

## *Quelques contributions dans les réseaux de capteurs*

**Clément SAAD**

*Thèse financée par la DGA et soutenue le 10 juillet 2008 à Avignon*

Directeur de thèse : Abderrahim Benslimane



- 1 Les capteurs communicants**
  - Qu'est ce qu'un capteur ?
  - Qu'est ce qu'un réseau de capteurs ?
  
- 2 Localisation dans les réseaux de capteurs**
  - Réseaux statiques
  - Réseaux mobiles
  
- 3 Routage dans les réseaux de capteurs**
  - Réseaux statiques
  - Réseaux mobiles
  
- 4 Conclusion**

## 1 Les capteurs communicants

- Qu'est ce qu'un capteur ?
- Qu'est ce qu'un réseau de capteurs ?

## 2 Localisation dans les réseaux de capteurs

- Réseaux statiques
- Réseaux mobiles

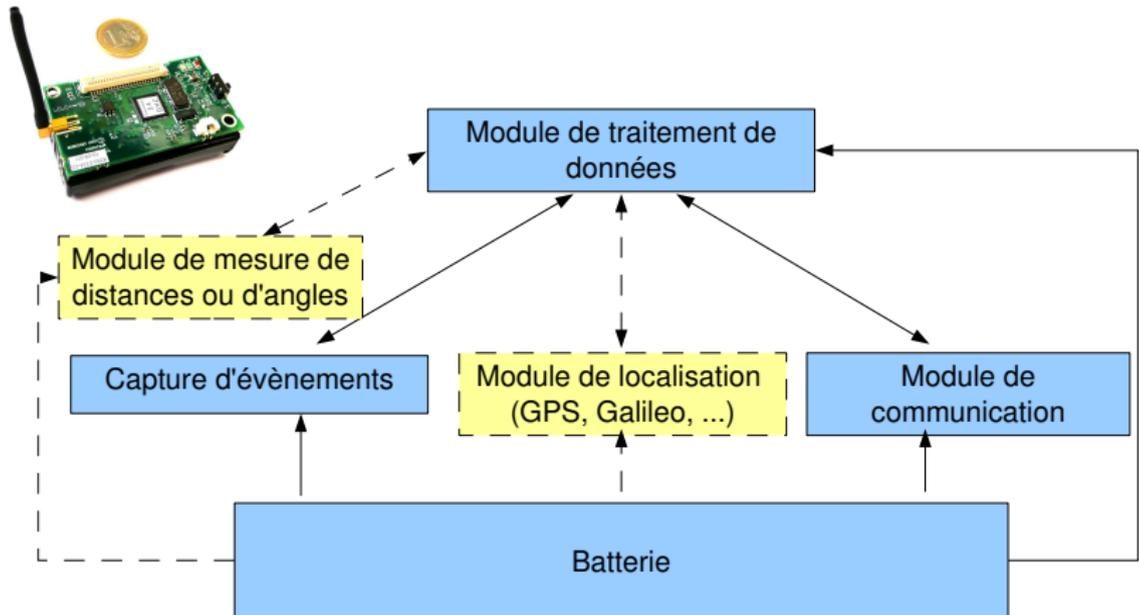
## 3 Routage dans les réseaux de capteurs

- Réseaux statiques
- Réseaux mobiles

## 4 Conclusion

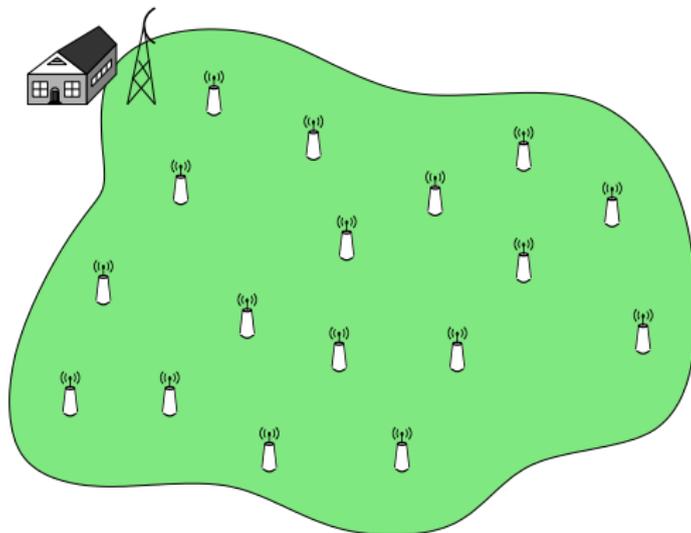
# Les capteurs communicants

## Architecture d'un capteur



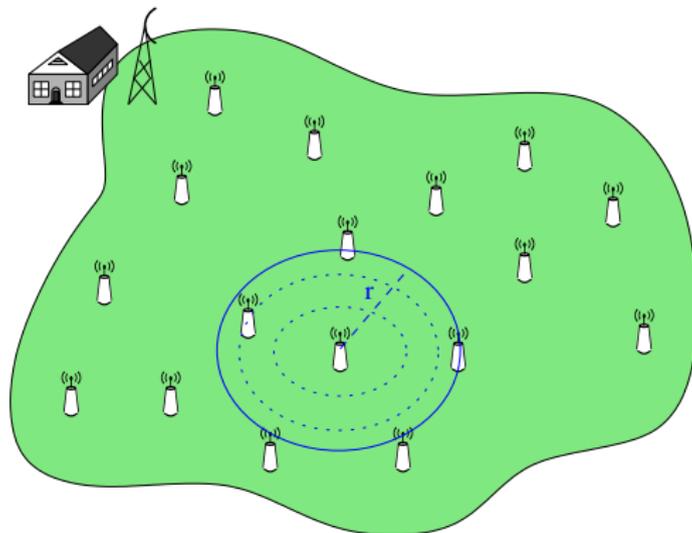
# Les réseaux de capteurs

## Exemple de déploiement



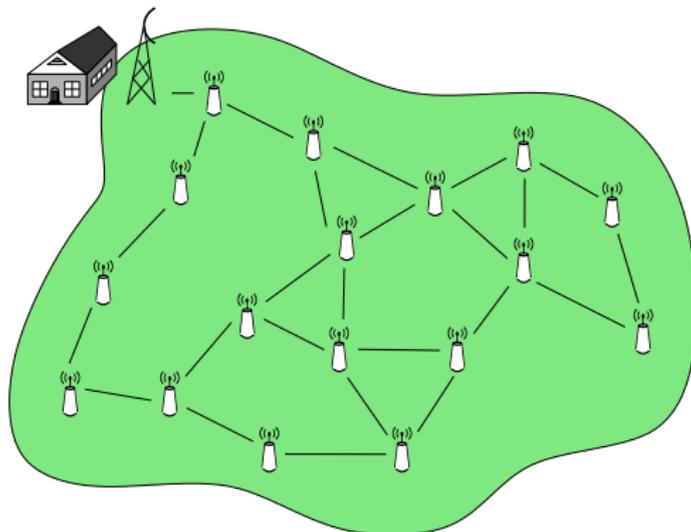
# Les réseaux de capteurs

## Exemple de déploiement



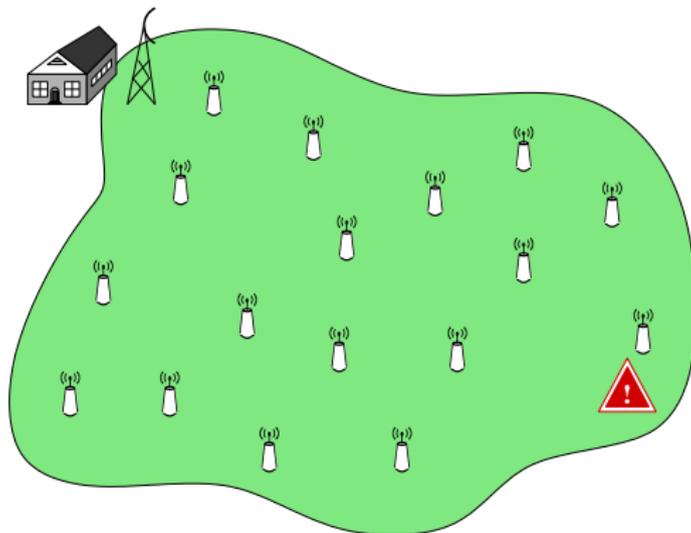
# Les réseaux de capteurs

## Exemple de déploiement



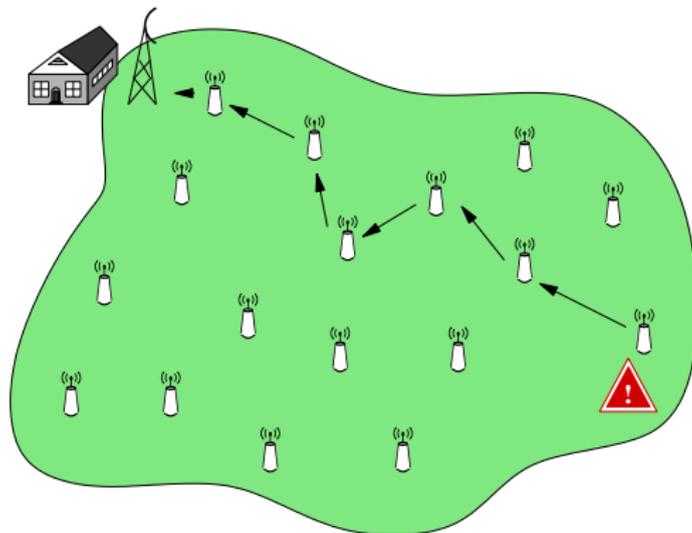
# Les réseaux de capteurs

## Exemple de déploiement



# Les réseaux de capteurs

## Exemple de déploiement



- 1 **Les capteurs communicants**
  - Qu'est ce qu'un capteur ?
  - Qu'est ce qu'un réseau de capteurs ?
- 2 **Localisation dans les réseaux de capteurs**
  - Réseaux statiques
  - Réseaux mobiles
- 3 **Routage dans les réseaux de capteurs**
  - Réseaux statiques
  - Réseaux mobiles
- 4 **Conclusion**

# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Hypothèses

- Les capteurs dotés d'un module de localisation sont appelés **ancres** ;

Un capteur peut :

- mesurer la **distance** qui le sépare d'un voisin ;
- mesurer l'**angle** qu'il forme avec un voisin ;
- ne rien connaître.

# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Trois techniques d'approximation : AT-Free, AT-Dist, AT-Angle

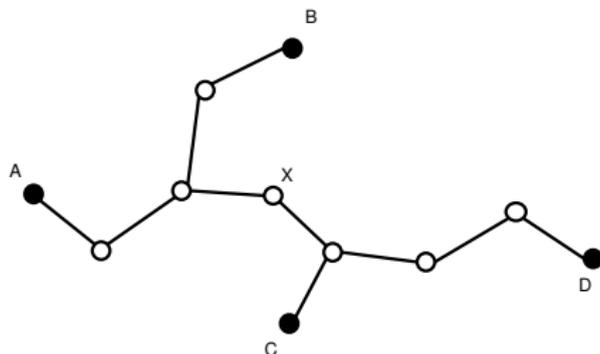
**AT-Free** Méthode libre de mesure

**AT-Dist** Méthode basée mesures de distances

**AT-Angle** Méthode basée mesures d'angles

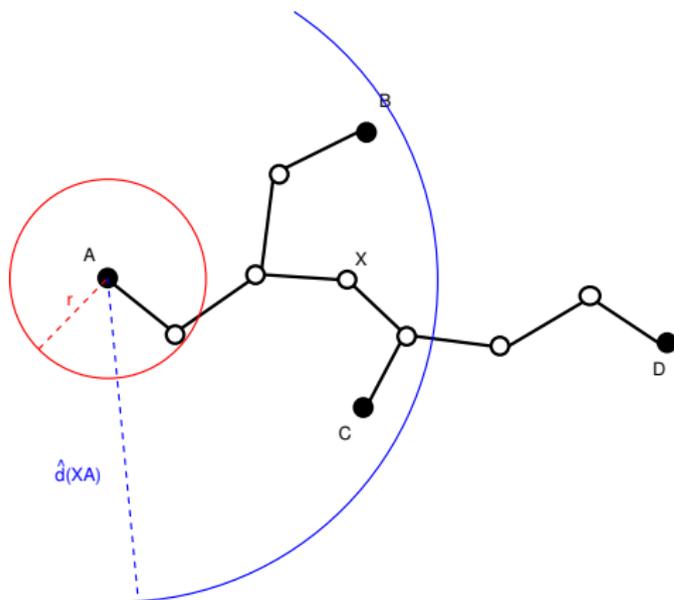
# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Technique d'approximation



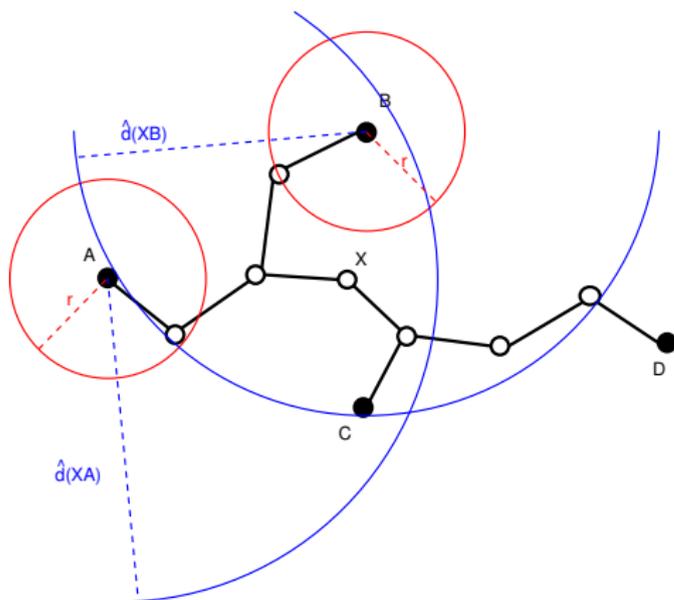
# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Technique d'approximation



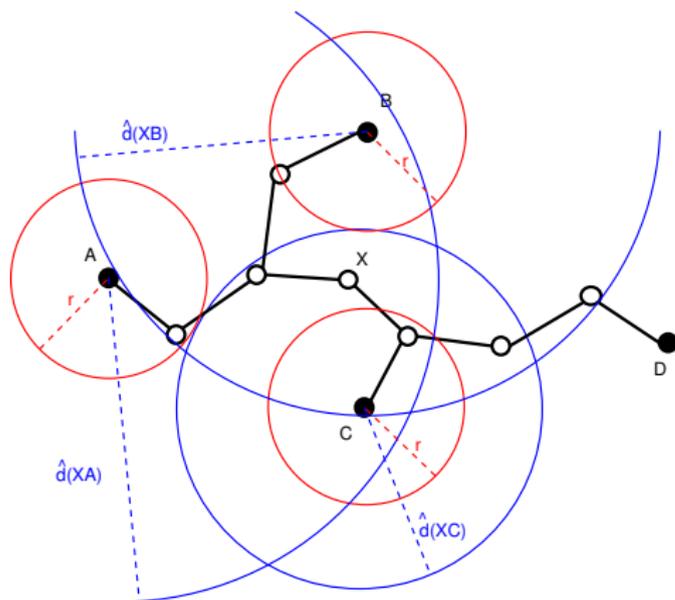
# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Technique d'approximation



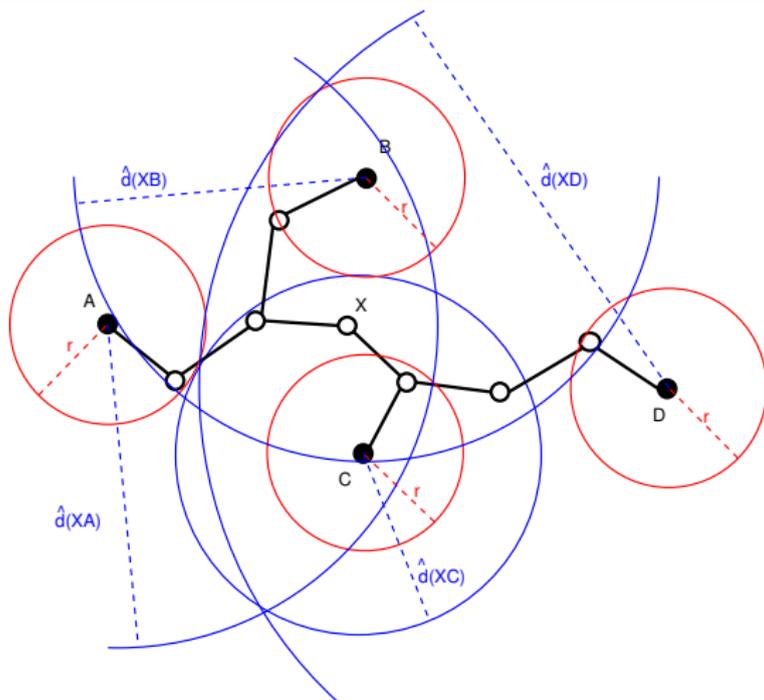
# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Technique d'approximation



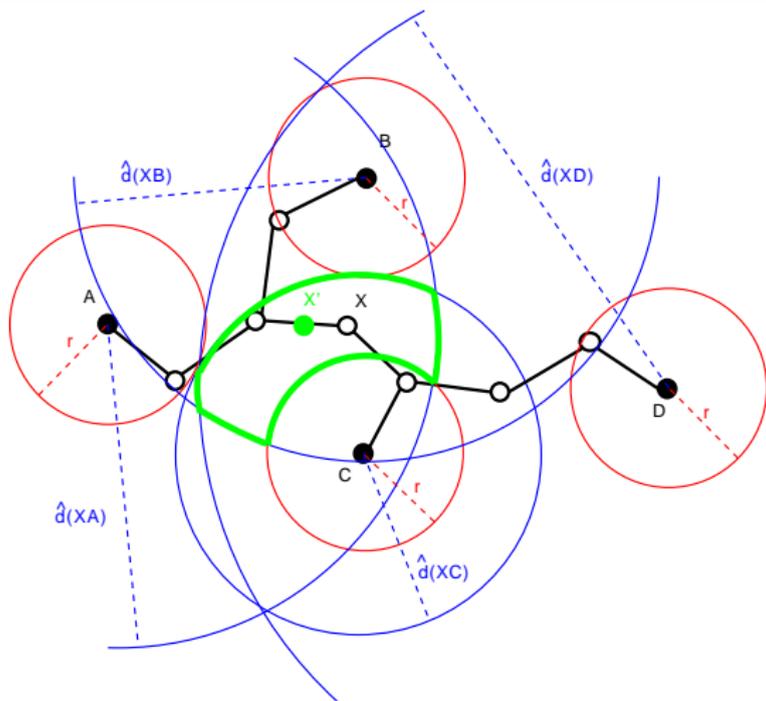
# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Technique d'approximation



# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Technique d'approximation



# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Deux propriétés importantes

### Propriété

*Un noeud connaît la borne de son erreur de position notée  $\epsilon$  et devient une **ancree estimée** si elle passe en dessous d'un certain seuil.*

# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Deux propriétés importantes

### Propriété

Un noeud connaît la borne de son erreur de position notée  $\epsilon$  et devient une **ancree estimée** si elle passe en dessous d'un certain seuil.

### Propriété

La zone définie pour un capteur lui permet **d'éliminer de fausses informations** de localisation.

