

UNIVERSITE PARIS-SUD

ÉCOLE DOCTORALE  
Sciences et Technologie de l'Information, des Télécommunications  
et des Systèmes  
Laboratoire des Signaux et Systèmes (L2S)  
*DISCIPLINE : PHYSIQUE*

**SYNTHÈSE EN FRANCAIS**

Soutenance 18/04/2014

par

**Anh Tuan GIANG**

**Capacity of Vehicular Ad-hoc NETWORK**

**Composition du jury :**

*Directeur de thèse :*

*Rapporteurs :*

*Examineurs :*

Anthony BUSSON

Sidi Mohammed SENOUCI

André-Luc BEYLOT

Bertrand DUCOURTHIAL

Michel KIEFFER

Dominique GRUYER

Alain LAMBERT

Professeur (École Normale Supérieure)

Professeur (Université de Bourgogne)

Professeur (Université de Toulouse)

Professeur (Université de Technologie de Compiègne)

Professeur (Université de Paris Sud XI)

CR, HDR (IFSTTAR)

IR (Université de Paris Sud XI)

---

# Contents

<b>List of Figures</b>	<b>v</b>
<b>List of Tables</b>	<b>ix</b>
<b>A Version Française</b>	<b>1</b>
A.1 Introduction . . . . .	1
A.2 Estimation de la capacité et optimisation . . . . .	2
A.2.1 Définition du problème . . . . .	2
A.2.1.1 Estimation de la capacité . . . . .	2
A.2.2 Hypothèses . . . . .	3
A.2.3 Une extension du modèle de Rényi . . . . .	4
A.2.3.1 Estimation de $\lambda$ . . . . .	6
A.2.4 Modèle Markovien . . . . .	6
A.2.5 Simulations . . . . .	7
A.2.5.1 Résultats sur la capacité et l'intensité . . . . .	8
A.2.5.2 Distribution de la position des émetteurs . . . . .	8
A.3 Amélioration de la capacité - Contrôle de puissance . . . . .	12
A.3.1 Présentation du problème . . . . .	12
A.3.2 Algorithme . . . . .	13
A.3.2.1 Motivation . . . . .	13
A.3.2.2 Détails de l'algorithme . . . . .	13
A.3.3 Random packing model . . . . .	14
A.3.4 Simulations . . . . .	14
A.4 Conclusions . . . . .	18
<b>References</b>	<b>21</b>

## CONTENTS

---

# Appendix A

## Version Française

### A.1 Introduction

Avec l'avènement de l'automobile depuis leur création en 1769 [1], l'industrie automobile est devenue l'un des principaux pôles industriels et impacte nos vies quotidiennes. D'après une étude statistique de l'OCIA (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers), environ 84 millions de véhicules ont été produits en 2012 dans le monde. Aux États-Unis, une étude récente de "Motor & Equipment Manufacturers Association" montre que l'industrie automobile est le plus grand domaine industriel avec plus de 734000 employés, et 355 milliards de chiffres d'affaires.

L'économie liée à l'automobile a joué un rôle important dans la croissance mondiale, mais l'avènement de l'automobile a aussi ses inconvénients tels que la pollution, les bouchons, et les accidents. Une étude menée par la "World Health Organization" et la "Chinese Academy for Environmental Planning" sur l'impact de la pollution sur la santé montre qu'entre 350000 et 500000 personnes meurent prématurément chaque année des effets de la pollution. À Jakarta, la capitale de l'Indonésie, où il faut parfois jusqu'à deux heures pour faire un kilomètre, il existe un mot spécial "macet" pour définir les bouchons extrêmes. Au Vietnam, 10000 personnes meurent chaque année dans des accidents de la route.

Améliorer la sécurité routière est devenue une priorité de la recherche automobile. Les inventions des 20-30 dernières années comme la ceinture de sécurité, l'AIR-BAG, l'ABS, etc. vont dans ce sens. Plus récemment, les systèmes d'aides à la conduite ont été développés et permettent d'alerter le conducteur d'une anomalie. Ce type d'applications a mis en avant les bénéfices que pourraient avoir les communications sur la sécurité. Les réseaux ad hoc de

véhicules ont été proposés à ces fins.

Un réseau VANET (Vehicular Ad hoc NETwork) est un réseau composé de véhicules équipés de cartes réseau sans fil. Ils permettent d'étendre la portée des communications au delà de la simple portée radio. Depuis environ 10 ans, la communauté scientifique s'est intéressée à ce problème et a développé des protocoles de diffusion permettant de disséminer efficacement des messages d'alertes dans le VANET. Urban Multi-Hop Broadcast (UMB) [2], et Multi-Hop Vehicular Broadcast (MHVB) [3] en sont des exemples. Mais les applications de sécurité routière ont des contraintes différentes des autres applications. Certaines requiert une bande passante importante, d'autres moins. Une des questions préliminaire aux déploiement de ces applications est donc de savoir ce que le réseau VANET est capable d'offrir en terme de débit, de capacité. Cette thèse tente de répondre à cette question. Ces contributions sont résumées ci-dessous:

- Nous proposons des bornes supérieures théoriques sur le volume qu'est capable de transporter le réseau en terme de kilobits par second et par kilomètre. La borne proposée est atteignable en pratique, et permet donc d'être utilisée comme un vrai outil de dimensionnement pour les applications.
- Nous calculons la distribution de la distance entre les véhicules. Cette quantité permet d'étudier un certain nombre de propriétés radio comme le taux d'erreurs trames, le rapport signal à bruit, etc. Ceci nous offre également un moyen d'optimiser le mécanisme d'accès au medium de la norme IEEE 802.11p.
- Enfin, nous nous intéressons à une application particulière de sécurité routière: perception map application. Celle-ci requiert une capacité importante. La première partie de la thèse ayant montré que celle-ci n'était pas disponible, nous proposons un mécanisme de contrôle de puissance permettant de l'offrir au final.

