

Journées ResCom Automne 2005 - Nice

## ALTERNATIVE AU ROUTAGE DANS LES RÉSEAUX FORTEMENT DYNAMIQUES

Bertrand Ducourthial

[bertrand.ducourthial@utc.fr](mailto:bertrand.ducourthial@utc.fr)

Yacine Khaled

Lab. Heudiasyc UMR CNRS 6599

Université de Technologie de Compiègne, France

Journées ResCom Automne 2005 - Nice

*de l'intérêt de partir des applications  
pour les réseaux fortement dynamiques*

Bertrand Ducourthial

[bertrand.ducourthial@utc.fr](mailto:bertrand.ducourthial@utc.fr)

Yacine Khaled

Lab. Heudiasyc UMR CNRS 6599

Université de Technologie de Compiègne, France

# Cas des réseaux fortement dynamique

## ■ Réseau informatique

- «ordinateurs» + liens de communication
- messages à envoyer de  $u$  à  $v$
- réseau physique incomplet



# Cas des réseaux fortement dynamique

## ■ Réseau informatique

- «ordinateurs» + liens de communication
- messages à envoyer de  $u$  à  $v$
- réseau physique incomplet
- routage :  
*émuler un réseau complet sur un réseau qui ne l'est pas*



# Cas des réseaux fortement dynamique

## ■ Réseau informatique

- «ordinateurs» + liens de communication
- messages à envoyer de  $u$  à  $v$
- réseau physique incomplet
- routage :  
*émuler un réseau complet sur un réseau qui ne l'est pas*
- problèmes algorithmes classiques  
(e.g., exclusion mutuelle)  
*briques de base pour les applications*

# Cas des réseaux fortement dynamique

□ Réseau informatique

■ Réseau fortement dynamique

- réseaux de piétons, de véhicules...
- réseaux  $\rightsquigarrow$  routage



# Cas des réseaux fortement dynamique

□ Réseau informatique

■ Réseau fortement dynamique

- réseaux de piétons, de véhicules...
- réseaux  $\rightsquigarrow$  routage
- nombreux algorithmes de routage ( $> 40$ )
- beaucoup moins d'expérimentation



# Cas des réseaux fortement dynamique

□ Réseau informatique

■ Réseau fortement dynamique

- réseaux de piétons, de véhicules...
- réseaux  $\rightsquigarrow$  routage
- nombreux algorithmes de routage ( $> 40$ )
- beaucoup moins d'expérimentation
- problèmes algorithmiques classiques  
(*e.g.*, exclusion mutuelle)

*briques de base pour les applications*

# Cas des réseaux fortement dynamique

- Réseau informatique
- Réseau fortement dynamique
- Autre approche ?
  - l'approche
    - réseau  $\rightsquigarrow$  algorithmes de routage
    - réseau  $\rightsquigarrow$  briques de base classiquesest-elle toujours pertinente ?
  - cas des réseaux fortement dynamiques  
*réseaux de piétons, réseaux de véhicules*
  - autre approche ?
  - de quoi avons-nous besoin ?

# Plan

- 1. Partir des applications (approche *bottom-up*)
- 2. Applications inter-véhicules
- 3. WiFi et voitures
- 4. Routage dans les réseaux de véhicules  
service de retransmission conditionnelle de messages
- 5. Quelques résultats dans le convoi
- Conclusion

# 1.1 Partir des applications

## ■ Réseau fortement dynamique

- dynamique des entités
- mobilité des entités

[AS Dynamo]



# 1.1 Partir des applications

## ■ Réseau fortement dynamique

- dynamique des entités
- mobilité des entités

[AS Dynamo]

## ■ Dynamique des entités

- apparition / disparition d'entités
- les entités présentes ne seront pas forcément les mêmes dans quelques instants



# 1.1 Partir des applications

## ■ Réseau fortement dynamique

- dynamique des entités
- mobilité des entités

[AS Dynamo]

## ■ Dynamique des entités

- apparition / disparition d'entités
- les entités présentes ne seront pas forcément les mêmes dans quelques instants

## ■ Mobilité des entités

- déplacement d'entités
- la topologie du réseau n'est pas fixée dans le modèle

# 1.2 Partir des applications (suite)

## ■ Mobilité vs. dynamique des entités

- point de vue local (de l'entité)
  - arrivée / départ de voisins
  - correspondant éventuellement injoignable



# 1.2 Partir des applications (suite)

## ■ Mobilité vs. dynamique des entités

- point de vue local (de l'entité)
  - arrivée / départ de voisins
  - correspondant éventuellement injoignable
- déplacement  $\neq$  disparition puis (re-)création
  - *cf.* diffusion...



# 1.2 Partir des applications (suite)

□ Mobilité vs. dynamique des entités

■ Difficulté de la mobilité

- prendre «conscience» du déplacement
  - détecter et signaler  $\rightsquigarrow$  notion de localisation référentiel relatif / absolu
  - découvrir un changement dans le voisinage
- **challenges :**
  - exploration du réseau, diffusion...
  - localisation d'un correspondant
  - maintien d'une communication
  - $\rightsquigarrow$  connexité ?, communication fiable ?
  - $\rightsquigarrow$  type de mobilité ?, adaptativité

# 1.2 Partir des applications (suite)

- Mobilité vs. dynamique des entités
- Difficulté de la mobilité
- Difficulté de la dynamique
  - prendre «conscience» de la dynamique
    - détecter et signaler l'arrivée et le départ (!)  
dynamique volontaire ?
    - découvrir un changement dans le voisinage
  - challenges :
    - nombre et identité des présents non fixés
    - disparition d'une entité détenant une information
    - apparition d'une entité en cours d'application  
*différent d'une «défaillance»*
  - ~> sécurité ?, privilèges ?
  - ~> remise en cause du résultat présent ?

