

# Réseaux de capteurs, un état de l'art des algorithmes de routage

Nathalie Mitton, EPI POPS

15/10/2009

INSTITUT NATIONAL  
DE RECHERCHE  
EN INFORMATIQUE  
ET EN AUTOMATIQUE



centre de recherche  
**LILLE - NORD EUROPE**



**POPS**

# Plan

Réseaux ad hoc et réseaux de capteurs

Politiques de routage

Protocoles réactifs

Protocoles proactifs

Protocoles hybrides

Protocoles géographiques

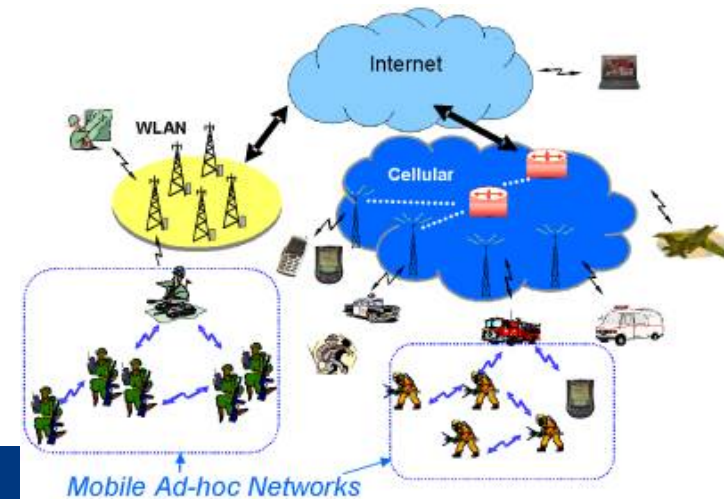


# Réseaux sans fil multi-sauts ou réseaux mobiles spontanés

Entités indépendantes communiquant par radio, sans aucune infrastructure fixe.



Nécessité de relayer les messages de stations non à portée de communication l'une de l'autre  
=> protocole de routage.



# Réseaux de capteurs

Un sous-ensemble des réseaux sans fil mais :

- \* Avec des contraintes bien caractéristiques
  - petite taille
  - petit espace mémoire
  - reposent sur batteries
  - faibles capacités de calcul
- \* Grand nombre de capteurs
- \* Des modes de communications spécifiques
  - modèle n vers 1



# Philosophies de routage

## Routage réactif

- Jeu de “*Question/réponse*” (Route Request & Route Response)
- Routes créées et maintenues “*à la demande*”
- Grande latence au début de la communication
- Aucun trafic de contrôle si aucune donnée à échanger
- Pas toujours le plus court chemin

## Routage proactif

- Routes maintenues indépendamment du trafic
- Echanges périodiques d'information de topologie
- Routes disponibles immédiatement
- Trafic de contrôle constant



# Philosophies de routage

## Routage hybride

- Approche proactive dans le voisinage d'un nœud
- Approche réactive au-delà

## Routage géographique

- Basé sur une information de position

## Routage hiérarchique (pour les larges échelles)

- Basé sur une organisation du réseau en clusters



# Les routages réactifs



INSTITUT NATIONAL  
DE RECHERCHE  
EN INFORMATIQUE  
ET EN AUTOMATIQUE



centre de recherche  
**LILLE - NORD EUROPE**

# Réactif - Routage par inondation

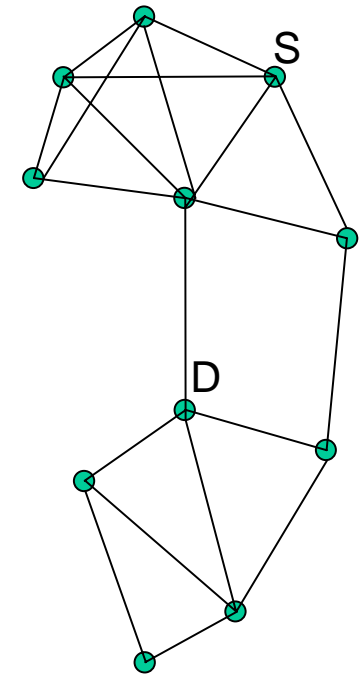
La source diffuse son message à tous ses voisins.

Chaque mobile retransmet le paquet reçu.

La destination ne retransmet pas le message.

## Problèmes

- La diffusion continue après réception par le destinataire
- Tous les mobiles risquent de recevoir le message
  - Gâchis de bande passante et d'énergie
- Réceptions simultanées
  - Collision probable (Dépense d'énergie inutile)
- Réceptions multiples, boucles infinies
  - Utilisation d'un numéro de séquence





