TABLE DES MATIÈRES

Page

INTRODUCTION 37

CHAPITRE 1 COUCHE PHYSIQUE ET COUCHE D'ACCÈS RADIO DES RÉSEAUX AD HOC À DÉTECTION MULTI-UTILISATEURS 53
1.1 Introduction.....53
1.2 Généralité sur les protocoles d'accès radios dans les réseaux ad hoc.....54
1.2.1 1ère classification 56
1.2.2 2ème classification 58
1.2.3 3ème classification 58
1.3 Généralité sur les couches physiques dans les réseaux ad hoc 59
1.3.1 L'interface radio CDMA 59
1.3.2 L'interface radio OFDM 62
1.3.3 Résumé..... 64
1.4 Protocoles d'accès radio à détection multi-utilisateurs.....64
1.4.1 Généralités 64
1.4.2 Le détection multi-utilisateurs au niveau du protocole..... 69
1.5 La couche physique à détection multi-utilisateurs/transmission multi-débits 71
1.5.1 Généralités sur les algorithmes de détection multi-utilisateurs 71
1.5.2 Traitement du signal et complexité..... 73
1.5.3 Transmissions multi-débits 77
1.6 Conclusion du chapitre 80

CHAPITRE 2 CADRE CONCEPTUEL INTER-COUCHES CONÇU 81
2.1 Introduction.....81
2.2 Méthodologie inter-couches dans la littérature.....82
2.2.1 Les différentes architectures inter-couches..... 82
2.2.2 Interfaçage couche d'accès radio/couche physique dans la littérature..... 83
2.2.3 Inter-couches d'accès radio/couche physique 84
2.3 Structure détaillée des deux couches de notre réseau 86
2.3.1 Couche d'accès radio : le protocole d'accès radio MUD-MAC 86
2.3.2 Couche physique : plateforme radio logicielle CDMA 92
2.4 Cadre conceptuel inter-couches conçu.....94
2.4.1 Description..... 94
2.4.2 Observation et estimation des paramètres de la couche physique 95
2.4.3 Prédiction du canal..... 96
2.4.4 Gestion de la qualité de service/assignation des débits 99
2.4.5 Interfaçage couche d'accès radio/physique : les procédures inter-couches à implémenter..... 102
2.5 Conclusion du chapitre 103

CHAPITRE 3 PRÉDICTION DU CANAL ET ADAPTATION DE DÉBIT 105
3.1 Introduction.....105
3.2 Le scénario de base 106
3.2.1 Description formelle 106
3.2.2 Variation des scénarios dans le temps et délai..... 109
3.3 Environnement de la couche physique 110
3.3.1 Généralité sur les canaux 110
3.3.2 Canal de Rayleigh à bande étroite et plat en fréquence 111
3.3.3 Canal de Rayleigh multi-trajets large bande 113
3.3.4 Canal multi-trajets mobile-à-mobile 114
3.4 Métrique de performances des deux couches 115
3.4.1 Métrique de la couche physique dans un canal à trajet unique..... 115
3.4.2 Métrique de la couche physique dans un canal multi-trajets, fixe-à-mobile et mobile-à-mobile 123
3.4.3 Couche d'acces radio : métriques de performances au niveau des slots de données 126
3.5 Performance de la couche d'accès en présence de prédiction 128
3.5.1 Canal à trajet unique et plat en fréquence de 2 MHz..... 131
3.5.2 Canal multi-trajets fixe-à-mobile de 25MHz..... 142
3.5.3 Canal mobile-à-mobile de 25MHz..... 148
3.5.4 Résumé de la comparaison et de l'analyse 152
3.6 Performance de la couche d'accès en présence d'adaptation de débit.....153
3.6.1 Canal à trajet unique et plat en fréquence de 2MHz..... 153
3.6.2 Canal multi-trajets fixe-à-mobile à 25 MHz..... 163
3.6.3 Canal mobile-à-mobile à 25 MHz..... 168
3.6.4 Résumé..... 174
3.7 Conclusion du chapitre 176

CHAPITRE 4 AUGMENTATION DU NOMBRE D'UTILISATEURS, DE LA VITESSE ET EFFET DES INTERFÉRENCES.....179
4.1 Introduction.....179
4.2 Mobilité et augmentation du nombre d'utilisateurs au noeud récepteur 180
4.2.1 Canal à trajet unique et plat en fréquence de 2MHz..... 180
4.2.2 Canal multi-trajets fixe-à-mobile à 25 MHz..... 207
4.2.3 Canal mobile-à-mobile à 25 MHz..... 220
4.2.4 Résumé canal multi-trajets mobile-à-mobile 233
4.3 Conclusion du chapitre 233

CHAPITRE 5 EVALUATION DES PERFORMANCES DANS LES CANAUX LOGIQUES ET QUALITÉ DE SERVICE 235
5.1 Introduction.....235
5.2 Environnement de la couche d'accès radio.....235
5.2.1 Canaux logiques et méthodes d'admission des utilisateurs dans la couche 235

5.2.2 Algorithmes d'ordonnancement et capacité d'utilisateurs au nœud récepteur 238
5.3 Performances de l'accès des utilisateurs et qualité de service 241
5.3.1 Canal à trajet unique 241
5.3.2 Canal multi-trajets fixe-à-mobile 254
5.3.3 Canal multi-trajets mobile-à-mobile 261
5.4 Conclusion du chapitre 267

CONCLUSION 268

BIBLIOGRAPHIE 273

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1.1 Les standards utilisant le CDMA et L'OFDM.....60

Tableau 3.1 Les paramètres de simulations 130

Tableau 3.2 Synthèse des canaux simulés et paramètres des liaisons 131

Tableaux 3.3.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction quatre récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW 136

Tableaux 3.3.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, quatre récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW 137

Tableaux 3.4.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW.....141

Tableaux 3.4.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW 142

Tableaux 3.5.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets fixe-à-mobile de 25 MHz, ...146

Tableaux 3.5.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets fixe-à-mobile de 25 MHz 147

Tableaux 3.6.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets mobile-à-mobile de 25 MHz 151

Tableaux 3.6.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets mobile-à-mobile de 25 MHz 152

Tableaux 3.7.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, quatre récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW 156

Tableaux 3.7.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, adaptation et débit unique, quatre récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW.....157

Tableaux 3.8.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW 161

Tableaux 3.8.b Débit utile agrégé de la couche, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW 162

Tableaux 3.9.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples fixe-à-mobile de 25 MHz.....166

Tableaux 3.9.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples fixe-à-mobile de 25 MHz.....167

Tableaux 3.10.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples mobile-à-mobile de 25 MHz.....171

Tableaux 3.10.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples mobile-à-mobile de 25 MHz.....172

Tableaux 4.1.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW.....184

Tableaux 4.1.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW.....185

Tableaux 4.2.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s,seuil à 20dB, Pm=0.63mW.....188

Tableaux 4.2.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW.....189

Tableaux 4.3.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW.....192

Tableaux 4.3.b Taux de réceptions, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW.....193

Tableaux 4.4.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 25dB etPm=0.1mW.....197

Tableaux 4.4.b Taux de réceptions, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à seuil à 25dB et Pm=0.1mW.....198

Tableaux 4.5.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW.....201

Tableaux 4.5.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW.....202

Tableaux 4.6.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW.....205

Tableaux 4.6.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW.....206

Tableaux 4.7.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20m/s.....210

Rapport-Gratuit.com

Tableaux 4.7.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20m/s 211

Tableaux 4.8.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=35m/s 214

Tableaux 4.8.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=35m/s 215

Tableaux 4.9.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=50m/s 218

Tableaux 4.9.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=50m/s 219

Tableaux 4.10.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$ 223

Tableaux 4.10.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$ 224

Tableaux 4.11.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.57143$ 227

Tableaux 4.11.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.57143$ 228

Tableaux 4.12.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.4$ 231

Tableaux 4.12.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.4$ 232

Tableaux 5.1 Performances des algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajet unique v=10 et 20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW 244

Tableaux 5.2 Performances des algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW 248

Tableaux 5.3 Performances des algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajet unique v=10 et 20m/s, seuil à 25dB,Pm=0.1mW 251

Tableaux 5.4 Performances des algorithmes d'accès , en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique, v=20, 35 et 50m/s, seuil à 25dB, Pm=0.1mW 254

Tableaux 5.5 Performances des algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=10 et 20m/s.....257

Tableaux 5.6 Performances des algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20, 35 et 50m/s.....260

Tableaux 5.7 Performances des algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57$ 264

Tableaux 5.8 Performances des algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples mobile-à-mobile, $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57$, $\alpha = 0.4$ 267

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1.1 Le problème du terminal caché 55

Figure 1.2 Le problème du terminal exposé 56

Figure 1.3 Organisation de la couche d'accès 66

Figure 1.4 a) Protocoles à accès aléatoire b) Protocoles multi-canaux 68

Figure 1.5 Schéma d'un détecteur multi-utilisateurs linéaire CDMA 73

Figure 2.1 La structure de la division temporelle 88

Figure 2.2 Assignation de récepteur dans le réseau 89

Figure 2.3 Slot de confirmation et échange de paramètres inter-couches 91

Figure 2.4 La structure de l'échange inter-couches pour l'établissement des liaisons 91

Figure 2.5 a) Le paquet de contrôle RTS b) Le paquet de contrôle CTS 92

Figure 2.6 Le cadre de conçu 95

Figure 2.7 Structure du paquet CTS 102

Figure 3.1 Configuration de base du réseau 107

Figure 3.2 Modélisation du temps moyen pour quitter un scénario de base et y revenir 109

Figure 3.3.a Taux de réception des paquets, de la couche d'accès, prédiction, quatre récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajetunique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW 134

Figure 3.3.b Débit utile agrégé, de la couche d'accès, prédiction, quatre récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW 135

Figure 3.4.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction, quatre récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW 139

Figure 3.4.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW 140

Figure 3.5.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets fixe-à-mobile de 25 MHz 144

Figure 3.5.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement canal multi-trajets fixe-à-mobile de 25 MHz, ...145

Figure 3.6.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets mobile-à-mobile de 25 MHz 149

Figure 3.6.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets mobile-à-mobile de 25 MHz 150

Figure 3.7.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, quatre récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW 154

Figure 3.7.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, adaptation et débit unique, quatre récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW.....155

Figure 3.8.a Taux de réception des paquets de la couche, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW 159

Figure 3.8.b Débit utile agrégé de la couche, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW 160

Figure 3.9.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples fixe-à-mobile de 25 MHz.....164

Figure 3.9.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples fixe-à-mobile de 25 MHz.....165

Figure 3.10.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples mobile-à-mobile de 25 MHz.....169

Figure 3.10.b Débit utile agrégé de la couche, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples mobile-à-mobile de 25 MHz.....170

Figure 4.1.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW.....182

Figure 4.1.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW.....183

Figure 4.2.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW.....186

Figure 4.2.b Taux de réception des paquets, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW 187

Figure 4.3.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW.....190

Figure 4.3.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW.....191

Figure 4.4.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW.....195

Figure 4.4.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW.....196

Figure 4.5.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW.....199

Figure 4.5.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v= 35m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW.....200

Figure 4.6.a Taux de réception des paquets, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW 203

Figure 4.6.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW.....204

Figure 4.7.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20m/s.....208

Figure 4.7.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20m/s.....209

Figure 4.8.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=35m/s.....212

Figure 4.8.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=35m/s.....213

Figure 4.9.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=50m/s 216

Figure 4.9.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=50m/s 217

Figure 4.10.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$ 221

Figure 4.10.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$ 222

Figure 4.11.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.57143$ 225

Figure 4.11.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.57143$ 226

Figure 4.12.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.4$ 229

Figure 4.12.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.4$ 230

Figure 5.1 Méthode d'accès statique non itérative.....237

Figure 5.2 Méthode d'accès dynamique itérative 238

Figure 5.3.a Taux de réception des paquets des algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajet unique v=10 et 20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW 242

Figure 5.3.b Débit utile agrégé des algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajet unique v=10 et 20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW 243

Figure 5.4.a Taux de réception des paquets des algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW 246

Figure 5.4.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW 247

Figure 5.5.a Taux de réception des paquets, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 25dB, Pm=0.1mW 249

Figure 5.5.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 25dB, Pm=0.1mW 250

Figure 5.6.a Taux de réception des paquets, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 25dB, Pm=0.1mW.....252

Figure 5.6.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 25dB, Pm=0.1mW 253

Figure 5.7.a Taux de réception des paquets, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20, 35 et 50m/s.....255

Figure 5.7.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20, 35 et 50m/s.....256

Figure 5.8.a Taux de réception des paquets, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20, 35 et 50m/s.....258

Figure 5.8.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20, 35 et 50m/s.....259

Figure 5.9.a Taux de réception des paquets, algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57$ 262

