

# Journée Franco Marocaine Vérification Formelle & Réseaux de Capteurs

## « Réseaux Ad-hoc et réseaux de capteurs sans fil : Évaluation et optimisation de la QoS »

Youssef FAKHRI  
Professeur Habilité à la Faculté des Sciences de Kenitra  
Membre associé au Laboratoire de Recherche LRIT FS Rabat  
[FAKHRI-Youssef@univ-ibntofail.ac.ma](mailto:FAKHRI-Youssef@univ-ibntofail.ac.ma)

20 Septembre 2013  
Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohammed V Agdal

---

# PLAN

- Motivation
- Contributions liées à la QoS dans les réseaux Ad Hoc
  - ❖ AODV et QoS dans un domaine Multi-Service
  - ❖ Apports de AODV à la QoS
  - ❖ OLSR et QoS dans un domaine Multi-Service
  - ❖ Impacts de OLSR sur la QoS
  - ❖ QoS dans MANETs et Impact de la Mobilité
  - ❖ Effets de la mobilité sur la QoS
  - ❖ Délai et Débit Optimaux avec la Logique Floue
  - ❖ Évaluation de l'approche proposée
- Contributions liées à la QoS dans les réseaux de Capteurs Sans fil
  - ✓ Contributions aux algorithmes de routage plat
    - ❖ Routage avec équilibrage de consommation d'énergie
    - ❖ Répartition décentralisée de la consommation d'énergie
  - ✓ Contributions au routage hiérarchique
    - ❖ Sélection de Cluster-head basée sur l'éloignement de la station de base
- Conclusion et perspectives

# Motivation

- L'évolution et le déploiement réussi des réseaux ad hoc sans fil et les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) dans le monde
- Les mécanismes mis en œuvre deviennent de plus en plus complexes, ceci pour assurer des fonctions exigées par certaines applications: qualité de service, sécurité, mobilité....

# **Contributions liées à la QoS dans les réseaux Ad Hoc**

# Contexte général :

## Caractéristiques des MANETs

- Réseaux ad hoc
  - Ensemble de nœuds mobiles organisés en réseau sans l'aide d'infrastructure fixe
  - Communication pair-à-pair
  - Offre de services dépendants du lieu
- Réseaux ad hoc de grande taille
  - Très grand nombre de nœuds
  - Topologie très étendue géographiquement

# Contexte général :

## Caractéristiques des MANETs

- Problèmes dans les réseaux ad hoc
  - Chemins longs entre source et destination de message
    - Chemins vulnérables aux ruptures de liens
  - Connectivité
    - Variable à cause de l'étendue du réseau et de la mobilité des nœuds
  - Surcoût des protocoles de routage
    - Bande passante, énergie et calcul de chemins

# Contexte général :

## Caractéristiques des MANETs

- Résoudre ces problèmes:
  - Augmenter la zone de transmission radio  
(difficile voire impossible dans certains cas)
  - Utiliser la mobilité

# Contexte général :

## Caractéristiques des MANETs

- Protocoles de routage
- Modèles de mobilité pour l'évaluation des protocoles
- La plupart des travaux sur le routage n'utilisent pas la mobilité des nœuds
- **Routage et mobilité très liés**
- **Comment contrôler efficacement la mobilité et la mettre au service du routage?**

# Routage dans les MANETs

Protocoles de routage sont classés en trois catégories : Réactive, Proactive et Hybride :

## ➤ **Ad Hoc Distance Vector (AODV) :**

- ❖ Protocole Réactif ;
- ❖ Réduit le nombre de diffusions de messages ;
- ❖ Liens bidirectionnels (symétriques) ;
- ❖ Fonctionne en unicast et multicast ;
- ❖ Utilise les principes des numéros de séquence afin de maintenir la consistance des informations de routage

# Routage dans les MANETs

## ➤ Optimized Link State Routing (OLSR) :

- ❖ Protocole Proactif ;
- ❖ Optimisation de l'inondation par les relais multipoints (Multi-Protocol Router MPR);
- ❖ Les paquets parviennent aux nœuds une seule fois ;
- ❖ MPRs communiqués à tout le réseau par des messages TC (Topology Control) périodiques ;

# Mobilité dans les MANETs

- **Trois modèles de mobilité considérés dans cette étude :**
  - ❖ Random Way Point (RWP),
  - ❖ Random Direction (RDD),
  - ❖ Mobgen Steady-State (MbgSS),

# Problématique : QoS dans MANETs et les applications multimédia

- Les services offerts par les MANETs peuvent être classés selon la classe du trafic :
  - ❖ CBR (Constant Bit Rate)
  - ❖ VBR (Variable Bit Rate)
  
- Dans les domaines de recherche dans les MANETs, un défi majeur peut être expliqué comme suit, et ce afin d'offrir un service de qualité adapté au besoin des applications :
  - ❖ Avec une densité de nœuds, quels sont les protocoles de routage ainsi que les modèles de mobilité appropriés à utiliser pour un scénario d'application donné ?
  - ❖ Quels sont les paramètres effectifs qui donnent des résultats fiables ?

# Problématique : Démarche d'analyse

- **Contribution I** : Analyser les performances du réseau sous le trafic (CBR et VBR) en se basant sur le protocole de routage AODV;
- **Contribution II** : Analyser les performances du réseau sous les trafics (CBR et VBR) en se basant sur le protocole de routage OLSR;
- **Contribution III** : Analyser l'impact de la mobilité sur les performances du réseau sous un trafic purement multimédia (VBR) avec les deux protocoles de routage AODV et OLSR;
- **Contribution IV** : Une nouvelle approche basée sur la logique floue comme moyen de contrôle de l'incertitude des modèles de mobilité.

# Contribution I

- AODV et QoS dans un domaine Multi-Service
- Apports de AODV à la QoS

# AODV et QoS dans un domaine Multi-Service

- Analyser les performances du réseau sous les trafics (CBR et VBR) en se basant sur les protocoles de routage AODV et OLSR;
- Analyser l'impact de la densité des noeuds sur les performances des protocoles de routage avec les modèles de mobilité (Random Way Point, Mobgen Steady-State, Random Direction).

# Métriques des performances

## Average end-to-end Delay

$$T_{Avg} = \frac{\sum_{i=1}^{N_r} (H_r^i - H_t^i)}{N_r} \quad (1)$$

- $H_t^i$  l'instant d'émission du paquet  $i$ ,
- $H_r^i$  l'instant de réception du paquet  $i$ ,
- $N_r$  le nombre total de paquets reçus.

## Le débit (Throughput)

$$T = \frac{L - C}{L} R f(\gamma) \quad (2)$$

- $(R)$  b/s Binary transmission rate,
- $(L)$  Taille du paquet,
- $(C)$  Cyclic Redundancy Check,
- $f(\gamma)$  Packet success rate.

## Le taux de transfert des données (Packet Delivery Ratio)

Le taux des paquets des données livrés avec succès à la destination.

# Modèles de Mobilité

- Random Way Point (RWP)?
  - ❖ Nœuds initialement distribués aléatoirement sur la zone de simulation
  - ❖ À Chaque noeud sont assignées une destination et une vitesse
  - ❖ À chaque destination, le noeud fait une pause avant de choisir une nouvelle :
    - destination sélectionnée à partir d'une distribution uniforme,
    - vitesse uniforme appartient à [Speedmin; Speedmax],
    - indépendamment des précédentes vitesses et destinations.

# Modèles de Mobilité

## ➤ Random Direction (RDD) ?

- ❖ À chaque noeud sont assignées :
  - direction initiale appartient à  $(0..2\pi)$ ,
  - vitesse appartient à  $[\text{Speedmin}; \text{Speedmax}]$ .
- ❖ Ainsi le noeud se déplace t-il vers le bord de la zone de simulation.
- ❖ La frontière de simulation atteinte, le noeud s'arrête momentanément avant de répéter le même processus ;

# Modèles de Mobilité

## ➤ Mobgen Steady State (MbgSS) ?

- ❖ Les premières mille secondes sont supprimées de la mobilité générée ;
- ❖ Les locations initiales et les vitesses des nœuds sont choisies d'une distribution stationnaire ;
- ❖ La convergence est immédiate et les résultats des performances sont fiables.

# Apports de AODV à la QoS

- Analyser les performances du réseau sous les trafics (CBR et VBR) en se basant sur le protocole de routage AODV avec les modèles de mobilité (Random Waypoint, Random Direction et Mobgen Steady-State.) ;

## Environnement des simulations : Network Simulator (NS-2.34)

Paramètre	Valeur
Simulation Time	1200 sec
Routing Protocol	AODV
Number of nodes	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
Pause Time	0
Environment Size	1000 m X 1000 m
Traffic Type	Constant Bit Rate (CBR), Variable Bit Rate VBR (MPEG-4)
Maximum Speeds	10 m/s
Mobility Models	Random Way Point, Random Direction, Mobgen Steady-State.

# Apports de AODV à la QoS : Délai de bout en bout

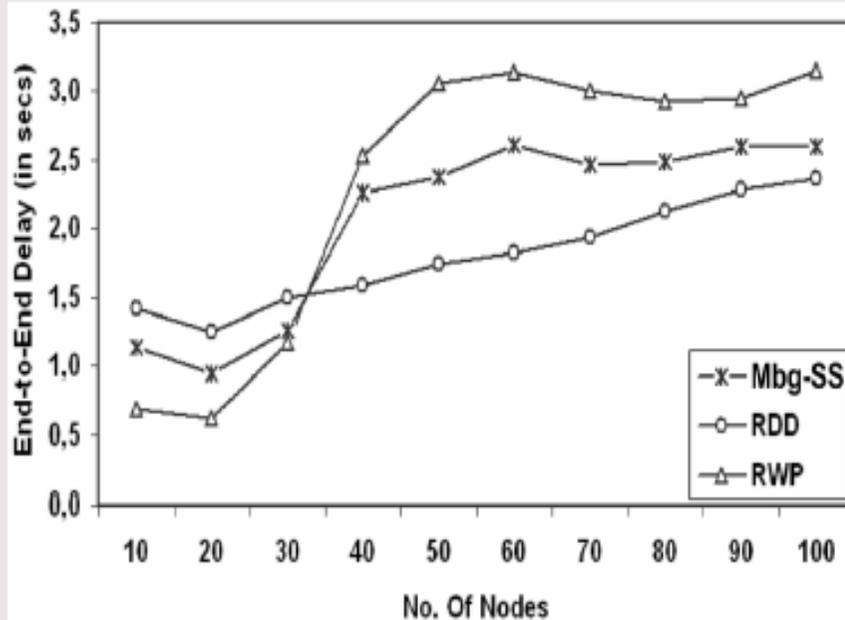


FIGURE: 1 Délai vs N. Noeuds (CBR)

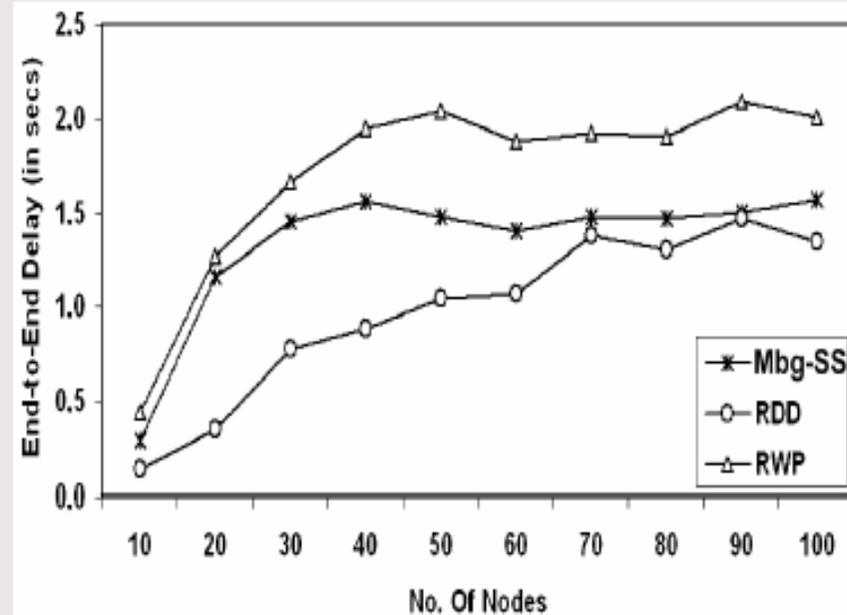


FIGURE: 2 Délai vs N. Noeuds (VBR)

# Apports de AODV à la QoS : Débit

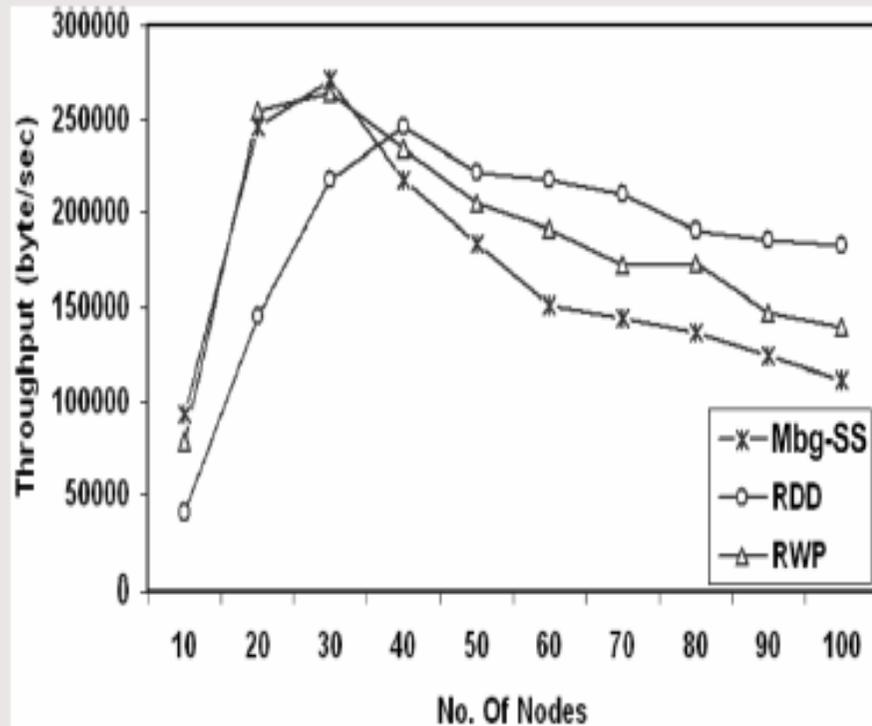


FIGURE: 3 Débit vs N. Noeuds (CBR)

