Vers une modélisation robuste des protocoles de routage pour les réseaux de véhicules

Florent Kaisser*, Colette Johnen**,Véronique Vèque*

* Université Paris-Sud, Institut d'Électronique Fondamentale
* Université de Bordeaux, LaBRI

CFIP 2009

Plan

1. Introduction
2. Réseau ad hoc
   - Protocoles ad hoc
   - Protocoles pour service de localisation
   - Réseau ad hoc de véhicules ou VANET (Véhicular Ad hoc NETwork)
3. Travaux antérieurs
4. Modèle quantitatif
   - Notre modèle
   - Fréquence d'envoi d'un message
   - Évaluation de la probabilité de rupture
   - Tableaux de synthèse et Comparaison des protocoles
5. Conclusion

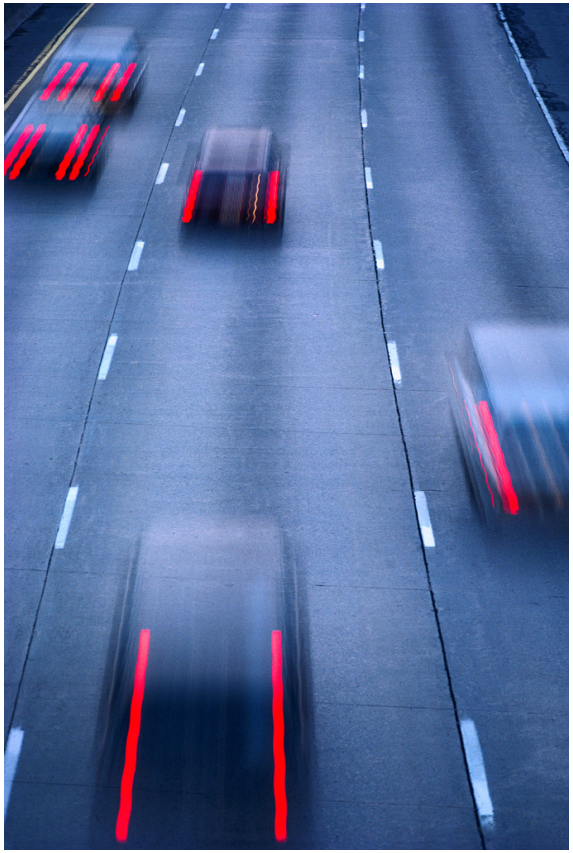
Les réseaux de véhicules

Faire communiquer les véhicules entre-eux

- Sécurité routière
- Information trafic
- Services passagers (Jeux, chat, échange de fichiers,...)

Quelques chiffres sur les autoroutes Françaises (ASFA 2009)

- Réseau d'environ 8 522 km (concédées)
- Trafic moyen : 26 771 véhicules par jour
- Distance parcourues en 2008 : 81,3 milliards de véhicules.km



Nos objectifs

Les véhicules utilisent un protocole pour communiquer. Quel protocole supporte mieux le **passage à l'échelle** ?

- Augmentation de la taille du réseaux autoroutier
- Augmentation du nombre de véhicules (densité) donc du nombre de communications

Nous souhaitons évaluer les protocoles existants selon leurs capacités à supporter le passage à l'échelle.

- Expérimentation sur le terrain impossible : trop de véhicules à équiper !
- Simulation :
  - Quel modèle de mobilité ?
  - Utiliser un simulateur existant : fiabilité ?
  - Temps de simulation non négligeable

Notre proposition

Nous proposons **technique intermédiaire** entre le modèle tout théorique et la simulation :

- **Modèle quantitatif** pour comparer les protocoles avec un paramètre de mobilité.
- **Paramètre de mobilité évalué** à l'aide de simulations, si aucun modèle possible.

Nous proposons un modèle pour ensuite comparer les protocoles géographiques avec les protocoles topologique réactifs.

Protocoles ad hoc

Un protocole, dit ad hoc, permet de construire un chemin entre chaque paire de nœuds du réseau. Il existe trois grandes catégories de protocoles :

Protocoles ad hoc

Un protocole, dit ad hoc, permet de construire un chemin entre chaque paire de nœuds du réseau. Il existe trois grandes catégories de protocoles :

- **Protocole topologique proactif** : Chaque noeud construit et maintient un graphe complet du réseau en fonction des informations reçues par les autres nœud du réseau. Le calcul d'un chemin se fait sur un graphe.

Protocoles ad hoc

Un protocole, dit ad hoc, permet de construire un chemin entre chaque paire de nœuds du réseau. Il existe trois grandes catégories de protocoles :