Figure 5.9.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57$ 263

Figure 5.10.a Taux de réception des paquets, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57$, $\alpha = 0.4$ 265

Figure 5.10.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57$, $\alpha = 0.4$ 266

Rapport-Gratuit.com

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

2G	Deuxième génération de système de communication sans fil
3G	Troisième génération de système de communication sans fil
ACK	Acknowledgment
BTMA	Busy Tone Medium Access
CATA	Collision Avoidance Time Allocation
CDMA	Code Division Multiple Access
CDMA2000	Code Division Multiple Access 2000 Version
CLI	Cross-Layer Interface
CSMA/CA	Carrier Sense Medium Access/Collision Avoidance
CTS	Clear-To-Send
DAB	Digital audio broadcasting
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DBASE	Distributed Bandwidth Allocation/Sharing/Extension
DBTMA	Dual Busy Tone Medium Access
D-DBTMA	Directionnal-Dual Busy Tone Medium Access
DEC	Decorrelating receiver
DLPS	Distributed Laxity Based Priority Scheduling

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

D-MAC	Directionnal Medium Access Control
D-PRMA	Distributed-Packet Reservation Multiple Access
DPS	Distributed Priority Scheduling
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DVB	Digital Video Broadcasting
DWOP	Distributed Wireless Ordering Protocol
ER	Eventuel Récepteur
ET	Eventuel Transmetteur
ETR	Eventuel Transmetteur et Récepteur
FAMA	Floor Acquisition Medium Access
FEC	Forward Error Correction
FHSS	Frequency Hop Spread Spectrum
FPRP	Five-Phase Reservation Protocol
HIPERLAN	HIgh PERformance radio LAN
HRMA	Hop Reservation Medium Access
ICSMA	Interleaved Carrier Sense Medium Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IS-95	Interim Standard 95

LMS	Least Mean Square
LTE	Long Term Evolution
MACA/PR	MACA/Piggy-Backed Reservation
MACA-BI	Medium Access Control Collision Avoidance By Invitation
MACAW	Medium Access Control Collision Avoidance-Wireless
MAN	Metropolitan Area Network
MARCH	Medium Access with Reduced Handshake
MC	Multi-code
MCSMA	Multi-channel CSMA
MIMO	Multi Input Multi Output
MM	Multi-modulation
MMAC	Multi-channel Medium Access Control
MMSE	Minimum Mean Square Error
MPG	Multi-processing gain
MSE	Mean Square Error
MU	Multi-User
MUD-MAC	Multi-User Detection Medium Access Control
NACK	Non-Acknowlegdment

NTNR	Non Transmetteur Non Emetteur
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open System Interconnection
PAN	Personnal Area Network
PCM	Power Control MAC
PER	Paquet Error Rate
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RBAR	Receiver-Based AutoRate protocol
RI-BTMA	Receiver Initiated- Busy Tone Medium Access
RLS	Recursive Least Square
RSBI	Rapport Signal sur Bruit et Interference
RTMAC	Real-Time MAC
RTS	Request-To-Send
SDMA	Space Division Multiple Access
SIC	Successive Interference Cancellation
SRMA/PA	Soft reservation multiple access with priority assignment

UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network

INTRODUCTION

Les réseaux ad hoc : aperçu

Un réseau ad hoc est un réseau sans fil dans lequel les stations communiquent de façon directe, à l'opposé du réseau cellulaire, où elles le font par l'intermédiaire de stations de bases dédiées. Ces liaisons directes sont établies au gré des disponibilités radio. Elles s'autoconfigurent de façon adéquate ou ad hoc. Ces dernières années, nous avons un regain d'intérêt pour ces réseaux sans fil dans la recherche. Les prévisions actuelles, envisagent fortement, de migrer vers une autre génération de réseaux sans fil qui comportent des fonctionnalités complémentaires, issues des technologies ad hoc. En effet, après le succès connu par la troisième génération des réseaux cellulaires, les systèmes de communications sans fil font partie de notre vie de tous les jours. La recherche s'est alors fixée de nouveaux défis. Désormais, elle vise, entre autre à combler les besoins en communications dans les zones non couvertes par les infrastructures. De façon plus générale, une grande partie des défis de communications sans fil réside dans ce besoin de plus en plus croissant de faire communiquer des stations sans infrastructures. Les communications de radios, sans infrastructure, sont utilisées depuis quatre décennies dans le domaine militaire. Elles ont été introduites récemment, dans divers domaines civils. De ce fait, les études continuent, pour en améliorer les débits, la qualité de réception des données etc.

L'inter-couches (cross-layer)

L'analyse et la résolution des problèmes des réseaux sans fil ad hoc ont été faites dans le cadre du modèle OSI (Open System Interconnexions), le modèle de base de connexion des stations. Les résultats obtenus peuvent être améliorés. Un passage en revue des techniques et méthodologies utilisées a engendré un changement de philosophie, car le modèle en couches est figé et les couches de protocoles fonctionnent de façon transparente les unes aux autres. Dans la nouvelle philosophie, il s'agit de libérer les réseaux ad hoc des contraintes imposées par le fonctionnement en couches, pour avoir des gains importants en performances, c'est-à-

dire augmenter le nombre d'utilisateurs supportés, et satisfaire aux exigences de qualité de service. Cela doit être fait tout en conservant les avantages du paradigme OSI de base, entre autre la modularité. La méthodologie qui en est issue, est la "méthodologie inter-couches" (cross-layer en anglais). Elle se fonde sur un fonctionnement avec une plus grande synergie entre les couches. Des interactions supplémentaires sont introduites, pour apporter moins de perte de paquets, plus de débit, moins d'interférences... Les couches concernées, par les analyses et la conception, ainsi que les modélisations et simulations, dans cette étude sont la couche physique la couche d'accès au canal radio ou média sans fil dans le voisinage. Les couches de routage, transport et applications sont hors du champ de ce travail.

La couche physique

Dans un réseau donné, en présence de multiples radios qui transmettent chacune une forme d'onde, la chaîne de transmission implémente une technique de multiplexage/démultiplexage qui se charge de superposer et de séparer les multiples formes d'ondes émises. Le multiplexage peut être, en fréquence, dans le temps, dans l'espace ou par code. Le contexte multi-utilisateurs ainsi décrit est un aspect important des réseaux ad hoc de plus en plus envisagé, pour supporter plus d'utilisateurs. Les transmissions dans ce contexte impliquent que la gestion des interférences occupe une place importante. L'élimination des interférences est un problème de la couche physique, un problème de conception du système de communication. Cependant, malgré la perfection de la couche physique, de l'interférence résiduelle reste. La suppression d'interférences est aussi considérée comme un problème d'accès au canal radio, un problème de conception de protocoles d'accès radio. Le contexte de plusieurs radios en présence induit par conséquent, en plus du multiplexage, un traitement de signal supplémentaire. Récemment des algorithmes avancés de traitement du signal sont nés de cette idée. Parmi eux, nous pouvons citer : les détecteurs multi-utilisateurs dans le cas de l'accès à répartition par code CDMA (Code Division Multiple Access), les algorithmes de positionnement d'antennes dans le cas de l'accès à répartition dans l'espace SDMA (Space Division Multiple Access), les algorithmes de codage espace-temps etc.

La couche d'accès radio

La couche d'accès radio est la deuxième couche en jeu, c'est elle qui organise les transmissions dans les voisinages du réseau ad hoc. Dans des transmissions par paires de nœuds, la gestion des accès radio est faite, avec un simple système d'échange avec les voisins, de paquets de sondage, selon le principe CSMA/CA (Carrier Sense Medium Access/Collision Avoidance). Dans le cadre de voisinages plus complexes, l'accès radio est basé sur le multiplexage de la couche physique. Dans cette situation nous avons une gestion de ressources d'une part et d'autre part des ressources à allouer aux radios, que sont la fréquence, le temps, le positionnement dans l'espace du faisceau des antennes, les codes... L'accès à répartition de la ressource fréquentielle ou FDMA (Frequency Division Multiple Access) est réalisé en donnant à chaque utilisateur une fréquence de transmission. L'accès à répartition de la ressource temporelle ou TDMA (Time Division Multiple Access), par un partage des temps de communications. L'allocation à répartition de la ressource spatiale ou SDMA est faite par le positionnement adéquat dans l'espace du faisceau des antennes des utilisateurs. Le CDMA ou accès radio par code opère différemment. Il permet aux utilisateurs d'accéder aux mêmes ressources fréquentielles et temporelles, chacun avec un code d'étalement propre. Très utilisé chez les militaires pour les avantages qu'il offre en termes de sécurité, de capacité, il a été introduit dans les applications civiles à travers les systèmes de communications des générations deux et trois. Les systèmes qui l'implémentent supportent plus d'utilisateurs et permettent plus de réutilisation fréquentielle. Son traitement du signal demande une capacité de calcul supérieure à celle du TDMA et FDMA, et le nombre d'opérations est du même ordre de grandeur que celui du SDMA. Lorsque nous avons des réseaux à réception multiples, qui sont le centre d'intérêt de cette étude, ils implémentent en général le CDMA, qui est mieux maitrisé de nos jours que le SDMA. Les réseaux à réceptions multiples permettent d'augmenter la capacité d'utilisateurs. La gestion des accès radio se sert du traitement du signal implémenté dans la couche physique (détecteur multi-utilisateurs) pour supprimer les interférences d'accès multiples.

Rapport-Gratuit.com

En plus de gérer les accès, comme mentionné ci-dessus, la couche d'accès radio organise aussi les transmissions dans le voisinage selon des topologies bien précises. Elle implémente pour cette tâche, un mécanisme de gestion de la topologie qui permet de diviser le réseau ad hoc en plusieurs voisinages de radios. Le voisinage est organisé en un ensemble de paires de nœuds qui communiquent. Il est organisé de façon plus complexe, dans certains cas, en regroupements de plusieurs paires. Le regroupement de paires peut être, premièrement à contexte de mono-réception ou deuxièmement à contexte de multi-réceptions. L'organisation du voisinage peut être aussi, en "clusters" ou grappes en français, régis par "une tête de clusters", ou en zones d'accès régies par un point d'accès. Les réseaux organisés en "clusters" ou en zones d'accès ont une topologie de voisinage qui varie peu. Le mécanisme de gestion de topologie est simple, le nœud entrant dans le cluster, ou dans la zone d'accès se signale. Dans les réseaux organisés en regroupement de paires de communications, la topologie dans le voisinage est plus dynamique. Le mécanisme qui gère ce changement de topologie s'adapte en conséquence. Les réseaux ad hoc à multi-réceptions qui sont le centre d'intérêt de ce travail, intègrent dans chaque radio, un détecteur multi-utilisateurs. Le voisinage, est alors organisé autour des nœuds à réception multiples, i.e. qui reçoivent des paquets simultanément de plusieurs voisins.

En résumé, les problèmes d'accès radios sont traités d'un point de vue logique, voire logicielle pour donner les mécanismes qui forment le protocole d'accès implémenté. De nombreux protocoles ont été développés pour répondre, aux différents besoins des réseaux ad hoc. Ceux conçus pour les réseaux ad hoc de base sont de la famille CSMA/CA et la norme qui en est issue, IEEE 802.11, a permis le succès des réseaux Wi-Fi. Nous avons ensuite la norme européenne HIPERLAN, le Bluetooth développé par la firme Ericsson. Les augmentations de besoins en terme de nombre d'utilisateurs à supporter, de qualité de service, de réutilisation fréquentielle, propres aux réseaux ad hoc plus sophistiqués, ont montré les limites de la famille des protocoles CSMA/CA. Elles ont conduit à développer des variantes plus puissantes des précédentes normes d'une part, d'autre part à la recherche sur d'autres types de protocoles basés surtout sur les techniques d'accès classiques citées. Le CDMA, TDMA, ou SDMA, sont ainsi les bases des protocoles avancés, conçus afin d'augmenter spécifiquement les capacités d'utilisateurs. Ils sont souvent combinés, d'une part

avec des techniques de haut débit telles que le MIMO (Multiple Input - Multiple Output), l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), d'autre part avec des techniques de réception à faible taux d'erreurs telles que la détection multi-utilisateurs, la réception sous contrôle de puissance, sous adaptation de débit.

