

Réseaux Adhoc

3ATR-Parcours T
B.Paillassa

1

SOMMAIRE

1. Introduction
2. Notions de base en réseaux ad hoc
3. Protocoles de routage manet et IoT : DSR , AODV, LOADng
4. Problèmes de l'inondation et solutions
5. Routage structuré
6. Autoconfiguration et adaptations des protocoles IET aux réseaux adhoc

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

2

1-Introduction

Notion de réseau adhoc

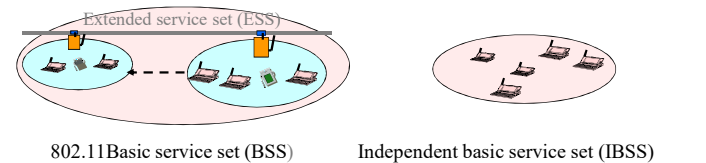
Un reseau sans fil pour équipements mobiles

- Formé de façon adhoc 'on the fly', sans infrastructure
- Chaque nœud est mobile
- Aucun équipement permanent ou préexistant : administration décentralisée
- *"An ad hoc network is a collection of wireless mobile hosts forming a temporary network without the aid of any established infrastructure or centralized administration"* (johnson)

3

Réseau sans infrastructure

- Exemple de transmission sans infrastructure : 802.11
- En 802.11 : 2 topologies
 - avec station de base
 - sans station de base : 'le mode adhoc'



4

Introduction- l'accès en réseaux adhoc

Les basiques:

- solution à accès contrôlé de type TDMA (multiplexage temporel)
mise en place de slots temporels alloués périodiquement
- solutions à compétition de type CSMA (Ethernet, 802.11 DCF)
 - CSMA listen before talk
 - Paquet en point à point (acquiescement par paquet)
 - Paquet en diffusion (non acquitté)
- solutions mixtes (réservation 802.11 HCF)

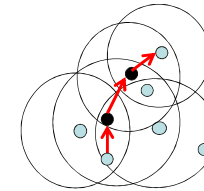
Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa



5

Relayage dans un réseau adhoc

- Pour atteindre une destination un nœud peut traverser plusieurs liaisons : **Relayage multisauts**



- Les nœuds d'un réseau adhoc sont tous potentiellement des routeurs

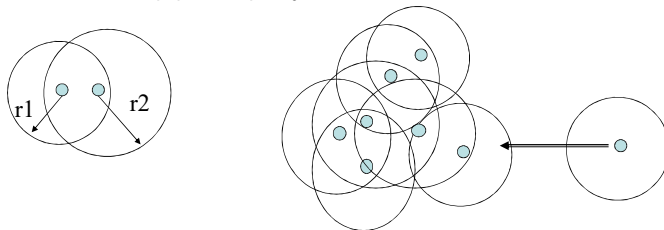
Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa



6

Formation d'un réseau adhoc

- Formé par deux équipements à portée
- Un nouvel équipement peut rejoindre le réseau à tout moment



- Un équipement peut quitter le réseau à tout moment : => il devient inatteignable
- Deux réseaux adhoc peuvent se 'rencontrer' et constituer un seul réseau : Merge

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa



7

Utilisation des réseaux adhoc 1/2

De nombreuses applications

- domaine personnel : telephone cellulaire, laptop..
- domaine militaire
- zone rurale
- entrepôt, usine, grande distribution
- monuments historique, gare, aéroport
- entreprise
- opérations d'urgence : tremblement de terre, tsunami..

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa



8

Utilisation des réseaux adhoc 2/2

Les techniques de réseaux adhoc sont utilisées dans plusieurs 'nouveaux réseaux'

Pour les réseaux **mesh**

- Reutilisations des principes adhoc
 - Principe de la transmission multisauts + administration décentralisée
 - 802.11s : Routage HWR= Hybrid Wireless Mesh Protocol, (xAODV, xOLSR, Tree)

Pour les réseaux **vanet**,

- Réseaux adhoc avec schéma de mobilité particulier dans les réseaux de véhicules

Pour les réseaux de **senseurs**

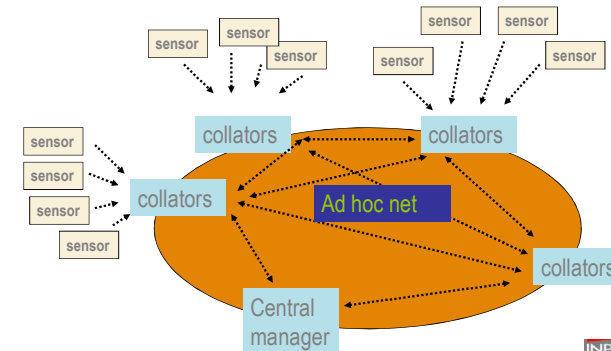
- Réseaux adhoc utilisés en complémentarité
- Pour les réseaux spontanés auto-organisés Self-Organizing Networks (SON)



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

9

Exemple d'application des réseaux adhoc



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

10

Evaluation de réseaux adhoc: des environnements différents

- Des caractéristiques de trafics différentes
 - Débit
 - Contraintes de temps réel
 - Survivabilité
 - Portée Unicast/multicast/geocast
- Des caractéristiques de déplacements variables
 - Des personnes dans un salon
 - Des taxis parisiens
 - Des mouvements militaires
 - Des mouvements aériens en 3D ...



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

11

2. Notions de base dans les réseaux adhoc

- 1. Notion de mobilité
 - les modèles
- 2. Notion de routage
 - la classification des protocoles



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

12

2.1 Notions de base-La mobilité

Caractéristiques de mobilité

- La vitesse
- La prédictibilité du déplacement
 - direction du mouvement
 - schéma
- Le degré d'uniformité du mouvement sur les nœuds
- => des modèles de mobilité

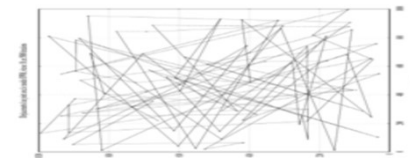
Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa



13

Modèle aléatoire Random Walk, RWP

- Random walk
Un nœud choisit aléatoirement une destination et une vitesse $[0, v_{max}]$
 - Random Waypoint Model (RWP)
 - Un nœud choisit aléatoirement une destination et une vitesse $[0, v_{max}]$
 - Une fois atteint sa destination le nœud s'arrête : le Pause Time
 - Paramètres du modèle ; vitesse max, temps de pause
- Problèmes : choix du placement initial, tendance des terminaux à passer par le centre, traitement aux bordures



14

Modèle de groupe RPGM

- Reference Point Group Mobility (RPGM)
 - Les mobiles sont organisés en groupes
 - Un mouvement de groupe de mobiles est déterminé par un point de référence logique
 - Chaque nœud du groupe suit le point de référence avec une faible déviation
 - Paramètres du modèle Angle Deviation Ratio(ADR) and Speed Deviation Ratio(SDR).

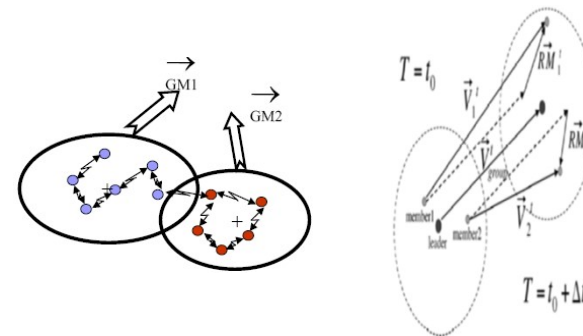
$$\begin{aligned} |\vec{V}_{node}(t)| &= |\vec{V}_{reference}(t)| + random() \times SDR \times V_{max} \\ \theta_{node}(t) &= \theta_{reference}(t) + random() \times ADR \times \theta_{max} \end{aligned}$$

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa



15

Modèle de groupe RPGM



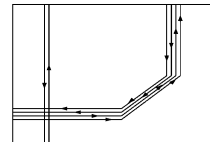
Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa



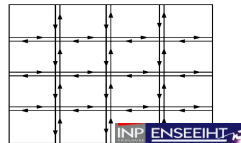
16

Modèles à contraintes géographiques : Modèles Freeway (FW) et Manhattan (MH)

- Freeway Model (FW)
 - Un noeud se déplace selon sa ligne sur une autoroute
 - La rapidité d'un noeud dépend de sa rapidité antérieure
 - Si 2 noeuds sont sur la même ligne d'autoroute à portée de la distance de sécurité, la vitesse du noeud suiveur ne peut pas dépasser celle du noeud de tête (pas de collision, dépassement..)
- Manhattan Model (MH)
 - Amélioration du modèle Freeway
 - Les noeuds peuvent tourner à des intersections



Map for FW



Map for MH

17

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

2.2 Notions de base-Le routage

- Utiliser pour masquer la mobilité (approche directe dans le réseau)

Comment acheminer une information alors que la topologie évolue ?

- Limitations des protocoles de routage de l'Internet
- De nouveaux protocoles de routage pour prendre en compte :
 - Topologie dynamique
 - Bande passante limitée
 - Puissance limitée
 - Possibilité du passage à l'échelle
- Le groupe MANET IETF



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

18

Rappel-Caractéristiques de base des protocoles de routages

Le relayage

- par destination/arbre
 - Calcul par vecteur de distance
 Chaque nœud échange ses voisins de façon cyclique
 - Calcul par état de lien
 Chaque nœud apprend toute la topologie
- Source
 - Chaque nœud apprend la route pour chaque destination

La stratégie

- Proactive : les routes sont maintenues périodiquement
- Reactive /on demand : les routes sont établies à la demande
- Hybride



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

19

Protocoles réactifs / proactifs

- Protocoles réactifs
 - aucun échange de paquets de contrôle pour construire des tables de routage
 - consommation d'une grande quantité de ressources pour découvrir une simple route entre 2 points du réseau
- Protocoles proactifs
 - établissent des tables de routage par l'échange régulier de messages de contrôle
 - des tables de routage dynamiques permettent de tracer la route optimale
 - consommation d'une grande quantité de ressources pour prendre en compte la dynamique de la topologie



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

20

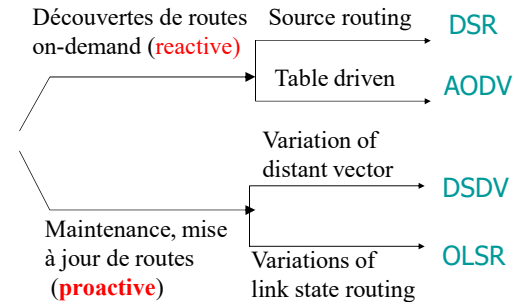
L'approche réactive Vs L'approche proactive