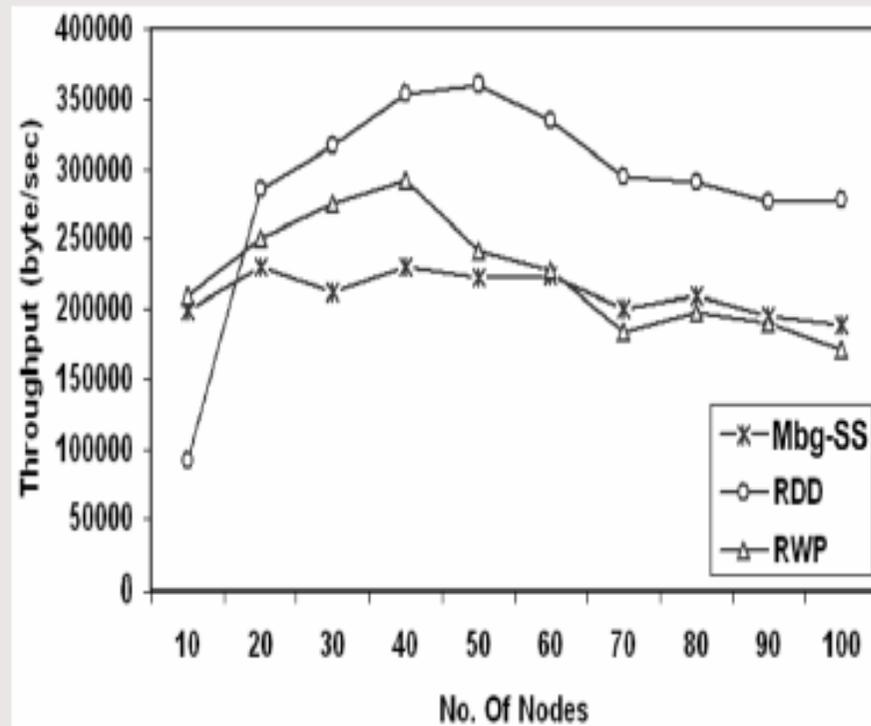


FIGURE: 4 Débit vs N. Noeuds (VBR)

# Apports de AODV à la QoS : Taux de transfert de données

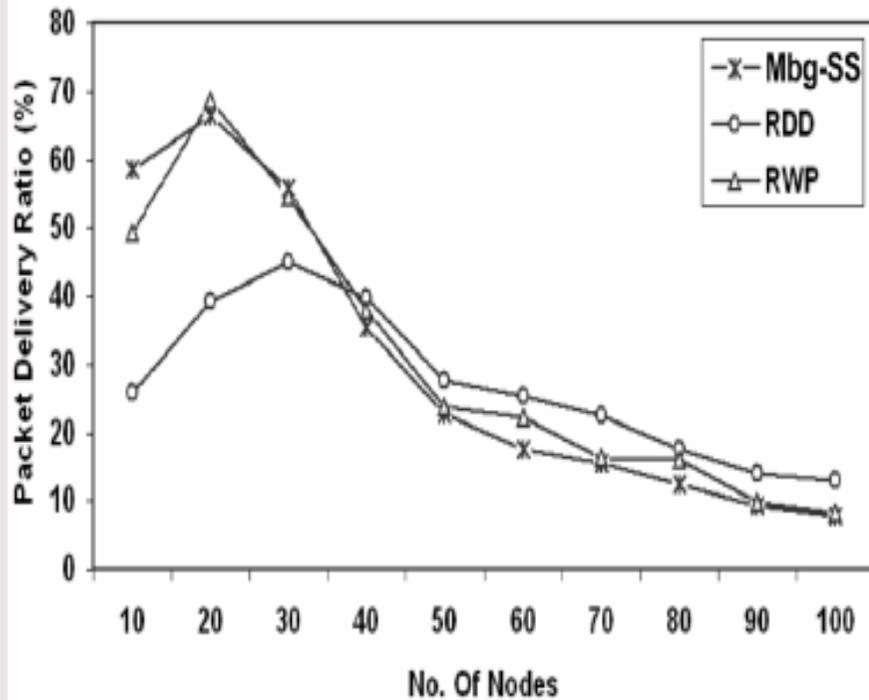


FIGURE: 5 Taux de transfert vs N. Noeuds (CBR)

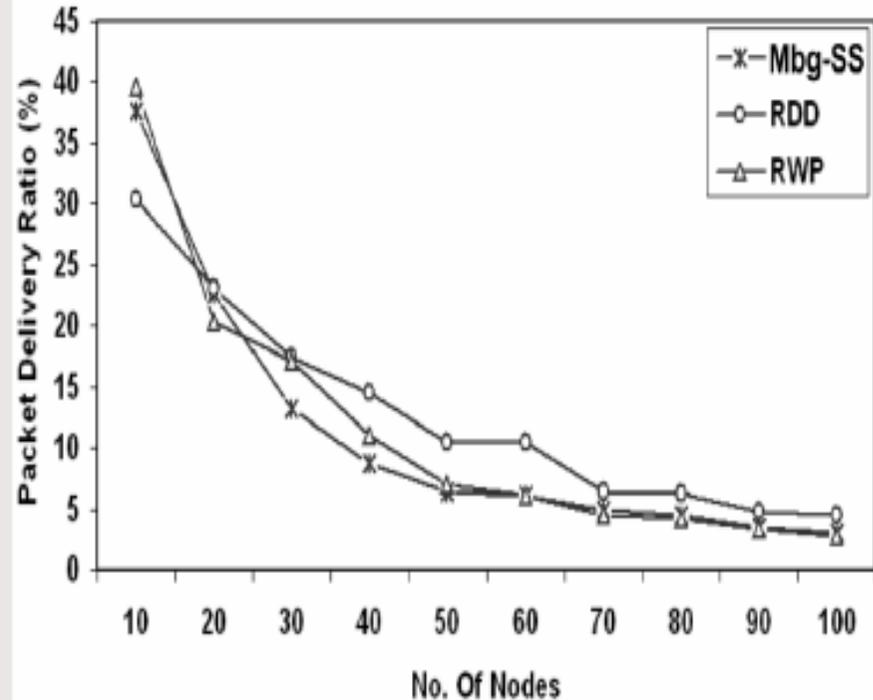


FIGURE: 6 Taux de transfert vs N. Noeuds (VBR)

# Apports de AODV à la QoS :

## Synthèse

- Pour les applications à forte densité des noeuds, sensibles au délai, on encourage l'utilisation de AODV avec le modèle Mobgen Steady State et ce quelque soit le type de trafic (CBR ou VBR)
- Pour les applications à faible densité des noeuds, qui exigent un débit optimal, on favorise l'utilisation de AODV avec le modèle Random Way Point et ce quelque soit le type de trafic (CBR ou VBR)
- Pour les applications à forte densité des noeuds, qui exige un débit optimal, on favorise l'utilisation de AODV avec le modèle Random Way Point sous le trafic (CBR) et avec Mobgen Steady State sous le trafic (VBR)
- Vu le faible taux de transfert, le protocole AODV peut être utilisé avec les applications qui tolèrent une petite quantité de pertes de données.

# Contribution II

- OLSR et QoS dans un domaine Multi-Service
  
- Impact de OLSR sur la QoS

# OLSR et QoS dans un domaine Multi-Service

- Analyser les performances du réseau sous les trafics (CBR et VBR) en se basant sur le protocole de routage OLSR avec les modèles de mobilité (Random Waypoint, Random Direction et Mobgen Steady-State.) ;

## Environnement des simulations : Network Simulator (NS-2.34)

Paramètre	Valeur
Simulation Time	1200 sec
Routing Protocol	OLSR
Number of nodes	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
Pause Time	0
Environment Size	1000 m X 1000 m
Traffic Type	Constant Bit Rate (CBR), Variable Bit Rate VBR (MPEG-4)
Maximum Speeds	10 m/s
Mobility Models	Random Way Point, Random Direction, Mobgen Steady-State.

# Impact de OLSR sur la QoS : Délai de bout en bout

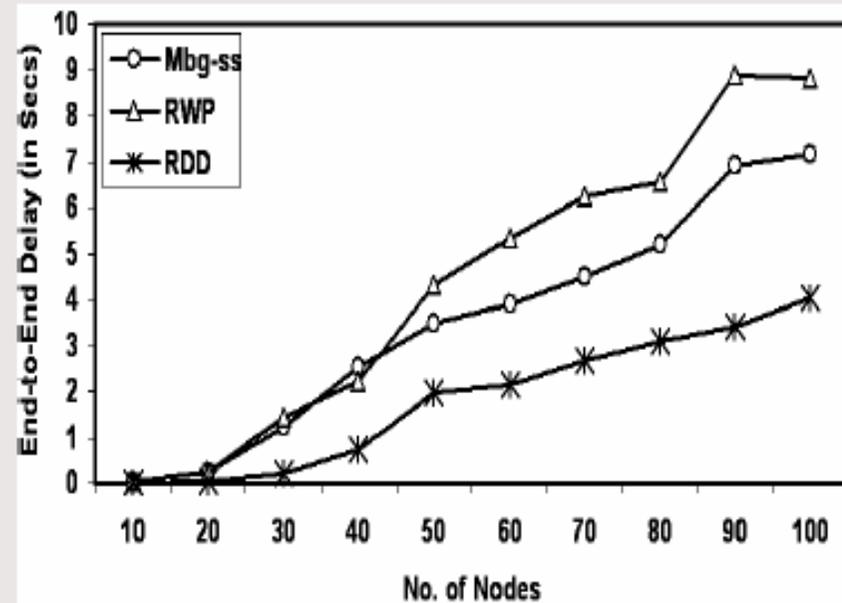


FIGURE: 1 Délai vs N. Noeuds (CBR)

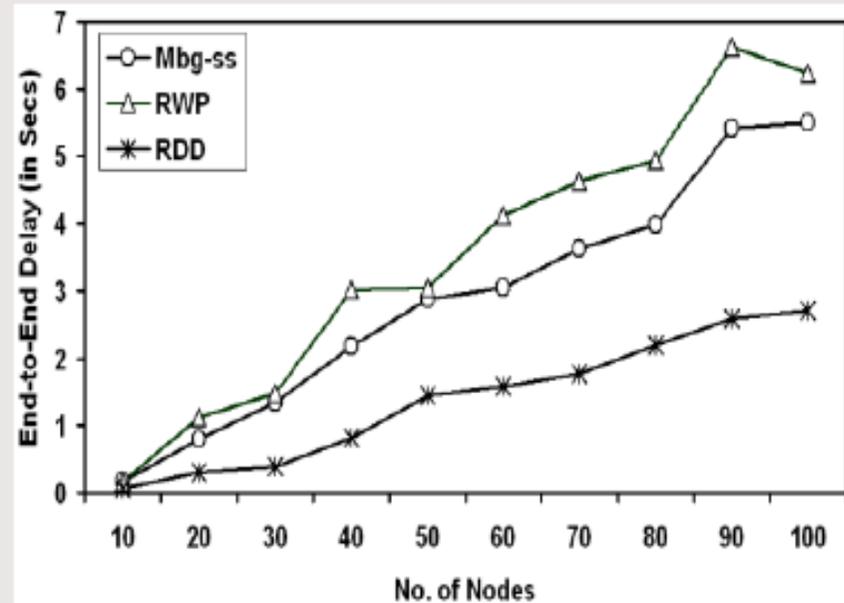


FIGURE: 2 Délai vs N. Noeuds (VBR)

# Impact de OLSR sur la QoS : Débit

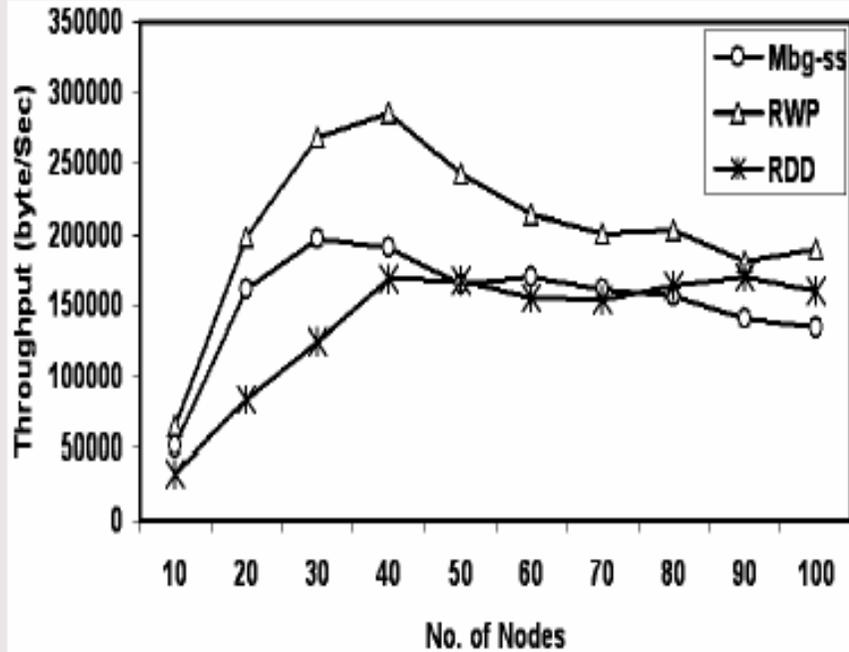


FIGURE: 3 Débit vs N. Noeuds (CBR)

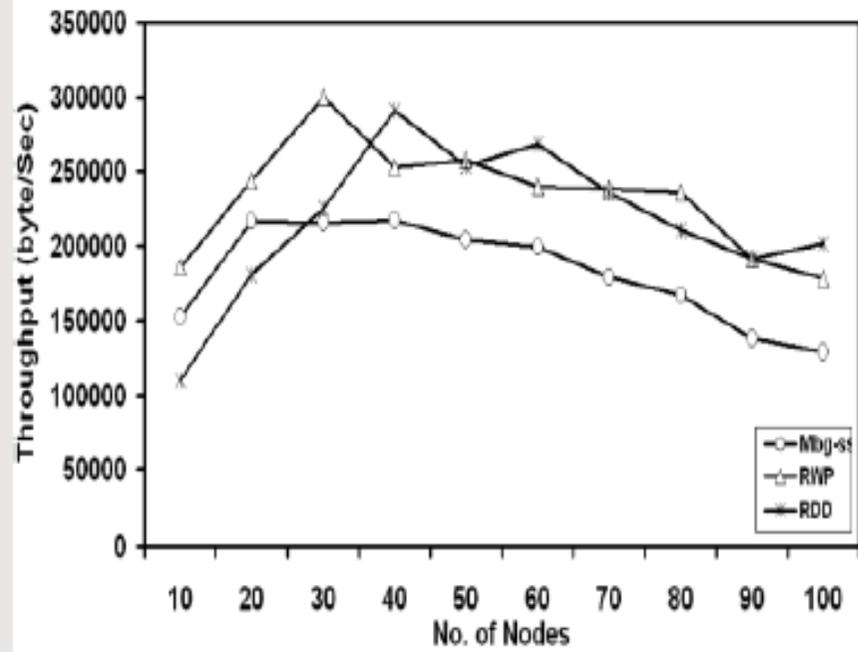


FIGURE: 4 Débit vs N. Noeuds (VBR)

# Impact de OLSR sur la QoS : Taux de transfert de données

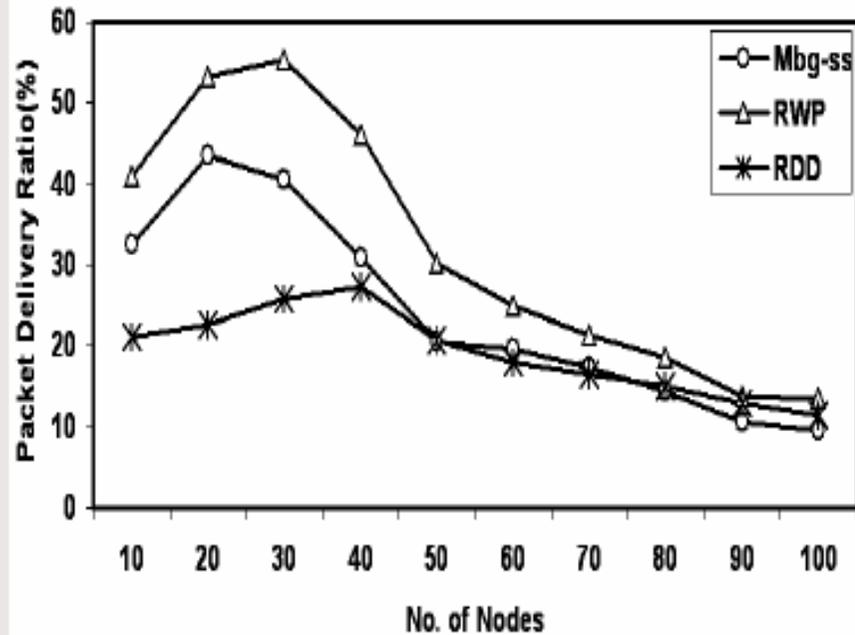


FIGURE: 5 Taux de transfert vs N. Noeuds (CBR)

