

# Communications dans les réseaux fortement dynamiques

Florent Kaiser

Université Paris-Sud, Institut d'Électronique Fondamentale

Thèse de doctorat

Sous la direction de :

Véronique Vèque et Colette Johnen

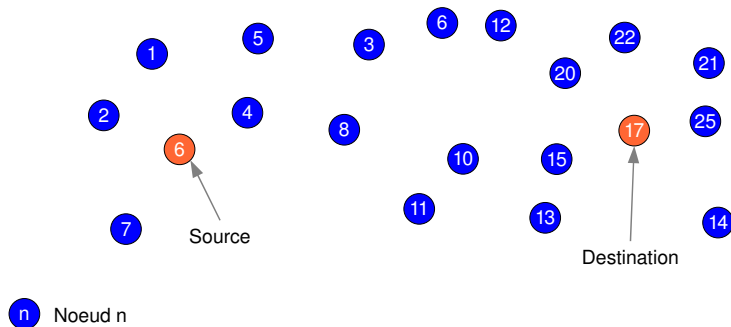


# Réseau ad hoc mobile

Un réseau ad hoc mobile est un **réseau sans fil autonome** et non centralisé. Il est connu sous le nom de **MANET** (Mobile Ad-hoc Networks ), groupe de travail de l'IETF créé à la fin des années 90.

- Une infrastructure n'est pas nécessaire : **chaque nœud peut être routeur**.
- Un nœud (téléphone, véhicule, capteur ...) peut **relayer des données** à ses voisins.
- Un protocole de routage, dit **ad hoc**, permet de construire un chemin entre chaque paire de nœuds du réseau.
- Chaque nœud peut alors communiquer avec n'importe quel autre nœud du réseau.

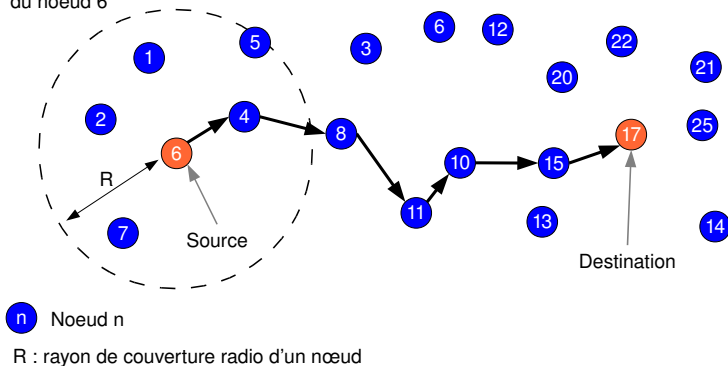
# Réseau ad hoc mobile



Le nœud 6 souhaite communiquer avec le nœud 17

# Réseau ad hoc mobile

Zone de couverture  
du nœud 6



Le protocole calcule un chemin entre le nœud 6 et 17

# Protocoles de routage ad hoc

Il existe trois grandes catégories de protocoles :

# Protocoles de routage ad hoc

Il existe trois grandes catégories de protocoles :

- **Protocole topologique proactif** : Chaque nœud construit et maintient un graphe complet du réseau (comme OSPF). Le calcul d'un chemin se fait sur un graphe. Ex : OLSR, DSDV.

# Protocoles de routage ad hoc

Il existe trois grandes catégories de protocoles :

- **Protocole topologique proactif** : Chaque nœud construit et maintient un graphe complet du réseau (comme OSPF). Le calcul d'un chemin se fait sur un graphe. Ex : OLSR, DSDV.
- **Protocole topologique réactif** : Les nœuds n'ont pas une vue globale du réseau. Une requête doit être diffusée sur l'ensemble du réseau pour construire un chemin. Ex : DSR, AODV, DYMO.

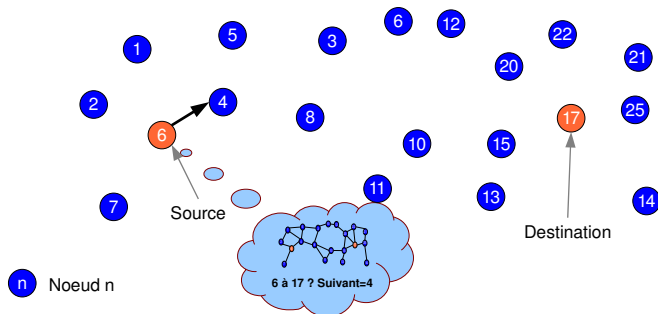
# Protocoles de routage ad hoc

Il existe trois grandes catégories de protocoles :

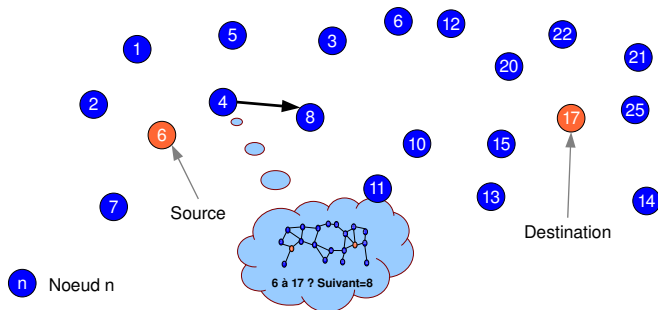
- **Protocole topologique proactif** : Chaque nœud construit et maintient un graphe complet du réseau (comme OSPF). Le calcul d'un chemin se fait sur un graphe. Ex : OLSR, DSDV.
- **Protocole topologique réactif** : Les nœuds n'ont pas une vue globale du réseau. Une requête doit être diffusée sur l'ensemble du réseau pour construire un chemin. Ex : DSR, AODV, DYMO.
- **Protocole géographique** : Le chemin est construit "à la volée", les données sont envoyées vers la position géographique de la destination. Connaissance de la position géographique du nœud et la position du destinataire. Ex : GPSR, MFR.



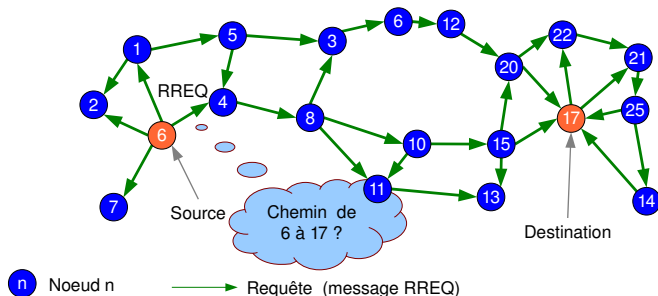
# Protocole topologique proactif



# Protocole topologique proactif

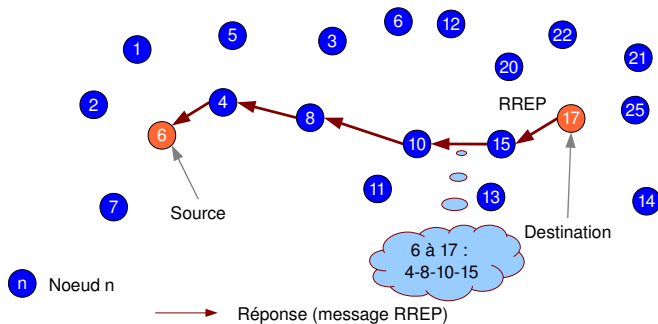


# Protocole topologique réactif



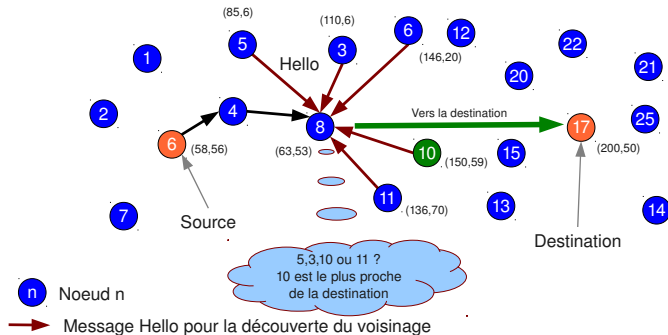
Messages utilisés : RREQ, RREP, RERR.