PROTOCOLES PROACTIFS	PROTOCOLES REACTIFS
Echange des paquets de contrôle	Réaction à la demande en diffusion de requêtes
Mise à jour continue des tables de routage	Pas de tables de routage maintenues en continu
⊕ Les routes sont immédiatement disponibles à la demande.	⊖ Cout important pour la mise en place des routes (inondation). ⊖ Délais importants avant l'ouverture de chaque route.
⊖ Le trafic de contrôle et de mise à jour peut être important et partiellement inutile.	⊕ Pas de trafic de contrôle continu pour les routes non utilisées.
Exemples de protocoles proactifs	Exemples de protocoles réactifs
OLSR : On demand Link State Routing	DSR : Dynamic Source Routing
DSDV : Demand Sequenced Distance Vector	AODV : Adhoc On demand Distance Vector TORA : Temporally Ordered Routing Algorithm

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

INP ENSEEIHT 21

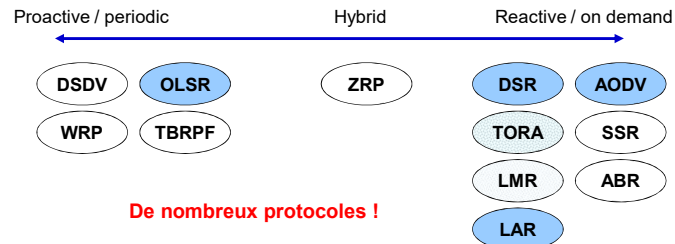
Classification des principaux routages standards Manets



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

INP ENSEEIHT 22

Protocoles de Routage ad hoc



DSDV = Destination-Sequenced Distance-Vector Routing, OLSR=Optimized Link State Routing,
WRP = Wireless Routing Protocol, TBRPF = Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding

ZRP = Zone Routing Protocol

DSR = Dynamic Source Routing, AODV = Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing,
TORA = Temporally Ordered Routing Algorithm, SSR = Signal Stability Routing,
LMR = Lightweight Mobile Routing, ABR = Associativity-Based Routing, LAR = Location-Aided

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

23

Autres caractéristiques du routage

- Single channel, Multiple channel (802.11 vs CDMA/FDMA/TDMA)
- Position based /Address based (Topology based)
- Topologie complète, topologie partielle
- Caractéristiques de hiérarchisation
- Single path, multi path

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

24

Plus d'informations sur les manets

- [Mobile Ad hoc Networking \(MANET\): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations \(RFC 2501\)](#)
- [Ad Hoc On Demand Distance Vector \(AODV\) Routing \(RFC 3561\)](#)
- [Optimized Link State Routing Protocol \(RFC 3626\)](#)
- [Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding \(TBRPF\) \(RFC 3684\)](#)
- [The Dynamic Source Routing Protocol \(DSR\) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4 \(RFC 4728\)](#)

Principe des réseaux adhoc : synthèse

En quoi les réseaux adhoc sont différents des réseaux pourquoi autant de travaux?

- distance de transmission limitée, médium à diffusion, problème de terminaux cachés
- des problèmes de batterie
- => des **protocoles d'accès** adaptés
- => contrôle de puissance
- des changements de routes, partitions/aggrégation de réseaux
- des limitations de capacités de traitement, de batteries
- => des **protocoles de routages adaptés**
- des pertes de paquets dues à la transmission sans fil, aux ruptures de routes
- => des **adaptations transports**
- Pas de structure fixe, pas d'administration centralisée :
- => des **adaptations, d'autoconfiguration, de sécurité**

3-Protocoles de routage Manet-DSR et AODV, IoT-LOADng

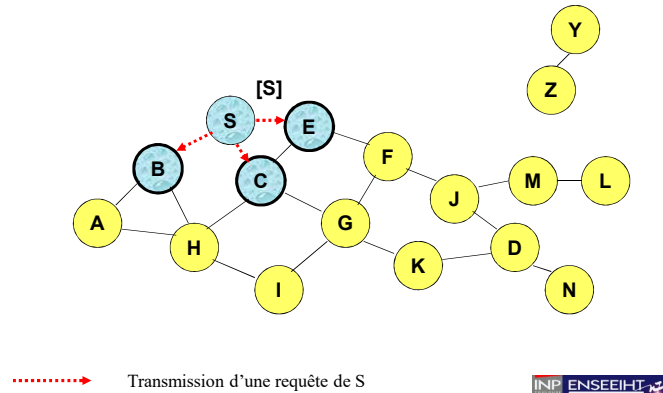
- 2 Protocoles réactifs
- DSR : Dynamic Source routing, un protocole source
- AODV: Adhoc On Demand Distance Vector Routing, un protocole par table

3.1 Le protocole de routage Dynamic Source Routing

Principe du DSR

- Le paquet émis par une source contient la liste des nœuds de relaying
- pour connaître la route le nœud utilise une procédure de découverte : un paquet **route request RREQ** est diffusé dans le réseau
- chaque nœud qui reçoit la requête qu'il n'a pas déjà vu et dont il n'est pas destinataire rajoute son identifiant dans un champ chemin et la re-diffuse
- A la réception d'une première route request la destination émet une réponse de route **route reply RREP** qui contient le chemin
- La réponse est émise en routage inverse RREP

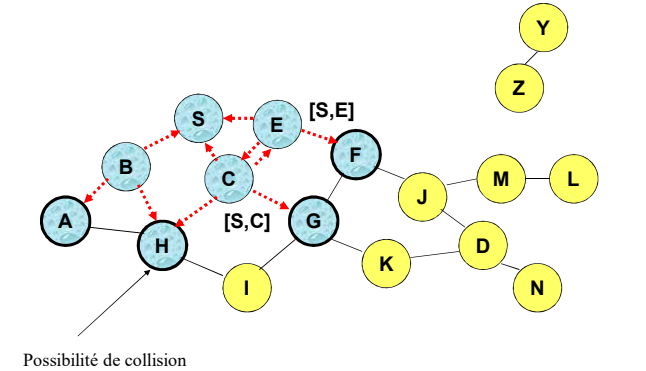
Découverte de routes en DSR 1/5



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

29

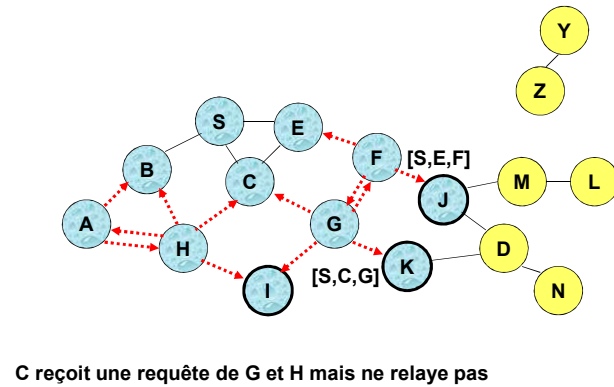
Découverte de routes en DSR 2/5



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

30

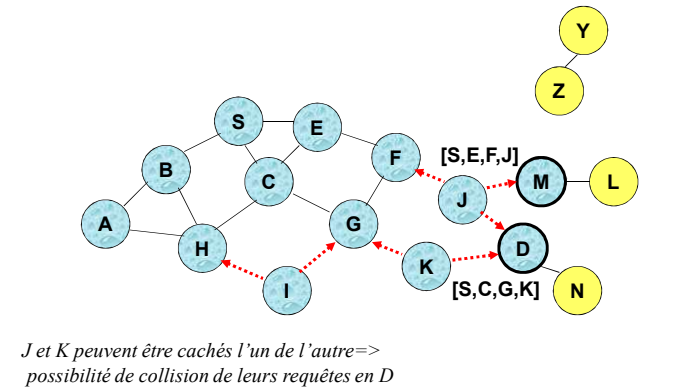
Découverte de routes en DSR 3/5



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

31

Découverte de routes en DSR 4/5

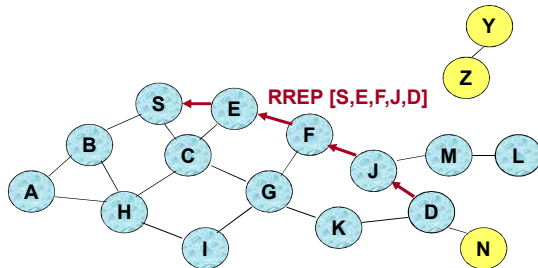


Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

32

Découverte de routes en DSR 5/5

- Envoi de réponse



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

INP ENSEEIHT
33

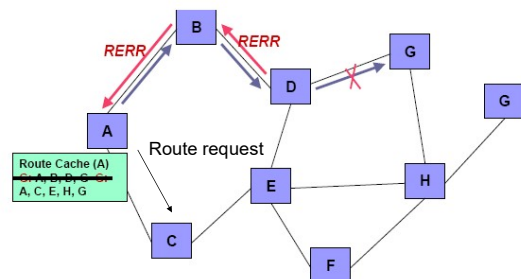
Emission de la réponse- précisions

- Plusieurs possibilité dans le RFC
 - routage inverse
 - utilisation du cache de route et routage direct
 - si les liens ne sont pas symétriques un noeud peut faire une requête auquel il concatène la réponse

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

INP ENSEEIHT
34

Maintenance de routes (RERR) en DSR



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

INP ENSEEIHT
35

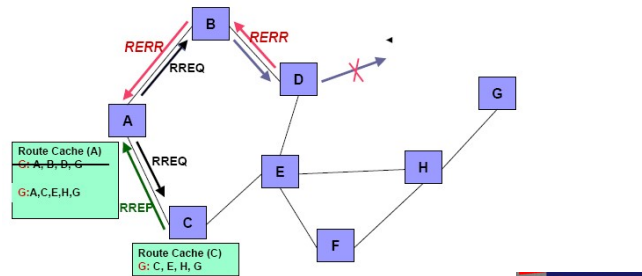
Optimisations DSR

- Le mécanisme de cache** = mémorisation de routes pour un certain temps
- Cache sur la source, le nœud source ne fait pas de découverte de route si il a une route dans son cache
 - En cas d'erreur de route, si une autre route dans le cache existe, elle est utilisée sans faire de recherche de routes
 - Cache sur les nœuds intermédiaires : un nœud qui a la réponse ne propage pas la requête, il répond

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

INP ENSEEIHT
36

Illustration du mécanisme de cache DSR



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

37

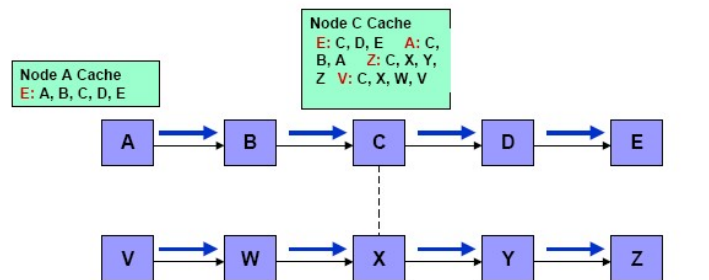
Remplissage du cache : apprentissage de routes optimisé