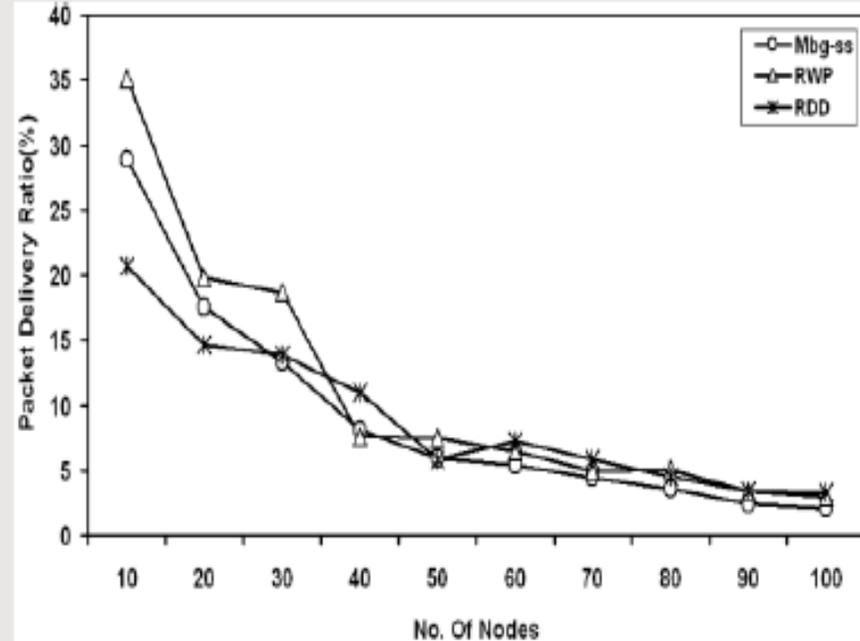


FIGURE: 6 Taux de transfert vs N. Noeuds (VBR)

# Impact de OLSR sur la QoS :

## Synthèse

- Le comportement (délai, débit) du protocole OLSR n'est pas influencé par le type de trafic (CBR ou VBR) utilisé ;
- OLSR en association avec Mobgen Steady State donne de meilleures performances de délai qu'avec Random Way Point ;
- Pour les applications qui exigent un débit optimal, le modèle Random Way Point a montré son efficacité par rapport aux deux autres modèles utilisés (Random Direction et Mobgen Steady State) ;
- Le faible taux de transfert limite l'utilisation du protocole OLSR avec les applications qui tolèrent une petite quantité de pertes de données.

# Contribution III

- QoS dans MANETs et Impact de la Mobilité
- Effet de la mobilité sur la QoS

# QoS dans MANETs et Impact de la Mobilité

- Analyser les performances du réseau sous les trafics (CBR et VBR) en se basant sur les protocoles de routage AODV et OLSR avec les modèles de mobilité (Random Waypoint, Mobgen Steady-State.) ;

## Environnement des simulations : Network Simulator (NS-2.34)

Paramètre	Valeur
Simulation Time	1200 sec
Routing Protocol	AODV, OLSR
Number of nodes	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
Pause Time	0
Environment Size	1000 m X 1000 m
Traffic Type	Variable Bit Rate VBR (MPEG-4)
Maximum Speeds	10 m/s
Mobility Models	Random Way Point, Mobgen Steady-State.

# Effet de la mobilité sur la QoS : Délai

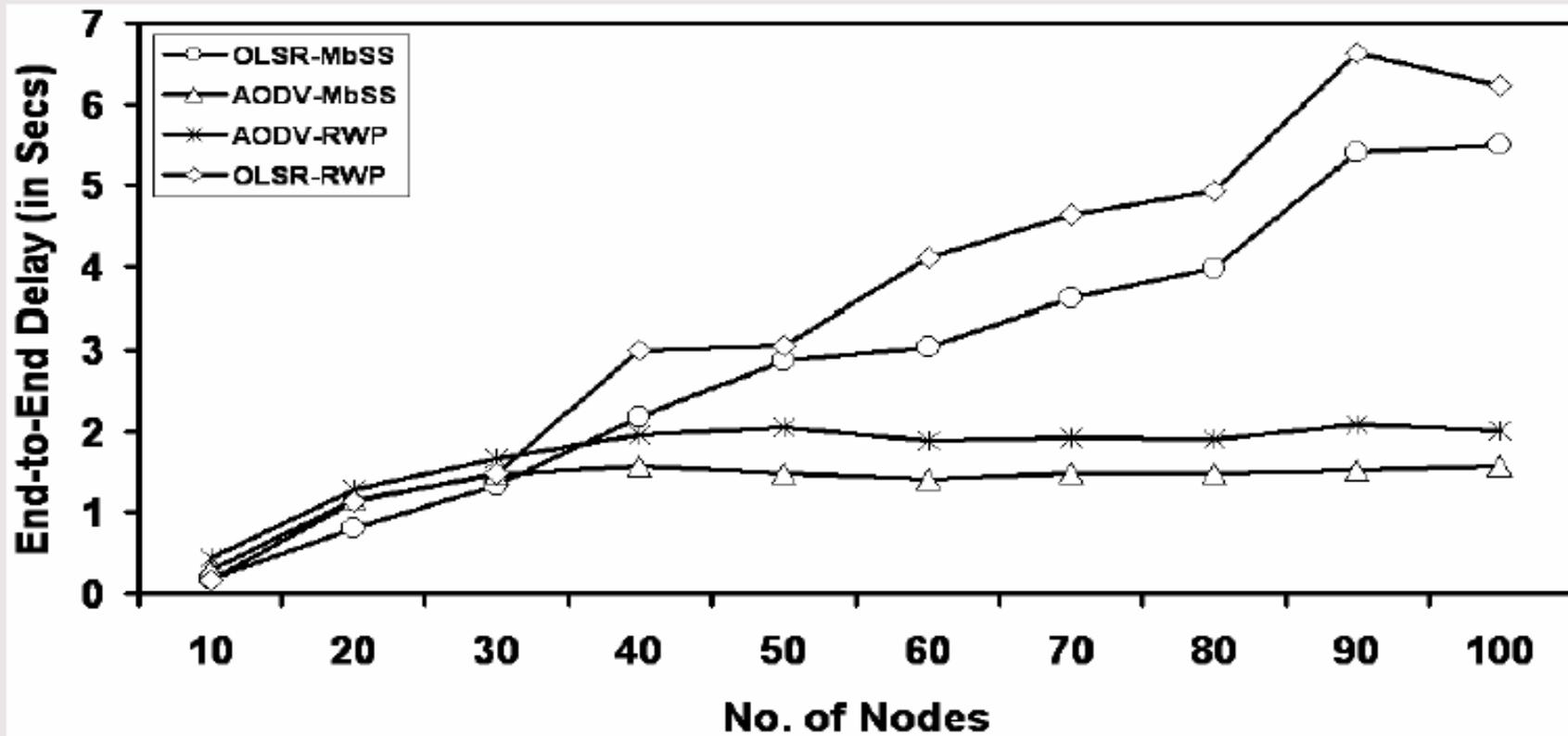


FIGURE: 1 Délai vs N. Noeuds (VBR)

# Effet de la mobilité sur la QoS : Débit

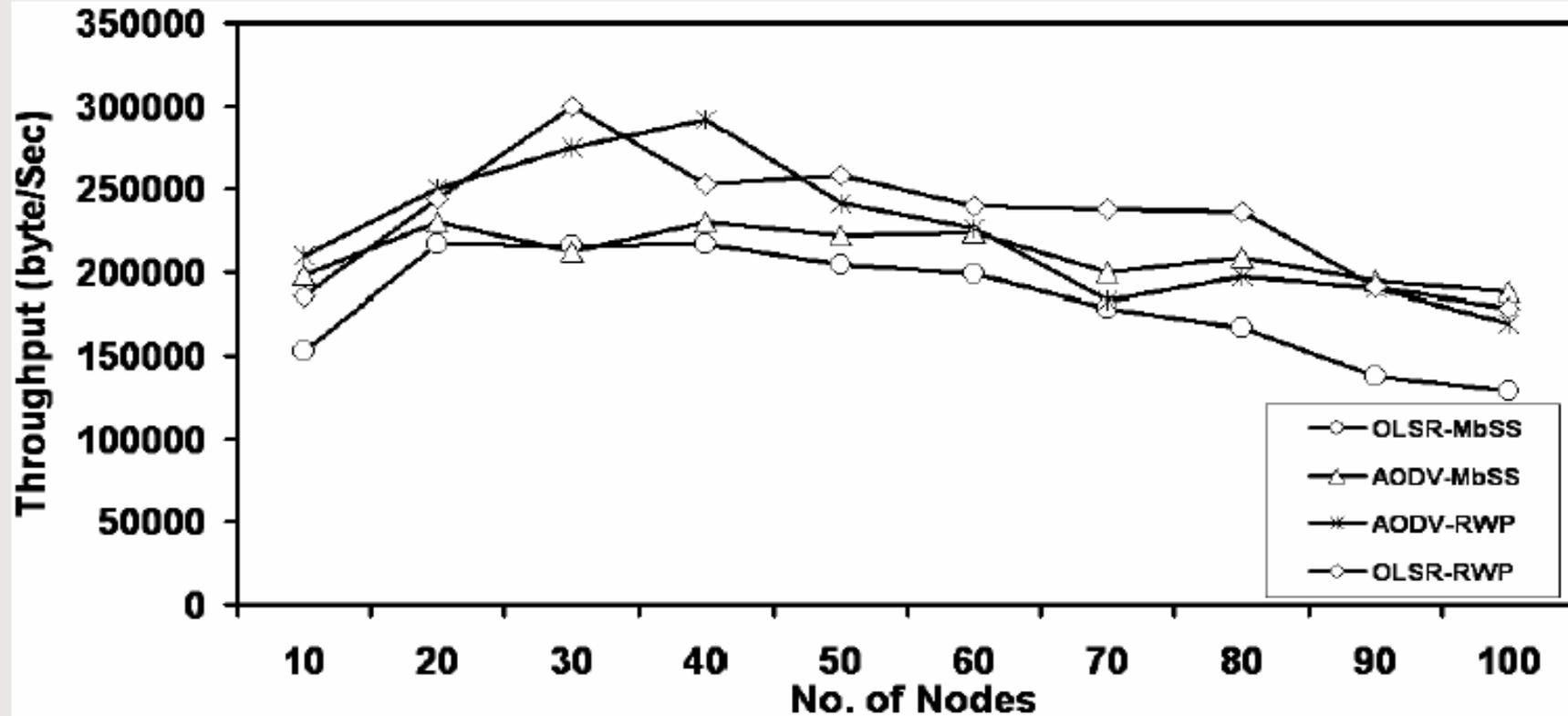


FIGURE: 2 Débit vs N. Noeuds (VBR)

# Effet de la mobilité sur la QoS :

## Synthèse

- Mobgen Steady State, en association avec les deux protocoles (AODV, OLSR), montre de bons résultats de délai mieux qu'avec Random Way Point
- Parce que le délai montré par AODV qui est associé à Mobgen Steady State est inférieur à celui obtenu avec Random Way Point, il est suggéré d'utiliser ce protocole avec le premier modèle de mobilité (Mobgen Steady State) dans les applications en temps réel qui sont sensibles au délai et qui tolèrent une petite quantité de perte de paquets
- Le débit optimal est obtenu lors de l'association de AODV avec le Modèle Random Way Point. Ainsi, les applications en temps réel qui nécessitent un certain niveau de débit peuvent utiliser ce modèle pour maximiser le débit.

# Contribution IV

- Logique Floue (FUZZY LOGIC)
- Optimalité Délai, Débit

# Problématique : Délai et Débit Optimaux ?

- Comportement du délai (Faible, Moyen et Grand) et du débit (Faible ou Grand).

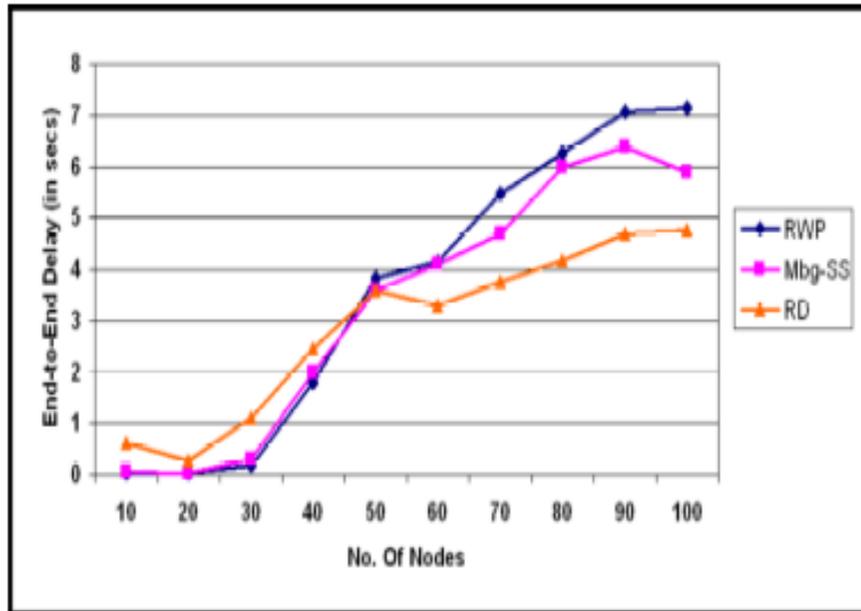


FIGURE: 1 Délai AODV vs Nombre du Noeuds

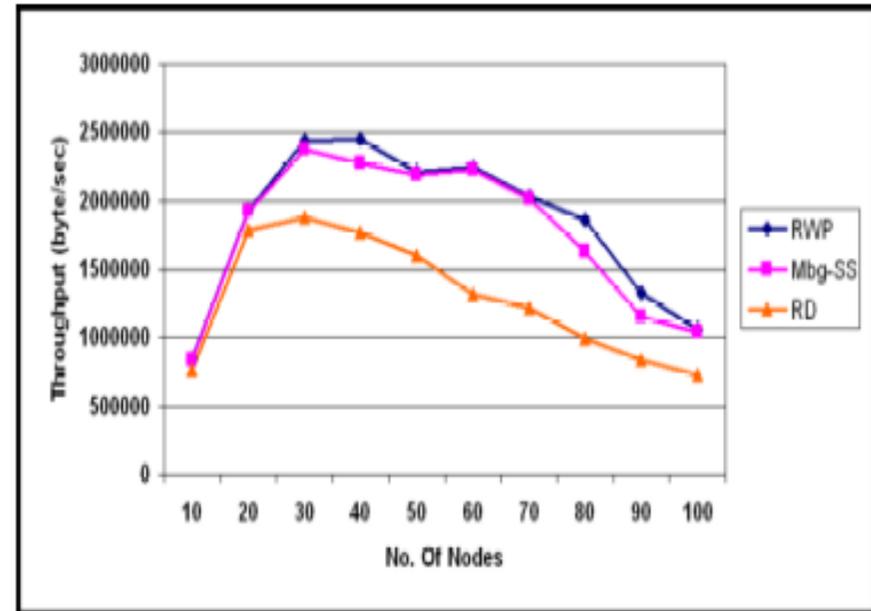


FIGURE: 2 Débit AODV vs Nombre du Noeuds

\*Comment calculer le délai et le débit optimaux d'un protocole de routage donné à partir des résultats obtenus par différents modèles de mobilité ?

