

Robotique Mobile

05 - Capteurs

David Filliat

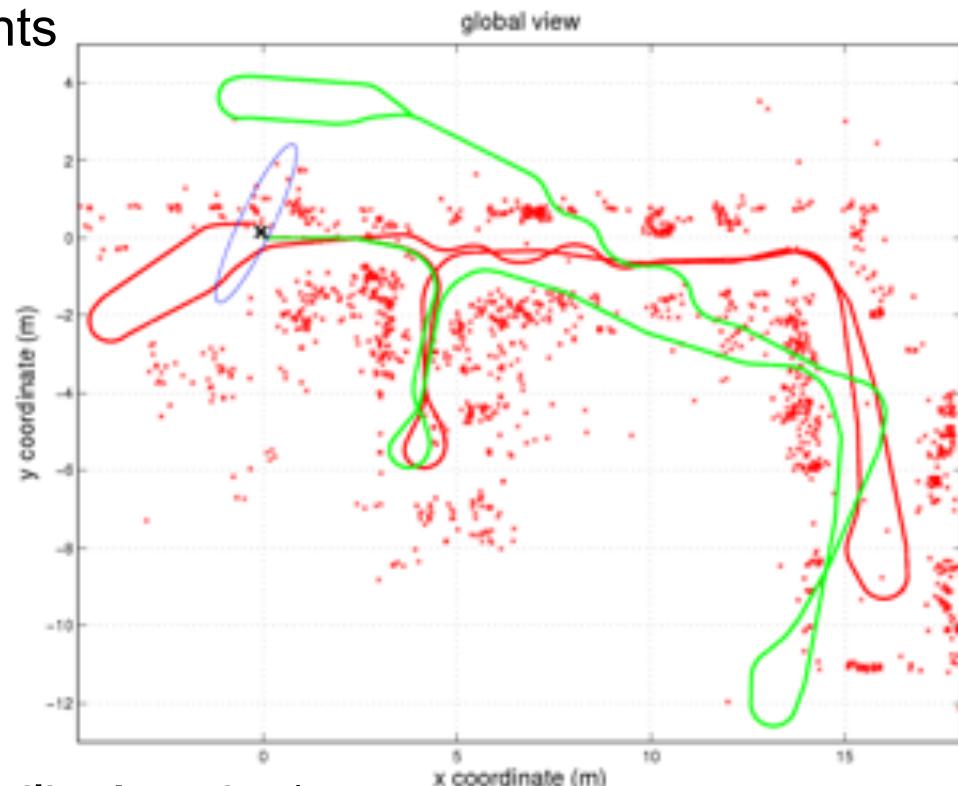
Alexandre Chapoutot

Goran Frehse

prenom.nom@ensta-paris.fr

Informations internes

- informations *proprioceptives* (ou idiothétiques)
- renseignent sur les déplacements



Ex : Odométrie, inertie

- **Erreur cumulative** (processus d'intégration)
- Inutilisable à long terme
- **Référence simple à utiliser, peu dépendante de la position**

Informations externes

- informations extéroceptives (ou allothétiques, ***perceptions***)
- renseignent sur la position

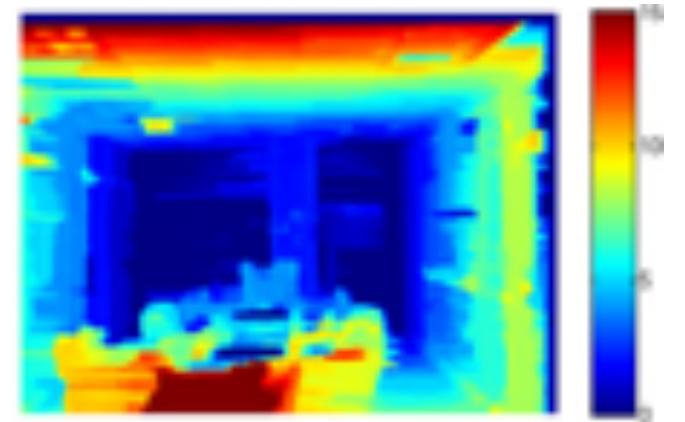
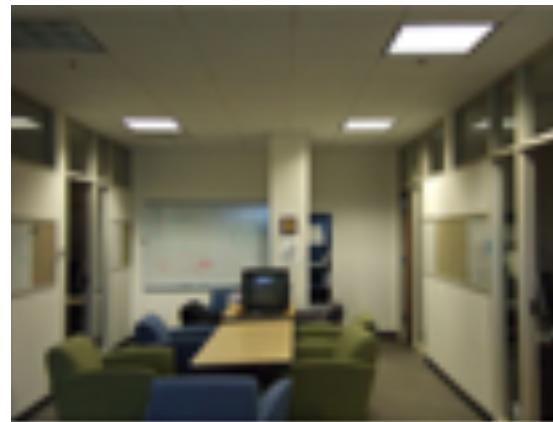
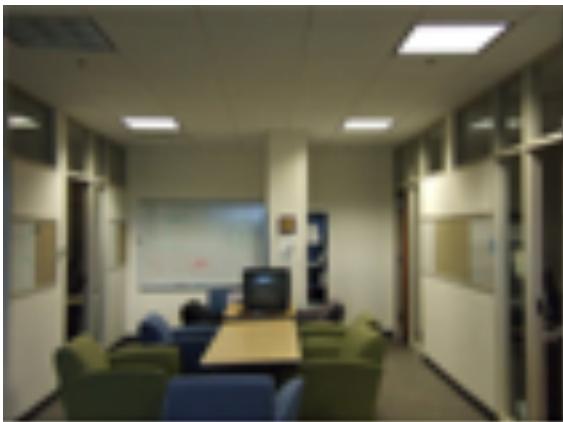
Ex : Capteurs de contact, télémètre, caméra

- **Erreur non cumulative**, mais :
 - Ambiguité perceptuelle
 - Variabilité perceptuelle
- Difficilement utilisables seules



Modèle métrique pour les perceptions

- Permet de retrouver la position métrique d'objets perçus à partir des perceptions (ex : stéréo-vision)



- Possible pour un télémètre, avec des caméras stéréoscopiques, ou une caméra en mouvement
- Impossible ou très difficile pour d'autres capteurs : température, odeur...
- Permet de faire abstraction du capteur utilisé
- Peut dépendre de l'environnement et être complexe à estimer

Perceptions **sans** modèle métrique

- Possibilité de mémoriser et reconnaître une position



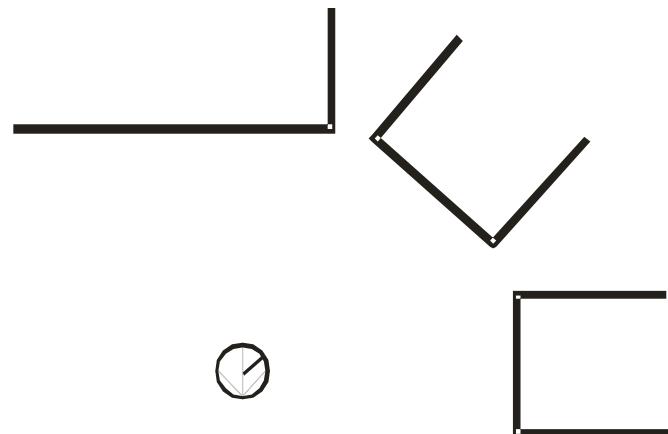
- Mais pas d'information autre que l'identité



-> pas d'info sur la position

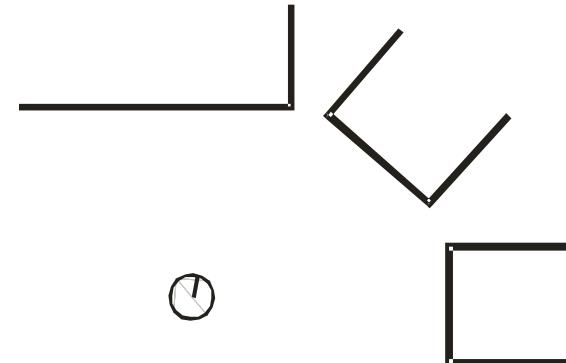
Perceptions **avec** modèle métrique

- Possibilité d'extraire des objets avec leurs positions (dans l'espace des données proprioceptives)
- Création d'une représentation objective