# 1.3 Forte dynamique : problématique

- Algorithmique sur réseaux dynamiques
  - masquer la répartition  $\rightsquigarrow$  masquer la dynamique



# 1.3 Forte dynamique : problématique

## ■ Algorithmique sur réseaux dynamiques

- masquer la répartition  $\rightsquigarrow$  masquer la dynamique
- nouveaux algorithmes
  - problèmes différents de l'alg. répartie «classique»  
*e.g., dynamique des entités et exclusion mutuelle*
  - quels besoins ?  $\rightsquigarrow$  application cible

$\rightsquigarrow$  de l'application vers les algorithmes

# 1.3 Forte dynamique : problématique

## ■ Algorithmique sur réseaux dynamiques

- masquer la répartition  $\rightsquigarrow$  masquer la dynamique
- nouveaux algorithmes

$\rightsquigarrow$  de l'application vers les algorithmes

### ● hypothèses ?

- unité de mobilité *utilisateur, machine, code*
- gestion du voisinage *découverte, collision ?*
- uniformité ou généralité *communication sélective ?*
- sécurité *partie du réseau fixe ?*
- complexité des applications *coopération ou arbitre*
- données partagées ?*

# 1.3 Forte dynamique : problématique

## ■ Algorithmique sur réseaux dynamiques

- masquer la répartition  $\rightsquigarrow$  masquer la dynamique
- nouveaux algorithmes
- $\rightsquigarrow$  de l'application vers les algorithmes
- hypothèses ?

## ■ Parti pris pour les expérimentations

- application cible : **communications inter-véhicules**
- unité de mobilité = entité = voiture
- réseau ad hoc, algorithmes uniformes
- voisinage  $\rightsquigarrow$  802.11
- sécurité : coopération des entités
- complexité : interventions limitées des utilisateurs

# Plan

- 1. Partir des applications (approche *bottom-up*)
- 2. Applications inter-véhicules
- 3. WiFi et voitures
- 4. Routage dans les réseaux de véhicules  
service de retransmission conditionnelle de messages
- 5. Quelques résultats dans le convoi
- Conclusion

# 2.1 Applications inter-véhicules

## ■ Équipe

- Université de Technologie de Compiègne
- Lab. Heudiasyc UMR CNRS 6599
- communications inter-véhicules  
*coopération «voiture intelligente» et réseaux*



# 2.1 Applications inter-véhicules

## ■ Équipe

- B. Ducourthial  
*(systèmes répartis / réseaux)*
- M. Shawky  
*(systèmes embarqués / temps-réel)*
- V. Cherfaoui  
*(confiance dans les données)*
- Y. Khaled et N. Eude  
*(doctorants)*



# 2.1 Applications inter-véhicules

□ Équipe

■ Projets

- région Picardie pôle Diagnostic et Véhicules Avancées
- projet PREDIT
- projet UTC-France Telecom
- IP SafeSPOT