➔ **Solution** : Proposer une nouvelle approche basée sur la logique floue comme moyen de contrôle de l'incertitude des modèles de mobilité.

# Systeme à Logique Floue propose

- Modéliser deux Systemes d'Inférence Flous (SIF) avec quatre entrées et une sortie qui produit :
  - ❖ Délai optimal
  - ❖ Débit optimal

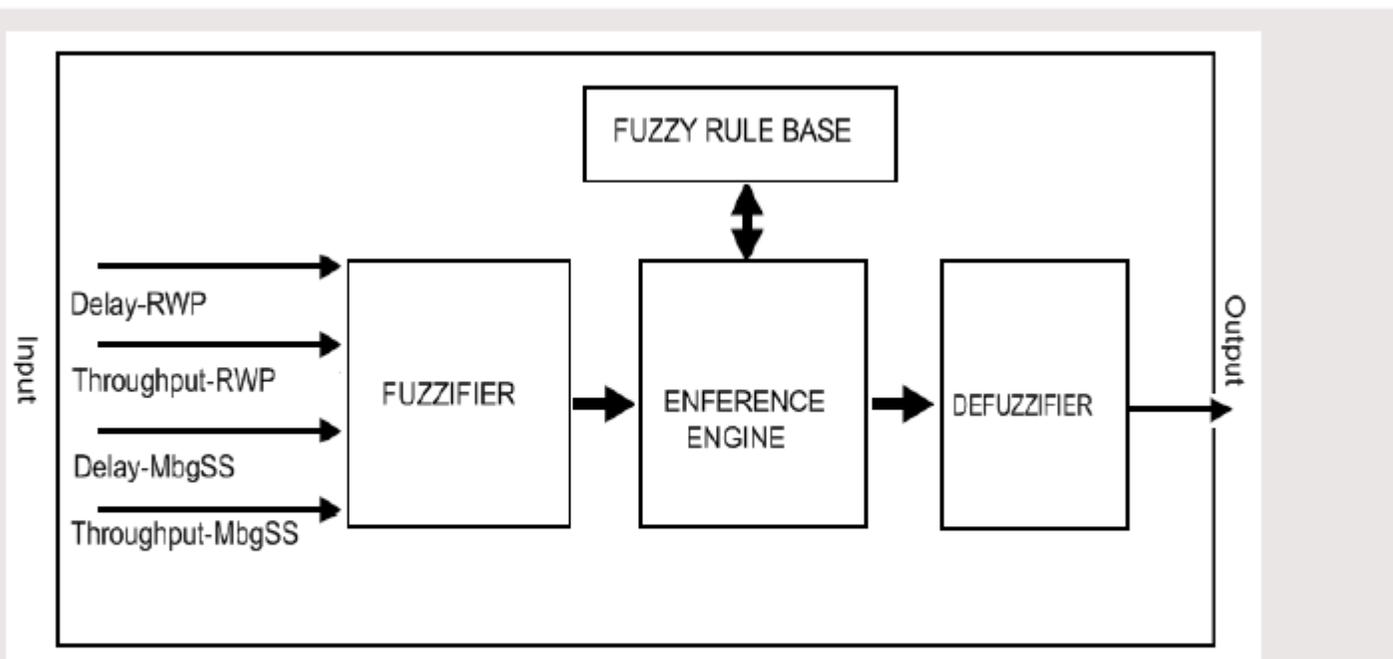


FIGURE: Systeme d'Inférence Flou de base

# Définition des Fonctions d'Appartenance du Délai et du Débit

- Le comportement du Délai et du Débit nous a permis de donner les définitions suivantes des fonctions d'appartenances des entrées et des sorties.

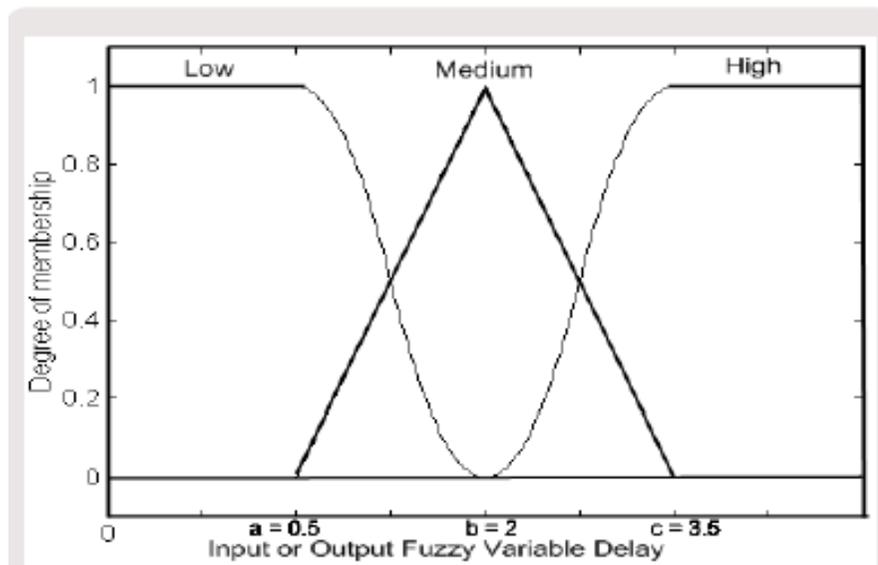


FIGURE: 1 Fonctions d'Appartenance du **délai** d'entrée et de sortie

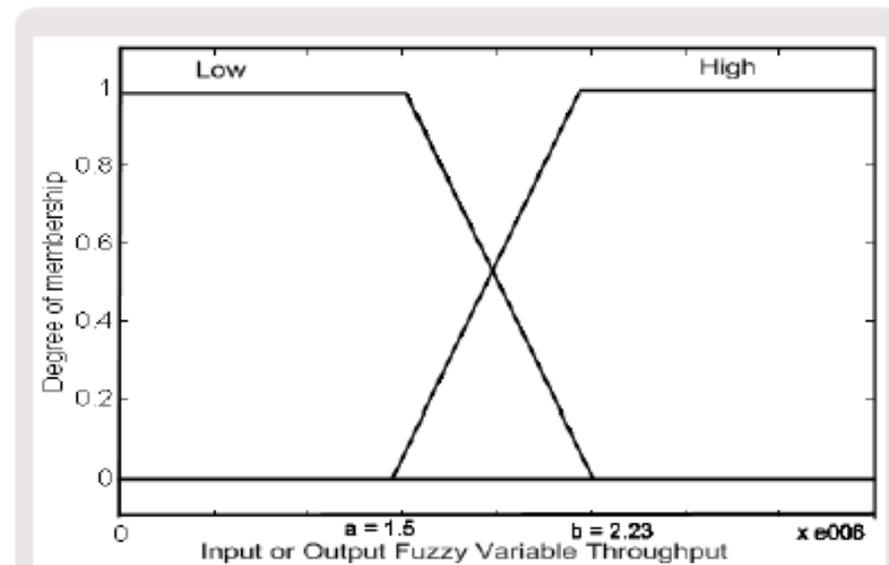


FIGURE: 2 Fonctions d'Appartenance du **débit** d'entrée et de sortie.

# Mise en place du système d'inférences floues

## Choix des entrées/sorties

- Quatre entrées : **Délai RWP**, **Débit RWP**, **Délai MbgSS** et **Débit MbgSS**.
- Deux sorties : **Délai Optimal** et **Débit Optimal**

## Univers des discours

- $\{0 \dots 8\}$  (*Second*) pour chacune des entrées et des sorties du **délai** ;
- $\{0 \dots 3\}$  ( $10^6$  *Octet/Sec*) pour chacune des entrées et des sorties du **débit**.

## Fonctions d'Appartenances/ Ensemble Flous

- Délai  $\in \{ \text{Low}, \text{Medium}, \text{High} \}$  ;
- Débit  $\in \{ \text{Low}, \text{High} \}$  ;

# Table d'Inférence des Règles Floues : Délai Optimal

- Délai optimal de sortie représente la réunion des délais partiels de chaque règle avec prise en charge du débit d'entrée.

Base des règles du délai flou du modèle Random Way Point.

	<i>Délai RWP</i>		
<i>Débit- RWP</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>
Low	Low	Medium	High
High	Low	Medium	High

Base des règles du délai flou du modèle Mobgen Steady State.

	<i>Délai MbgSS</i>		
<i>Débit- MbgSS</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>
Low	Low	Medium	High
High	Low	Medium	High

# Table d'Inférence des Règles Floues : Débit Optimal

- Débit optimal de sortie représente la réunion des débits partiels de chaque règle avec la prise en charge du délai d'entrée.

Base des règles du débit flou du modèle Random Way Point.

	<i>Délai RWP</i>		
<i>Débit- RWP</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>
Low	Low	Low	Low
High	High	High	High

Base des règles du débit flou du modèle Mobgen Steady State

	<i>Délai MbgSS</i>		
<i>Débit- MbgSS</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>
Low	Low	Low	Low
High	High	High	High

# Base des Règles et prise de Décisions

## La décision du délai optimal

- *if* (Delay-rwp is Low) *and* (Throughput-rwp is Low)*then* (Optimal-Delay is Low)
- *if* (Delay-mbg-ss is Low) *and* (Throughput-mbg-ss is Low) *then* (Optimal-Delay is Low)
- .....

## La décision du débit optimal

- *if* (Delay-rwp is Low) *and* (Throughput-rwp is Low)*then* (Optimal-Throughput is Low)
- *if* (Delay-mbg-ss is Low) *and* (Throughput-mbg-ss is Low) *then* (Optimal-Throughput is Low)
- .....

# Paramètres de simulation ?

- Analyse des performances (Délai, Débit) du protocole de routage AODV en utilisant l'approche proposée.

simulateur utilisé Network Simulator (NS-2.34).

Paramètre	Valeur
Simulation Time	600 sec
Number of nodes	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
Pause Time	0 sec
Environment Size	500 m X 500 m
Traffic Type	Constant Bit Rate (CBR)
Maximum Speeds	20 m/s
Mobility Models	Random Way Point, Mobgen Steady-State.