- Si un noeud apprend une route [S,E,F,J,D] il apprend également la route [S,E,F] vers F
- Quand K reçoit Route Request [S,C,G], K apprend une route [K,G,C,S] pour le noeud S (hyp symétrie)
- Quand F relaye Route Reply RREP [S,E,F,J,D], F apprend la route [F,J,D] vers D
- Quand E relaye des données Data [S,E,F,J,D] il apprend route [E,F,J,D] vers D
- Un noeud peut également apprendre par écoute des données

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

38

Exemple : optimisation de l'apprentissage

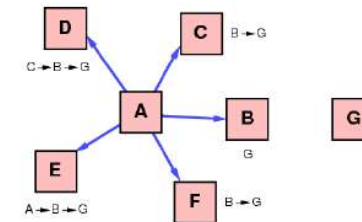


Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

39

Problèmes d'utilisations des optimisations

- Avalanche de réponses
- Solution : réponses retardées



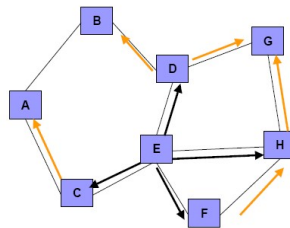
- Invalidité des routes dans le cache

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

40

Autre optimisations DSR- la recherche par boucle concentrique

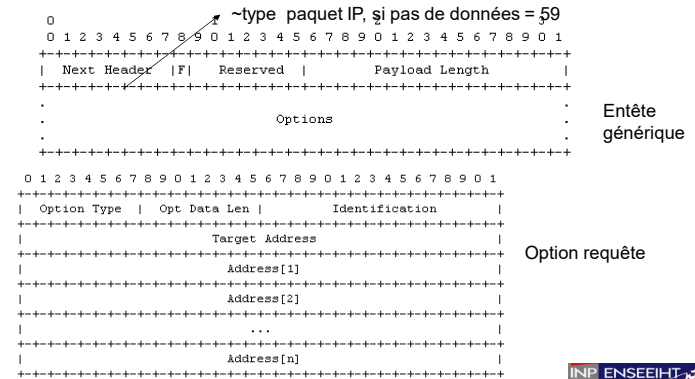
- 1. Découverte de route locale
- 2. Découverte de route par anneau concentrique par utilisation du TTL



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

41

Les formats DSR-exemple (RFC 4728)



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

42

3.2 Le protocole de routage AODV

Principes

- un protocole de routage réactif
- chaque nœud contient une **table de routage** avec le prochain nœud du chemin vers la destination la table est remplie via la procédure de découverte
- les voisins se connaissent grâce à l'émission de messages Hello
 - Gestion de la connectivité locale
- les informations dans la table de routage sont enlevées
 - si la route n'est pas utilisée (pas d'arrivée de données)
 - lorsque sa durée de validité est terminée □

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

43

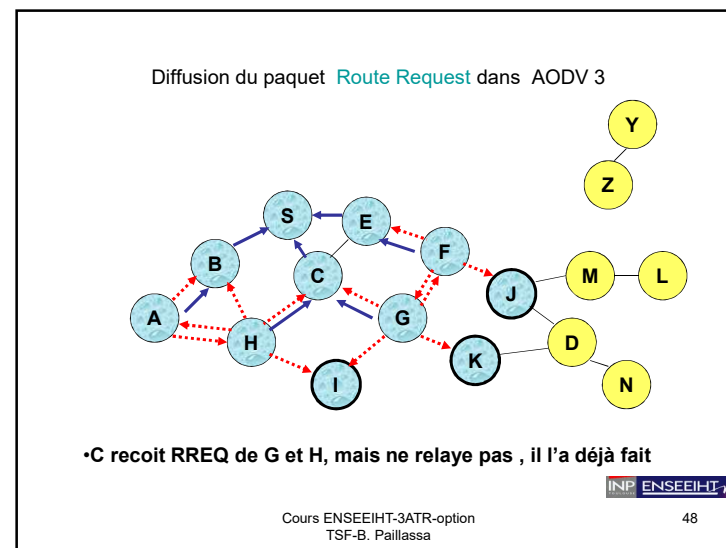
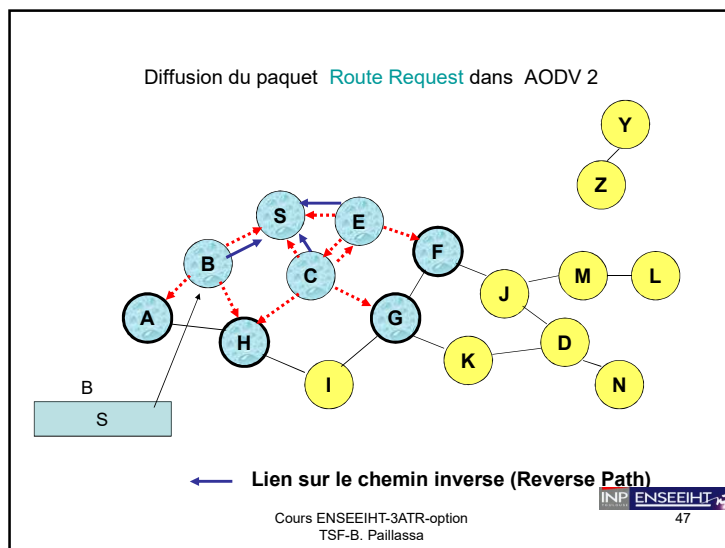
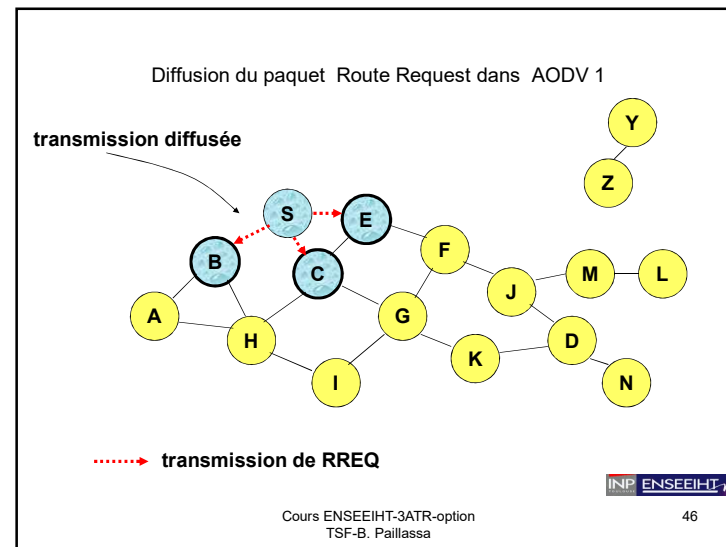
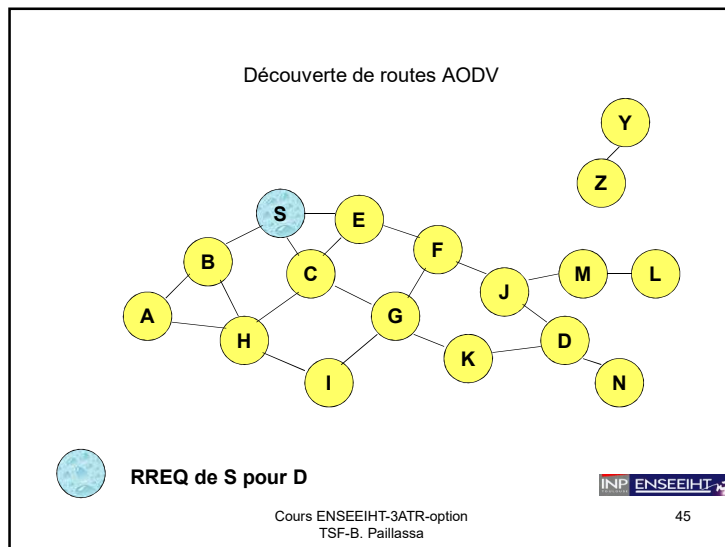
Découverte de route AODV

Similaire à DSR

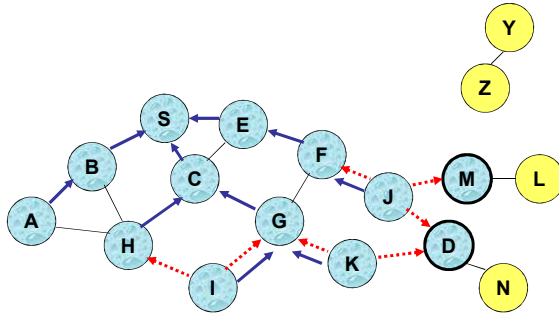
- Émission d'un paquet de requête de route **route request** diffusé sur le réseau
 - Les nœuds redifusent la première requête qu'ils reçoivent, si ils n'ont pas d'informations plus récentes (champ destination number)
- Si non ils émettent un route reply
- Quand un nœud rediffuse une route requête il positionne un pointeur vers la source (hyp de liens symétriques)
 - La destination répond par un **route reply** qui est acheminé sur le chemin inverse qui a été établi par la requête

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

44



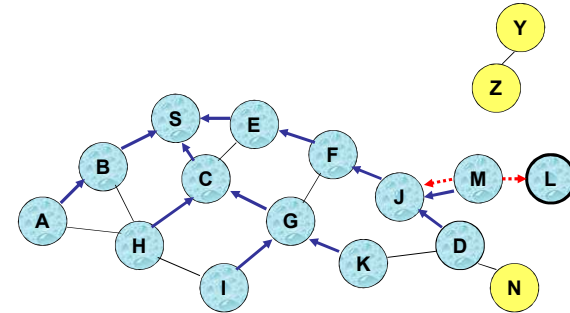
Diffusion du paquet **Route Request** dans AODV 4