Motivations

Chronologie de la recherche

Cette recherche a été envisagée dans un contexte où les chercheurs du domaine des télécommunications ont jugé que les réseaux ad hoc civiles, disposaient de capacités inexploitées. Il est ressortit de ce jugement, que de la capacité supplémentaire permettrait à ces réseaux, de gagner davantage d'importance, tel que c'est le cas dans le domaine militaire.
Sur le plan chronologique, le début de la recherche correspond, à la période où avaient été largement étudiées et mises en œuvre les transmissions sans fil, dans les réseaux cellulaires. La couche physique, c'est-à-dire la chaîne de transmission avait été étudiée, testée et simulée, avec plusieurs modèles de canaux radios. Plusieurs groupes de recherches ont développé, pour venir à bout des aléas de la propagation, différents modèles de canaux. Dans l'accès radio cellulaire, les quatre techniques précédemment citées ont été implémentées dans les stations de bases. Le FDMA a été utilisé par la première génération, le TDMA et le CDMA par la deuxième, le CDMA par la troisième. Leur capacité croissante, de génération en génération, les performances des systèmes cellulaires sont en général évaluées à trois niveaux. Le niveau des services supportés est le premier, c'est-à-dire l'offre de débit et la qualité de réception. Le deuxième niveau, est la capacité d'utilisateurs supportables par stations de base. Les facteurs qui diminuent les performances à ces niveaux, sont le problème de la répartition des ressources radios que sont : la puissance émise, l'accès aux canaux et les interférences mutuelles entre les utilisateurs... La prise en compte de ces facteurs a donné des solutions de gestion des ressources radios cellulaires, intégrées lors des générations passées (contrôle de puissance, suppression d'interférence...), et de nombreuses études sur la génération quatre. Le CDMA et l'accès radio par l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Multiple Access) ont été implémentés dans cette dernière génération. Le troisième niveau de performance est évalué dans la planification des opérateurs. Le but est de mesurer la réutilisation des fréquences et donc assurer le déploiement optimisé des équipements.

Les enjeux de la conception dans les réseaux ad hoc

Les réseaux ad hoc sont aussi évalués fondamentalement, à trois niveaux de performances, à l'image des réseaux cellulaires : premièrement les services, deuxièmement le nombre d'utilisateurs supportables par voisinage de radios, troisièmement le déploiement optimisé des scénarios ad hoc dans l'espace. Ce troisième point concerne la réutilisation des fréquences radios dans les voisinages, le positionnement géographique ainsi que la synchronisation des nœuds. Pour atteindre de bonnes performances au niveau des services supportés en mode ad hoc, des recherches ont été faites sur la fiabilité des liaisons sans fil à haute capacité. Elles ont permis de développer des liaisons radios fiables, supportées par des techniques de modulations plus avancées. Ces modulations font appel à divers algorithmes de traitement du signal. Ce sont : les détecteurs multi-utilisateurs dans les transmissions par code ou à antenne multiples, les algorithmes de positionnement du faisceau des antennes dans le SDMA, qui assurent une qualité de réception plus élevée, le MIMO, l'OFDM qui augmentent les débits et la qualité de réception. Pour obtenir de bonnes performances en nombre d'utilisateurs supportés, la nature des équipements des utilisateurs, les applications exécutées et l'environnement de propagation radios sont déterminants. Afin que le déploiement des scénarios ad hoc dans l'espace aboutisse à de bonnes performances, un fonctionnement optimisé s'impose. La disponibilité des informations de localisation, de synchronisation sont les atouts pour cette optimisation. Les scénarios ad hoc sont non hiérarchisés et mono-utilisateurs, non hiérarchisés et multi-utilisateurs, hiérarchisés en "têtes de clusters"-"clusters", hiérarchisés en "point d'accès"-"zones d'accès", en scénarios spéciaux comme dans le domaine militaire. Les trois niveaux de performances évoqués sont soumis aux contraintes de mobilité des stations. Ces contraintes qui causent des dégradations de la qualité des services, des variations de topologie, influencent aussi l'efficience de l'accès radio.

Au niveau des accès radio, la recherche s'intéresse aujourd'hui à des protocoles sophistiqués qui tendent à intégrer les trois niveaux de performances et d'exigences ainsi donnés. En plus de réaliser l'accès radio, les protocoles intègrent par conséquent, des mécanismes spéciaux de gestion des augmentations de capacité au niveau de la couche physique. Il existe de ce fait des protocoles à contrôle de puissance, des protocoles à adaptation de débit, des protocoles basés sur la détection multi-utilisateurs, le MIMO, l'OFDM... Des mécanismes de gestion de la qualité de service (QoS) ont été intégrés pour minimiser le délai des paquets dans les applications en temps réels, garantir la fiabilité des liaisons sans fil, faire de la réservation de ressource, gérer les ressources radios sur la base de leur disponibilité etc. La conception des protocoles les plus récents combine les problèmes d'augmentation en capacité de la couche physique et d'accès radios que sont, la réutilisation des fréquences, la réduction des interférences, et y apporte des solutions en se basant sur les multiplexages FDMA, TDMA, CDMA ou SDMA. Les protocoles à contexte de réceptions multiples sont plus récents et rares. La topologie du voisinage de radios y est organisée autour des nœuds en mode réception. La gestion des accès radio combine, l'accès des utilisateurs avec la gestion du traitement du signal de la couche physique. Plus concrètement, la tâche de la couche physique est de séparer les signaux multiples reçus et de rendre la qualité de réception meilleure.

Le dernier constat que nous faisons porte sur le ratio de la quantité de données utiles, sur la quantité de données totale transmise. En effet, l'absence d'infrastructure conduit à des protocoles d'accès radios de réseaux ad hoc qui fonctionnent avec de nombreux paquets d'entête pour les connexions. Ce fonctionnement diminue les quantités totales de données envoyées. De même, les signalisations de positionnement, de synchronisations réduisent la part des données utiles dans les transmissions totales.

Environnement, scénarios

L'environnement de communication étudié ici est un environnement de nœuds à haute capacité en débit et avec des taux d'erreurs faibles. Chacun des nœuds est doté d'un système

de réception implémentant la détection multi-utilisateurs pour la multi-réception. Aujourd'hui, le frein à l'implémentation des algorithmes de détection multi-utilisateurs, couteux en calcul est surmonté avec la miniaturisation des puces. Concentrer une station de base à détection multi-utilisateurs sur une puce électronique, à l'heure actuelle est possible. Les PDAs et les radios concernés sont caractérisés par des processeurs assez puissants pour traiter les algorithmes lourds, des mémoires assez larges, des batteries à forte autonomie. Les services appelés à s'exécuter sur ces équipements demandent à la fois des débits et des taux de réception élevés mais aussi des gammes assez variables de qualité de service afin de supporter le multimédia. Le multiplexage est en code CDMA, et assure plus de sécurité des données. Les portées de transmissions supportées sont grandes, de l'ordre de 20m à 50km. La capacité du réseau en termes de nœud est haute et va de 30 à 256 nœuds par voisinage.

Problématique de recherche

Les dernières techniques de traitement du signal utilisent, la diversité dans les évanouissements et les variations du canal physique de propagation, comme un atout exploitable pour augmenter les performances des liaisons. Cela reste valable, jusque là pour la couche physique. Cette étude cherche à étendre, le principe d'exploitation de la divesrité des évanouissements et des variations du canal, à la couche d'accès radio. Le problème qui se pose alors est d'utiliser ce principe pour augmenter les performances de l'ordonnancement dans les canaux logiques d'accès radio, sachant qu'un canal logique est representé, vis-à-vis des files d'attente, par le débit de transmission des paquets, le taux de perte des paquets et le délai de paquets acceptable dans la file.

De façon plus générale nous pouvons dire que, les "limitations" de la couche physique, qui sont les causes des dégradations et les sources des pertes de paquets, des insuffisances en termes de débits de transmissions, de la dimunition du nombre d'utilisateurs supportables sont principalement de trois sortes. Nous avons :

- les variations à grande, moyenne et petite échelles du canal physique ;

les réseaux ad hoc en général, sont plus sévèrement affectés par ces aléas du canal radio qui sont : les atténuations à grande échelle des signaux dues à l'éloignement des transmetteurs, les atténuations à moyenne échelle dues à l'ombrage par les grands obstacles, puis les évanouissements à petite échelle des signaux dus aux répliques apparues lors des réflexions sur les obstacles rencontrés.

- Les interférences ;
  il s'agit des interférences d'accès multiples dues aux signaux émis dans le voisinnage, des interférences des nœuds qui transmettent vers d'autres destinations que les nœuds courants et des interférences des nœuds hors de la portée de transmission. Elles limitent la capacité d'utilisateurs du réseau et constituent un deuxième facteur à prendre en compte dans les accès radios.
- la limite de la région de capacité du canal multi-utilisateurs ;
  les débits de transmission des liaisons doivent être maintenus dans la limite de la région définie par Shannon, pour garantir des communications fiables.

Notre problématique peut être resumée comme suit : comment caractériser ces trois types de limitations, sources de dégradations des performances des canaux logiques afin qu'elles soient utilisées dans la couche supérieure pour résoudre le problème de l'ordonnancement, pour augmenter les performances des canaux logiques. L'étude menée traite donc, de problèmes aux frontières, de la couche physique et de la couche d'accès radio et il s'agit de concevoir et mettre en œuvre un cadre qui matérialise ce fait. Les outils pour les résoudre sont tirés des analyses des deux couches. Par conséquent, le cadre de ce travail est analysé sous deux grands aspects qui apparaîtront, tout au long des différents chapitres. Le premier angle d'étude concerne les aspects liés à la couche physique i.e. les canaux de propagation, la réception du signal, l'émission etc. Le deuxième angle d'étude concerne les aspects liés à l'accès radio i.e. les algorithmes d'ordonnancement des paquets, le nombre d'utilisateurs supportés etc.

Faire fonctionner la couche d'accès selon des paramètres de la couche physique est un défi à relever. Dans ce cas, l'information sur l'état des trois limitations définies ci-dessus, au

moment des transmissions est nécessaire. Ces informations ne sont généralement pas disponibles au niveau de cette couche. Elles sont liées de façon directe ou indirecte à l'état du canal physique. Le problème est donc de concevoir un système qui rend disponible l'information des canaux physiques. D'une part les imperfections citées, et d'autre part les canaux logiques d'accès, les algorithmes d'ordonnancement, relèvent de deux couches distinctes. Pour éviter de bouleverser le modèle en couches de base, le choix méthodologique qui s'impose est la conception inter-couches qui fera le lien entre les deux couches afin que les algorithmes d'ordonnancement dans l'accès radio puissent exploiter ces variations de la couche physique. Les aspects qui interviennent dans la conception inter-couches, sont :

- le choix des paramètres de la couche physique et la définition des traitements à envisager pour qu'ils soient utilisables dans l'accès radio ;
- comment analyser et intégrer l'aspect dynamique de la couche physique dans la couche d'accès ; à cause de la mobilité des nœuds et des variations dans l'environnement des transmissions, les intensités des dégradations de la couche physique varient. Une prédiction de leur évolution afin que l'accès radio évite les conditions défavorables à venir est nécessaire.
- communication entres les deux couches ;
  elle concerne les types de messages que la couche physique doit délivrer à la couche d'accès et à quel moment ; il en est de même pour la couche d'accès à la couche physique.

Les centres d'intérêts qui délimitent le cadre générale de la problématique définie ci-dessus sont donnés dans ce qui suit.

Les réseaux à détection multi-utilisateurs et radios reconfigurables

Parmi les réseaux ad hoc distribués, nous avons les réseaux distribués de nœuds qui supportent plusieurs connexions au même instant. La topologie du voisinage y est organisée autour des nœuds qui reçoivent les données et la gestion des accès est basée sur un traitement du signal avancé et assez lourd : la détection multi-utilisateurs qui sépare les signaux

multiples reçus. Vue la lourdeur des algorithmes de détection, ils sont de plus en plus appelés à être implémentés sur des puces reconfigurables sous forme logicielle pour des raisons pratiques. Les protocoles d'accès radio à détection multi-utilisateurs, adressent le problème de garantir, malgré une concentration élevée de transmissions sans fil dans un voisinage, des liaisons radios fiables. Comment combiner alors un protocole d'accès radio à détection multi-utilisateurs avec une couche physique qui fait de la détection multi-utilisateurs, dans le but de résoudre efficacement les problèmes d'interférences, une des faiblesses principales des réseaux ad hoc. La capacité de suppression d'interférence de la couche physique, diminue surtout les taux d'erreurs binaires sur les liaisons.

L'architecture et l'inter-couches

Quelle architecture inter-couches correspond aux réseaux à détection multi-utilisateurs, quels mécanismes inter-couches sont adéquats pour le fonctionnement des couches physiques et d'accès radios ? La critique de l'architecture de base OSI à détection multi-utilisateurs, est faite dans la référence (Comaniciu, Naryan et Vincent, 2005) elle révèle que des améliorations significatives peuvent être faites si l'on favorise les interactions inter-couches. La nouvelle architecture devrait prendre en compte le fait que les performances ciblées, dans ce travail sont en termes de débit de données et de perte de paquets. Les atténuations à moyenne et grande échelles sont compensées par un contrôle de puissance CDMA, les évanouissements à petite échelle sont traités dans le cadre de l'inter-couche physique et d'accès radio. Les techniques de multi-débit au transmetteur sont récentes et le problème de leur intégration dans les systèmes à détecteurs multi-utilisateurs devrait être traité.

