

Université de Rennes 1  
master Électronique et Télécommunications  
spécialité SISEA (Signal, Image, Systèmes Embarqués, Automatique), 2011–2012

## Filtrage Particulaire : Démonstrations

François Le Gland  
INRIA Rennes

<http://www.irisa.fr/aspi/legland/rennes-1/>

## Exemples (et démos)

- systèmes non-linéaires / non-gaussiens
- recalage altimétrique de navigation inertielle
- suivi visuel par histogramme de couleur
- poursuite d'une cible furtive
- contraintes et occultations

---

**systèmes non-linéaires / non-gaussiens**

► évolution de l'état *caché*

$$X_k = f_k(X_{k-1}, W_k) \quad \text{avec} \quad W_k \sim p_k(dw)$$

il suffit de savoir *simuler*

$$X_0 \sim \mu_0(dx) \quad \text{et} \quad W_k \sim p_k(dw)$$

► relation entre *observation* et état *caché*

$$Y_k = h_k(X_k) + V_k \quad \text{avec} \quad V_k \sim q_k(v) dv$$

il suffit de *connaître* / savoir *calculer* la fonction de *vraisemblance*

$$g_k(x') = q_k(Y_k - h_k(x'))$$

*cohérence* entre un état *possible* et l'observation *réelle*, e.g.

$$g_k(x') \propto \exp\left\{-\frac{1}{2} |Y_k - h_k(x')|^2\right\}$$

► objectif : estimer récursivement l'état *caché*  $X_k$  au vu des *observations*  $Y_{0:k}$

## \_\_\_\_\_ systèmes non-linéaires / non-gaussiens : filtrage particulaire

approximation numérique du filtre bayésien

$$\mu_k(dx) = \mathbb{P}[X_k \in dx \mid Y_{0:k}]$$

par la distribution empirique pondérée

$$\mu_k^N = \sum_{i=1}^N w_k^i \delta_{\xi_k^i} \quad \text{avec} \quad \sum_{i=1}^N w_k^i = 1$$

associée à un système de  $N$  particules, caractérisé par

- les *positions*  $(\xi_k^1 \cdots \xi_k^N)$
- et les *poids* positifs  $(w_k^1 \cdots w_k^N)$

il suffit de décrire comment poids et positions évoluent d'un pas de temps à l'autre

algorithme SIR (*sampling with importance resampling*) : version de base

- rééchantillonnage (sélection) : indépendamment pour tout  $i = 1 \dots N$   
choix d'un individu  $\widehat{\xi}_{k-1}^i$  au sein de la population  $(\xi_{k-1}^1, \dots, \xi_{k-1}^N)$   
en fonction des poids  $(w_{k-1}^1, \dots, w_{k-1}^N)$

- prédiction (mutation) : indépendamment pour tout  $i = 1 \dots N$

$$\xi_k^i = f_k(\widehat{\xi}_{k-1}^i, W_k^i) \quad \text{avec} \quad W_k^i \sim p_k(dw)$$

- correction (pondération) : pour tout  $i = 1 \dots N$

$$w_k^i = q_k(Y_k - h_k(\xi_k^i)) / \left[ \sum_{j=1}^N q_k(Y_k - h_k(\xi_k^j)) \right]$$

si on n'effectue pas de rééchantillonnage

algorithme SIS (*sequential importance sampling*)

- prédiction : indépendamment pour tout  $i = 1 \dots N$

$$\xi_k^i = f_k(\xi_{k-1}^i, W_k^i) \quad \text{avec} \quad W_k^i \sim p_k(dw)$$

- correction : pour tout  $i = 1 \dots N$

$$w_k^i = w_{k-1}^i q_k(Y_k - h_k(\xi_k^i)) / \left[ \sum_{j=1}^N w_{k-1}^j q_k(Y_k - h_k(\xi_k^j)) \right]$$

utilisation différente des poids dans SIR et dans SIS

## 1er exemple : recalage altimétrique de navigation inertielle

crédit : François Le Gland (INRIA, Rennes)

démo originale dûe à Fabien Campillo (INRIA, Montpellier)