# Protocole topologique réactif



Messages utilisés : RREQ, RREP, RERR.

# Protocole basé sur la position géographique



Message pour la découverte de voisinage : Hello

# Choix d'un protocole ad hoc en fonction de la mobilité

Le choix d'un protocole se fait, entre autres, en fonction de la mobilité globale du réseau.

- **Protocole topologique proactif** : Idéal pour un réseau peu mobile.
- **Protocole topologique réactif** : Plus robuste pour un réseau fortement mobile, mais génère du trafic de contrôle (les requêtes) et un temps de latence avant d'envoyer un message.
- **Protocole géographique** : Minimise le trafic de contrôle dans un réseau fortement mobile. Néanmoins chaque nœud doit connaître sa position géographique et la position **géographique de la destination**.

Notre contexte d'étude sont les réseaux fortement dynamiques, l'utilisation d'un protocole **proactif** n'est pas adaptée.

# Les réseaux fortement dynamiques

Nous étudions les réseaux fortement dynamiques.

- La dynamique du réseau se mesure par le changement de sa topologie au cours du temps.
- La topologie change à cause de ruptures du lien entre nœuds lors de leurs déplacements ou quand il disparaît.
- Un réseau fortement dynamique est alors un réseau dont sa topologie change fréquemment.

## Les réseaux de véhicules sur autoroute

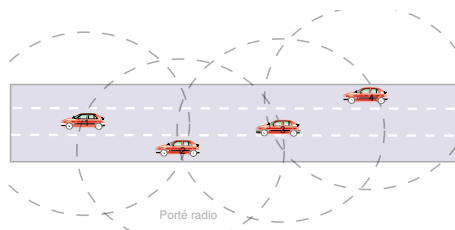
Nous prenons le **réseau de véhicules** sur autoroute comme cas d'étude d'un réseau fortement dynamique.

- Un réseau de véhicules permet la communication inter-véhiculaire ou avec un réseau externe.
- C'est un réseau **fortement dynamique** : deux véhicules roulant en sens opposé à 33 m/s (env. 120 km/h), avec une couverture radio de 600 m, alors la durée de la communication directe entre les véhicules est de 18 secondes
- Le réseau de véhicules sur autoroute est **linéaire**. Nous pouvons l'approximer comme ayant une seule dimension.



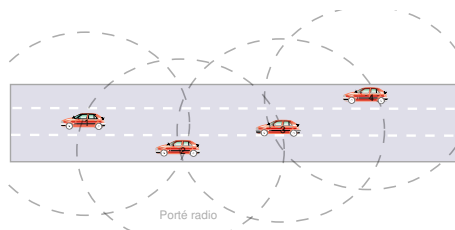
# Réseau linéaire

Représentation physique :

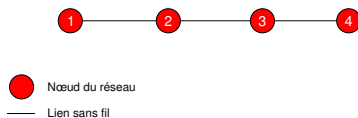


# Réseau linéaire

Réprésentation physique :

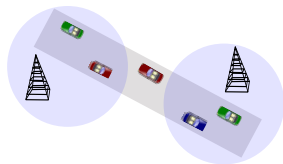


Réprésentation topologique :

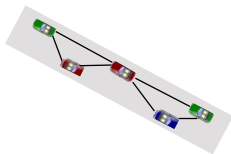


# Architectures

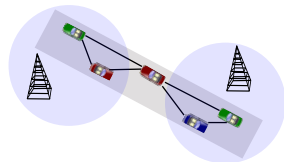
Plusieurs architectures de réseau de véhicules existent.



Centralisé  
V2I



Décentralisé  
V2V

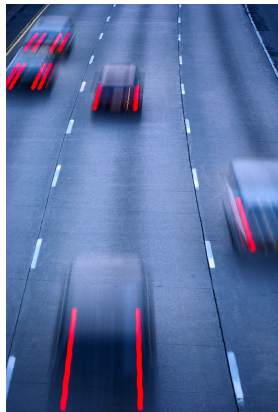


Hybride  
V2X

# Applications

Les réseaux de véhicules sont utilisés pour :

- Sécurité routière (Avertissement de dangers)
- Information trafic (Calcul d'itinéraire en fonction du trafic)
- Services passagers (Jeux, messagerie, échange de fichiers,...)



# Passage à l'échelle

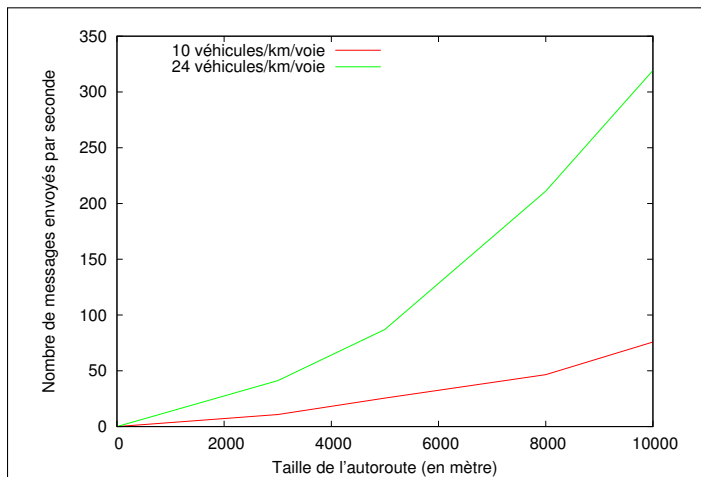
## Définitions :

- La **densité** du réseau : nombre de nœuds par unité géographique.
- La **taille** du réseau (en nombre de nœuds) augmente en fonction de la densité ou de l'étendue du réseau.
- L'**overhead** est le surplus de messages nécessaires au bon fonctionnement d'un protocole.

Un protocole **passe à l'échelle** s'il conserve ses propriétés quand la taille du réseau augmente.

## Cas du réseau de véhicules sur autoroute

Évaluation du passage à l'échelle du protocole topologique réactif avec DSR, dans le cas d'un réseau de véhicules sur autoroute.



## Démarche

Notre étude se restreint au contexte d'un **réseau de véhicules sur autoroute**.

- 1 [Mab07] a montré que l'utilisation d'un réseau ad hoc hybride est nécessaire pour les réseaux de véhicules sur autoroute.

Dans quelle mesure, l'utilisation d'un **réseau ad hoc hybride** améliore-t-elle les performances ?

## Démarche

Notre étude se restreint au contexte d'un **réseau de véhicules sur autoroute**.

- 1 [Mab07] a montré que l'utilisation d'un réseau ad hoc hybride est nécessaire pour les réseaux de véhicules sur autoroute.

Dans quelle mesure, l'utilisation d'un **réseau ad hoc hybride** améliore-t-elle les performances ?

- 2 Les résultats sont contradictoires sur les performances d'un protocole géographique par rapport à un protocole topologique réactif.

En terme de **passage à l'échelle**, un protocole géographique est-il meilleur par rapport à un protocole topologique réactif ?



# Démarche

Notre étude se restreint au contexte d'un **réseau de véhicules sur autoroute**.

- 1 [Mab07] a montré que l'utilisation d'un réseau ad hoc hybride est nécessaire pour les réseaux de véhicules sur autoroute.