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

49

Diffusion du paquet **Route Request** dans AODV 5

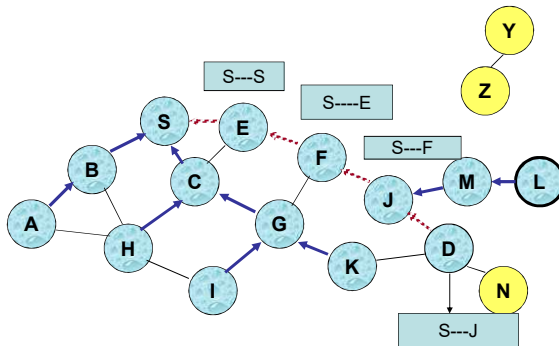


• **D est la destination, ne relaye pas la requête**

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

50

Transmission unicast du paquet **Route Reply** dans AODV



Le chemin emprunté par la réponse RREP

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

51

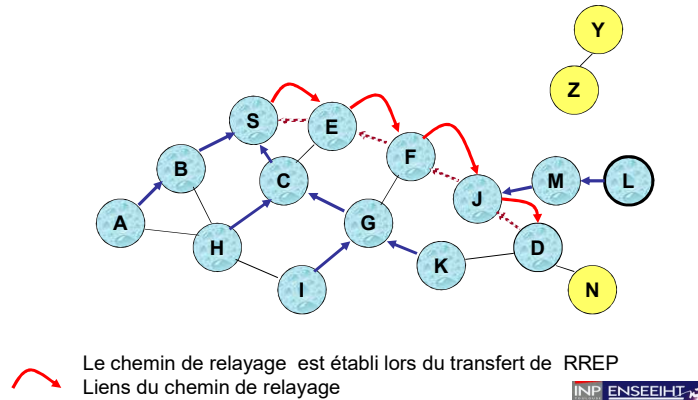
Optimisations AODV

- Un noeud intermédiaire peut répondre si il a une route plus récente que celle connue par la source
- Utilisation du champ, *destination sequence numbers*
- *Avantages et inconvénients similaires a DSR*

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

52

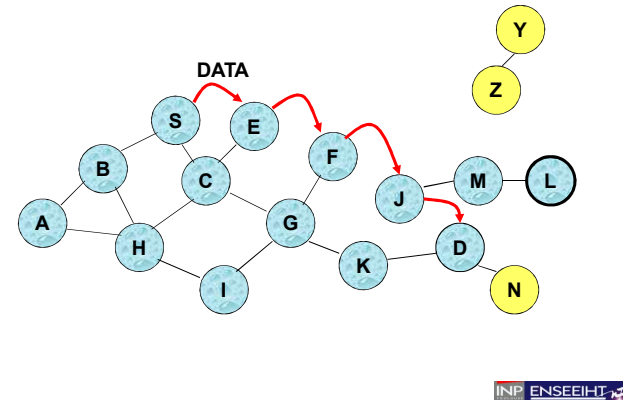
Transfert de données en AODV



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

53

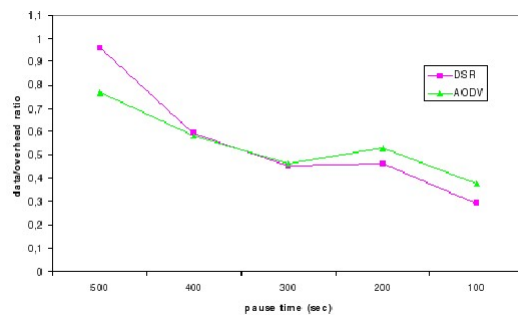
Transfert de données AODV



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

54

Évaluation de performance



+d'infos : Samir R. Das, C Perkins, E. Royer M. Marina.

"Performance Comparison of Two On-demand Routing Protocols for Ad hoc Networks"
IEEE Personal Communications Magazine, February 2001, p. 16-28.

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

55

LOADng: routage Linky

Lightweight On-demand Ad hoc Distance-vector Routing Protocol-Next
Generation (LOADng)

Utilisé pour la numérisation ERDF, les compteurs Linky

- Un routage AODV optimisé standardisé ITU en IOT, pour les réseaux Low-power and Lossy Networks (LLNs).
- Différentes métriques pour choisir la route fonction de la qualité/robustesse du lien, modulation..
- Les nœuds intermédiaires ne répondent pas aux requêtes
- Optimisation:
 - smart request lorsque le nœud intermédiaire à une route il transmet la requête en unicast
 - Recherche concentrique

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

56

4- Problèmes de l'inondation et solutions

- DSR, AODV, utilisent l'inondation
- Problèmes :
 - P1: des collisions
 - P2 : des liens avec une bande passante limitée
- => des solutions pour diminuer l'inondation
 - Limiter/Décaler les retransmissions
 - Sélectionner la zone de relayage

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

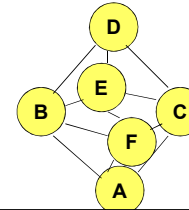
57



Limiter/Décaler les retransmissions pour diminuer les collisions/redondances

Un nœud qui reçoit une requête de route en diffusion retransmet

- avec une probabilité
- après un délai aléatoire
- si le compteur de requêtes entendues est inférieur à une valeur
- si le nœud n'a pas entendu de diffusion de route requête d'un nœud proche de lui (d) : *si 2 nœuds sont proches, leur zone de diffusion est équivalente*



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

58



4.1 Routage à inondation limitée

Idée : *émission de la requête dans la bonne zone*

Questions bonne zone?

Zone géographique

définie par un positionnement GPS

- Inconvénient : les mobiles doivent tous être équipés
- Exemple LAR, GPSR

définie par un service de localisation

-Inconvénient : coût de signalisation du service

Zone 'logique'

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

59



Location-Aided Routing (LAR)

Principe

- LAR : notion de zone de localisation attendue déduite
 - d'une ancienne localisation
 - d'une vitesse de déplacement
- Le route request est émis sur la zone attendue

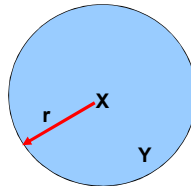
Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

60



LAR-notion de zone attendue

X = dernière position connue du noeud D à l'instant t_0
Y = position du noeud D à l'instant courant t_1 ,
 inconnue de S
 $r = (t_1 - t_0) * \text{ve vitesse estimée de D}$



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
 TSF-B, Paillassa

61

LAR : relayage de la requête

seuls les nœuds de la zone relaient la requête

- Le message de Route Request contient la zone
- Chaque nœud connaît sa position
- La source émet dans une zone , en cas de non réponse (timer)
la zone est élargie

Améliorations

- **zone adaptative** : le nœud de relayage modifie la zone si il connaît une position plus récente et que la zone qu'il connaît est plus petite
- **Zone implicite** : un nœud X relaie une requête reçue de Y si X est sensé être plus proche de la destination que Y (Gedir)

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
 TSF-B, Paillassa

62

LAR : connaissance de la position du destinataire par la source

- la source connaît la position initiale
- Synchronisation
 - la destination peut émettre cycliquement sa position
 - La position peut être jointe dans les messages de données

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
 TSF-B, Paillassa

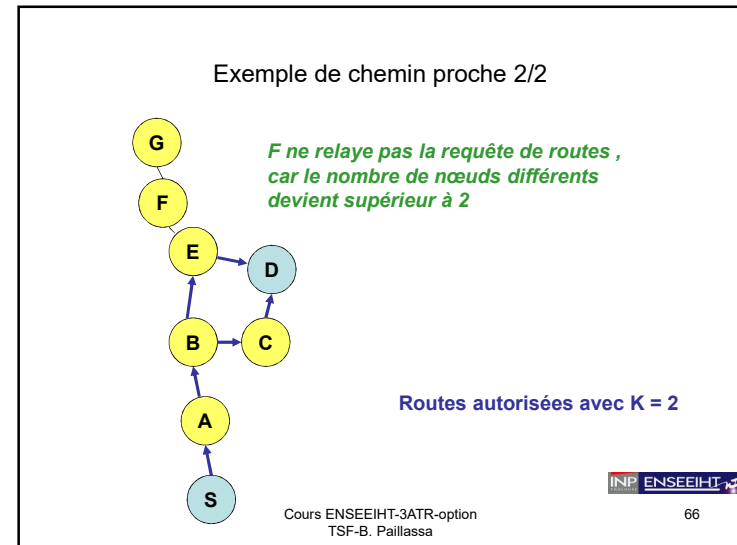
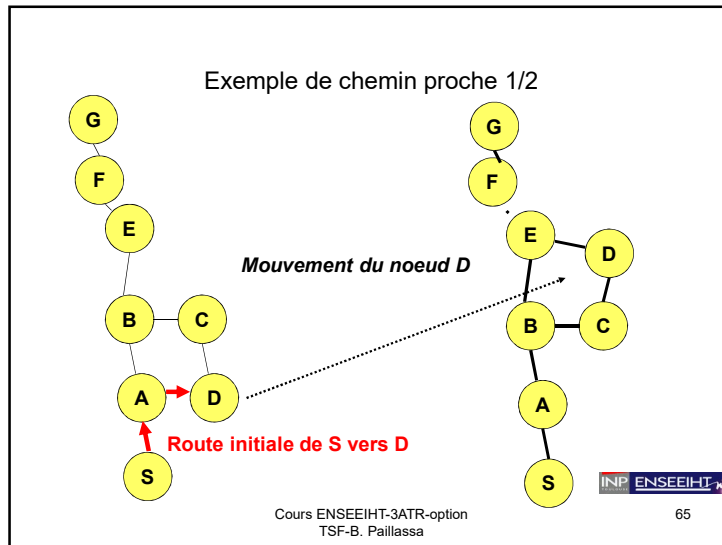
63

Option de routage : le positionnement virtuel : Query Localisation

- La requête de route est émise sur des **chemins proches** de l'ancienne route connue
- Notion de chemin proche
 - recherche d'un chemin **disjoint de k noeuds** de l'ancienne route connue
 - le message de requête de route contient le dernier chemin connu, k
 - le relayage est effectué si le nombre de noeuds différents $\leq k$
- Utilisation : DSR + QL

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
 TSF-B, Paillassa

64



Autres approches de routage sur position

- LAR : problème de la zone attendue
ne prend pas en compte les obstructions naturelles
- autres propositions
 - DREAM les données ne sont pas transmises en routage direct mais en inondation dans une zone limitée déterminée selon la vitesse et la localisation:
 - chaque nœud a une table de localisation avec tous les autres nœuds
- Utilisations de services de positionnement
 - Grid location Service , chaque nœud émet périodiquement sa localisation, les nœuds sont positionnés en lointains et près selon la fréquence à laquelle ils reçoivent les positions

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

67

4.2 –routage sans l'inondation

- Routage par coordonnées géographique
 - émission dans la bonne direction selon les coordonnées géographiques
- Émission sur graphe acyclique
 - Il y a un seul chemin pas de problème d'inondation

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B, Paillassa

68

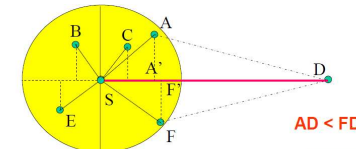
A- Routage géographique

- L'information est transmise vers le nœud le plus proche de la destination
= routage 'hop by hop' sans diffusion le paquet sans table de routage
- Routage géographique pour réseaux de capteurs: Peu de mémorisation
- Plusieurs politiques de choix du prochain nœud
 - Le plus proche en distance, l'angle le plus faible...
 - La meilleure métrique.....
- Probleme : prouver que le chemin sera trouvé !
- dépend du graphe, (configurable via un contrôle de puissance)

