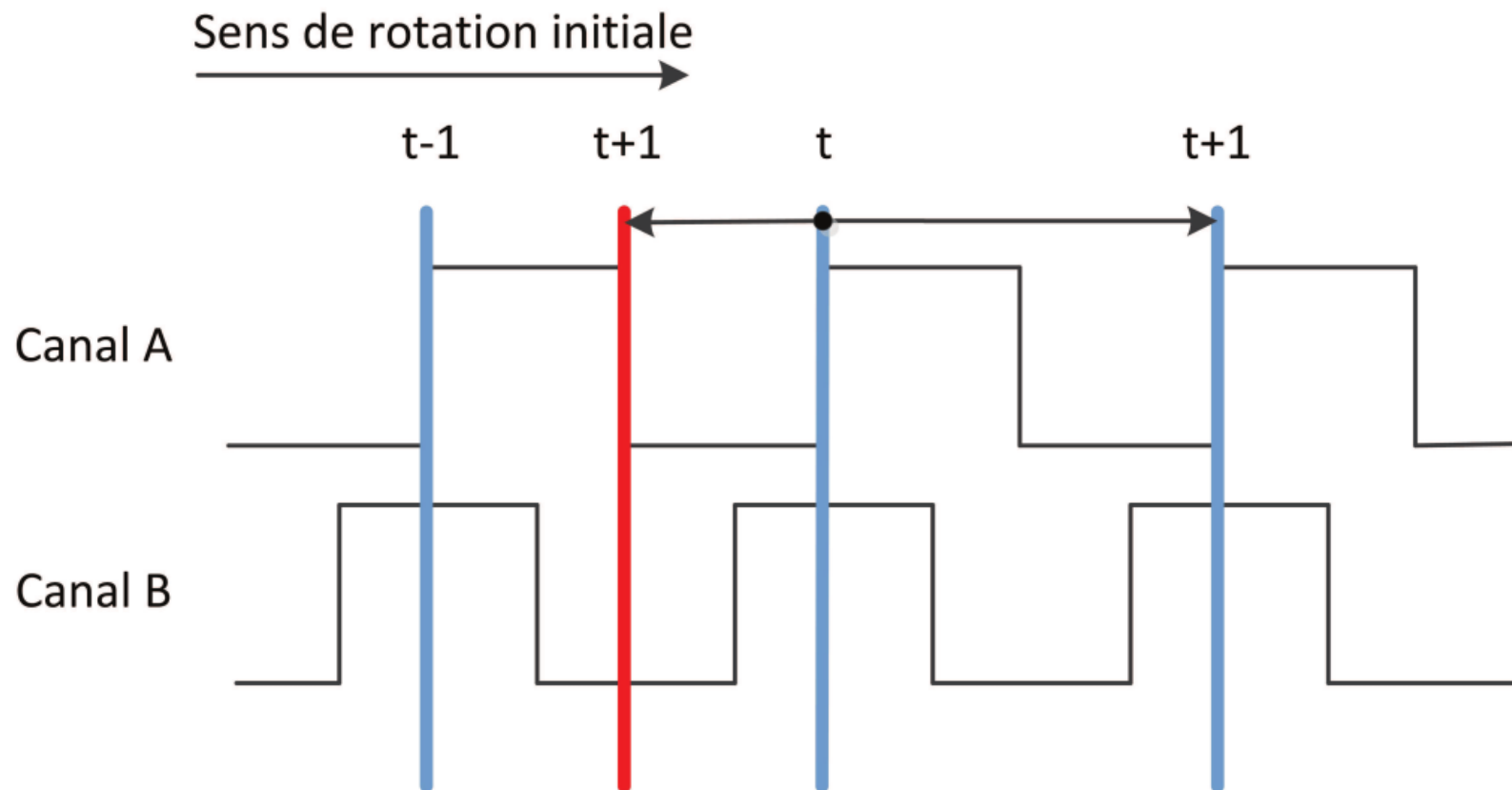


Utilisation des odomètres

L'odométrie est une technique permettant d'estimer la position et orientation d'un robot en mouvement. Le terme vient du grec hodos ("voyage") et metron ("mesure")