- mesures inertielles
  - accélération linéaire et vitesse angulaire de l'avion (centrale inertielle)
- par intégration : estimation inertielle de position et vitesse de l'avion
- modèle a priori pour l'évolution de l'erreur d'estimation inertielle
- mesure altimétriques bruitées
  - de l'altitude de l'avion par rapport au niveau de la mer (baro–altimètre)
  - de l'altitude de l'avion au-dessus du relief (radio–altimètre)
- par différence : mesure bruitée de la hauteur du relief à la verticale de l'avion
- corrélation avec une carte numérique (MNT, modèle numérique de terrain)  
donnant la hauteur du relief en toute position horizontale

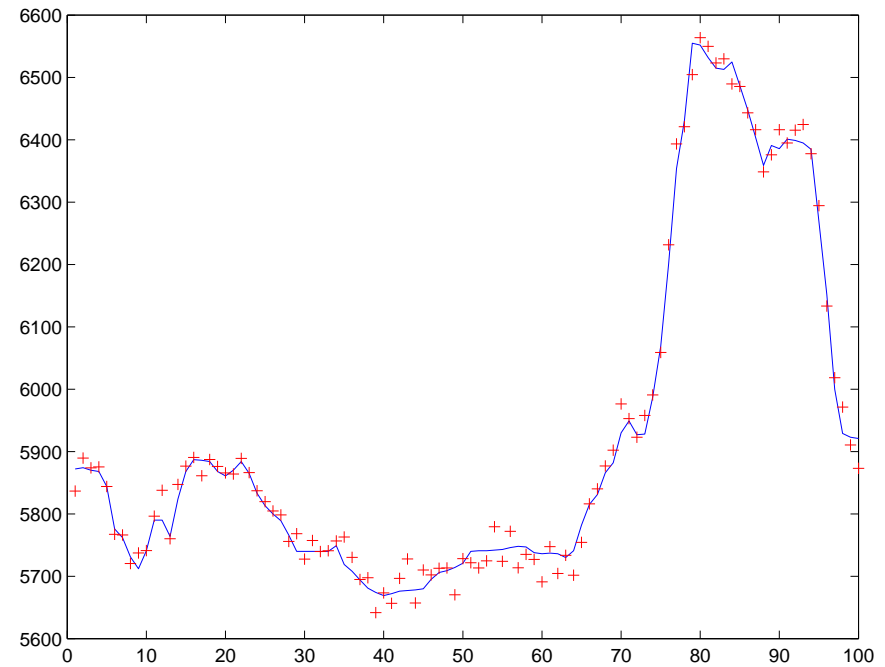
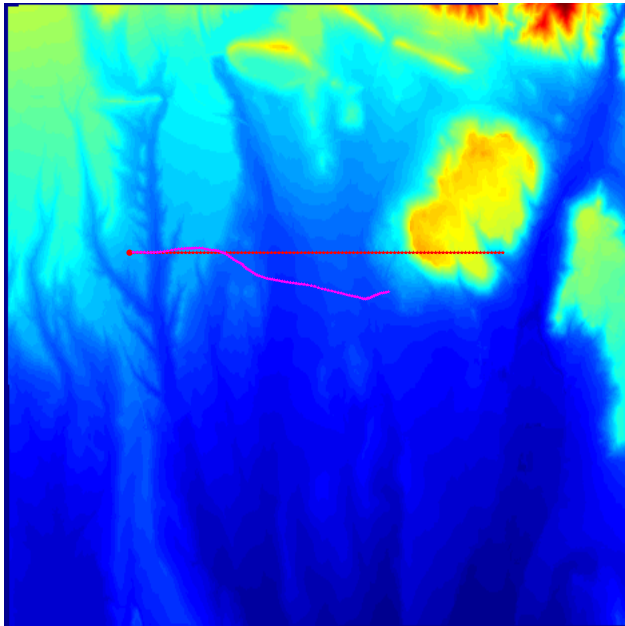