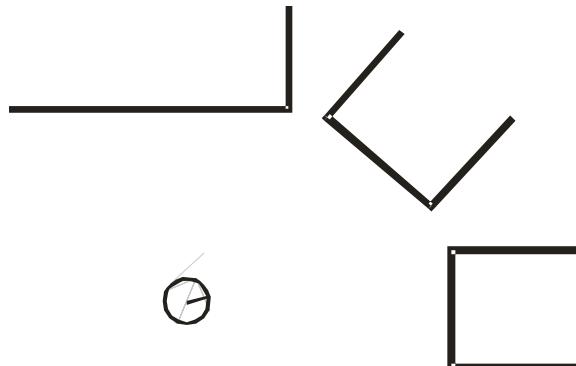


Perceptions **avec** modèle métrique

- Permet de calculer la position du robot par rapport à un objet perçu



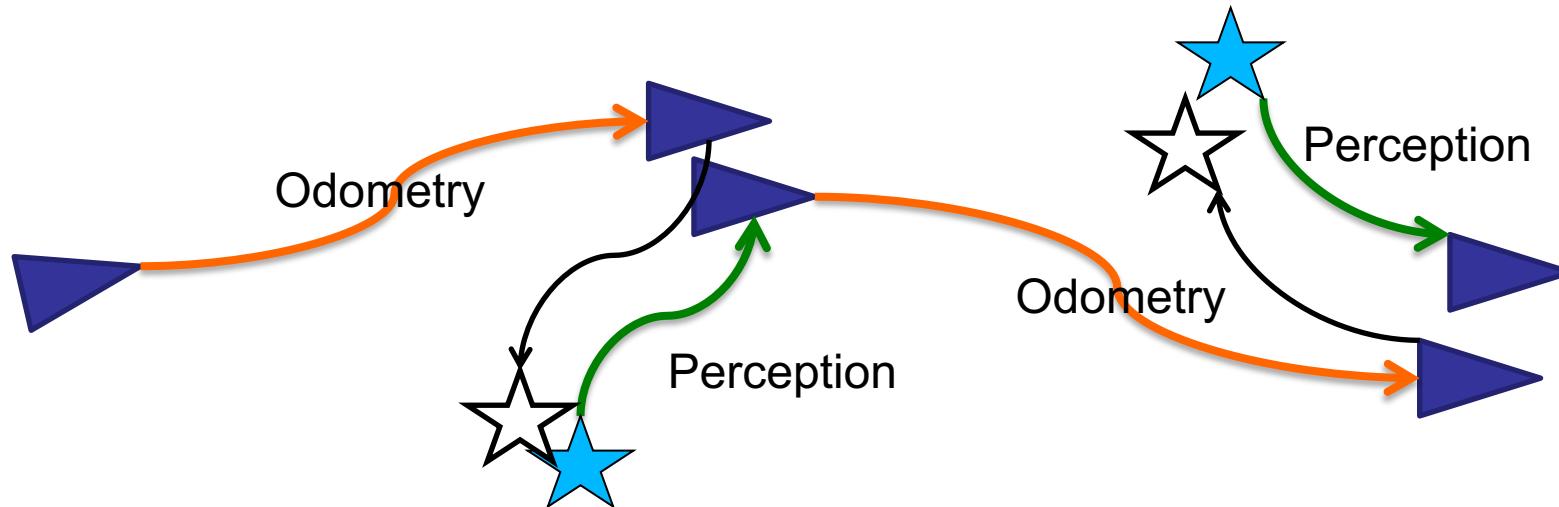
- Permet de calculer les perceptions pour une nouvelle position / un autre capteur



Utilisation conjointe des deux types d'information

- Compenser la dérive de la proprioception par les perceptions
- Lever les ambiguïtés des perceptions par la proprioception

Un bon système de navigation fusionne efficacement ces deux informations



Gestion des incertitudes

- Nombreux algorithmes utilisent de modèles probabilistes
- Information utile pour pondérer les mesures
 - Incertitude faible \rightarrow Confiance accrue

Modèles direct

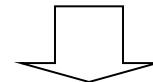
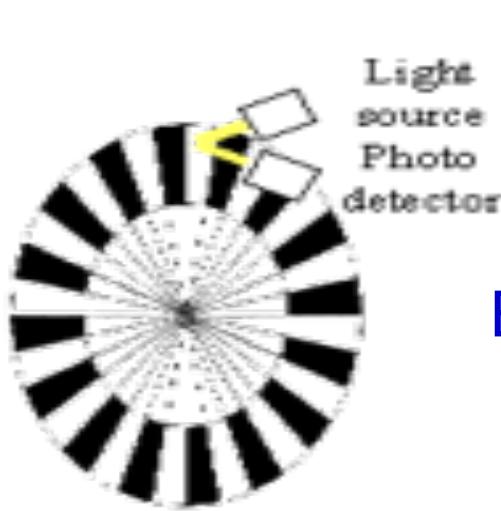
- $P(\text{mesure} \mid \text{valeur réelle})$
- Simple à obtenir, peut être dans la documentation capteur

Modèles inverses

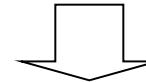
- $P(\text{valeur réelle} \mid \text{mesure})$
- Généralement beaucoup plus complexe
- Mais c'est ce qui nous intéresse

Capteurs proprioceptifs

Mesure de la rotation des roues (par ex codeur optique)
ou du déplacement des pattes



Intégration



Estimation du déplacement

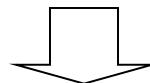
Dépend beaucoup du contact au sol

-> radar doppler / odomètre optique

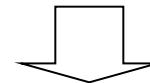
Estimation de la direction peu fiable



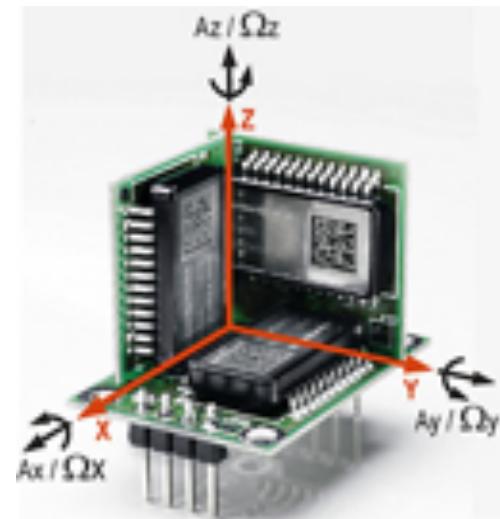
Mesure de l'accélération en translation/rotation



Intégration (2 fois)



Estimation du déplacement



- Les senseurs doivent être très précis : coût élevé
- Capteurs bas coût (précision faible)
 - Estimation de la position quasi impossible
 - Fusion avec accelero/gyro/magnéto pour bonne estimation de la direction

Gyrosopes / Gyromètres

- Direction par rapport à une direction de référence arbitraire
- Systèmes mécaniques, optiques ...

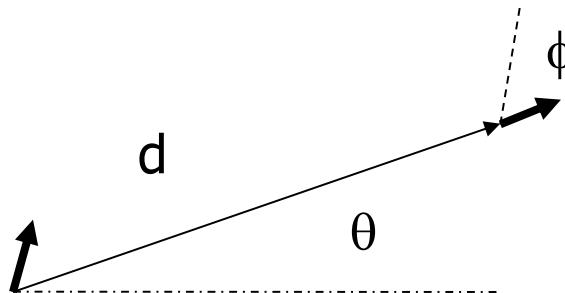
Magnétomètres : mesure le champ magnétique local

- En extérieur, donne le nord magnétique
- Difficile à utiliser en intérieur (perturbation par les masses métalliques)

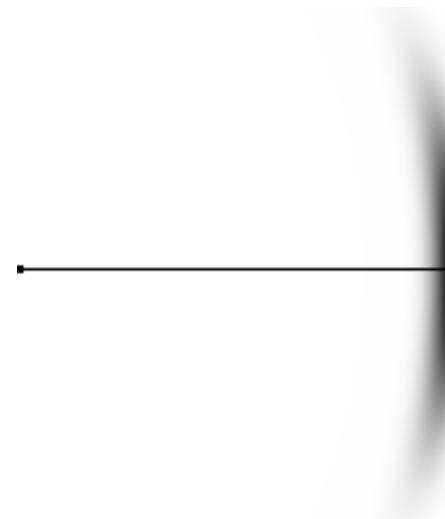
2 méthodes :

- Hypothèses de bruit sur la mesure puis utilisation du processus de calcul de l'odométrie
- Modèle directement sur la sortie : bruit gaussien sur distance, direction et angle

$$P(X|X_m) = \text{Gauss}(d-d_m) * \text{Gauss}(\theta-\theta_m) * \text{Gauss}(\phi-\phi_m)$$

