

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

Équité dans une chaîne de stations IEEE 802.11

B. Ducourthial, Y. Khaled, S. Mottelet

Laboratoire Heudiasyc (UMR UTC-CNRS 6599)
Laboratoire de Mathématiques Appliquées (EA 2222)
Université de Technologie de Compiègne

mai 2006



- 1 Problématiques autour de la norme IEEE 802.11
- 2 Cas d'étude : scénario des 3 paires
- 3 Simulation avec plus paires
- 4 Modélisation
- 5 Analyse
- 6 Perspectives pour l'amélioration de l'équité



- 1 Problématiques autour de la norme IEEE 802.11
- 2 Cas d'étude : scénario des 3 paires
- 3 Simulation avec plus paires
- 4 Modélisation
- 5 Analyse
- 6 Perspectives pour l'amélioration de l'équité



Problématique des réseaux sans fil

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

4. couche transport

3. couche réseau

2. couche liaison

1. couche physique

- Structuration en couches
International Organization for Standardization (ISO)
Open Systems Interconnection (OSI)
Basic Reference Model (ISO/IEC 7498-1 : 1994)



Problématique des réseaux sans fil

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

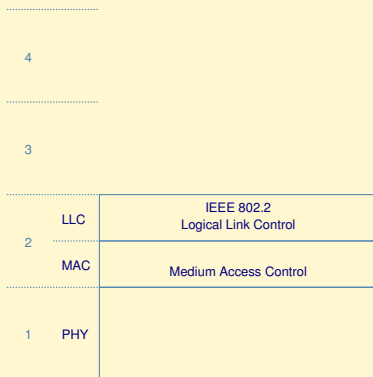
Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives



- Spécification des couches basses
LAN MAN Standards Committee
IEEE Std 802 Overview and Architecture



Problématique des réseaux sans fil

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

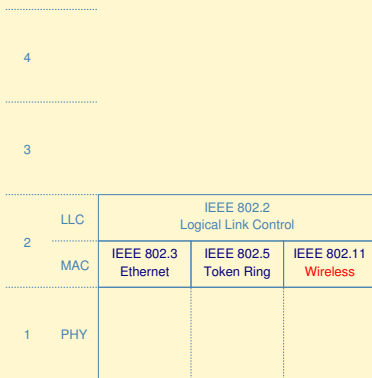
Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives



- Différentes techniques d'accès au médium



Problématique des réseaux sans fil

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

4		<i>TCP over wireless?</i>		
3		<i>ad hoc routing algorithms?</i>		
2	LLC	IEEE 802.2 Logical Link Control		
	MAC	IEEE 802.3 Ethernet	IEEE 802.5 Token Ring	IEEE 802.11 <i>wireless access?</i>
1	PHY			

- Problématiques de recherche des réseaux sans fil
 - transport d'un flot de données
 - routage OLSR, AODV, HOP...
 - accès au médium : performance, équité...

Accès au médium de communication

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

	LLC	IEEE 802.2 Logical Link Control		
2	MAC	IEEE 802.3 Ethernet	IEEE 802.5 Token Ring	IEEE 802.11 <i>wireless access?</i>
1	PHY			



Accès au médium de communication

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

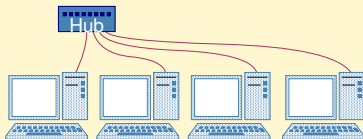
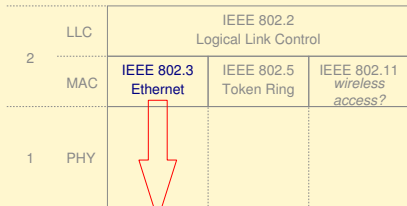
Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives



Accès au médium de communication

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

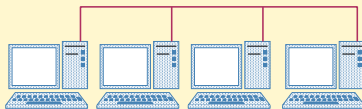
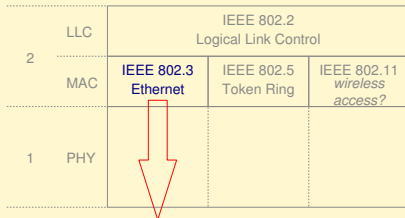
Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives



- CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection

- écoute du médium avant émission
- émission et écoute de ce que l'on émet
- si collision, attente d'un délai aléatoire