Dans quelle mesure, l'utilisation d'un **réseau ad hoc hybride** améliore-t-elle les performances ?

- 2 Les résultats sont contradictoires sur les performances d'un protocole géographique par rapport à un protocole topologique réactif.

En terme de **passage à l'échelle**, un protocole géographique est-il meilleur par rapport à un protocole topologique réactif ?

- 3 Le forte dynamique d'un réseau ad hoc hybride de véhicules impose une gestion de la mobilité.

L'introduction de **mobilité de groupe** permet-elle de gérer la mobilité ?

# Plan

- 1 Introduction
- 2 Modélisation de protocoles de routage pour réseau ad hoc de véhicules sur autoroute
  - Modèle proposé
  - Résultats
  - Comparaisons du passage à l'échelle des protocoles réactifs et géographiques
- 3 Protocole de routage pour réseau ad hoc hybride
- 4 Formation de convois pour la gestion de la mobilité
- 5 Conclusion

## Travaux antérieurs

Comparaison de protocoles de routage géographique et réactif par simulation [FMH<sup>+</sup>02, MBV07, TMSEFH05]

Manque de robustesse :

- Grande sensibilité à la mise en œuvre du simulateur et aux scénarios (mobilité, trafic, propagation ...)
- Non justification de toutes les hypothèses
- Résultats difficilement reproductibles

## Travaux antérieurs

### Comparaison et évaluation de protocoles à l'aide de modèles

- Un modèle quantitatif (nombre de messages de contrôle) pour comparer des protocoles de localisation est présenté dans [DPH05] mais ils ne modélisent qu'un réseau statique.
- [SMSR02] proposent un modèle d'évaluation pour le passage à l'échelle, mais la mobilité est également non prise en compte.
- Afin de prendre en compte la mobilité, [KKA06] s'intéressent à l'évaluation de la durée de vie des liens. Mais ils ne comparent pas les protocoles.

## Modèle

On cherche à déterminer l'**overhead** pour un protocole  $P$ , c'est à dire le nombre de messages de signalisation  $N_P$ .

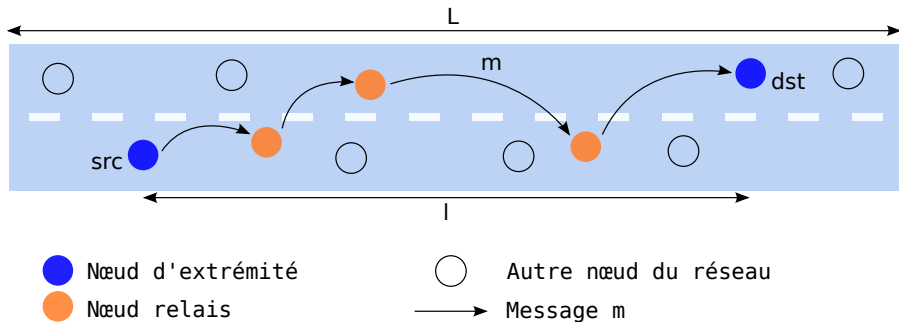
### Definition

- $m$  : type de messages
  - ▶ Ex  $m = RREQ$
- $M(P)$  : ensemble de types de messages de signalisation pour un protocole  $P$ 
  - ▶ Ex pour DSR :  $M(DSR) = \{RREQ, RREP, RERR\}$
- $N(m)$  : nombre d'émissions d'un message de type  $m$  par seconde

$$N_P = \sum_{m \in M(P)} N(m)$$

Nous allons à l'aide de ce modèle comparer le passage à l'échelle entre un protocole réactif, géographique et ses optimisations.

# Nombre de messages envoyés



$$N(m) = f(m) \cdot n_r(m) = f(m) \cdot d(m) \cdot l$$

## Calcul de la densité de relais $d(m)$

$d(m)$  est le nombre de relais par mètre.

- Soit  $d_t$  la densité du trafic routier
- Broadcast :  $d(m) = d_t$
- Unicast :  $d(m) < \frac{1}{R}$ . Vrai si le réseau est linéaire.

$R$  : rayon de couverture d'un nœud.

## Fréquence d'envoi d'un message $f(m)$ (message/s)

La fréquence d'envoi d'un message dépend du mode d'envoi du message.

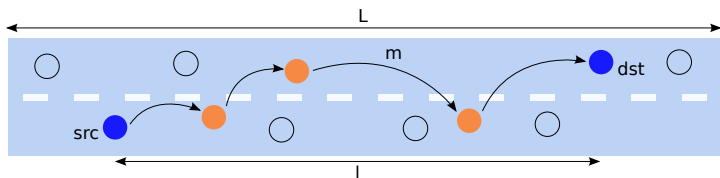
- Elle est fixe si le message est envoyé à **intervalles** réguliers (ex. Hello)
- Elle dépend de la **dynamique du réseau** si le message est envoyé après la rupture d'un chemin (ex. RREQ)

Pour déterminer la fréquence de ruptures de chemin  $f_b(n)$ , on doit connaître la probabilité de rupture d'un lien  $p_t$  :

$$f_b(n) = \frac{q_t(n)}{t} = \frac{1 - (1 - p_t)^n}{t}$$

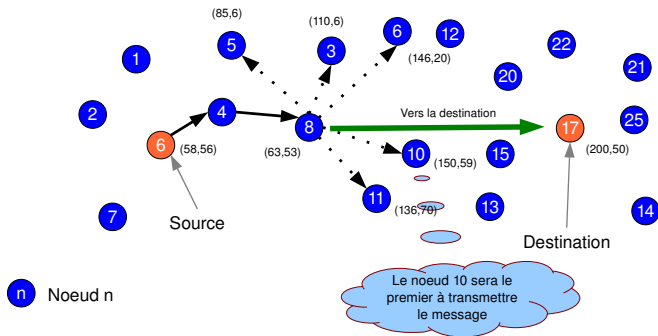


# Calcul de la distance $l$ (en mètre)



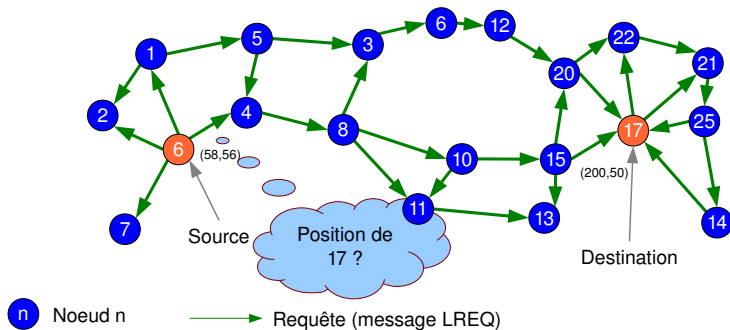
- $l$  est la distance moyenne entre le nœud source  $x_{src}$  et destination  $x_{dst}$ .
- Nous estimons  $l$  avec l'espérance  $l = L.E(|x_{src} - x_{dst}|)$ .