# DSR

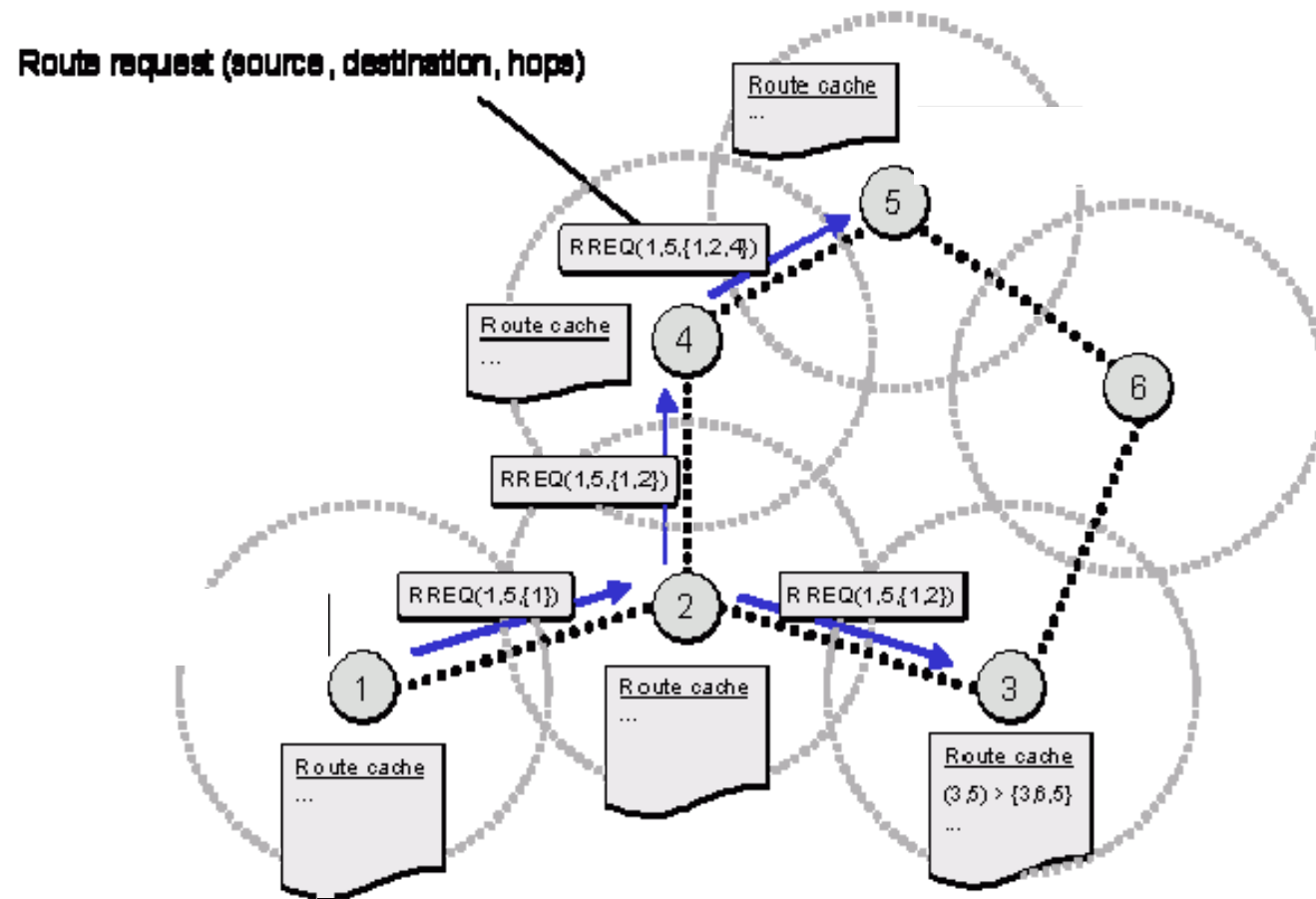
## DSR : Dynamic Source Routing

### Principes :

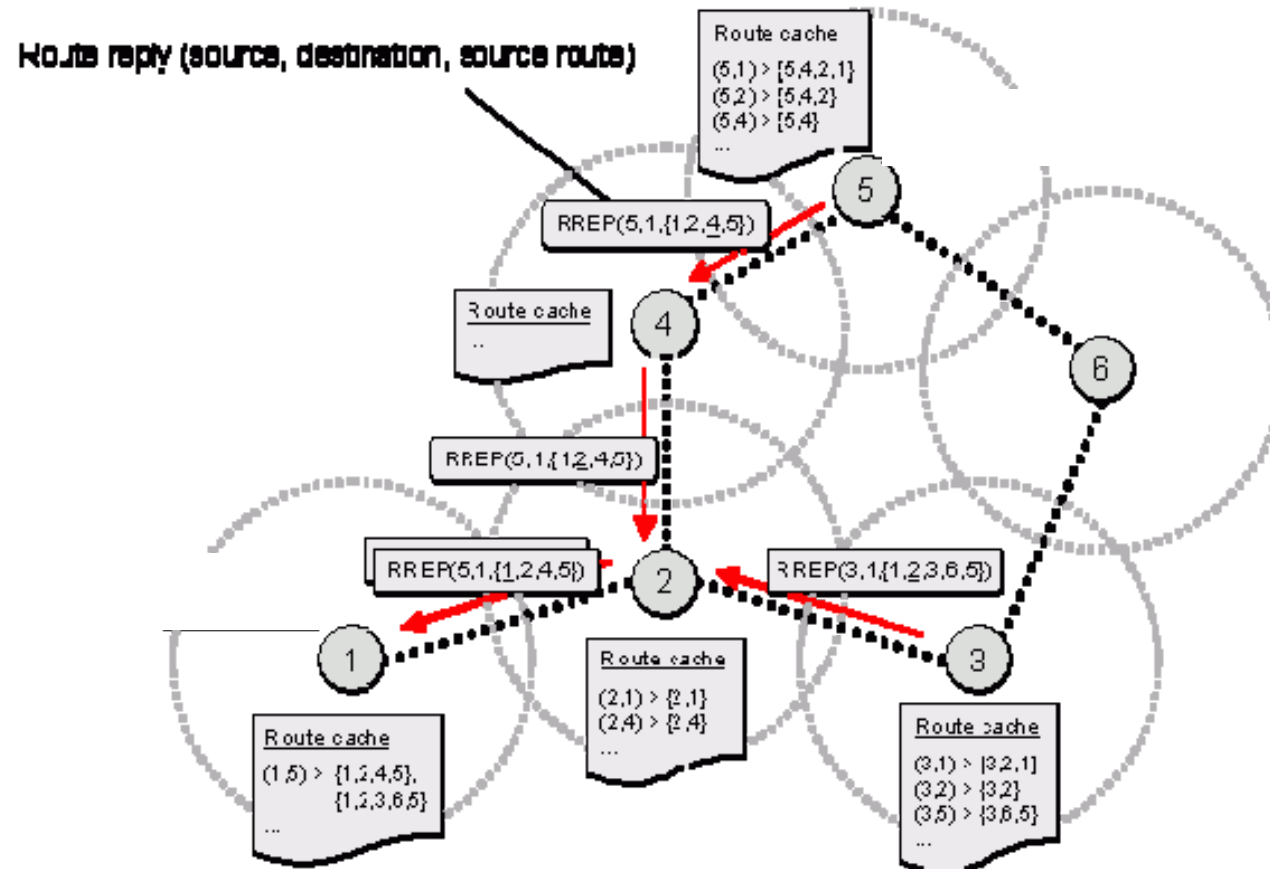
- La route entière est déterminée par la source vers la destination.
- Les adresses des nœuds intermédiaires sont inscrites dans le paquet.
- N'utilise pas les paquets hello.
- Développé pour des MANET de petits diamètres (entre 5 et 10 sauts) et de vitesse modérée.
- Maintien de routes seulement entre nœuds communicants
- Liens bi-directionnels



# DSR



# DSR



# DSR

## Utilisation des caches:

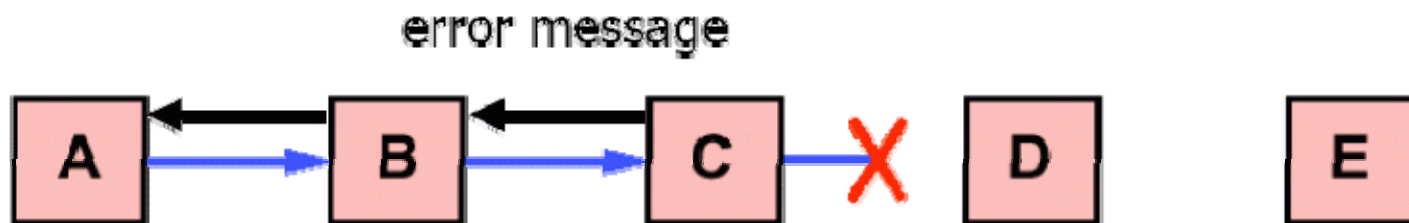
- J'inscris en cache toutes les routes inscrites dans les paquets que je transmets et que je fais suivre.
- Limite les demandes de route
- Utile à la reconstruction de routes lors d'une rupture de liens
- Pb : gestion du cache



# DSR

## Maintenance des routes :

- Chaque nœud sur la route est responsable du saut suivant sur la route. Chaque nœud doit s'assurer que le prochain nœud sur la route reçoit le message.
- Si au bout de plusieurs essais, le nœud suivant ne reçoit pas le message, un message RouteError est renvoyé à la source, qui peut supprimer cette route de son cache.
- La source peut chercher dans son cache une autre route pour la destination ou initier une nouvelle demande de route.



# AODV

AODV : Ad Hoc On Demand Vector

Norme RFC3561

## Principes

- Limiter l'overhead du source routing
- Construire des tables de routage le long du chemin
- Suppose des liens bidirectionnels
- Un noeud intermédiaire peut renvoyer la route s'il la connaît déjà.
- Chaque noeud stocke le prochain saut vers la destination.



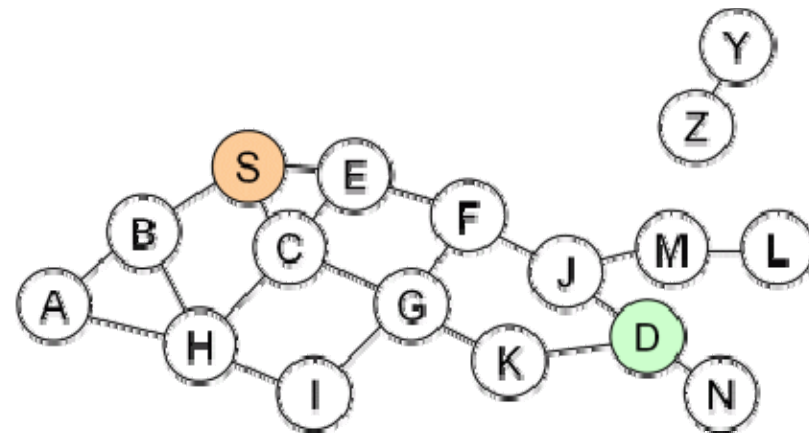
# AODV

## Recherche de route :

- La source diffuse un paquet RREQ par inondation
- À réception d'un RREQ
  - Sans connaissance de la destination
    - **Mise à jour du nombre de sauts**
    - **Mémorisation du noeud précédent**
    - **Transmission à ses (autres) voisins**
  - Connaissance d'un chemin vers la destination
    - **Envoi d'une réponse RREP à la source**
    - **Arrêt de l'inondation**
- À réception d'un RREP
  - Mise à jour de la table de routage locale
  - Transmission du RREP vers le noeud précédent mémorisé