## A.2 Estimation de la capacité et optimisation

### A.2.1 Définition du problème

#### A.2.1.1 Estimation de la capacité

L'estimation de la capacité est donc fondamentale dans la mesure où elle limite les applications qui pourront être déployées. En conséquences, elle doit être estimée a priori. Elle est définie comme le nombre de kilobits ou Megabits par seconde et par kilomètre que le réseau est capable de transporter. Le principal phénomène limitant la capacité est la réutilisation spatiale du

medium. En effet, avec la technologie prévue pour ces communications, le IEEE 802.11p, tous les noeuds seront sans doute équipés d'une seule carte radio utilisant le même canal. Le canal sera donc partagé dans le temps et dans l'espace. Lorsque deux véhicules sont suffisamment éloignés l'un de l'autre ils peuvent émettre en même temps sans interférer. La possibilité de réutiliser le medium différents endroits est la réutilisation spatiale.

Clear Channel Assessments (CCA) est le sous mécanisme du 802.11p qui fixe cette réutilisation spatiale. En effet, le CCA va indiquer à un noeud si le medium est libre ou non. Il prévoit 3 méthodes:

1. CCA Mode 1: *Energy above threshold*. Le medium est considéré occupé si le niveau d'énergie dépasse un seuil donné (seuil CCA).
2. CCA Mode 2: *Carrier sense only*. Le medium est considéré occupé si un signal 802.11p est détecté (signal ayant la même modulation par exemple).
3. CCA Mode 3: *Carrier sense with energy above threshold*. Le medium est considéré occupé si l'une des deux ou les deux méthodes précédentes ont détectés un medium occupé.

Le CCA s'assure qu'il y a une distance minimale entre les noeuds permettant des transmissions sans erreurs (hormis lorsqu'il y a une collision). Il limite donc le nombre de noeuds qui peuvent utiliser le medium en même temps et donc la capacité du réseau. Dans la suite, nous proposons de modéliser le CCA afin d'offrir une borne sur la capacité.

### A.2.2 Hypothèses

Notre borne modèle le mode 1 du CCA, où c'est le niveau d'énergie, c'est à dire la somme des interférences qui est pris en compte. Avec ce mode, le medium sera supposé libre si le niveau d'interférences est inférieures au seuil  $\theta$  (seuil CCA). Nous considérons une fonction d'atténuation  $l(\cdot)$  qui donne la puissance en réception en fonction de la distance à l'émetteur. On suppose que  $l(\cdot)$  est continue, positive, dérivable, décroissante et que  $l(0) > \theta$  et  $\lim_{u \rightarrow +\infty} l(u) = 0$ . Ces hypothèses sont vérifiées pour la plupart des fonctions d'atténuations de la littérature, en particulier pour les fonctions  $l(u) = P_t \min(1, c/u^\alpha)$  avec  $P_t$  la puissance d'émission ( $P_t > \theta$ ), et où  $c$  et  $\alpha$  sont deux constantes positives.

Nous supposons que les interférences  $I(x)$  à  $x$  ( $x \in \mathbb{R}^+$ ) sont générées par les deux émetteurs les plus proches:

$$I(x) = l(x - L_e) + l(R_i - x) \tag{A.1}$$

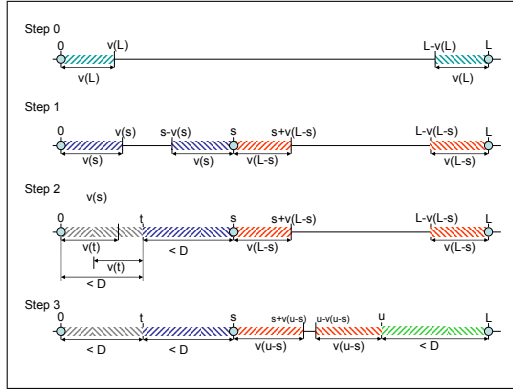
## A. VERSION FRANÇAISE

où  $Le$ ,  $Ri$  sont les deux noeuds transmettant les plus proches de  $x$ , plus proche sur la gauche ( $Le$ ) et sur la droite ( $Ri$ ).

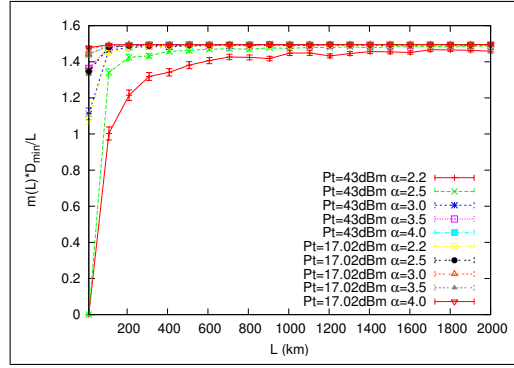
Le medium sera donc libre si:

$$I(x) = l(x - Le) + l(Ri - x) < \theta \quad (\text{A.2})$$

### A.2.3 Une extension du modèle de Rényi



(a) A sample of our model.



(b) Convergence of  $\frac{m(L)D}{L}$  as  $L$  increases for  $l(u) = P_t \cdot \min(c, \frac{c}{u^\alpha})$  and different value of  $\alpha$  and  $P_t$ .  $D$  is the solution of  $2l(\frac{D}{2}) = \theta$  with  $\theta = -99dBm$ .

Nous invitons le lecteur à lire la thèse dans son intégralité pour obtenir une description du modèle originale de Rényi. Notre extension consiste à prendre en compte les interférences dans la sélection des noeuds plutôt qu'une distance fixe. Nous considérons une autoroute ou une route de taille  $L$ . Le modèle donne une borne supérieure sur le nombre de transmetteurs simultanés sur cet intervalle.

Autour de chaque émetteur il y a une boule d'inhibition où les interférences sont supérieures au seuil  $\theta$ . Ces intervalles correspondent aux rectangles hachurés dans la figure A.1(a). Ils sont asymétriques. Nous définissons une fonction  $v(s)$  pour décrire ces intervalles. Pour  $s$  ( $s > 0$ ) distance entre deux émetteurs successifs, les interférences pour un point  $u$  entre ces deux émetteurs sera  $l(u) + l(s - u)$ . La distance minimale  $v(s)$  pour qu'un noeud au milieu puisse détecter le medium libre est donc:

$$l(v(s)) + l(s - v(s)) = \theta \quad (\text{A.3})$$



## A.2 Estimation de la capacité et optimisation

---

Cette equation a un sens uniquement si  $s$  est suffisamment grand ( $s > 2 \cdot v(s)$ ). Cette distance minimale est notée  $D$  avec  $D$  solution de  $2 \cdot l(\frac{D}{2}) = \theta$ .