# Analyse des Résultats de l'Approche : Délai Optimal

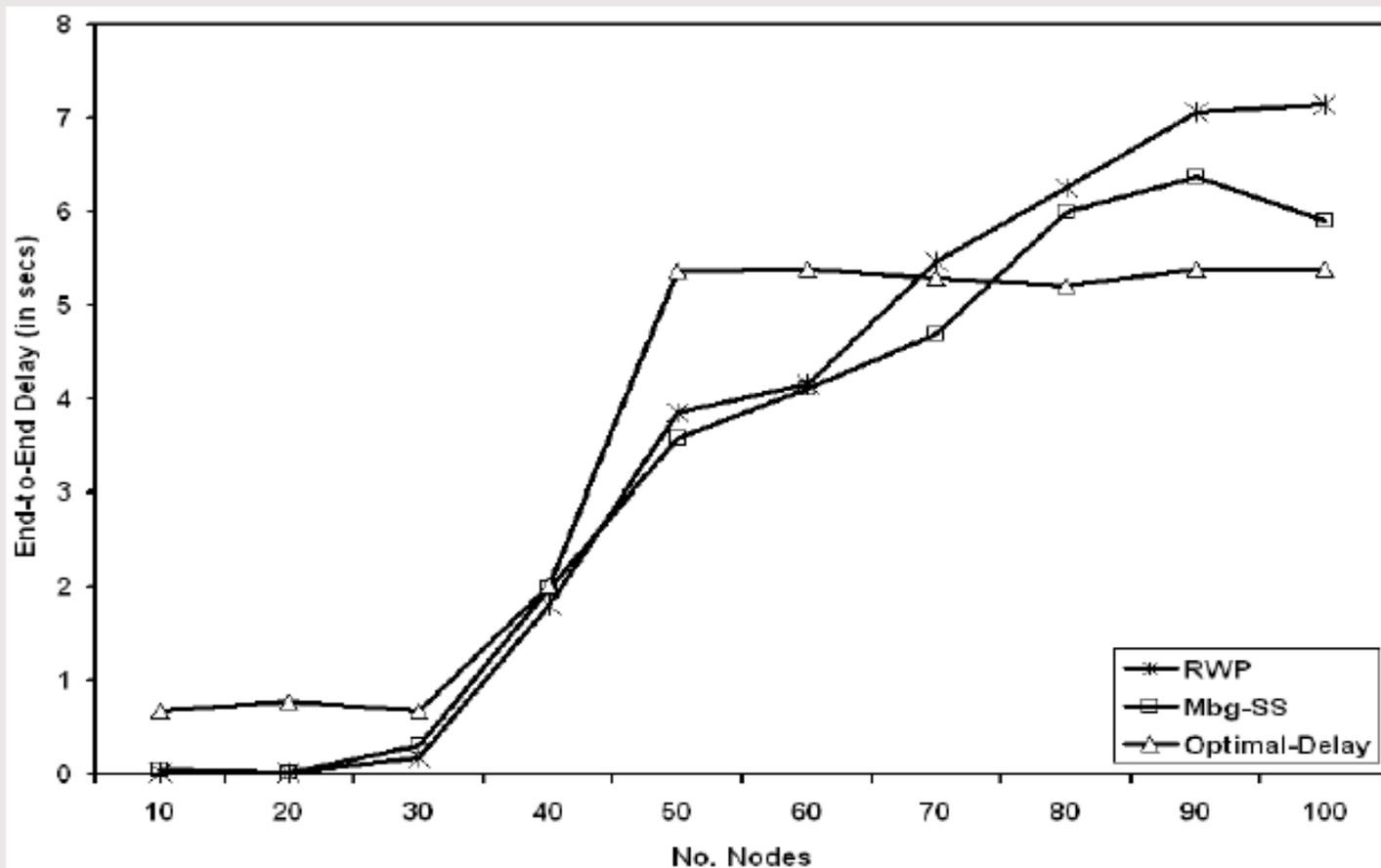


FIGURE: 1 Délai Optimal

# Analyse des Résultats de l'Approche : Débit Optimal

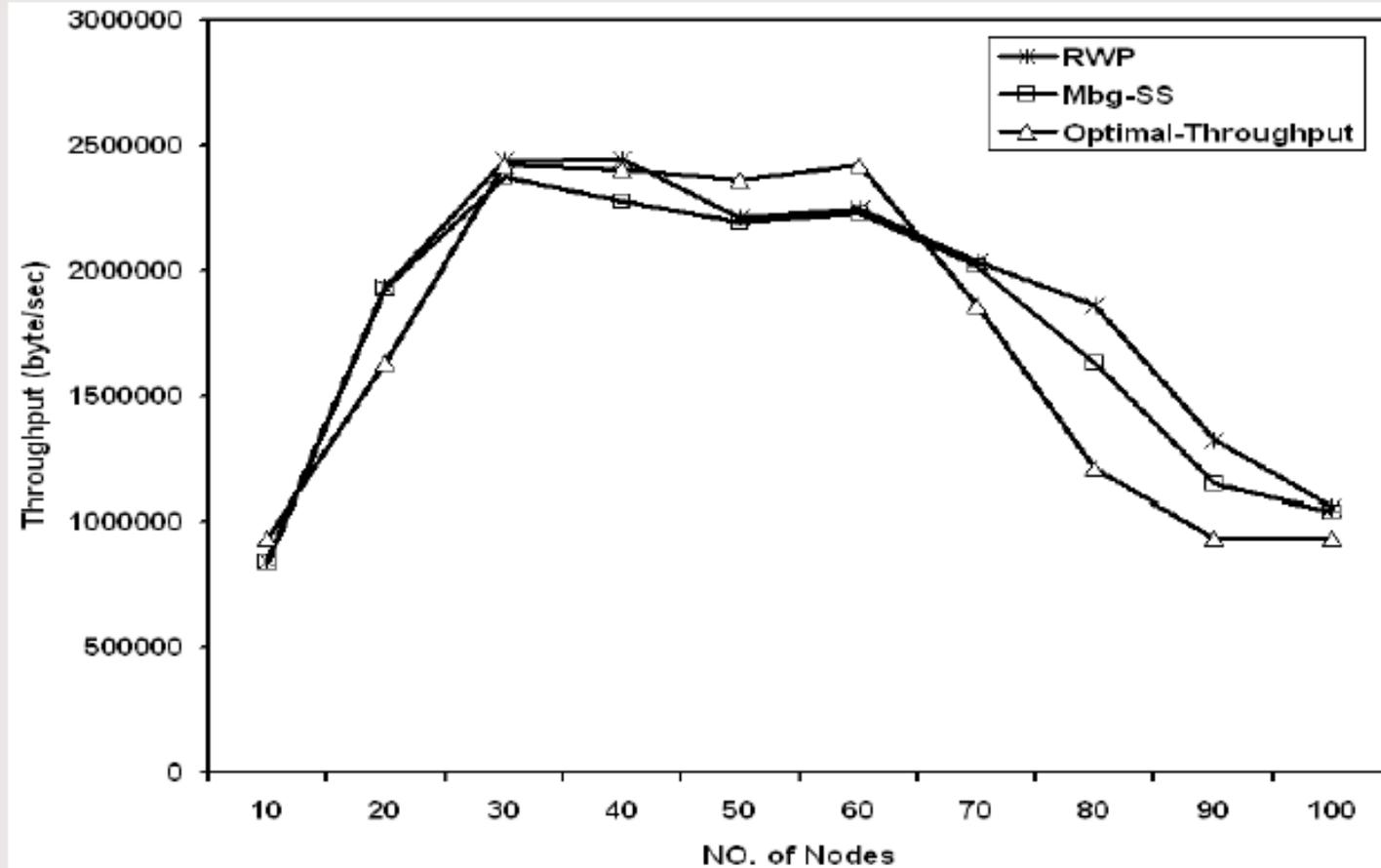


FIGURE: 2 Débit Optimal

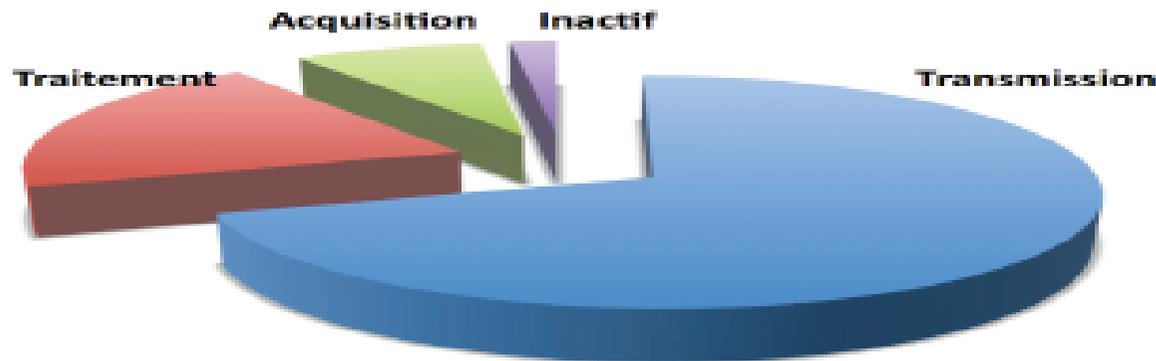
# **Contributions liées à la QoS dans les réseaux de Capteurs Sans fil**

# Contexte général

➤ Efficacité énergétique des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fils:  
**Contribution à la maximisation de la durée de vie**

# Problématique : Maximisation de la durée de vie

- Les parties qui consomment de l'énergie dans un RCSF : [Ganesan2004]



**Comparaison de la consommation d'énergie**

==> Conséquence : Optimisation de la transmission

Objectif : Optimisation du routage

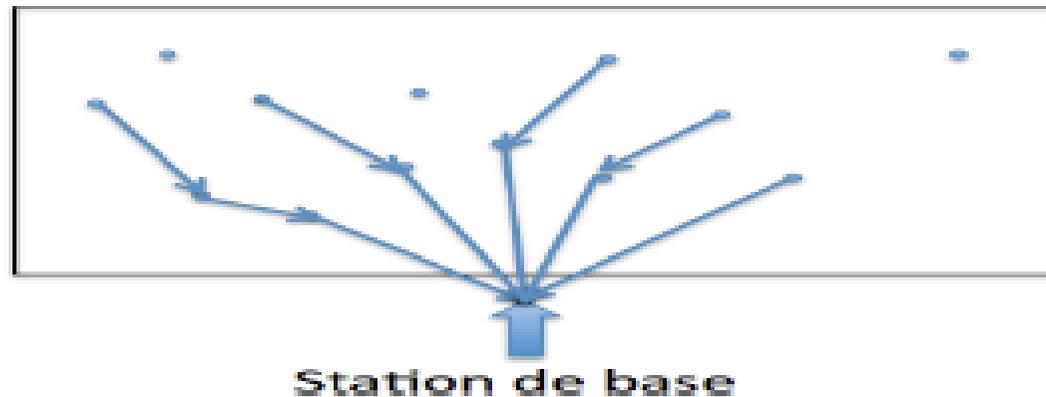
==> Proposition de protocoles pour l'extension de l'autonomie du réseau.

# Classes des protocoles de routage

- Les protocoles plats
- Les protocoles hiérarchiques
- Les protocoles géographiques

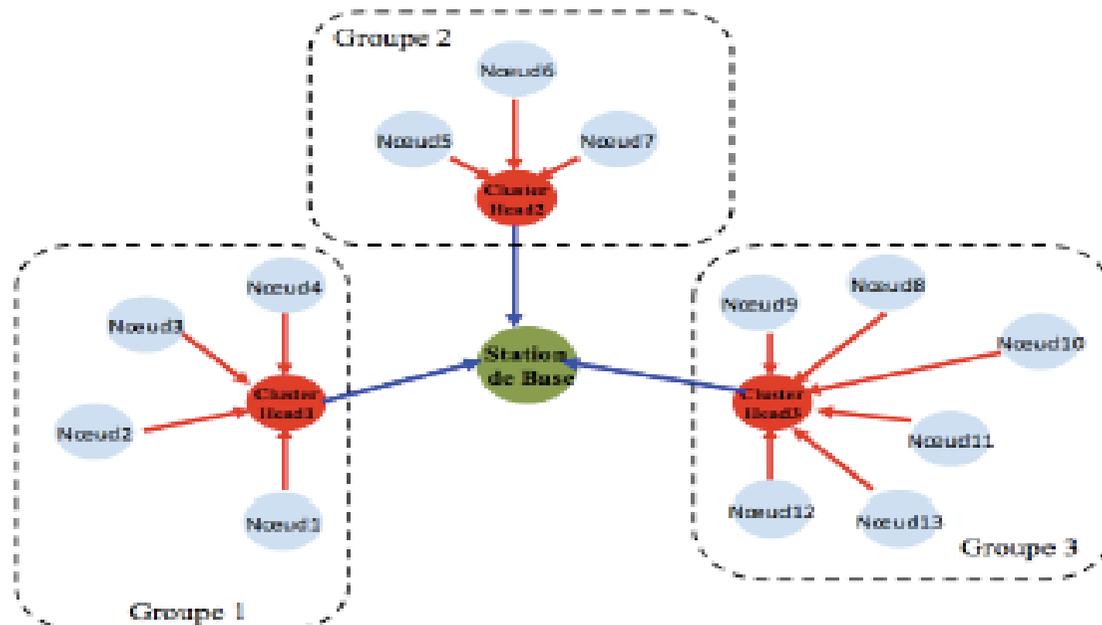
# Les protocoles plats

- Les nœuds ont le même rôle dans le routage ;
- Les nœuds sont semblables en termes de ressources ;
- Chaque nœud doit maintenir la connaissance de la topologie du réseau.



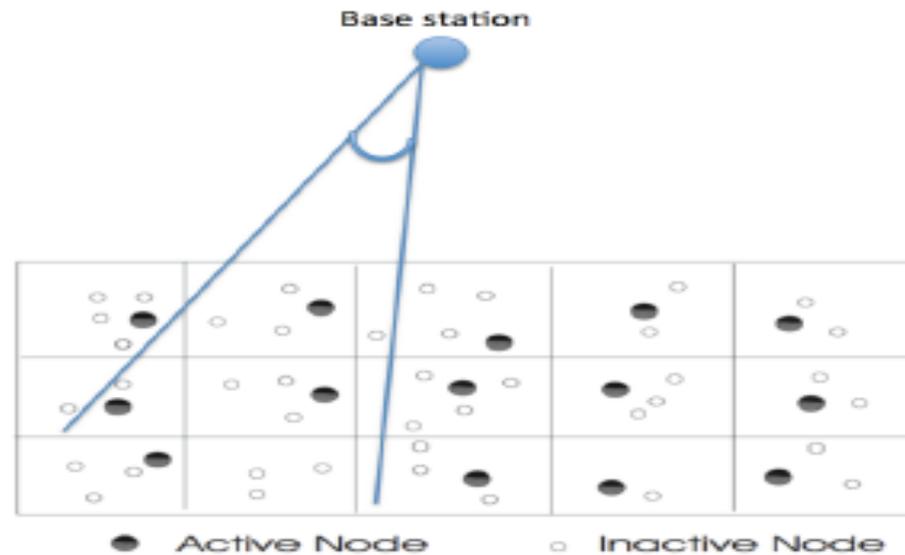
# Les protocoles hiérarchiques

- Divisent les noeuds en plusieurs niveaux de responsabilité ;
- Le Clustering est l'une des méthodes les plus employées ;
- Un cluster est constitué d'un chef (cluster-head) et de ses membres.



# Les protocoles géographiques

- Le choix de la route est basé sur la localisation des noeuds ;
- Les capteurs sont équipés de systèmes de localisation GPS basse puissance ;
- Les algorithmes de routage sont simples ;
- Nécessite un système de localisation et une coordination des noeuds.



# Paramètres du réseau

- Réseau étalé sur une superficie  $M \times M$  avec  $M=100\text{m}$ ;
- $N$  nœuds sont déployés aléatoirement sur la superficie du réseau. Ils sont fixes une fois déployés ;
- Critère d'évaluation : Durée de vie du réseau ) La durée jusqu'à l'épuisement de l'énergie du premier nœud [Smaragdakis2004] ou d'un certain nombre de nœuds ;
- La station de base est fixe ;
- Les nœuds échantillonnent périodiquement le réseau. Les paquets transmis font  $l$  bits

# Contributions aux algorithmes de routage plat

- Routage avec équilibrage de consommation d'énergie
- Répartition décentralisée de la consommation d'énergie

# Protocole de routage avec équilibrage de consommation d'énergie

- **Minimum Transmission Energy [Shepard,1995]**  
==> Choix du chemin optimal de la source à la destination finale ;
- **Limitation**  
==> Epuisement rapide des noeuds proches de la station de base.

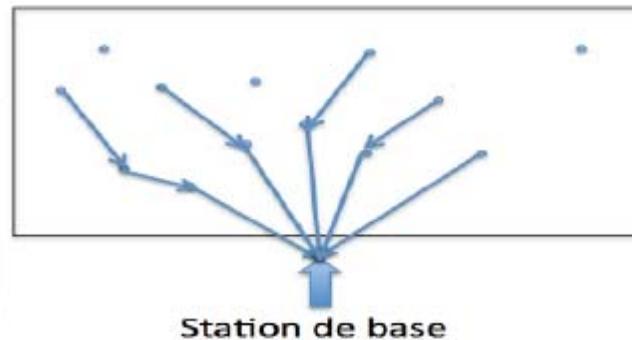


FIGURE: Protocole MTE

# Protocole de routage avec équilibrage de consommation d'énergie

- MLER (Maximum Lifetime Energy Routing [J.-H. Chang, 2000]) utilise deux métriques au choix pour l'envoi de  $j$  à  $i$  :

$$C_{ij} = \frac{1}{E_i - e_{ij}} \quad (1)$$

$$C_{ij} = \frac{e_{ij}}{E_i} \quad (2)$$

- $E_i$  est l'énergie résiduelle du nœud  $i$ .  
 $e_{ij}$ , le coût de transmission de  $i$  à  $j$ .

Apport :

Epuisement aléatoire de noeuds dans le réseau.

# Protocole de routage avec équilibrage de consommation d'énergie

➤ Objectif :

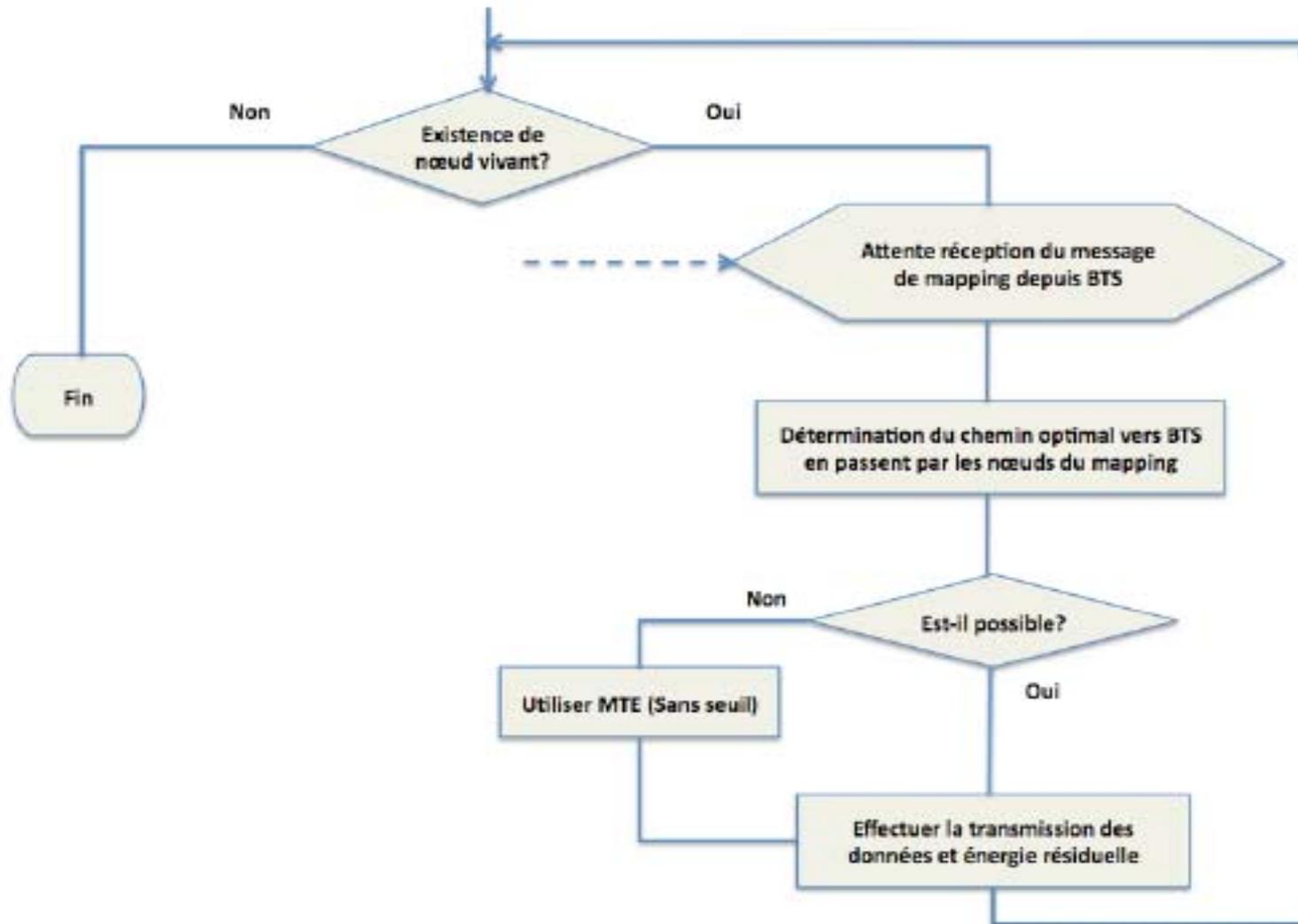
- ❖ Répartition efficace du coût de transmission entre les noeuds du réseau.