# 2.1 Applications inter-véhicules

□ Équipe

□ Projets

■ Expérimentations

- véhicules équipés du laboratoire

- plateforme expérimentale

Communication et Applications Réparties  
Embarquées

- PC type *shoebox* ou portables

- carte et antenne WiFi

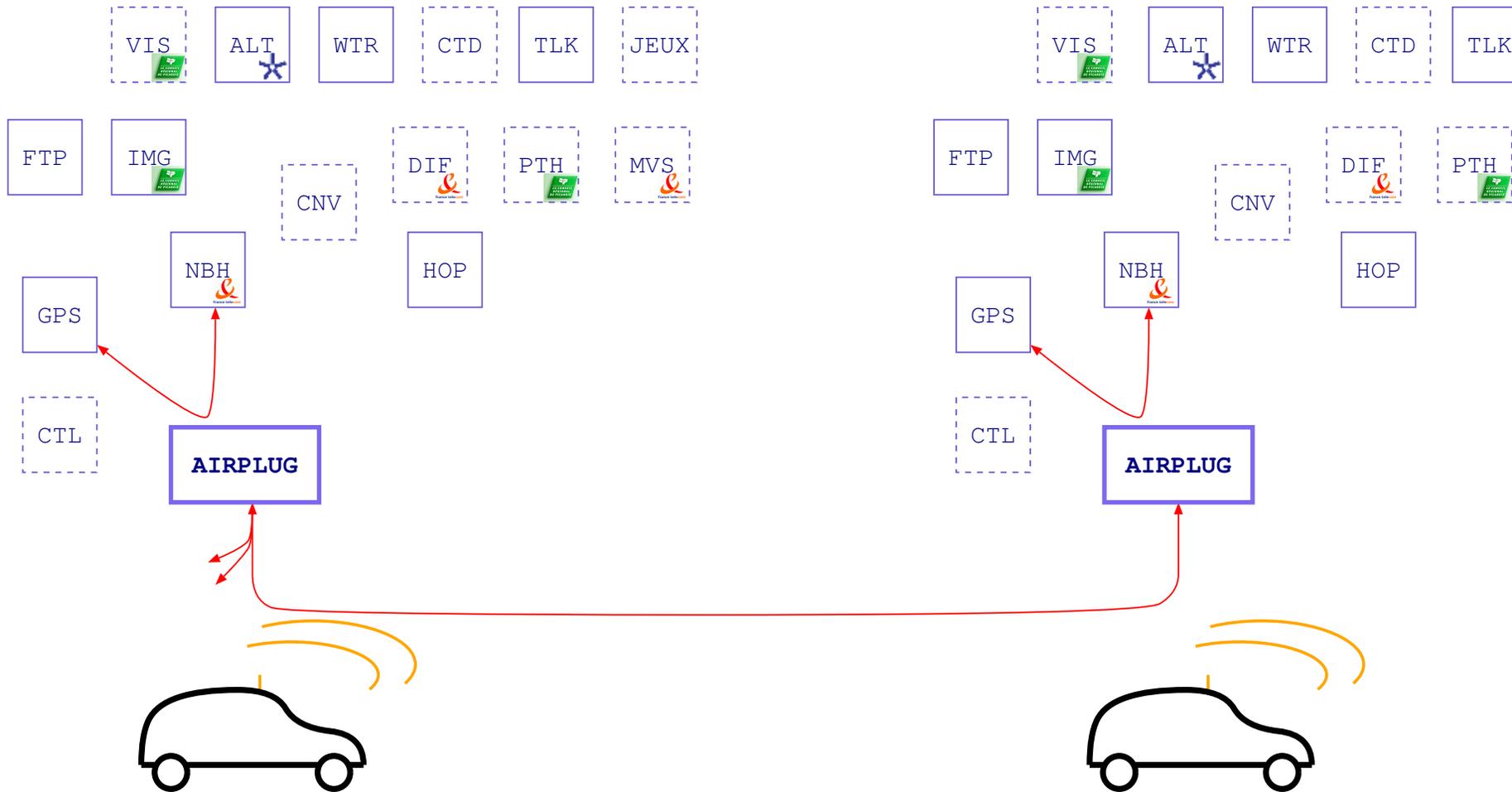
- GPS

- suite logicielle Airplug

- environnement de simulation sous ns [MWCN2005]

*convois, GPS, dynamique, voisinage, HOP...*

# 2.2 Suite logicielle airplug



# Plan

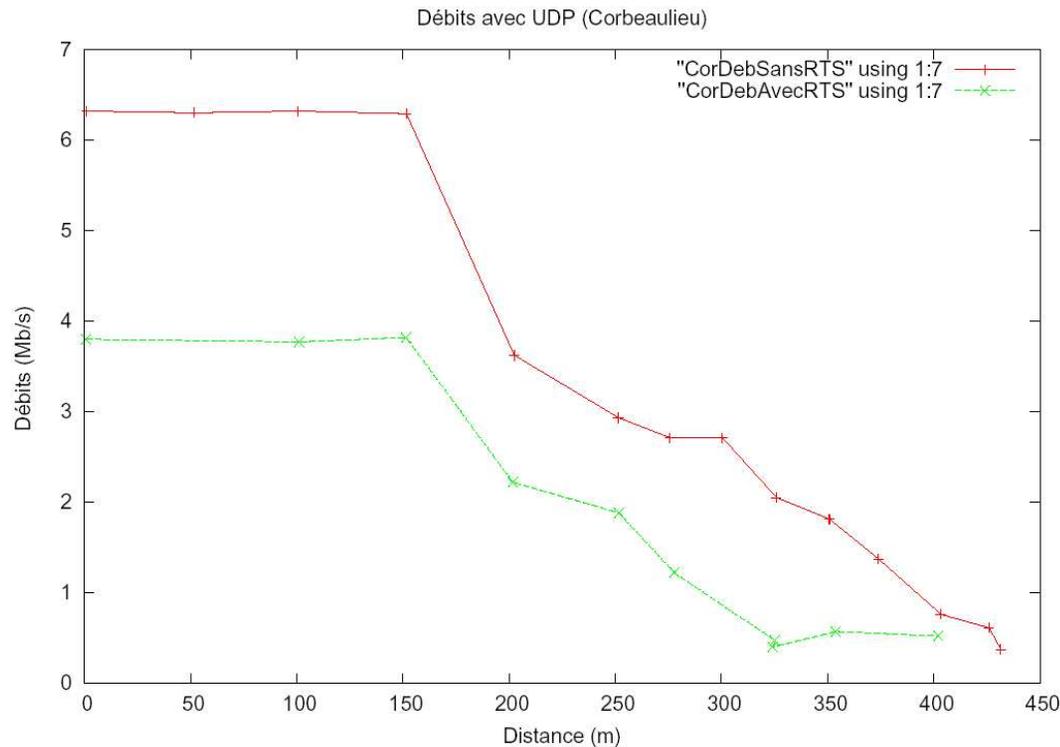
- 1. Partir des applications (approche *bottom-up*)
- 2. Applications inter-véhicules
- 3. WiFi et voitures
- 4. Routage dans les réseaux de véhicules  
service de retransmission conditionnelle de messages
- 5. Quelques résultats dans le convoi
- Conclusion

# 3.1 WiFi et voiture

## ■ Intérêt du WiFi

- faible coût, largement répandu
- réseaux ad hoc
- portée jusqu'à 500m avec antennes
- échange de données y compris en croisement
- nouvelles normes à l'étude (*e.g.*, 802.11p)
- développements indépendants du protocole

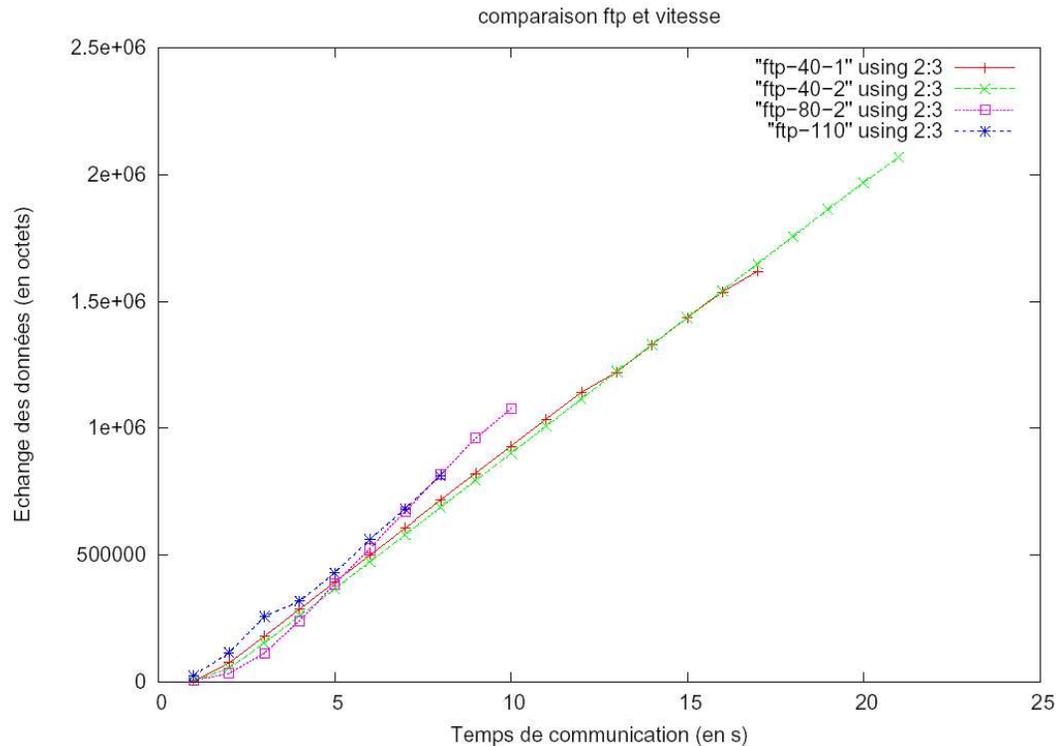
## 3.2 WiFi et voiture (suite)