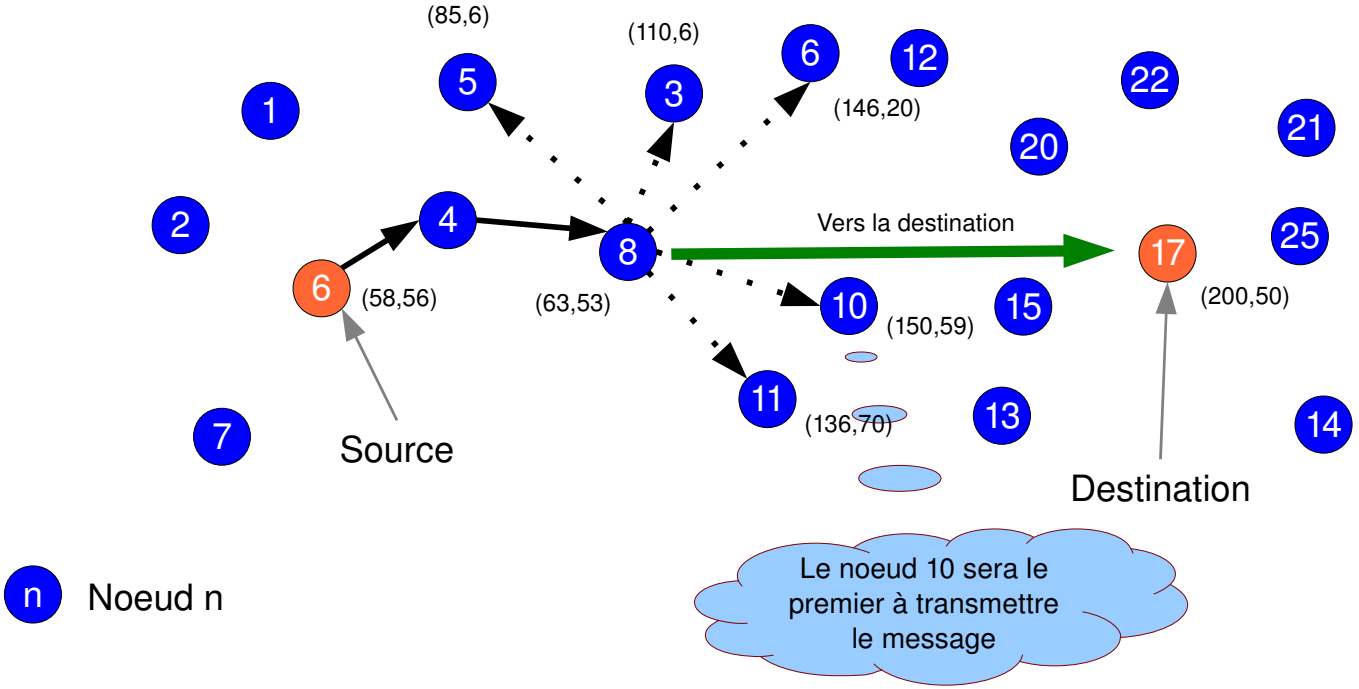
- **Protocole topologique proactif** : Chaque noeud construit et maintient un graphe complet du réseau en fonction des informations reçues par les autres nœud du réseau. Le calcul d'un chemin se fait sur un graphe.
- **Protocole topogique réactif** : Les nœud n'ont pas une vue globale du réseau. Une requête doit être diffusée sur l'ensemble du réseau pour construire un chemin.

Protocoles ad hoc

Un protocole, dit ad hoc, permet de construire un chemin entre chaque paire de nœuds du réseau. Il existe trois grandes catégories de protocoles :

- **Protocole topologique proactif** : Chaque noeud construit et maintient un graphe complet du réseau en fonction des informations reçues par les autres nœud du réseau. Le calcul d'un chemin se fait sur un graphe.
- **Protocole topogique réactif** : Les nœud n'ont pas une vue globale du réseau. Une requête doit être diffusée sur l'ensemble du réseau pour construire un chemin.
- **Protocole géographique** : Le chemin est construit "à la volée", les données sont envoyées vers la position géographique de la destination. Chaque nœud doit connaître sa position géographique (à l'aide d'un équipement GPS par exemple), et la position du destinataire.

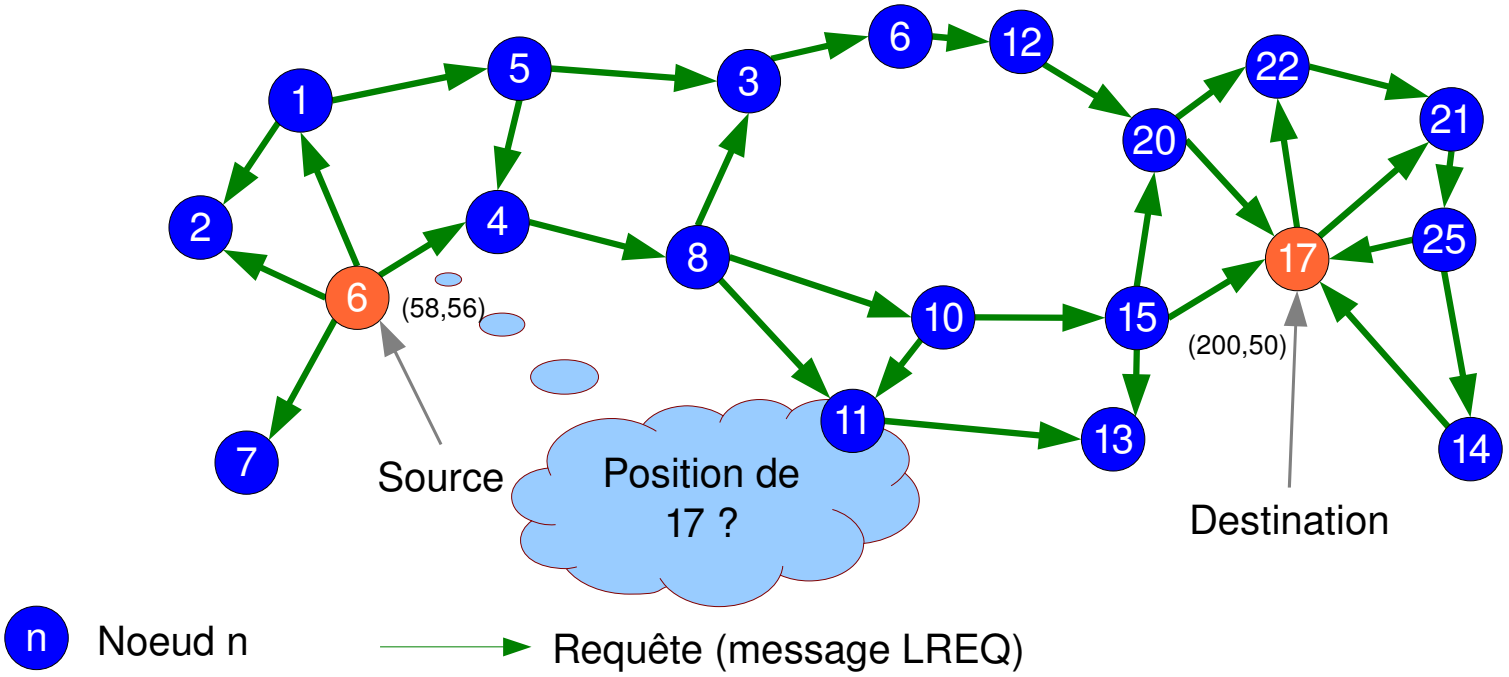
Géographique avec CBF (Contention-Based Forwarding)



Le nœud 8 reçoit un message à transmettre vers la destination 17. Chaque noeud voisin **attend un délai proportionnel à la distance** qui le sépare de la destination. Ainsi, le noeud le plus proche **transmet le message en premier**, les autres voisins annulent la transmission.