Nous pouvons maintenant décrire le processus de construction de notre modèle (un exemple est donné figure A.1(a)):

- Step 0 (initialization): deux points sont positionnés en 0 et  $L$ .
- Step 1: un nouveau point est uniformément distribué dans  $[v(L), L - v(L)]$ , à  $s$  dans notre exemple. Il y a deux nouveaux intervalles où des nouveaux points peuvent être placés:  $[0, s]$  et  $[s, L]$ .
- Step 2: un nouveau point est uniformément distribué dans  $[v(s), s - v(s)]$ , à  $t$ . Les intervalles à droite et à gauche de  $t$  étant plus petit que  $D$  aucun autre point ne peut rajouter dans ces 2 intervalles.
- Step 3: un nouveau point  $u$  est uniformément distribué dans  $[s + v(L - s), L - v(L - s)]$ .
- Step 4: L'intervalle à droite de  $u$  est plus petit que  $D$ . Mais un nouveau point peut rajouté sur la gauche, dans l'intervalle  $[s + v(u - s), u - v(u - s)]$ . Cela n'est pas montré sur la figure. Ce dernier point est le dernier du processus.

Nous notons  $m(L)$  le nombre moyen de points dans l'intervalle  $[0, L]$ . Malheureusement son calcul exacte est, à notre connaissance, impossible. Cependant nous pouvons montrer sa convergence.

### Proposition 1

$$\lim_{L \rightarrow +\infty} \frac{m(L)}{L} = \lambda \tag{A.4}$$

$\lambda$  est une constante positive.

La constante  $\lambda$  peut être utilisée pour évaluer le nombre de transmetteurs simultanés et la capacité du réseau. En effet,  $m(L)$  peut être évalué comme  $\lambda L$ . Nous obtenons donc:

$$Capacity(L) = \frac{\lambda L}{T} \tag{A.5}$$

où  $T$  est le temps moyen d'émission d'une trame.

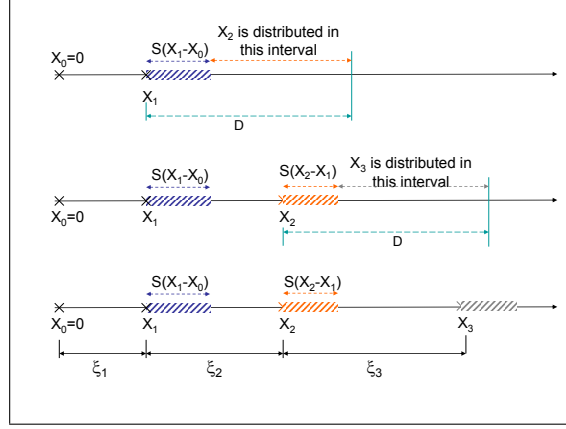


Figure A.1: Notations du modèle.

### A.2.3.1 Estimation de $\lambda$

Nous proposons une estimation de  $\lambda$  qu'une peut être déduite directement de la capacité. Sur la figure A.1(b), nous traçons  $\frac{m(L)D}{L}$  en fonction de  $L$ . La fonction d'atténuation considérée est  $l(u) = P_t \cdot \min(c, \frac{c}{u^\alpha})$  ( $c = -46.6\text{dBm}$ ). Deux puissances de transmissions ont été pris en compte,  $P_t = 17.02\text{dBm}$  et  $P_t = 43\text{dBm}$ , et différents exposants  $\alpha$ . Nous observons que toutes les courbes convergent vers la même constante 1.49. Cette convergence vers une constante universelle nous permet d'estimer la capacité de la manière suivante:

$$\lim_{L \rightarrow +\infty} \frac{m(L)}{L} = \lambda \approx \frac{\gamma}{D} \quad (\text{A.6})$$

avec  $\gamma = 1.49$  et  $D$  solution de  $l(\frac{D}{2}) = \theta$ .

Et finalement nous obtenons:

$$\text{Capacity}(L) = \frac{\gamma L \text{Packet\_Size}}{DT} \quad (\text{A.7})$$

### A.2.4 Modèle Markovien

L'idée de ce modèle est d'obtenir la distribution spatiale des émetteurs simultanés afin de calculer des propriétés plus fines du canal radio comme le taux d'erreurs trames, le SINR, etc. Le modèle consiste en un processus Markovien à valeurs continues  $(X_n)_{n \geq 0}$  avec  $X_n \in \mathbb{R}^+$ . Ce processus décrit la position des émetteurs et doivent donc respecter les règles du CCA:

- Critère 1: les interférences au point  $X_n$  (donnée par l'équation (A.1)) est inférieure au seuil  $\theta$ .

- Criterion 2: les interférence à n'importe quel autre point de  $\mathbb{R}^+ \setminus \{X_n\}_{n \geq 0}$  est plus grand que  $\theta$ .

Ces deux contraintes nous permettent de définir les intervalles dans lesquels sont distribués les variables aléatoires:  $X_n \in [X_{n-1} + S(X_{n-1} - X_{n-2}), X_{n-1} + D]$ , avec  $S(u)$  défini par:

$$l(u) + l(S(u)) = \theta \quad (\text{A.8})$$

et  $D$  solution de:

$$2 \cdot l\left(\frac{D}{2}\right) = \theta \quad (\text{A.9})$$

Pour des raisons pratiques nous définissons  $\xi_i = X_i - X_{i-1}$ , avec  $\xi_n$  distribué dans  $[S(\xi_{n-1}), D]$ . Nous considérons deux distributions différentes des points dans ces intervalles. La fonction de densité  $f_{\xi_n | \xi_{n-1}}(\cdot)$  de  $\xi_n = X_n - X_{n-1}$  sachant  $\xi_{n-1} = X_{n-1} - X_{n-2}$  sont données par:

$$f_{\xi_n | \xi_{n-1}=s}(u) = \frac{1}{D - S(s)} 1_{u \in [S(s), D]} \quad (\text{A.10})$$

où  $1_{u \in [S(s), D]}$  est la fonction indicatrice, et

$$g_{\xi_n | \xi_{n-1}=s}(u) = \left( \frac{-2}{(D - S(s))^2} u + \frac{2D}{(D - S(s))^2} \right) 1_{u \in [S(s), D]} \quad (\text{A.11})$$

La distribution stationnaire est donnée dans la proposition ci-dessous.