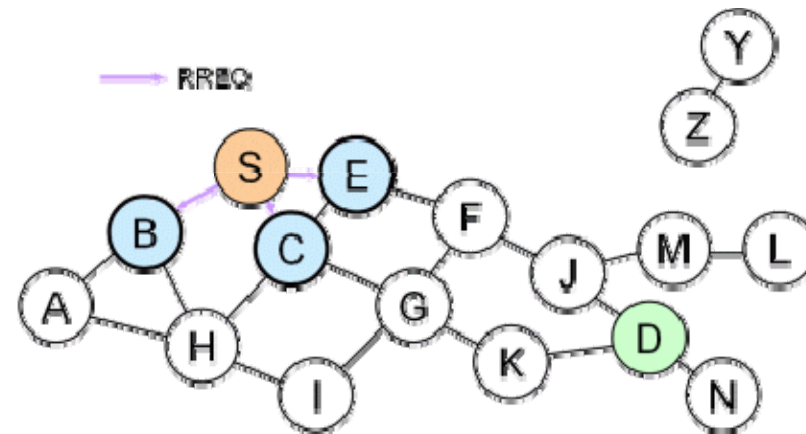


# AODV

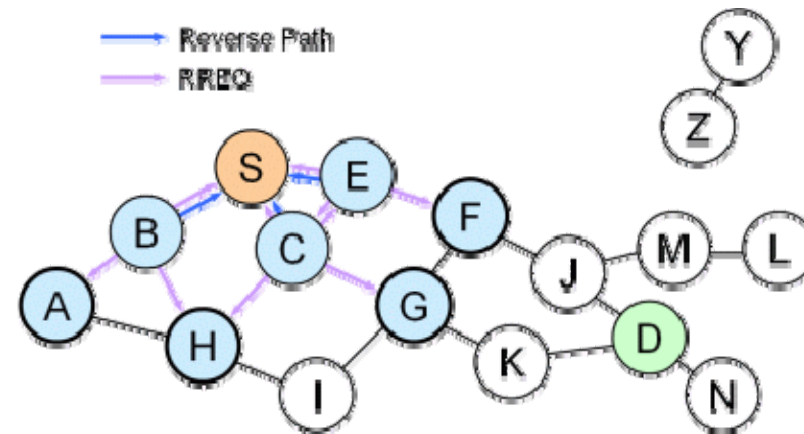




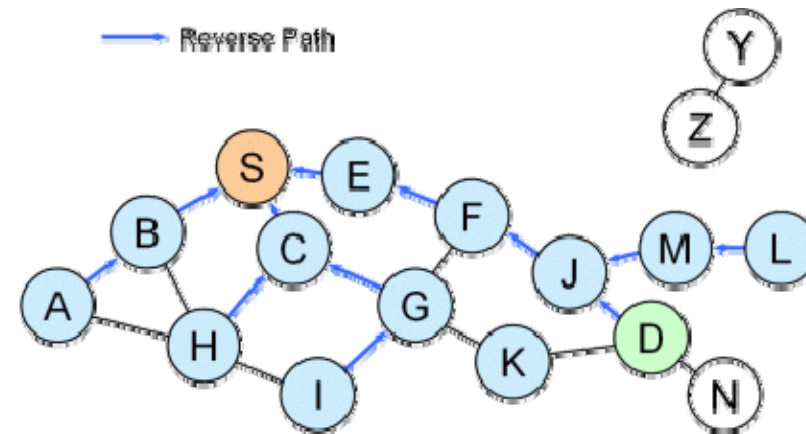
# AODV



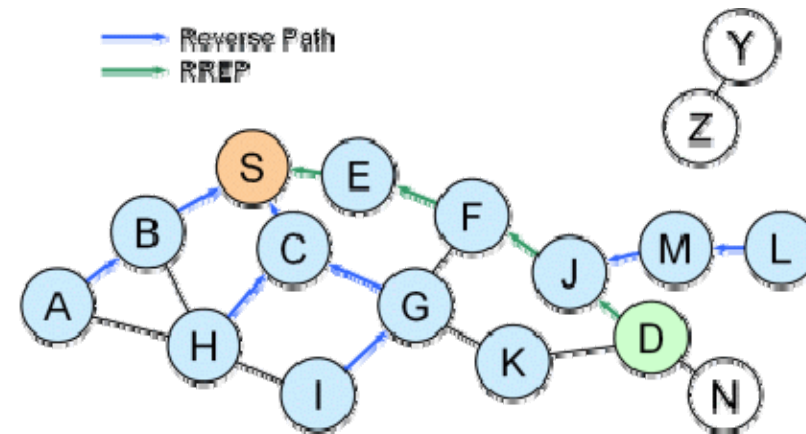
# AODV



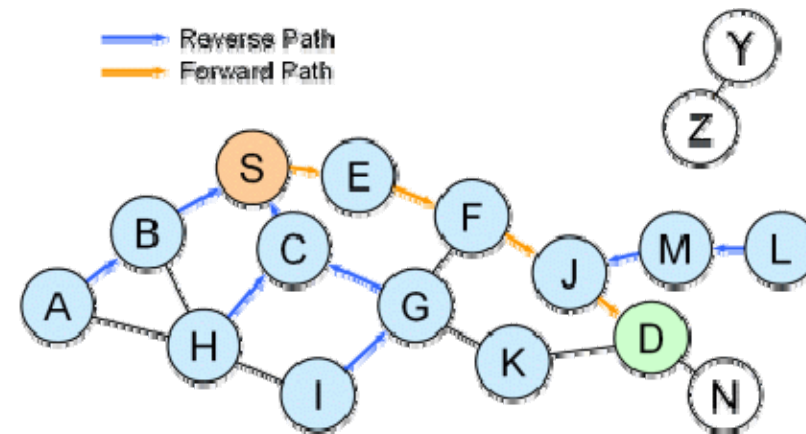
# AODV



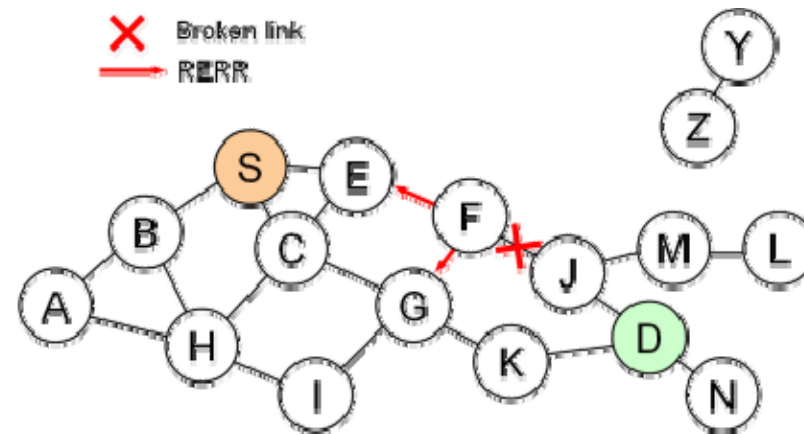
# AODV



# AODV



# AODV



# Réactifs

## Autres protocoles réactifs

- TORA (Temporary Ordering Routing)
  - Conçu pour minimiser l'effet des changements de topologies
  - Stocke plusieurs chemins vers une destination
  - Messages de contrôle limités à un ensemble de réduit de nœuds autour du changement de topologie.
- ABR (Associativity Based Protocol)
  - Basé sur le degré d'associativité (stabilité de connexion en fonction du temps)
  - Pas de boucles
  - Pas de blocage ni de duplication de paquets