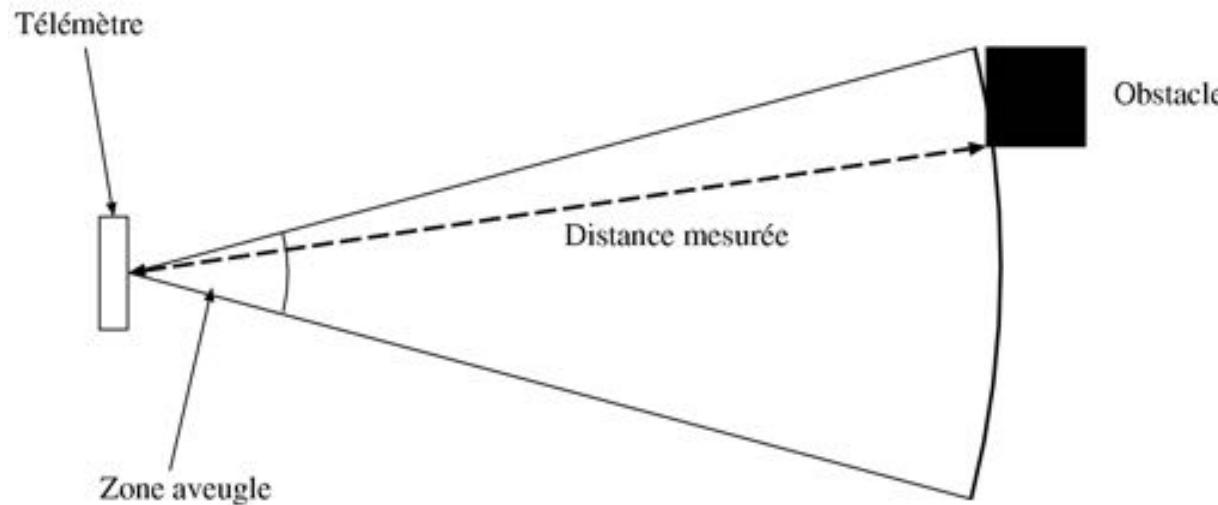


ex :



Capteurs extéroceptifs

Mesure du temps de vol d'une onde sonore

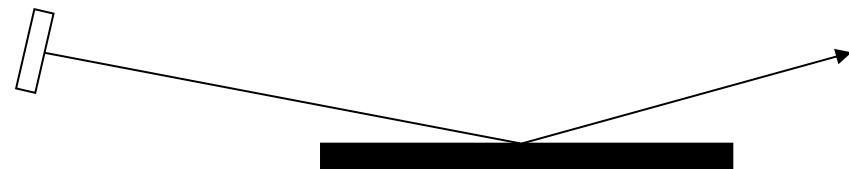


Avantages

- Peu cher
- Angle d'ouverture environ 30 degrés

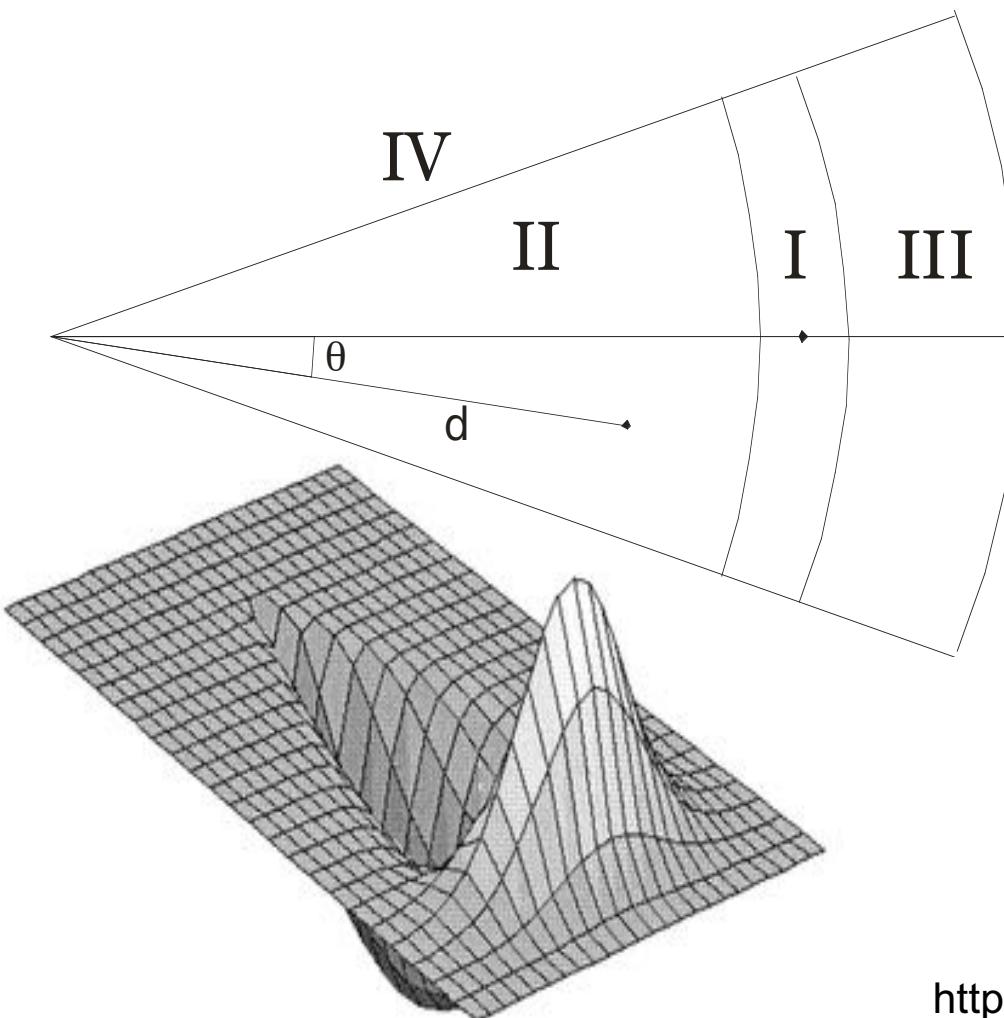
Limitations

- zone aveugle
- crosstalk (→ fréquence qq Hz)
- réflexions multiples
- réflexions spéculaires
- Réponse dépend du matériaux



$P(\text{mesure}|\text{valeur réelle})$: voir plus loin (télémètre laser)

$P(\text{valeur réelle}|\text{mesure})$:

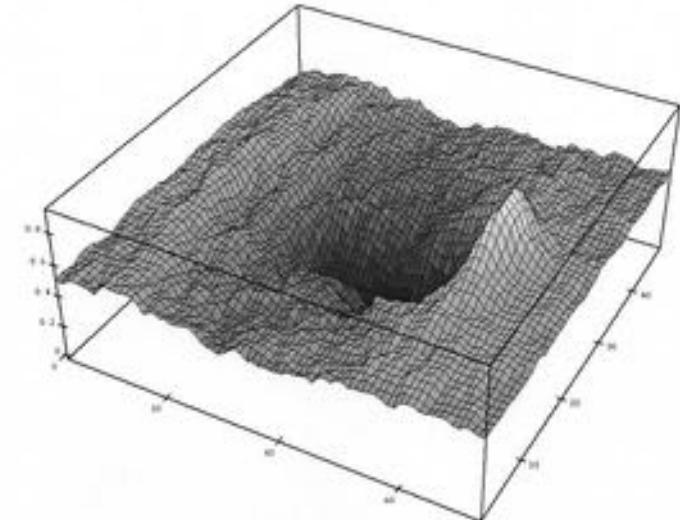


$$\text{I} : \text{Gauss}(\theta) * \text{Gauss}(d - d_m)$$

$$\text{II} : \exp(d) * \exp(-\theta)$$

$$\text{III} : \exp(d) * \exp(-\theta)$$

$$\text{IV} : 0$$



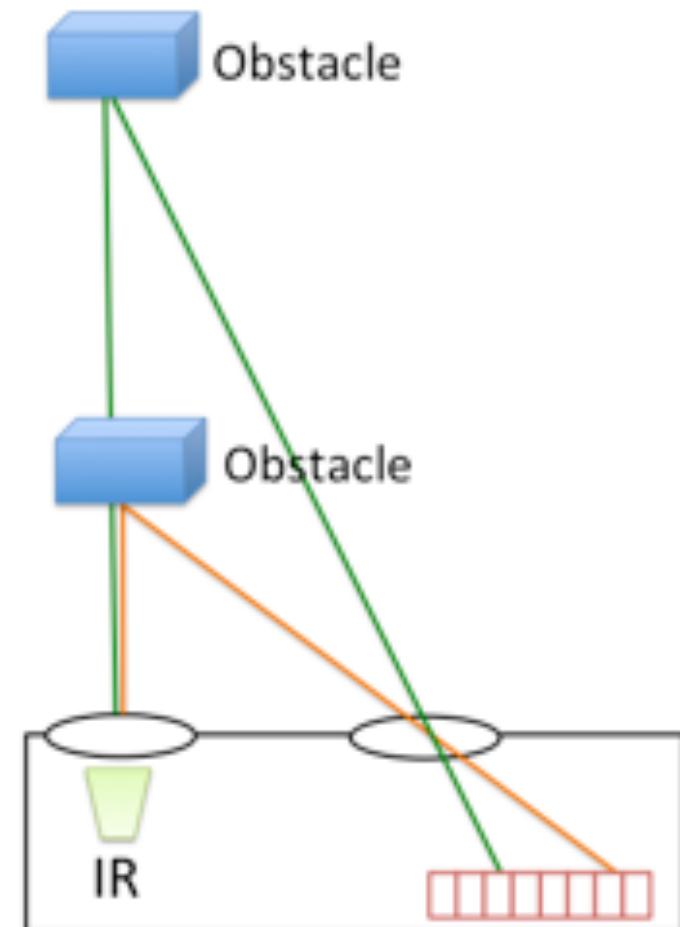
<http://www.cs.hmc.edu/courses/2003/spring/cs154/>

Triangulation d'un faisceau IR

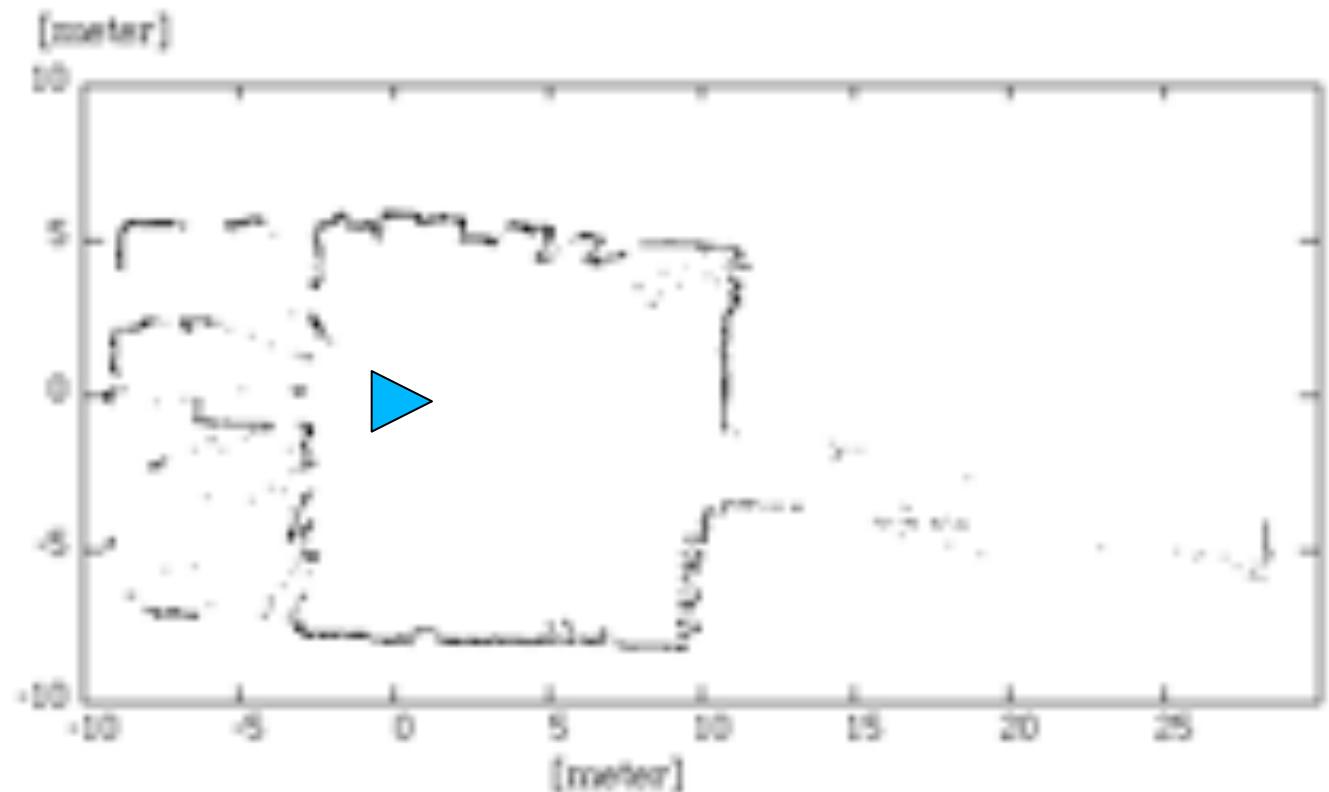
- Peu cher
- Faible consommation
- Peu d'interférences

Limitations

- Faible angle d'ouverture
- Sensible à la lumière extérieure



Mesure de distance grâce à un laser balayant un plan (LIDAR)



Avantages

- Couvre 180 à 360 degrés jusqu'à environ 50m
- Résolution $\frac{1}{2}$ ou 1 degré
- Fréquence : 10 -> 75 Hz
- Bruit de qq cm

Limitations

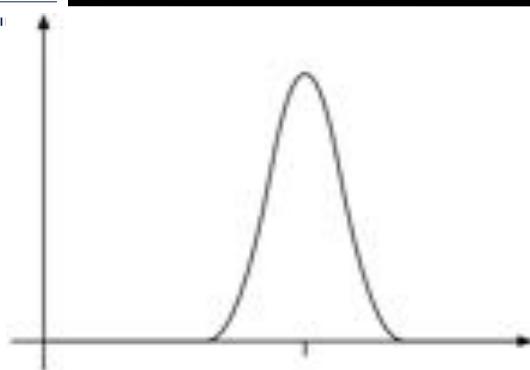
- Restreint à un plan → des obstacles non perçus
- Certains objets réfléchissants non détectés (réflexions spéculaires)
- Vitres (propres!) non détectées
-> association avec sonars

Pour 1 faisceau

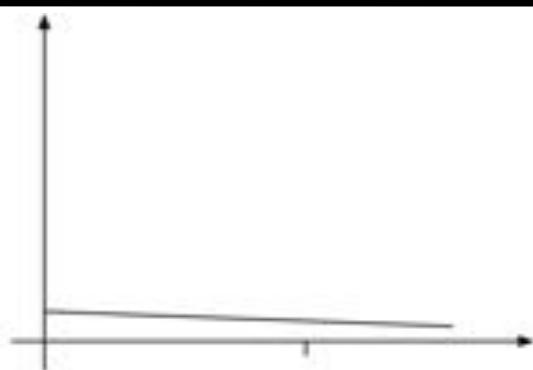
- Combinaison d'évènements
 - Perception de l'obstacle : bruit gaussien : $\text{gauss}(d-d_m)$
 - Perception d'un obstacle inattendu (personne ...) : bruit décroissant : $\exp(-d)$
 - Non perception des obstacles : bruit ponctuel de valeur max

Estimation des paramètres

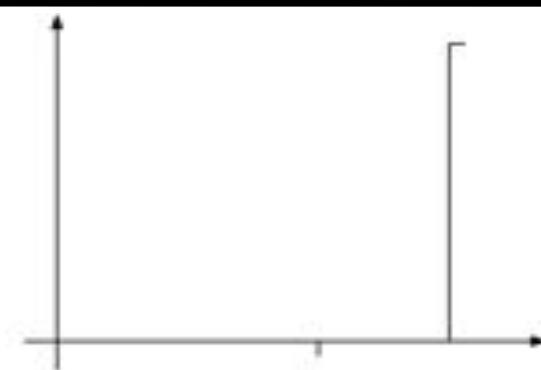
- Sur un ensemble de données
- Algorithme Expectation-Maximization
 - Associer les mesures à un évènement (plus probable)
 - Estimer paramètres des distributions élémentaires
 - Ré-associer