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

69

Exemple de politiques de relayage en routage géographique



1. MFR: Choose closest projection on SD;
2. Greedy: Choose the closest node;
3. Random progress (Nelson, Kleinrock);
4. NFP- nearest forward progress (Hou, Li);



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

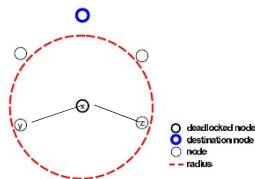
70

GPSR: notion de routage glouton et par périmètre

- Choix du nœud : algorithme glouton : 'greedy', le nœud le plus proche (distance)
- Problème : choix d'un nœud qui n'a pas d'accès plus proche à la destination (max local), existence d'un trou noir
- Solution : longer le périmètre de la zone => routage par périmètre

Règle de la main droite

- 1) X note sa position dans les données,
- 2) X calcule une ligne droite entre lui et la destination X-D
- 3) X cherche un nœud voisin le plus proche dans le sens inverse de l'horloge par rapport à la ligne X-D
- Si le nœud choisi n'est pas plus proche alors 2) 3) si non routage greedy



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

71

A propos du routage par périmètre

Mode périmètre = Construction d'un graphe, routage par face : suivre les faces d'un graphe planaire connexe (Gabriel Graphe); parcours des faces internes, changement de face au croisement de la ligne X, D

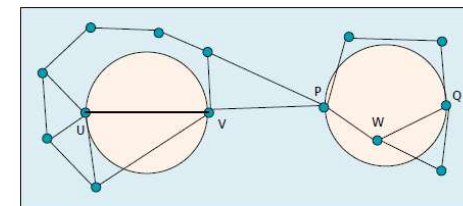
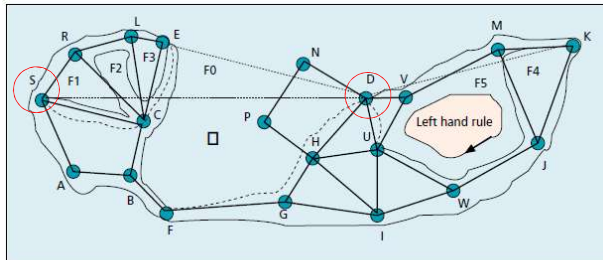


Figure 2. Gabriel graph contains edge UV but not edge PQ since node W is inside the disk.

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

72

A propos du routage par périmètre



■ Figure 3. Routes from S to D: face route SCRLCELRSABFGIWKMVD traversing faces F1, F2, F3, and F0 and GFG route SCE-ECBF-FGHD; routes from K to D: face route KMIWU-UD traversing faces F4 and F5 and GFG = greedy route KMVD.

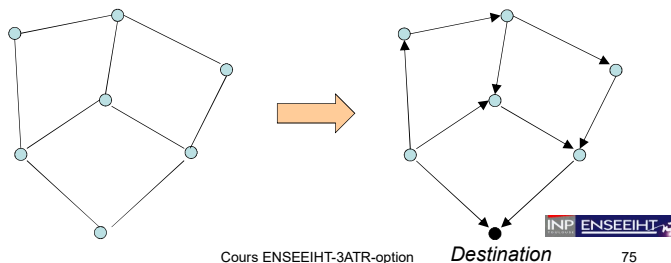
B-Routage par graphe acyclique orienté

Link Reversal Routing Link Reversal Algorithm, Pour des réseau de topologie variable (81: réseaux paquets radio)

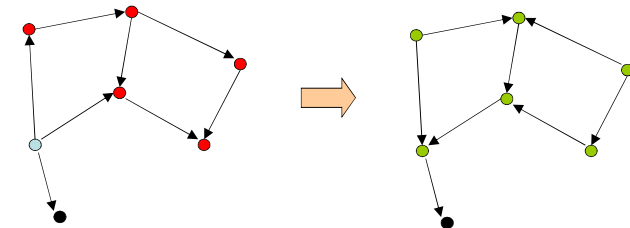
- Base de protocoles adhoc TORA 97, LMR [Lightweight Mobile Routing](#) 95
 - Distributed Algorithms for Generating Loop-Free Routes in Networks with Frequently Changing Topology Eli M. Gafni, Dimitri P. Bertsekas- IEEE Transactions on Communications- Vol. 29, No. 1 pp. 11-18IEEE, January 1981
 - Analysis of link reversal routing algorithms for mobile ad hoc networks C.Bush,S.Surapaneni,S.Tirthapura Proceedings of the fifteenth annual ACM symposium on Parallel algorithms and architectures San Diego, California, USA Pages: 210 – 219, 2003
- Reutilise for [6 Low Pan RPL RFC 6550](#)

Link Reversal Algorithm

- Le réseau est un graphe, orienté, acyclique
 - Pas forcément un arbre, il peut y avoir plusieurs chemins pour une destination (utile en réseau de senseur)
- L'algorithme LRA construit un **graphe destination** (Directed Acyclic Graph) par inversion des arêtes, plusieurs versions : inversion totale ou partielle ([routage DAG en 6 Low Pan RPL](#))



Full LRA- le résultat 1/3

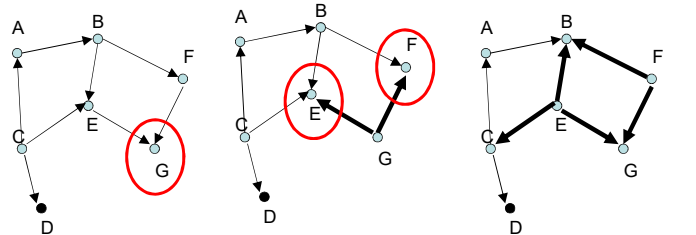


Noeuds sans route : pas de chemin jusqu'à la destination (puit différent de la destination)

Noeuds avec route:

Full LRA-les étapes 2/3

- Tous les nœuds qui n'ont pas de liens sortants inversent tous leurs liens

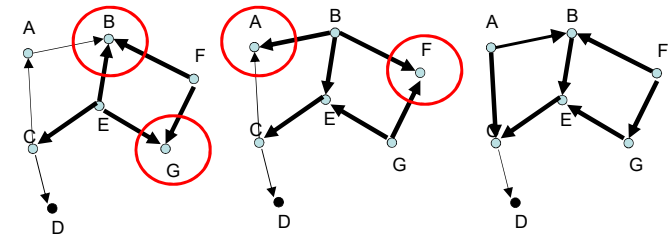


Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa



77

Full LRA-les étapes 3/3



DAG

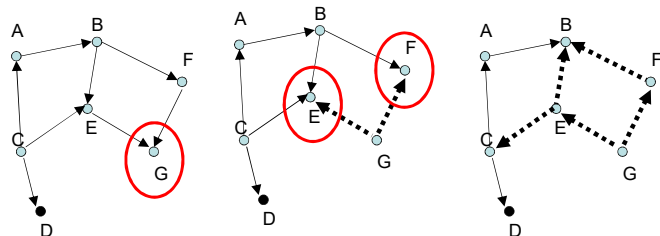
Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa



78

LRA la méthode partielle 1/2

- Un nœud qui a que des liens sortants inverse les arêtes qui n'ont pas déjà été inversées

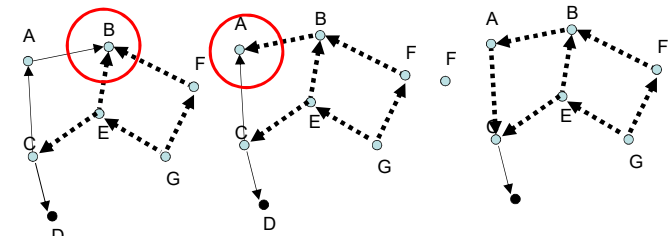


Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa



79

LRA la méthode partielle 2/2



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa



80

Limitation du LRA

- symétrie des liens
- chaque nœud d'extrémité d'une arête est au courant de l'état de celle-ci immédiatement et en même temps
- dans TORA un temps de prise en compte
- pas adapté à des graphes non connexes

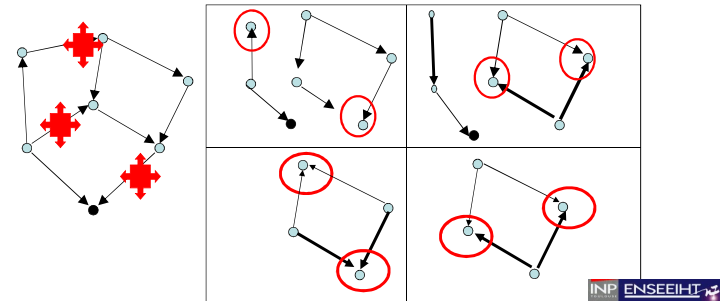


Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

81

LRA en environnement partitionné

- En cas de partition du réseau ad hoc, une route peut être inatteignable, l'algorithme ne peut terminer



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

82

Mise en œuvre de DoDAG- RPL *ripl* RFC 6550

- Pour un routage vers une seule destination, un protocole à vecteur de distance qui construit un DoDAG selon une fonction d'objectif
- Plusieurs métriques qui sont converties selon l'objectif en rang de classement (rank) par rapport à la racine (la destination)
- plusieurs DODAG si plusieurs objectifs
- Etablissement routes montantes : vers la racine
 - proactif vecteur de distance : message **DODAG Information Object**
 - Mode à la demande
- Etablissement de routes descendantes par tables de routage

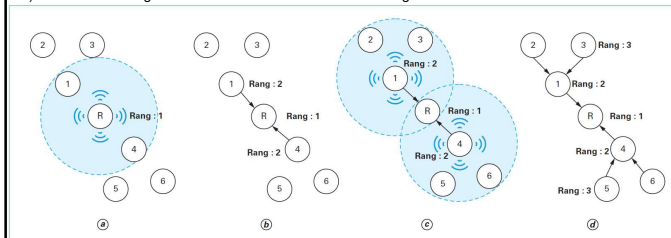
Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

83

RPL(*) rank = hopcount

La racine du DoDag root n'a pas de liens sortants, elle peut être un routeur de bordure vers l'extérieur

- 1) La racine se signale par des messages (DIO message)
- 2) Les voisins écoutent ces messages et selon l'objectif se joignent ou pas à l'arbre
- 3) Les nœuds configurés en routeur retransmettent le message de la racine



* Protocole de routage RPL- mai 2016, Technologies de l'information | Réseaux Télécommunications
par Tanguy ROPITAULT

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
TSF-B. Paillassa

84

Relayage

- Les routes montantes traversent des neuds de rangs décroissants (les parents) les routes descendantes des neuds de rang croissant (racine vers feuilles)
- Les routes montantes: relayage vers un parent ou si n'existe pas une sœur
- Les routes descendantes: par un routage à table rempli a partir de messages DAO

RPL Routage descendant

- Deux modes de relayage, avec mémoire, sans mémoire
- Routage sans mémoire: seule la racine transmet sur la route descendante
 - Les nœuds passent par la racine pour communiquer entre eux
 - La racine apprend la route a partir d' annonces faites par les neuds contenant un champ information de transit.
- Routage à mémoire: tous les neuds transmettent
 - La route est le chemin le plus court contenu dans la table
 - La table est remplir par la distribution des préfixes dans les messages DAO émis par les feuilles jusqu'à la racine

5- Routage structuré

certaines nœuds sont choisis pour avoir des fonctions de routages particulières

Structuration du réseaux : 2 méthodes backbone et cluster

- réseau d'arrière plan virtuel ou **backbone**
Idée : chaque noeud est voisin d'un membre du backbone
= chaque *dominé* est voisin d'un *dominant*
et les dominants sont connexes
Ex OLSR : Connected Dominating Set (CDS) par MPR
- réseau de groupes de nœuds ou **cluster**
Idée : regroupement de nœuds proches avec un chef, chaque nœud est voisin d'un chef de groupe
Ex : CBRP

Intérêt: diminution de trafic versus augmentation de l'overhead ?