### ■ Exemple en suivi

- à 150 m, sans RTS/CTS : débit  $\sim$  6Mb/s
- à 150 m avec RTS/CTS : débit  $\sim$  3.5Mb/s

# 3.3 WiFi et voiture (suite)



## ■ croisement à 110 km/h

- durée de communication : 8 s
- quantité de données : 800 Ko

# Plan

- 1. Partir des applications (approche *bottom-up*)
- 2. Applications inter-véhicules
- 3. WiFi et voitures
- 4. Routage dans les réseaux de véhicules  
service de retransmission conditionnelle de messages
- 5. Quelques résultats dans le convoi
- Conclusion

# 4.1 Routage et réseaux de véhicules

## ■ Principe

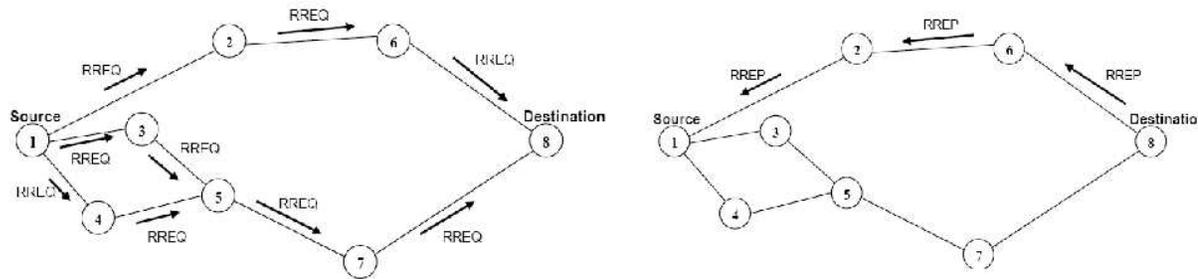
- émuler un réseau complet dans un réseau qui ne l'est pas
- malgré la forte dynamique du réseau
- routages dans les réseaux ad hoc
  - réactifs
  - proactifs



# 4.2 Routage réactif

## ■ AODV : Ad hoc On-demand Distance Vector

- protocole réactif
  - découverte de route
  - maintenance de route
- adaptation de AODV pour les réseaux de véhicules  
*direction des paquets, informations GPS...*



## 4.2 Routage réactif

□ AODV : Ad hoc On-demand Distance Vector

■ Inconvénients

- temps de découverte des routes
- pérennité des routes



# 4.3 Routage proactif

## ■ OLSR : Optimized Link State Routing

- protocole proactif
- MPR (*multipoint relay*)  
*un site sélectionne le minimum de voisins à un saut pour atteindre tous les voisins à deux sauts*
- messages *Hello* et *Topology Control*

# 4.3 Routage proactif

□ OLSR : Optimized Link State Routing

■ Fast OLSR

- extension de OLSR pour réseaux fortement dynamiques
- intervalle d'émission des messages *Hello* plus court
- taille des messages *Hello* plus petite  
*sous-ensemble des voisins*

# 4.3 Routage proactif

- OLSR : Optimized Link State Routing
- Fast OLSR
- Inconvénients
  - consommation de bande passante
  - d'autant plus forte que le réseau est dynamique
  - pérenité des tables

# 4.4 Alternative au routage

## ■ Routage

- une adresse par voiture
- possibilité d'envoyer un message à une voiture donnée



# 4.4 Alternative au routage

□ Routage

■ Difficultés

- délai vs. bande passante
- pérennité des routes ou des tables
- s'aggrave avec la dynamique



# 4.4 Alternative au routage

□ Routage

■ Difficultés

- délai vs. bande passante
- pérennité des routes ou des tables
- s'aggrave avec la dynamique
- remarques
  - type d'adressage ?
  - la voiture est-elle là ?
  - a-t-on besoin de ce type de communication ?

# 4.4 Alternative au routage

□ Routage

□ Difficultés

## ■ Analyse des applications envisagées

- envoyer un message sans connaître le destinataire ...et sans chercher à le connaître
- exemples :
  - envoyer devant
  - envoyer derrière
  - envoyer à la voiture en tête de convoi
  - aux voitures qui vont rencontrer l'incident
  - ...