Objectifs de la thèse

Objectif global

L'objectif global de cette thèse est de doter les réseaux ad hoc à détection multi-utilisateurs, de capacités importantes afin de répondre aux multiples besoins en communications des

réseaux de quatrième génération dans le mode ad hoc. Il s'agit en premier lieu d'intégrer des techniques de modulations plus sophistiquées dans le réseau au niveau physique. En deuxième lieu de faire de la prédiction des changements du canal physique afin de permettre, à travers les interactions physique-accès radio, d'augmenter les débits de transmissions des paquets et les taux de réceptions de la couche d'accès radio dans un contexte multi-utilisateurs. En troisième lieu d'intégrer davantage de diversité dans l'offre de débit et de taux de pertes de paquets.

Objectifs spécifiques

L'introduction de la détection multi-utilisateurs au niveau physique a été l'occasion de concevoir des protocoles qui permettent une pleine exploitation des potentialités de transmissions dans un voisinage donné du réseau ad hoc. Bien que cet axe de recherche soit à ses premiers pas, un travail de conception a été fait et quelques défis ont été relevés. Cela a donné naissance à des protocoles d'accès propres, qui peuvent gérer des radios à détection multi-utilisateurs. Une revue de la littérature de ces protocoles sera faite dans les prochains paragraphes. Notre étude utilise un protocole à détection multi-utilisateurs précis MUD-MAC (Multi-user Détection based Medium Access Control) et les interactions ont consisté à modifier la structure des paquets de signalisation, à faciliter un échange d'informations entre les deux couches pour étudier les performances des mécanismes de la couche d'accès radio.

Les objectifs spécifiques visés à travers ce travail sont de développer et valider des algorithmes qui assureront les avantages suivants :

- premièrement d'augmenter conjointement la capacité d'utilisateurs et des services du réseau, c'est-à-dire : pour un nombre d'utilisateurs elevé par récepteur, de fournir une très haute qualité de réception et des débits très elevés; deuxièmement de répondre aux besoins de plus en plus diversifiés de QoS des réseaux ad hoc en offrant une gamme variée de très haute qualité de réception et de débits;
- répondre au besoin de reconfigurabilité des réseaux par la création d'un cadre conceptuel inter-couches physique/couche d'accès radio, qui intègre l'objectif

précédent. Ceci, dans le but de l'implémenter dans des radios reconfigurables sous la forme logicielle.

- Grâce à la prédiction du canal radio, aux simulations dans un canal large bande et bande étroite, de permettre l'adaptabilité à l'environnement physique de déploiement et à un contexte de mobilité. Cela est propre à de nombreux réseaux ad hoc, et aussi aux réseaux de radios cognitives utilisés pour des transmissions sur différentes bandes notamment des bandes étroites et larges.

Plan de la thèse

Cette thèse est organisée en cinq chapitres. Les deux premiers chapitres constituent le cadre théorique de ce travail. Ils font une mise en contexte, du travail au vue de la littérature, puis une analyse du système existant. Nous y décrivons aussi le cadre conceptuel proposé. Les trois derniers chapitres constituent le cadre pratique de ce travail. Ils donnent les différents modèles utilisés ainsi que les simulations, leurs résultats et analyses.

Le chapitre 1 décrit la couche physique et la couche d'accès radio dans un système qui utilise la détection multi-utilisateurs. Une comparaison est faite entre le CDMA et l'OFDM afin de justifier nos choix. Ce chapitre donne aussi une vue, sur les protocoles d'accès, dans les réseaux ad hoc en général, et le début des protocoles à détection multi-utilisateurs. Il décrit en détail la détection multi-utilisateurs au niveau de la couche physique, les récepteurs et les transmetteurs.

Le chapitre 2 est une description du système de base que nous utilisons. Il donne la structure du protocole particulier à détection multi-utilisateurs que nous souhaitons améliorer. Une présentation détaillée de la plateforme de base CDMA, est ensuite faite. Pour terminer, le cadre conceptuel inter-couches que nous avons conçu pour le bon fonctionnement du protocole est détaillé.

Rapport-Gratuit.com

Le chapitre 3 est consacré à la prédiction du canal ainsi qu'à l'adaptation de débit. Elle concerne plus précisément, le fonctionnement du cadre conceptuel, sa robustesse, face aux aléas du canal de communications. Les avantages apportés par les récepteurs ainsi que les transmetteurs sont mis en évidence.

Le chapitre 4 teste le fonctionnement du cadre conceptuel en termes de capacité d'utilisateurs supportables, et de mobilité des nœuds dans le réseau. Les questions de capacité d'utilisateurs sont liées au problème des interférences dans le réseau. La résistance du système face à l'augmentation du niveau d'interférences est aussi abordée dans cette partie.

Le dernier chapitre présente une étude du cadre conceptuel du point de vue de la couche d'accès. Le comportement des canaux de transmission des paquets est décrit et simulé en présence de la contrainte de qualité de service. Une comparaison est faite avec le système en l'absence de toute adaptation et de toute contrainte de qualité de service.

Liste des publications

Journal

1. Kouraogo, P. Justin , Dziong Zbigniew, Haidar Mohamad. et Gagnon François. 2012. "Rate Management in Multiuser Détection Based MAC Design for Ad Hoc Networks". Elsevier Ad Hoc Networks, vol. 11, n° 1, p. 1-18.

Conférences

1. Kouraogo, Justin , Dziong Zbigniew et Gagnon Francois. 2007. "Conceptual Framework for MAC and Physical Layers Cooperation in Ad Hoc Networks with Multiples Receptions Nodes". In 11th World Multi-Conference On Systemics, Cybernectis and Informatics : WMSCI 2007, Orlando, Florida, USA, July 8-11.

2. Kouraogo, P. Justin, Gagnon François et Dziong Zbigniew. 2008. "A PER prediction based cross-layer MAC/PHY interface for CDMA ad hoc networks". In Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2008. PIMRC 2008. IEEE 19th International Symposium on 15-18 Sept. 2008, p. 1-6. IEEE

3. Kouraogo, P. Justin , Gagnon François et Dziong Zbigniew. 2008. "A Prediction Based Cross-Layer MAC/PHY Interface for CDMA Ad Hoc Networks". In ADHOC-NOW 2008. Sophia Antipolis, France, September 10-12, p. 293-306.

4. Kouraogo, P. Justin, Dziong Zbigniew, Haidar Mohamad et Gagnon François. 2012. "A Cross-Layer MAC/PHY Framework for PER Guarantee in Multiuser Detection Based Ad Hoc Networks". In Sarnoff Symposium SARNOFF, 2012 35th IEEE Newark, NJ 21-22 May 2012, p. 1-6. IEEE.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

CHAPITRE 1

COUCHE PHYSIQUE ET COUCHE D'ACCÈS RADIO DES RÉSEAUX AD HOC À DÉTECTION MULTI-UTILISATEURS

1.1 Introduction

Les premiers réseaux ad hoc ont été mis en œuvre dans le domaine militaire aux États-Unis vers les années 1970. Leurs applications civiles sont apparues deux décennies plus tard. Le besoin croissant en communication sans fil de nos jours, a remis ces réseaux, qui permettent la communication nœud à nœud, au centre des préoccupations. Les réseaux ad hoc peuvent être déployés sur les lieux de catastrophes, les lieux de conférences, les champs de batailles etc. Pour la future génération de systèmes, les zones de communication au delà, des régions couvertes par les infrastructures des opérateurs, seront en réseau ad hoc. Dans les communications de radios en mode ad hoc, l'un des problèmes de fond à résoudre est de d'assurer une bonne qualité des liaisons radios. Comment offrir et maintenir la QoS requise par les différents utilisateurs, dans le contexte de communication sans infrastructure, où la position des nœuds et la qualité des liaisons radios, est exposée à des variations aléatoires de la propagation ? Nous proposons, pour atteindre cet objectif, de faire coopérer la couche d'accès radio et la couche physique par l'approche inter-couches.

L'approche inter-couches d'accès radio/couche physique sera abordée, plus en détails et pratiquement, dans le prochain chapitre. C'est la méthodologie de base, pour définir le cadre général, de cette recherche. Le virage entamé récemment, vers cette méthodologie, a consisté à concevoir des protocoles d'accès radios, orientés inter-couches. Cela signifie, que la structure logicielle servant de protocole, dans la couche d'accès radio, intègre des spécificités de la couche physique par exemple, ou de la couche routage. Un protocole orienté couche physique intègre par conséquent, les spécificités de la chaîne de transmission de données. Cela peut être la chaîne de transmission à utilisateur unique, comme à utilisateurs multiples. Nous avons donc dans ces protocoles, ceux à détection multi-utilisateurs (MU). Le but de cette recherche est de résoudre les problèmes de QoS dans ce type de protocoles, qui sont

orientés couche physique, par naissance. Nous le faisons, par une coopération plus avancées, des couches d'accès radio et des couches physiques. Faire coopérer ces deux couches passe par un second niveau d'analyse et de conception, selon la méthodologie inter-couches.

Nous commençons cette démarche, en étudiant d'abord, la couche d'accès radio et la couche physique. Ce chapitre permet, de décrire d'une part, les différents protocoles, de la couche d'accès radio ainsi que quelques interfaces radios de la couche physique, dans les réseaux ad hoc en général. Puis, il met l'accent sur, la couche d'accès radio et la couche physique multi-utilisateurs. Ces deux couches sont abordées, dans le contexte multi-utilisateurs. Nous présentons en détails, les outils qui ont permis la conception de la structure inter-couches que nous proposons. La section 1.2 du chapitre, donne une description des protocoles d'accès radios dans les réseaux ad hoc. La section 1.3 décrit quelques couches physiques, implémentés dans les réseaux ad hoc. La section 1.4 traite des protocoles à détection multi-utilisateurs. En premier lieu, nous donnons le processus d'évolution vers les protocoles à détection multi-utilisateurs, la problématique de l'intégration de la détection multi-utilisateurs dans un protocole d'accès. Ensuite, nous faisons une revue des types de protocoles multi-utilisateurs existants. La cinquième section (1.6), traite de la couche physique à détection multi-utilisateurs. Elle fait une description formelle et donne quelques algorithmes de détection. Elle décrit, ensuite, la nature des signaux multi-utilisateurs dans le réseau, ainsi que la structure mathématique des transmetteurs multi-débit utilisés.

1.2 Généralité sur les protocoles d'accès radios dans les réseaux ad hoc

Les différentes couches basses des réseaux ad hoc ont bien été investiguées ces dix dernières années. D'innombrables protocoles de la couche 2 (couche d'accès radio), en sont issues.

D'une part, les caractéristiques importantes, à la base des problèmes de recherche dans la conception de ces protocoles sont : les questions de la gestion des puissances de transmission, de l'économie d'énergie des batteries, de la disponibilité des informations de position, les questions de synchronisation etc. Ensuite, l'utilisation du réseau ainsi que les

services fournis imposent d'autres contraintes, telles que garantir la QoS lors des communications, différencier plusieurs classes de trafics etc.

D'autre part, deux problèmes courant arrivent, dans les réseaux ad hoc de base, qui utilisent un sondage des voisins avant de transmettre (protocole 802.11). Ce sont, le problème du terminal caché, illustré par la figure 1.1 et celui du terminal exposé, illustré par la Figure 1.2. Le problème du terminal caché (Figure 1.1), arrive dans un voisinage donné lorsque des stations B ou F, hors des zones de couverture, des stations A ou D, veulent transmettre des données à C ou E, en train de recevoir des paquets de A et D. Il y a alors une collision au niveau des stations C et E, en d'autres termes, les paquets venant A et B seront perdus. B et F son des stations cachées à A et D. Le problème du terminal exposé (Figure 1.2) arrive lorsqu'une station A, en position de transmettre vers B, demande par un RTS (Request-To-Sent) à envoyer des paquets. B répond par un CTS (Clear-To-Sent) en permettant à A de transmettre. C étant dans la zone de couverture de B, à la réponse de ce dernier se met en attente automatiquement jusqu'à ce que A finisse d'envoyer ses données. Il en est de même lorsque D veut transmettre des paquets à C. B et C sont des terminaux mutuellement exposés.