==>Protocole UBERP(Uniform Balancing Energy Routing Protocol)

➤ Principe :

- ❖ Sélection du chemin optimal de la source à la station de base en excluant les nœuds dont l'énergie est inférieure à un seuil.

# Protocole de routage avec équilibrage de consommation d'énergie : Algorithme



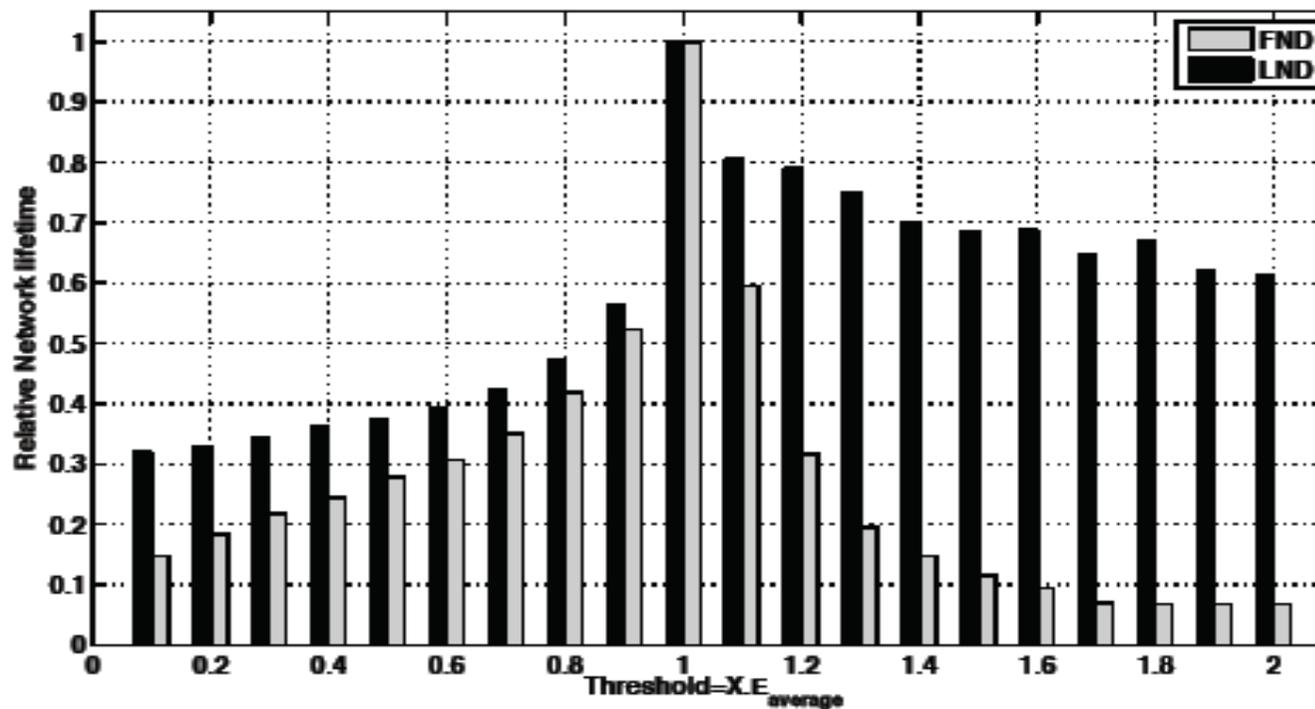
# Protocole de routage avec équilibrage de consommation d'énergie : Détermination du mapping du réseau

## ➤ Mapping du réseau :

- ❖ Ensemble des noeuds qui peuvent participer au routage des paquets des autres noeuds.
  - Récupération des paquets des données collectées agrégées avec les énergies résiduelles des noeuds à la station de base ;
  - Détermination des noeuds dont l'énergie restante est supérieure à un seuil noeuds éligibles ;
  - Formation et diffusion d'un paquet englobant l'indice des noeuds éligibles.

# Protocole de routage avec équilibrage de consommation d'énergie : Détermination du seuil

- Détermination empirique du seuil maximisant la durée de vie ;
- FND : Epuisement du premier noeud ;
- LND : Epuisement du dernier noeud.



# Protocole de routage avec équilibrage de consommation d'énergie : Résultat de simulation

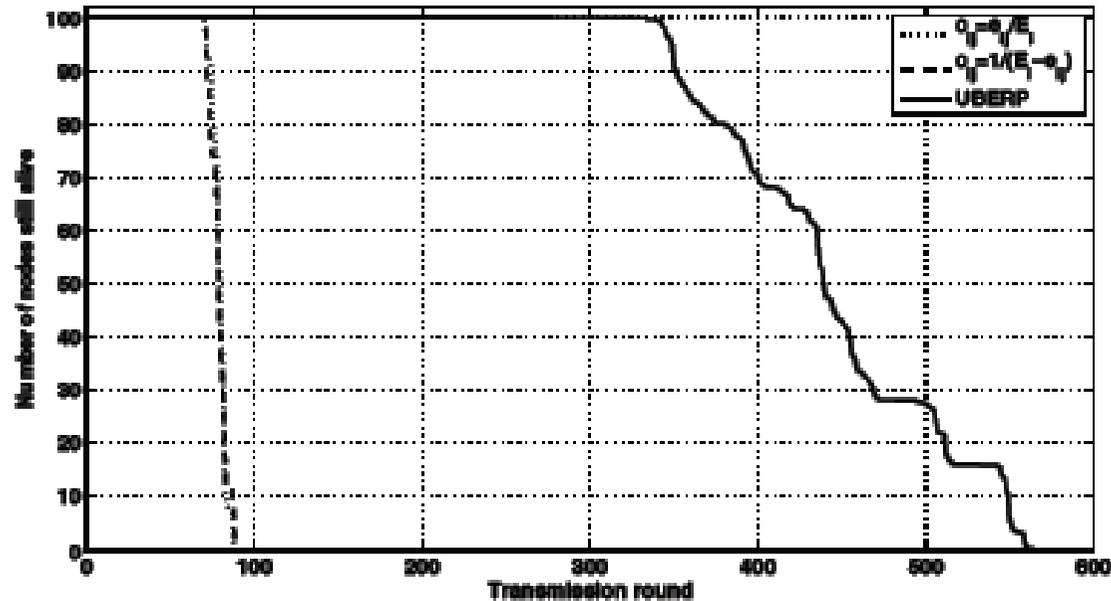


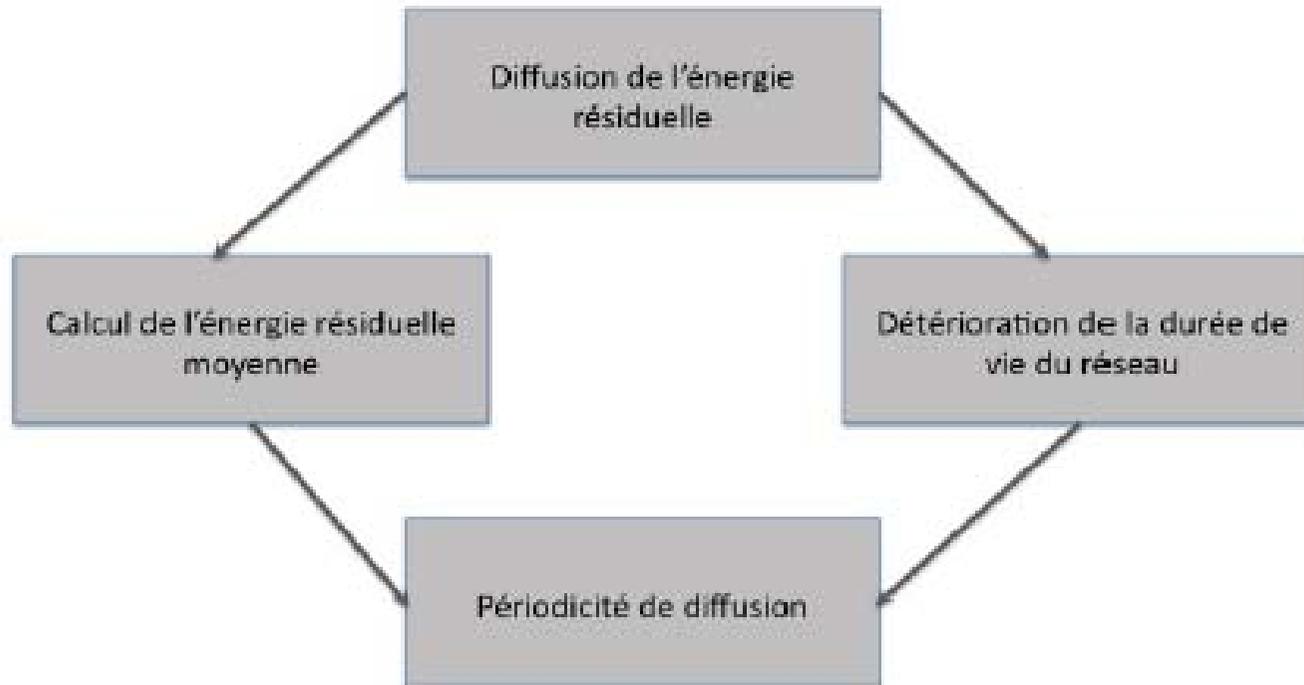
FIGURE: Evolution du nombre de nœuds vivants en fonction du temps.

**Résultat :** ==> Extension de la durée de vie grâce à l'équilibre de consommation d'énergie entre les différents nœuds.

# Répartition décentralisée de la consommation d'énergie

- Objectif :
  - ❖ Apporter l'autonomie au protocole UBERP.
  - ==> Protocole LMAWSN (Lifetime Maximisation Algorithm for Wireless Sensor Networks)
- Principe :
  - ❖ Sélection du chemin optimal de la source à la station de base en excluant les nœuds dont l'énergie est inférieur à un seuil.
  - ==> Diffusion de l'information Energie résiduelle entre noeuds.

# Répartition décentralisée de la consommation d'énergie



# Répartition décentralisée de la consommation d'énergie : Algorithme

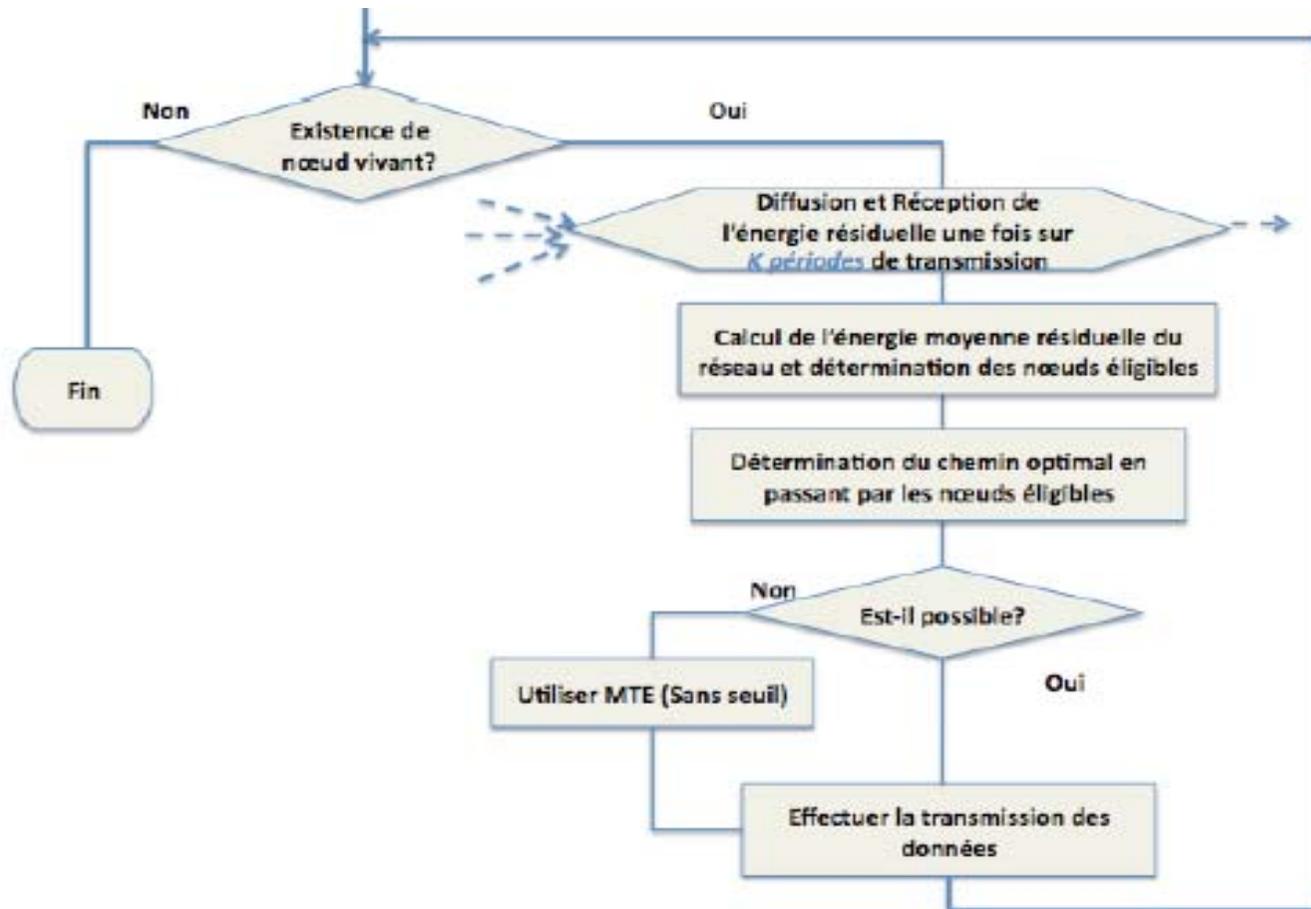


FIGURE: Algorithme LMAWSN

# Répartition décentralisée de la consommation d'énergie : Résultat de simulation

- Détermination empirique de la valeur de la période de diffusion qui maximise la durée de vie du réseau.