Figure 1: Trajectoire réelle et intégration des mesures inertielles bruitées — Profil survolé et mesures altimétriques bruitées

trajectoire réelle : mouvement rectiligne uniforme

trajectoire estimée par intégration des mesures inertielle seules

variable d'état  $X_k$  : écart entre position et vitesse et leurs estimations inertielles

modèle d'état : erreur de navigation inertielle

observation  $Y_k$  : hauteur du terrain

$$Y_k = h(X_k) + V_k$$

mesurée par différence entre

- altitude de l'avion par rapport au niveau de la mer
- altitude de l'avion par rapport au terrain

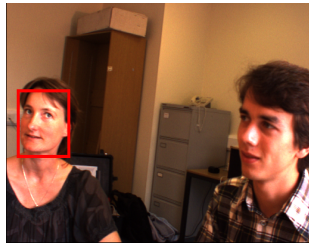
relation avec l'état caché  $X_k$  : hauteur du relief (lue sur la carte) à la verticale de la position de l'avion

→ démo

## 2ème exemple : suivi visuel par histogramme de couleur

crédit : Élise Arnaud (UJF et INRIA, Grenoble)

à la lecture de la première image de la séquence, l'utilisateur sélectionne une zone de l'image, et on souhaite effectuer le suivi automatique de cette zone sur l'ensemble de la séquence



initialisation

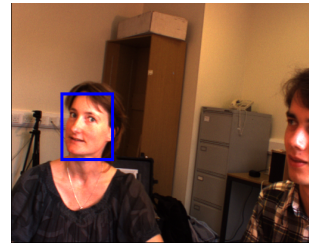


image 2

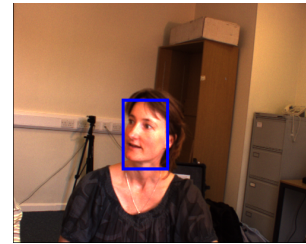


image 3

...

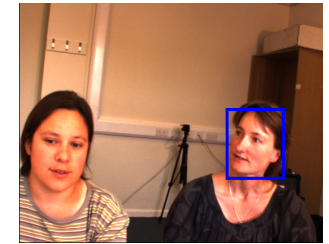


image 10

Figure 2: Suivi d'un visage dans une séquence de 10 images

hypothèse : l'histogramme de couleur de la zone à suivre est constant le long de la séquence

la zone initiale est caractérisée par un histogramme de couleur (histogramme de référence), construit sur les  $Nb$  couleurs les plus représentatives de cette zone

nombre normalisé  $q^*(n)$  de pixels de la zone initiale, dont la couleur la plus proche est la couleur  $n = 1 \dots Nb$

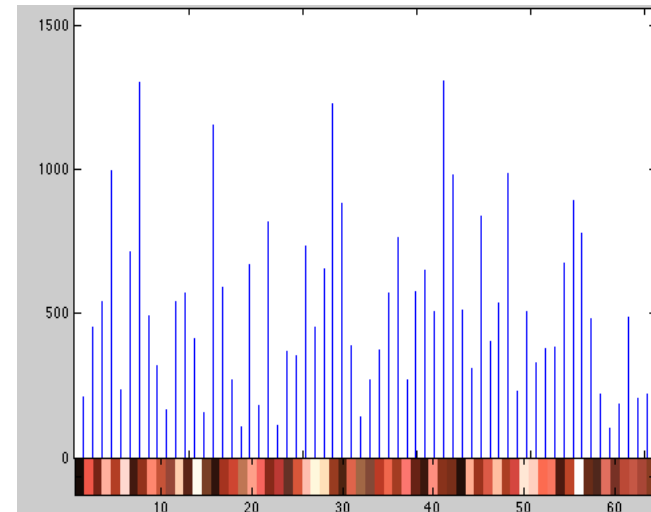


Figure 3: Zone initiale et histogramme de couleur associé pour  $Nb=64$

pour évaluer la pertinence d'une zone de test dans la  $k$ -ème image de la séquence, caractérisée par la position (exprimée en pixels) de son centre  $x$ , on calcule son histogramme de couleur

nombre normalisé  $q_k(x, n)$  de pixels de la zone de test centrée en  $x$  dans la  $k$ -ème image de la séquence, dont la couleur la plus proche est la couleur  $n = 1 \dots Nb$