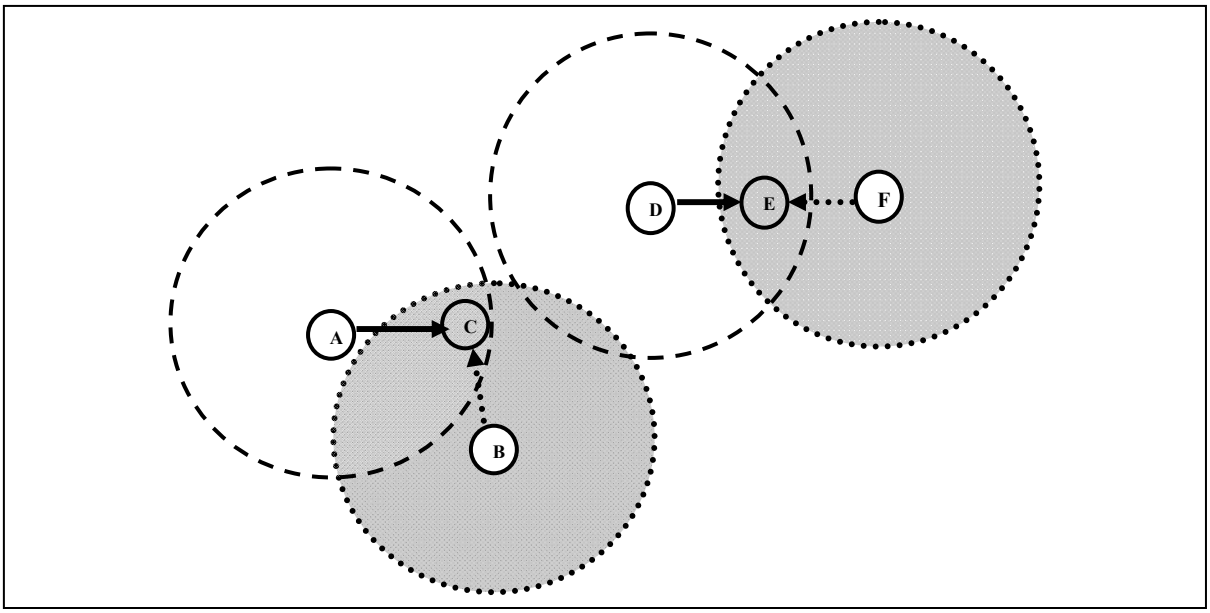

Figure 1.1 Le problème du terminal caché

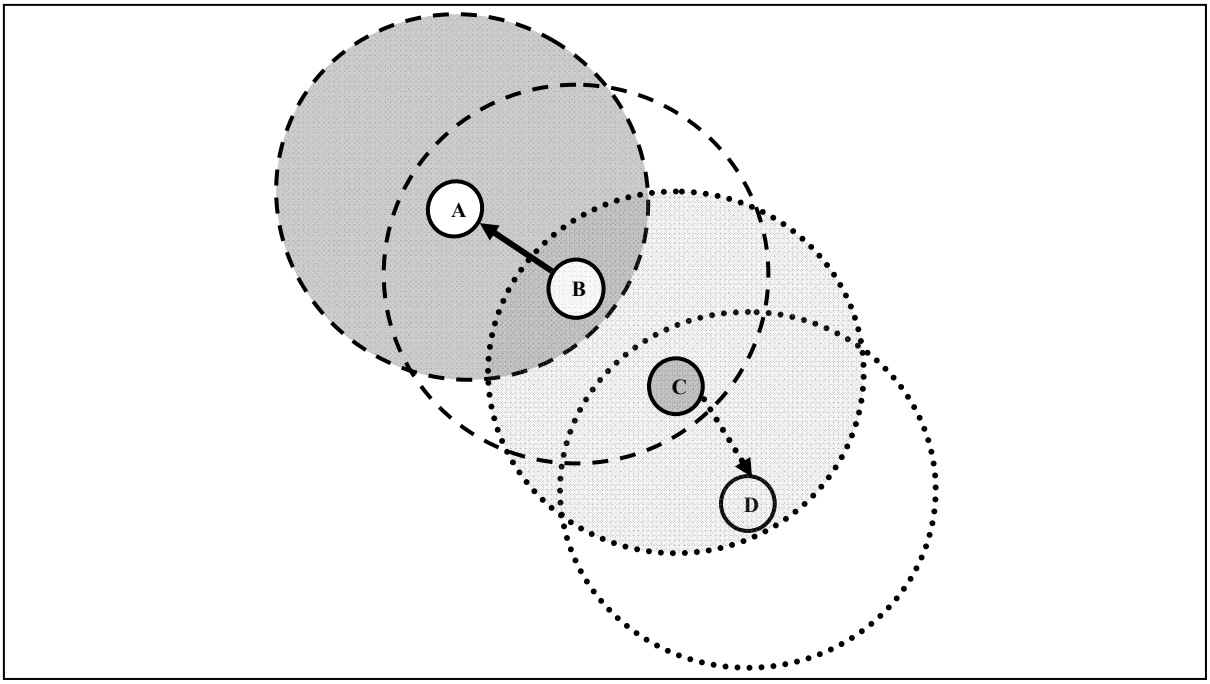

Figure 1.2 Le problème du terminal exposé

Le premier problème, propre aux protocoles du modèle CSMA/CA est résolu partiellement par le mécanisme d'initiation de la transmission basé sur l'échange de paquets de contrôles RTS/CTS.

Enfin, les protocoles disponibles dans la littérature peuvent être classés de plusieurs façons selon les critères utilisés. Les différents classements que nous avons trouvés, sont décrits dans les sections suivantes.

1.2.1 1ère classification

Une classification est faite en (Siva, Ram et B., 2004a) où les auteurs se basent sur les mécanismes implementés dans les protocoles. Ils sont repatis en cinq grands groupes :

- les protocoles à compétition simple ;
- les protocoles à compétition utilisant un mécanisme de réservation de ressources ;

- ceux à compétition utilisant un mécanisme d'ordonnancement ;
- ceux utilisant des mécanismes divers comme la gestion : des antennes directionnelles dans les réseaux SDMA, des canaux d'accès multiples, du contrôle de puissance, de l'adaptation de débit, de la qualité de service spécifique etc.

Nous donnons un aperçu de ces protocoles tout en insistant sur la structure des mécanismes utilisés :

- les protocoles à compétion simple ont, en général, été conçus pour permettre une compétition équitable et resoudre les problèmes de la station cachée et de la station exposée. Du fait de la nature aléatoire de la compétition, leur utilisation ne garantit pas l'accès regulier au canal lorsque les stations initient une session de transmission. Ce sont : les protocoles MACAW, FAMA, BTMA, DBTMA, ICSMA, RI-BTMA, MACA-BI et MARCH (Siva, Ram et B., 2004a) ;
- les protocoles à compétition utilisant un mécanisme d'ordonnancement basé sur les priorités de trafics: le DPS, DWOP, DLPS détaillés en (Siva, Ram et B., 2004a) et IEEE802.11e (Siva, Ram et B., 2004b) permettent la différentiation des trafics en plusieurs classes. Elles, ne garantissent pas un accès régulier au canal lorsqu'une majorité de nœuds dans le voisinage transportent des trafics de même priorité. Comme les précédents ils ne permettent aucune réservation de la bande passante ;
- les protocoles à compétition utilisant un mécanisme de réservation de la bande passante, garantissent en général un accès régulier au canal lors des connexions, par contre ils supportent uniquement un seul type de trafic de voix et un autre de données. Ce sont : D-PRMA, CATA, HRMA, FPRP, MACA/PR. Ceci constitue une limitation à leur utilisation lorsque différentes classes de trafics doivent être véhiculées dans le réseau ;
- les protocoles à mécanismes divers (Siva, Ram et B., 2004a), D-DBTMA, D-MAC pour les réseaux utilisant les antennes directionnelles, les protocoles MMAC, MCSMA à canaux multiples, PCM qui fait de l'adaptation de puissance de la

liaison, RBAR qui maximise la capacité des liaisons par une modulation adaptative ; ces protocoles n'ont pas de mécanisme de qualité de service ;

- les protocoles mixtes, qui ont à la fois le mécanisme de réservation de la bande passante et un système de priorité permettant la différenciation de trafics. Ce sont les protocoles SRMA/PA (Siva, Ram et B., 2004a), DBASE (Siva, Ram et B., 2004b), le protocole RTMAC.

1.2.2 2ème classification

Une seconde classification est faite en fonction des critères suivants (Raja, Cristina et Pierre, 2004):

- le nombre de canaux d'accès radios ou canaux logiques utilisés et la nature de l'accès multiple ;
- la nature de l'initiation de la transmission (initié par le transmetteur ou initié par le récepteur) ;
- la topologie du réseau ;
- la gestion de la puissance ;
- les portées de transmissions pour lesquelles ils seront utilisés ;
- la nature du trafic véhiculé et la scalabilité.

Une série de 34 protocoles sont classés et détaillés. Ils peuvent être consultés dans la référence (Raja, Cristina et Pierre, 2004).

1.2.3 3ème classification

Une troisième classification, critiquée par les auteurs en (Raja, Cristina et Pierre, 2004) utilise les critères suivants (Gummalla et John, 2000) :

- la topologie du réseau (centralisée ou non) ;
- la nature du duplexage ;
- l'algorithme de résolution des collisions ;

- la robustesse du protocole ;
- la stabilité du protocole;
- l'équité assurée par le protocole;
- l'efficience de l'utilisation de la puissance ;
- la résolution du problème du terminal caché ;
- la capacité à supporter du trafic multimédia.

Cette classification dégage une dizaine de grandes classes de protocoles. Elles peuvent etre consultées dans le référence (Gummalla et John, 2000).

1.3 Généralité sur les couches physiques dans les réseaux ad hoc

De nombreuses techniques de modulations/demodulations ont été implementées et testées au niveau de la couche 1, la couche physique. Les intrefaces radios de base sont les interfaces CDMA, OFDM et à antennes multiples. Pour les besoins de notre étude nous nous sommes surtout interessés aux deux premières, puisque les deux techniques, par répartition de code (CDMA) et de fréquence orthogonale (OFDM) sont prévalentes dans les nouvelles normes cellulaires. Nous introduisons ici une courte analyse de leurs propriétés respectives.

1.3.1 L'interface radio CDMA

1.3.1.1 Avantage au niveau des ressources radios

Le principal avantage de l'interface radio CDMA est le nombre de transmissions simultanées qu'il peut supporter. Cet avantage est à la base de son utilisation dans les réseaux cellulaires de 2G et 3G (voir tableau 1). De plus, la capacité du réseau CDMA est gérée au niveau logiciel (soft capacity) : l'augmentation du nombre d'utilisateurs se fait par l'attribution de nouveaux codes (soft capacity). Lorsqu'un utilisateur s'approche des limites de la zone de couverture d'une station de base, le changement de cellule est opéré au niveau logiciel : « soft handover » (Ryuji Kohno, Reuven Meidan et Milstein, 1995). Ceci est un avantage.

Rapport-Gratuit.com

Avec l'interface radio CDMA, les utilisateurs transmettent sur la même bande de fréquence. Le facteur de réutilisation fréquentielle est de 1, ce qui élimine le problème de planification fréquentielle.

Tableau 1.1 Les standards utilisant le CDMA et L'OFDM

	CDMA	**OFDM**
WLAN et PAN	IEEE802.11 - DSSS/FHSS : 2 Mbps IEEE802.11b – DSSS : 11 Mbps Bluetooth – FHSS : 1 Mbps Home RF - FHSS : 10 Mbps	IEEE802.11a - 54 Mbps IEEE802.11g - 54 Mbps HIPERLAN/2- 54 Mbps
MAN		IEEE802.16a au delà de 70 Mbps IEEE802.16b jusqu'à 134 Mbps IEEE802.16e
Réseaux mobiles	IS-95 jusqu'à 115.2Kbps UMTS jusqu'à 2 Mbps CDMA2000	LTE
Réseaux de diffusion radio ou télévisuelle		DAB, DVB

1.3.1.2 Avantage au niveau de la liaison sans fil

La largeur de bande, du signal CDMA étalé par code DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) ou par saut de fréquence FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), est source de diversité fréquentielle car les évanouissements sélectifs en fréquence n'affecteront que quelques composantes du spectre sur l'ensemble de la bande du signal. Le DS-CDMA (Directe Sequence-CDMA) offre une grande flexibilité dans la variation du débit de la liaison qui s'effectue simplement à l'aide de codes avec différents facteurs d'étalement(Giridhar, 2003). Une caractéristique intéressante du signal CDMA, à l'origine de son utilisation primaire dans les applications militaires est le niveau de sécurité qu'il offre. Le signal étalé DSSS n'est décodable que si l'on connaît le code d'étalement. Sa faible puissance le rend difficilement détectable, de plus il rejette les interférences à bande étroite (Proakis, 2001). Le

récepteur CDMA compense la dispersion introduite par la propagation multi-trajets dans la liaison radio à l'aide du RAKE (récepteur rateau) qui effectue la combinaison des différents trajets du signal qu'il reçoit (technique de diversité temporelle).