# Déclinaison pour AT-Free

**AT-Free**

*Méthode libre de mesure*

# Déclinaison pour AT-Free

## Gestion des diffusions

### Principe

*Plus une ancre a une position précise, plus elle diffuse sa position.*

Soit  $\delta$  compris entre 0 et 1. On définit les différents seuils de diffusion entre  $\Gamma$  et  $\rho$  de la façon suivante :

$$\Gamma \geq \delta\Gamma \geq \delta^2\Gamma \geq \dots \geq \delta^i\Gamma \geq \dots \geq \rho, \quad i \in \mathbb{N}$$

# Déclinaison pour AT-Free

## Gestion des diffusions

### Principe

*Plus une ancre a une position précise, plus elle diffuse sa position.*

Soit  $\delta$  compris entre 0 et 1. On définit les différents seuils de diffusion entre  $\Gamma$  et  $\rho$  de la façon suivante :

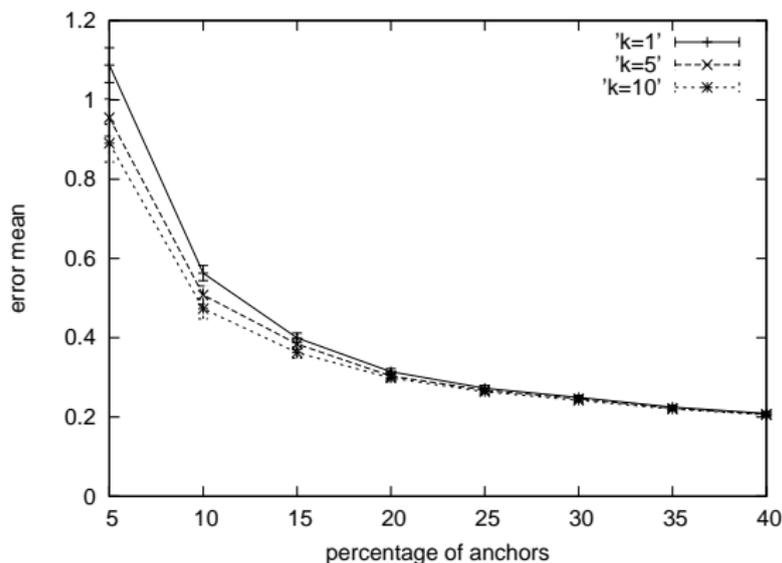
$$\Gamma \geq \delta\Gamma \geq \delta^2\Gamma \geq \dots \geq \delta^i\Gamma \geq \dots \geq \rho, \quad i \in \mathbb{N}$$

Soit  $k$  le nombre de diffusions maximum d'une ancre. On a :

$$\delta^k\Gamma \leq \rho$$

## Déclinaison pour AT-Free

Résultats de simulations d'AT-Free *densité = 10*



# Déclinaison pour AT-Dist

## AT-Dist

*Méthode basée mesures de distances*

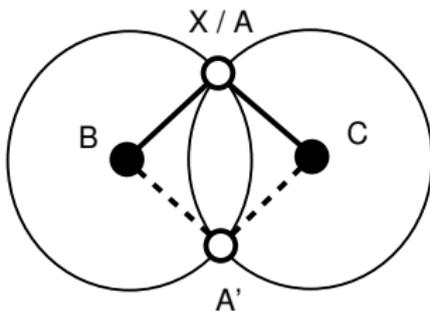
# Déclinaison pour AT-Dist

## Les mesures entre voisins

- **ajoutent** des informations de localisation (suffisamment pour considérer que  $\rho = \Gamma$ ),
- **subissent** des erreurs dues à l'environnement.