# Les routages proactifs



INSTITUT NATIONAL  
DE RECHERCHE  
EN INFORMATIQUE  
ET EN AUTOMATIQUE



centre de recherche  
**LILLE - NORD EUROPE**



# OLSR

OLSR : Optimized Link State Routing

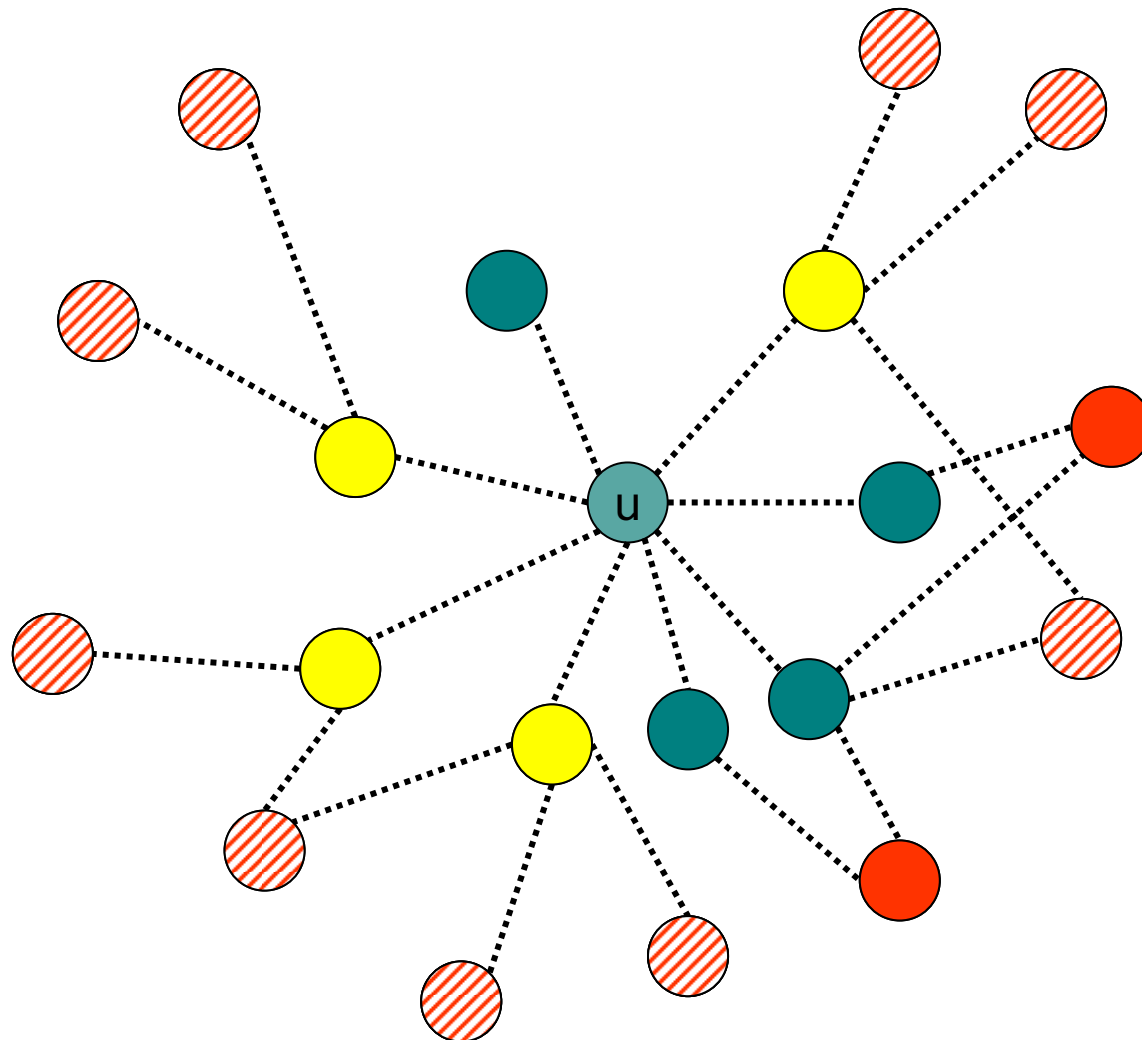
RFC 3626

## Principes

- Même base que OSPF (état de liens)
- Diffusion optimisée par les MPR



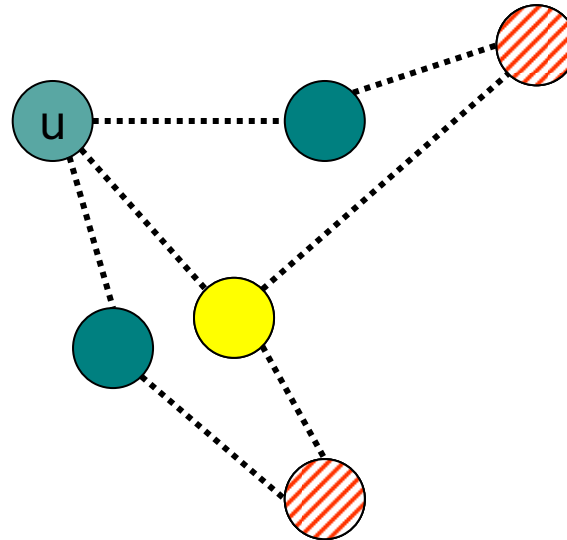
# MPR selection algorithm : example



First step: select nodes in  $N_1(u)$  which cover « isolated points » of  $N_2(u)$  .



# MPR selection algorithm : example

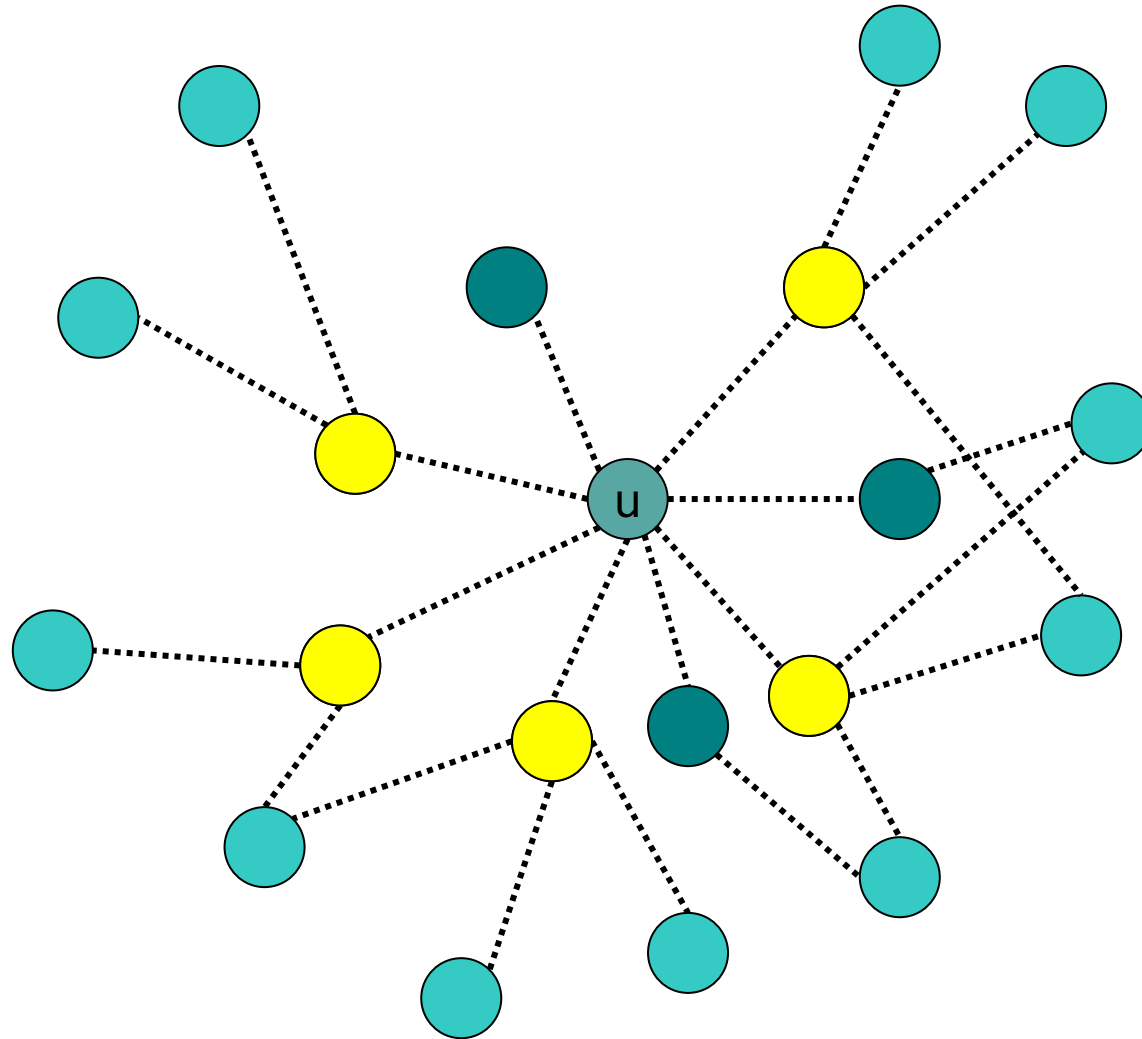


Second step : Consider in  $N_1(u)$  only points which are not already selected at the first step  $MPR_1(u)$  and points in  $N_2(u)$  which are not covered by the  $MPR_1(u)$  .

While there exists points in  $N_2(u)$  not covered by the selected MPR, select in  $N_1(u)$  the node which covers the highest number of non-covered nodes in  $N_2(u)$



# MPR selection algorithm : example



# Pro-actifs

## D'autres protocoles proactifs

- DSDV (Dynamic Destination Sequenced Distance Vector)
  - Vecteur de distance (Bellmand-Ford)
  - Transmission périodique de toute la table
  - Transmission des changements importants de routes
  - 😊 pas de boucles ni de distances infinies
  - 😞 lent, beaucoup d'overhead
- WRP (Wireless Routing Protocol)
  - Recherche de route semblable à DSR
  - Mise à jour sur changements significatifs
  - Maintien de table de routage, table de distances, table des couts des liens
  - 😊 vérification de la constance des voisins



# OLSR

## Recherche de voisinage à 2 sauts

- Message hello (toutes les 2 s)
- Contenu : listes des voisins directs

## Diffusion avec ensemble MPR

- Tous les noeuds reçoivent les infos
- Seul un sous-ensemble retransmet

## Diffusion de l'information

- Via les MPR
- Par envois périodiques de paquets TC (Topology Control)
  - Liste des voisins dont je suis le relais

## Construction des tables de routage

- Plus court chemin (Dijkstra) sur les MPR



# Pro-actifs

## D'autres protocoles proactifs (suite)

- FSR (Fish eye State Routing)
  - États de liens
  - Grande précision sur les voisins proches, moins bonne sur les voisins lointains.
  - 😊 scalable, volume de données faible, pas de recherche de routes



# Les routages hybrides



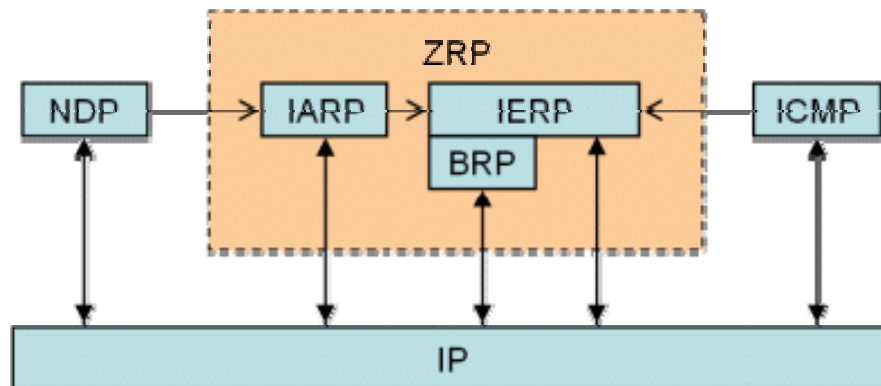
INSTITUT NATIONAL  
DE RECHERCHE  
EN INFORMATIQUE  
ET EN AUTOMATIQUE



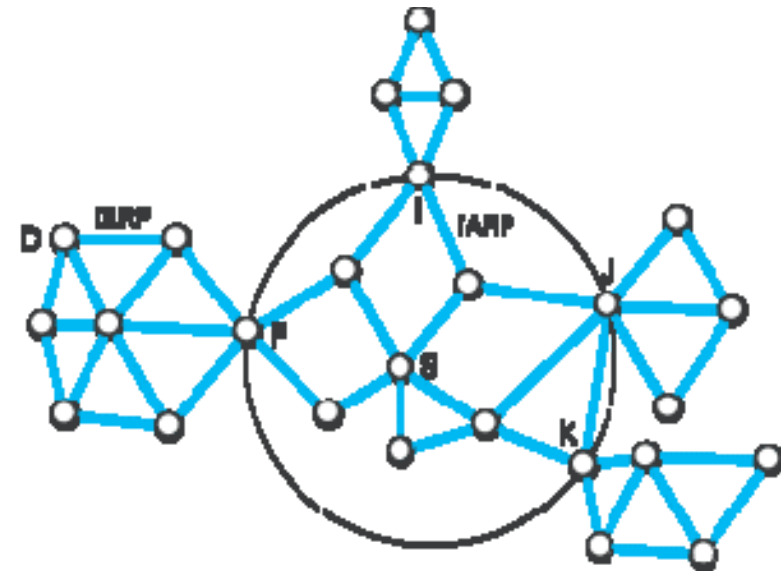
centre de recherche  
**LILLE - NORD EUROPE**