1.3.1.3 Inconvénients : limitations des performances dues aux interférences

Lorsque les codes des utilisateurs sont orthogonaux, les interférences entre utilisateurs sont complètement mitigées à la démodulation. Dans la réalité, l'orthogonalité des codes est difficile à obtenir et le signal démodulé comporte un terme d'interférence. La faiblesse principale du CDMA est liée à la gestion des interférences dans le réseau, qui entraînent une dégradation de la qualité du signal reçu et la capacité d'utilisateurs (Ryuji Kohno, Reuven Meidan et Milstein, 1995). Les interférences sont dues aux signaux des autres utilisateurs (MAI, Multiple Access Interference), aux signaux d'autres canaux. Leur effet est plus marqué si certains signaux sont reçus avec des niveaux de puissances très élevés : c'est l'effet d'éblouissement (near-far problem). L'effet d'éblouissement survient dans les liaisons radios des réseaux ad hoc car les signaux émis par les usagers sont souvent asynchrones ou difficiles à synchroniser et les utilisateurs sont à des distances différentes de l'antenne du récepteur. Les transmissions CDMA doivent être accompagnées d'un contrôle strict de puissance, coûteux en termes de paquets de contrôle et de complexité d'implémentation. D'autres techniques sont utilisées pour réduire les interférences : la démodulation en fonction de l'activité vocale, la sectorisation des antennes (Ryuji Kohno, Reuven Meidan et Milstein, 1995).

1.3.1.4 Besoin en traitement du signal du CDMA

Les détecteurs multi-utilisateurs ont été créés pour résoudre le problème d'éblouissement, mais ces derniers sont confrontés au problème de la complexité de calcul. De façon générale, même si le CDMA offre une flexibilité au niveau du traitement du signal, qui peut se faire au niveau des symboles ou des "chips" (John McCorkle), il demande une grande complexité au niveau du démodulateur RAKE (les "chips" en anglais sont dénommés des bribes et le RAKE est traduit par le "rateau"). Le récepteur doit pouvoir détecter le début et la fin des chips

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

(timing) mais aussi maintenir la synchronisation des codes tout au long de l'opération de démodulation (timing tracking)(Giridhar, 2003). Cette opération est difficile à réaliser vu la nature asynchrone dans la liaison radio et le débit chip élevé. La synchronisation constitue un des points faibles de l'interface radio CDMA.

1.3.2 L'interface radio OFDM

1.3.2.1 Avantage au niveau des ressources radios

L'avantage principal de l'interface radio OFDM est lié aux débits de connexions importants qu'il offre. A la différence du DS-CDMA qui est à la fois une technique de modulation et une technique d'accès multiple, l'OFDM est une technique de modulation efficiente visant à offrir des hauts débits sur les canaux sans fil. L'efficacité spectrale est un de ses avantages. L'interface radio OFDM est utilisée pour ces raisons, dans les réseaux ad hoc, les réseaux de diffusion à hauts débits (radios, télévisions), dans les réseaux PAN (Personnal Area Network), WLAN (Wireless Local Area Network), MAN (Metropolitan Area Network) (tableau 1).

1.3.2.2 Avantage au niveau de la liaison sans fil

Si l'on se réfère au tableau 1, on peut remarquer que la force de l'interface radio OFDM est relative à la qualité de la liaison sans fil haute vitesse qu'elle offre. Cela est obtenu grâce à une structure de transmetteur et de forme d'onde particulièrement robuste dans les canaux sans fils (Richard Van Nee et Prasad, 1996). Le transmetteur OFDM subdivise la bande du signal en sous-porteuses, sur lesquelles, elle transmet le train de bits de la source en parallèle. Les sous-porteuses étant suffisamment rapprochées, les évanouissements sélectifs en fréquences n'affectent que quelques unes. La transmission multi-porteuses du même train de bits permet de diminuer les erreurs de la liaison.

Par ailleurs la transmission multi-porteuses permet de réduire les débits de transmission sur les sous porteuses, le débit globale restant constant ; ce qui réduit les interférences inter-

symboles. La forme d'onde de l'OFDM transportant des symboles de durées plus longues, elle permet de compenser de façon aisée la dispersion temporelle (Delay Spread) introduite par le canal (Giridhar, 2003). La durée des symboles est choisie très longue par rapport à la dispersion temporelle, pour minimiser son effet. En plus, pour laisser le temps aux différents trajets du symbole d'arriver au modulateur, une marge de temps (guard) est laissée entre les différents symboles. Durant le temps de garde ou « guard », un prolongement cyclique du signal est effectué pour mitiger les chevauchements entre sous-porteuses (Richard Van Nee et Prasad, 1996). Cette compensation constitue un avantage important et elle réduit la complexité de l'égalisation OFDM qui s'opère dans le domaine fréquentiel.

1.3.2.3 Inconvénient au niveau de la synchronisation

Le principal inconvénient de l'interface radio OFDM se situe au niveau de la synchronisation fréquentielle. Les décalages en fréquence sont sources d'interférences inter-sous-porteuses qui dégradent les performances de la liaison radio (Richard Van Nee et Prasad, 1996). La synchronisation en fréquence au niveau du récepteur OFDM est coûteuse en complexité d'implémentation. Il en est de même pour le recouvrement de la phase dans le cas d'une démodulation cohérente.

1.3.2.4 Inconvénient : gestion du pique de puissance

Un autre inconvénient est lié aux crêtes de puissance pouvant être observées dans la forme d'onde. Lorsque les sous-porteuses sont en phase, l'énergie de la forme d'onde peut atteindre une valeur très élevée. La dynamique des convertisseurs analogique-numérique, numérique-analogique et des amplificateurs doit être dimensionnée en conséquence, engendrant des coûts supplémentaires en terme d'implémentation (Richard Van Nee et Prasad, 1996).

1.3.2.5 Inconvénient : besoin d'une grande réutilisation fréquentielle

Par ailleurs, l'interface radio OFDM utilise le principe du multiplexage fréquentiel. Le déploiement des réseaux utilisant cette interface pose le problème de la réutilisation fréquentielle. L'OFDM a été conçu au départ pour des liaisons sans fil fixes, elle ne supporte pas la mobilité. Le standard IEEE802.16e vise comme objectif d'introduire la mobilité. Plus généralement, de nombreuses recherches sont effectuées sur l'OFDM afin d'étendre son champ d'applications dans les réseaux de la future génération (OFDM multi-utilisateurs, OFDM adaptative…)

1.3.3 Résumé

Dès les débuts de cette première étude nous avons privilégié le CDMA, une technique qui a été profondément testée et qui a fait ces preuves, dans de nombreuses applications surtout chez les militaires. De plus elle facilite l'utilisation de la détection multi-usagers, ce qui a récemment été d'un grand intérêt pour la DARPA (Shaomin et al., 2010b). D'autre part l'OFDM est plus difficile à implémenter dans les réseaux mobiles.

1.4 Protocoles d'accès radio à détection multi-utilisateurs

1.4.1 Généralités

1.4.1.1 Détection multi-utilisateurs : du traitement du signal au protocole d'accès

Jusqu'au milieu des années 1990, la détection multi-utilisateurs était étudiée par les chercheurs du domaine du traitement du signal (Verdú, 1998). Son application dans les stations de base des réseaux cellulaires a ensuite été investiguée. Les recherches dans ce cas ont surtout portées sur la suppression des interférences d'accès multiples (IAM), sur la réduction des complexités de calculs. L'implémentation de la détection MU dans les réseaux cellulaires aujourd'hui est un fait, la qualité et surtout la capacité de réception des stations de bases se sont accrues de façon importante.

Dans les réseaux ad hoc, la recherche sur l'utilisation de la détection multi-utilisateurs a démarré tardivement à cause de deux raisons. La principale est liée à la complexité des calculs engendrés par ce type de traitement du signal au récepteur ainsi que faible la taille des circuits de mémoires nécessaires à ces calculs. La deuxième raison est liée à des questions pratiques, les chercheurs se sont beaucoup plus intéressés aux réseaux ad hoc à faible capacité, c'est-à-dire les réseaux à forte contrainte sur le nombre d'opérations de calculs supportables par nœud. Ce sont les réseaux de type Wi-Fi, Bluetooth, les réseaux de senseurs etc. Aujourd'hui les systèmes deviennent de plus en plus puissants et capables de supporter de grandes charge de calculs ; la capacité physique est disponible (mémoires, batteries…). De plus, de nouveaux concepts, très puissants, permettant l'intégration et l'implémentation des techniques les plus complexes du traitement de signal, sont apparus telle que la radio logiciel. La capacité physique pour soutenir le concept est par ailleurs disponible grâce aux puces programmables FPGA (Field-programmable gate array) ainsi que les processeurs dédiés DSP (Digital Signal Processors). La combinaison de tous ces facteurs, ajoutée au facteur déterminant qu'est l'intensification de la recherche sur les réseaux ad hoc à fortes capacité ont conduit à un regain d'intérêt pour la détection multi-utilisateurs dans ces réseaux. Notons que les réseaux à fortes capacités sont des réseaux à hauts débits, haute qualité de transmissions, avec des stations très puissantes physiquement et sur le plan logiciel. Ils ont des applications dans les zones de catastrophe, dans le domaine militaire, puis récemment dans le domaine civil. L'état de détection MU dans les réseaux ad hoc est bien détaillé en (Comaniciu, Naryan et Vincent, 2005).

Très peu d'obstacles existent aujourd'hui à l'implémentation des détecteurs multi-utilisateurs dans les stations des réseaux à fortes capacités. La question est très avancée au niveau des couches physiques. Elle n'est cependant pas résolue au niveau des couches d'accès où la spécificité de la détection peut être prise en compte pour concevoir de meilleurs protocoles d'accès et augmenter l'efficience du fonctionnement. Les problèmes liés à la conception de la couche d'accès sont de deux natures, le défi de la conception que nous donnons dans les sous-sections 1.4.1.2 et 1.4.2.1, et la question des modèles mathématiques de représentation, des ressources radio, utilisées dans le protocole.

1.4.1.2 Évolution vers les protocoles à détection multi-utilisateurs

Les différents nœuds d'un réseau ad hoc implémentent dans leur couche d'accès radio, un protocole chargé de gérer les accès et, d'ordonnancer la transmission des paquets en attente. De façon plus générale, l'ordonnancement porte, d'une part, sur la gestion de la transmission des paquets, leurs séparations en différentes classes de trafics supportées par le réseau; le but visé est alors de garantir la qualité de service requise par les trafics. D'autre part, elle porte sur l'initiation de la transmission qui consiste à mettre les nœuds situés dans le même voisinage en modes transmissions ou réception selon un algorithme bien précis, le voisinage est alors défini par de la portée de transmissions des nœuds. La figure 1.3 résume l'organisation d'une couche d'accès d'un réseau ad hoc.