Ex CSR : clusters et adaptation

Optimized link State Routing: OLSR

OLSR un protocole MANET

- AODV : vecteur de distance : connaissance des voisins, protocole réactif
- OLSR : état de liaison connaissance de la topologie par des annonces (eq OSPF), en proactif

MAIS

- Les annonces ne sont pas diffusées par tous les nœuds uniquement par les **MPR** (relais multipoints)
 - Les MPR diffusent les paquets des nœuds dont ils sont MPR
- Les nœuds connaissent une topologie partielle constituée des voisins directs et des MPR des autres nœuds.
- Les routes OLSR passent par les relais multipoints

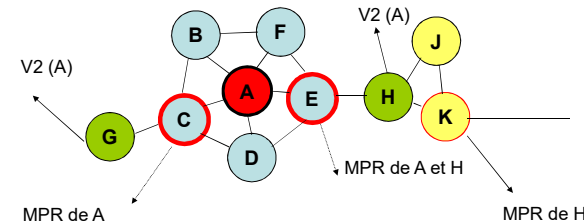


Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

89

OLSR-Les MPR

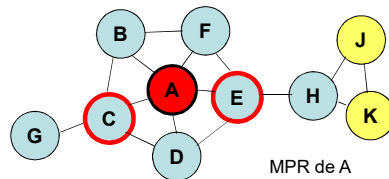
- Les MPR sont des voisins tels que tous les voisins situés à 2 sauts d'un nœud sont leurs voisins à un saut



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

90

Diffusion par les MPR



C et E relayent les informations de A

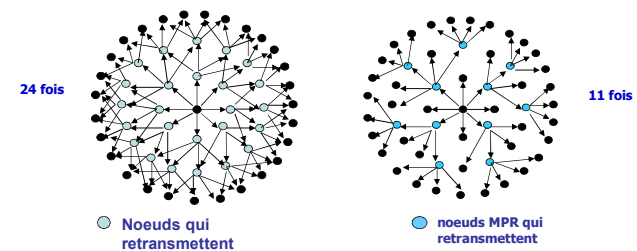
K et E relayent les informations de H



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

91

Optimisation de la diffusion



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

92

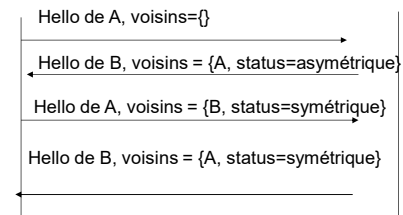
La recherche des voisins

- La recherche des voisins symétriques
 - envoi de paquet Hello, liste des voisins d'un noeud
 - permet de détecter la symétrie des ses voisins
 - les hellos permettent de connaître ses voisins à deux sauts donc de choisir puis de désigner ses relais multipoints

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

93

Echanges Hello



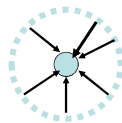
- Protocole Hello utilisés par plusieurs protocoles Manet
 - => un Hello générique (avec QoS, multicast..)
- Protocole manet Neighborhood Discovery Protocol : NHDP

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

94

L'état partiel des liens

- Diffusion périodique de paquets Topology Control
 - Les TC contiennent la liste des liens MPR entrants



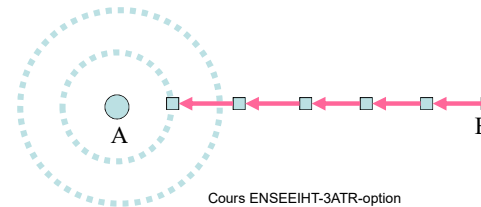
- Plus petit que la liste de tous les voisins

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

95

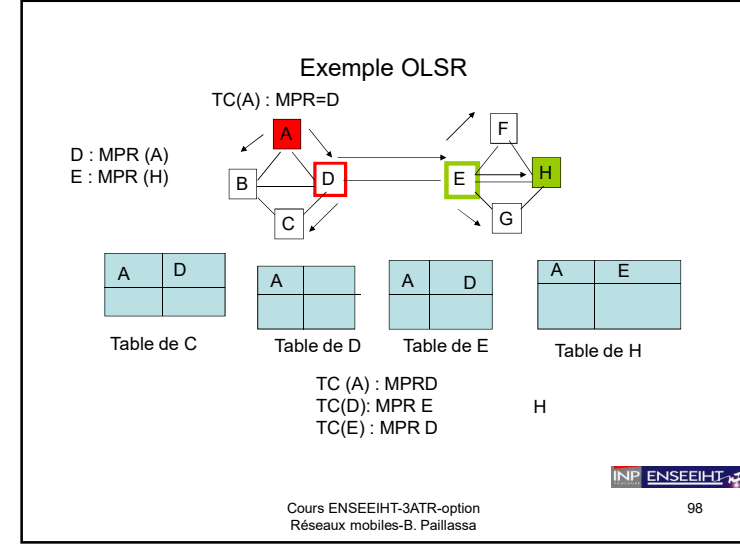
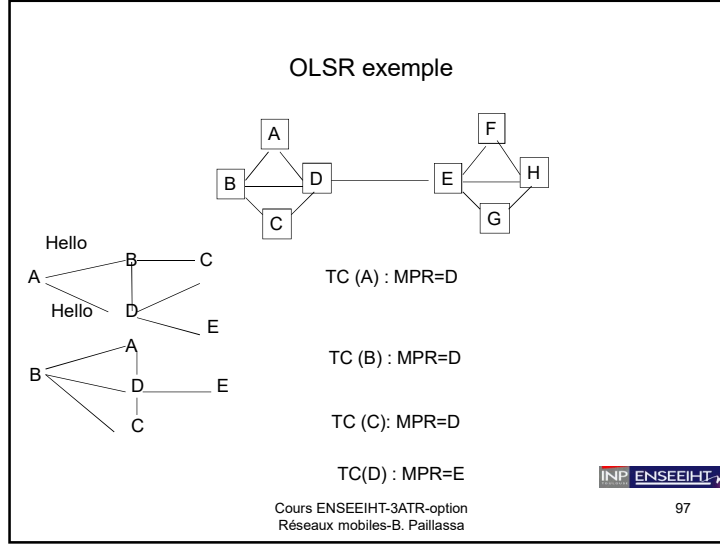
Calcul des routes

- Les nœuds connaissent leurs voisins et les liens MPR
 - Calcul des routes sur cette connaissance partielle
 - Les routes sont optimales pour la topologie complète



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

96



Heuristique de sélection (1)

For a node u , let $N(u)$ be the neighborhood of u . $N(u)$ is the set of nodes which are in u 's range and share a bidirectional link with u . We denote by $N_2(u)$ the 2-neighborhood of u , i.e., the set of nodes which are neighbors of at least one node of $N(u)$ but which do not belong to $N(u)$. $(N_2(u) = \{v \text{ s.t. } \exists w \in N(u) \mid v \in N(w) \setminus \{u\} \cup N(u)\})$.

For a node $v \in N(u)$, let $d_u^+(v)$ be the number of nodes of $N_2(u)$ which are in $N(v)$:

$$d_u^+(v) = |N_2(u) \cap N(v)|$$

For a node $v \in N_2(u)$, let $d_u^-(v)$ be the number of nodes of $N(u)$ which are in $N(v)$:

$$d_u^-(v) = |N(u) \cap N(v)|$$

(1) Rapport INRIA 5468 Janvier 2005 An analysis of the Multipoint Relay selection in OLSR

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

Algorithm 1 Simple Greedy MPR Heuristic

```

For all node  $u \in V$ 
  For all node  $v \in N(u)$ 
    if  $(\exists w \in N(v) \cap N_2(u) \mid d_u^-(w) = 1)$  then
      Select  $v$  as  $MPR(u)$ .
      ▷ Select as  $MPR(u)$ , nodes for which there is a node of  $N_2(u)$  which has  $v$  as single parent in  $N(u)$ .
      Remove  $v$  from  $N(u)$  and remove  $N(v) \cap N_2(u)$  from  $N_2(u)$ .
    end
  while  $(N_2(u) \neq \emptyset)$ 
    For all node  $v \in N(u)$ 
      if  $(d_u^+(v) = \max_{w \in N(u)} d_u^+(w))$  then
        Select  $v$  as  $MPR(u)$ .
        ▷ Select as  $MPR(u)$  the node  $v$  which cover the maximal number of nodes in  $N_2(u)$ .
        Remove  $v$  from  $N(u)$  and remove  $N(v) \cap N_2(u)$  from  $N_2(u)$ .
      end
  
```

The first step selects as MPR the nodes which cover "isolated nodes of $N_2(u)$ ". The nodes covered this way have a single neighbor in $N(u)$ and thus must be included into the set of MPR if we want to cover the whole 2-neighborhood. Thus, we can not skip or "compress" this step in the MPR selection. Therefore, only the second step of the algorithm can be improved in order, for instance, to find the minimum number of MPR.