# Géographique avec CBF (Contention-Based Forwarding)



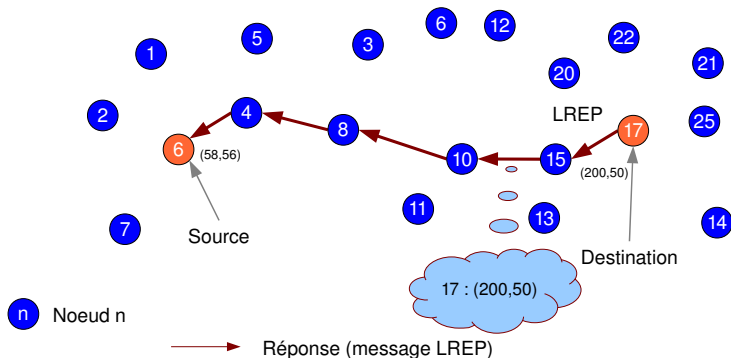
## Localisation de la destination gloutonne

Un protocole géographique doit connaître la position géographique de la destination



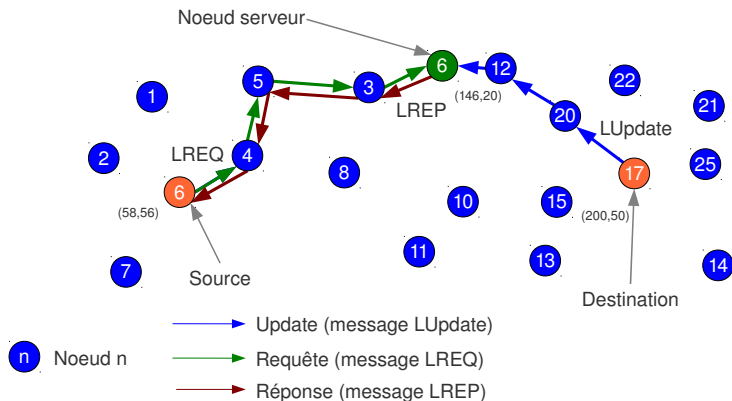
## Localisation de la destination gloutonne

Un protocole géographique doit connaître la position géographique de la destination

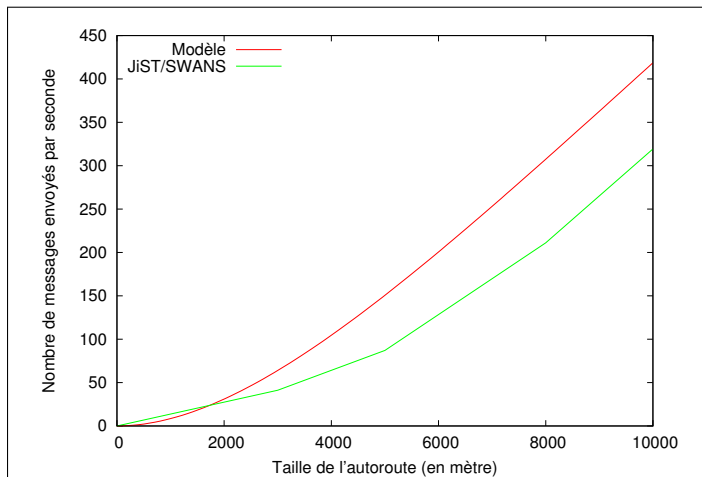


# Localisation à l'aide d'un protocole à rendez-vous

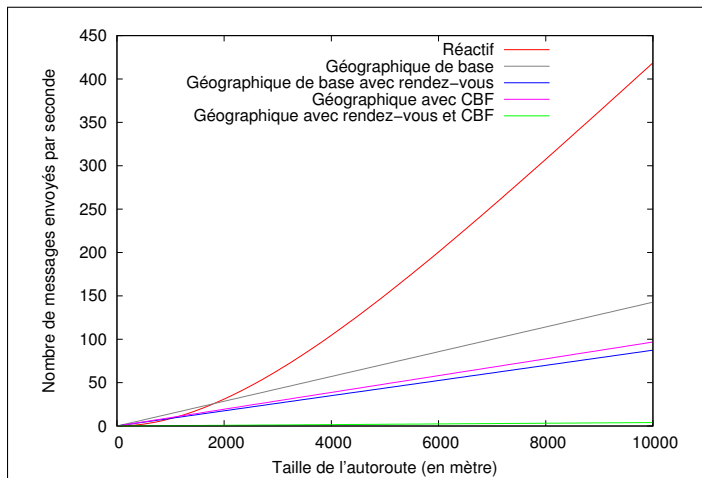
Un protocole à rendez-vous permet de réduire le nombre de messages émis



# Validation du modèle quantitatif pour DSR



# Nombre moyen de messages de signalisation générés en fonction de la taille de l'autoroute



Densité : 24 véhicules/voie/km.

## Conclusion partielle

- Notre objectif était de comparer le passage à l'échelle des protocoles de routage dans un réseau de véhicules sur autoroute
- Modélisation du processus de génération des messages de signalisation
- Pour la fréquence d'envoi nous avons eu besoin d'évaluer la fréquence de ruptures de chemin.
- Nous avons comparé deux grandes familles de protocoles ad hoc : géographique et réactif.
- L'utilisation d'un protocole géographique avec CBF (Contention-Based Forwarding) et un protocole à rendez-vous pour la localisation permet un meilleur passage à l'échelle d'un réseau de véhicules sur autoroute.



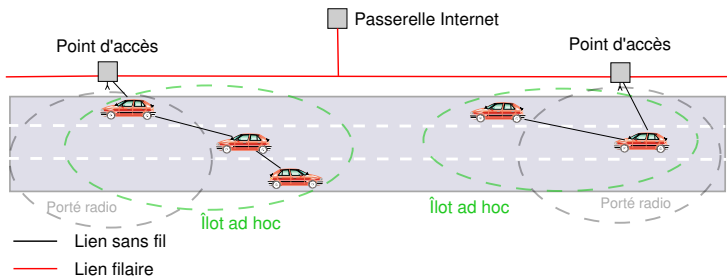
# Plan

- 1 Introduction
- 2 Modélisation de protocoles de routage pour réseau ad hoc de véhicules sur autoroute
- 3 Protocole de routage pour réseau ad hoc hybride
  - Réseau ad hoc hybride
  - Gestion de la mobilité véhicule/ap
  - Évaluation du protocole par simulation
- 4 Formation de convois pour la gestion de la mobilité
- 5 Conclusion

# Évaluation d'un réseau ad hoc hybride

Un réseau ad hoc hybride permet d'assurer la connectivité du réseau et d'améliorer le passage à l'échelle :

- Une partie du trafic transite par le réseau filaire.
- Le réseau est hiérarchisé.



## Extensions de DSR

Pour améliorer le passage à l'échelle avec un réseau ad hoc hybride, nous avons modifié DSR.

Plusieurs mécanismes sont ajoutés :

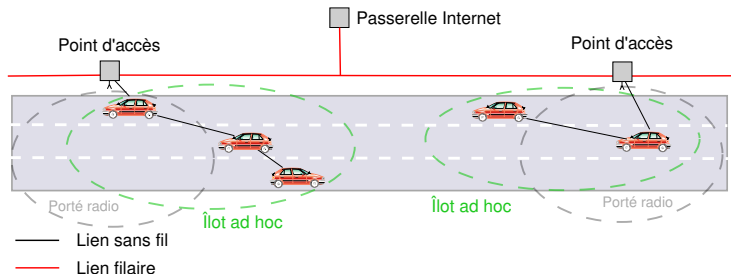
- **Découverte de point d'accès** : trouver un chemin vers un point d'accès.
- **Enregistrement** auprès des points d'accès : conserver le chemin entre un point d'accès et un nœud mobile.
- Un **point d'accès répond** à la place du nœud destinataire. Le **nombre de sauts maximal** (TTL) d'une requête peut alors être réduit.

## Extensions de DSR

Pour améliorer le passage à l'échelle avec un réseau ad hoc hybride, nous avons modifié DSR.

Plusieurs mécanismes sont ajoutés :

- Un point d'accès répond à la place du nœud destinataire. Le nombre de sauts maximal (TTL) d'une requête peut alors être réduit.