Localisation de la destination gloutone

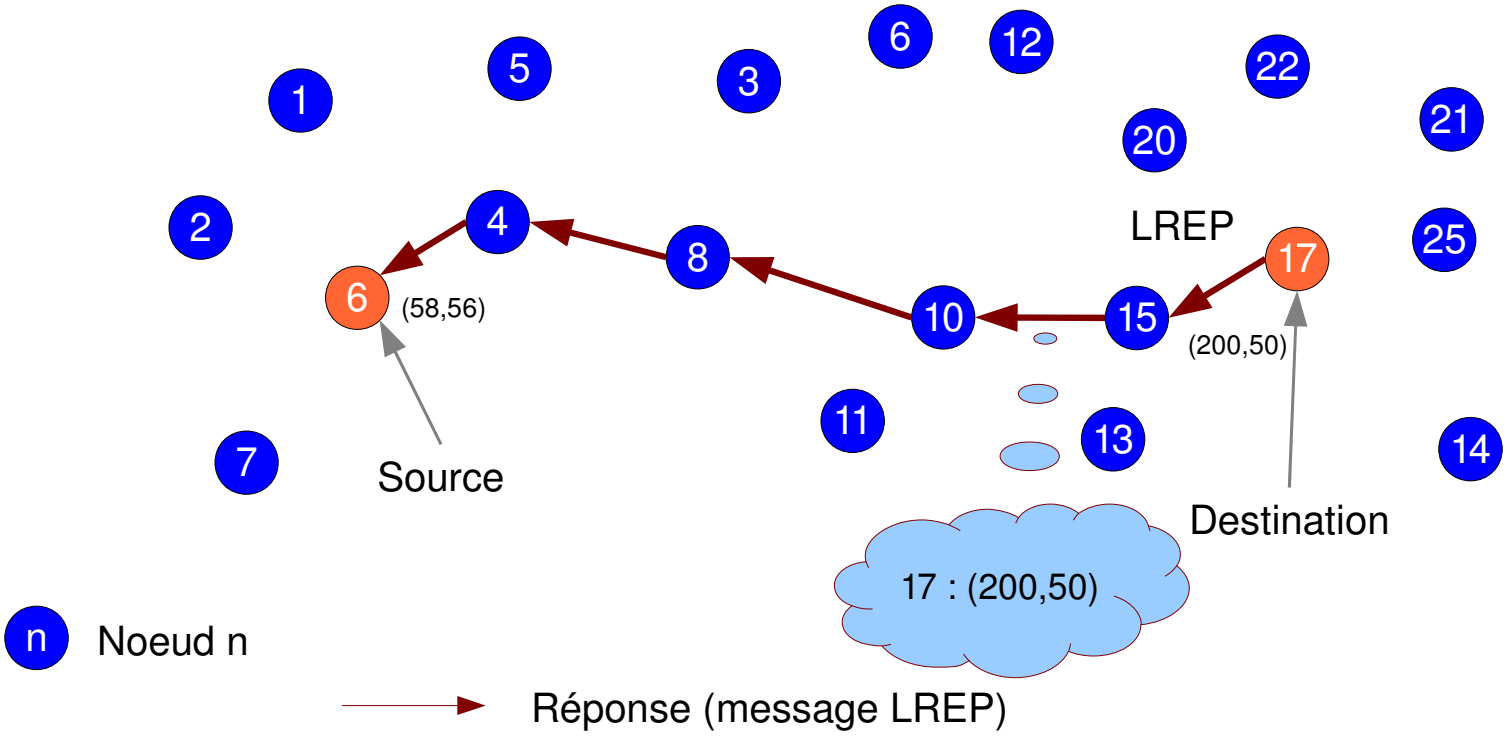
Un protocole géographique doit connaître la position géographique de la destination



Le nœud source diffuse sur tout le réseau une requête *LREQ*. La destination retourne sa destination par un message *LREP*