**Theorem 1** *Le processus  $(\xi_n)_{n \geq 0}$  défini ci-dessus est une chaîne de Markov. Les distributions stationnaires (des deux fonctions de densités) sont  $\pi_1(s)$  et  $\pi_2(s)$  avec:*

$$\pi_1(s) = a_1 \cdot (D - S(s)) 1_{s \in [S(D), D]} \quad (\text{A.12})$$

$$\pi_2(s) = a_2 \cdot (D - s)(D - S(s))^2 1_{s \in [S(D), D]} \quad (\text{A.13})$$

où  $a_1, a_2$  sont des facteurs de normalisations. La chaîne  $(\xi_n)_{n > 0}$  converge en total variation vers la distribution  $\pi_1(s)$  (où  $\pi_2(s)$ ) pour n'importe quelle distribution de  $\xi_1$  dans  $[S(D), D]$ .

### A.2.5 Simulations

Nous présentons dans ce paragraphe les résultats de simulations. Le paramétrage des modèles radios ont été effectué à partir d'expérimentations non présentées dans ce résumé. Voici les deux scenarios:

## A. VERSION FRANÇAISE

---

- *Default parameters case:* autoroute de 20 km. Pour ces simulations nous prenons les paramètres par défaut du simulateur NS-3. Les autres paramètres sont donnés dans la table A.1.
- *Experimentation parameters case:* autoroute de 20 km. Ce scenario prend en compte les résultats des expérimentations. Les autres paramètres sont donnés dans la table A.2.

Pour chaque scenario, nous avons considéré deux types de trafic routier: une distance constante entre les véhicules, et des trajectoires de véhicules issues d'un simulateur de trafic.

Theoretical and NS-3 Parameters	Numerical Values
IEEE 802.11std	802.11p - CCH channel
Path-loss function	$l(d) = P_t \cdot \min\left(1, \frac{10^{-4.5677}}{d^3}\right)$
CCA mode	CCA mode 1
ED Threshold ( $\theta$ )	-99 dBm
Emission power $P_t$	43 dBm
Antenna gain	1 dBm
Number of samples per point	100
Length of the packet	1024 bytes
Duration of the simulation	2 sec
$D$	4093.7 m
Road length (d)	20 km
aTimeslot	13 $\mu$ s
SIFS	32 $\mu$ s

**Table A.1:** Simulation parameters on default case.

### A.2.5.1 Résultats sur la capacité et l'intensité

Dans les figures A.2 et A.4, nous pouvons observer le nombre moyen de transmetteurs simultanés comparés à notre borne analytique et au modèle Markovien. La capacité est quand à elle représentée sur les figures A.3 et A.5.

Comme nous pouvons l'observer sur ces figures le "packing model" nous donne une estimation très précise de la capacité. La différence entre le modèle Markovien est un peu plus important mais reste très correcte: seulement 0.78%.

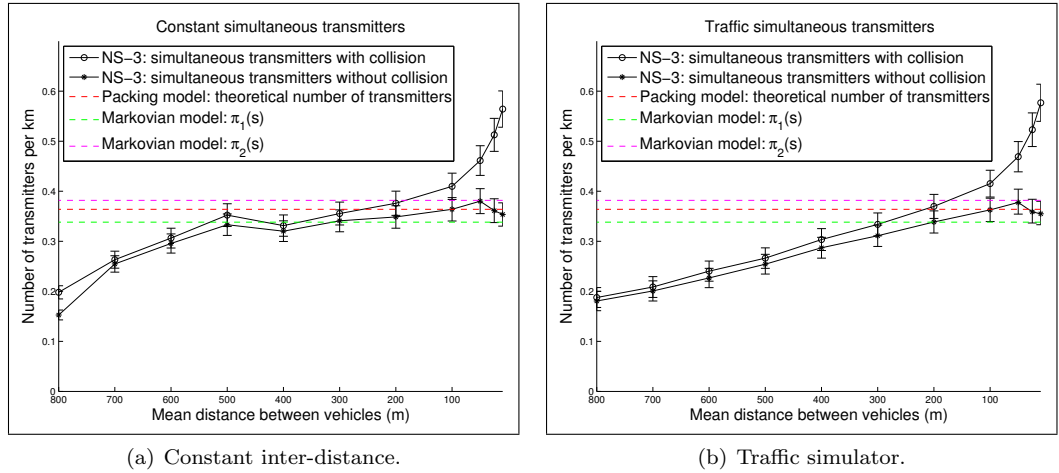
### A.2.5.2 Distribution de la position des émetteurs

Sur les figures A.6 et A.7, nous pouvons observer la distribution des distances. Les abscisses sont l'intervalle  $[S(D), D]$ . Pour certaines courbes nous avons filtré certains échantillons, sans