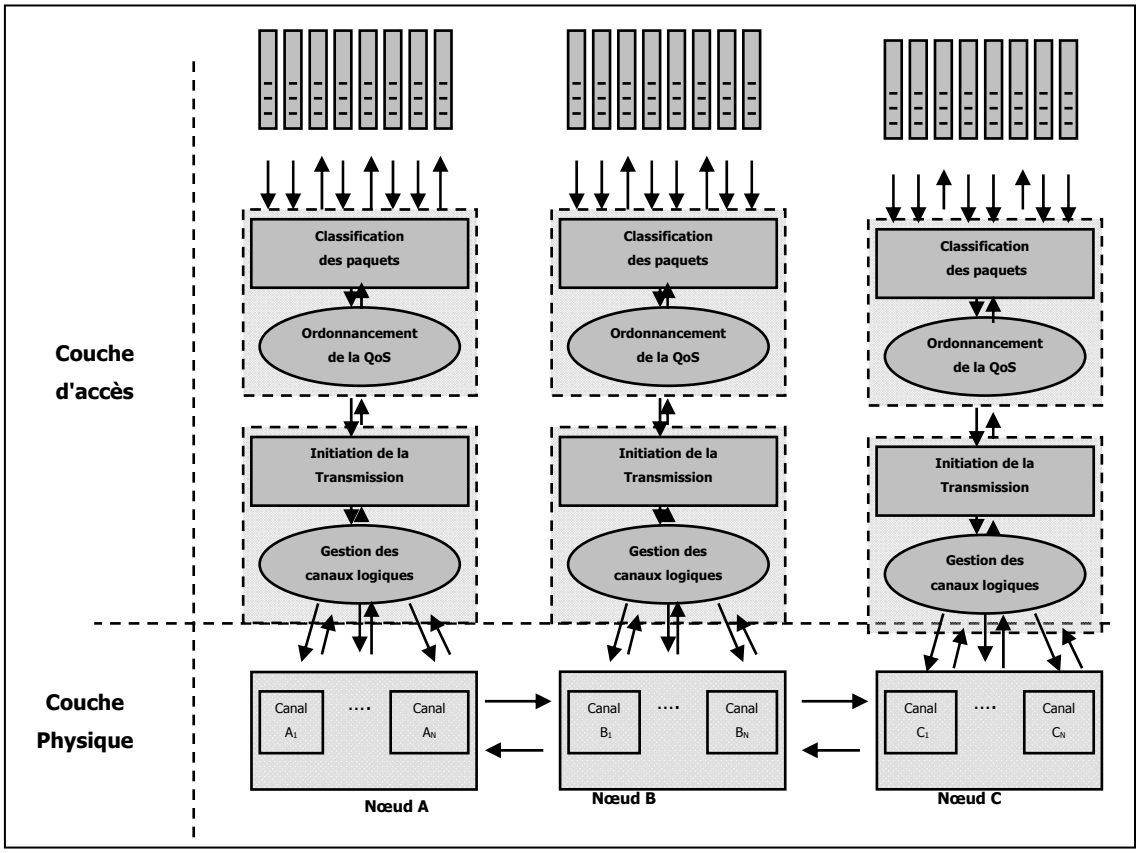

Figure 1.3 Organisation de la couche d'accès

Le premier modèle utilisé dans la conception des protocoles de la couche d'accès est le modèle mono-canal à accès aléatoire: durant un slot donné, un seul nœud est autorisé à transmettre dans le voisinage. Lorsque plusieurs nœuds transmettent durant le même slot, il y a collision. Les protocoles conçus sur la base de ce modèle sont les protocoles à compétition. Ils utilisent le principe du CSMA/CA (Carrier Sense Medium Access/Collision Avoidance). Les efforts de normalisation des protocoles qui s'appuient sur ce principe CSMA/CA ont conduit l'institut IEEE à la norme 802.11 et ses variantes (Raja, Cristina et Pierre, 2004; Siva, Ram et B., 2004a). Afin d'augmenter la capacité du réseau, des protocoles plus complexes ont été conçus. Ce sont par exemple les protocoles qui permettent plusieurs transmissions durant un slot donné ou protocoles multi-canaux. Ils offrent plusieurs canaux auxquels les utilisateurs peuvent accéder de façon aléatoire. Par conséquent, dans un voisinage donné, plusieurs paires de nœuds peuvent intitier des communications simultanément sans interférences majeures c'est- à-dire sans se brouiller mutuellement. Les canaux sont en général séparés à l'aide de codes de transmissions dans le cadre de la première technique d'étalement de spectre, c'est le DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Dans le cadre de la deuxième technique d'étalement, celles à sauts de fréquence, c'est-à-dire le FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) les canaux sont representés par des sauts sur differents groupes des fréquence. Dans les réseaux utilisant des antennes directionnelles c'est-à-dire la technique SDMA (Space Division Multiple Access) les canaux de transmissions sont séparés dans l'espace, grâce la directionalité des antennes (Raja, Cristina et Pierre, 2004). Le schéma de la Figure 1.4 récapitule les trois étapes de l'évolution du modèle d'accès au canal sans fil des réseaux ad hoc, en allant du modèle à accès aléatoire mono-canal au modèle d'accès à détection MU.

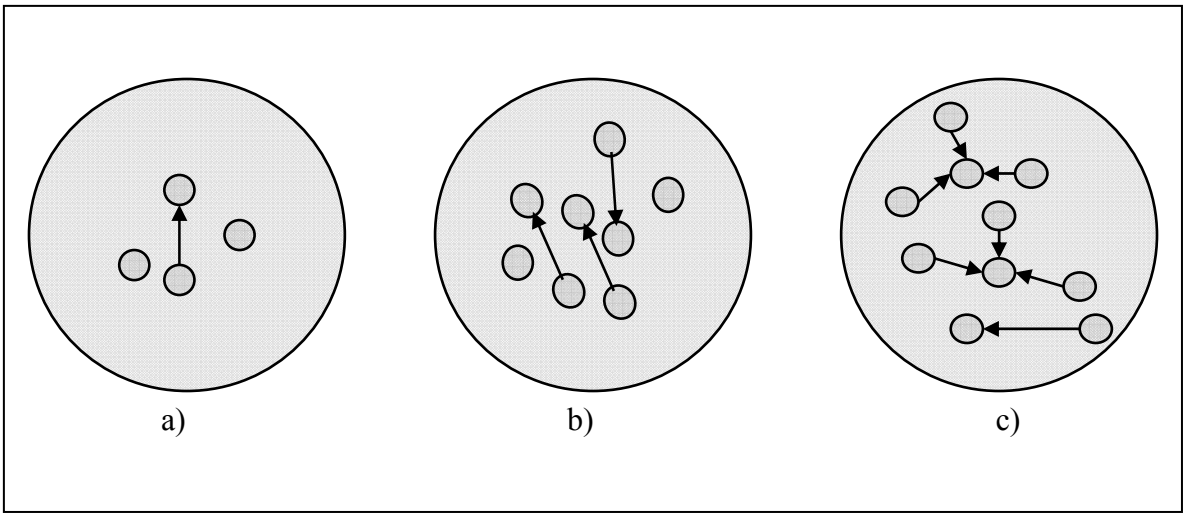

Figure 1.4 a) Protocoles à accès aléatoire b) Protocoles multi-canaux
c) Protocoles à réception multi-utilisateurs

Les vingt dernières années de recherche dans le traitement du signal au niveau de la couche physique ont permis des avancées significatives, dans les méthodes de réceptions de signaux superposés à la sortie du canal : allant de la simple réception multi-utilisateurs conventionelle qui se base sur des opérations simples de filtrage adapté à des opérations ou série d'opérations complexes englobées dans la dénomination de détection MU. La réception simple MU et la détection MU sont aisément réalisables dans les systèmes CDMA en général ou ceux à antennes multiples. Du point de vue de la couche d'accès l'impact de ces techniques est important en termes de débit globale du réseau qui est alors sensiblement augmenté. Dans les protcoles d'accès, cela signifie que : par nœud de réception plusieurs connexions sont supportables simultanément. Chaque slot est alors une occasion de réception de paquets en parallèles. Cette structure de la réception au niveau des différents nœuds du réseau impose que la gestion des accès au media soit réalisée suivant un modèle différent du modèle de base à accès aléatoire (Mergen et Lang, 2001).

1.4.2 Le détection multi-utilisateurs au niveau du protocole

1.4.2.1 Problématique

Cette étude porte sur les réseaux ad hoc de stations CDMA dotées de protocoles du modèle c) (Figure 1.4). Notons que la même étude peut être faite dans les réseaux à antennes multiples. Notre focus est un ensemble de nœuds en réseaux, identifiés chacun par un code qu'ils utilisent en mode transmission, pour initier une seule liaison dans le voisinage. En mode réception chacun peut, soutenir plusieurs connexions et recevoir des paquets de plusieurs voisins. De facon conceptuelle, chaque nœud supportera plusieurs canaux logiques en mode réception et un canal logique en mode transmission. La couche d'accès se charge alors d'ordonnancer les réceptions multiples et les différentes transmissions.

La première tâche d'ordonanncement de la couche d'accès est matérialisée par un mécanisme d'initiation de la transmission ou mécanisme émetteur. Le problème est alors le suivant : à l'instant *t* du début du slot d'ordonnancement, dans un contexte à détection multi-utilisateurs nous avons, dans un voisinnage donné, quatre types de nœuds :

- les nœuds en position de transmettre des paquets, n'ayant pas de paquets à recevoir. Nous les appelerons les nœuds *ET (Eventuel Transmetteur)* ;
- ceux en position de transmettre, en destination desquels, d'autres nœuds désirent émettre des paquets. Nous les appelerons les nœuds *ETR (Eventuel Transmetteur ou Récepteur)* ;
- une troisième catégorie de nœuds n'ayant pas de paquets à transmettre, donc disposés à recevoir : les nœuds *ER (Eventuel Récepteur)* ;
- puis une quatrième catégorie, qui ne reçoivent, ni transmettent les noeuds *NTNR (Non Transmetteur et NonRécepteur)*.

Cette analyse est à la base de la conception des protocoles à détection multi-utilisateurs à accès ordonnancé que nous utilisons dans cette recherche. Les protocoles à détection MU basés sur la compétition ne sont pas abordés ici. Le mécanisme d'initiation de la transmission (Figure 1.3) trouve le meilleur compromis, entre les multiples réceptions à supporter et la transmission des paquets en attente dans les files et ce, afin de respecter les contraintes de

Rapport-Gratuit.com

qualité de service: débit, taux d'erreur, délai des trafic etc. Différents critères existent et sont implémentés dans les algorithmes d'initiation de la transmission, par exemple le délai maximal acceptable des paquets dans les fils d'attentes. A la fin de l'étape d'initiation de la transmission, les nœuds sont en mode transmission ou en mode réception et prêts à échanger les données. La seconde tâche est matérialisée par une différentiation de trafics à travers un mécanisme de priorité et la gestion de la qualité de service. Le mécanisme de différentiation des trafics (Figure 1.3) en général ne conditionne pas fortement la structure des protocoles étudiés, au même titre que le mécanisme d'initiation de la transmission. Pour cette raison nous ne nous attarderons pas la dessus. Par contre, la gestion de la qualité de service, c'est-à-dire comment offir la qualité de service demandées par les différents utilisateurs, comment la garantir dans la latence en dépit des aléas du canal physique de propagation sans fil, est une question fondamentale qui doit être résolue par la conception d'un mécanisme dédié à cet effet. Ceci est possible grâce à la méthodologie inter-couches et cet aspect sera développé plus amplement dans les prochains chapitres. Du point de vue de l'inter-couches davantage d'efficience peut être introduit dans l'ordonnancement en considérant les dynamismes des canaux physiques comme proposé dans ce travail. Par exemple, en mode réception, il est plus efficient, de différer la réception des paquets des nœuds dont le canal subit un évanouissement, à un moment où le gain de la liaison est plus élevé. Nous utilisons ainsi la diversité des canaux physiques pour gérer la qualité de service. Les imperfections de la couche physique, sources de dégradations des performances des canaux logiques deviennent au contraire des atouts pour améliorer l'ordonnancement.

1.4.2.2 Les différents types des protocoles à détection multi-utilisateurs

Les protocoles à détection multi-utilisateurs peuvent être conçus pour détecter le signal d'un utilisateur principal et supprimer les signaux des voisins qui constituent des interférences (Katsutoshi et al., 2009). Ce sont les protocoles à détections multi-utilisateurs *à suppression d'interférences*. Dans ce cas, l'algorithme de détection est seulement utilisé pour la suppression d'interférences ; bien que le gain en termes de débit moyen de ce type de protocole soit confirmé, la capacité d'utilisateur, c'est-à-dire le nombre d'utilisateurs

supportable est modéré. Une augmentation de la capacité d'utilisateurs peut être obtenue en développant des protocoles basés sur la détection simultanée des signaux de plusieurs utilisateurs. Ces protocoles ont été investigués et les essais récents sur le terrain ont démontré leur efficacité (Shaomin et al., 2010a; Shaomin et al., 2010b). Ce sont les protocoles à détection multi-utilisateurs *complets.* Deux visions de conception existent dans la conception des protocoles à détection MU complets. La première donne lieu à un groupe de protocoles à détection MU *complets à accès aléatoire* (Roland, Peiman et Behrouz, 2009) où les utilisateurs compétissent pour l'accès au média sans fil. Ceux qui gagnent l'accès transmettent leurs paquets au récepteur. Ils fonctionnent de façon asynchrone. La seconde donne lieu au groupe des protocoles à détection MU complets à accès ordonnancé (Zhang et al., 2009), qui ordonnancent l'accès des utilisateurs au média sans fil grâce à un algorithme précis. En se basant sur un critère de sélection, le protocole sélectionne les utilisateurs devant transmettre les paquets. Les transmissions sont généralement synchrones. Le mécanisme de signalisation est assez complexe, et les protocoles nécessitent encore plus d'études afin de maximiser les performances. Le fonctionnement complexe de ces protocoles peut donner de meilleures performances lorsqu'ils utilisent des informations de la couche physique.

1.5 La couche physique à détection multi-utilisateurs/transmission multi-débits

1.5.1 Généralités sur les algorithmes de détection multi-utilisateurs

Le détecteur multi-utilisateurs optimal a une complexité exponentielle. Dans la pratique les détecteurs mis en œuvre sont des détecteurs sous optimaux. Ils sont classés en récepteurs linéaires et non linéaires(Comaniciu, Naryan et Vincent, 2005).