Localisation de la destination gloutone

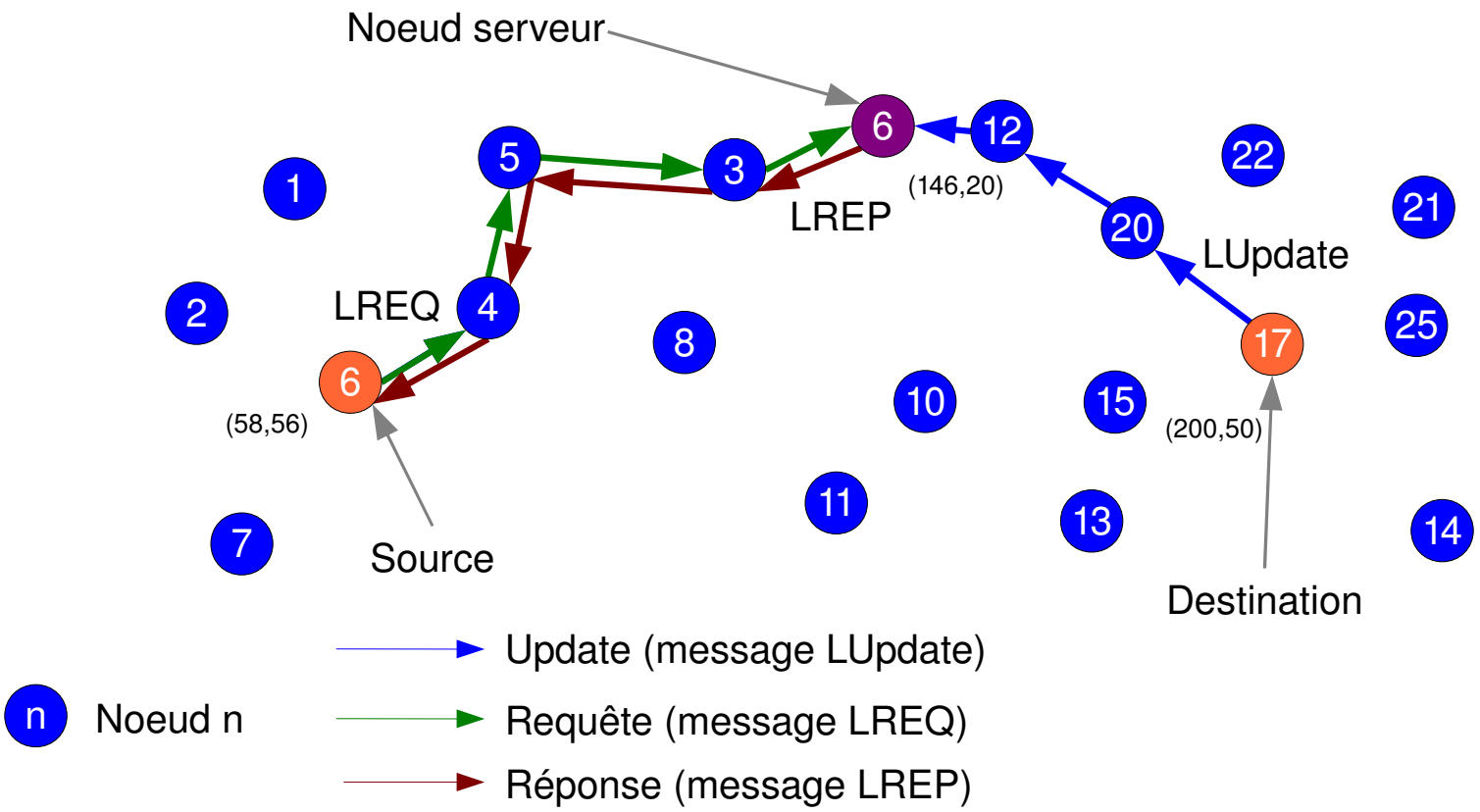
Un protocole géographique doit connaître la position géographique de la destination



Le nœud source diffuse sur tout le réseau une requête *LREQ*. La destination retourne sa destination par un message *LREP*

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

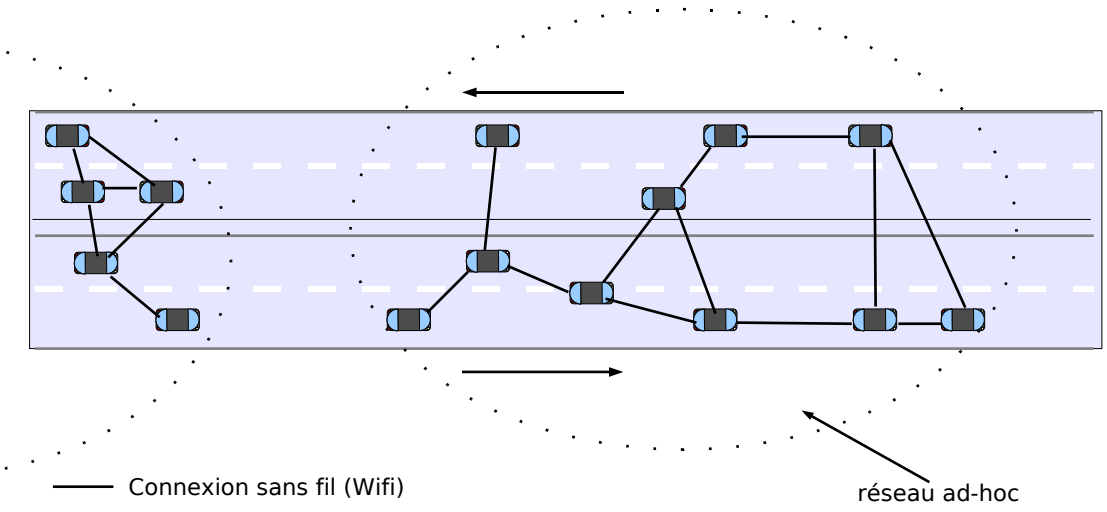
Un protocole à rendez-vous permet de réduire le nombre de messages émis



Un nœud serveur est désigné et associé à la destination. La destination envoie sa position au nœud serveur. La source envoie une requête au nœud serveur pour connaître la position de la destination.

Réseaux ad hoc de véhicules sur une autoroute

- Notre contexte d'étude est une **autoroute**
- Un ensemble de véhicules se déplace sur les voies et peut communiquer par liaison WiFi.
- La topologie du réseau est très proche **d'une ligne**.
- Le réseau est fortement dynamique : changement rapide de topologie.
- Problème de connectivité du réseau : partitionnement, rupture de lien.



Choix d'un protocoles 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 topogique 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 noeud doit connaître sa position géographique et la position **géographique de la destination**.

Pour notre contexte de réseau de véhicules, fortement dynamique, l'utilisation d'un protocole proactif n'est pas adapté.

Travaux antérieurs

Comparaison de protocoles de routage géographique et réactif par simulation [LW07, FMH+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) 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.