Accès au médium de communication

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

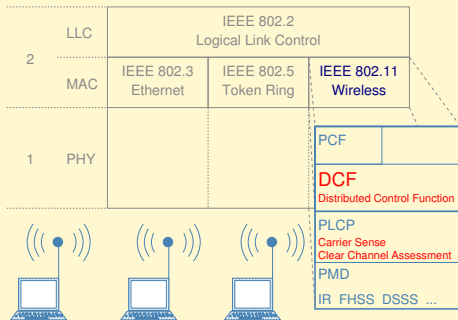
Cas d'étude :
scénario des 3
pairs

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives



- CSMA/CA

Carrier Sense Multiple Access / Collision **A**voidance

- écoute du médium avant émission
- attente préventive d'un délai fixe
Inter Frame Space, dépend de la situation
- délai aléatoire si le médium était occupé
décrémenté si médium libre pendant *aSlotTime*

Problèmes d'équité dans l'accès au médium

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- Spécificités de IEEE 802.11
 - détection de collision
une station ne peut détecter la collision en écoutant ce qu'elle émet
 - phénomène de localité
une station ne "voit" pas l'ensemble des stations
- Conséquences
 - attente préventive
dans la procédure DCF de la couche MAC
 - inéquité spatiale
- Littérature
 - mise en évidence de défauts (inéquité)
 - étude de performances
 - proposition de nouvelles couches MAC

[cf. références dans le rapport]



① Problématiques autour de la norme IEEE 802.11

② Cas d'étude : scénario des 3 paires

③ Simulation avec plus paires

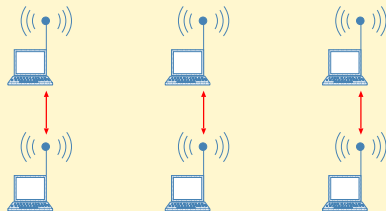
④ Modélisation

⑤ Analyse

⑥ Perspectives pour l'amélioration de l'équité



Problème des trois paires



- scénario d'inégalité spatiale
- accentué par l'utilisation des délais IFS étendus
[Dhoutaut Guérin-Lassous 2002]
- modélisation et étude *via* des chaînes de Markov
[Chaudet Guérin-Lassous 2004]



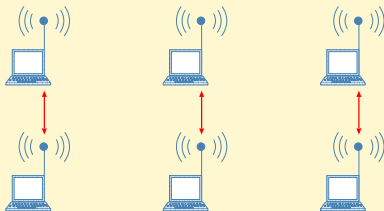
Problème des trois paires

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

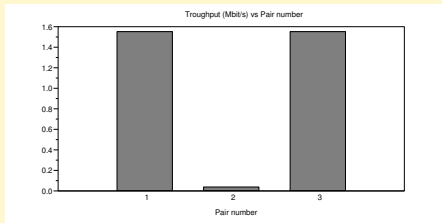


Simulations

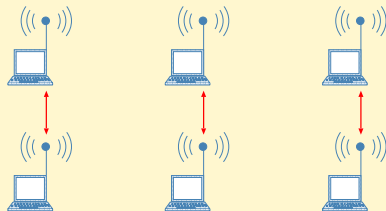
Modélisation

Analyse

Perspectives



Problème des trois paires

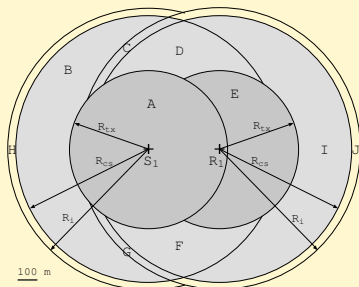


- notre contribution
 - extension du contexte
 - généralisation à plus de trois paires
 - modélisation non Markovienne
 - étude analytique
 - applications pour améliorer l'équité



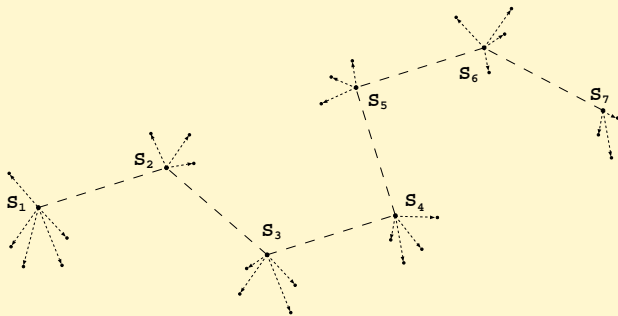
- Délais étendus non nécessaires

Exemple : carte Lucent Orinoco 802.11b en environnement extérieur avec un débit de 2 Mbits/s