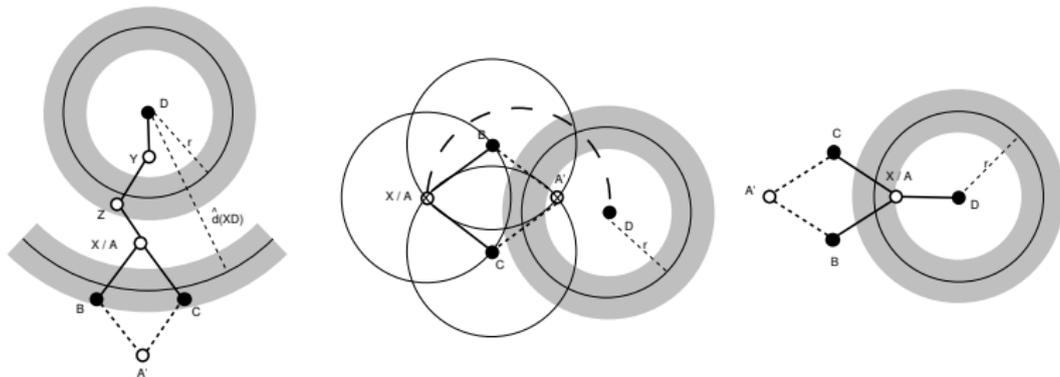
# Déclinaison pour AT-Dist

## Cas d'ambiguïté



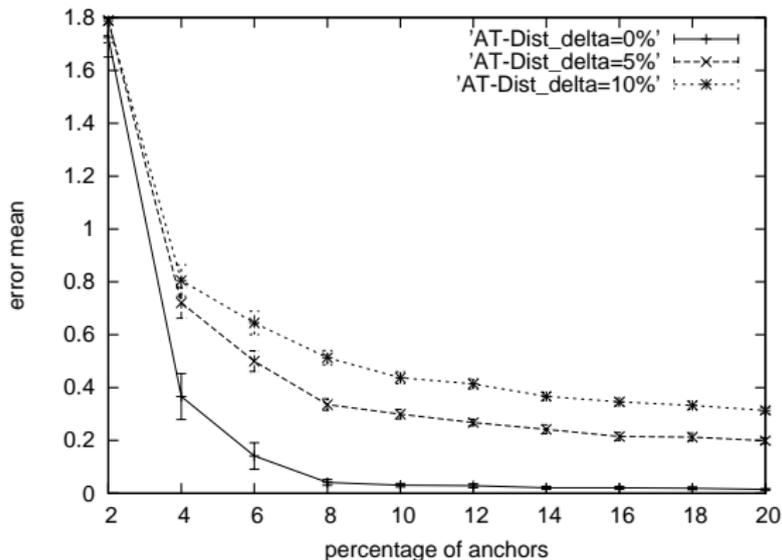
# Déclinaison pour AT-Dist

## Règles de localisation



## Déclinaison pour AT-Dist

Résultats de simulations d'AT-Dist *densité = 10*



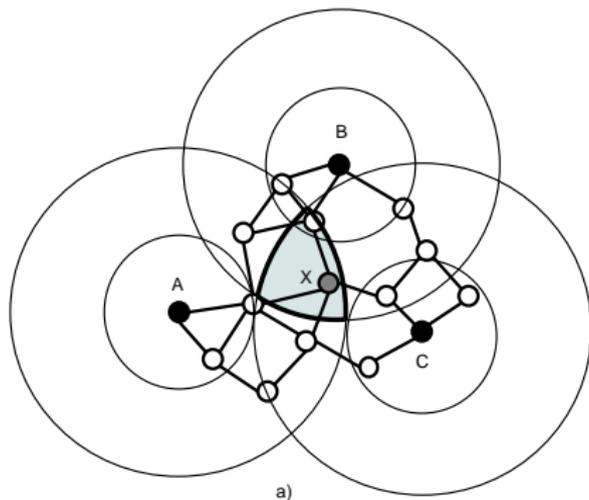
# Déclinaison pour AT-Angle

## AT-Angle

*Méthode basée mesures d'angles*

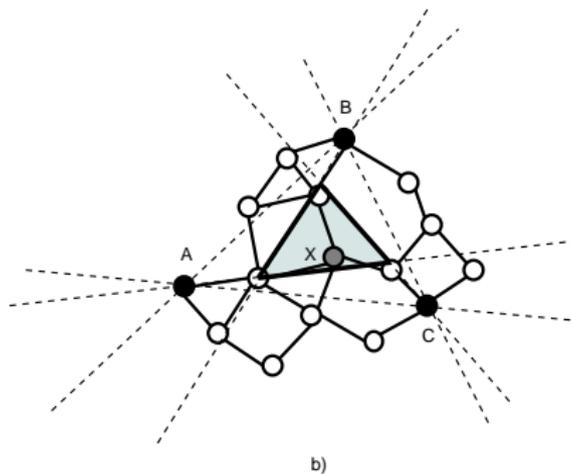
# Déclinaison pour AT-Angle

## Technique d'approximation



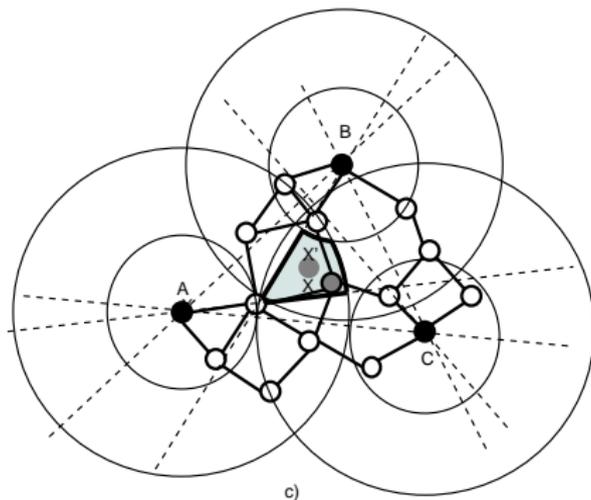
# Déclinaison pour AT-Angle

## Technique d'approximation



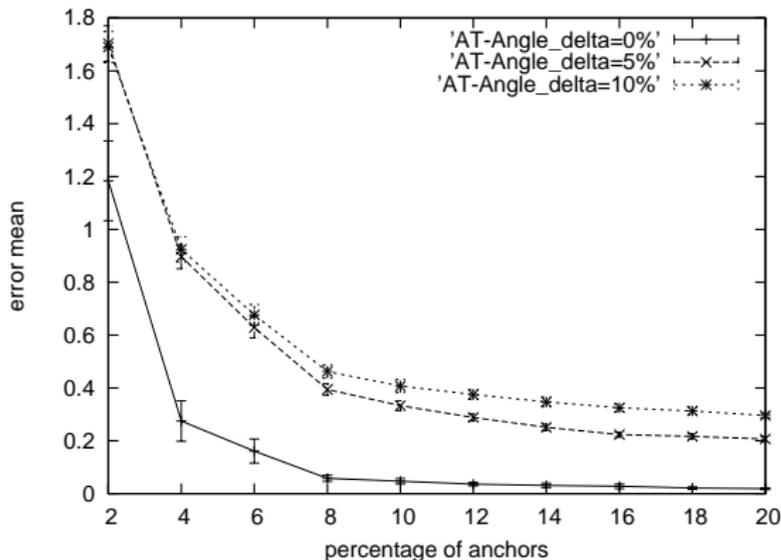
# Déclinaison pour AT-Angle

## Technique d'approximation



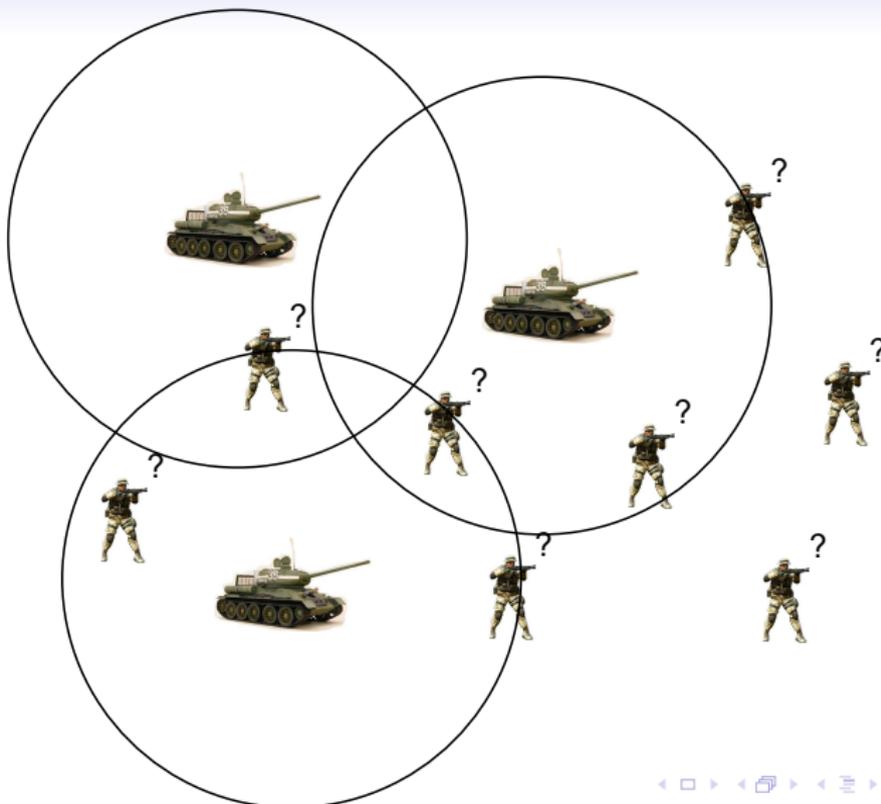
## Déclinaison pour AT-Angle

Résultats de simulations d'AT-Angle *densité = 10*



# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Exemple de réseau de capteurs mobiles



# Localisation dans les réseaux de capteurs

## La mobilité génère un nouveau problème

A cause de la contrainte énergétique, un capteur ne peut invoquer le calcul de sa position **en continu**.

**Problématique : définir des stratégies d'ordonnancement des dates auxquelles le capteur calculera sa position.**

Une extension des méthodes précédentes est proposée pour prendre en compte le contexte de mobilité : **ATM-Free, ATM-Dist, ATM-Angle**.

# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Stratégies d'ordonnement des dates pour le calcul des positions

**SFR** Static Fixed Rate

**DVM** Dynamic Velocity Monotonic

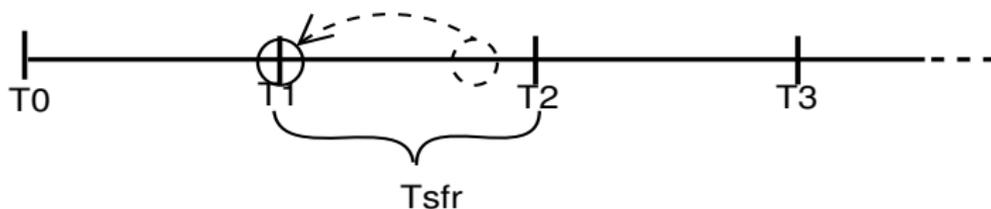
**MADRD** Mobility Aware Dead Reckoning Driven

# Localisation dans les réseaux de capteurs

## SFR

Soit  $t_{sfr}$  une période de temps *fixe* :

Lorsqu'un capteur calcule sa localisation au temps  $t$ , il obtient une position  $(x_t, y_t)$ .  
Entre les temps  $t$  et  $t + t_{sfr}$ , sa position estimée reste  $(x_t, y_t)$ .



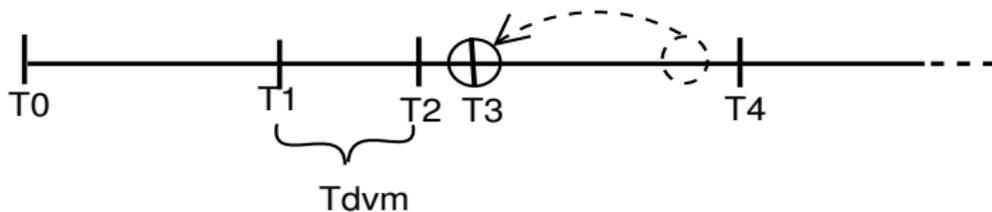
## Localisation dans les réseaux de capteurs

### DVM

DVM ordonne les dates de calcul des positions en fonction de la *vitesse* d'un capteur :

**Plus la vitesse d'un capteur augmente, plus il augmente la fréquence de calcul de sa position.**

La période de temps  $t_{dvm}$  d'un capteur est calculée en fonction de sa vitesse. Entre les temps  $t$  et  $t + t_{dvm}$ , sa position estimée reste celle calculée au temps  $t$   $((x_t, y_t))$ .

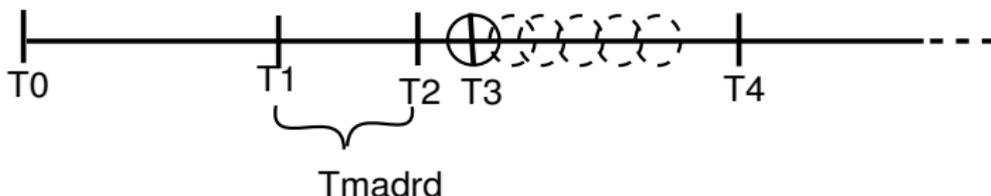


## Localisation dans les réseaux de capteurs

### MADRD

MADRD adopte un comportement *prédictif*. Cette méthode ordonne les dates de calcul des positions en fonction des *déplacements* des capteurs.

La période de temps  $t_{madr}$  d'un capteur est définie en fonction de sa vitesse et de sa trajectoire. Le capteur peut aussi prédire son déplacement. Par conséquent, entre les temps  $t$  et  $t + t_{dvm}$ , sa position est estimée en fonction de cette prédiction.



# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Classement

Les auteurs supposent que lorsque les capteurs calculent leurs localisations, ils obtiennent des **positions exactes**. Avec cette hypothèse, le classement des stratégies est :

- 1 MADRD
- 2 DVM
- 6 SFR

# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Classement

Les auteurs supposent que lorsque les capteurs calculent leurs localisations, ils obtiennent des **positions exactes**. Avec cette hypothèse, le classement des stratégies est :

- 1 MADRD
- 2 DVM
- 6 SFR

**Mais qu'en est-il lorsque les positions sont estimées ?**

# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Adaptation de DVM et MADRD aux erreurs de localisation

Soit  $t$  étant la période de temps retournée par DVM ou MADRD et  $t'$  étant celle retournée en prenant en compte l'erreur de position ( $\epsilon$ ).

$\epsilon = 0$  (la position est exacte) alors  $t' = t$ ,

$\epsilon \geq r$  (ie. la position est trop grossière) alors  $t' = 0$ ,

Autrement  $t'$  varie linéairement :  $t' = t - t \frac{\epsilon}{r}$ .

# Localisation dans les réseaux de capteurs

## Classements avec des erreurs de positions

### ATM-Free

- 1 DVM
- 2 SFR
- 3 MADRD

### ATM-Dist

- 1 DVM
- 2 MADRD
- 3 SFR

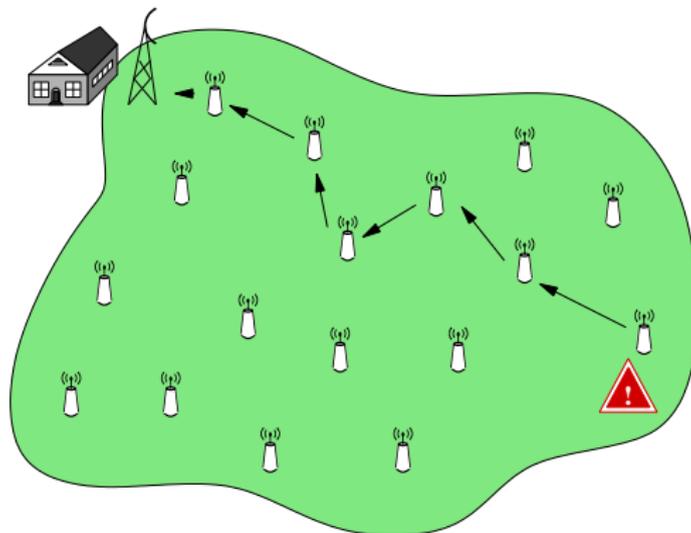
### ATM-Angle

- 1 DVM
- 2 SFR
- 3 MADRD

- 1 **Les capteurs communicants**
  - Qu'est ce qu'un capteur ?
  - Qu'est ce qu'un réseau de capteurs ?
- 2 **Localisation dans les réseaux de capteurs**
  - Réseaux statiques
  - Réseaux mobiles
- 3 **Routage dans les réseaux de capteurs**
  - Réseaux statiques
  - Réseaux mobiles
- 4 **Conclusion**