# ZRP



Plus résistant à la mobilité avec de grandes zones



- ▶ IARP : proactif simple
  - Découverte des voisins (msg hello)
  - État des liens envoyé à tous
  - Calcul table de routage
- ▶ IERP : utilise un arbre multicast (BRP)
  - Si D hors zone, recherche par les noeuds périphériques

# Les routages géographiques



INSTITUT NATIONAL  
DE RECHERCHE  
EN INFORMATIQUE  
ET EN AUTOMATIQUE



centre de recherche  
**LILLE - NORD EUROPE**

# Position-based routing algorithms

## Why ?

- Localized
  - Memory-less
  - Loop-free
- scalable and well adapted to wireless sensor and RFID networks

## What ?

- A guaranteed delivery energy-efficient position based routing
- With or without position information

## How ?

- By combining several techniques (energy-efficient face routing if GPS, several kinds of virtual coordinates if not)



# Position-based routing protocols - Classification

Two kinds of position information :

- 'Real' coordinates
  - Exact : Obtained from a GPS
  - Approximated : Derived from triangulation or any other mean
- 'Virtual' coordinates
  - Derived from distance in number of hops from landmarks (most current one)
  - Other mean

Classification :

- Basic greedy algorithm
- Energy efficient (EE)
- Guaranteed delivery (GD)
- EE+GD
- Multicast
- Anycast



# Classification

## With geographical information

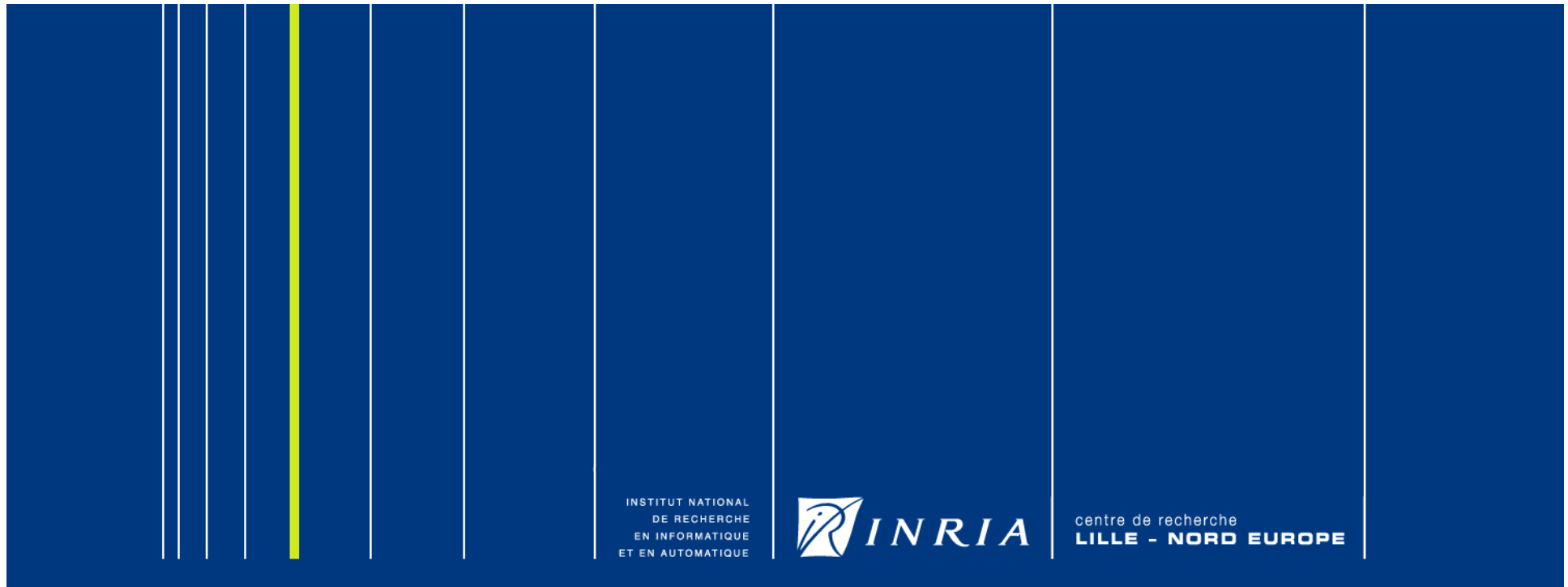
- Basic algorithm: **MFR**
- Energy efficient (EE): **COP**
- Guaranteed delivery (GD): **GFG**
- EE+GD: **EtE**
- Multicast: **MSTEAM**
- Anycast: **COPA, EEGDA**

## Without geographical information

- Basic algorithm: **VCap**
- Energy efficient (EE): **VCost**
- Guaranteed delivery (GD): **LTP**
- EE+GD: **HeCTOR**
- Anycast: **?**



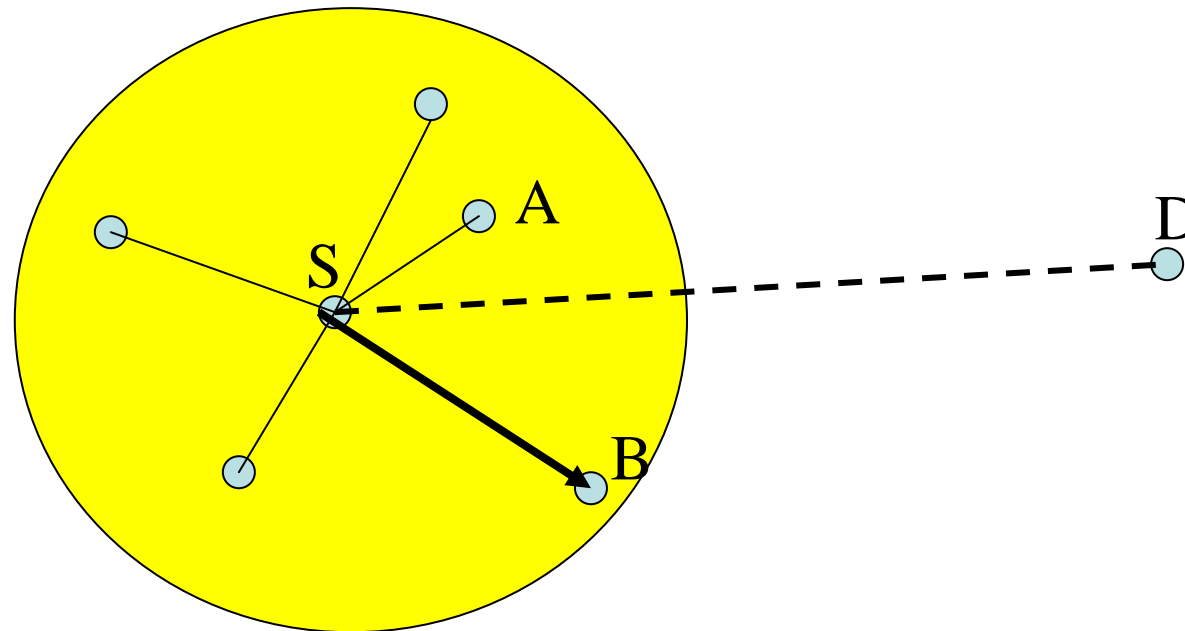
# With geographical information



# Greedy-position based : MFR and variations

Localized protocol:

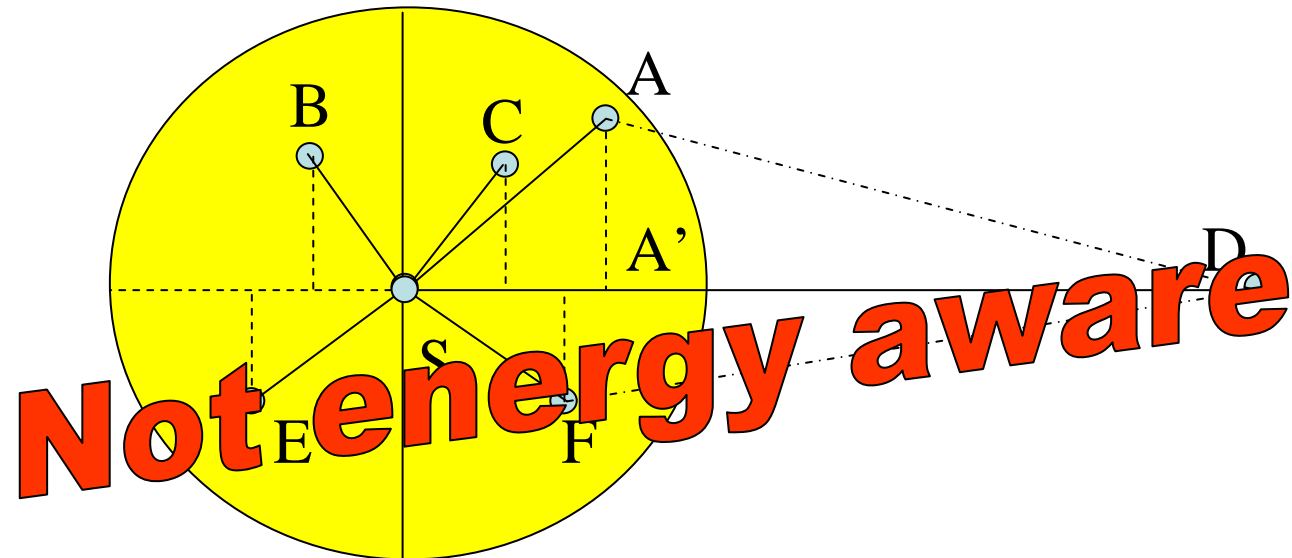
- S knows only position of itself, its neighbors and destination D
- S forwards to neighbor B closest to D [Finn 1987]