Perception de l'obstacle

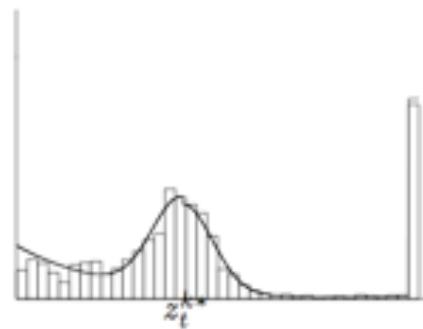


Perception d'un obstacle imprévu

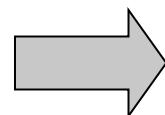
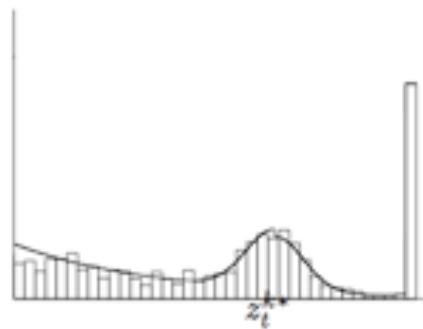
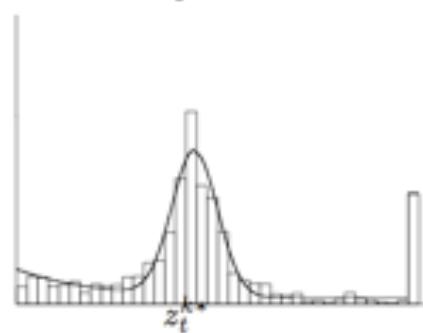


Retour de la valeur maximale

(a) Sonar data, plots for two different ranges



(b) Laser data, plots for two different ranges



Pour 1 scan

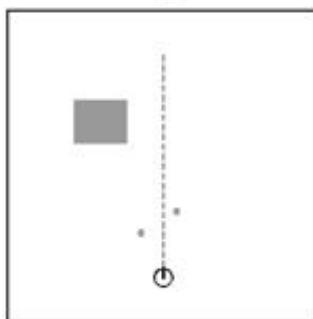
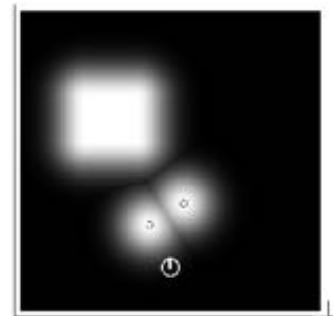
- Faisceaux supposés indépendants

$$P(S) = \prod_{i=0}^n P(s_i)$$

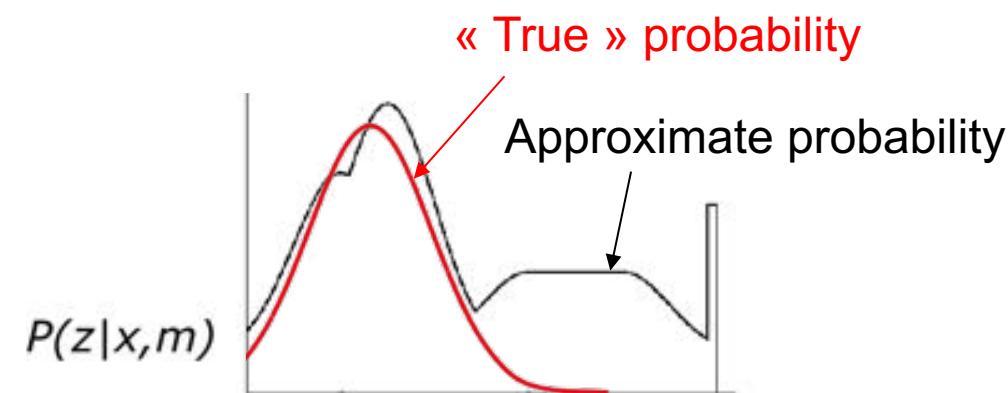
Rq : Approximation pour un faisceau

- Ne prendre en compte que le point mesuré
- probabilité = fct de la distance à l'obstacle le plus proche (pré-calcul)
- Modèle très approché, Ignore les occultations, mais correct près du max
- Utile si besoin de beaucoup d'évaluations (cf filtre particulaire)

Example

Map m 

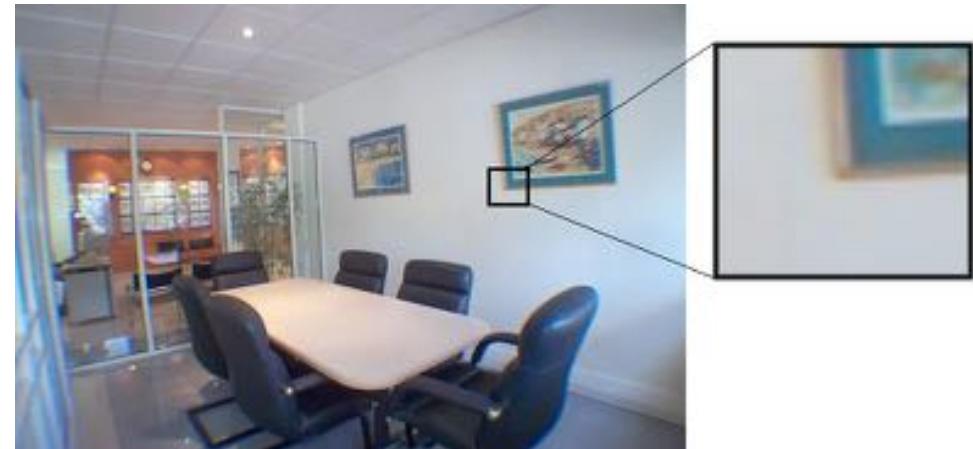
Likelihood field



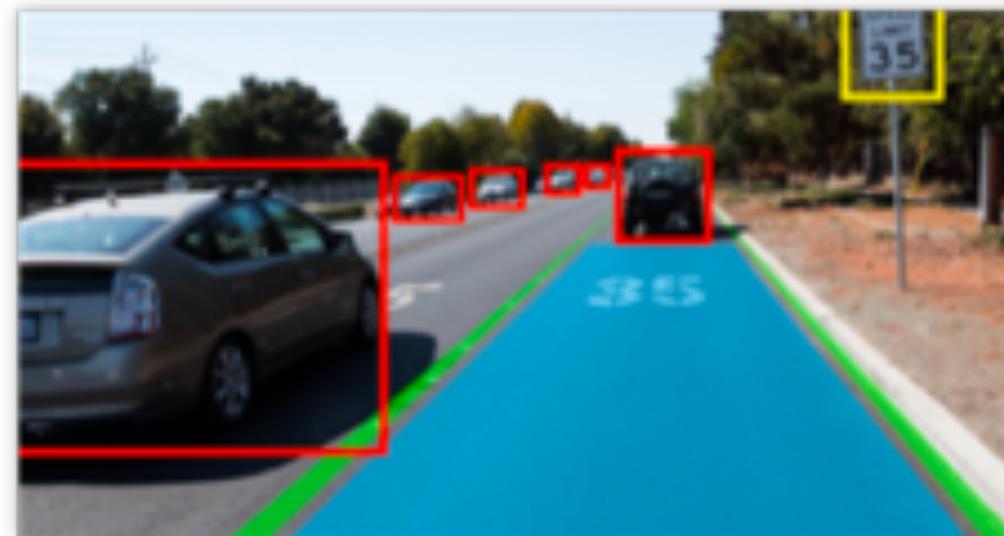
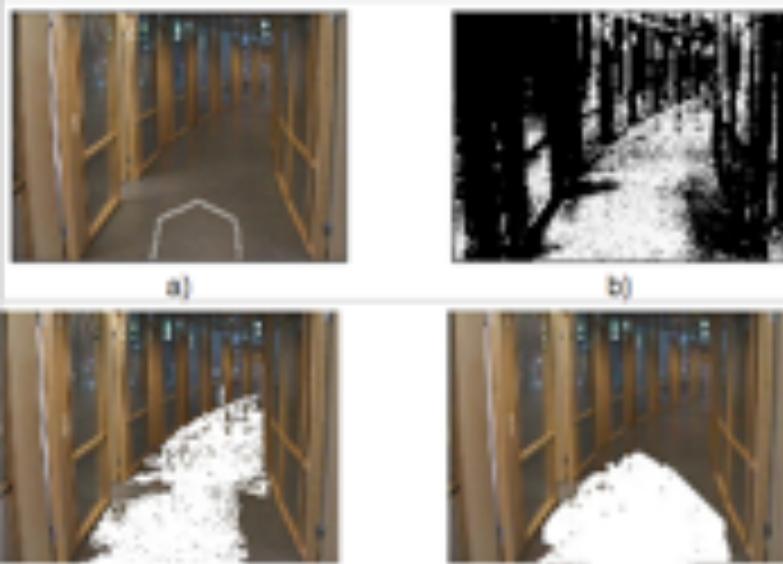
$$P(z|x,m)$$

Caméra simple

- Détection d'amers 2d ou 3d (points, segments, imagettes, objets ...)