# 4.4 Alternative au routage

□ Routage

□ Difficultés

■ Analyse des applications envisagées

- envoyer un message sans connaître le destinataire  
...et sans chercher à le connaître  
~> désignation des destinataires par conditions

# 4.4 Alternative au routage

□ Routage

□ Difficultés

## ■ Analyse des applications envisagées

- envoyer un message sans connaître le destinataire  
...et sans chercher à le connaître  
~> désignation des destinataires par conditions
- envoyer un message à un véhicule connu

# 4.4 Alternative au routage

□ Routage

□ Difficultés

## ■ Analyse des applications envisagées

- envoyer un message sans connaître le destinataire  
...et sans chercher à le connaître  
    ~> désignation des destinataires par conditions
- envoyer un message à un véhicule connu
  - donc il a été dans notre voisinage  
    ~> communication initiée dans le voisinage
  - éloignement des véhicules
  - relai de la communication de proche en proche

# 4.4 Alternative au routage

□ Routage

□ Difficultés

## ■ Analyse des applications envisagées

- envoyer un message sans connaître le destinataire  
...et sans chercher à le connaître  
~> désignation des destinataires par conditions
- envoyer un message à un véhicule connu  
~> maintien d'un chemin initialement de longueur 1  
et qui s'allonge (raisonnablement)

# 4.4 Alternative au routage

□ Routage

□ Difficultés

## ■ Analyse des applications envisagées

- envoyer un message sans connaître le destinataire  
...et sans chercher à le connaître

~> désignation des destinataires par conditions

- envoyer un message à un véhicule connu

~> maintien d'un chemin initialement de longueur 1  
et qui s'allonge (raisonnablement)

~> **service de retransmission conditionnelle**

# 4.5 HOP : retransmission conditionnelle

## ■ Principe

- message + 2 conditions CUP et CFW
- diffusion dans le voisinage
- à la réception, évaluation des conditions
  - si CUP est vraie, alors le message est traité localement
  - si CFW est vraie, alors ré-émission du message



# 4.5 HOP : retransmission conditionnelle

□ Principe

■ Conditions

- nom  $\rightsquigarrow$  point à point, routage...
- position géographique (*e.g.*, zone)
- position relative à l'émetteur ou au dernier relai (*e.g.*, distance)
- date (*e.g.*, durée de vie)
- **cap** : corrélation des trajectoires des véhicules
- combinaisons...

# 4.5 HOP : retransmission conditionnelle

□ Principe

□ Conditions

■ Implémentation dans Caremba

- pas d'adresses

*le système réparti pourrait être anonyme*

- informations de contrôle dans le message

- HOP est un programme lancé par airplug

- les applications s'abonnent à HOP (réception)

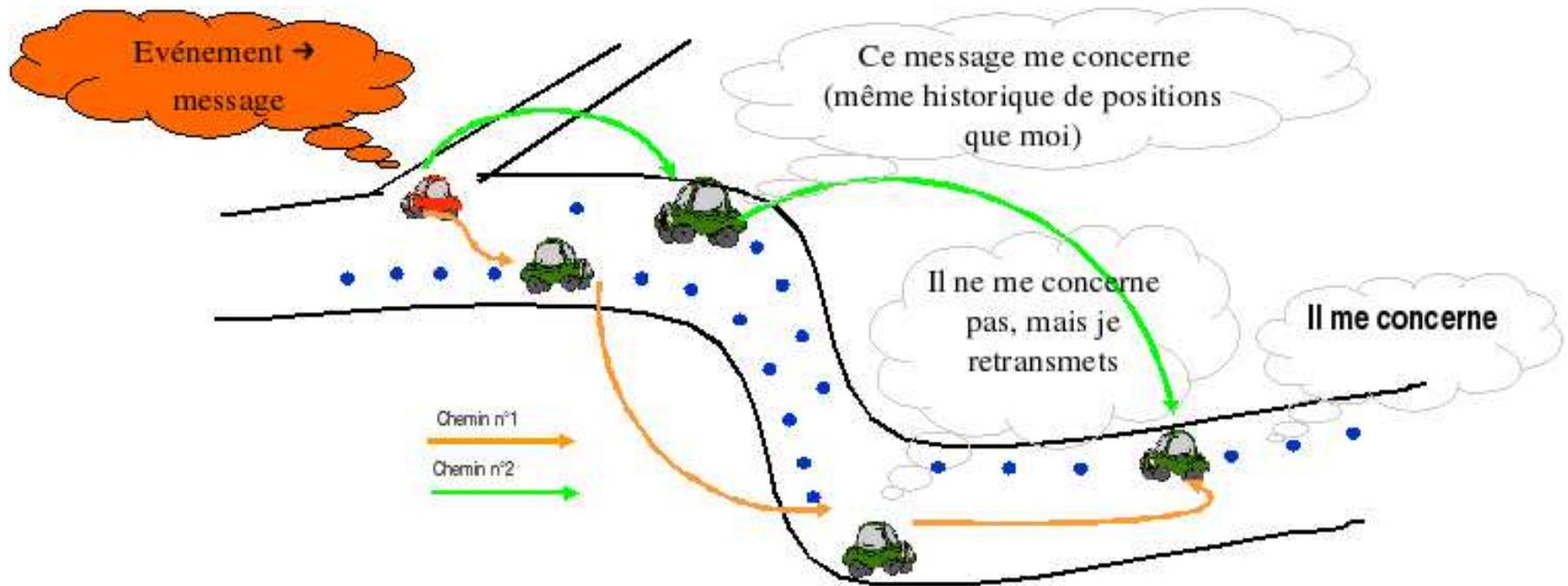
- elles sollicitent HOP avec un message et deux conditions, spécifiques à l'application

# 4.5 HOP : retransmission conditionnelle

- Principe
- Conditions
- Implémentation dans Caremba
- Implémentation sous ns-2
  - similaire à un module de routage
  - étude / comparaison par simulation