Extension du contexte

- Délais étendus non nécessaires
- Chaîne de stations émettrices



- 1 Problématiques autour de la norme IEEE 802.11
- 2 Cas d'étude : scénario des 3 paires
- 3 Simulation avec plus paires
- 4 Modélisation
- 5 Analyse
- 6 Perspectives pour l'amélioration de l'équité



Généralisation à plus de 3 paires

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

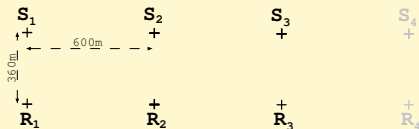
Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- simulation sous ns-2
- paramètres d'une carte Lucent Orinoco 802.11b en environnement extérieur :



Généralisation à plus de 3 paires

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

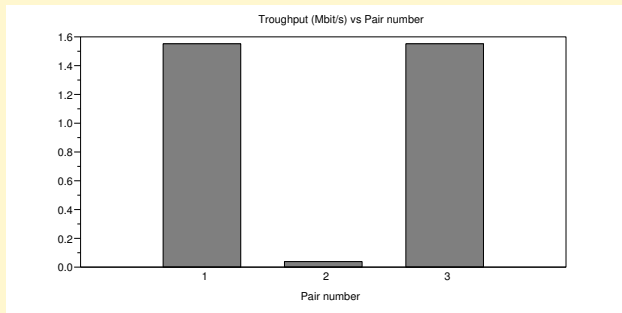
Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- simulation sous ns-2
- paramètres d'une carte Lucent Orinoco 802.11b en environnement extérieur :
- résultats :
 - influence de la parité du nombre n de paires
 - phénomène asymptotique



Généralisation à plus de 3 paires

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

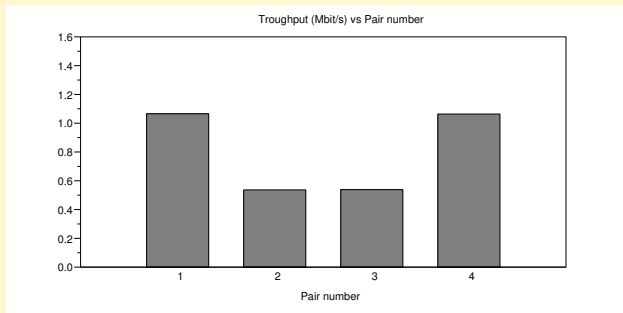
Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- simulation sous ns-2
- paramètres d'une carte Lucent Orinoco 802.11b en environnement extérieur :
- résultats :
 - influence de la parité du nombre n de paires
 - phénomène asymptotique



Généralisation à plus de 3 paires

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

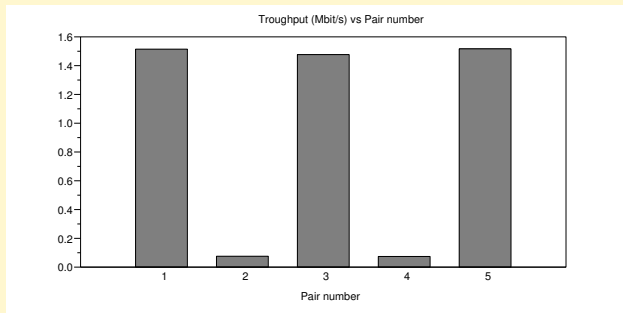
Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- simulation sous ns-2
- paramètres d'une carte Lucent Orinoco 802.11b en environnement extérieur :
- résultats :
 - influence de la parité du nombre n de paires
 - phénomène asymptotique