# Routage dans les réseaux de capteurs

## Rappel



# Routage dans les réseaux de capteurs

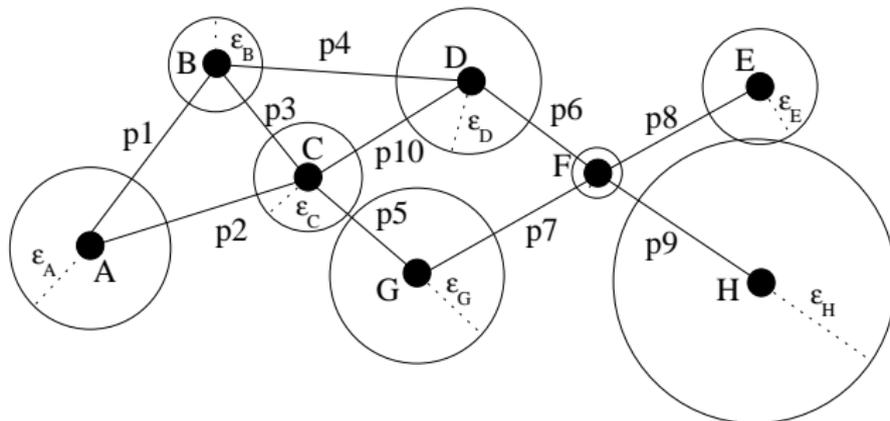
## EEG-Routing

*Méthode de routage dans des réseaux de capteurs statiques*

# Routage dans les réseaux de capteurs

## Hypothèses

- Les positions estimées des capteurs sont connues avant le déploiement
- Les probabilités d'existence des liens de communication sont calculées



# Routage dans les réseaux de capteurs

## Hypothèses et définitions

- Les capteurs peuvent modifier leurs rayon d'émission pour économiser de l'énergie
- Le modèle de dépense énergétique utilisés est celui de Rodoplu et Meng :

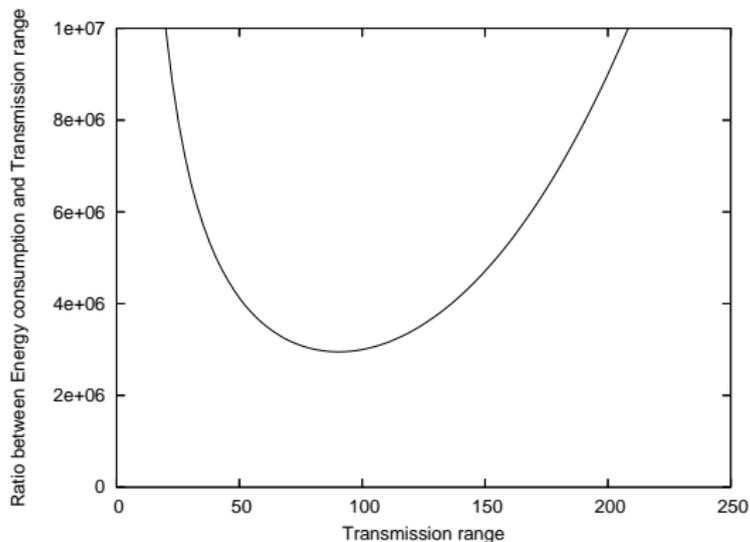
$$J(d) = d^4 + 2 \times 10^8 \quad \text{avec } 0 < d \leq 250$$

- Soit  $pg_{AB}$  le **progrès** associé à un arc  $(A, B)$ . Il est calculé par la formule suivante :

$$pg_{AB} = distance_{AD} - distance_{BD}$$

## Routage dans les réseaux de capteurs

Traçons la fonction  $E(d) = \frac{J(d)}{d} = \frac{d^4 + 2 \times 10^8}{d}$  avec  $0 < d \leq 250$  :



$E$  est minimale au point qui annule sa dérivée :

$$d_{opt} \approx 90.36$$

# Routage dans les réseaux de capteurs

## Définition de la métrique

Soit  $q_{AB}$  le ratio de l'arc  $(A, B)$ .

$$q'_{AB} = \frac{E(d_{opt})}{\frac{J(d_{AB})}{pg_{AB}}}$$

$q_{AB}$  étant égal au projeté de  $q'_{AB}$  dans l'intervalle  $[0, 1]$ .

**Soit  $C_{AB}$  le coût de l'arc  $(A, B)$**

$$C_{AB} = 1 - [\alpha p_{AB} + (1 - \alpha) q_{AB}] \quad \text{avec } \alpha \in [0, 1]$$

# Routage dans les réseaux de capteurs

## Avant le déploiement du réseau

Chaque capteur  $u$  conserve une table de coûts  $Tab\_Costs_u$ . Les entrées de ce tableau correspondent aux voisins de  $u$  et contiennent les coûts des chemins pour atteindre la station de base en passant pas ces voisins.

## Après le déploiement du réseau

Les capteurs s'échangent des messages *Hello* afin de connaître exactement leurs voisins et mettre à jour leurs tables de coûts.

# Routage dans les réseaux de capteurs

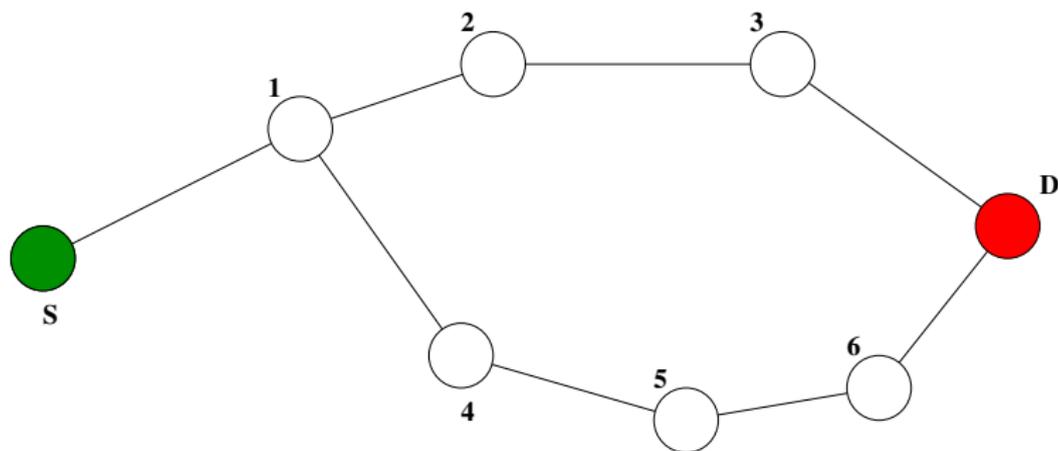
## Après détection d'un évènement un capteur envoie un message contenant

- les informations relatives à l'évènement détecté
- le coût de son chemin de secours

Chaque envoi d'un message entraîne une **mise à jour d'une table de coûts**. Les capteurs relais font suivre le message en fonction de leurs propres informations.

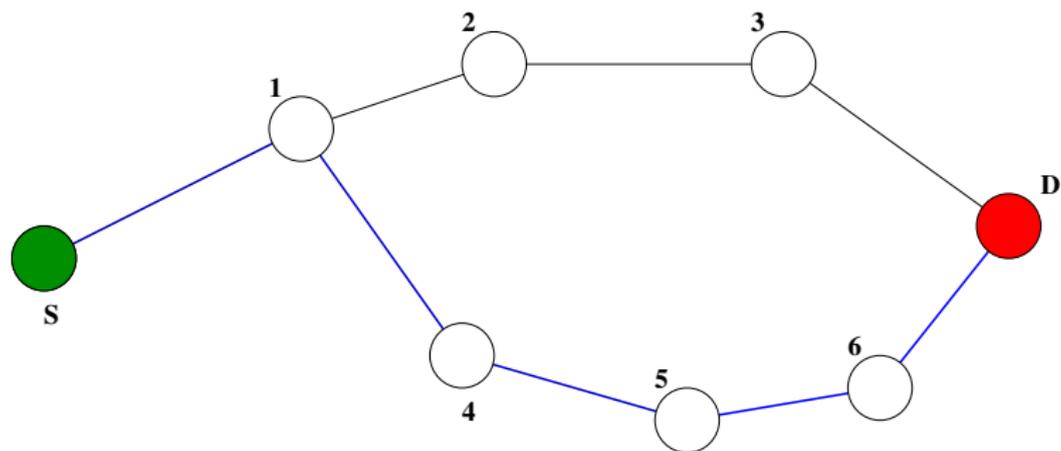
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Exemple de routage



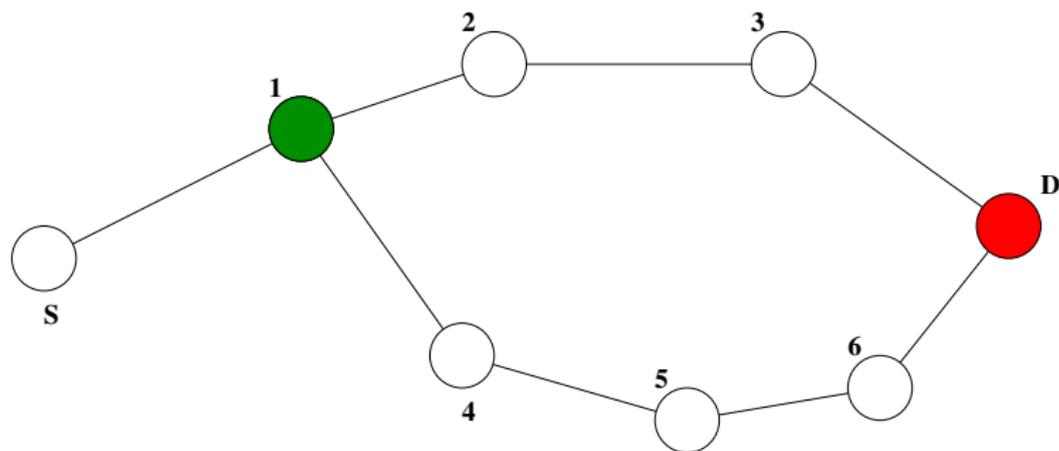
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Exemple de routage