Plan

1. Introduction
2. Réseau ad hoc
3. Travaux antérieurs
4. Modèle quantitatif
   - Notre modèle
   - Fréquence d'envoi d'un message
   - Évaluation de la probabilité de rupture
   - Tableaux de synthèse et Comparaison des protocoles
5. Conclusion

Modèle quantitatif

L'objectif de notre modèle quantitatif est de compter ce nombre de messages de signalisation émis pour chaque protocole.

- Les protocoles de routage génèrent de **l'overhead** (surplus de gestion)
- L'overhead est provoqué par les **messages de signalisation** émis sur tout le réseau.
- RREQ (Route Request) est par exemple un message de signalisation pour la requête de recherche de chemin dans un protocole réactif.

Modèle

On cherche à déterminer N_P, le nombre de messages de signalisation transmis par seconde pour le protocole P

Definition

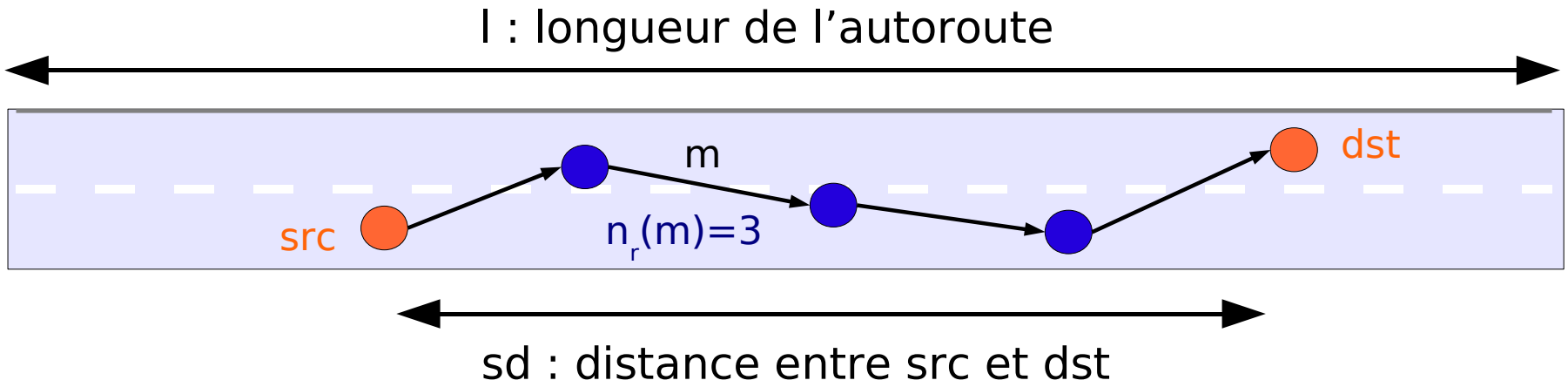
- m : type de message
  - Ex $m = RREQ$
- $M(P)$: ensemble de types de message de signalisation pour un protocole P
  - Ex pour DSR : M(DSR) = {RREQ, RREP, RERR}
- $N(m)$: nombre d'émissions d'un message de type m par seconde

$$N_P = \sum_{m \in M(P)} N(m) \tag{1}$$

Définitions

Definition

- On étudie une communication entre le véhicule source *src* et la destination *dst*
- l : longueur de l'autoroute
- sd : distance entre la source est la destination : $sd = |x_{src} - x_{dst}|$
- $n_r(m)$: nombre de relais entre *src* et *dst*



Définitions

Definition

- $d(m)$: nombre de relais par mètre
- $u(m)$: proportion de l'autoroute utilisé
  - $u(m) = \frac{sd}{l}$
- $f(m)$: fréquence d'envoi du message m

$$N(m) = f(m).n_r(m) = f(m).d(m).u(m) \tag{2}$$

Calcul de la proportion $u(m)$ du réseau utilisé

$u(m)$ est la proportion du réseau où il existe un nœud relais pour un message m.

Definition

- Pour un message m envoyé entre la source à la destination : $u(m) = E(|x_{src} - x_{dst}|)$
- On peut calculer E si l'on considère une répartition uniforme des véhicules communicants sur l'autoroute.

$$E(|x_{src} - x_{dst}|) = (\int_0^1 \int_0^1 |x - y| dxdy) = \frac{1}{3} \tag{3}$$

Type de transmission d'un message

Nous considérons trois types de transmission d'un message :

Definition

- **Unicast** : Le message est transmis à **un seul voisin**
- **Broadcast** : Le message est transmis à **tous ses voisin**
- **Unicast avec connaissance du voisinage** : Le message est transmis à un seul voisin, avec connaissance de la **position des voisins**

Calcul de la densité $d(m)$

$d(m)$ est la densité de relais (en m^{-1})

- Soit d_t la densité du trafic routier
- Broadcast : $d(m) = d_t$
- Unicast : $d(m) < \frac{1}{R}$

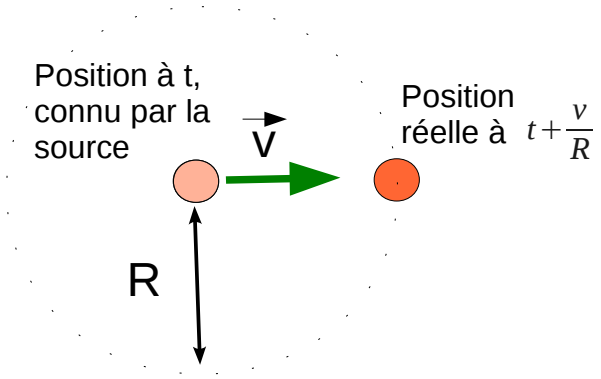
Calcul de la fréquence d'envoi $f(m)$

$f(m)$ est la fréquence d'envoi d'un message

- La fréquence d'envoi $f(m)$ caractérise la mobilité.
- Pour un protocole géographique, on doit connaître le déplacement de la destination
- Pour un protocole réactif, on doit connaître la fréquence de rupture de chemin