Généralisation à plus de 3 paires

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

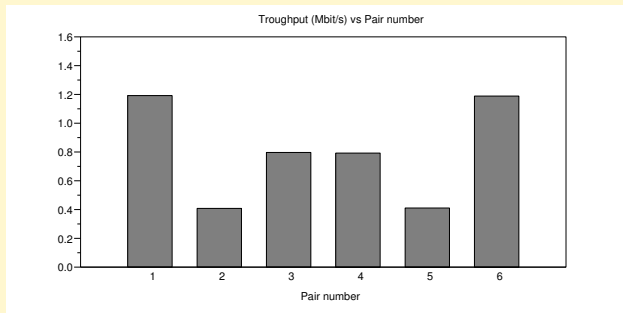
Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- simulation sous ns-2
- paramètres d'une carte Lucent Orinoco 802.11b en environnement extérieur :
- résultats :
 - influence de la parité du nombre n de paires
 - phénomène asymptotique



Généralisation à plus de 3 paires

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

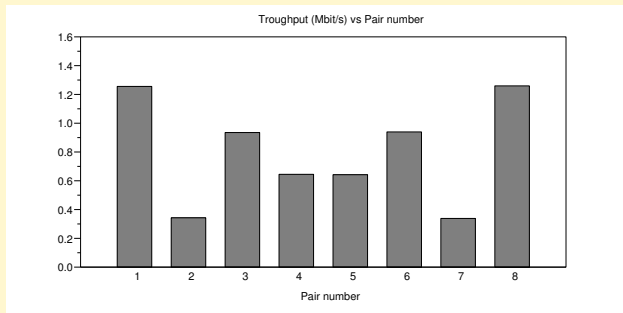
Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- simulation sous ns-2
- paramètres d'une carte Lucent Orinoco 802.11b en environnement extérieur :
- résultats :
 - influence de la parité du nombre n de paires
 - phénomène asymptotique



Généralisation à plus de 3 paires

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

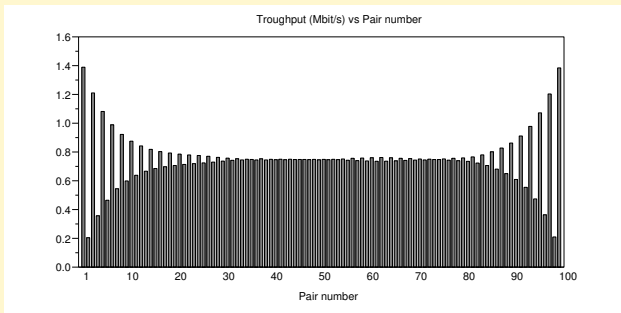
Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- simulation sous ns-2
- paramètres d'une carte Lucent Orinoco 802.11b en environnement extérieur :
- résultats :
 - influence de la parité du nombre n de paires
 - phénomène asymptotique



- 1 Problématiques autour de la norme IEEE 802.11
- 2 Cas d'étude : scénario des 3 paires
- 3 Simulation avec plus paires
- 4 Modélisation**
- 5 Analyse
- 6 Perspectives pour l'amélioration de l'équité



Modèle analytique simple

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

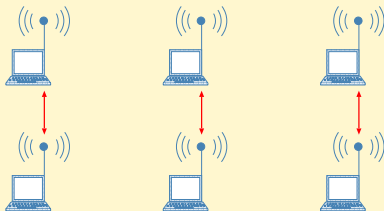
Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives



- Modèle simple, extensible (non Markovien)

$$x_i = \alpha(1 - x_{i-1})(1 - x_{i+1}), \quad i = 1 \dots n$$

- Justification intuitive

- écoute avant émission

↪ *une paire ne peut émettre que si ses voisines n'émettent pas*

- attente préventive

↪ *une paire n'utilise pas la totalité de son temps*
→ *proportion α , avec $0 < \alpha < 1$*

- Justification formelle

- processus aléatoires



Validation du modèle (1/2)

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- simulation ns-2 : $r_i(t, n)$
débit d'une paire i dans une chaîne de n stations
pour une taille de paquet t
- modèle analytique \rightsquigarrow simulations scilab : $x_i(\alpha, n)$
% du temps en émission pour une paire i dans une chaîne
de n stations avec une proportion d'émission de α



Validation du modèle (1/2)