## A.2 Estimation de la capacité et optimisation

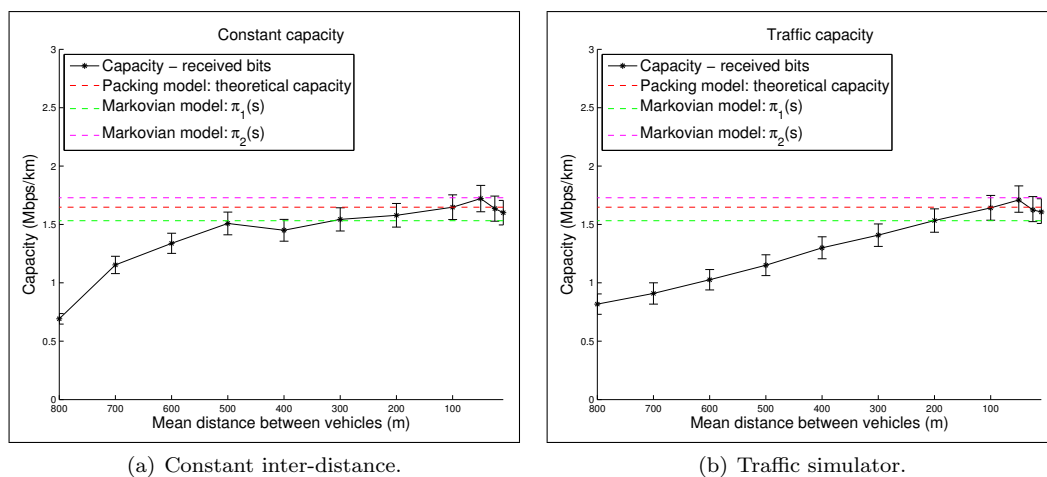
Theoretical and NS-3 Parameters	Numerical Values
IEEE 802.11std	802.11p - CCH channel
Path-loss function	$l(d) = P_t \cdot \min\left(1, \frac{10^{-5.3976}}{d^{1.9596}}\right)$
CCA mode	CCA mode 1
ED Threshold ( $\theta$ )	-99 dBm
Emission power $P_t$	30 dBm
Antenna gain	3 dBm
Number of samples per point	100
Length of the packet	1024 bytes
Duration of the simulation	2 sec
$D$	3216.7 m
Road length (d)	20 km
ATimeSlot	13 $\mu$ s
SIFS	32 $\mu$ s

**Table A.2:** Simulation parameters on experimentation case.

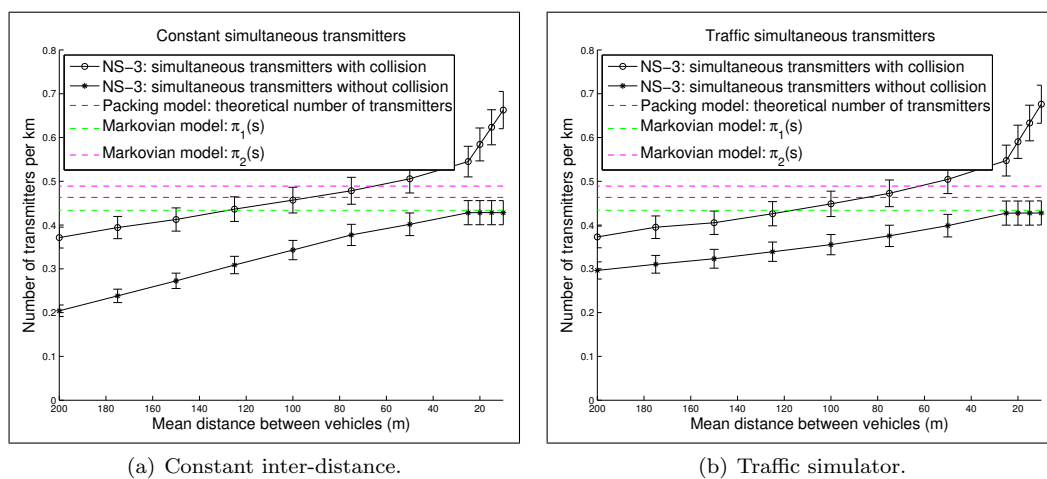


**Figure A.2:** Scenario with NS-3 default parameters: simultaneous transmitters.

## A. VERSION FRANÇAISE



**Figure A.3:** Scenario with NS-3 default parameters: capacity.



**Figure A.4:** Scenario with experimentation parameters: simultaneous transmitters.

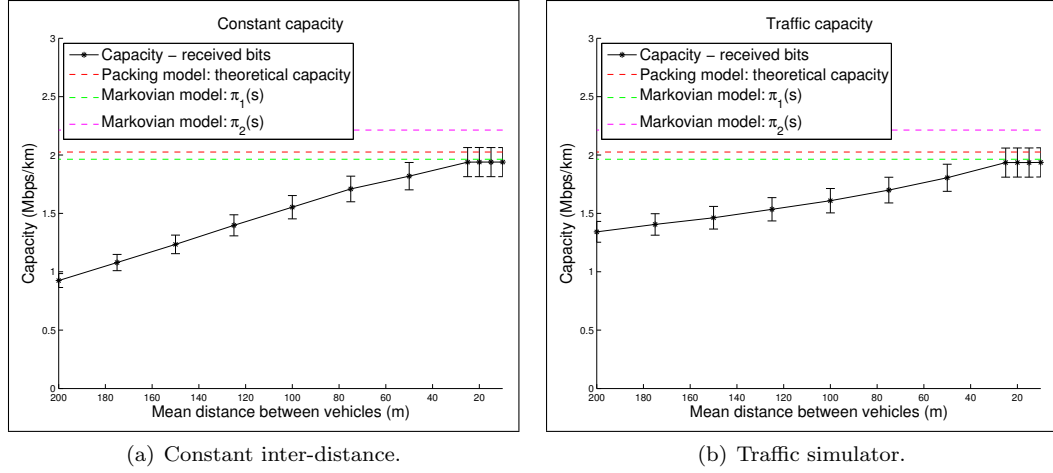


Figure A.5: Scenario with experimentation parameters: capacity.