Utilisation des odomètres



Utilisation des odomètres

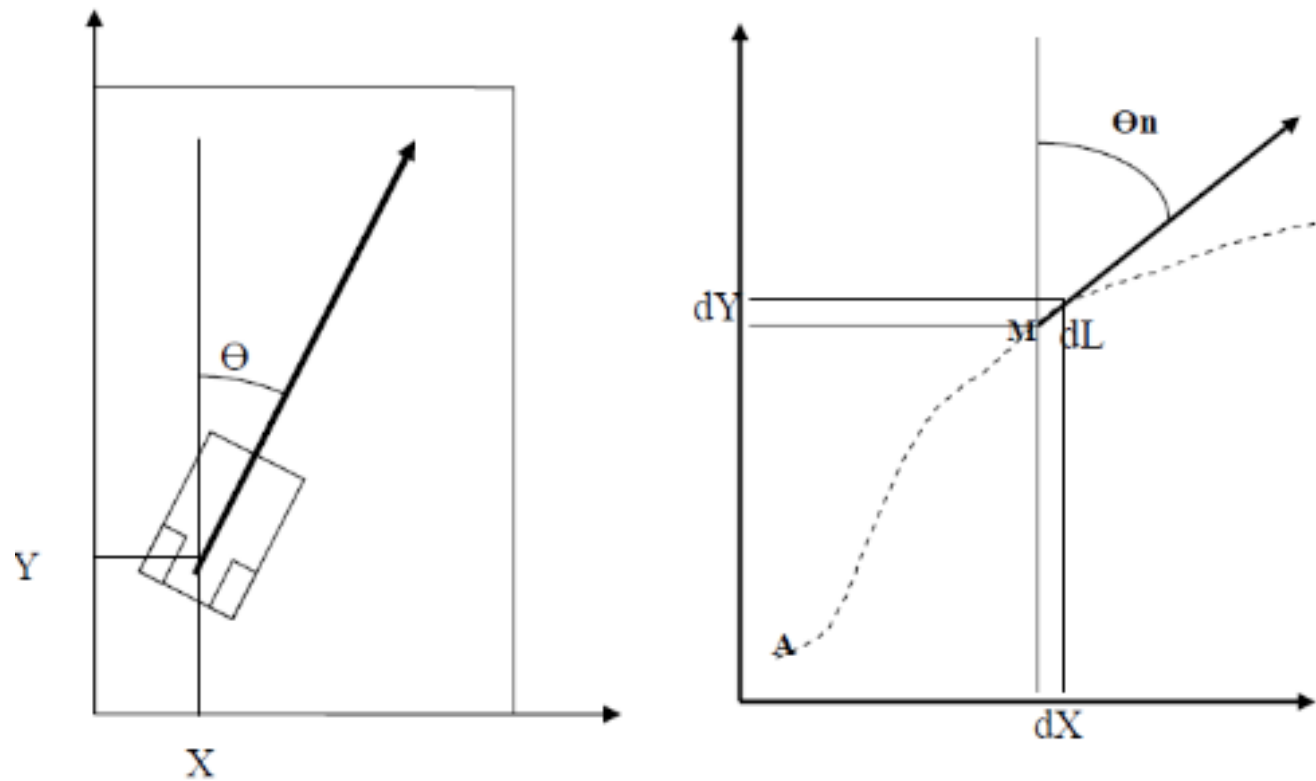


L'odométrie permet de calculer la distance parcourue sur la trajectoire, donc la valeur de la vitesse dérivée de la distance. L'odométrie permettant par ailleurs de connaître l'orientation du robot Θ , cad l'orientation du vecteur vitesse.