# Simulateur JiST/SWANS

Nous utilisons le simulateur de réseau JiST/SWANS, auquel nous avons ajouté :

- La construction de points d'accès.
- L'extension de DSR pour réseau ad hoc hybride.
- Un modèle de mobilité : véhicules sur autoroute.

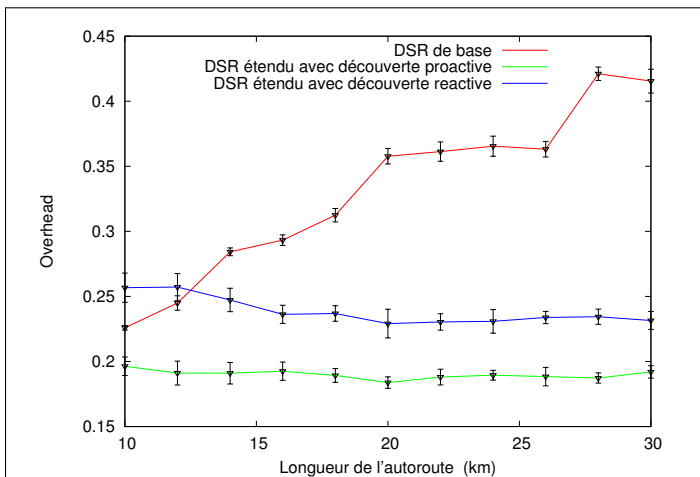
Nous nous intéressons aux métriques suivantes :

- Longueur de l'autoroute (km)
- Overhead : surcharge de trafic
- Délai d'acheminement des paquets (s)
- Débit (bit/s)

## Paramètres de simulation par défaut

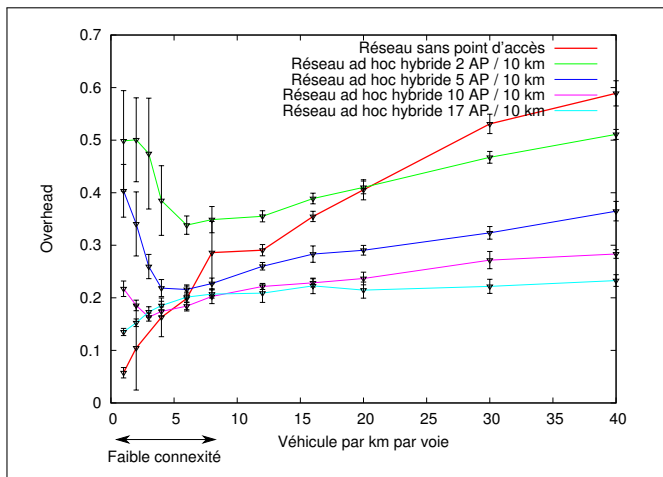
Paramètre	Valeur par défaut
Longueur de l'autoroute	10 km
Débit des données	10 kbit/s
Taille d'un paquet de données	512 bits
Durée de simulation	180 secondes
Méthode de découverte de points d'accès	proactive
Portée radio	250 m
Débit de l'interface radio WiFi	11 Mbit/s
Densité du trafic routier	8 véhicules par voie et par km
Vitesse cible d'un véhicule	120 km/h
Nombre voie	3
Intervalle d'envoi messages APADV	10 s
Intervalle d'envoi messages HELLO	0,5 s
Distance entre les AP	1 km
Nombre de sources	1 source/km

## Passage à l'échelle avec le DSR étendu



Densité du trafic : 8 véhicules par voie et par km

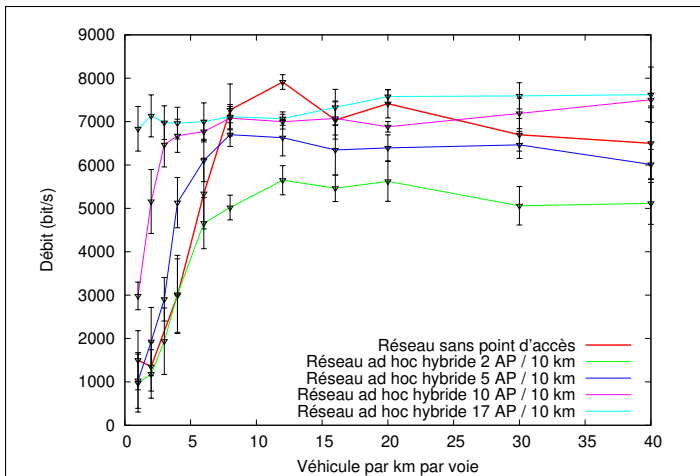
# Évaluation d'un réseau ad hoc hybride : Overhead



Longueur du réseau : 10 km

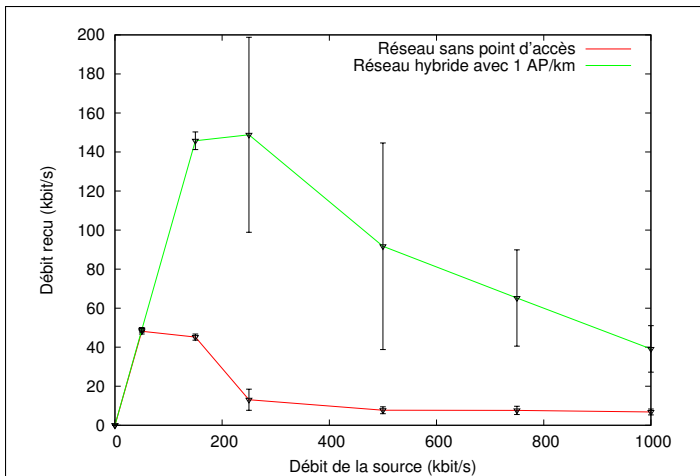


# Évaluation d'un réseau ad hoc hybride : Débit



Débit entre la source et la destination : 10 kbit/s.

# Évaluation d'un réseau ad hoc hybride : Capacité



Densité du trafic : 10 véhicules par voie et par km

Bande passante du réseau : 6 Mbit/s (sans fil) et 100 Mbit/s (filaire).

## Conclusion partielle

- Infrastructure filaire pour améliorer le passage à l'échelle et la capacité du réseau de véhicules.
- Le protocole DSR étendu améliore le passage à l'échelle
- Estimation du nombre de points d'accès optimal : 1 par km pour un rayon de 250 m
- Le réseau ad hoc hybride ne permet pas d'améliorer le débit à cause de la perte de paquets pendant un changement de points d'accès. Une meilleure gestion de la mobilité devrait réduire cette perte.

# Plan

- 1 Introduction
- 2 Modélisation de protocoles de routage pour réseau ad hoc de véhicules sur autoroute
- 3 Protocole de routage pour réseau ad hoc hybride
- 4 Formation de convois pour la gestion de la mobilité
  - Pourquoi les clusters pour réseau ad hoc ?
  - Algorithme de formation de convois
  - Évaluation de la qualité des convois
  - Gestion de la mobilité à l'aide de convois
- 5 Conclusion

# Cluster pour les réseaux ad hoc

Un cluster est une partition du réseau en groupe de nœuds

Les clusters permettent d'augmenter les performances d'un réseau ad hoc comprenant un grand nombre de nœuds :

- Réutilisation spatiale pour accroître la capacité du réseau.
- Coordonner des évènements ou rassembler des données du réseau.
- La structure globale du cluster apparaît aux nœuds du réseau comme étant plus petite et plus stable.
- Hiérarchiser pour limiter le nombre de messages de contrôles générés par un réseau ad hoc.