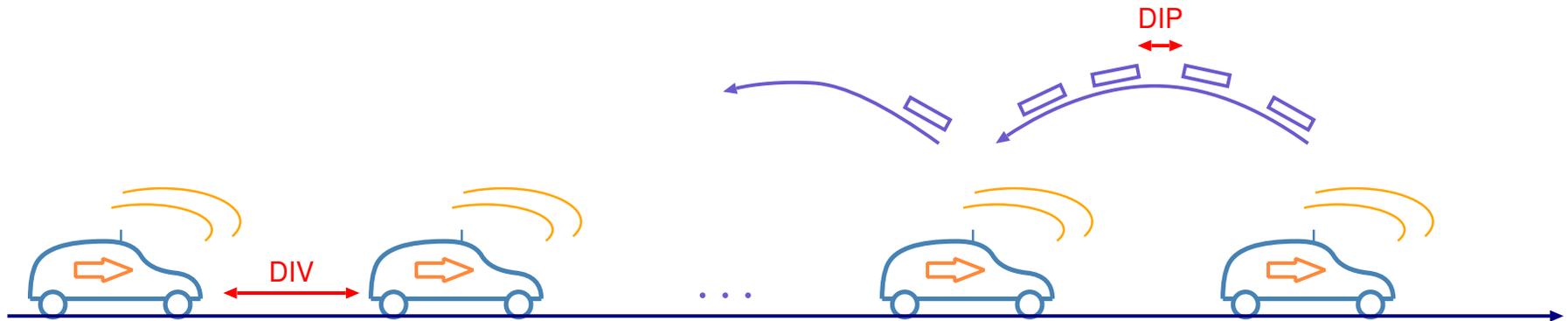
# 4.6 Illustration de HOP



# Plan

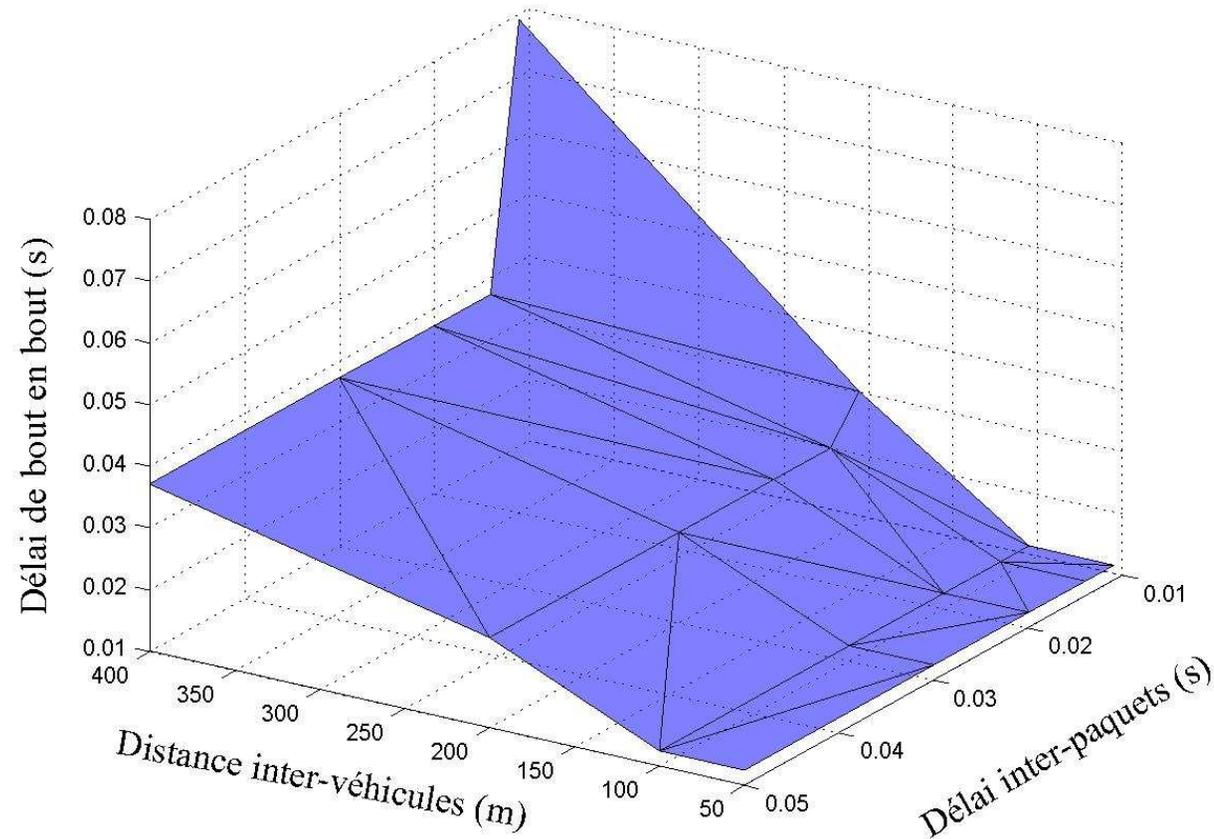
- 1. Partir des applications (approche *bottom-up*)
- 2. Applications inter-véhicules
- 3. WiFi et voitures
- 4. Routage dans les réseaux de véhicules  
service de retransmission conditionnelle de messages
- 5. Quelques résultats dans le convoi
- Conclusion