- Détection du sol, de la route, de l'espace navigable ...



Caméra simple

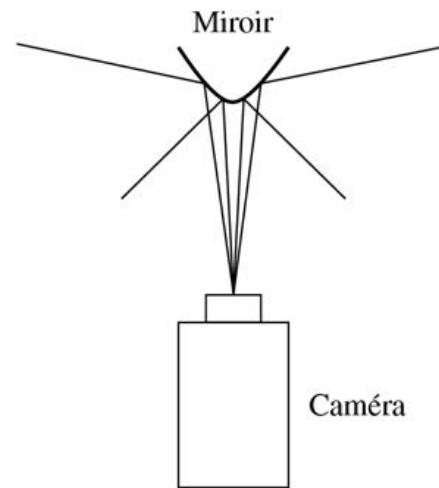
- Flot optique (odométrie, éviteme nt d'obstacles)



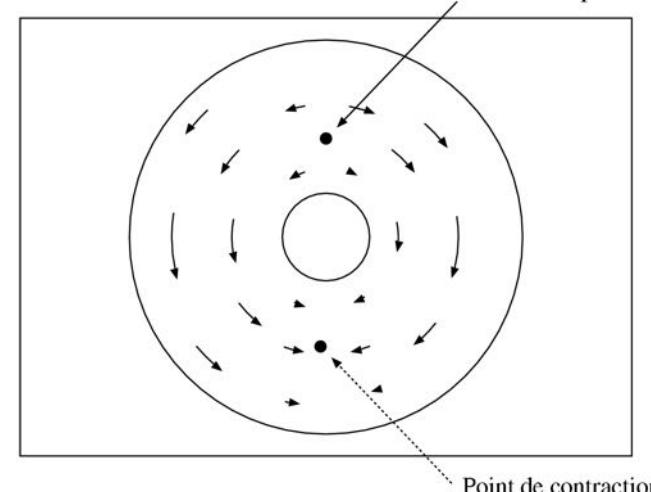
- Détection et suivi d'objets mobiles ...

Caméra panoramique

– Caractérisation de position

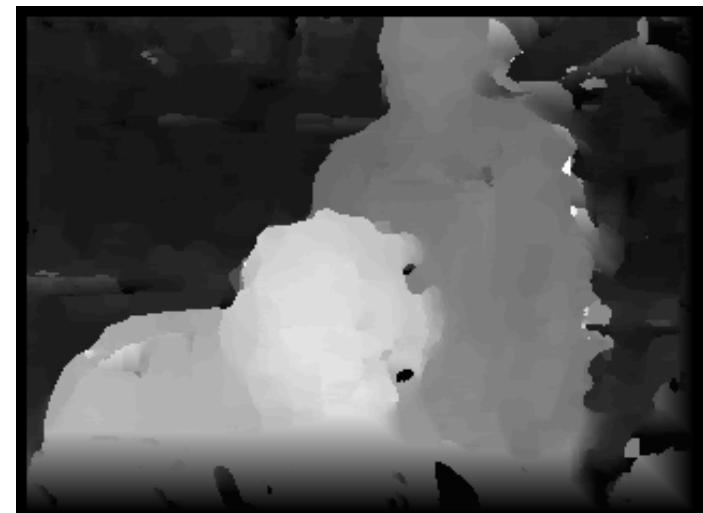


- Flot optique
 - Point de contraction et expansion visibles



Caméra stéréoscopiques

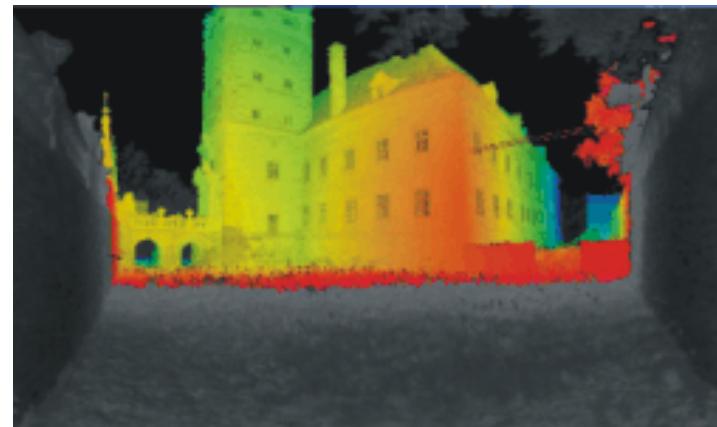
- Info 3D
- Portée limitée
- Besoin de textures (lumière)



Caméra en mouvement

- 'Structure from motion'
- Approche complexe
- Appariements difficiles
- Similarités avec le SLAM

Laser balayant sur 2 axes



Très bonne info 3D
Fréquence d 'acquisition faible
Mécanique importante (lourdeur, fragilité)