## Gestion de la mobilité de groupe

Nous utilisons les propriétés de clustering pour gérer la mobilité de groupe :

- Formation de convois à l'aide d'un algorithme de formation de clusters : mobilité **entre nœuds mobiles** (véhicules)
- Protocole d'enregistrement du convoi auprès de l'infrastructure : mobilité entre un **groupe et point d'accès**

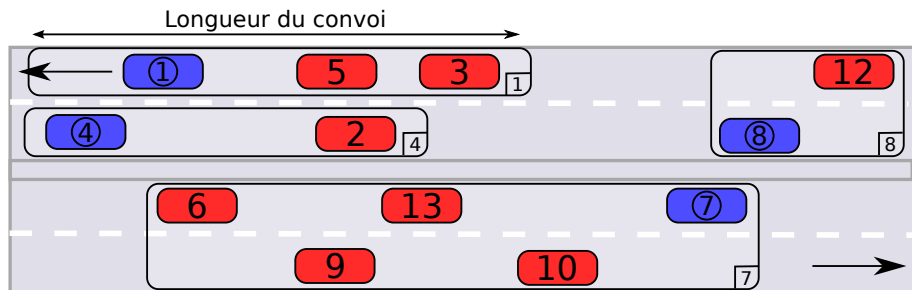
L'enregistrement ne s'effectuant plus individuellement pour chaque nœud mais pour chaque groupe de nœuds, nous pensons pouvoir réduire l'overhead.

# Structure d'un convoi

Un convoi est un cluster dont les nœuds sont des véhicules.

- La tête de convoi : le véhicule devant tous les autres membres du convoi
- La communication à l'intérieur du convoi se fait via un protocole à transmission conditionnelle [DKS07] :
  - ▶ Diffusion d'un paquet dans le sens de déplacement
  - ▶ Diffusion d'un paquet dans le sens contraire de déplacement
  - ▶ Acheminement d'un paquet vers une position dans le convoi.
- À l'initialisation un convoi contient un seul nœud : la tête de convoi.
- Une tête de convoi fait une demande de fusion avec un convoi voisin.

# Structure d'un convoi



**id** Véhicule

**id** Convoi

**(id)** Tête de convoi



## Fusion de convois

Un convoi peut envoyer une **candidature** de fusion à un convoi du voisinage. Les **conditions** de candidature sont :

- La **durée de vie** du lien entre la tête de convoi et le voisin est supérieure à une limite fixée
- Les deux convois  $C_1$  et  $C_2$  se déplacent dans **la même direction**.
- $C_1$  et  $C_2$  ont des **identifiants différents**
- une candidature de fusion entre  $C_1$  et  $C_2$  **n'a pas déjà eu lieu** récemment.

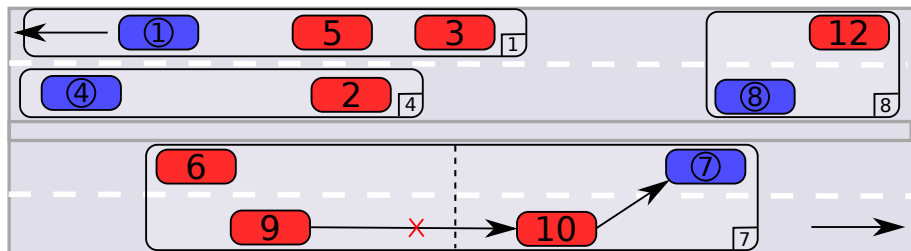
La tête de convoi voisine vérifie **la taille des deux convois réunis**

# Scission de convois

La scission de convois joue le rôle de maintenance

- La scission d'un convoi est initiée quand un véhicule **ne peut plus communiquer avec la tête de convoi**.
- Pour détecter la rupture, la tête de convoi diffuse à intervalles réguliers un message (ConvoyInfo)
- Le réseau étant linéaire, tous **les véhicules en aval** ne peuvent plus communiquer avec la tête de convoi.
- Le véhicule en tête devient alors **la tête du nouveau convoi** comprenant les véhicules en aval.

## Scission de convois



**id** Véhicule

**id** Convoi

**(id)** Tête de convoi

**→** Chemin vers la tête

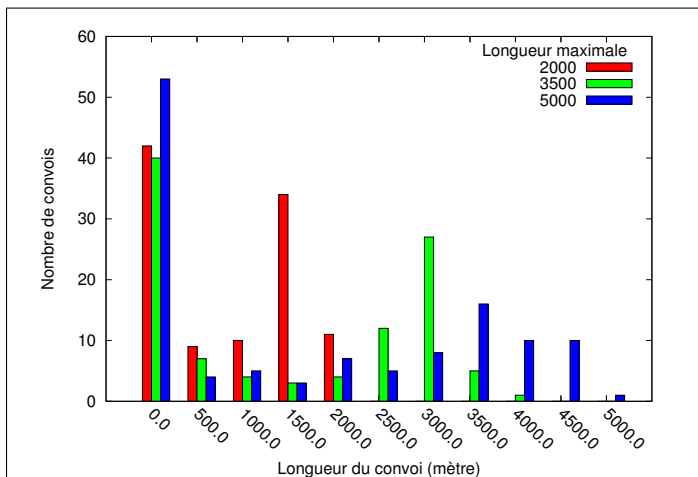
# Simulations

Nous avons implémenté l'algorithme de formation de convois dans JiST/SWANS.

Nous nous intéressons à trois métriques :

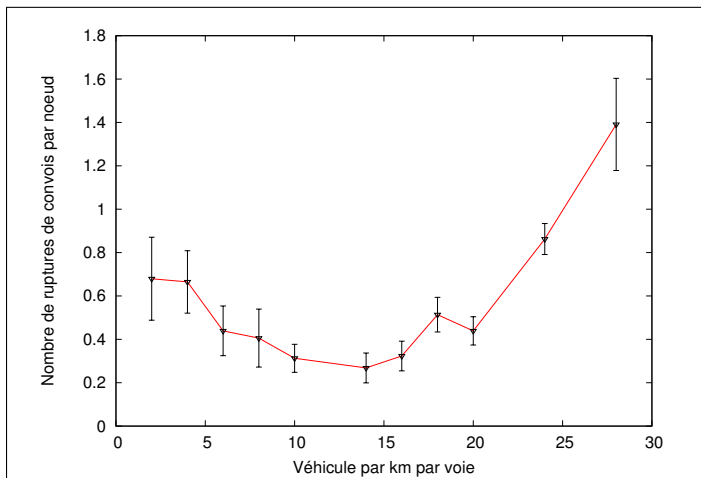
- Nombre de ruptures de convois,
- Taille d'un convoi en nombre de nœuds,
- Longueur d'un convoi en mètre.

# Distribution des longueurs de convoi en mètres



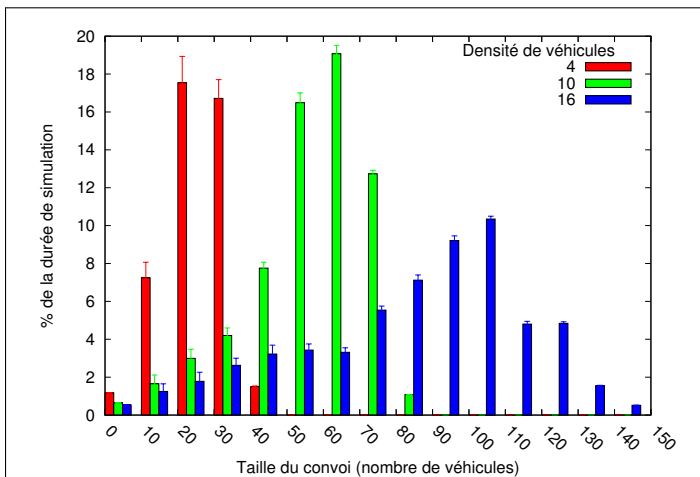
Simulation sur un tronçon de 10 km.