# 5.1 Communication dans un convoi



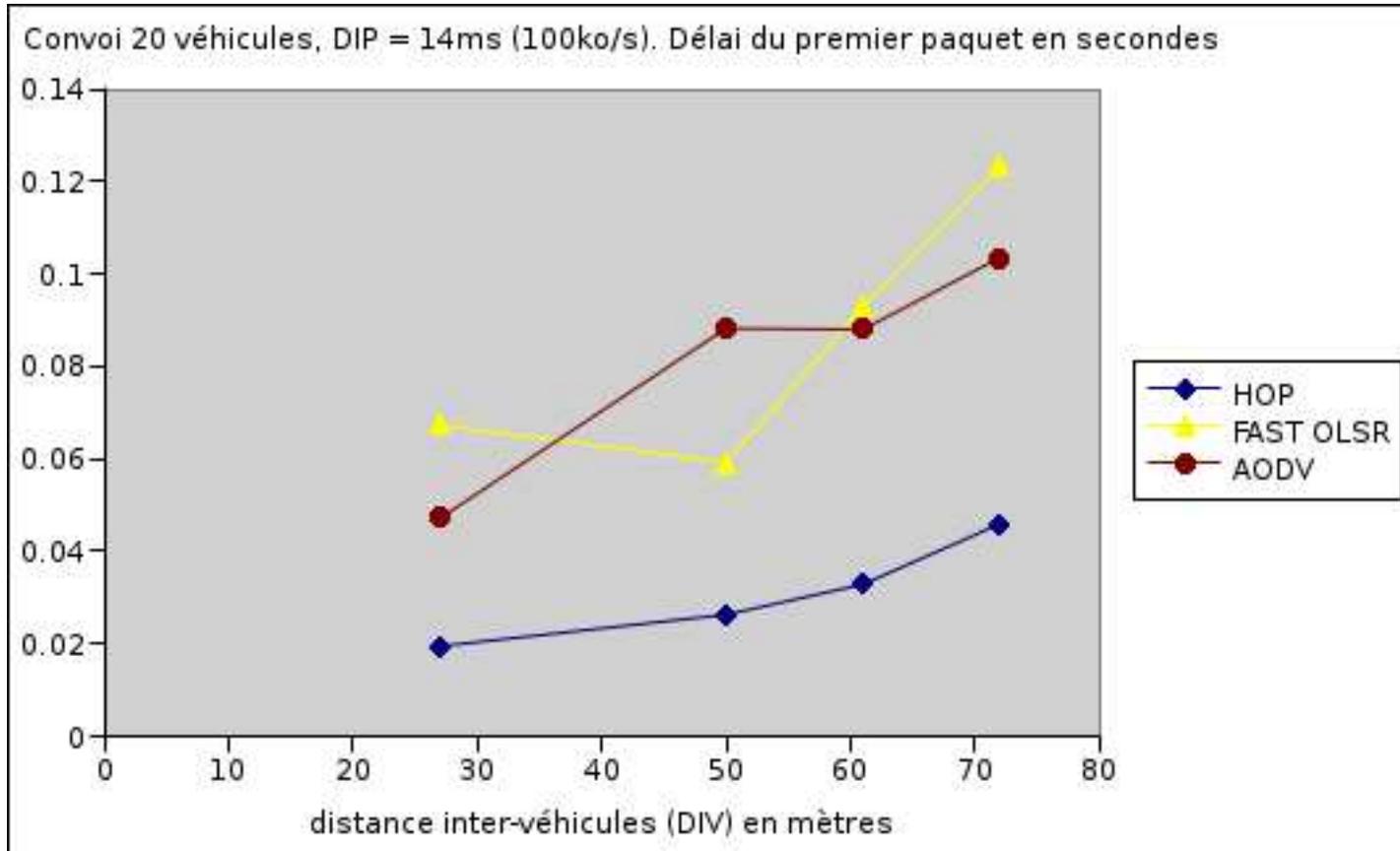
- 802.11
- diffusion
- technique gloutonne
  
- recherche des limites de 802.11 [VTC2005]
- étude de l'influence de différents paramètres  
*distance inter-véhicules, délai inter-paquets, etc.*

## 5.2 Communication dans un convoi



- qq conclusions :
  - débit limité à  $\sim 100$  Ko/s
  - délai de bout en bout moyen important

