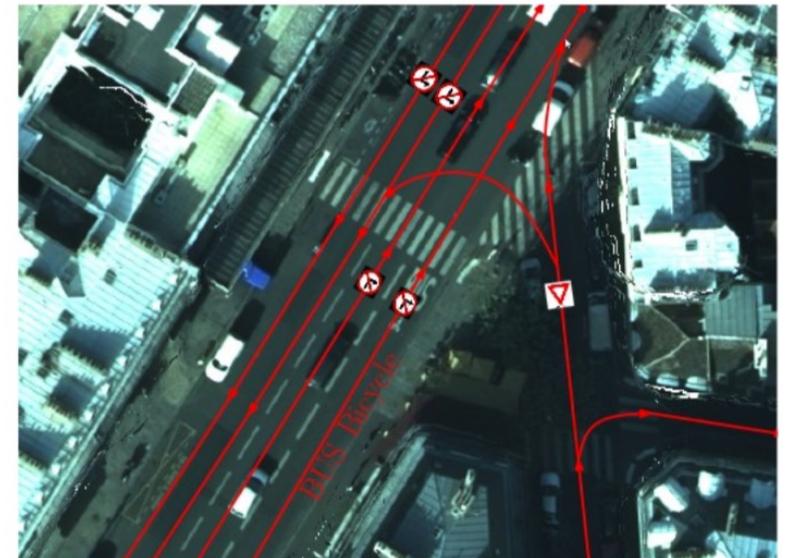


# ROB201 – Introduction à la robotique mobile

Cours 03 – Cartographie – David Filliat

# Rappel : stratégies de navigation

- Navigation réactive
  - Champ d'application restreint
  - Très rapide
  - Robuste (potentiellement ...)
  
- Navigation utilisant une carte
  - Construction d'un modèle de l'environnement
  - Planification de déplacements à long terme



# Navigation par carte

Carte :

Modèle interne de l'environnement

Mémorise *sous diverses formes* les informations **proprioceptives**  
et les **perceptions**

Permet de relier des perceptions à une position

- pour compenser la dérive de la proprioception
- pour résoudre les ambiguïtés perceptuelles / filtrer le bruit

# Navigation par carte

Cartographie  Localisation

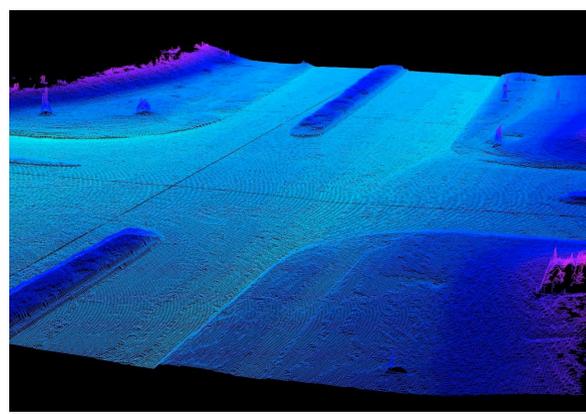
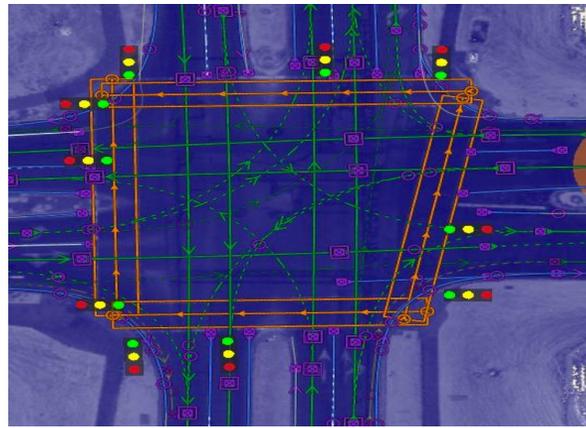


Robot autonome : Cartographie et localisation simultanée (**SLAM**)

Aujourd'hui : **cartographie uniquement** (position donnée par odométrie)