# Nombre de ruptures de convois par nœud en fonction de la densité du trafic



Longueur maximale : 2000 m.

# Distribution de la durée d'un convoi en fonction de sa taille



Durée total de simulation : 600 secondes. Longueur maximale : 2000 m.

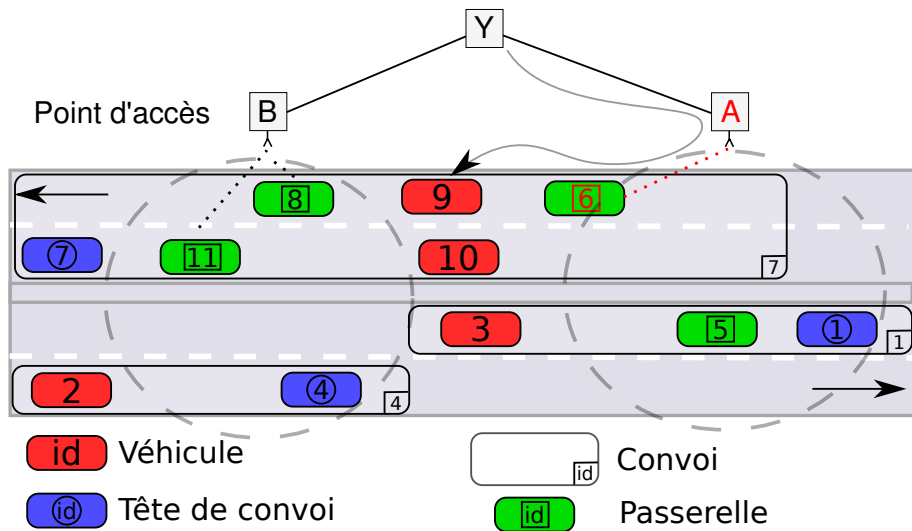
## Handover avec la gestion de convois

Nous souhaitons améliorer la gestion des handovers dans un réseau ad hoc hybride à l'aide des convois

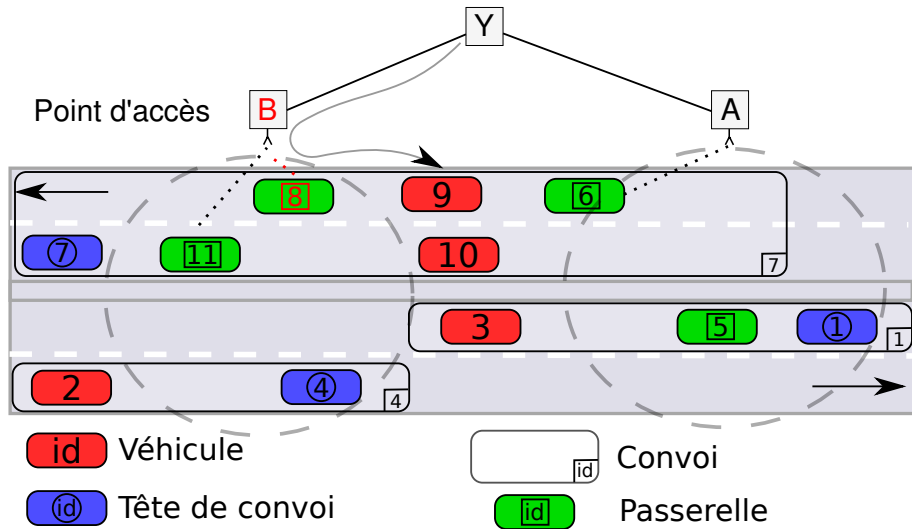
- **Nœuds passerelles** : nœuds connectés avec un point d'accès.
- Il peut exister **plusieurs passerelles** dans un convoi.
- La passerelle **courante** est la passerelle utilisé par tous les nœuds du convoi.
- Un convoi peut contenir des passerelles vers des **points d'accès différents**.
- Quand le lien entre la passerelle courante et son point d'accès **faiblit**, une autre passerelle peut prendre le relais.



## Handover avec la gestion de convois



## Handover avec la gestion de convois



## Conclusion partielle

- Un algorithme de **formation de convois** est proposé pour les réseaux de véhicules sur autoroute
- Les simulations réalisés ont montré **une bonne stabilité** des convois et une taille de convoi satisfaisante
- Ces résultats permettent d'exploiter les propriétés d'un convoi afin de gérer plus finement la mobilité.

## Synthèse des résultats

Protocole de routage pour réseau ad hoc hybride :

- Un **réseau ad hoc hybride** avec un DSR étendu permet d'améliorer le passage à l'échelle et la capacité du réseau.

Évaluation de protocoles de routage dans un réseau de véhicules sur autoroute :

- Nous avons proposé un **modèle** pour comparer les performances d'un réseaux de véhicules.
- Un **protocole géographique avec ses optimisations** supporte mieux le passage à l'échelle par rapport à un protocole réactif.

Gestion de la mobilité dans un réseau ad hoc hybride :

- Nous avons proposé et évalué un algorithme de **formation de convois**.
- L'utilisation de convois dans un réseau ad hoc hybride pourrait **améliorer les handovers**.

# Perspectives

- Le modèle que nous avons proposé peut être étendu à d'autres scénarios de mobilité
- La comparaison entre un protocole pour réseau ad hoc hybride sans et avec la formation de convois reste à effectuer, soit par simulation ou à l'aide du modèle quantitatif que nous avons présenté.
- La découverte de passerelles dans un convoi peut-être est vue comme une découverte de services. D'autres services peuvent être ajoutés dans les convois.
- Des expérimentations sur un réseau réel de véhicules seraient également très instructives sur le comportement de ces protocoles.



## Paramètres fixés pour le modèle

Paramètre	Symbole	Valeur
Vitesse moyenne d'un véhicule	$v_{avg}$	$33 \text{ m.s}^{-1}$
Durée de validité de la cache de positions	$C_{to}$	$30 \text{ s}$
Temps avant de considérer un lien comme rompu	$t$	$1.5 \text{ s}$
Intervalle entre deux actualisations de la position	$U_L$	$30 \text{ s}$
Rayon de couverture d'un nœud	$R$	$250 \text{ m}$

## Tableau de synthèse du modèle

<b>Topologique Réactif</b>		
<b>Type de Messages <math>m</math></b>	<b>Mode de transmission</b>	<b><math>f(m)</math></b>
RREQ	Diffusion	$f_b(n_{avg})$
RREP	Point-à-point	$f_b(n_{avg})$
RERR	Point-à-point	$f_b(n_{avg})$

<b>Géographique (proactif)</b>		
<b>Type de Message <math>m</math></b>	<b>Mode de transmission</b>	<b><math>f(m)</math></b>
Hello	Diffusion	$\frac{1}{C_{to}}$



## Tableau de synthèse du modèle

<b>Service de localisation glouton</b>		
<b>Type de Message <math>m</math></b>	<b>Mode de transmission</b>	<b><math>f(m)</math></b>
Avec CBF		
LREQ	Diffusion	$f_r$
LREP	Point-à-point	$f_r$
Sans CBF		
LREQ	Diffusion	$f_r$
LREP	Point-à-point voisinage	$f_r$

## Tableau de synthèse du modèle

<b>Location service avec protocole à rendez-vous</b>		
<b>Type de Message <math>m</math></b>	<b>Mode de transmission</b>	<b><math>f(m)</math></b>
Avec CBF		
LREQ	Point-à-point	$f_r$
LREP	Point-à-point	$f_r$
LUpdate	Point-à-point	$\frac{1}{U_L}$
Sans CBF		
LREQ	Point-à-point voisinage	$f_r$
LREP	Point-à-point voisinage	$f_r$
LUpdate	Point-à-point voisinage	$\frac{1}{U_L}$