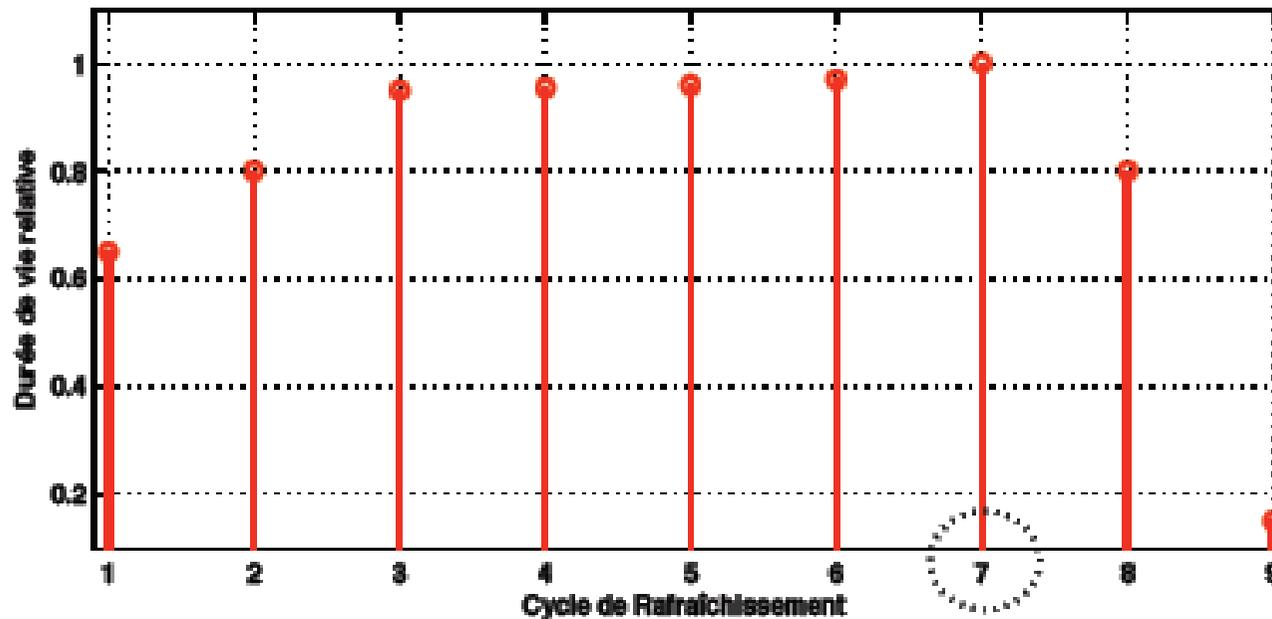
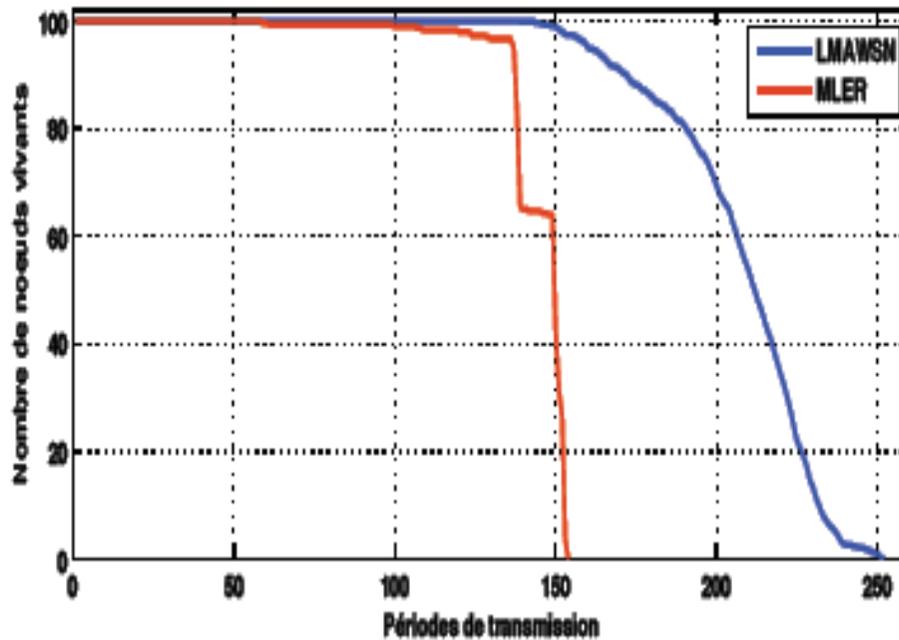


FIGURE: Durée de vie relative.

# Répartition décentralisée de la consommation d'énergie : Résultats de simulation



Protocole	1% mort	50% morts	100 % morts
LMAWSN	150	212	252
MLER	100	150	154
Extension en %	50	41.33	63.64

TABLE: Comparaison des durées de vie

FIGURE: Evolution du nombre de nœuds vivants en fonction du temps.

Résultat : ==> Extension de la durée de vie grâce à l'équilibre de consommation d'énergie entre les différents nœuds.

# Répartition décentralisée de la consommation d'énergie : Synthèse

➤ Limitation :

- ❖ Une partie de l'énergie du réseau est gaspillée lors de l'échange de la donnée de l'énergie résiduelle.

# Répartition décentralisée de la consommation d'énergie : Amélioration

- Objectif :
  - ❖ Éliminer l'énergie de diffusion pour le calcul de l'énergie moyenne du réseau.
- Technique :
  - ❖ Estimer statistiquement l'évolution de l'énergie moyenne du réseau.

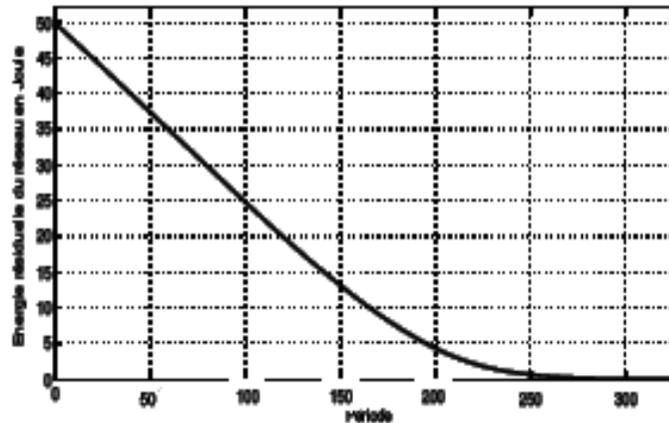


FIGURE: Evolution de l'énergie restante du réseau en fonction du temps.

$$\overline{E}(r) = -8.10^{-9}.r^4 + 7.10^{-6}.r^3 - 0.0012.r^2 - 0.1827.r + 49.30 \quad (3)$$

# Répartition décentralisée de la consommation d'énergie

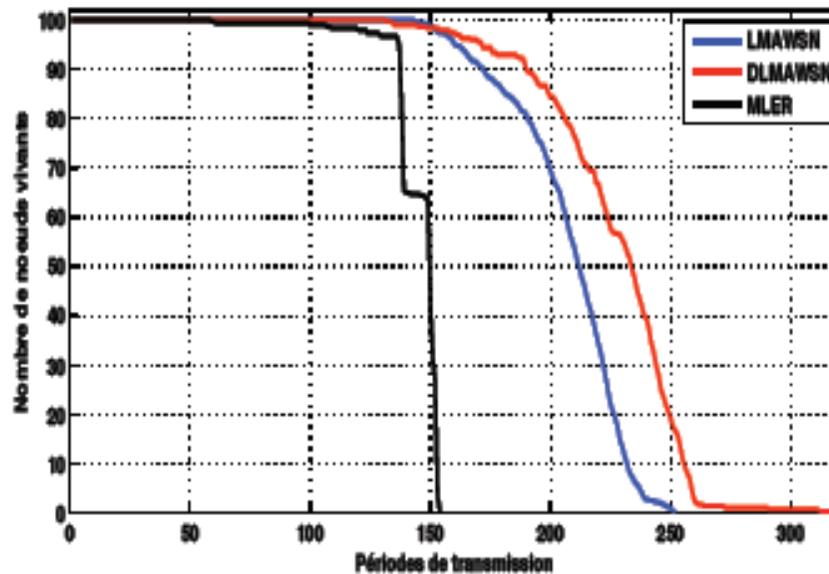


FIGURE: Evolution du nombre des nœuds vivants en fonction du temps.

Protocole	1% mort	50% morts	100 %morts
LMAWSN	150	212	252
DLMAWSN	135	234	330
Extension en %	-10	10.38	31

TABLE: Comparaison des durées de vie

# Contributions au routage hiérarchique

- Sélection de Cluster-head basée sur l'éloignement de la station de base

# Motivation

- Quand la densité des nœuds augmente, le routage plat provoque :
  - ❖ Une surcharge de réception à la station de base ;
  - ❖ Une latence augmentée ;
  - ❖ Une consommation excessive d'énergie.
- Choix de chemin complexe.

**Solution :**

==>Utilisation du routage hiérarchique.

# Principe du routage hiérarchique

➤ Principe :

- ❖ Réduction de la quantité de données transmises ==> Minimiser la consommation d'énergie ;
- ❖ Agrégation de données :
  - Utilisation de fonctions d'agrégat : MAX, MIN, MOYENNE.
- ❖ Ce qui résout le problème de duplication dans le routage et allège ainsi la congestion du réseau.

# Contributions au routage hiérarchique : Un aperçu sur l'état de l'art

- LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) [Heinzelman2000,Heinzelman2002] :
  - ❖ Un des premiers protocoles proposés employant un procédé de clustering ;
- Le protocole se déroule en tours. Chaque tour se compose de deux phases :
  - ❖ Construction,
  - ❖ Communication.

# LEACH : Phase de construction des clusters

Prise de décision locale pour devenir cluster-head.

- Chaque nœud  $n$  choisit un nombre aléatoire, si ce nombre est inférieur à un seuil  $T(n)$ , le nœud devient cluster-head.

- 

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{(1-p \cdot (r \bmod (\frac{1}{p})))} & \text{Si } n \in G \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (4)$$

- ▶  $p$  est le pourcentage de cluster heads, déterminé a priori.
- ▶  $r$  le tour courant,
- ▶  $G$  est l'ensemble des nœuds qui n'ont pas joué le rôle de cluster-heads dans les derniers  $\frac{1}{p}$  tours.

- Chaque nœud passe comme cluster-head dans  $\frac{1}{p}$  périodes.
- Si  $N$  est le nombre des nœuds, alors le nombre moyen des clusters est :  $k = N.p$

# LEACH : Phase de construction et de communication

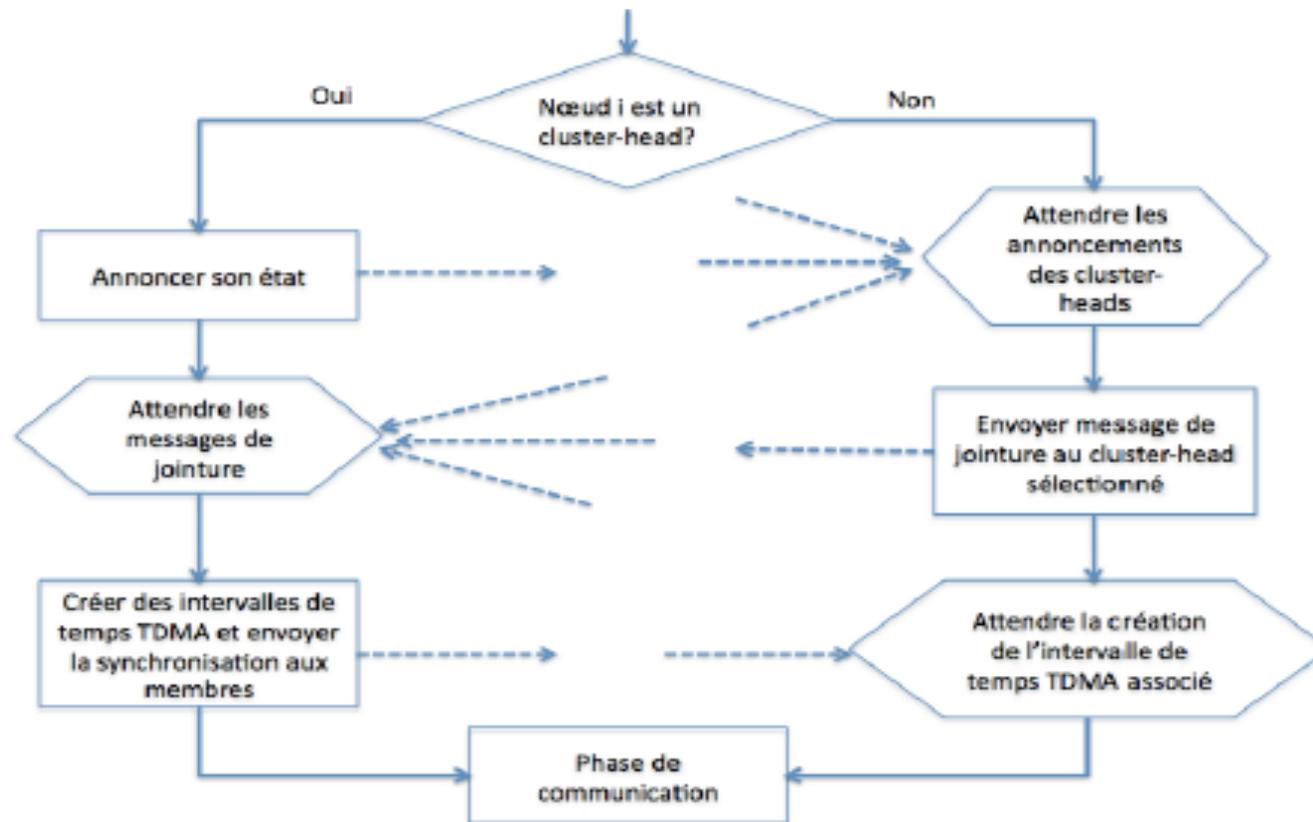


FIGURE: Construction des clusters et communication

# Sélection de Cluster-head basée sur l'éloignement de la station de base

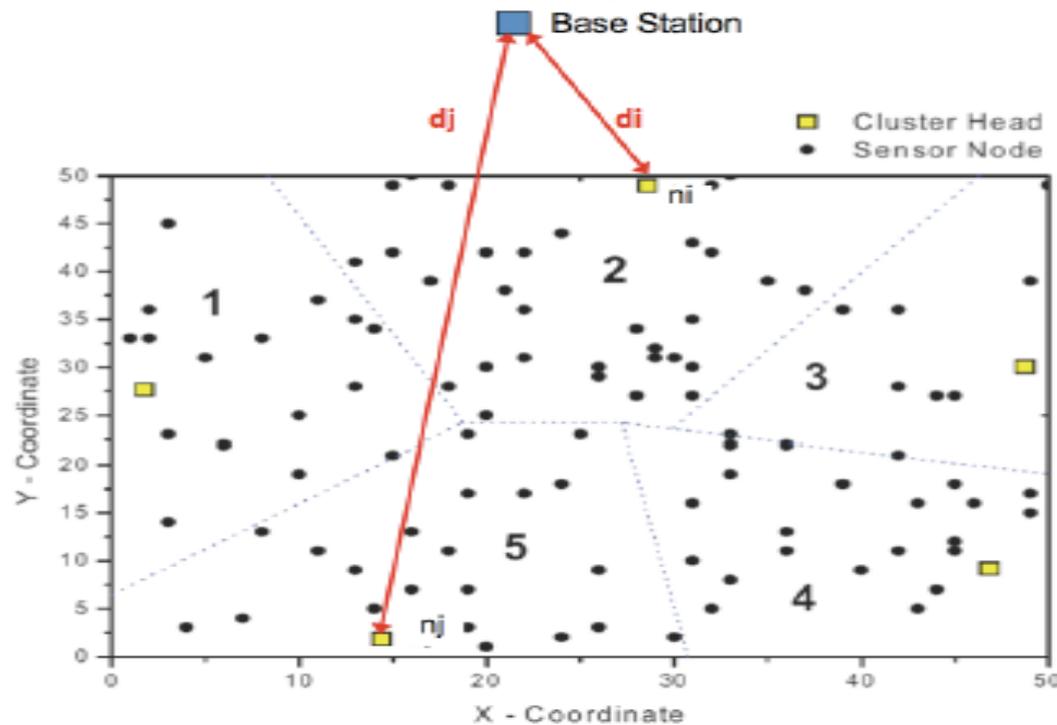
## ➤ Limitation :

❖ Pour équilibrer la consommation, Chaque nœud passe comme cluster-head toutes les  $1/p$  périodes. ;

➔ Epuisement des nœuds éloignés en premier.