et on définit une mesure de distance (distance de Hellinger) entre les deux histogrammes de couleur normalisés

$$D(q^*, q_k(x)) = 1 - \sum_{n=1}^{Nb} \sqrt{q^*(n) q_k(x, n)}$$

variable d'état  $X_k$  : position (dans la  $k$ -ème image de la séquence)  
du centre de la zone à suivre

modèle d'état : marche aléatoire

observation  $Y_k$  :  $k$ -ème image de la séquence

pondération de la zone de test centrée en  $x$  dans la  $k$ -ème image de la séquence

$$\exp\{-\lambda D(q^*, q_k(x))\}$$

→ démo

---

## 3ème exemple : poursuite d'une cible furtive

crédit : François Le Gland (INRIA, Rennes)

image radar : tableau rectangulaire de pixels, où l'intensité de l'écho recueilli en un point est codée par un niveau de gris allant du plus foncé (écho de faible intensité) au plus clair (écho de forte intensité)

en principe, si une cible est présente dans la scène 3D visée, elle apparaîtra dans le plan-image sous la forme d'un pixel plus clair que les autres pixels de l'image pour détecter (et localiser) la cible, il suffit donc de rechercher dans l'image le pixel le plus clair, c'est-à-dire de plus forte intensité, ou plus simplement d'utiliser une méthode de seuillage

en répétant cette opération pour chaque image successivement on peut ainsi détecter d'abord, puis suivre, la cible dans une séquence d'images