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

OLSR - performances

- Pour un grand réseau
 - De meilleures performances que DSR, AODV si de nombreux noeuds
- Pour un réseau dense
 - Si de nombreux voisins diminution importante du contrôle
- Pour un réseau pas trop mobile
 - En cas de trop forte mobilité les routes ne sont pas forcément valides (quel que soit le routage)



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

101

Hierarchisation de réseau : les clusters

- mise en place d'une topologie virtuelle hiérarchique avec des éléments chargés du routage
- Idée : les éléments mobiles sont regroupés en clusters
cluster= groupe de noeud
 - les noeuds en communication directe'
- à un cluster est associé un représentant : le **cluster head**
 - Clusters Head = chef du groupe
 - Élection du chef de groupe selon un degré
- un élément qui appartient à plusieurs clusters est une passerelle



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

102

Cluster et routage

Idée : la hiérarchie est mise en place et maintenue de façon proactive

- Le routage est établi à la demande
- => protocoles mixtes (ZRP)
- exple de protocoles
 - ARC (AODV)
 - CBRP (DSR)
 - CSR (DSR)



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

103

Formation des clusters

Un noeud de réseau effectue une procédure pour déterminer son statut : sans statut, chef, élément,

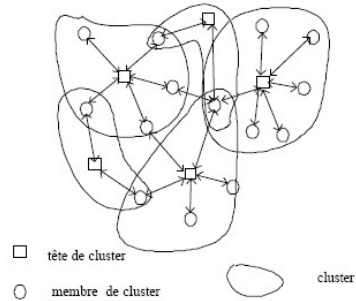
- Échange de paquets Hello : avec le paramètre de statut
Initialisation : *status* = sans status
- Émission/ Réception des paquets Hello
- Détermination du chef de cluster
ex : le plus petit identifiant, le plus de voisins, le moins mobile..
- Mémorisation
 - du chef de cluster
 - des éléments du cluster pour le chef



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

104

Exemple de cluster



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

105

Cluster Based Routing Protocol

Principe d'un routage par la source sur la topologie de clusters

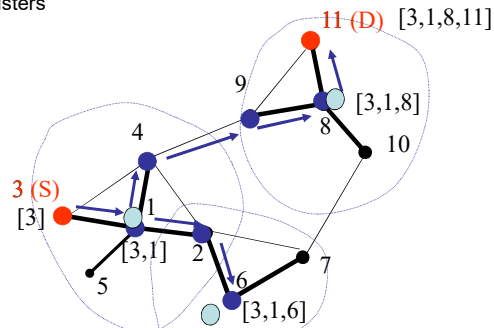
- Les mobiles sont groupés en cluster
- les clusters sont connectés par des passerelles
- Les routes sont établies à la demande par une **requête** de la source qui est traitée uniquement par les **chefs de clusters**
- La **requête** est diffusée aux clusters voisins
- le chef de chaque cluster regarde si l'adresse destination est dans son cluster
 - si oui il transmet la requête dans son groupe
 - si non il redifuse aux chefs de clusters voisins (adressage spécifique)
- La destination renvoie une **réponse** par le chemin enregistré dans la requête
- Des procédures de maintenances de routes

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

106

Découverte de la route en CBRP

Émission en inondation d'une requête de route à tous les chefs de clusters



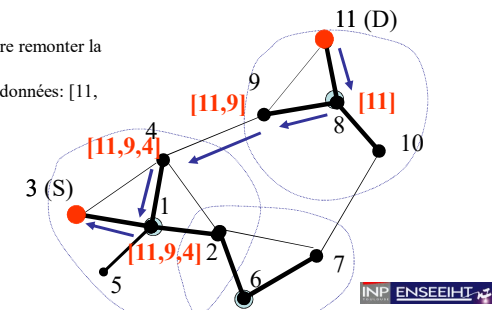
Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

107

Réponse de la route

- un Route reply (RREP) est renvoyée en routage inverse strict sur la route des chefs de clusters
- chaque chef de cluster incrémente le compteur de noeud

* La route inverse pour faire remonter la réponse : 11,8,9,4,1,3
* la route à suivre pour les données: [11,9,4]:

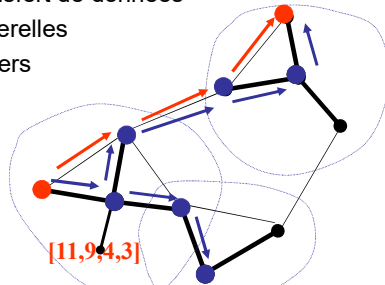


Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

108

Fonctionnement CBRP

- Le transfert de données
Par passerelles
interclusters



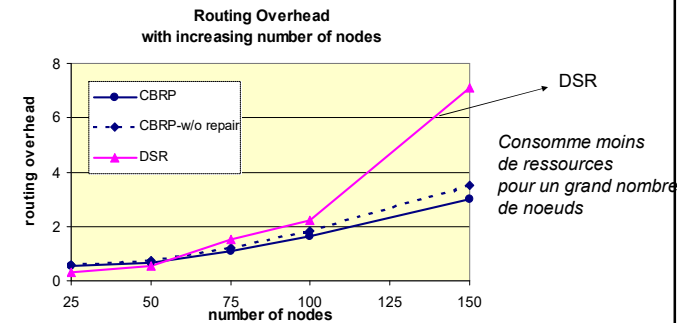
La route source
3->11 est: [11,9,4,3]

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

109

Évaluation de performance

Routing overhead(normalized) = #routing pkts sent/ #data pkts delivered.



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

110

CSR : routage hiérarchique adaptatif

Idée : insertion d'un **serveur de route** inter cluster

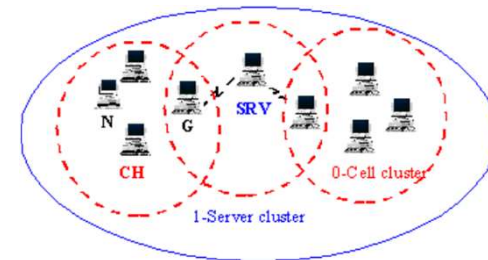
- La source émet une requête de route en diffusion locale
- La requête est dirigée vers le serveur par le chef de cluster (ajout d'un champ chemin appris lors de la mise en place de la topologie virtuelle)
- le serveur de route émet une réponse avec un chemin
- La réponse émise par le serveur, est obtenue :
 - cache de route
 - requête au chefs de clusters

Avantage : limitation de diffusion

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

111

Architecture CSR

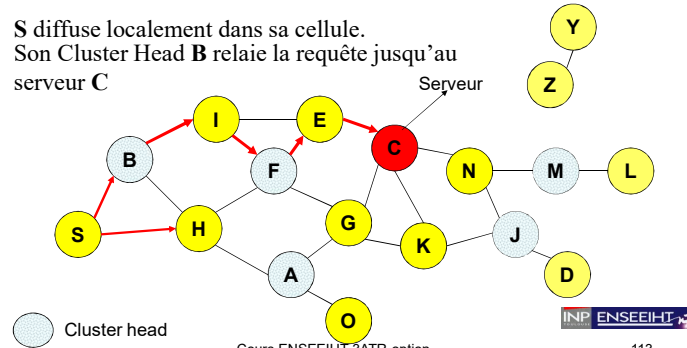


Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

112

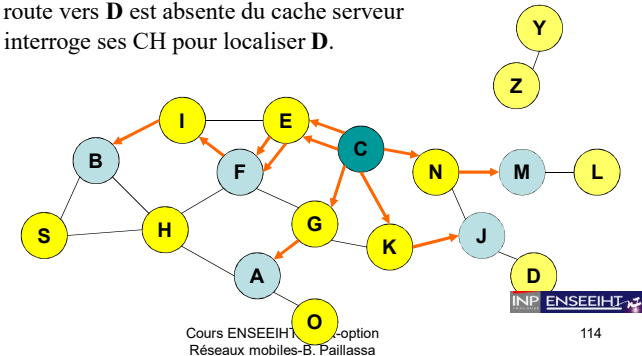
Recherche de route CSR

S diffuse localement dans sa cellule.
Son Cluster Head B relaie la requête jusqu'au serveur C



Découverte de route- Serveur

- Interrogation en routage direct
la route vers D est absente du cache serveur
C interroge ses CH pour localiser D.



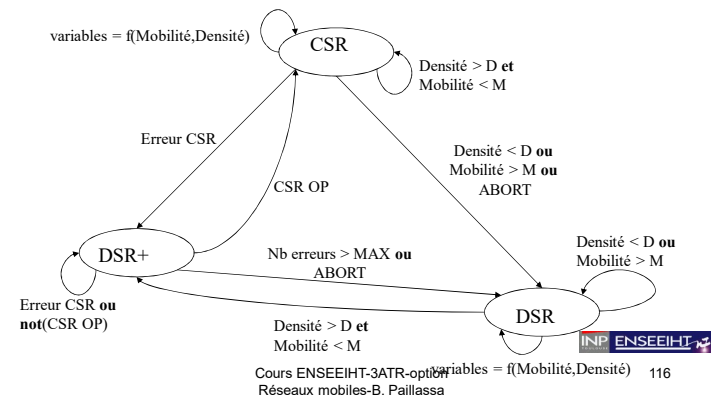
CSR routage adaptatif

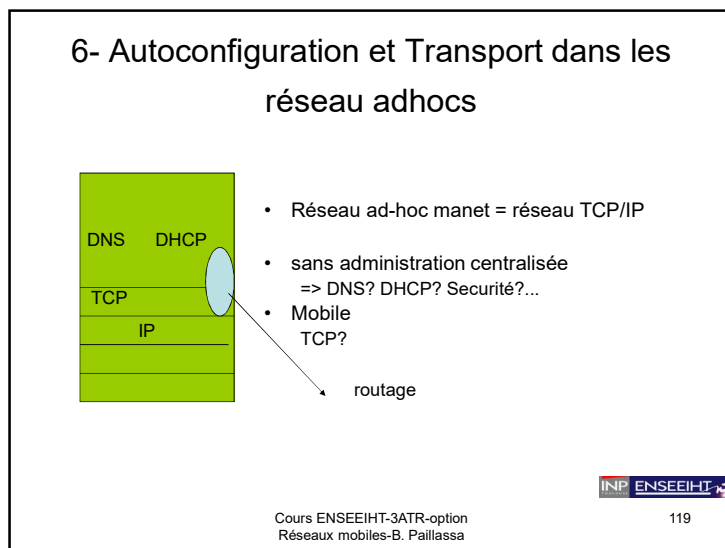
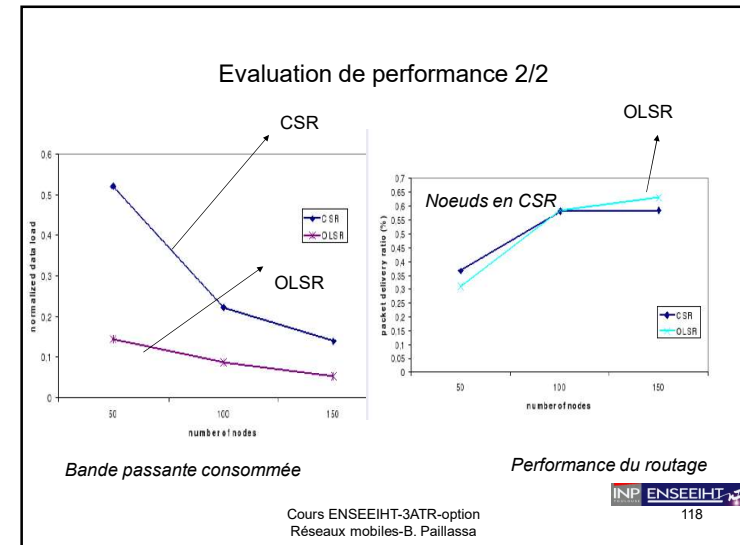
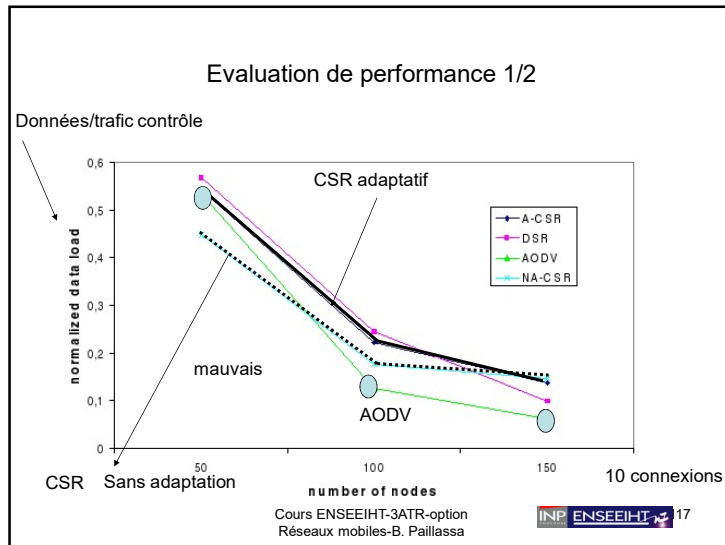
- Problème : mobilité dans le réseau, inefficacité du serveur
- Idée Protocole auto adaptatif
 - Routage source par inondation \Leftrightarrow Routage source hiérarchique
- Compatibilité mode DSR/CSR
- Basculement sur seuil
 - densité
 - mobilité
- Mise en oeuvre
chaque mobile peut passer par 3 états
 - DSR : Découverte de route DSR
 - DSR+ : Découverte de route DSR + procédures de cluster
 - CSR : Découverte de route CSR + procédures de cluster