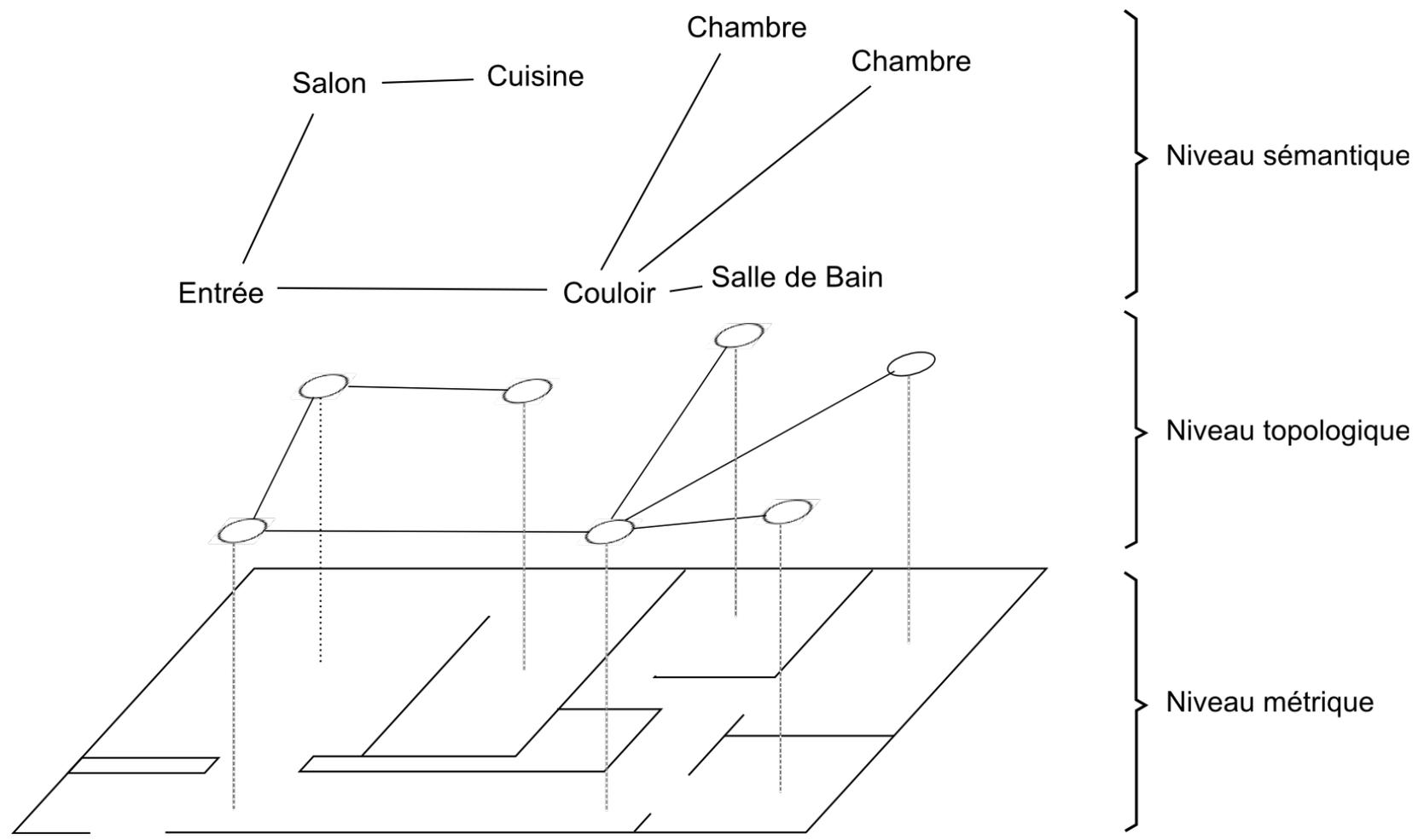
# Différents types de cartes

Véhicules autonomes



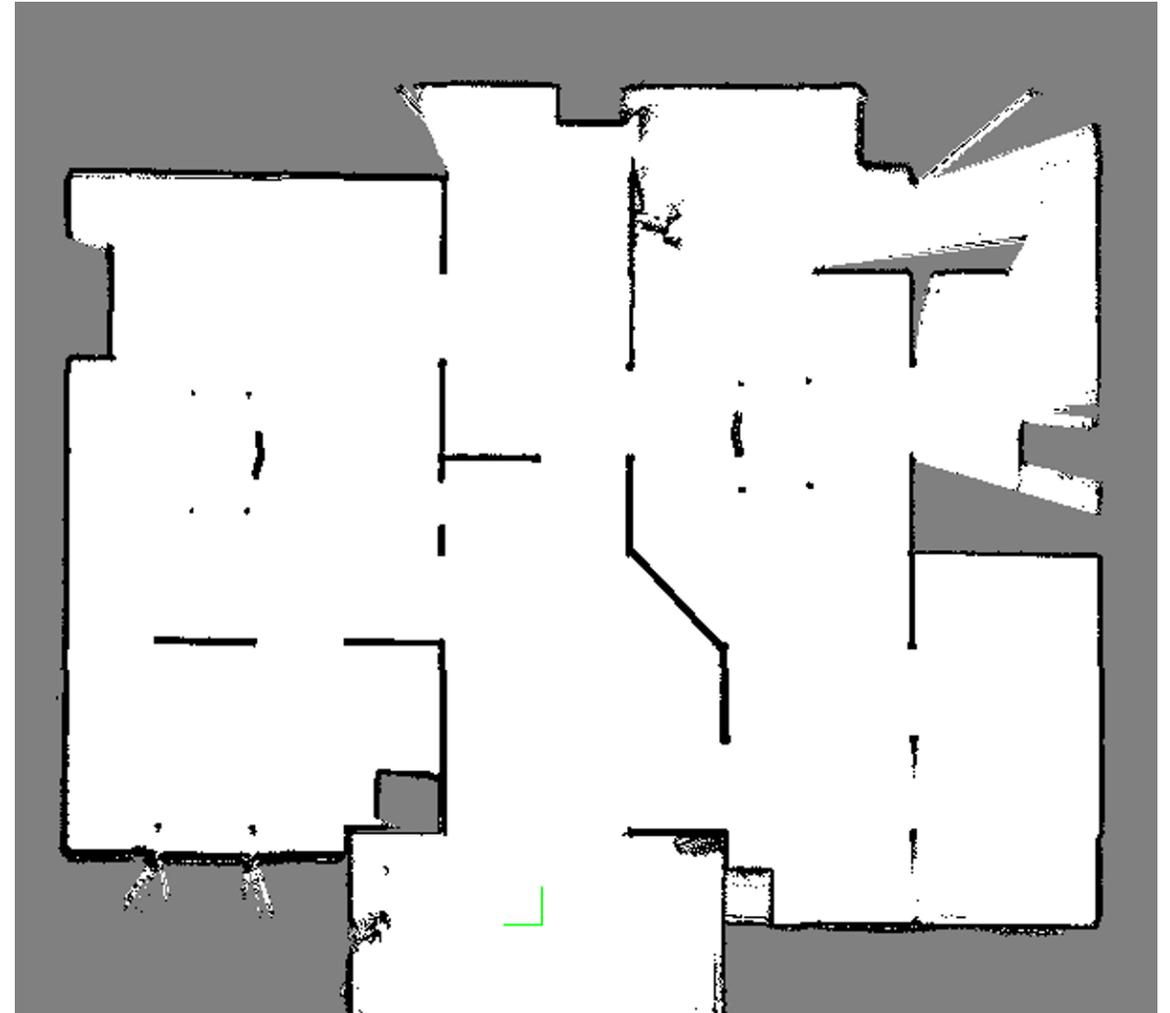
ROB201

Robotique



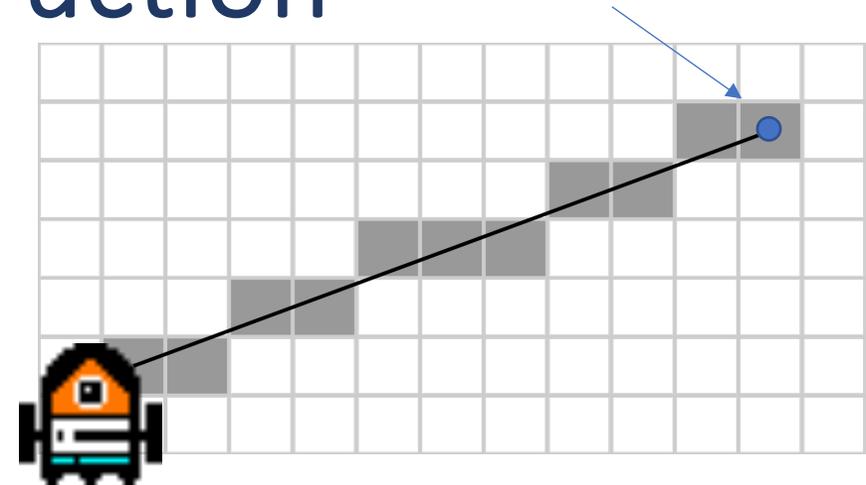
# Grille d'occupation

- Découpage régulier de l'espace
- Probabilité d'occupation dans chaque cellule
- Avantages
  - Mise a jour simple
  - Directement utilisable pour la planification
- Inconvénients
  - Volumineux en mémoire
  - Trop rigide pour des grandes cartes