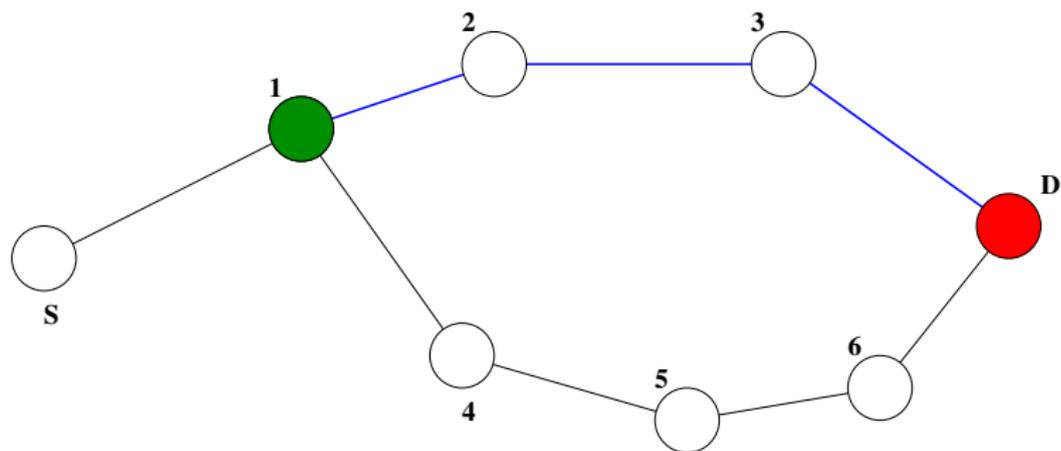
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Exemple de routage



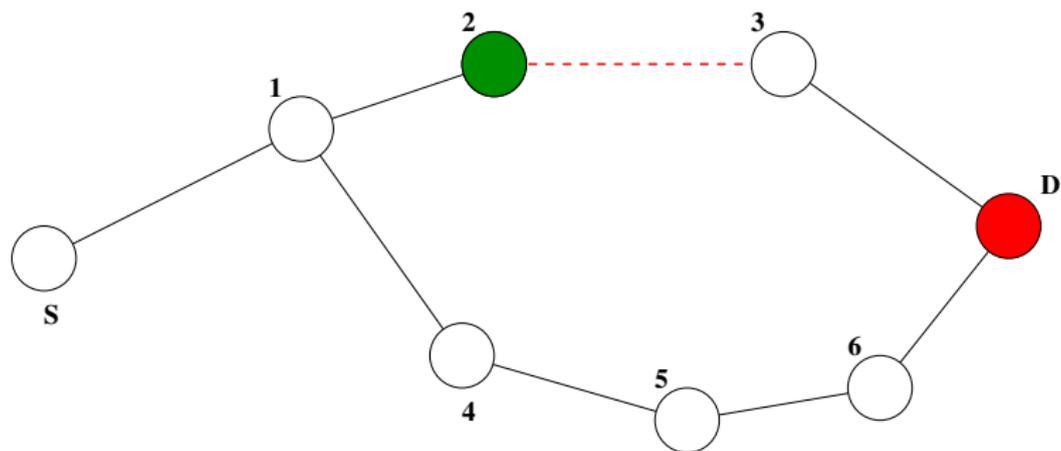
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Exemple de routage



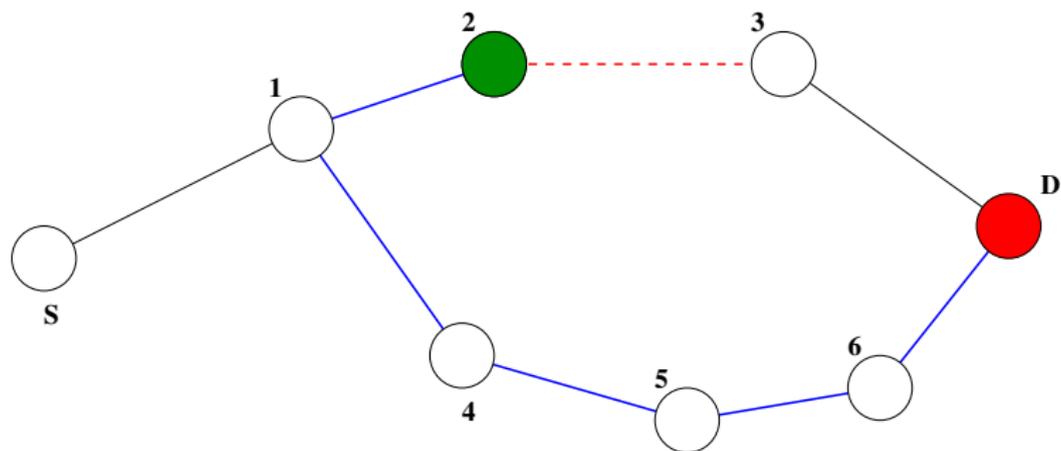
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Exemple de routage



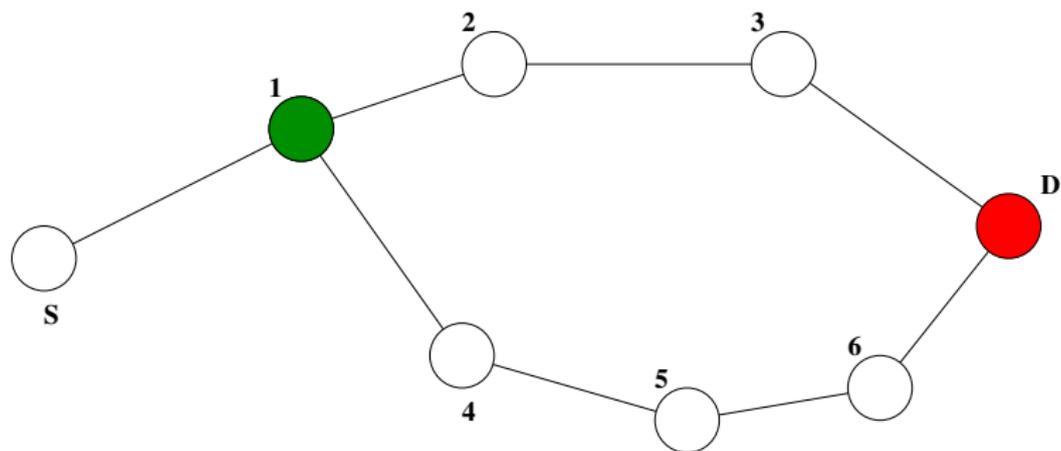
# Routeur dans les réseaux de capteurs

## Exemple de routage



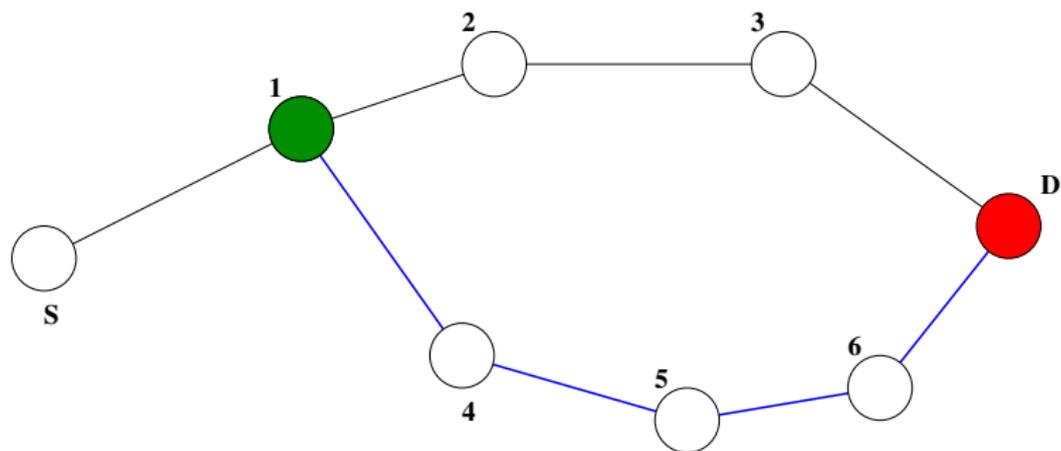
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Exemple de routage



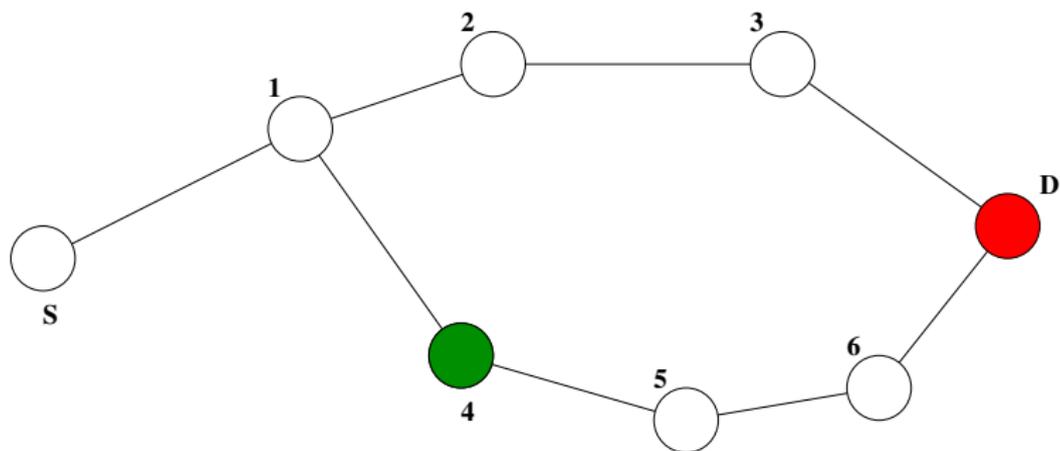
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Exemple de routage