SNR élevé : détection par seuillage sur chaque image séparément, puis suivi

vs. SNR faible : suivi avant (voire même sans) détection

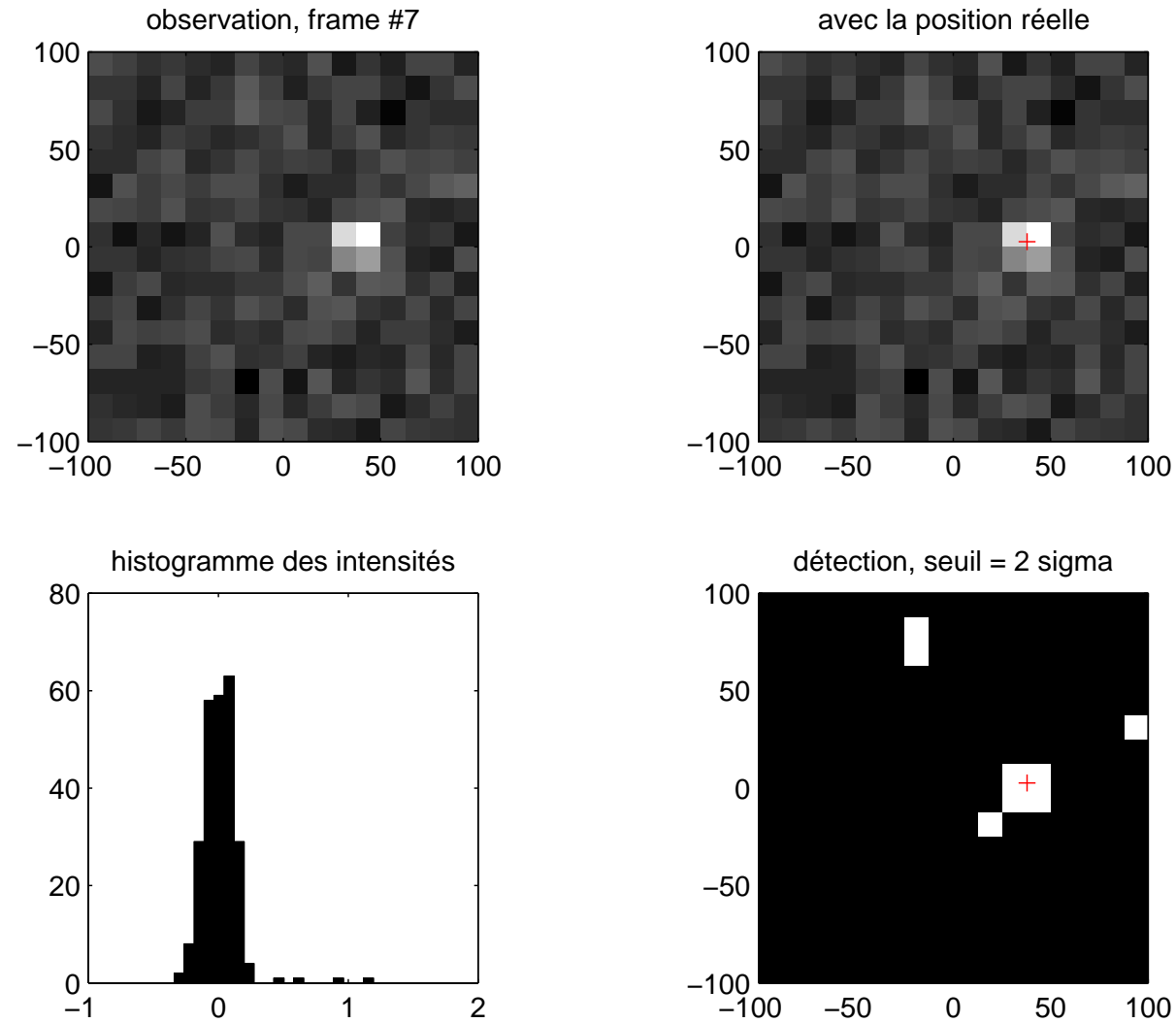


Figure 4: Image observée, position réelle, histogramme, détection (cible visible)