## Nombre de messages générés pour chaque protocole

Topologique Réactif	$N_{Reactif} = (d_t + \frac{1}{2R})l \frac{1-(1-p_t)^{n_{avg}}}{t}$
Géographique (proactif)	$N_{Geo} = d_t l \frac{1}{C_{to}}$
Service de localisation glouton	$N_{Glouton} = \frac{4}{3} d_t l f_r$
Localisation glouton avec CBF	$N_{GloutonCBF} = (d_t + \frac{1}{3R})l f_r$
Localisation à rendez-vous	$N_{Rdv} = (\frac{2}{3} f_r + \frac{1}{3U_L})l d_t$
Localisation rendez-vous et CBF	$N_{RdvCBF} = (\frac{2}{3} f_r + \frac{1}{3U_L})l \frac{1}{R}$

## Paramètres de simulation par défaut : réseau ad hoc hybride

Paramètre	Valeur par défaut
Longueur de l'autoroute	10 km
Débit des données	10 kbit/s
Taille d'un paquet de données	512 bits
Durée de simulation	180 secondes
Méthode de découverte de points d'accès	proactive
Portée radio	250 m
Débit de l'interface radio WiFi	11 Mbit/s
Densité du trafic routier	8 véhicules par voie et par km
Vitesse cible d'un véhicule	120 km/h
Nombre voie	3
Intervalle d'envoi messages APADV	10 s
Intervalle d'envoi messages HELLO	0,5 s
Distance entre les AP	1 km
Nombre de sources	1 source/km

## Paramètres de simulation par défaut : convoi

Temps de simulation	600 s
Intervalle des Hello	2 s
Durée de vie limite d'un lien du convoi	600 s
Longueur limite d'un convoi	2 km
Longueur de l'autoroute	10 km
Densité de véhicules	10 véhicules/voie/km

## Messages pour l'algorithme de formation de convois

Nom du message	Sigle	Mode de diffusion
Join convoy request	JREQ	Direction du déplacement
Join convoy reply	JREP	Vers une position
Node join	NJ	Vers une position
Convoi info	CI	Direction opposée au déplacement
Acquittement d'un CI	CIACK	Direction du déplacement
Hello	HELLO	Voisinage

## Réception d'un message Hello

```
1: procedure HELLO(id, idConvoy, pos, speed)
2:   if ConvoyHead
3:      $\wedge$  LIFETIME( $\|hello.speed\|$ , hello.pos)  $\leq$  LifeTimeLimit
4:      $\wedge$  SAMEDIRECTION(hello.speed, CurrentSpeed)
5:      $\wedge$  IdConvoy  $\neq$  hello.idConvoy
6:      $\wedge$  CurrentPos  $<$  hello.pos
7:      $\wedge$  hello.idConvoy  $\notin$  JCReqTable then
8:       send JCREQ(hello.idConvoy, ConvoyLength)
9:     end if
10: end procedure
```

## Réception d'un message Hello

```
1: function LIFETIME(speed, pos)
2:    $d \leftarrow |pos - CurrentPos|$ 
3:   if  $speed \geq \|CurrentSpeed\|$  then
4:     return  $(R - d) / (\|CurrentSpeed\| - speed)$ 
5:   end if
6:   if  $speed \leq \|CurrentSpeed\|$  then
7:     return  $(R + d) / (speed - \|CurrentSpeed\|)$ 
8:   end if
9:   return  $\infty$ ;
10: end function

11: function SAMEDIRECTION( $v_1$ ,  $v_2$ )
12:   return  $v_1 \times v_2 > 0$            ▷ Test si le produit scalaire est positif
13: end function
```



# Variables, constantes et Initialisation d'un nœud

## Constantes :

- Id* ▷ Identifiant du nœud
- LifeTimeLimit* ▷ Durée de vie minimal d'un lien
- ConvoyLengthLimit* ▷ Longueur limite d'un convoi

## Variables de nœud :

- IdConvoy* ▷ Identifiant du convoi auquel on appartient
- ConvoyHead* ▷ Vrai si le nœud est la tête de convoi
- ConvoyLength* ▷ Longueur actuelle du convoi
- JCReqTable* ▷ Ensemble des messages JCREQ envoyés
- ClusterNodes* ▷ Ensemble des nœuds appartenant au cluster

## Variables extérieurs :

- CurrentSpeed* ▷ Vecteur vitesse courante
- CurrentPos* ▷ Position courante

## Variables, constantes et Initialisation d'un nœud

**procedure** INITIALISATION

*IdConvoy*  $\leftarrow$  *Id*

*ConvoyLength*  $\leftarrow$  0

*ConvoyHead*  $\leftarrow$  *True*

*JCReqTable*  $\leftarrow$   $\emptyset$

*ClusterNodes*  $\leftarrow$  {*Id*}

**end procedure**

# Simulateur de trafic routier

- Basé sur un modèle de micro-mobilité décrit par *Kazi I. Ahmed* dans “ *Modeling Drivers' Acceleration and Lane Changing Behavior* ” (1999, MIT)
- Vitesse désirée d'un véhicule si trafic fluide
- Loi de poursuite, qui décrit l'avancée du véhicule :
  - ▶ Free-flow : le véhicule se déplace librement
  - ▶ Car-following : un véhicule se déplace en fonction du véhicule qui est devant lui sur sa voie
  - ▶ Emergency : le véhicule maintient une distance de sécurité avec le véhicule qui est devant lui.
- Changements de voie des véhicules : Si le véhicule n'a pas atteint sa vitesse cible et qu'il est gêné par un véhicule, il change de voie avec une certaine probabilité.

- [DKS07] B. Ducourthial, Y. Khaled, and M. Shawky.  
Conditional transmissions, a strategy for highly dynamic vehicular ad hoc networks.  
In *IEEE WoWMoM 2007*, volume 7, Helsinki, Finland, 2007.
- [DPH05] SM Das, H. Pucha, and YC Hu.  
Performance comparison of scalable location services for geographic ad hoc routing.  
*INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.*, 2, 2005.
- [FMH<sup>+</sup>02] Holger Füßler, Martin Mauve, Hannes Hartenstein, Michael Käsemann, and Dieter Vollmer.  
A Comparison of Routing Strategies for Vehicular Ad Hoc Networks.  
Technical Report TR-02-003, Department of Computer Science, University of Mannheim, July 2002.
- [KKA06] Dinesh Kumar, Arzad A. Kherani, and Eitan Altman.

Route Lifetime based Interactive Routing in Intervehicle Mobile Ad Hoc Networks.

Research Report RR-5691, INRIA, 2006.

[Mab07]

Muriel Mabilia.

*Propriétés structurelles des réseaux ad hoc de véhicules.*

PhD thesis, 2007.

[MBV07]

Muriel Mabilia, Anthony Busson, and Véronique Vèque.

Inside vanet : Hybrid network dimensioning and routing protocol comparison.

In *IEEE VTC Spring*, pages 227–232, 2007.

[SMSR02]

César A. Santiváñez, Bruce McDonald, Ioannis Stavrakakis, and Ram Ramanathan.

On the scalability of ad hoc routing protocols.

In *INFOCOM 2002. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.*, volume 3, pages 1688–1697 vol.3, 2002.

[TMSEFH05] M. Torrent-Moreno, F. Schmidt-Eisenlohr, H. Füßler, and H. Hartenstein.

Packet Forwarding in VANETs, the Complete Set of Results.

Technical report, Univ., Fak. für Informatik, Bibl., 2005.