Additional constraint: memoryless algorithm



## Progress based routing '84-86.



Random progress [Nelson, Kleinrock 1984]: A, C or F

NFP, Nearest Forward Progress [Hou, Li 1986]: C

MFR, Most Forward within Radius [Takagi, Kleinrock 1984]: A

- Choose closest projection on SD; minimize SA.SD





# Cost to progress ratio framework

[Stojmenovic 2006]

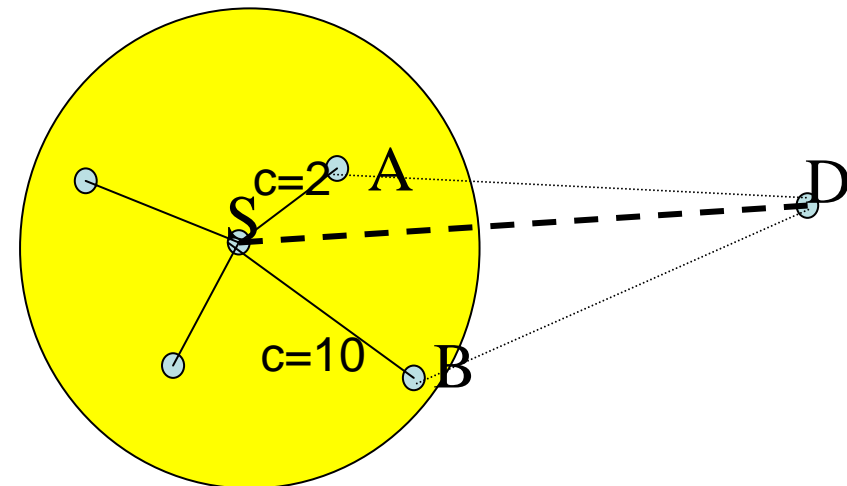
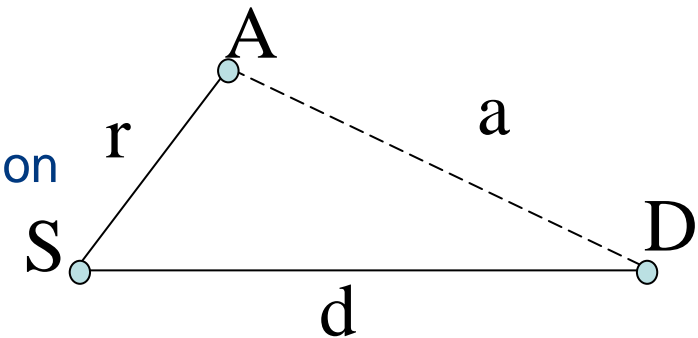
- Progress: measures advance toward destination

$$\text{Progress} = |SD| - |AD| = d - a$$

- Select neighbor A that minimizes

$$\text{cost}(SA) / \text{progress}(A)$$

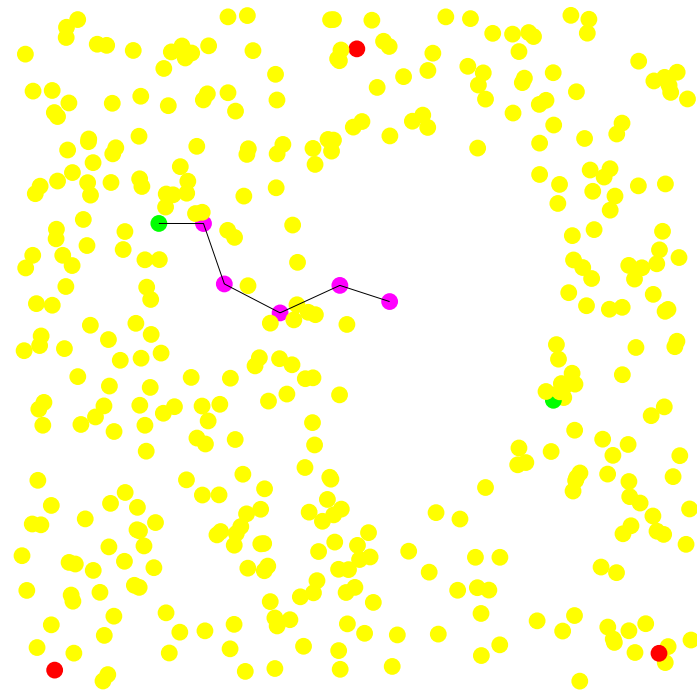
- If Hop count:  $\text{cost} = 1$   
→ Maximize advance



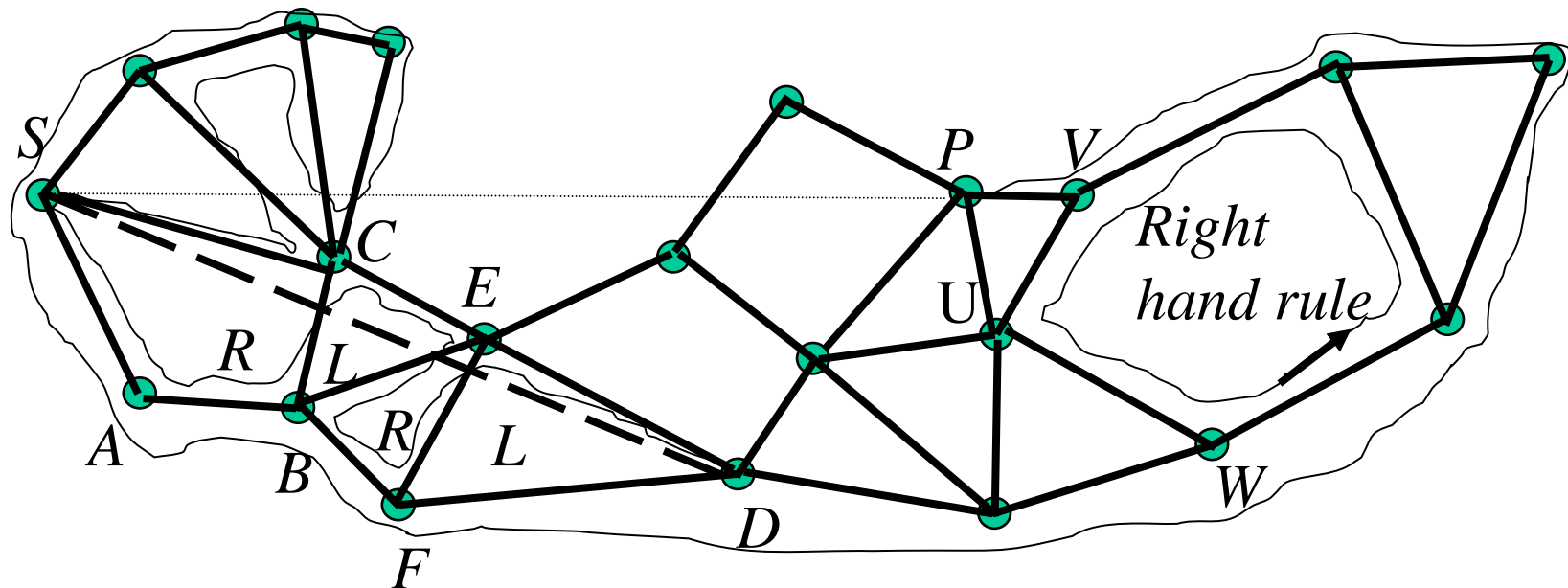
# Position-based routing protocols - Classification

All protocols listed so far are greedy basic protocols :

- They require the use of a GPS.
- They do not guaranty delivery.