Fréquence d'envoi d'une requête de localisation

- Déplacement de la destination : la position réel de la destination est différente que celle connue par la source.
- Nécessité d'envoi d'une **requête de localisation** à intervalle régulier
- v_{avg} : vitesse moyenne des véhicules
- R : Rayon de couverture radio d'un noeud.



$$f_r = \frac{v_{avg}}{R} \qquad (4)$$

Fréquence de rupture d'un chemin

Definition

- p_t : probabilité de **rupture d'un lien** dans un chemin dans un intervalle t
- $q_t(n)$: probabilité de **rupture d'un chemin** ayant $n-1$ relais pendant un intervalle t
- n : **Nombre de liens** dans le chemin (nombre de relais + 1)

On considère que la **rupture de lien est indépendante** alors :

$$q_t(n) = 1 - (1 - p_t)^n \tag{5}$$

On peut alors déduire la **fréquence de rupture de chemin** :

$$f_b(n) = \frac{q_t(n)}{t} \tag{6}$$

Simulation de la mobilité

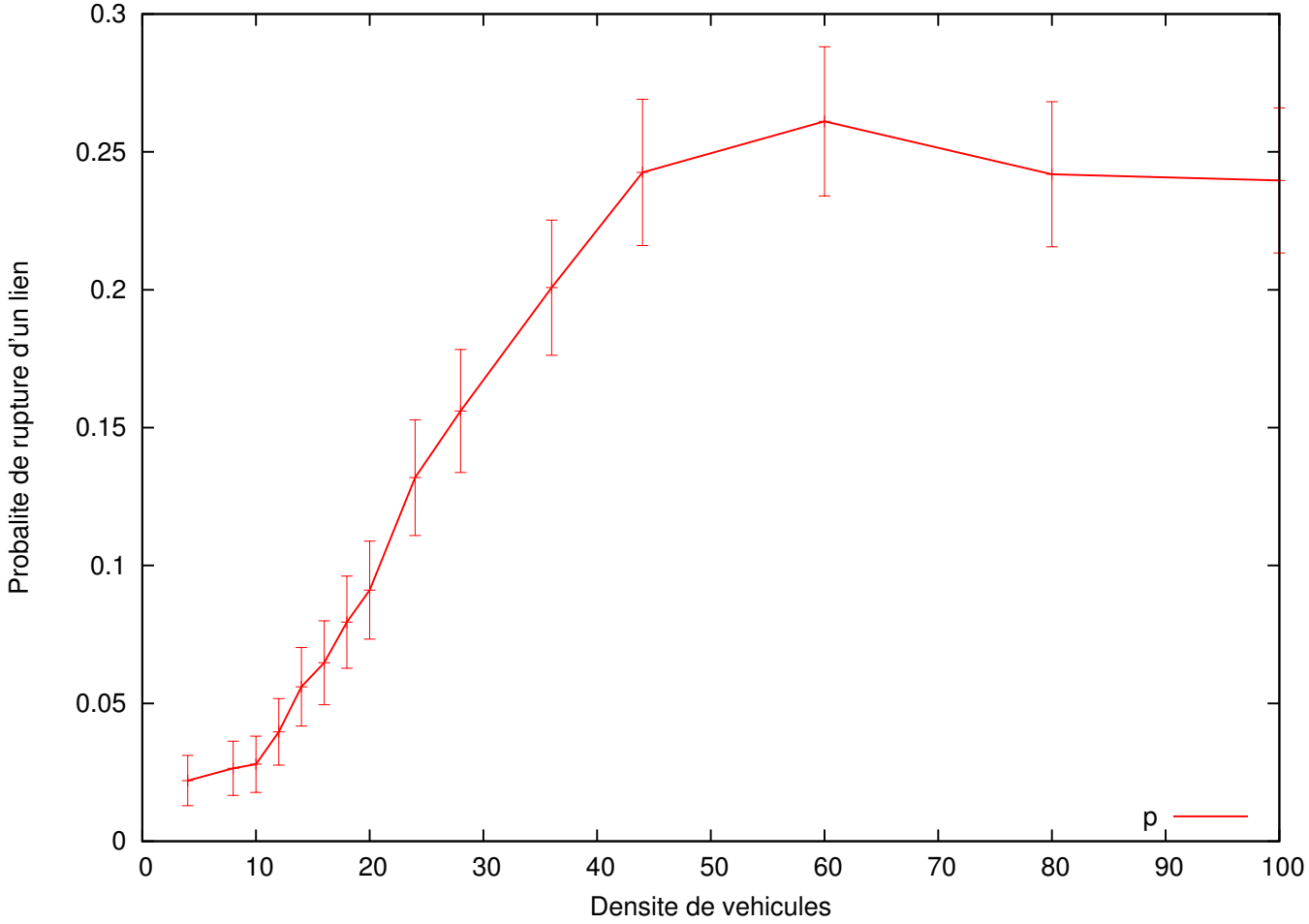
Pour évaluer la probabilité de rupture d'un lien, nous utilisons un simulateur.

- Un simulateur de trafic routier est utilisé.
- Le simulateur permet de déterminé à intant t la position et la vitesse des nœuds.
- Nous avons développé notre propre simulateur dans le contexte d'une autoroute

- Nous utilisons un modèle de déplacement décrit dans [Ahm99]
- C'est un simulateur de micro-mobilité : à intervalle regulier l'acceleration de chaque véhicule est calculée en fonction des véhicules de son voisinage. A chaque instant, le simulateur évalue la probabilité qu'un véhicule change de voie.