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- **simulation ns-2** : $r_i(t, n)$
débit d'une paire i dans une chaîne de n stations
pour une taille de paquet t
- **modèle analytique** \rightsquigarrow **simulations scilab** : $x_i(\alpha, n)$
% du temps en émission pour une paire i dans une chaîne
de n stations avec une proportion d'émission de α
- **identification par les moindres carrés des familles**

$$\left\{ \frac{r_i(t, n)}{r_1(t, n)} \mid 1 \leq i \leq n \right\} \quad \left\{ \frac{x_i(\alpha, n)}{x_1(\alpha, n)} \mid 1 \leq i \leq n \right\}$$



Validation du modèle (1/2)

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- simulation ns-2 : $r_i(t, n)$
débit d'une paire i dans une chaîne de n stations
pour une taille de paquet t
- modèle analytique \rightsquigarrow simulations scilab : $x_i(\alpha, n)$
% du temps en émission pour une paire i dans une chaîne
de n stations avec une proportion d'émission de α
- identification par les moindres carrés des familles

$$\left\{ \frac{r_i(t, n)}{r_1(t, n)} \quad 1 \leq i \leq n \right\} \quad \left\{ \frac{x_i(\alpha, n)}{x_1(\alpha, n)} \quad 1 \leq i \leq n \right\}$$

- expérience de T secondes, débit max r_{\max}
- la paire i émet pendant
 $t_i = x_i(\alpha, n) \times T$ secondes
- elle transmet $r_i(t, n) \times T = r_{\max} \times t_i$
- d'où $r_i(t, n)/t_i = r_{\max}/T = r_1(t, n)/t_1$
- d'où $r_i(t, n)/r_1(t, n) = t_i/t_1 = x_i(\alpha, n)/x_1(\alpha, n)$



Validation du modèle (1/2)

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- simulation ns-2 : $r_i(t, n)$
débit d'une paire i dans une chaîne de n stations
pour une taille de paquet t
- modèle analytique \rightsquigarrow simulations scilab : $x_i(\alpha, n)$
% du temps en émission pour une paire i dans une chaîne
de n stations avec une proportion d'émission de α
- identification par les moindres carrés des familles

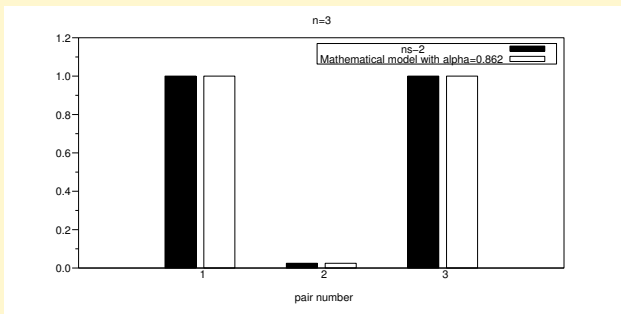
$$\left\{ \frac{r_i(t, n)}{r_1(t, n)} \mid 1 \leq i \leq n \right\} \quad \left\{ \frac{x_i(\alpha, n)}{x_1(\alpha, n)} \mid 1 \leq i \leq n \right\}$$

\rightsquigarrow une valeur de α permet de très bien caractériser
les simulations ns-2 (résultat non évident)
proportion de correspondance $\alpha^f(t, n)$ f pour fit

\rightsquigarrow valide le modèle

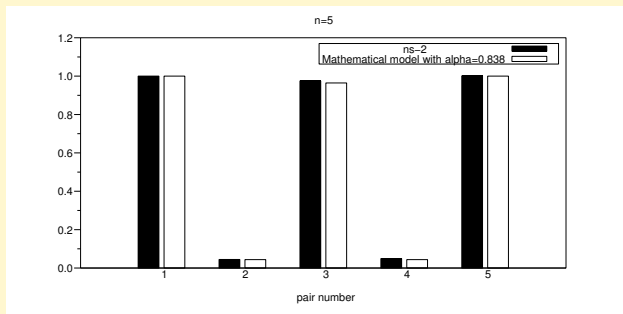
Validation du modèle (2/2)

- exemples de proportions de correspondance
 - paquets de 1500 octets, 3 paires :
 $\alpha^f(1500, 3) = 0.862$
 - paquets de 1500 octets, 7 paires :
 $\alpha^f(1500, 7) = 0.812$



Validation du modèle (2/2)