# Face routing – guaranteed delivery



[Bose et al. 1999]

Construct planar subgraph

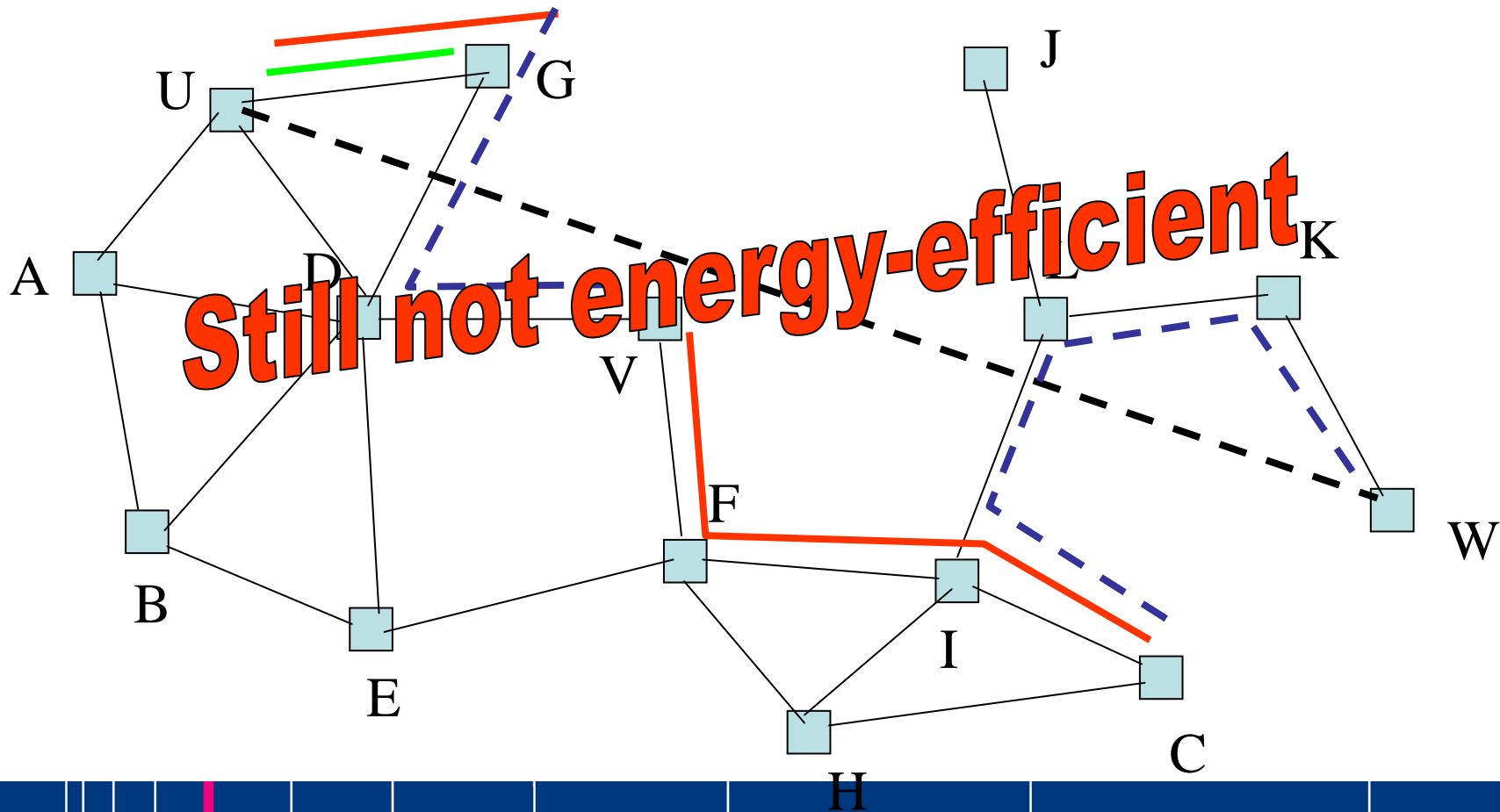
Route in planar subgraph:

- SABCEBFED
- SC...ABFD...W...VP



# GFG= Greedy-FACE-Greedy - illustration

Greedy, GFG (greedy-face-greedy) [Datta et al. 2002]



# EtE

EtE: End-to-end energy efficient geographical routing with guaranteed delivery

Problems of GFG:

- None phase is energy efficient
  - Greedy phase not energy efficient
  - FACE phase is not energy efficient because
    - Application of Gabriel Graph for planarization leads to short edges
    - Small jumps are not optimal

→ We enhance both phases.

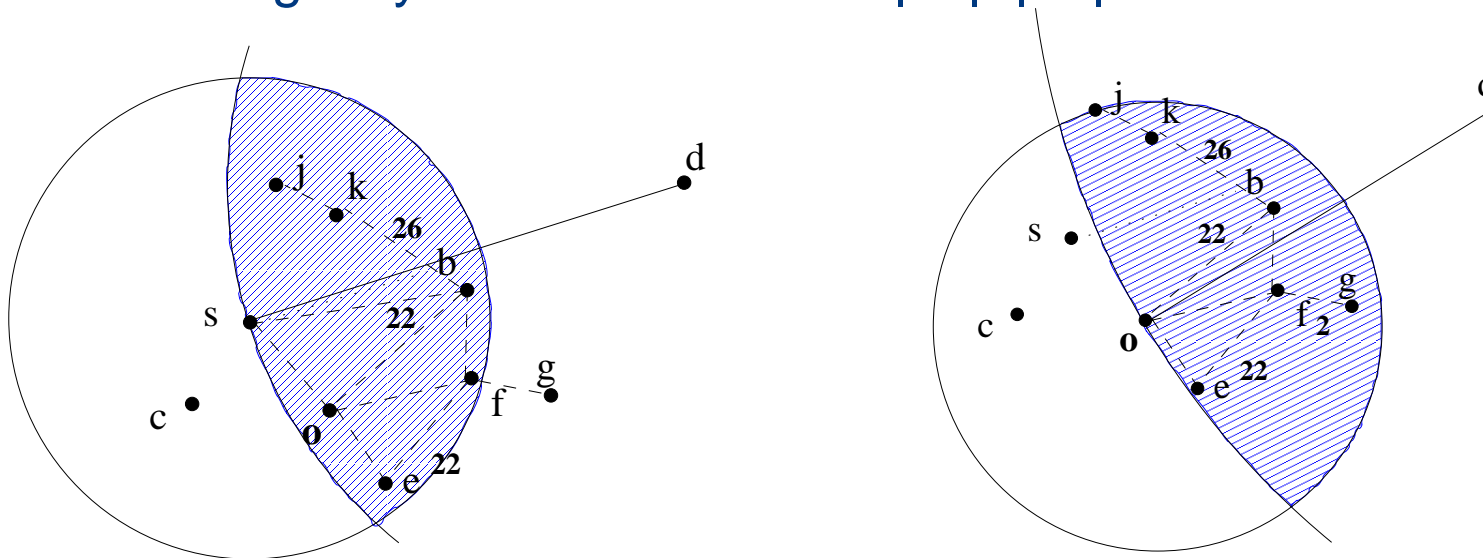


# EtE – greedy step

s forwards the message to the first node on the energy weighted shortest path (SP) to the node u which minimizes :

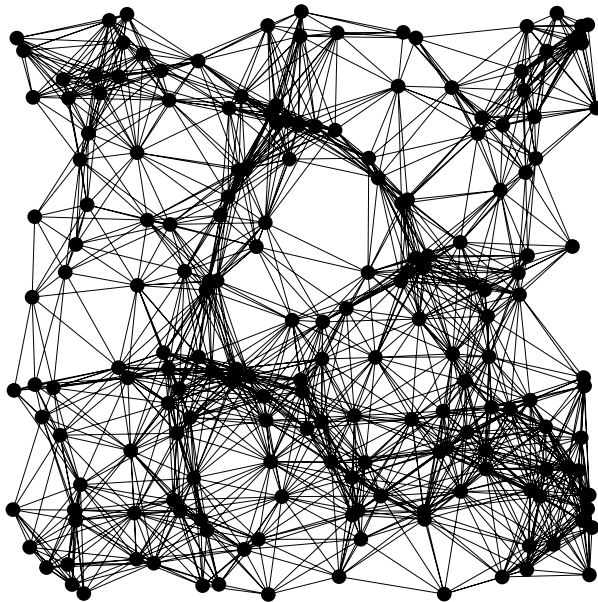
$$\text{cost}_{\text{SP}}(|su|) / \text{progress}(u \rightarrow d)$$

where  $\text{cost}_{\text{SP}}(|su|)$  is the energy cost of the shortest path from s to u by considering only nodes u such that  $|sd| > |ud|$ .