Laser multi-nappes



Faisceaux laser rotatifs
Vision à 360 degrés



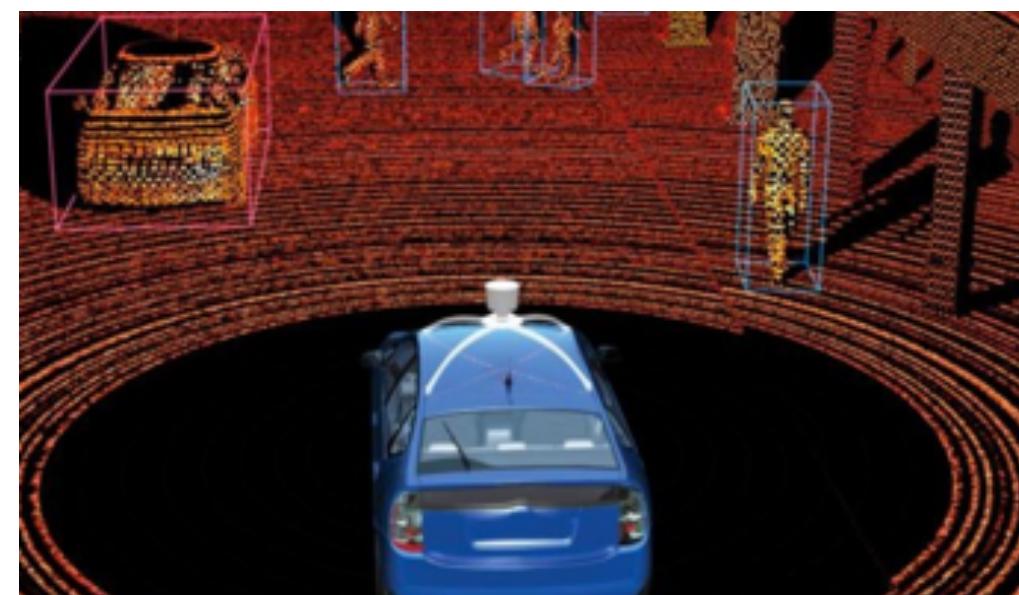
32



16



Velodyne 64

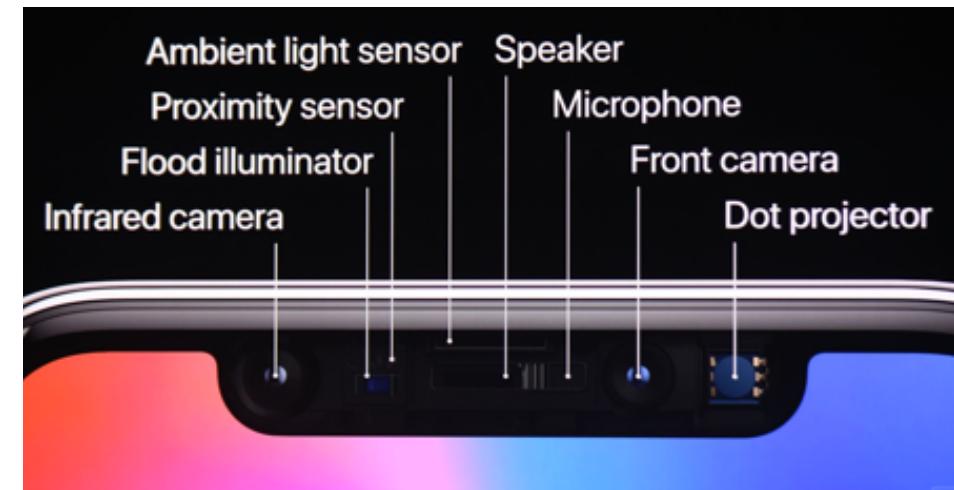


Triangulation en infrarouge + caméra couleur

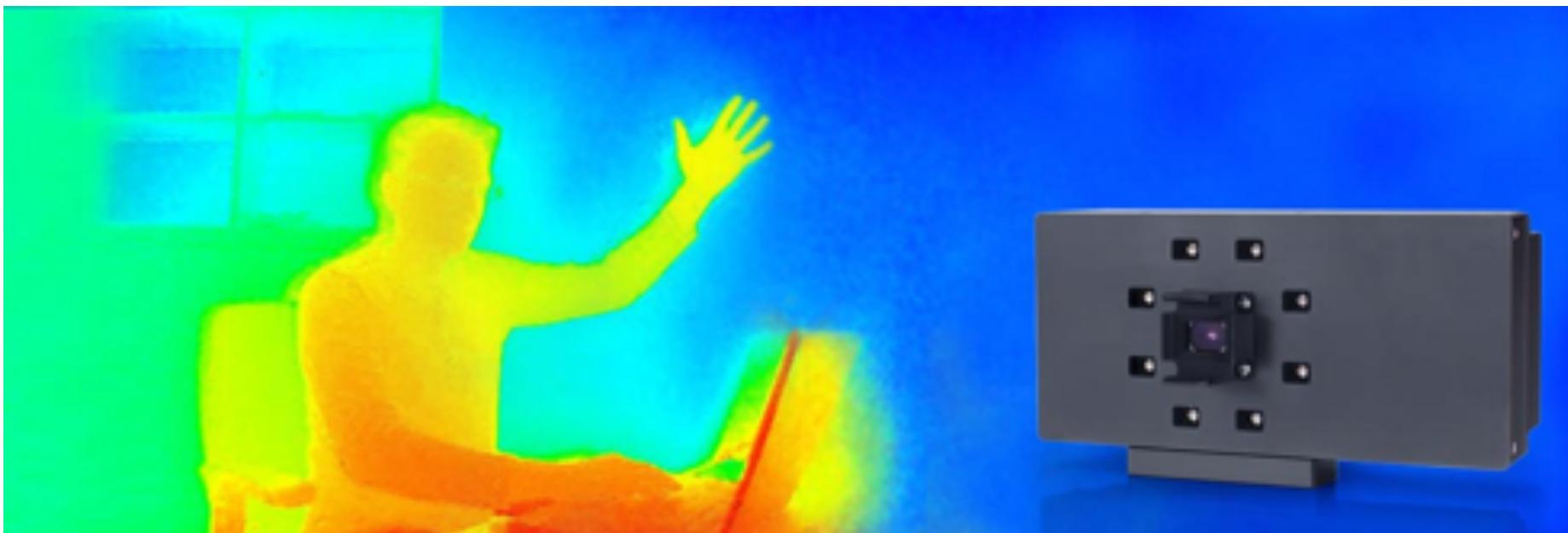


Acquisition dense à grande fréquence
Sensible au conditions d'éclairage
Mesure bruitée

Kinect v1, Xtion, iPhone X;



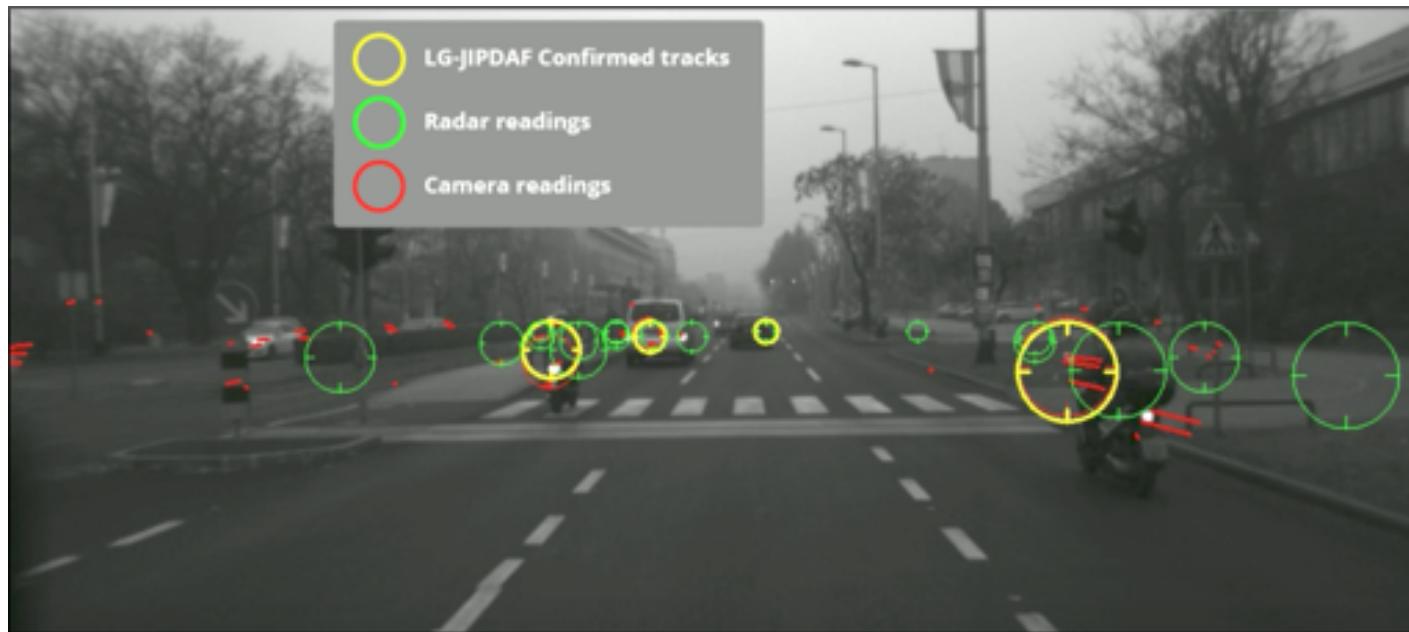
Caméra temps de vol



Kinect v2, Swiss Ranger
Acquisition dense à grande fréquence
Moins sensible au conditions d'éclairage
Plus coûteux que la triangulation IR

Radar FMCW

- Frequency Modulated Continuous Wave
- Bonne mesure de distance, vitesse
- Portée élevée ($> 250m$), peu sensible à la météo
- Résolution angulaire limitée, beaucoup de bruit
- Difficulté pour les objets non métalliques (piétons...)

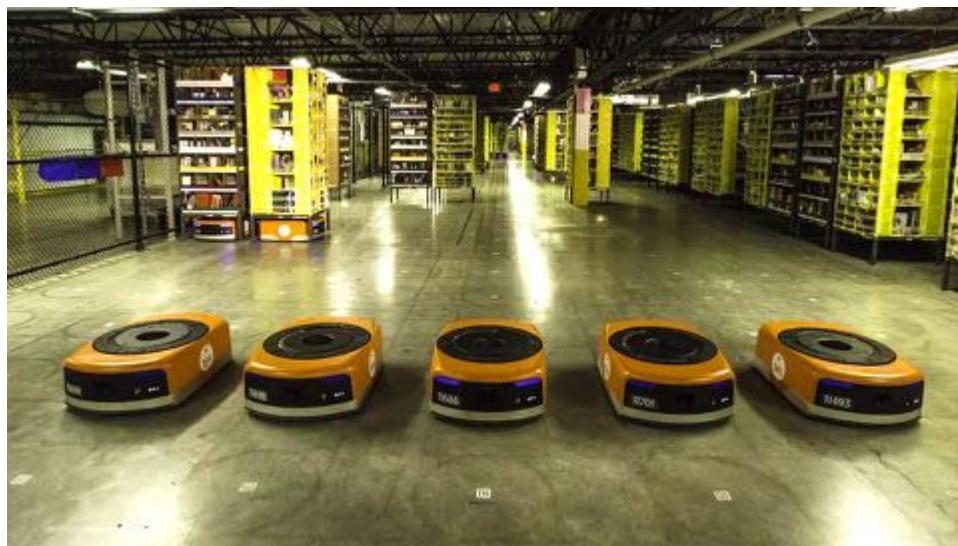


Capteurs de contact

- Arrêt d'urgence, évitemen t d'obstacles

Systèmes de balises

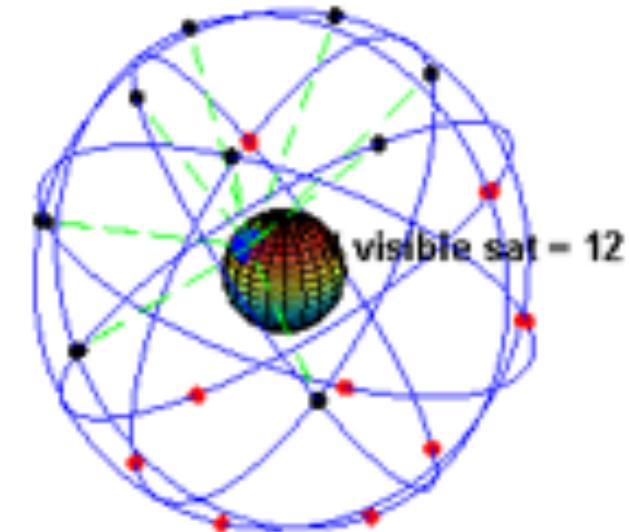
- **Préparation de l'environnement**
- Couleurs, codes barres, radio, infrarouge
- Utile dans certaines applications