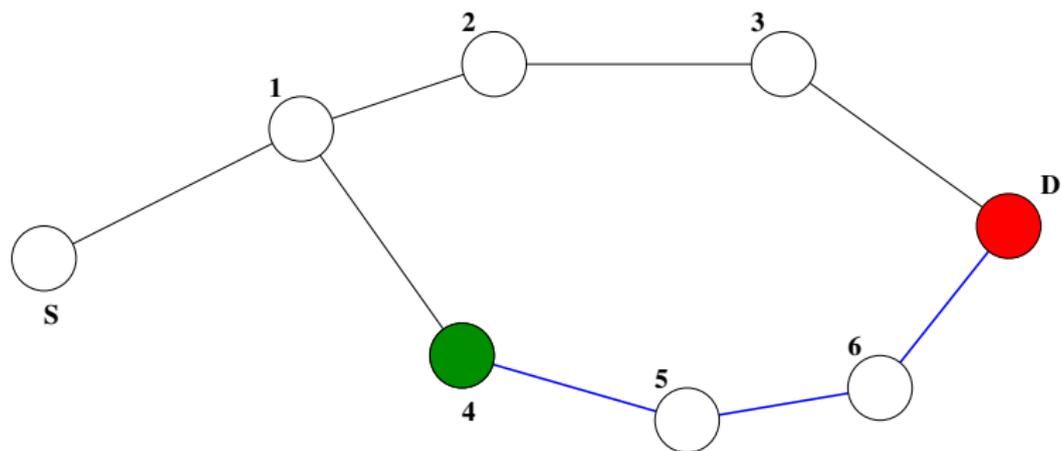
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Exemple de routage



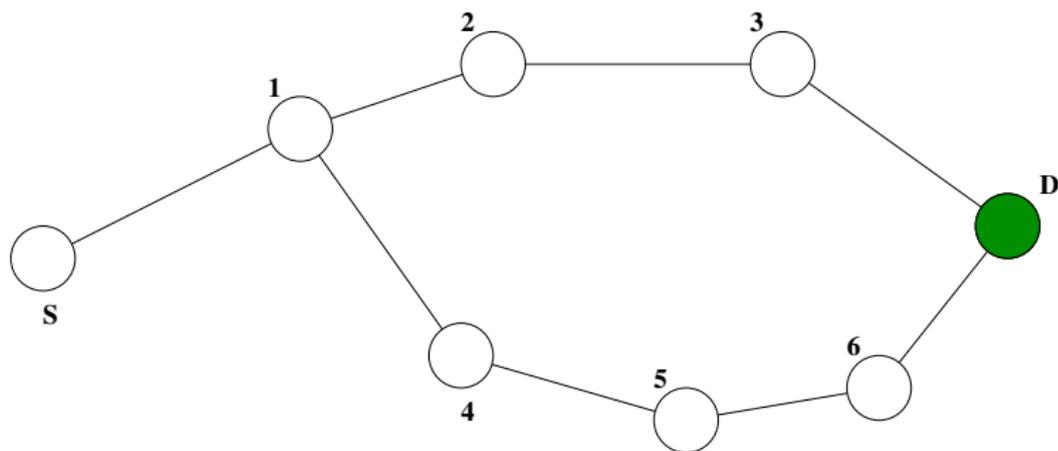
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Exemple de routage



# Routage dans les réseaux de capteurs

## Exemple de routage



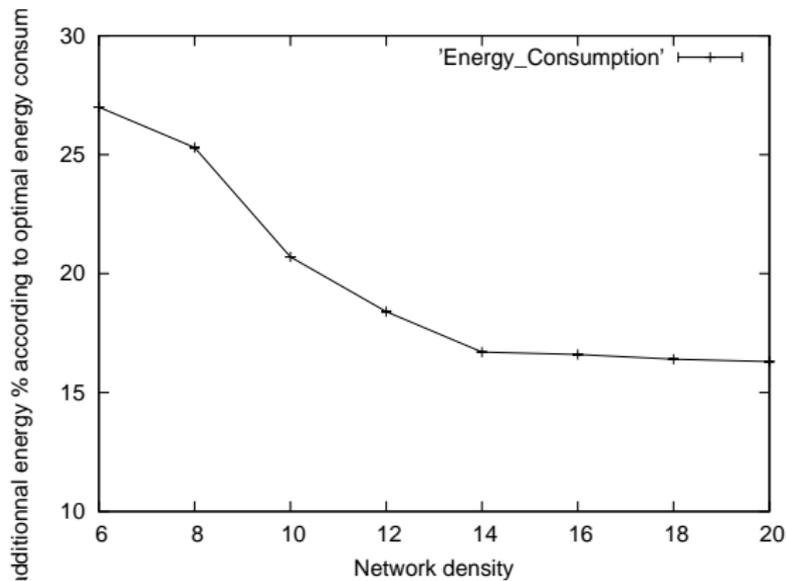
# Résultats sans erreur de mesure

## Résultats de simulations

Densité	6	8	10	12	14	16	18	20
$\alpha$	0.1	0.3	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8
Taux de délivrance	94	99	99	99	100	100	100	100

# Résultats sans erreur de mesure

## Résultats de simulations



# Routage dans les réseaux de capteurs

## Ellipse-Routing

*Méthode de routage dans des réseaux de capteurs mobiles*

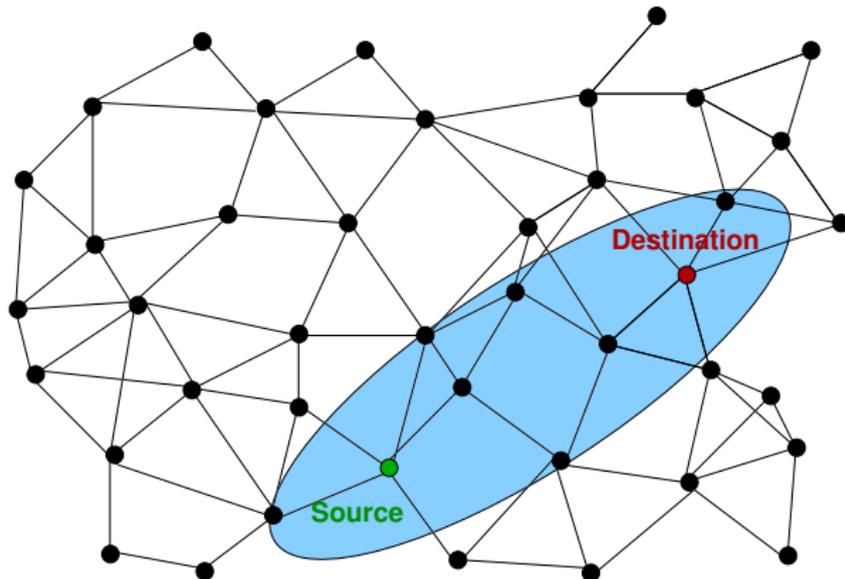
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Hypothèses

- D'abord, les capteurs connaissent leurs positions exactes ensuite elles seront estimées.
- Les capteurs connaissent la position de la destination.
- Les capteurs n'ont pas la connaissance des positions de leurs voisins.

# Routage dans les réseaux de capteurs

## Principe du routage



# Routage dans les réseaux de capteurs

## Quelques propriétés

### Propriété

Un nœud  $u$  appartient à l'ellipse si

$$d_{Su} + d_{uD} \leq l d_{SD} \quad l : \text{facteur de l'ellipse} (\geq 1)$$

# Routage dans les réseaux de capteurs

## Quelques propriétés

### Propriété

Un nœud  $u$  appartient à l'ellipse si

$$d_{Su} + d_{uD} \leq l d_{SD} \quad l : \text{facteur de l'ellipse} (\geq 1)$$

### Propriété (Gupta et Kumar)

Pour des nœuds répartis uniformément,  $G(V, r)$  est asymptotiquement connexe avec une probabilité de 1 lorsque  $n$  tend vers l'infini si

$$n\pi \cdot r^2 \geq \ln(n) + c(n) \quad (\text{avec } \lim_{n \rightarrow \infty} c(n) = \infty)$$

# Routage dans les réseaux de capteurs

## Quelques propriétés

### Propriété

Un nœud  $u$  appartient à l'ellipse si

$$d_{Su} + d_{uD} \leq l d_{SD} \quad l : \text{facteur de l'ellipse} (\geq 1)$$

### Propriété (Gupta et Kumar)

Pour des nœuds répartis uniformément,  $G(V, r)$  est asymptotiquement connexe avec une probabilité de 1 lorsque  $n$  tend vers l'infini si

$$n\pi \cdot r^2 \geq \ln(n) + c(n) \quad (\text{avec } \lim_{n \rightarrow \infty} c(n) = \infty)$$

# Routage dans les réseaux de capteurs

## Ellipse-Routing

### On définit

$$\text{connexe}(r, l) = \frac{\ln N + c(N)}{N \cdot \pi (r/a)^2}$$

$$\text{energie}(r, l) = N \cdot J(r) = \frac{n\pi d^2}{4a^2} l \sqrt{l^2 - 1} \cdot (r^4 + 2 \times 10^8)$$

Il suffit de déterminer le couple  $(r, l)$  tel que :

- la connexité soit garantie ( $\text{connexe}(r, l) \leq 1$ )
- la consommation d'énergie soit minimale ( $\min(\text{energie}(r, l))$ )