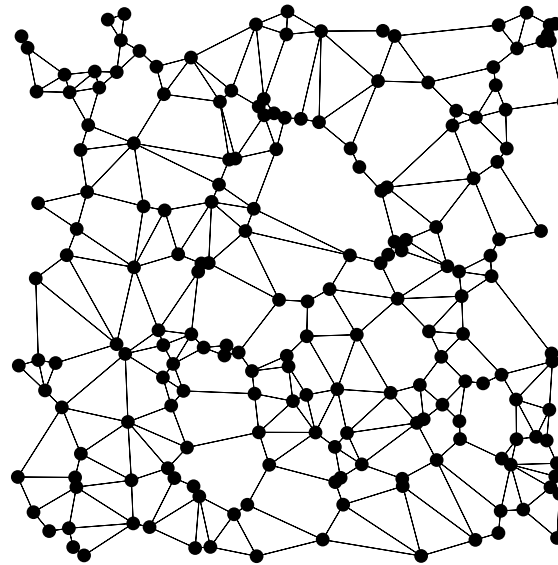


# EtE – recovery step

Problem of plain Face algorithm :

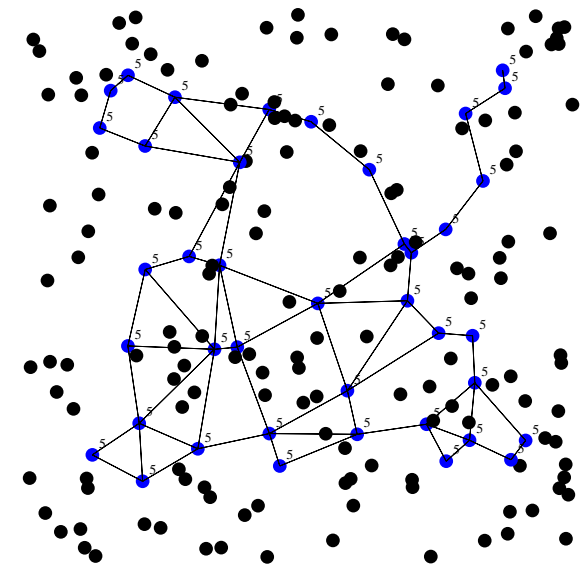


Initial graph



GG on initial graph :

Edges on face are smaller than the optimal range  $\rightarrow$  SP is that edge

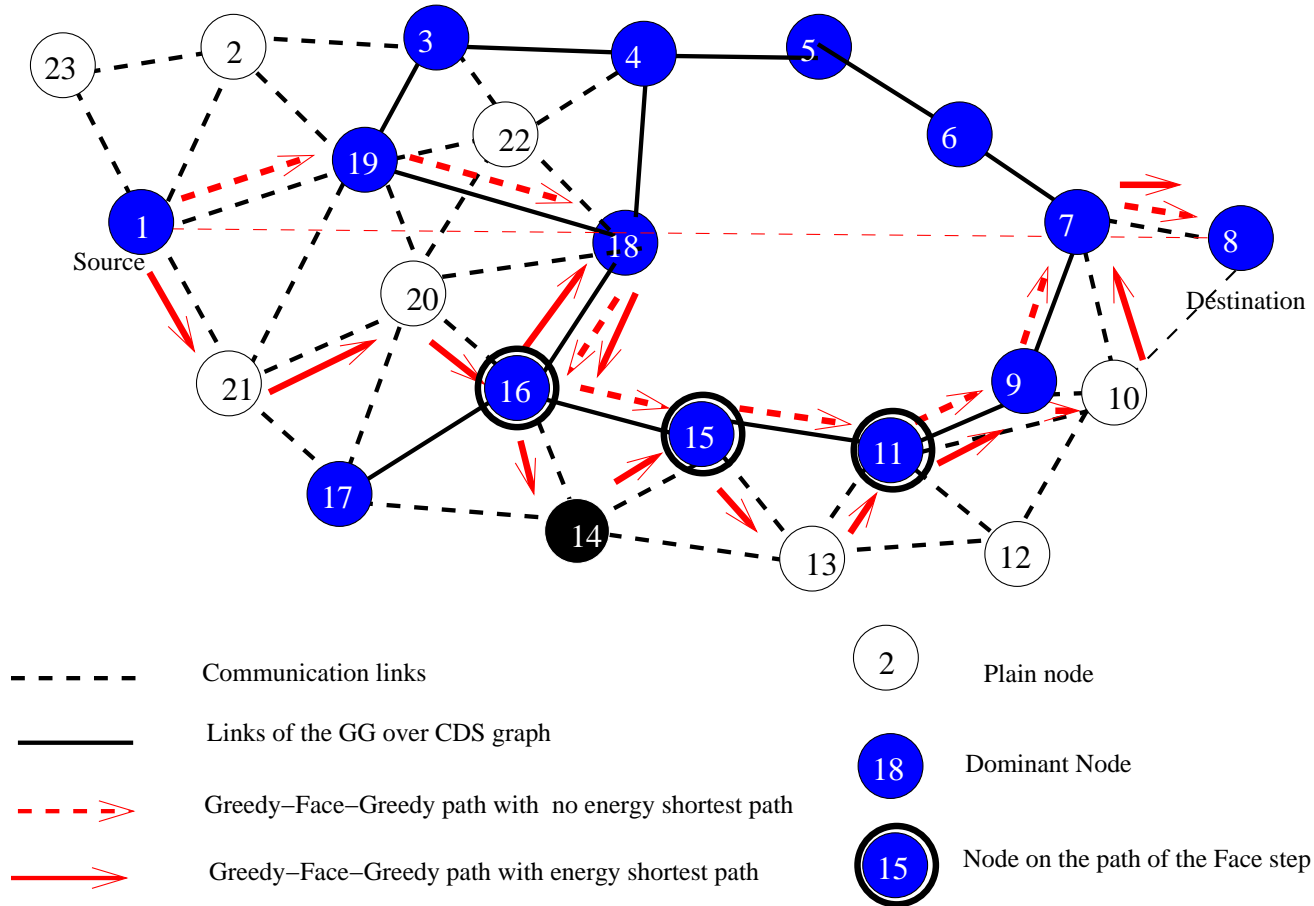


GG on DS graph :

Edges on face are longer than the optimal range  $\rightarrow$  SP can be applied

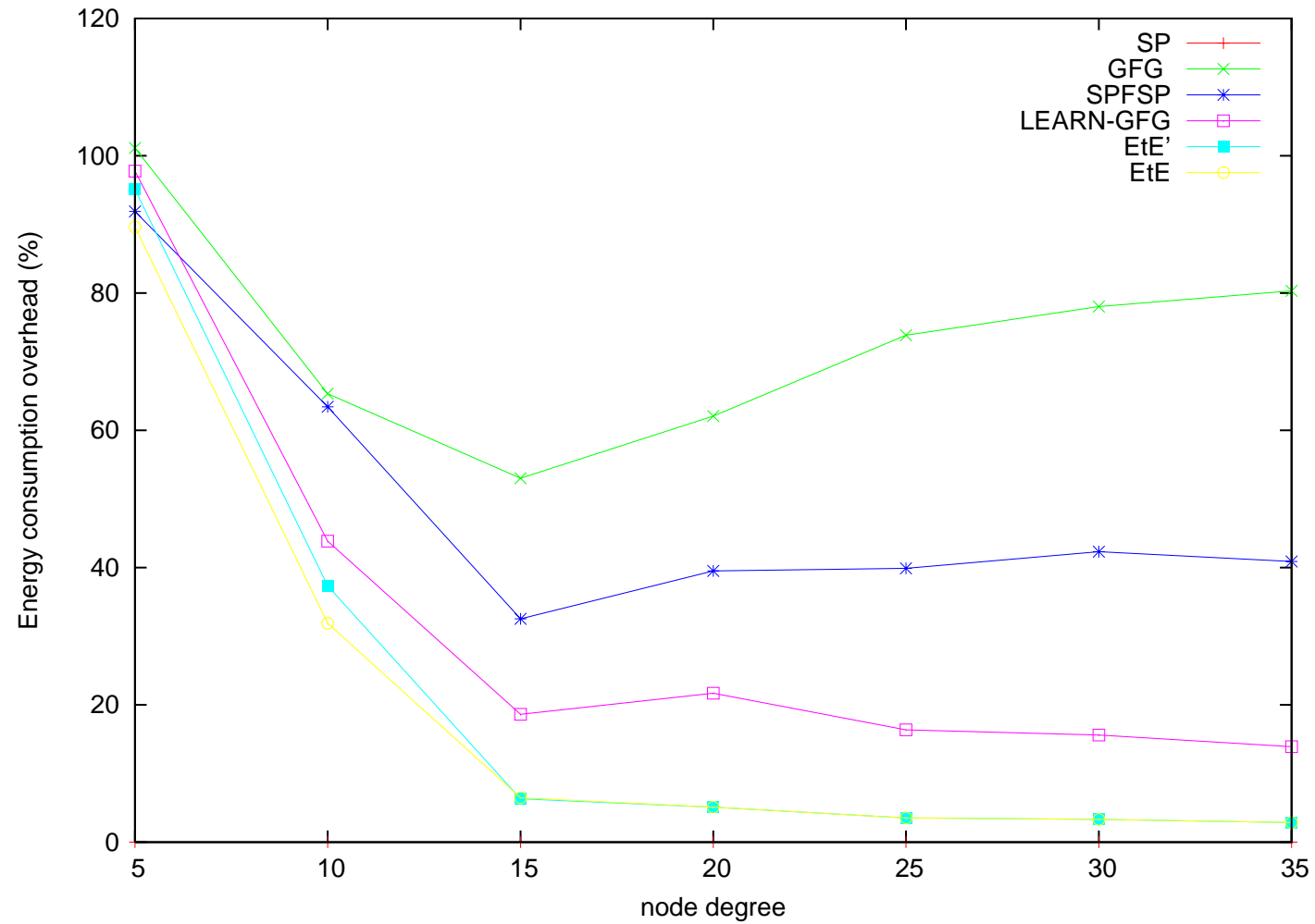


# EtE





# Comparison



# Réseaux de capteurs, un état de l'art des algorithmes de routage

Nathalie Mitton, EPI POPS

15/10/2009

INSTITUT NATIONAL  
DE RECHERCHE  
EN INFORMATIQUE  
ET EN AUTOMATIQUE



centre de recherche  
**LILLE - NORD EUROPE**



**POPS**