# Grille d'occupation : construction

Une détection du LIDAR



- Hypothèse de **position connue**
  - Odométrie (bruitée) pour le moment
  - Algorithme de localisation ensuite
- Contenu de la carte :
  - $P(\text{occ}_i^T)$  : probabilité d'occupation de la cellule  $i$  par un obstacle, estimé à l'instant  $T$  avec toutes les informations jusqu'à cet instant
- Information venant des données capteur  $s_T$  à l'instant  $T$  :
  - $P(\text{occ}_i | s_T)$  probabilité d'occupation de la cellule  $i$  perçue par le capteur en fonction de la donnée du capteur  $s_T$  : **modèle probabiliste du capteur**
  - Disponible uniquement pour les cellules dans le champ de vision du capteur

# Grille d'occupation : construction

Mise à jour de la probabilité d'une cellule dans le champ du capteur :

- Objectif : calculer  $P(occ_i^T) = P(occ_i | s_1, \dots, s_T)$
- En fonction de  $P(occ_i^{T-1}) = P(occ_i | s_1, \dots, s_{T-1})$  et  $P(occ_i | s_T)$
- Utilisation de la loi de Bayes (permet d'inverser les proba conditionnelles)
- Rappel : à partir de  $P(X, Y) = P(X | Y)P(Y) = P(Y | X)P(X) \Rightarrow P(X | Y) = \frac{P(Y | X)P(X)}{P(Y)}$

# Grille d'occupation : construction

$$P(\text{occ}_i^T) = P(\overbrace{\text{occ}_i | s_1, \dots, s_T}^X)$$

Y

$$P(\text{occ}_i^T) = \frac{P(s_T | \text{occ}_i, s_1, \dots, s_{T-1}) P(\text{occ}_i | s_1, \dots, s_{T-1})}{P(s_T | s_1, \dots, s_{T-1})}$$

Bayes

$$P(\text{occ}_i^T) = \frac{P(s_T | \text{occ}_i) P(\text{occ}_i^{T-1})}{P(s_T | s_1, \dots, s_{T-1})}$$

Environnement Statique

$$P(\text{occ}_i^T) = \frac{P(\text{occ}_i | s_T) \underline{P(s_T)}}{P(\text{occ}_i)} \frac{P(\text{occ}_i^{T-1})}{\underline{P(s_T | s_1, \dots, s_{T-1})}}$$

Bayes

Difficile à estimer ...

# Grille d'occupation : construction

$$P(o\bar{c}c_i^T) = \frac{P(o\bar{c}c_i|s_T)P(s_T)}{P(o\bar{c}c_i)} \frac{P(o\bar{c}c_i^{T-1})}{P(s_T|s_1, \dots, s_{T-1})}$$

Même dérivation avec  $\bar{o}c\bar{c} = 1 - occ$

$$\frac{P(occ_i^T)}{P(o\bar{c}c_i^T)} = \frac{P(occ_i|s_T)}{P(o\bar{c}c_i|s_T)} \frac{P(o\bar{c}c_i^{T-1})}{P(occ_i^{T-1})} \frac{P(o\bar{c}c_i)}{P(occ_i)}$$

Rapport des deux expressions

$$\frac{P(occ_i^T)}{1 - P(occ_i^T)} = \frac{P(occ_i|s_T)}{1 - P(occ_i|s_T)} \frac{1 - P(occ_i^{T-1})}{P(occ_i^{T-1})} \frac{1 - P(occ_i)}{P(occ_i)}$$

Réécriture avec  $\bar{o}c\bar{c} = 1 - occ$

$$l_i^T = \log \left( \frac{P(occ_i|s_T)}{1 - P(occ_i|s_T)} \right) + \log \left( \frac{1 - P(occ_i)}{P(occ_i)} \right) + l_i^{T-1} \quad \text{Passage au log}$$

# Grille d'occupation : construction

Travail avec le log :  $l_i^T = \log \left( \frac{P(occ_i^T)}{1 - P(occ_i^T)} \right)$

p	log(p/(1-p))
1,00E-08	-7,999999996
0,1	-0,954242509
0,5	0
0,9	0,954242509
0,99	1,995635195

- Permet une mise a jour légère (addition)
- Permet de stocker des probabilité faibles avec moins d'approximations

$$l_i^T = \log \left( \frac{P(occ_i|s_T)}{1 - P(occ_i|s_T)} \right) + \log \left( \frac{1 - P(occ_i)}{P(occ_i)} \right) + l_i^{T-1}$$

Modèle de capteur

Probabilité a priori (initialisation)  
P = 0,5 => log() = 0

Valeur précédente

# Grille d'occupation : modèle de capteur

- Modèle probabiliste



- Capteur « idéal » :