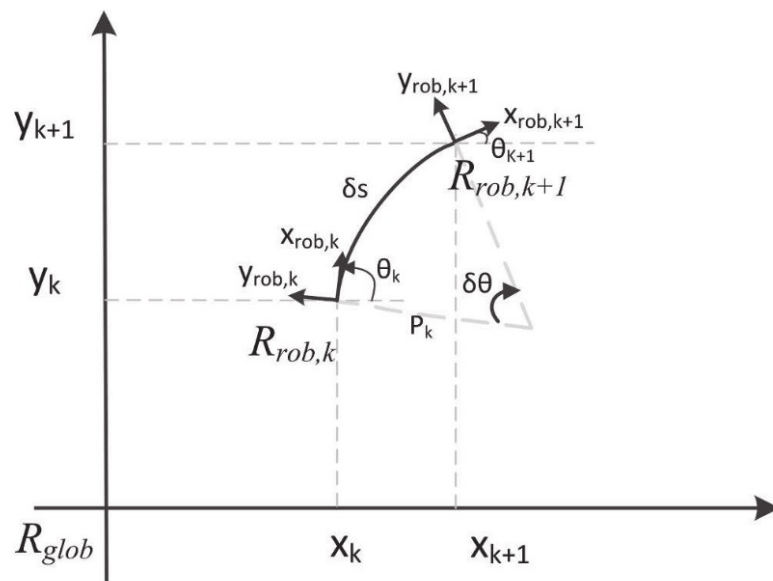
Il suffit d'intégrer le vecteur vitesse à chaque période d'échantillonnage pour connaître la position du robot.

Nous sommes en numérique. La dérivation s'obtient par une simple soustraction et l'intégration par une simple addition.

Utilisation des odomètres



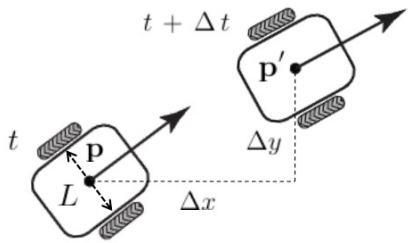
Utilisation des odomètres



$$\begin{pmatrix} \delta s \\ \delta \theta \end{pmatrix} = \mathbf{g}(\delta_l, \delta_r)$$

$$= \begin{pmatrix} \frac{\delta_r + \delta_l}{2}, \frac{\delta_l - \delta_r}{2e} \end{pmatrix}$$

$$(\mathbf{x}_{k+1})_{R_{glob}} = \begin{pmatrix} x_k + \delta s \cos(\theta_k + \frac{\delta \theta}{2}) \\ y_k + \delta s \sin(\theta_k + \frac{\delta \theta}{2}) \\ \theta_k + \delta \theta \end{pmatrix}$$