- exemples de proportions de correspondance
 - paquets de 1500 octets, 3 paires :
 $\alpha^f(1500, 3) = 0.862$
 - paquets de 1500 octets, 7 paires :
 $\alpha^f(1500, 7) = 0.812$



Validation du modèle (2/2)

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

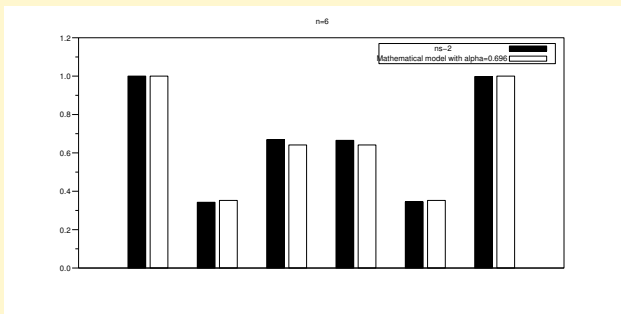
Simulations

Modélisation

Analyse

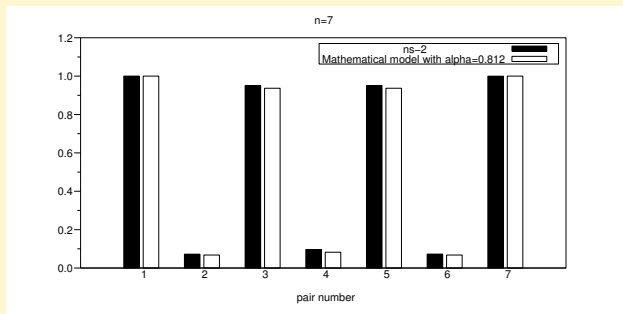
Perspectives

- exemples de proportions de correspondance
 - paquets de 1500 octets, 3 paires :
 $\alpha^f(1500, 3) = 0.862$
 - paquets de 1500 octets, 7 paires :
 $\alpha^f(1500, 7) = 0.812$



Validation du modèle (2/2)

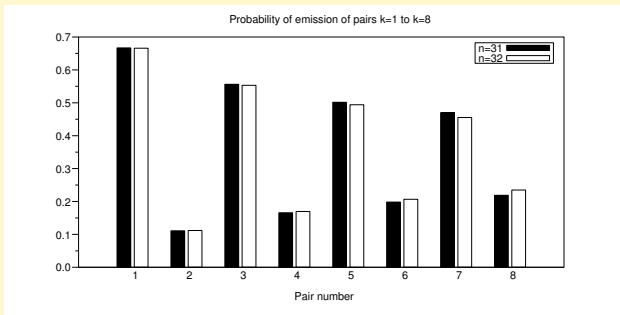
- exemples de proportions de correspondance
 - paquets de 1500 octets, 3 paires :
 $\alpha^f(1500, 3) = 0.862$
 - paquets de 1500 octets, 7 paires :
 $\alpha^f(1500, 7) = 0.812$



- ① Problématiques autour de la norme IEEE 802.11
- ② Cas d'étude : scénario des 3 paires
- ③ Simulation avec plus paires
- ④ Modélisation
- ⑤ Analyse
- ⑥ Perspectives pour l'amélioration de l'équité



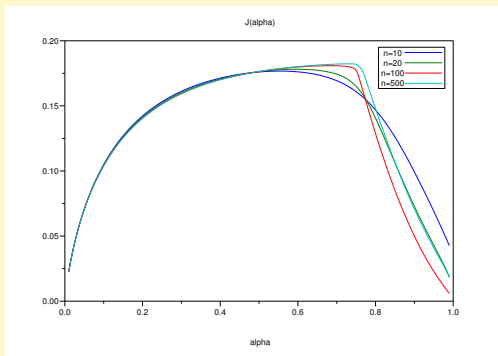
- Utilisation directe du modèle
 - formules closes en fonction de α pour les chaînes jusqu'à 8 paires
 - preuve de l'existence d'un régime stable pour toutes les chaînes
 - comportement asymptotique similaire à ns-2
- comparaison des probabilités d'émission des paires 1 à 8 pour $n = 31$ et $n = 32$ avec $\alpha = 0.75$:



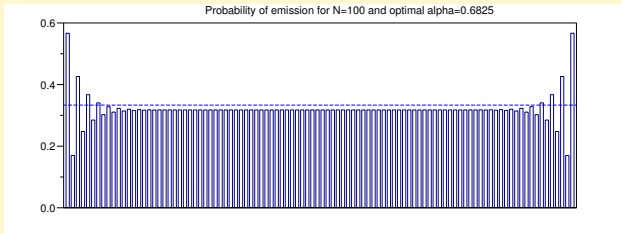
- Équité en fonction de la proportion α
 - entropie $E(x) = -\sum_{k=1}^n x_i \log x_i$ [Jaynes57]
 - maximiser

$$J(\alpha) = -1/n \sum_{i=1}^n x_i(\alpha, n) \log(x_i(\alpha, n))$$

↪ proportion optimale $\alpha^e(n)$ ^e pour entropie

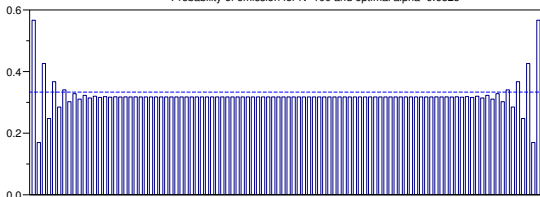


- Utilisation de la proportion optimale $\alpha^e(n)$ sous scilab :
 - quand n tend vers l'infini, $x_i(\alpha^e(n), n)$ montre au centre un large plateau à $\frac{1}{3}$
exemple : probabilités d'émission pour $n = 100$ et proportion optimale $\alpha^e(100)$:



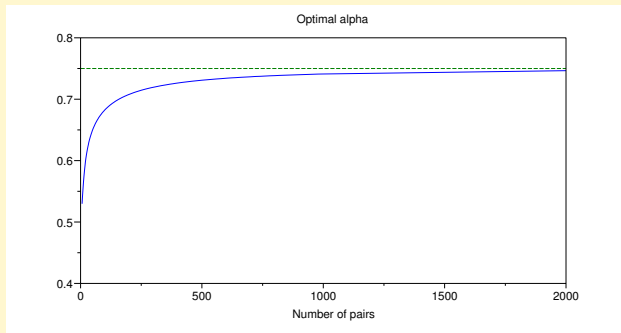
- Utilisation de la proportion optimale $\alpha^e(n)$ sous scilab :
 - quand n tend vers l'infini, $x_i(\alpha^e(n), n)$ montre au centre un large plateau à $\frac{1}{3}$
exemple : probabilités d'émission pour $n = 100$ et proportion optimale $\alpha^e(100)$:
 - c'est la probabilité optimale au centre :
 - chaîne infinie (ou rebouclée)
 - chaque paire i tire u_i dans $[a, b]$ (uniforme)
 - la paire i accède au canal si u_i est inférieur à u_{i-1} et u_{i+1}
 - $P(u_i < u_{i+1}, u_i < u_{i-1}) = \frac{1}{3}$

Probability of emission for N=100 and optimal alpha=0.6825



- Comportement de la proportion optimale $\alpha^e(n)$:

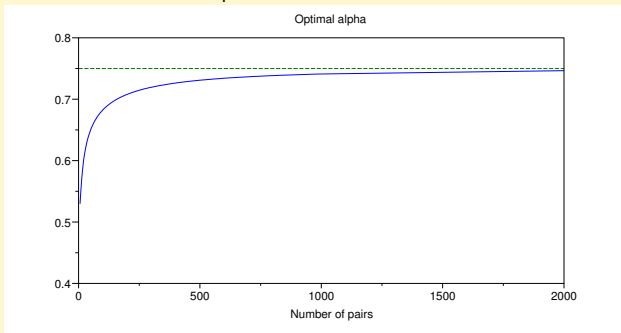
$$\alpha^e(n) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 3/4$$



- Comportement de la proportion optimale $\alpha^e(n)$:

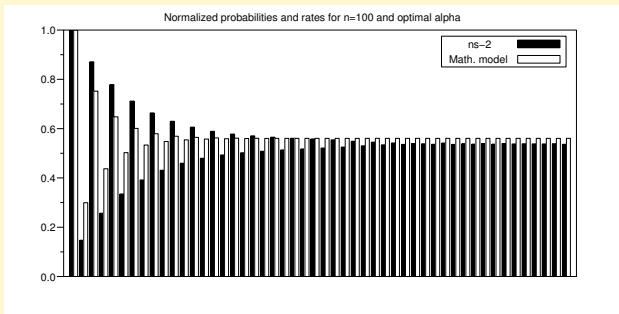
$$\alpha^e(n) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 3/4$$