Probabilité d'occupation le long de la ligne de vue

- Modèle simple



- Modèle intermédiaire



- Modèle Gaussien



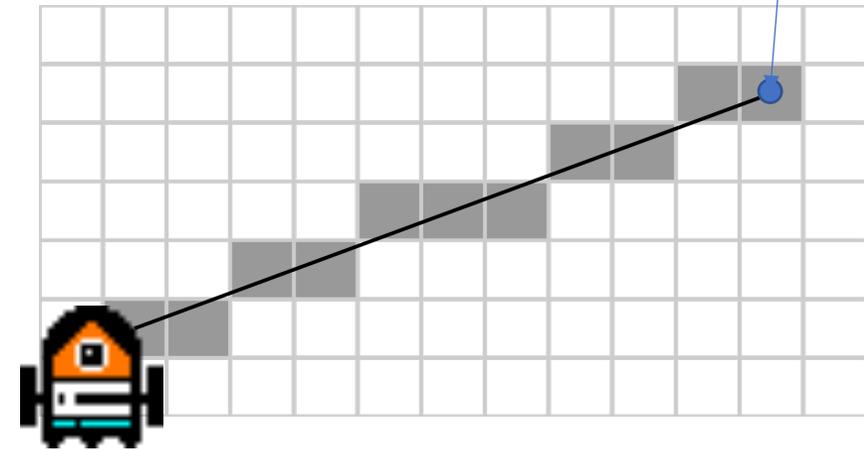
- Rq : Ajouter du bruit permet de prendre en compte les erreurs de localisation



# Grille d'occupation : portée du capteur

Détection du LIDAR

- Cellules couvertes par une détection
  - Cellule du point détecté
  - Ligne entre le capteur et le point
  - Algorithme de Bresenham
    - Trace la ligne la plus proche de l'idéal
    - Uniquement calcul entier
    - Algo très rapide
    - Fourni dans le code

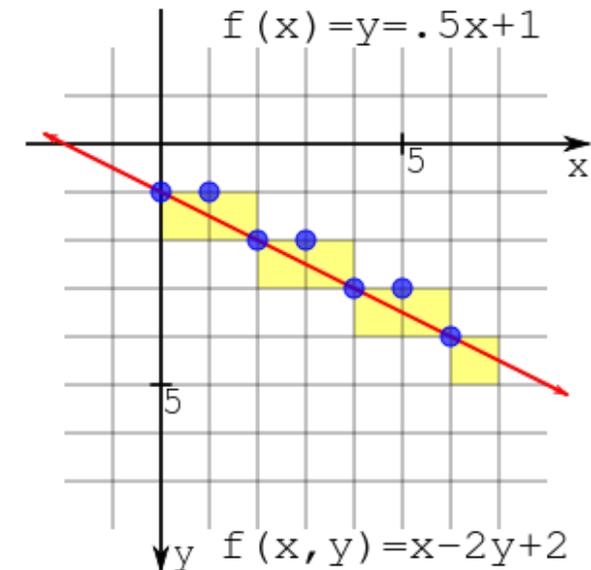


```

plotLine(x0, y0, x1, y1)
  dx = x1 - x0
  dy = y1 - y0
  D = 2*dy - dx
  y = y0

  for x from x0 to x1
    plot(x, y)
    if D > 0
      y = y + 1
      D = D - 2*dx
    end if
    D = D + 2*dy
  end for

```



# Notre algorithme de cartographie

- Initialiser la grille d'occupation (taille, résolution, mémoire)
- A chaque mesure
  - Calcul de la position absolue d'une détection, en fct de la position du robot
  - Calcul de la proba de chaque cellule dans le champ du capteur en fonction du modèle de capteur
  - Mise à jour de la probabilité des cellules dans le champ du capteur

$$l_i^T = \log \left( \frac{P(\text{occ}_i | s_T)}{1 - P(\text{occ}_i | s_T)} \right) + l_i^{T-1}$$

- Si besoin :  $p(\text{occ}_i^T) = 1 - \frac{1}{e^{l_i^T}}$

# TP 03

- La classe TinySlam est fournie, avec
  - Constructeur
  - Fonctions AddLine, AddPoint, \_conv\_world\_to\_map, display, display2, save
- Ecrire la fonction update\_map :
  - Conversion polaire local du laser/ cartésien absolu dans la carte
  - Update des points sur la ligne avec proba faible
  - Update des points cibles avec proba forte
  - Seuil des probas
- Test de cartographe à partir de la position de l'odométrie (avec dérive)
- Extension possible : Modèle probabiliste plus complexe