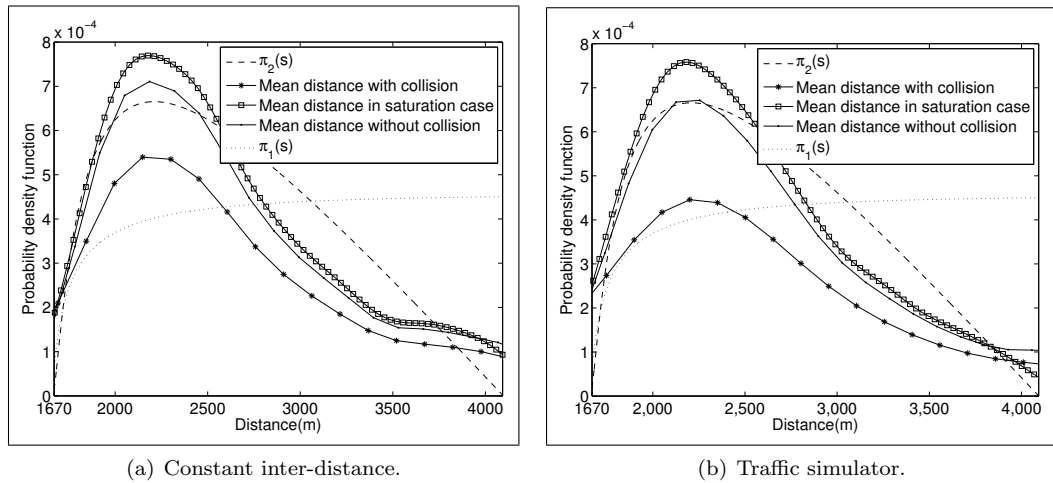
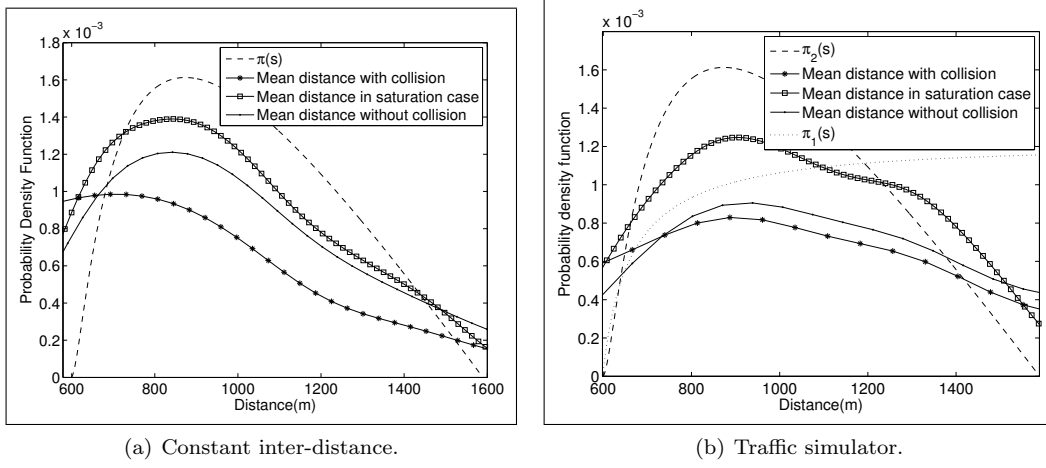


Figure A.6: Scenario with NS-3 default parameters: simultaneous transmitters.



**Figure A.7:** Scenario with experimentation parameters: capacity.

collisions qui néglige les distances  $< S(D)$ , saturation qui néglige les distances  $> D$ .

Comme on peut le voir les simulations montrent des résultats proches du modèle Markovien, particulièrement dans le cas saturé. Toutefois, nous observons une différence. En effet, il est très difficile d'atteindre la saturation totale comme nous l'avons modéliser car lorsque il y a saturation il y a des collisions, et parfois le medium est libre à certains endroits car des noeuds qui pourraient émettre ne le font pas (par ce qu'ils sont dans le back-off 802.11 par exemple). De plus, lorsque nous considérons un trafic routier réaliste, le trafic n'est pas homogène, il peut y avoir des zones très dense (embouteillages) suivit de zones très éparées où le medium peut être libre du fait de la non présence de véhicules.

### A.3 Amélioration de la capacité - Contrôle de puissance

#### A.3.1 Présentation du problème

Certaines applications de sécurité routière collectent des informations mesurées localement au travers de capteurs. Ces informations peuvent permettre de détecter et d'anticiper des situations dangereuses ou d'aider le conducteur dans sa conduite et ses décisions. L'application "perception map" [65] appartient cette famille d'application. L'idée est d'utiliser le réseau VANET pour étendre la vision du véhicule. Les données capteurs sont alors échangées de manière périodique. Mais ces données ne sont pertinentes qu'à de courtes distances, de l'ordre de 50-100m. De plus ces données doivent être échangées à de grandes fréquences. L'idée est donc de proposer un



### A.3 Amélioration de la capacité - Contrôle de puissance

Neighbor ID	Up-link	Down-link	local time out
192.168.0.1	-75 dBm	-54 dBm	$timeout_1$
192.168.0.3	-60 dBm	-59 dBm	$timeout_2$
...	...	...	...

**Table A.3:** Example of a *LocalNeighborsList*.

Parameters	Values
Application packet frequency	Varying
HELLO_INTERVAL	1 second
LOCAL_TIMEOUT	3× Packet frequency (0.3 sec)
GLOBAL_TIMEOUT	3× HELLO_INTERVAL (3.0 sec)
$P_{max}$	33
$\theta$	-90 dBm
$d_{ref}$	50 meters
$\Delta$	1 dBm

**Table A.4:** Default values of the power control algorithm.

système de contrôle de puissance. Celui-ci permet de diminuer la puissance d'émission pour s'adapter aux courtes mises en jeux ici. La réutilisation spatiale peut ainsi être augmentée et donc la capacité. Notre algorithme vise à diminuer le plus possible la puissance d'émission tout en garantissant que tous les véhicules à moins d'une certaine distance reçoivent correctement les trames.

## A.3.2 Algorithme

### A.3.2.1 Motivation

Notre algorithme est conçu pour l'application "perception map" et s'applique donc uniquement à ses paquets. L'algorithme prévoit 3 procédures: met à jour la liste des voisins à moins de  $d_{ref}$  mètres, surveille la qualité des réceptions pour ces noeuds, et augmente ou diminue la puissance d'émission en fonction de ces informations.