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

115

CSR routage adaptatif





Autoconfiguration

Précisions sur auto organisation et autoconfiguration

Auto organisation du réseau

- des aspects communication : 'le routage'
- des aspects services

- Exemple comment localiser un service ?
 - un service est-il disponible ?
=> Mécanisme de découverte de service
 - en filaire utilisation du multicast, le multicast en adhoc
 - sur quelle machine est situé le service, l'adresse IP destination
=> l'autoconfiguration de l'adresse

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

Configuration d'adresse dans les réseaux adhoc

- Dans les réseaux filaires
 - Le DHCP
 - ICMP routeur en v6
(Mécanismes ad hocs en V6)
- Problèmes en adhoc
 - ad hoc =
 - pas d'infrastructure fixe
 - des machines hotes ET routeur
 - des routes multisauts à délai variable
 - qui est le serveur DHCP, qui est le routeur? et s' ils se déplacent? Les timers?....



Configuration d'adresse dans les réseaux adhoc 2/2

Plusieurs propositions

- Le type de réseau :
 - 1) Réseau adhoc multisauts autonome,
 - 2) Réseau raccordé par passerelle à internet
- Mécanisme d'allocation
 - Approches générales à tous les Manets :
 - Le nœud entrant choisit, le voisin choisit,
 - des nœuds particuliers choisissent
 - Approche dédiées à un Manet : le MPR OLSR choisit
- Solutions avec conflit versus sans conflit
 - Approches avec conflit possible
 - Choix aléatoire d'une adresse,
 - Test d'unicité
 - Solutions sans conflit
 - Partition d'adresses



Méthode 1- Allocation d'adresses avec détection de conflit

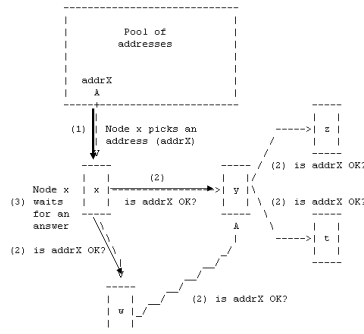


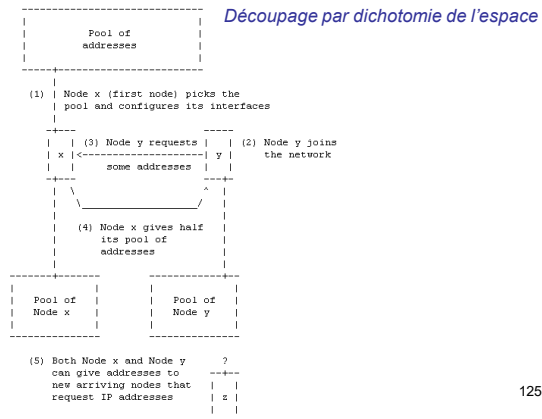
Figure 1: Conflict-detection allocation scheme

Survey of IP address autoconfiguration mechanisms for MANETs internet draft, C. Bernardos M. Calderon

Détection du conflit: Duplicate Adress Allocation

- Effectué par Test ARP en V4, ou NDP en V6
- Q: Comment diffuser en relayage multisauts?
- Solutions : par le routage, par ICMP
- Q: Quelle est la validité du test en cas de partition et fusion de réseau
- => Adaptations
 - notion d'unicité faible, forte
 - Un paquet n'est pas délivré à la mauvaise destination
 - Notion de clé

Méthode 2- Allocation d'adresse sans conflit



125

Mécanismes d'allocations sans conflit

- Utilisation d'une séquence de nombre entier pour générer les adresses IP 'uniques'
- DRCP Dynamic and Registration Conf. Protocol : amélioration du DHCP
- DAAP protocol : le noeud qui arrive est leader, il gère la plus grande adresse IP et un identifiant unique de réseau.
 - Chaque noeud connaît la plus haute adresse, son leader,
 - Chaque noeud émet périodiquement des Hellos pour la détection des merge de réseau.
 - Problème : départ du leader

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

126

Autres options/améliorations pour la configuration d'adresse

- La couche réseau est au courant de la clé 'adresse IP, clé)
 - Solution utilisable pour la sécurité
- Des tests de duplication d'adresses de niveau MAC limités au voisinage
- Des adresses de location a durée limitée
- Des adresses "intérimaires"

INP ENSEEIHT

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

127

Transport dans les réseaux adhoc

Rappel sur TCP

- Bases du protocole TCP
 - processus de gestion de la fenêtre d'émission
 - processus de recouvrement d'erreur
 - processus de gestion Timer
- TCP protocole adapté aux erreurs de congestion
- Fonctionnement en cas de congestion détectée
 - Reduction de la fenêtre
- Dans les réseaux adhoc des erreurs de congestions mais aussi erreurs de transmission (liaisons sans fil), erreurs de mobilité
 - => Réduction inutiles de la fenêtre

Mauvaise efficacité de TCP

INP ENSEEIHT

Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

128

Améliorations de TCP

- TCP en sans fil : de nombreux travaux
 - Idée : laisser travailler le niveau 2, éclater la connexion...
- TCP en adhoc : impact des ruptures, changements de chemins?
- Principales améliorations sur les processus TCP
 - Gestion de la fenêtre ,
Idée : Éviter le slow start, permettre des retransmissions multiples
 - Recouvrement d'erreurs
Idée: laisser les niveaux inférieurs réagir aux erreurs : delayed duplicate ACK => retransmission locale avant l'expiration du timer TCP
 - Gestion du timer :
Idée: laisser le temps au protocole de routage de trouver un autre chemin : utilisation d'un timer fixe avec des retransmissions périodiques => pas besoin d'attendre



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

129

Nouvelles approches d'améliorations TCP

- Définition de nouveaux processus
 - Processus de sonde : pour détecter des erreurs de 'non-congestion' par émission, réception de messages de sonde
 - Processus de pause : 'non operation' pour geler la fenêtre de congestion, les variables
- **Définition de méthodes évènementielles**
 - De nouveaux évènements pour déclencher de nouveaux algorithmes
 - Évènements internes ; ex ack manquant avant deux expirations de timer
 - Evènements cross layer: notification de panne de liaison



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

130

Etudes TCP adhoc

Y a-t-il une optimisation de transport valable quel que soit l'environnement adhoc ?

Quelle optimisation pour quel environnement ?

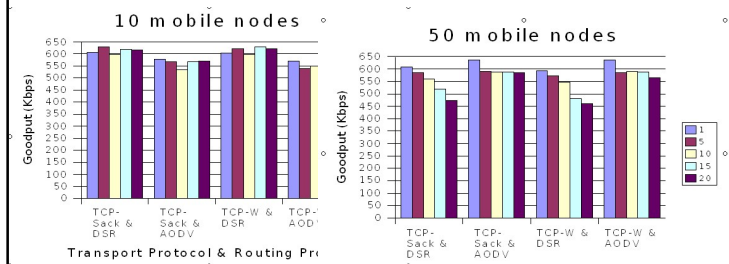
- Quelques résultats



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

131

Quel est l'intérêt d'optimiser le transport par rapport au routage ?



=> DSR meilleur pour toutes les versions TCP

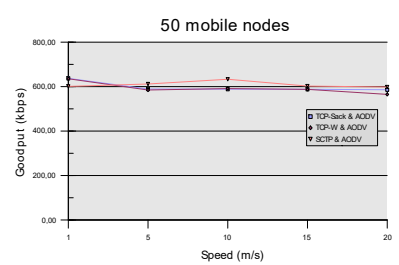
=> AODV meilleur pour toutes les versions TCP



Cours ENSEEIHT-3ATR-option
Réseaux mobiles-B. Paillassa

132

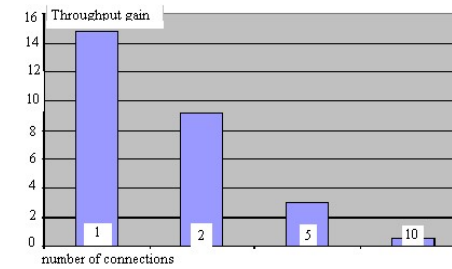
Y a-t-il un meilleur contrôle de congestion sous certaines conditions ? Nombre de noeuds, vitesse



- TCP SACK meilleur pour des vitesses de noeuds [5, 20] m/s TCP Westwood meilleur pour vitesse 15 m/s
- Adhoc = vitesse variable => pas de meilleur algorithme

Amélioration TCP par crosslayer

- TCP pause : en cas d'erreur de route TCP ne fait rien il attend la nouvelle route
- Overall Troughput gain (TCPpause/TCPsack)



=> Interêt de l'optimisation décroît avec le nombre de connexions

Amélioration TCP par crosslayer-