$\delta r, \delta l$: distance parcourue par la roue droite et gauche

δs : déplacement longitudinal

$\delta \theta$: déplacement rotationnel

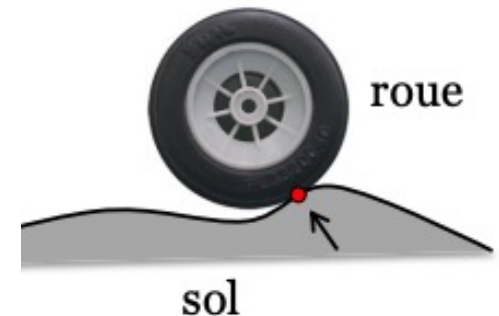
Avec x, y, θ la position du robot

Utilisation des odomètres

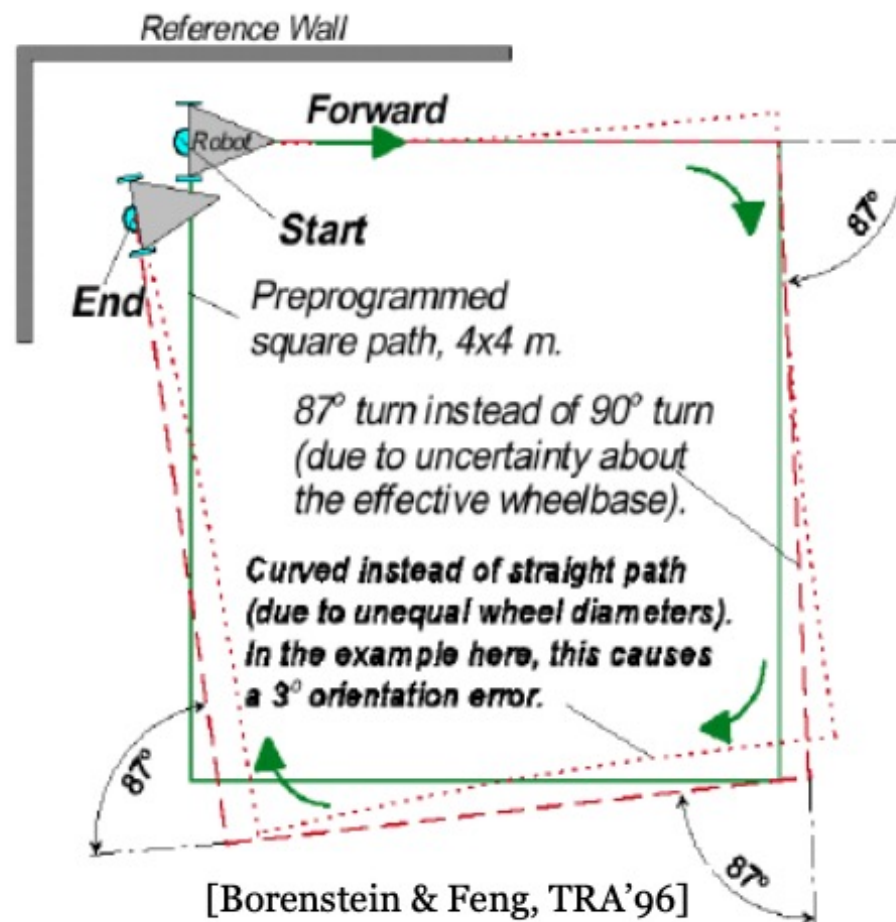


Sources d'erreurs:

- Résolution limitée pendant l'intégration (incréments de temps, résolution de mesure, etc.)
- Mauvais alignement des roues (déterministe)
- Incertitude sur le diamètre de la roue et/ou diamètre non constant (déterministe)
- Variation du point de contact de la roue
- Contact variable avec le sol (glisse, bosse, sol mou, etc.)



L'expérience du chemin carré unidirectionnel



Utilisation des odomètres



Types de sources d'erreurs :

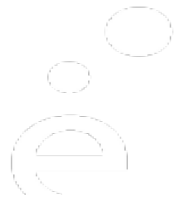
Déterministes (systématiques)

Résolues (partiellement) par calibrage du système

Non-déterministes (aléatoires)

Erreurs résiduelles

Mènent à des incertitudes sur la pose au fur et à mesure



Utilisation des odomètres

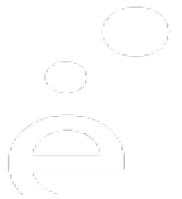


Types géométriques d'erreurs (pour un robot à conduite différentielle)

- Erreur en distance

 - Longueur du chemin intégré

 - Somme des mouvements de roue



- Erreur en virage

 - Similaire à l'erreur en distance

 - Différence des mouvements de roue

- Erreur de dérive (drift)

 - Une différence d'erreurs entre les roues mène à une erreur d'orientation du robot