### A.3.2.2 Détails de l'algorithme

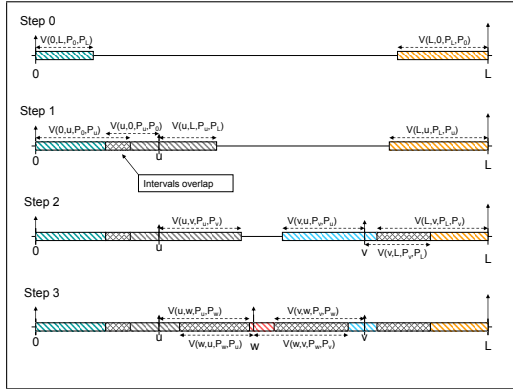
Nous supposons que tous les noeuds sont équipés de GPS. Chaque noeud gère deux listes de noeuds, une liste globale des noeuds à portée radio (pour la puissance d'émission maximale) et

## A. VERSION FRANÇAISE

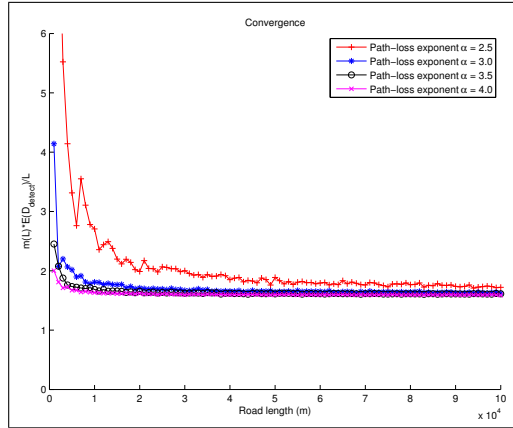
la liste des voisins à moins de  $d_{ref}$ . La gestion de la première liste n'est pas décrite ici car elle est très classique et est basée sur un système de HELLOs.

L'autre liste est notée *LocalNeighborsList*. La liste contient les identifiants des noeuds, la qualité up et down-link, et un temporisateur. Un exemple de cette liste est montré table A.3. Le temporisateur a pour but de mettre à jour ou de supprimer un voisin de cette liste quand il n'y a aucun message reçu. La qualité du lien peut être la puissance en réception, le SNR, le SINR. Il peut aussi s'agir du RSSI (Radio Signal Strength Indicator) car il est souvent disponible. La qualité du lien est mis à jour lors de la réception des paquets. Quand un noeud envoie un paquet, il y joint sa position et cette liste. Ces informations permettent au récepteur de mettre à jour la position de ces voisins et d'adapter sa puissance d'émission lorsqu'il voit que ses voisins ne reçoivent pas correctement les paquets. L'algorithme prévoit 3 procédures. Elles sont détaillées dans les tables 1, 2 et 3.

### A.3.3 Random packing model



(a) Random packing model example.



(b) Convergence of  $\frac{m(L)\mathbb{E}[D_{detect}]}{L}$  for different path-loss function parameters.

### A.3.4 Simulations

Nous avons proposé un modèle similaire au packing model présenté précédemment. La principale différence est que la puissance d'émission est décrit au travers d'une variable aléatoire. La borne offerte par ce modèle est comparée à des simulations réalisées avec NS-3.

Les paramètres de simulations sont données dans la table A.5.

```

void Reception()
begin
    Extract from the received packet, the LocalNeighborsList and the transmitter
    Location;
    Update the sender location in the global neighbors list;
    if distance(transmitter, receiver) > dref then
        /* This transmitter is too far with regard to the application */
        Discard this packet;
        Remove the transmitter from the receiver LocalNeighborsList if present;
    else
        if the transmitter ID is in the receiver LocalNeighborsList then
            if the local node ID is not in the transmitter LocalNeighborsList then
                /* The local node is not in the list of this neighbor: add  $\Delta$ 
                dBm */
                TxPower +=  $\Delta$ ;
            else
                /* This transmitter is a new neighbor */
                Add to the receiver LocalNeighborsList a new entry with the ID of this
                transmitter;
                Update this entry with up-link quality extracted from the transmitter
                LocalNeighborsList if present;
            /* Update information for this neighbor in the receiver
            LocalNeighborsList */
            Update local timeout for this transmitter;
            Update the down-link quality according to the reception power for this transmitter;
        end
    end

```

---

**Algorithm 1:** Procedure called at the reception of a probe packet

---

## A. VERSION FRANÇAISE

---

```

void Transmission()
begin
  if Some nodes in the global neighbor list lie at distance <  $d_{ref}$  but are not present in
  the LocalNeighborsList then
    TxPower +=  $\Delta$ ;
  else
    if All of the up-link quality in LocalNeighborsList  $\geq \theta$  then
      TxPower -=  $\Delta$ ;
    Insert location and LocalNeighborsList of the local node into the probe packet;
    Transmit the packet;
end

```

**Algorithm 2:** Transmit sub-procedure

---

```

void LocalTimeoutExpiration()
begin
  if the neighbor for which the timer expires is at a distance less than  $d_{ref}$  according to
  the global neighbor list then
    TxPower +=  $\Delta$  ;
    Update the local timeout for this neighbor;
  else
    remove the neighbor for which the timer has expired from the LocalNeighborsList;
end

```

**Algorithm 3:** Function called at a local time out expiration

---

Theoretical and NS-3 Parameters	Numerical Values
IEEE 802.11std	802.11p - CCH channel
Path-loss function	$l(d) = P_t \cdot \min\left(1, \frac{10^{-4.5677}}{d^3}\right)$
CCA mode	CCA mode 1
ED Threshold ( $\theta$ )	-99 dBm
Emission max power $P_{max}$	33 dBm
Antenna gain	3 dBm
Number of samples per point	100
Broadcast packet (probe) size	1024 bytes
Uni-cast packet size	1024 bytes
Duration of the simulation	3 sec
Road length (d)	15 km
DIFS	34 $\mu$ s
SIFS	16 $\mu$ s