Évaluation de p_t

- Il est difficile de déterminer p_t avec un modèle.
- Nous l'avons donc déterminée par simulation



Vérification de l'hypothèse d'indépendance de rupture

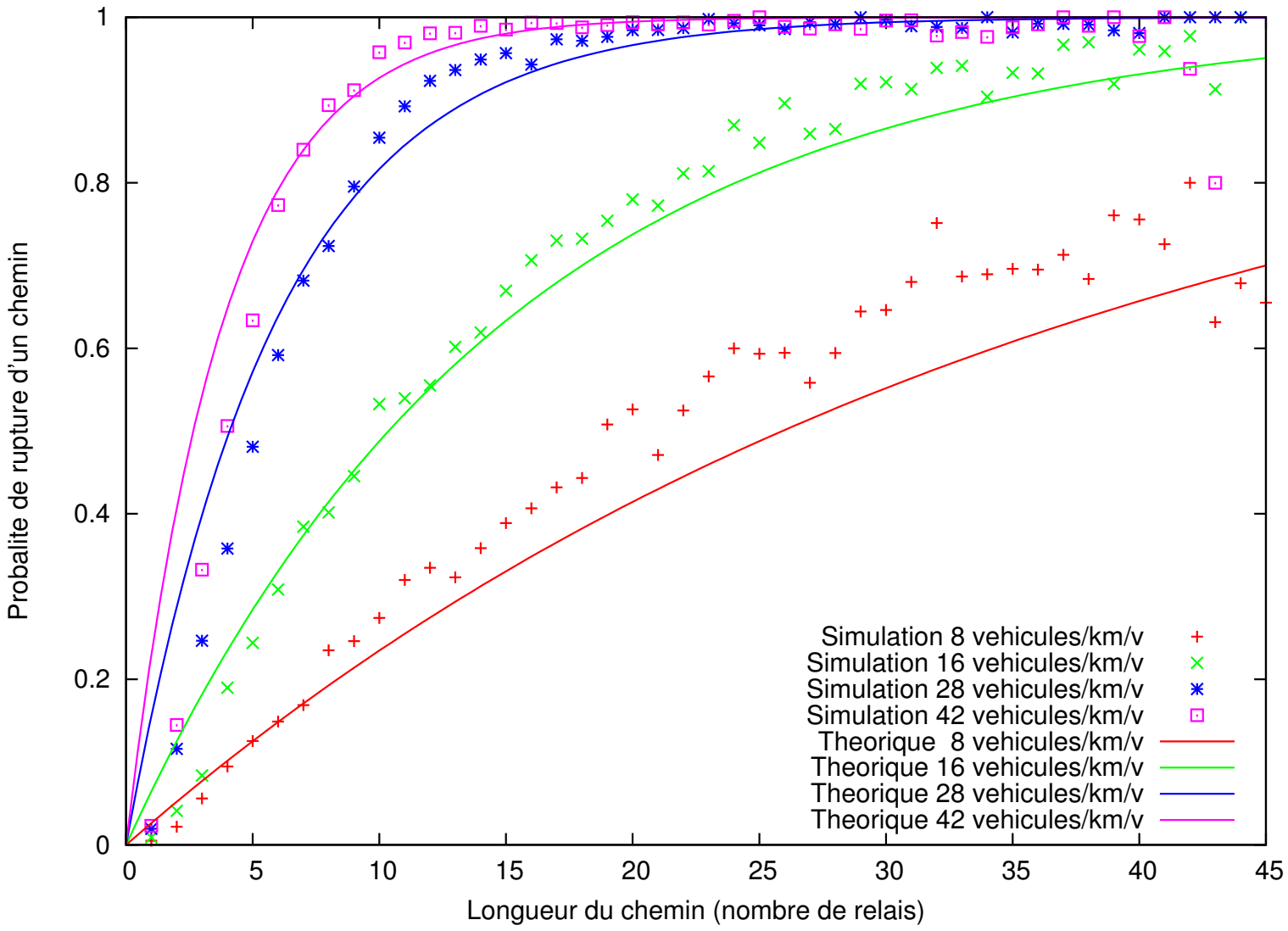


Tableau de synthèse

Topologique Réactif			
Type de Message m	Mode de transmission	$u(m)$	$f(m)$
RREQ	Broadcast	1	$f_b(n_{avg})$
RREP	Unicast	$\frac{1}{3}$	$f_b(n_{avg})$
RERR	Unicast	$\frac{1}{6}$	$f_b(n_{avg})$

Géographique (proactif)			
Type de Message m	Mode de transmission	$u(m)$	$f(m)$
Hello	Broadcast	1	$\frac{1}{C_{to}}$

Tableau de synthèse

Service de localisation glouton			
Type de Message m	Mode de transmission	$u(m)$	$f(m)$
Avec CBF			
LREQ	Broadcast	1	f_r
LREP	Unicast	$\frac{1}{3}$	f_r
Sans CBF			
LREQ	Broadcast	1	f_r
LREP	Unicast voisinage	$\frac{1}{3}$	f_r