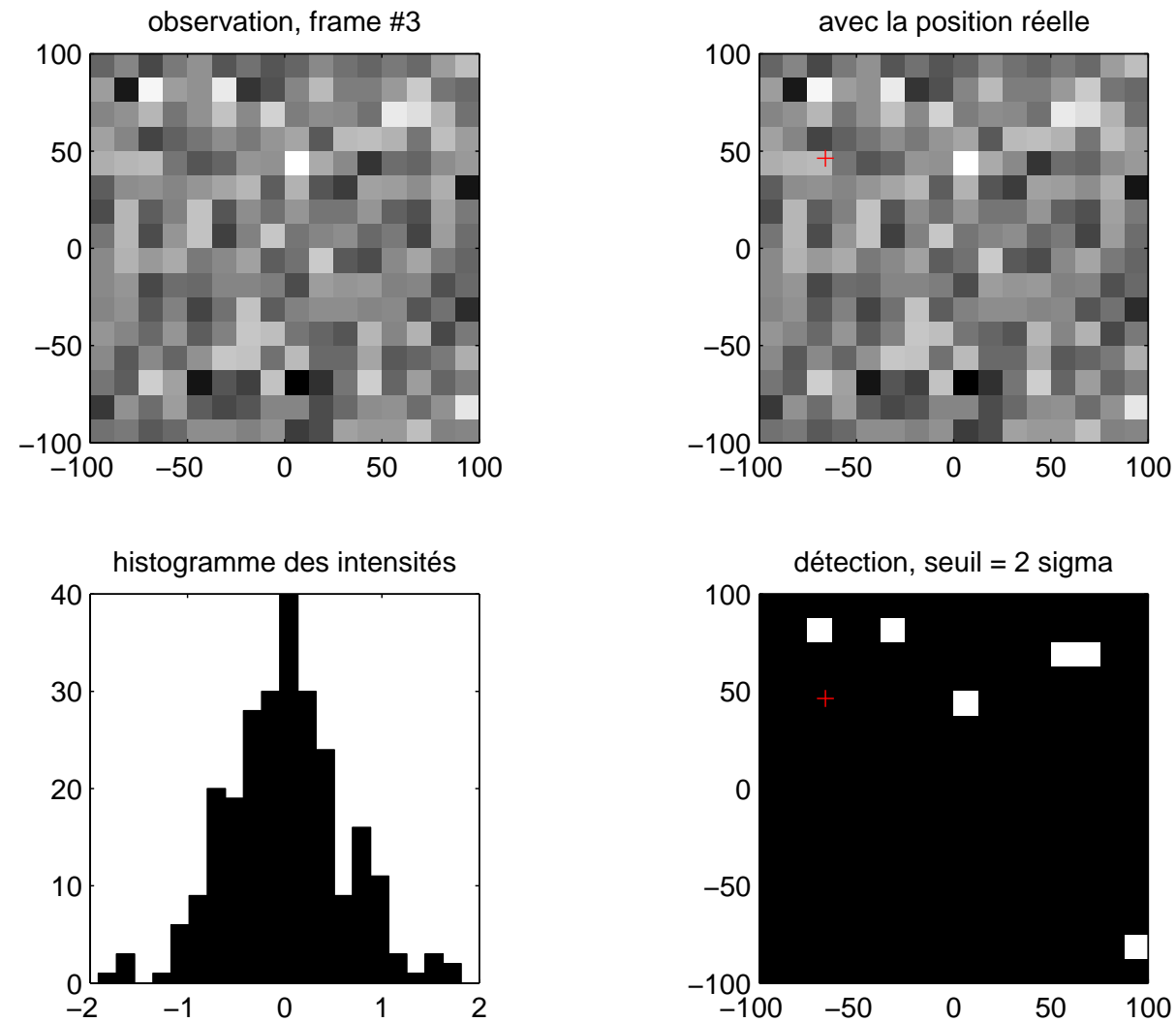


Figure 5: Image observée, position réelle, histogramme, détection (cible furtive)

trajectoire réelle : mouvement rectiligne uniforme

variable d'état  $X_k$  : position et vitesse de la cible

modèle d'état : mouvement à vitesse constante

permet de rechercher un mouvement cohérent entre des images successives

observation  $Y_k$  :  $k$ -ème image de la séquence

relation avec l'état caché  $X_k$  : intensité en chaque pixel due

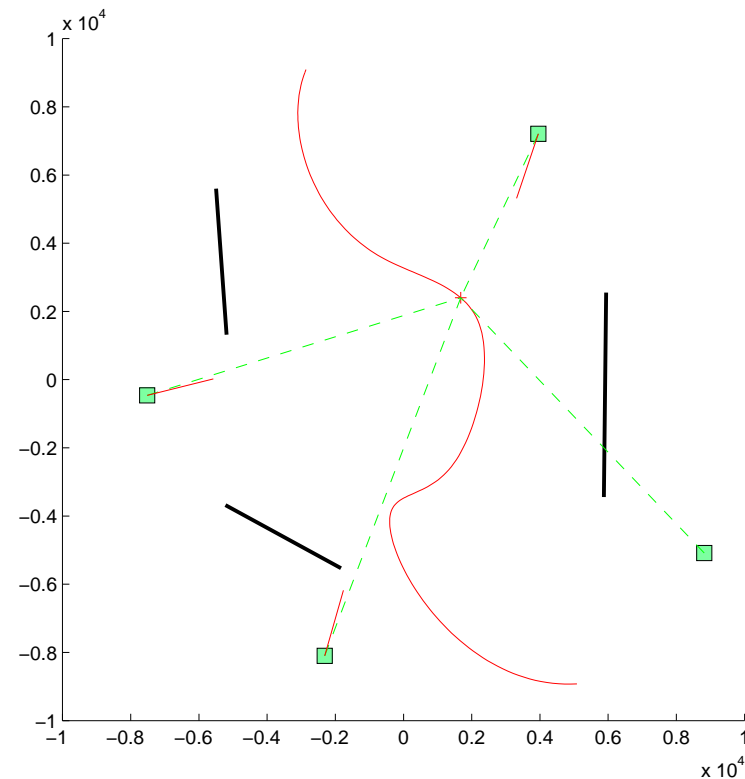
- au bruit seul
- ou au bruit et à la cible, si celle-ci est présente dans la région de l'espace physique correspondant à ce pixel précis dans l'espace-image