**Table A.5:** Simulation parameters.

### A.3 Amélioration de la capacité - Contrôle de puissance

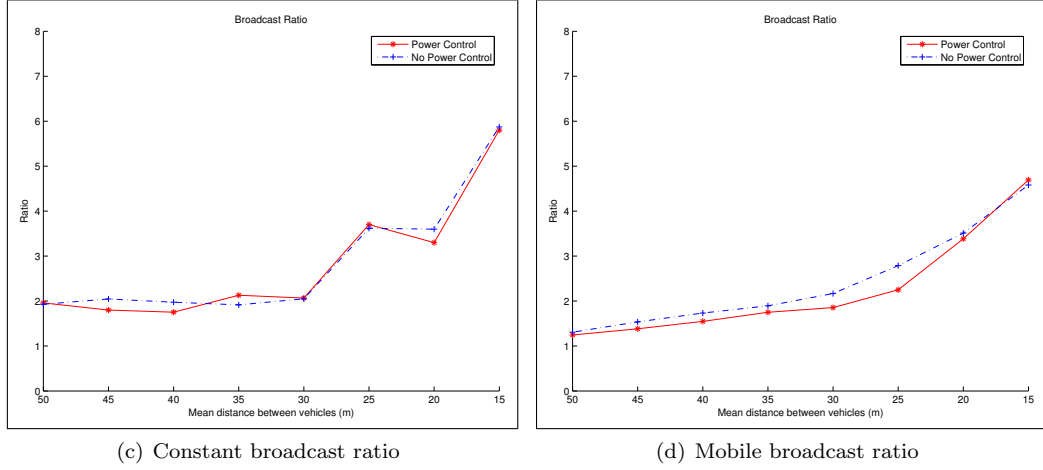


Figure A.8: Broadcast ratio for constant and mobile case in pure broadcast scenarios.

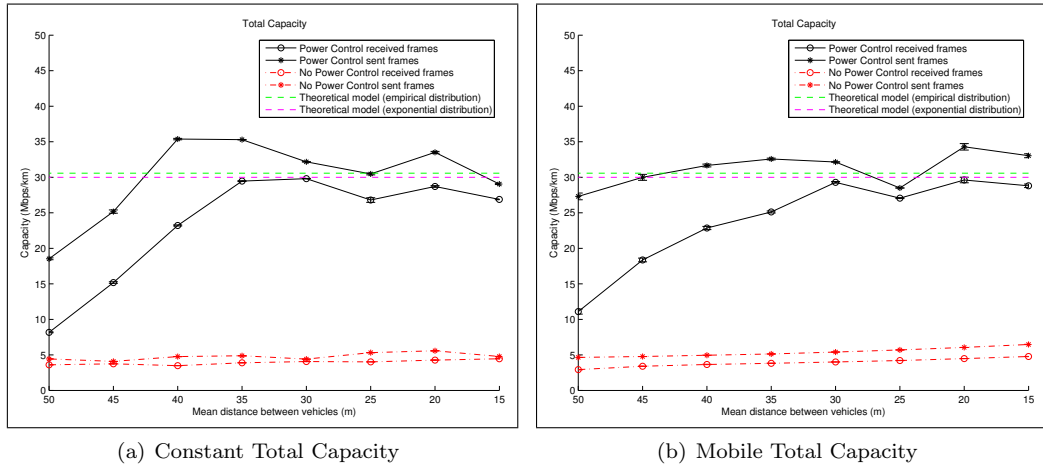


Figure A.9: Total capacity for constant and mobile case in pure broadcast scenarios.

Dans les figures ci-dessus, nous pouvons observer deux quantités: le ratio du nombre de réceptions avec et sans contrôle de puissance, et la capacité. La première quantité permet de voir si il y a une perte au niveau des réceptions par rapport au cas où la puissance maximale est utilisée. Les graphiques montrent bien que ce n'est pas le cas, et prouvent l'efficacité de notre algorithme. Pour la capacité, on peut observer une augmentation très significative de celle-ci, jusqu'à 10 fois.

### A.4 Conclusions

Dans cette thèse nous avons abordé la question de l'estimation de la capacité dans les réseaux de véhicules. Avec la technologie 802.11p, celle qui devrait être utilisée en pratique dans nos véhicules, la capacité est principalement limitée par la réutilisation spatiale. Nous avons donc cherché à offrir des modèles qui permettent d'approcher de manière précise cette réutilisation spatiale.

La première contribution est la proposition d'une extension au fameux "packing" problème de Erdos Rényi. Le second modèle est basé sur une chaîne de Markov. Celui-ci est moins directe dans son estimation mais permet de calculer analytiquement la distance entre les émetteurs. Au delà de la capacité, il permet donc d'évaluer des quantités liées à la qualité radio comme les interférences, le SINR, le taux d'erreur trames, etc. Tous ces modèles ont été évalués de manière la plus réaliste possible afin de voir si ils pouvaient vraiment être utilisés comme un outil de dimensionnement pour les applications. Nous avons commencé par effectuer des expérimentations au laboratoire LIVIC sur de vrais véhicules afin d'élaborer un modèle radio vraiment pertinent. Ce modèle radio a été implémenté dans NS-3. Les résultats montrent que les bornes théoriques sont atteignables en pratique, dans des conditions de saturation. Nous avons également proposé une optimisation du CSMA/CA basé sur le modèle Markovien qui s'est avéré pertinent au vu des simulations.

La dernière partie de la thèse a consisté à proposer un algorithme de contrôle de puissance permettant l'amélioration de la capacité.

Il y a plusieurs pistes d'améliorations à ces travaux. La première porte sur le calcul analytique de la limite du nombre de transmetteurs par km. Celle-ci a été calculée par simulation. Un travail intéressant serait de calculer analytiquement cette constante. Pour le modèle Markovien, nous avons fixé la fonction de transition en fonction d'observation. Une extension de ce travail pourrait consister à calculer cette fonction de manière plus formelle.

D'autres améliorations pourraient être apportées à l'algorithme de contrôle de puissance. Son paramétrage pourrait être adaptatif, et il serait intéressant de l'implémenter sur une plateforme réelle afin de l'évaluer.

---