Tableau de synthèse

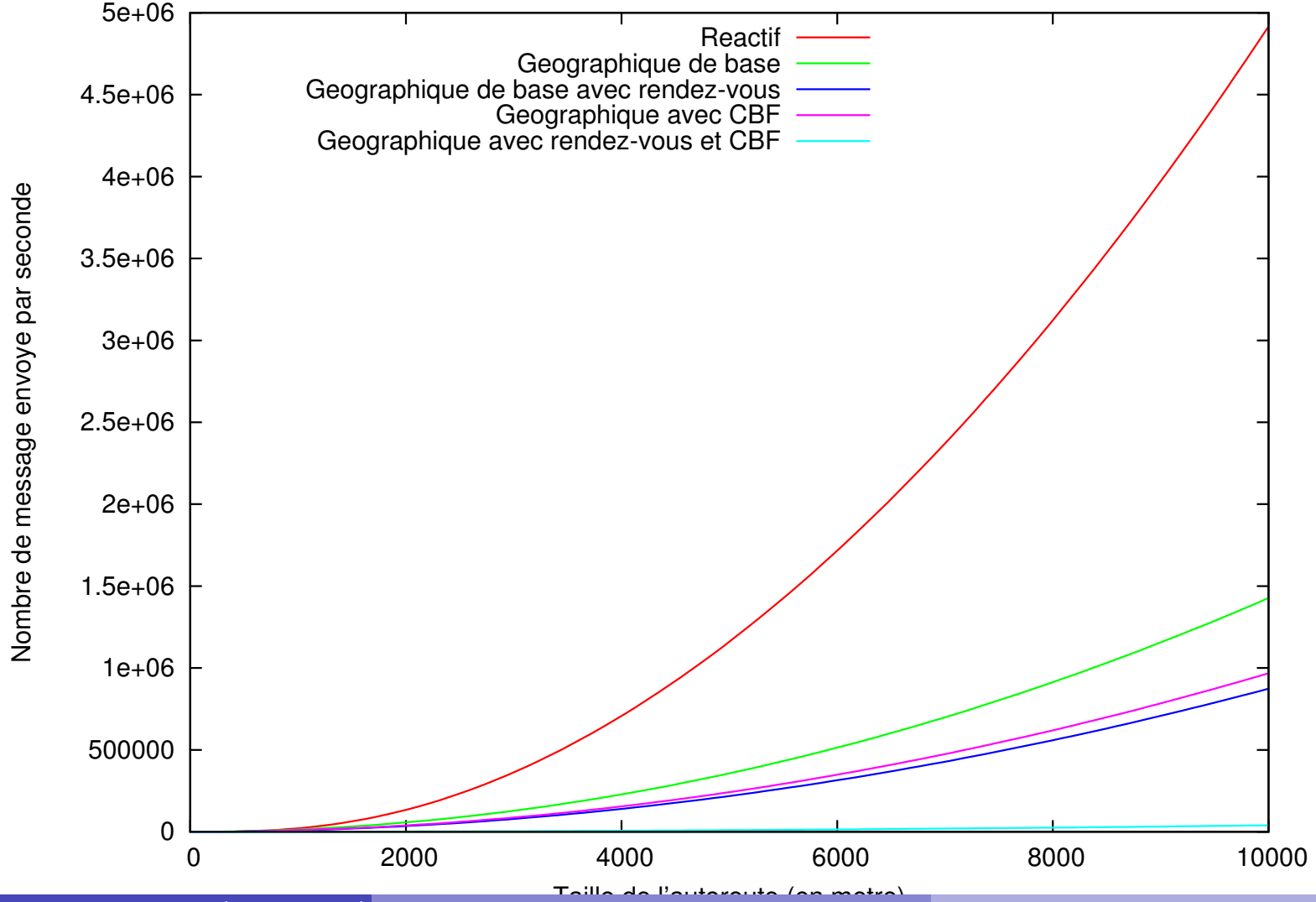
Location service avec protocole à rendez-vous			
Type de Message m	Mode de transmission	$u(m)$	$f(m)$
Avec CBF			
LREQ	Unicast	$\frac{1}{3}$	f_r
LREP	Unicast	$\frac{1}{3}$	f_r
LUpdate	Unicast	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{U_L}$
Sans CBF			
LREQ	Unicast voisinage	$\frac{1}{3}$	f_r
LREP	Unicast voisinage	$\frac{1}{3}$	f_r
LUpdate	Unicast voisinage	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{U_L}$

Nombre de messages de signalisation pour chaque protocole

Protocol	N_P
Topologique Réactif	$(d_t + \frac{1}{2R})lf_b(n_{avg})$
Géographique (proactif)	$d_t l \frac{1}{C_{to}}$
Localisation gloutone	$\frac{4}{3} d_t l f_r$
Localisation gloutone et CBF	$(d_t + \frac{1}{3R})lf_r$
Localisation et rendez-vous	$(\frac{2}{3} f_r + \frac{1}{3U_L})ld_t$
Localisation , rendez-vous et CBF	$(\frac{2}{3} f_r + \frac{1}{3U_L})l\frac{1}{R}$

$$N_P = \sum_{m \in M(P)} f(m).d(m).u(m)$$

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



Conclusion et Perspectives

Propositions

- Modélisation de génération des messages de signalisation
- Fréquence d'envoi :évaluation de la fréquence de rupture de chemin.
- Comparaison du passage à l'échelle de deux grandes familles de protocoles ad hoc : géographique et réactif.

Résultats

- L'utilisation d'un protocole géographique avec CBF (Contention-Based Forwarding) et un protocole à rendez-vous permet un meilleur passage à l'échelle.

Perspectives

- Etendre cette modélisation à un contexte de réseau de véhicules de type urbain : la difficulté réside dans le fait que le réseau est en deux dimensions.
- Prendre en compte des optimisations possibles : piggyback message ou utiliser les positions relatives.

Merci !

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 géné par un véhicule, il change de voie avec une certaine probabilité.

Parametres de simulations

v_{avg}.	$33m.s^{-1}$
C_t	$30s$
t	$1.5s$
U_L	$30s$
R	$250m$

[Ahm99] Kazi I. Ahmed.
Modeling Drivers'Acceleration and Lane Changing Behavior.

Doctor of science in transportation systems, Massachusetts Institute of Technology, Boston (MA), 1999.

[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. Proceedings IEEE, 2, 2005.

[FMH+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.

[LW07] F. Li and Y. Wang.
Routing in vehicular ad hoc networks : A survey.
Vehicular Technology Magazine, IEEE, 2(2) :12–22, 2007.

[MBV07] Muriel Mabiala, Anthony Busson, and Véronique Vèque.
Inside vanet : Hybrid network dimensioning and routing protocol comparison.
In *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. Proceedings. IEEE*, 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.