→ démo

## 4ème exemple : contraintes et occultations

crédit : Fabien Campillo (INRIA, Montpellier)

démo originale dûe à Simon Maskell (QinetiQ)



mesures angulaires bruitées fournies par  $S$  stations de positions connues  
occultations dues à la présence d'obstacles (représentés par des segments)

trajectoire réelle : arbitraire (définie par l'utilisateur)

variable d'état  $X_k$  : position

modèle d'état : marche aléatoire

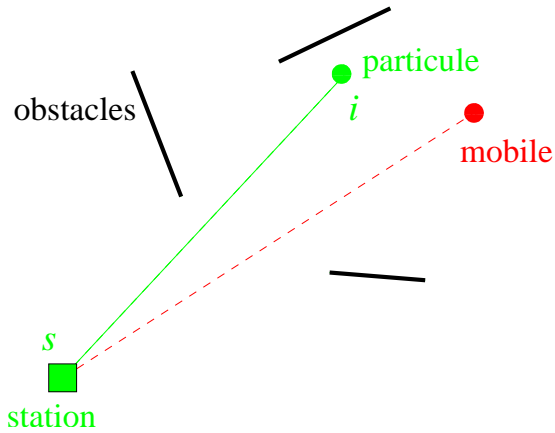
pour chaque station  $s = 1 \dots S$

- si la station  $s$  *ne voit pas le mobile*  $\rightarrow$  pas d'observation
- si la station  $s$  *voit le mobile*  $\rightarrow$  mesure angulaire bruitée  $Y_k^s$

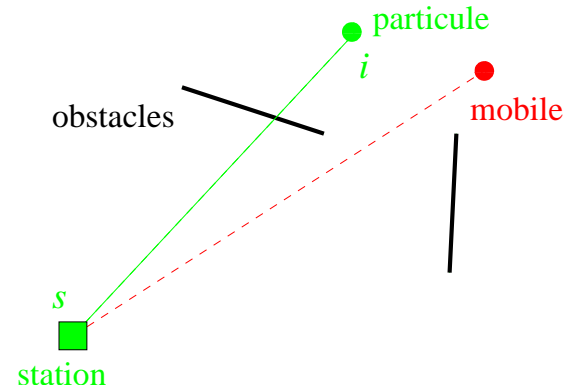
vraisemblance complète : produit des vraisemblances associées à chaque station séparément

pour chaque station  $s = 1 \dots N$

cas 1 : la station voit le mobile



la station voit la particule



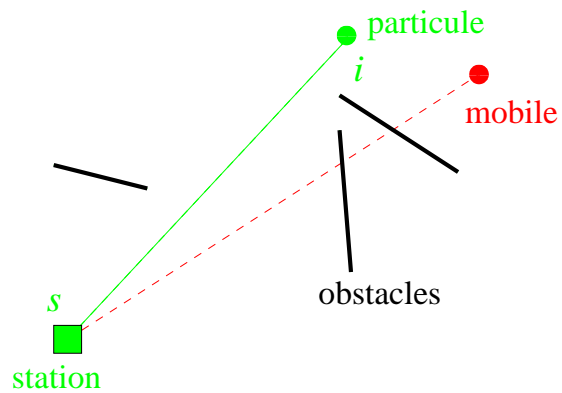
la station ne voit pas la particule

$$g_k^s(x) = \begin{cases} \exp\left\{-\frac{|Y_k^s - h_s(x)|^2}{2\sigma^2}\right\} \\ 0 \end{cases}$$

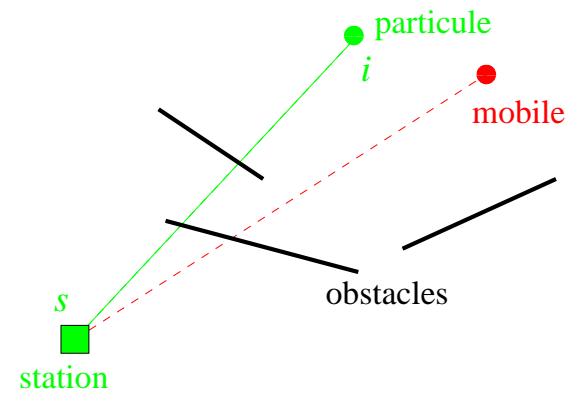
si  $s$  voit la particule placée en  $x$

sinon

## cas 2 : la station ne voit pas le mobile



la station voit la particule



la station ne voit pas la particule

$$g_k^s(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } s \text{ voit la particule placée en } x \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

→ démo interactive