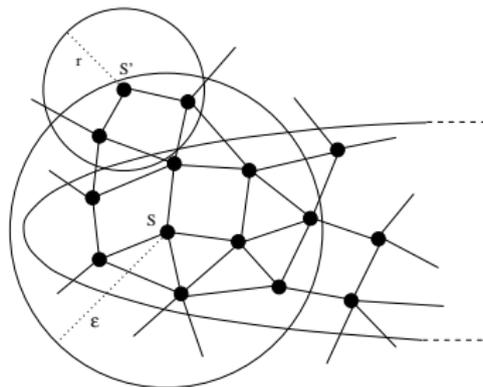
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Résultats de simulations

$n$	$r$	$l$	Energie ( $\cdot 10^9$ )
500	180	1.2	133.24
750	160	1.09	91.50
1000	140	1.08	75.75
1250	130	1.06	67.26
1500	120	1.05	60.39

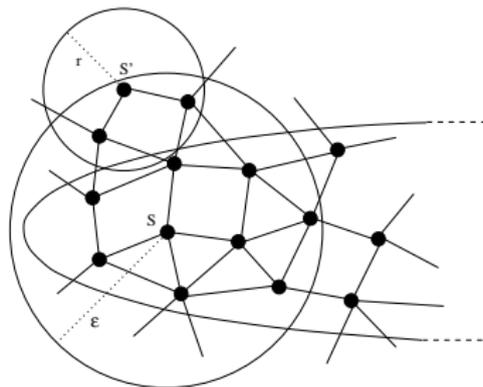
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Erreur de position de la source



# Routage dans les réseaux de capteurs

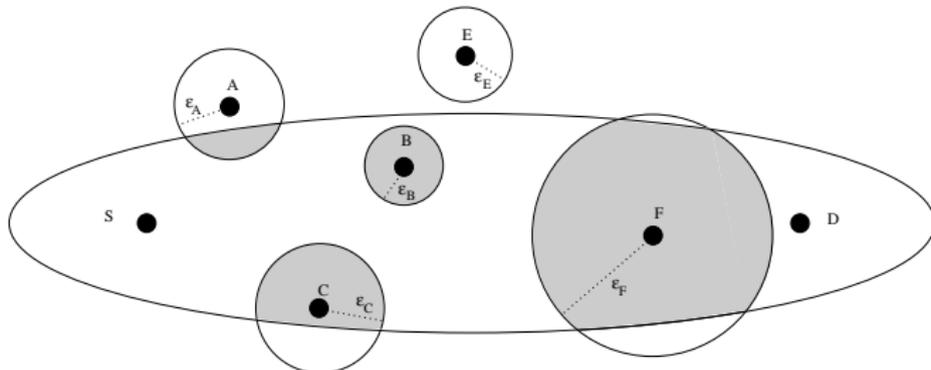
## Erreur de position de la source



$$h \geq \left\lceil \frac{\epsilon}{r} \right\rceil + 1$$

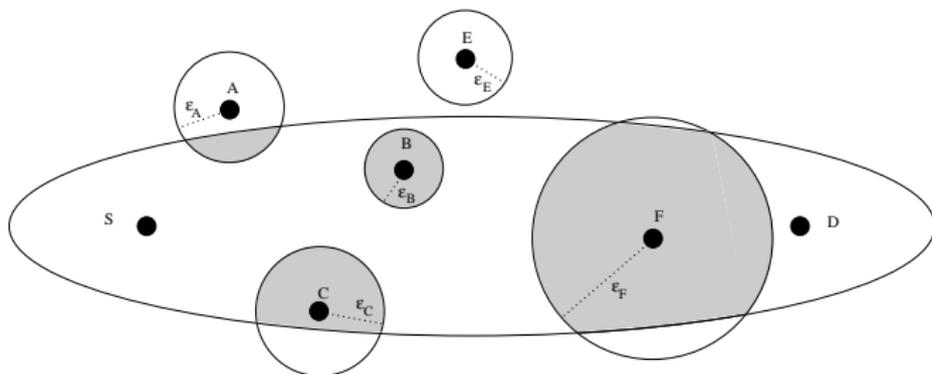
# Routage dans les réseaux de capteurs

## Erreurs de positions



# Routage dans les réseaux de capteurs

## Erreurs de positions



Soit  $p_{seuil}$  le seuil de probabilité au dessus duquel un nœud se considère relais

# Routage dans les réseaux de capteurs

## Résultats de simulations

$n$	$r$	$l$	$\rho_{seuil}$	Energie ( $\cdot 10^9$ )
500	180	1.2	0.9	152.9
750	160	1.09	0.7	120.18
1000	140	1.08	0.6	96.62
1250	130	1.06	0.6	96.25
1500	120	1.05	0.5	92.35

- 1 **Les capteurs communicants**
  - Qu'est ce qu'un capteur ?
  - Qu'est ce qu'un réseau de capteurs ?
- 2 **Localisation dans les réseaux de capteurs**
  - Réseaux statiques
  - Réseaux mobiles
- 3 **Routage dans les réseaux de capteurs**
  - Réseaux statiques
  - Réseaux mobiles
- 4 **Conclusion**

# Conclusion et perspectives

## Quelques nouvelles notions

- Borne d'erreur de position
- Ancre estimée
- Probabilité de communication
- Rayon optimal

# Conclusion et perspectives

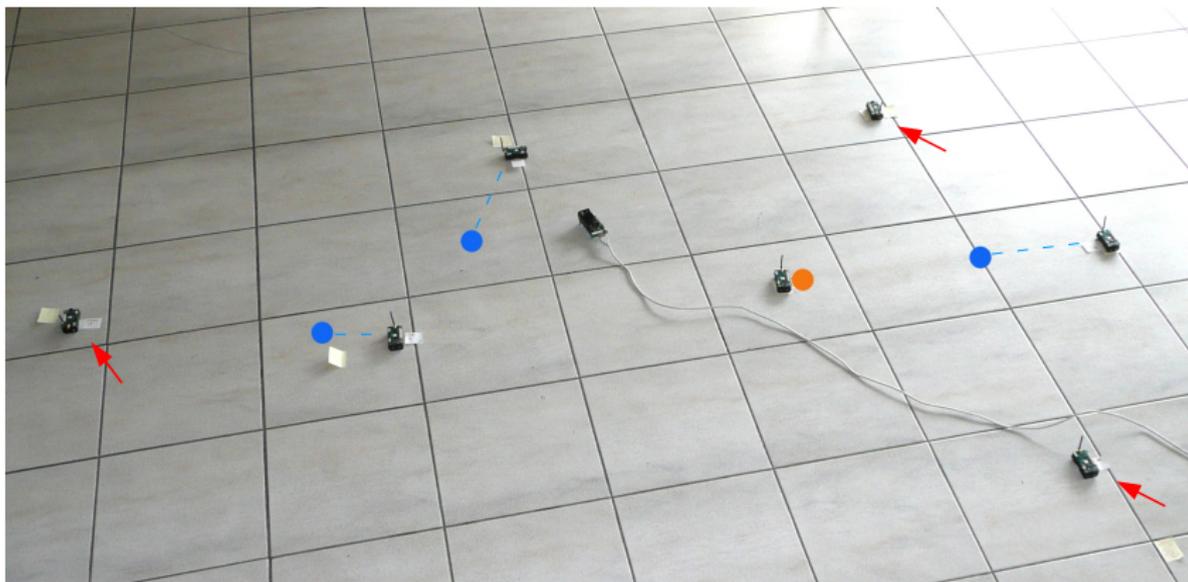
## Quelques nouvelles notions

- Borne d'erreur de position
- Ancre estimée
- Probabilité de communication
- Rayon optimal

**Un constat simple : les erreurs de positions ne peuvent être ignorées !**

# Conclusion et perspectives

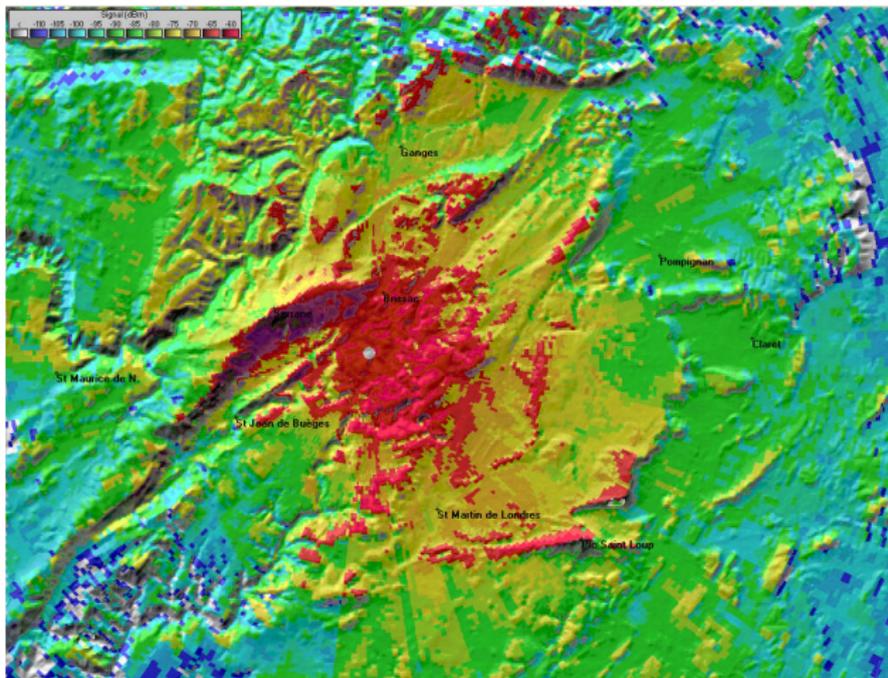
## Resultats expérimentaux



## Conclusion et perspectives

### Pour le problème de la localisation

L'environnement du réseau doit être considéré lors de l'estimation des positions.



# Conclusion et perspectives

## Plus généralement

**Reprendre les problématiques des réseaux (diffusion, communication de groupe, ...) en considérant des positions estimées**

# Questions

**Merci de votre attention !**