- C'est la proportion associée à la probabilité $\frac{1}{3}$:
 - chaîne infinie ou rebouclée
 - le système d'équations devient $x_i = \alpha(1 - x_i)^2$
 - l'entropie est maximale, donc $x_i = \frac{1}{3}$
 - d'où $\alpha = \frac{3}{4}$



- L'équité de la chaîne tend vers l'optimal (!)

$$\left\{ \frac{r_i(1500, n)}{r_1(1500, n)} \right\} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{x_i(\alpha^e(n), n)}{x_1(\alpha^e(n), n)} \right\}$$



- 1 Problématiques autour de la norme IEEE 802.11
- 2 Cas d'étude : scénario des 3 paires
- 3 Simulation avec plus paires
- 4 Modélisation
- 5 Analyse
- 6 Perspectives pour l'amélioration de l'équité



Perspectives pour l'amélioration de l'équité

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- Échange d'un message de s octets à d Mbits/s

sender S_i		receiver R_i	
DIFS or EIFS	50 or 364 μs		
aSlotTime \times CW \times 0.5	310 μs		
RTS	304 μs	SIFS	10 μs
		CTS	352 μs
SIFS	10 μs		
header and preamble (PHY)	192 μs		
s data bytes (MAC)	$8 \times s/d \mu s$	SIFS	10 μs
		ACK	304 μs



Perspectives pour l'amélioration de l'équité

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

Analyse

Perspectives

- Échange d'un message de s octets à d Mbits/s

sender S_i		receiver R_i	
DIFS or EIFS	50 or 364 μs		
aSlotTime \times CW \times 0.5	310 μs		
RTS	304 μs	SIFS	10 μs
		CTS	352 μs
SIFS	10 μs		
header and preamble (PHY)	192 μs		
s data bytes (MAC)	$8 \times s/d \mu s$	SIFS	10 μs
		ACK	304 μs

- Rapport entre la proportion α et la taille s

$$\alpha = \frac{496 + \frac{8s}{d}}{1492 + \frac{8s}{d}}$$

Perspectives pour l'amélioration de l'équité

Équité dans
une chaîne de
stations
IEEE 802.11

B. Ducourthial
Y. Khaled,
S. Mottelet

Problématique
802.11

Cas d'étude :
scénario des 3
paires

Simulations

Modélisation

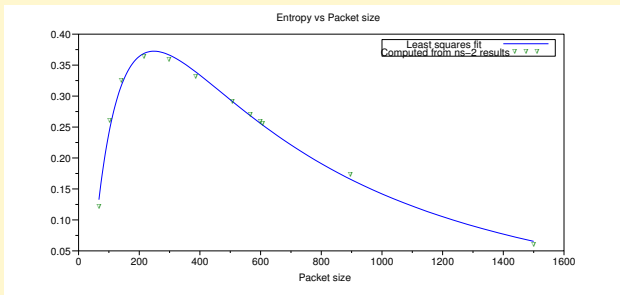
Analyse

Perspectives

- Échange d'un message de s octets à d Mbits/s
- Rapport entre la proportion α et la taille s

$$\alpha = \frac{496 + \frac{8s}{d}}{1492 + \frac{8s}{d}}$$

- Exemple dans une chaîne de trois paires
Variation de la taille des paquets sous ns-2



- Scénario des 3 paires
 - ↪ cas particulier d'un scénario plus général
- Modélisation simple à un paramètre
 - ↪ proportion α d'utilisation du temps alloué
- Etude analytique :
 - preuve de convergence
 - phénomènes asymptotiques
 - proportion optimale $\frac{3}{4}$
 - ↪ donner un quart de son temps aux voisins
 - la chaîne 802.11 tend vers l'entropie maximale !
- Perspectives
 - moduler la taille des paquets pour améliorer l'équité pour n fixé
 - se rapprocher de la proportion optimale
 - application du modèle à d'autres configurations