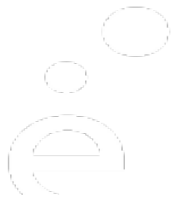
Utilisation des odomètres



Sur de longues périodes

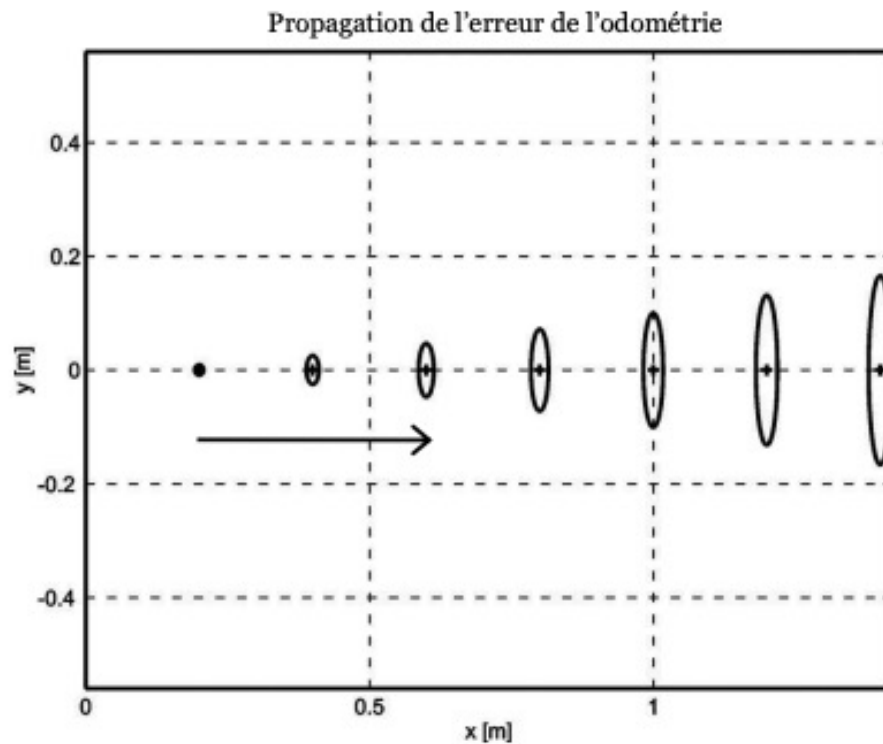
- Erreurs de virage et de dérive plus importantes de l'erreur en distance

Contribution non linéaire à l'erreur de position

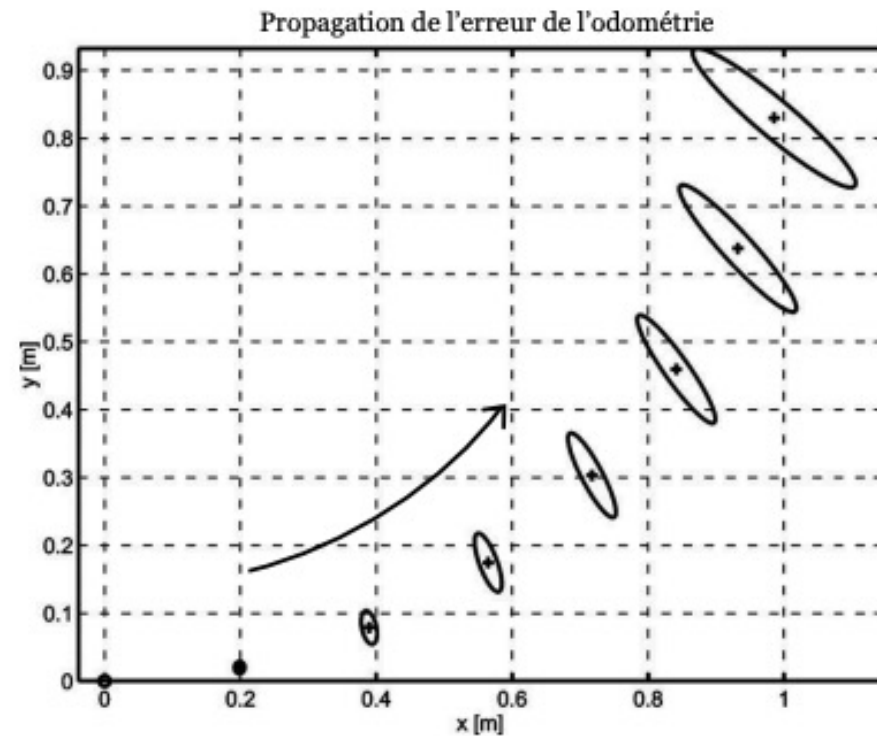


Il faut donc établir un modèle d'erreur pour l'exactitude odométrique d'un robot et étudier la propagation de l'erreur au fil du temps

Utilisation des odomètres



Mouvement rectiligne



Mouvement circulaire (rayon const.)

Webots – Simulateur (Thymio)



Sujet disponible sur Ecampus

Programmer l'algorithme de localisation par intégration des données odométriques

Qualifier les données de localisation par rapport à la référence

Développer un algorithme de suivi de trajectoire