# Sélection de Cluster-head basée sur l'éloignement de la station de base

- Les cluster-heads éloignés de la station de base consomment plus d'énergie que ceux proches ;
- Pour avoir un épuisement équitable, les cluster-heads proches de la station de base doivent avoir un cycle plus court.



**FIGURE: Comparaison de la consommation des cluster-heads**

# Sélection de Cluster-head basée sur l'éloignement de la station de base

Coût énergétique lorsque  $n_i$  est un cluster-head :

$$E_{n_i} = l.(E_{elec} + \epsilon_{n_i}.d_i^{\alpha_{n_i}} + (\frac{N}{k} - 1).E_{DA} + (\frac{N}{k} - 1).E_{elec}) \quad (5)$$

Coût énergétique lorsque  $n_j$  est un cluster-head :

$$E_{n_j} = l.(E_{elec} + \epsilon_{n_j}.d_j^{\alpha_{n_j}} + (\frac{N}{k} - 1).E_{DA} + (\frac{N}{k} - 1).E_{elec}) \quad (6)$$

⇒ Si  $n_i$  devient cluster-head toutes les  $1/P_i$  périodes,  $n_j$  doit devenir cluster-head toutes les  $1/P_j$  périodes. Et  $P_i$  et  $P_j$  sont liés par :

$$P_i.E_{n_i} = P_j.E_{n_j} \quad (7)$$

# Sélection de Cluster-head basée sur l'éloignement de la station de base

- On définit alors une nouvelle fonction de seuil pour chaque nœud  $n_i$  :

$$T_i(r) = \begin{cases} \frac{p_i}{(1-p_i \cdot (r \bmod (\frac{1}{p_i})))} & \text{Si } n \in G \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (8)$$

- Par l'équation (7), on définit la valeur  $p_i$  par :

$$p_i = \frac{\alpha P_{opt} \cdot E_{min}}{E_{ni}(x)}. \quad (9)$$

- Le paramètre  $\alpha$  permettant d'avoir en moyenne le même nombre de clusters  $k$  :

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{d_{max} - d_{min}} \int_{d_{min}}^{d_{max}} \frac{E_{min}}{E_{ni}(x)} dx} \quad (10)$$

- - ▶ La valeur  $E_{min}$  est l'énergie minimale pour atteindre la station de base depuis le réseau ;
  - ▶  $E_{ni}(x)$  est l'énergie dissipée par  $n_i$  pour atteindre la station de base distante de  $x$ .
  - ▶ Le paramètre  $\alpha$  permet d'ajuster la valeur de  $p_i$ .

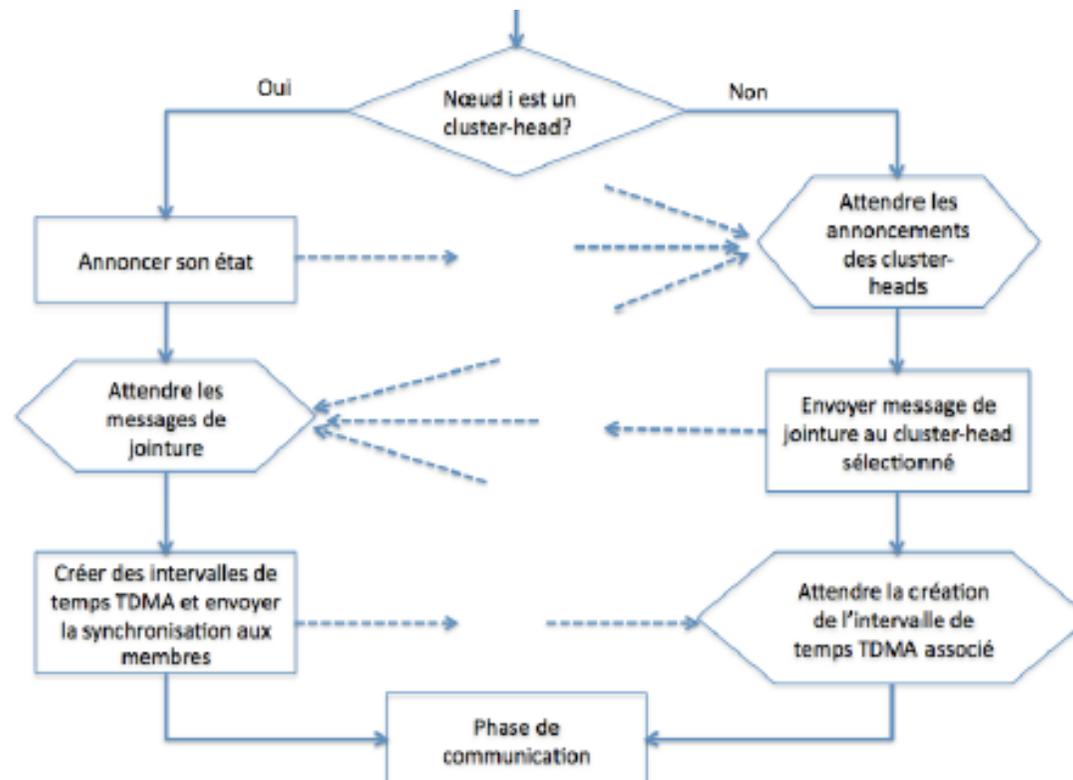
# Sélection de Cluster-head basée sur l'éloignement de la station de base

- Détermination des paramètres :
  - ❖ La station de base diffuse un message "Hello" après le déploiement du réseau ;
  - ❖ Les nœuds mesurent la puissance de ce signal et estiment leurs distances par rapport à la station de base ;
- Le paramètre  $\alpha$  peut être calculé en fonction du modèle radio et de la géométrie du réseau.
  - ➔  $p_i$  pour chaque nœud  $n_i$ .

# Sélection de Cluster-head basée sur l'éloignement de la station de base

Algorithme du protocole :

- Au début de chaque période de transmission  $\tau$ , chaque nœud calcule  $T_i$  et tire aléatoirement un nombre  $a$  entre 0 et 1 ;
- Si  $T_i > a$  le nœud devient cluster-head ;



# Sélection de Cluster-head basée sur l'éloignement de la station de base

- Résultats de simulation:
- EACA:Energy Aware Clustering Algorithm

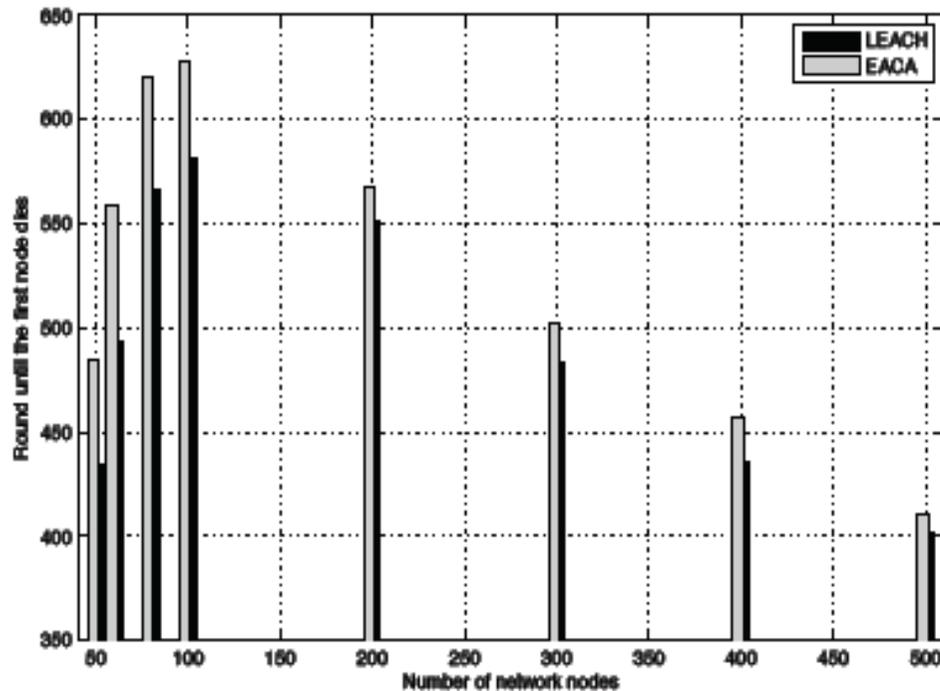


FIGURE: Durée de vie du réseau en fonction de la densité des nœuds du réseau.

# Sélection de Cluster-head basée sur l'éloignement de la station de base

➤ Résultats de simulation:

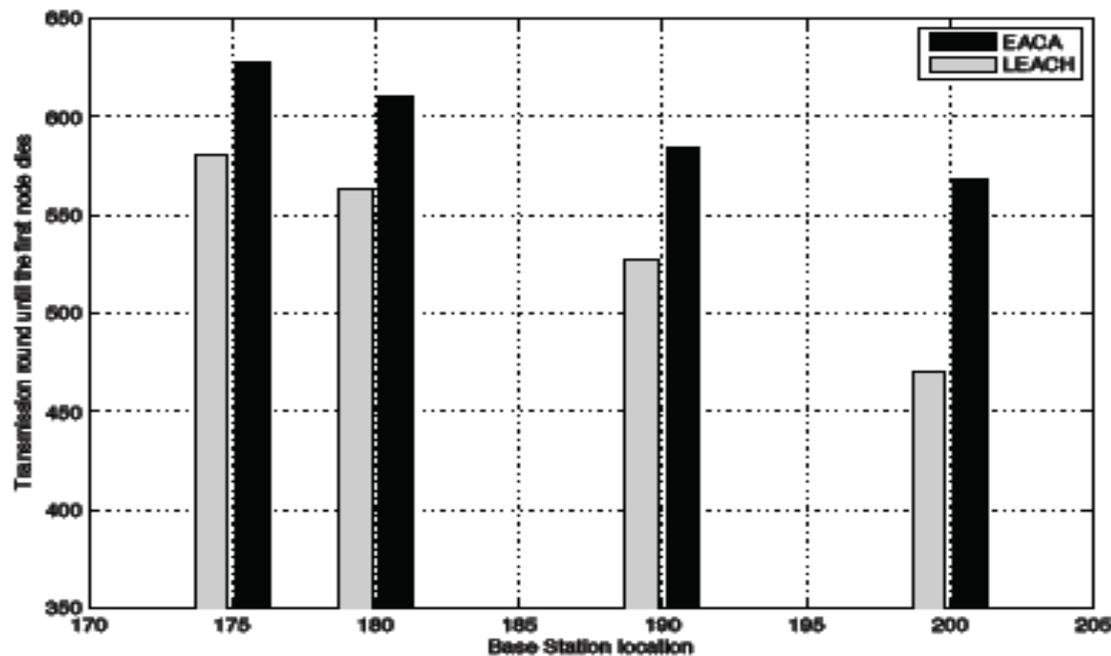


FIGURE: Durée de vie du réseau en fonction de la position de la station de base.

# Synthèse

## ➤ Avantages :

- ❖ Le cycle de cluster-head est déterminé en fonction de la distance du noeud de la station de base ;

  - ➔Epuisement équitable des énergies des noeuds ;

- ❖ Extension de la durée de vie du réseau.

## ➤ Limitation :

- ❖ Les noeuds proches de la station de base jouent le rôle de cluster-head fréquemment.

  - ➔ Coût de transmission intra-clusters non pris en considération.

# Conclusion et perspectives

# Conclusion

- Nos contributions ont consisté à faire des choix de protocoles de routage, de modèles de mobilité et de paramètres de QoS pour supporter les applications multimédia.
- Le comportement des protocoles (AODV et OLSR) dépend du modèle de mobilité et du type de trafic utilisés surtout lorsque il s'agit de faibles densités de nœuds.
- Le protocole AODV en association avec le modèle Mobgen Steady State s'est avéré efficace pour les applications en temps réel qui sont sensibles au délai.
- Le protocole AODV en association avec le modèle Random Way Point a prouvé son efficacité pour les applications en temps réel qui exigent un seuil minimal de débit.
- L'insuffisance du taux de transfert s'est révélé dépendant de la nature proactive du protocole OLSR et à la variabilité du trafic VBR.
- Les résultats obtenus ont montré que cette méthode est une nouvelle approche pour calculer le délai et le débit optimaux.

# Conclusion

- Deux types de contributions au routage dans les réseaux de capteurs sans fils :
  - ❖ Routage plat : Choix du chemin optimal en passant seulement par des noeuds dont l'énergie est supérieure à la moyenne de l'énergie du réseau.
  - ❖ Routage hiérarchique :
    - Détermination du cycle de répétition de rôle de cluster-head en fonction de l'éloignement de chaque noeud de la station de base ;
    - Optimisation de l'énergie de formation de clusters ;

# Perspectives

- Améliorer le taux de transfert des données.
- Étendre l'étude à d'autres types de trafics vidéo.
- Étendre l'étude à d'autres modèles de mobilité réalistes.
- L'étude peut être étendue à la métrique gigue qui est l'une des paramètres les plus intéressants à considérer dans la communication en temps réel.
- Il serait intéressant d'évaluer les performances de l'approche proposée avec d'autres protocoles de routage

# Perspectives

- Extension des résultats aux réseaux larges ;
- Tenir compte de l'asymétrie de la radio ;
- Conception Inter-couches ;
- Combinaison de la corrélation spatiale et temporelle pour réduire la quantité d'informations.

# Bibliographie

- ❖ Rabaey1996 J. Rabaey and M. Pedram, “Low Power Design Methodologies”, Kluwer Academics, 1996.
- ❖ Ganesan2004 D. Ganesan, A. Cerpa, W. Ye, Y. Yu, J. Zhao and D. Estrin, Networking Issues in Wireless Sensor Networks, Journal on Parallel and Distributed Computing, vol. 64, 2004.
- ❖ W. Kaiser G. Pottie. Wireless integrated network sensors. Communication of ACM, 43 (5) : pp. 51-58, May 2000.
- ❖ Heinzelman2002 W. Heinzelman, H. Balakrishnan , A. Chandrakasan. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 1(4) : pp. 660-670, October 2002.
- ❖ Smaragdakis2004 : G. Smaragdakis, A. Bestavros, I. Matta. Sep : A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks. In Second International Workshop on Sensor and Actor Network Protocols and Applications (SANPA 2004), 2004
- ❖ Shepard, 1995 . T. Shepard. Decentralized channel management in scalable multihop spread spectrum packet radio networks. Technical report, Tech. Rep. MIT/LCS/TR-670, Massachusetts Institute of Technology Laboratory for Computer Science, Cambridge, USA, July 1995.
- ❖ Chang, 2000 . L. Tassiulas J.-H. Chang. Maximum lifetime routing in wireless sensor networks. In Proc. Adv. Telecommun. and Info. Distrib. Research Prog., College Park, MD, March 2000.
- ❖ Wang2006 M.W. Wang L. Qing, Q.X. Zhu. Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks. Computer Communication (Elsevier), 29(12) :pp. 2230-2237, 2006.