## 5.3 Délai premier paquet

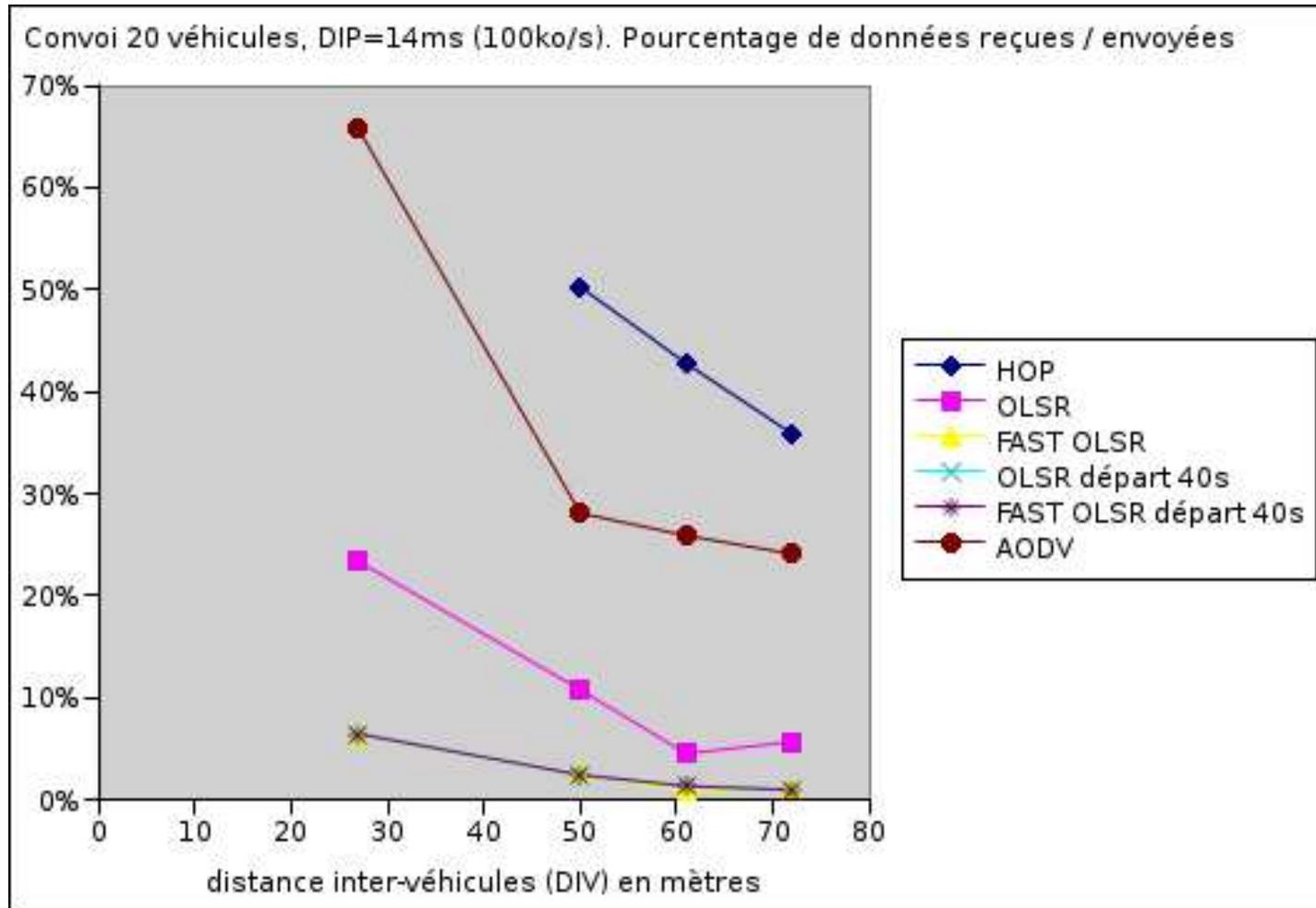


20 voitures, vitesse  $\leftrightarrow$  distance de sécurité (2s)

débit 2Mbit/s (broadcast 802.11), portée 250m

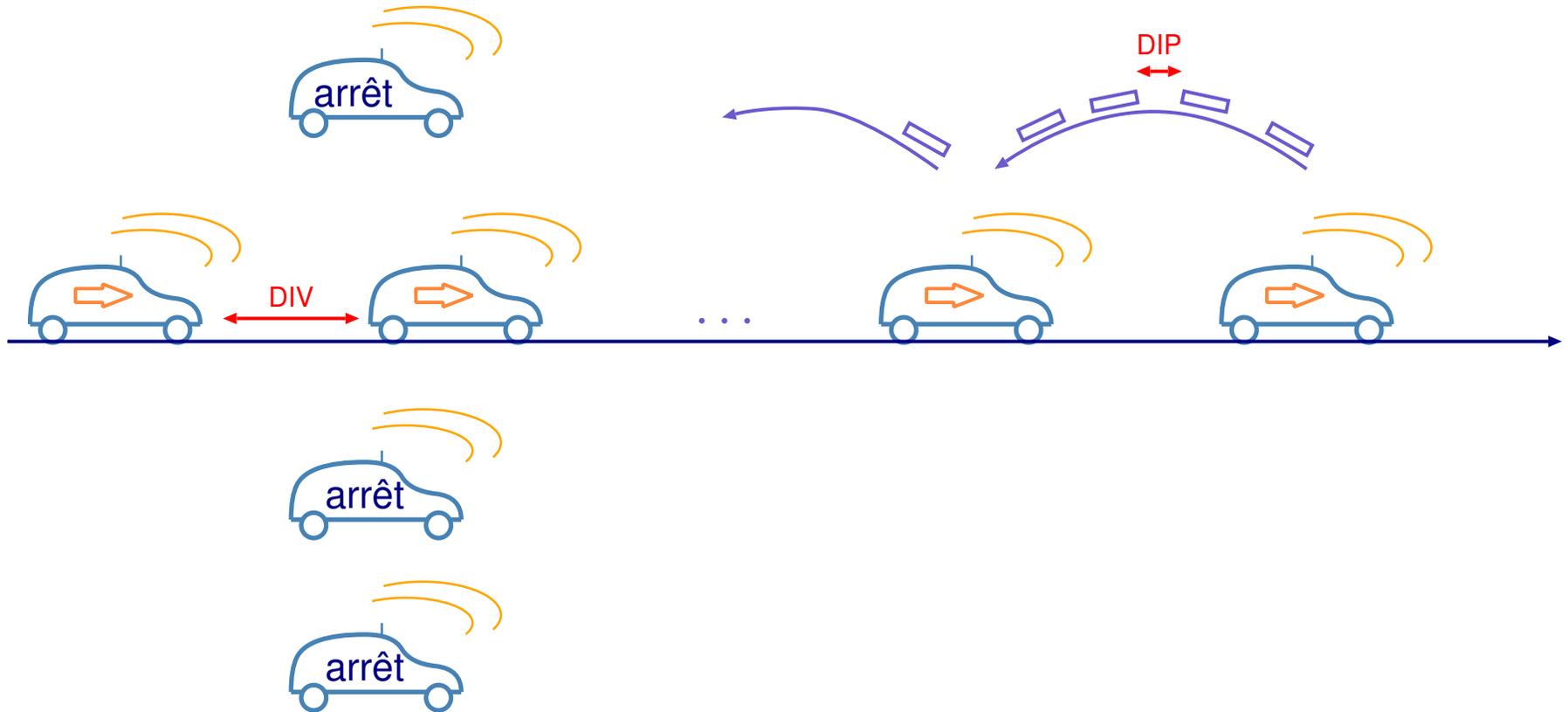
CFW= distance dernier relai  $>200m$  et même cap

# 5.4 Pourcentage de données reçues



situation désavantageuse pour les protocoles proactifs

# 5.5 Convoi + véhicule arrêtés



# Conclusion

## ■ Parti pris

- réseaux fortement dynamique
- ~> ne pas forcément appliquer les solutions connues dans les réseaux moins dynamiques
- ~> partir des applications pour définir les besoins



# Conclusion

□ Parti pris

■ Communications inter-véhicules

- plate-forme expérimentale (Caremba)
- suite logicielle airplug
- environnement de simulation sous ns-2 pour les voitures



# Conclusion

- Parti pris
- Communications inter-véhicules
- Service de retransmission conditionnelle
  - alternative au routage
  - ne remplit pas toutes les fonctions du routage  
quoique...
  - suffisant pour les applications identifiées
  - opérationnel sous ns et avec airplug

# Conclusion

- Parti pris
- Communications inter-véhicules
- Service de retransmission conditionnelle
- Perspectives
  - compléter l'étude par simulation
  - définition des conditions en fonction des applications  
...et du trafic