Kiva Systems

GPS

- Système de balise global
- **Pas d'info sur l'environnement**
- Limitations en intérieur/urbain
- Précision typique
 - GPS ~ 6/8 m
 - DGPS ~ 1m

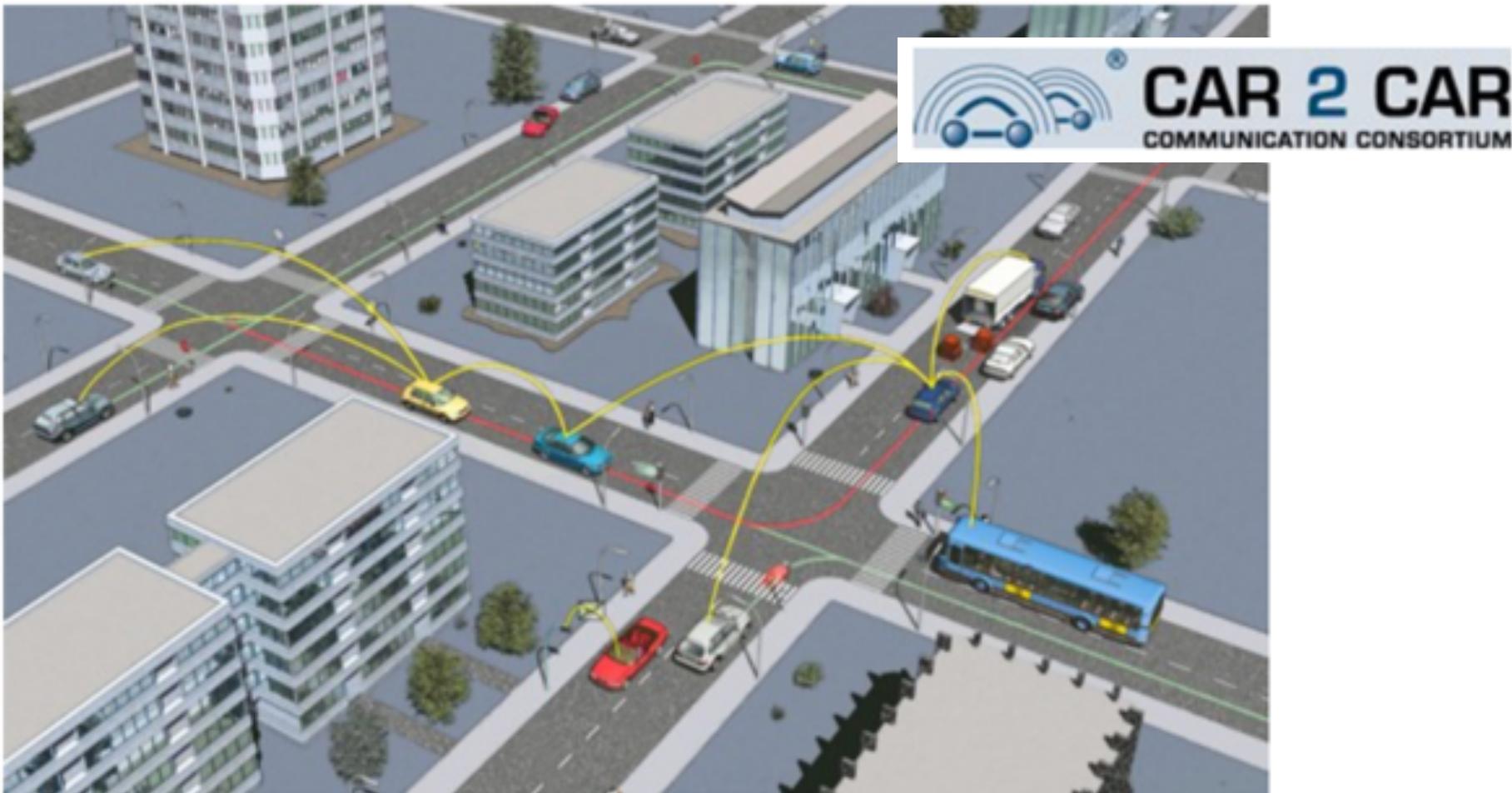


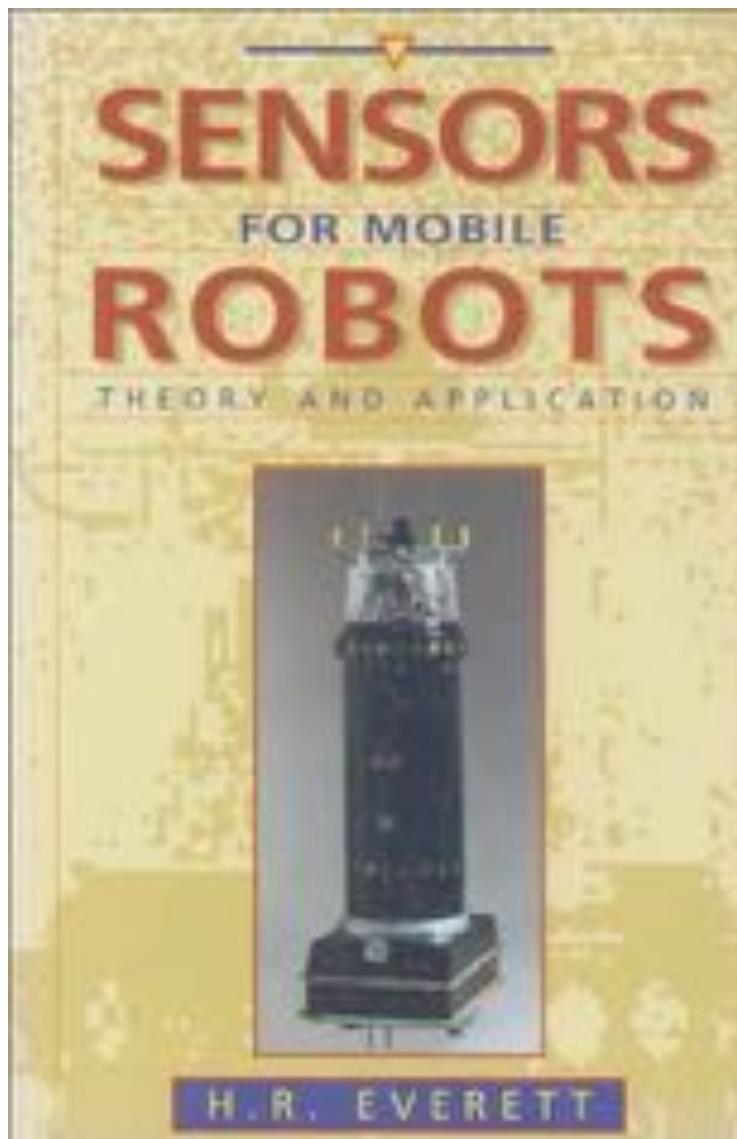
Nombreuses possibilités d'amélioration

- Corrélation avec carte
- Fusion avec inertie/vision...
- Inévitable en extérieur

V2X

- Informations venant de l'infrastructure / des autres usagers





**Sensors for Mobile Robots:
Theory and Application**
by H. R. Everett

Capteurs - En résumé

- Il existe deux grands types de capteurs:
 - Proprioceptifs qui mesurent les déplacements avec une erreur cumulative
 - Extéroceptifs qui mesurent la position avec des ambiguïtés indépendantes du temps
- Les centrales inertielles donnent généralement une bonne orientation, mais sont chères pour obtenir des informations de position
- Les télémètres laser sont les capteurs les plus utilisés pour la navigation en robotique, avec un faisceau en intérieur, plusieurs faisceaux en extérieur
- Les différents types de caméras fournissent beaucoup d'information mais demandent des traitements assez complexes, très poussés par le deep learning