1.5.1.1 Les détecteurs multi-utilisateurs linéaires

Les détecteurs multi-utilisateurs CDMA les plus investigués sont les détecteurs linéaires (Comaniciu, Naryan et Vincent, 2005; Ivan et Narayan, 1999; Verdú, 1998). Ce sont, les détecteurs décorrélateur (DEC en abrégé), à erreur quadratique moyenne minimale (MMSE

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Minimum Mean Square Error), à suppression successive d'interférences linéaire (SIC Successive Interférence Cancellation). Le détecteur décorrélateur est optimal au sens du maximum de vraisemblance. Le détecteur MMSE minimise l'erreur quadratique moyenne entre la sortie du filtre adapté et les symboles détectés (MMSE). Le décorrélateur annule les interférences mais ses opérations augmentent la contribution du bruit dans les données reçues. Le récepteur MMSE, pour résoudre ce problème, trouve un compromis entre l'annulation d'interférences et le rehaussement du bruit, ses performances dépassent celle du décorrélateur lorsque le bruit est important dans le système. Le détecteur à suppression successive d'interférences linéaire décode un premier utilisateur à l'aide d'un filtre adapté modifié décrit en (Ivan et Narayan, 1999). Il opère ensuite la décision pour obtenir le bit réel reçu qu'il remodule et soustrait du signal reçu. Ce dernier passera à travers le filtre adapté du deuxième utilisateur ainsi de suite. Pour augmenter l'efficacité de la suppression, le premier utilisateur à décoder est celui ayant la plus forte puissance, puis le second, ainsi de suite. L'inconvénient de ce récepteur est le délai de détection. L'avantage principal de ces trois détecteurs réside dans la linéarité qui permet leur manipulation lors des études analytiques. Ils appliquent une opération linéaire à la sortie de la "banque de filtres adaptés" ou "adaptés modifiés" lors de la détection (Figure 1.5). L'opération linéaire peut être, en général mis sous forme matricielle. Leur inconvénient est la question de la charge de calculs qu'ils engendrent du fait de l'opération matricielle. Pour cela, des versions adaptatives de ces récepteurs ont été créées. Ce sont les récepteurs adaptifs utilisant une séquence d'apprentissage et les récepteurs aveugles qui ne nécessitent pas de séquence d'apprentissage. Les propriétés de ces récepteurs sont données dans les Tableaux 1.1 et 1.2 de la référence(Comaniciu, Naryan et Vincent, 2005). Leur utilisation sort du cadre de cette étude.

1.5.1.2 Les détecteurs non linéaires

Le détecteur à suppression successive d'interférences SIC (Successive Interference Cancellation) non linéaire décode un premier utilisateur à l'aide de son filtre adapté et estime le bit reçu. Il remodule ensuite son signal et le soustrait du signal reçu qui passe à travers le filtre adapté du deuxième utilisateur et ainsi de suite. Ce détecteur, qui est le récepteur SIC,

par essence, est non-linéaire car il se base sur une estimation du bit reçu à chaque décision. La suppression est efficiente lorsqu'elle est faite par ordre des puissances décroissantes. Le détecteur à suppression parallèle PIC (Parallel Interference Cancellation), reconstruit les interférences et les soustrait en parallèle. Il présente un meilleur délai de décodage que le SIC par contre il est plus complexe. L'inconvénient majeur de ces deux récepteurs est lié aux erreurs de décision qui se propage et s'amplifie à travers la reconstruction des interférences.

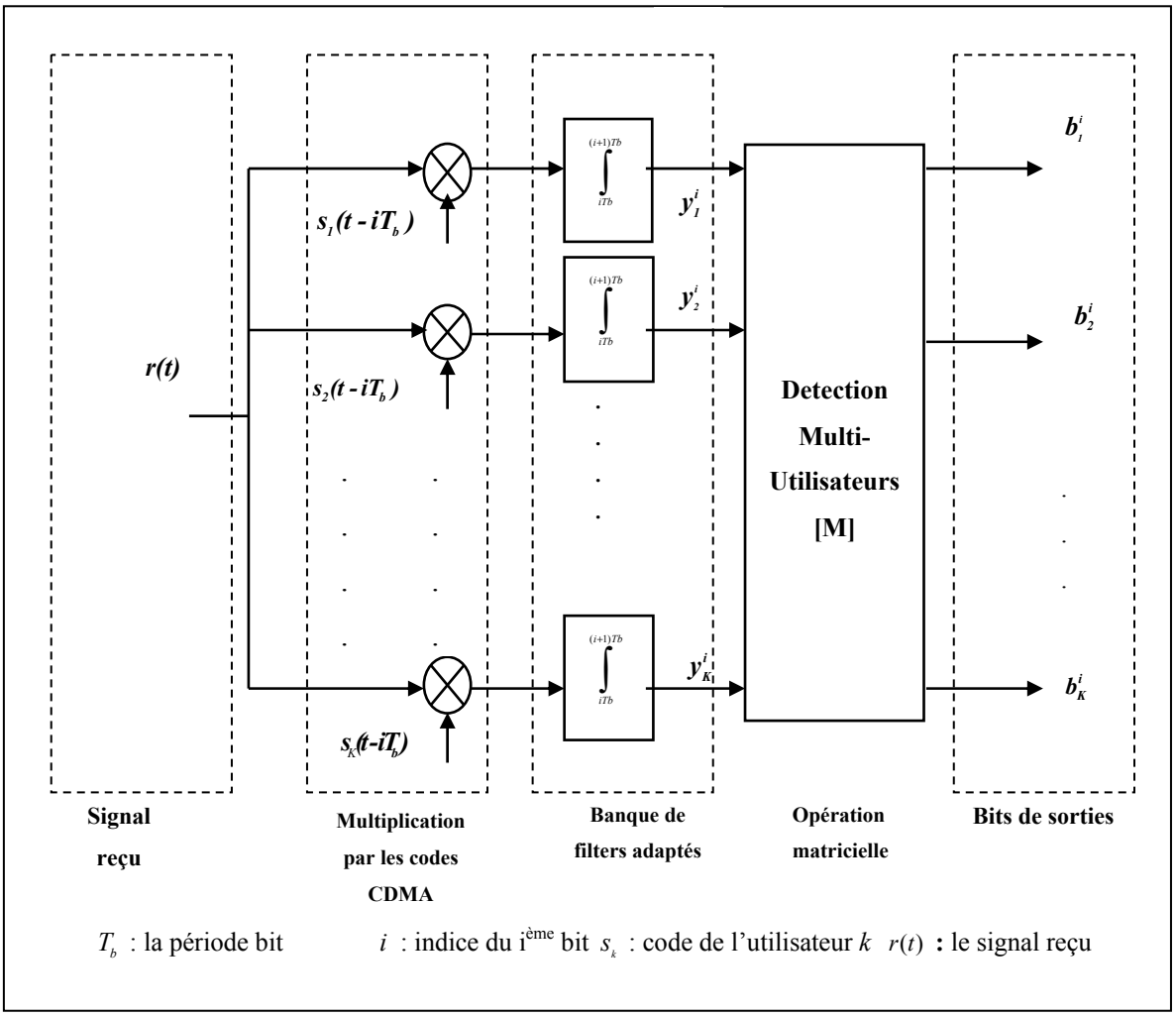

Figure 1.5 Schéma d'un détecteur multi-utilisateurs linéaire CDMA

1.5.2 Traitement du signal et complexité

1.5.2.1 Modèle des signaux dans la détection linéaires

Afin de définir le modèle du signal reçu, nous considérons un ensemble de K utilisateurs, choisis parmi un total de K^{total} utilisateurs par un protocole donné, pour initier des transmissions dans un certain voisinage. Nous supposons que le protocole est synchrone et que K paquets sont reçus en même temps, et stockés dans les tampons des utilisateurs. Après chaque période bit, K échantillons de différents utilisateurs sortent des filtres adaptés. La sortie du filtre adapté de l'utilisateur *k,* $y_k(i)$ est donnée par l'expression (Verdú, 1998) :

$$y_k(i) = \sqrt{2P_{tx}}\, b_k(i) h_k(i) + \sum_{l \neq k}^{K} \rho_{k,l} \sqrt{2P_{tx}}\, b_l(i) h_l(i) + \eta_k(i) \tag{1.1}$$

où $\sqrt{2P_{tx}}$ est l'amplitude du signal transmis, $b_k(i)$, le symbole transmis par l'utilisateur *k*, $h_k(i)$ le gain du canal, $\eta_k(i)$ l'échantillon du bruit à la sortie du filtre adapté et $\rho_{k,l}$ est la corrélation entre les séquences d'étalement k et l. Le symbole $b_k(i)$, s'exprime par $b_k(i) = \pm 1 + j(\pm 1)$, pour une modulation QPSK où $j = \sqrt{-1}$; dans le cas d'une modulation M-QAM à M_{i_c} points, il s'exprime par $b_k(i) = \{\pm(2m_{i_c} - 1) \pm j(2m_{i_c} - 1)\}$ avec $m_{i_c} \in \{1, ..., \sqrt{M_{i_c}} / 2 + 1\}$. Ici, lorsque des transmetteurs multi-facteurs d'étalement et à codes multiples seront utilisés, ils fonctionneront avec le QPSK; pour le transmetteur à taille de constellation variable la modulation sera la M-QAM avec i_c, l'indice de la taille de constellation choisie. Le gain du canal est défini comme suit, $\alpha_k(i) = |h_k(iT_b)|$ est l'amplitude des coefficients du canal qui suivent une distribution stochastique de Rayleigh, tel que $h_k(t) = \alpha_k(t) e^{\varphi_k(t)}$ et $\varphi_k(t)$ est une variable aléatoire qui suit une distribution uniforme. L'échantillon du bruit à la sortie du filtre adapté est défini tel que :

$$\eta_k(i) = \sigma \int_{iT_b}^{i(T_b+1)} n(t) s_k(t) dt \tag{1.2}$$

où σ est la puissance du bruit dans le canal, T_b la période bit, $s_k(t)$ la signature normalisée avec une énergie de 1. Les signatures $s_k(t)$, $k = 1,...,K$ sont définies par leur inter-corrélation qui s'écrit :

$$\rho_{k,l} = \mathbf{E}\{s_k s_l^*\} \tag{1.3}$$

Dans le cas où les transmissions sont synchrones au niveau des bribes, des codes orthogonaux peuvent être utilisés, l'inter-corrélation prend les valeurs suivantes $\rho_{k,k} = 1$ et $\rho_{k,l} = 0$. Les codes OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) sont les plus utilisés (Adachi, K. et M., 1997). Alternativement des codes de Walsh peuvent être utilisés aussi (J. Goldsmith, 2005). Les systèmes implémentant ces codes fonctionnent tant que la synchronisation est maintenue. Cependant, d'importantes pertes en performance arrivent lorsque l'on perd la synchronisation. De façon concrète, synchroniser les bribes dans un réseau ad hoc est très difficile à réaliser, cette question est discutée (Katsutoshi et al., 2009). Les questions générales de synchronisation dans les réseaux ad hoc sont discutées (Ebner et al., 2002; Tyrrell, G. et Bettstetter, 2006). Pour ces raisons, l'on préfère utiliser des codes aléatoires même si une synchronisation est supposée au niveau du réseau. La mesure de performance sera une mesure pessimiste dans ce cas. Dans d'autres systèmes, on préfère contourner ce problème en utilisant des codes orthogonaux auxquels on superpose un deuxième étalement avec de codes aléatoires(Ojanpera et Ramjee, 1998). Nous avons choisi la première option. Les inter-corrélations des codes aléatoires sont données par (Verdú, 1998), $\rho_{k,k} = 1$ et $\rho_{k,l} = 1/G$, de second moment $\mathbf{E}\{\rho_{k,k}^2(\tau)\} = 1$ et $\mathbf{E}\{\rho_{k,l}^2(\tau)\} = 1/(3G)$, où G est le facteur d'étalement.

Les échantillons à la sortie du filtre adapté décrit par la formule (1.1) peuvent être mis sous la forme matricielle, de la façon la suivante :

$$\boldsymbol{y} = \boldsymbol{RAb} + \boldsymbol{n} \tag{1.4}$$

où $\boldsymbol{y}$ est défini par $\boldsymbol{y} = [y_1, y_2, ..., y_K]^T$, $\boldsymbol{R}$ est la matrice des inter-corrélations entre les codes des différents utilisateurs reçus, $\boldsymbol{b} = [b_1, b_2, ..., b_K]^T$, le vecteur des symboles transmis, $\boldsymbol{A}$ est la matrice diagonale des gains de canaux et $\boldsymbol{n}$ est le vecteur des échantillons de bruit à la sortie du filtre adapté.

La détection MU linéaire consiste à multiplier le vecteur des échantillons reçus à la sortie de la banque de filtres adaptés par la matrice $\boldsymbol{M}$ comme le montre la Figure 1.5 :

$$\hat{\boldsymbol{b}} = \boldsymbol{M}\boldsymbol{y} \tag{1.5}$$

où la matrice $\boldsymbol{M}$ prend les formes suivantes pour, le récepteur conventionnel, le détecteur à suppression d'interférences, le détecteur décorrélateur, le détecteur d'erreur quadratique moyenne (Ivan et Narayan, 1999; Verdú, 1998) respectivement :

$$\begin{aligned} \boldsymbol{M}^{\mathrm{MF}} &= \boldsymbol{I} \\ \boldsymbol{M}^{\mathrm{DEC}} &= \boldsymbol{R}^{-1} \\ \boldsymbol{M}^{\mathrm{SIC}} &= (\boldsymbol{R}^{\mathrm{L}}\boldsymbol{A})^{-1} \\ \boldsymbol{M}^{\mathrm{MMSE}} &= \left[\boldsymbol{R} + \sigma^2 \boldsymbol{A}^{-2}\right]^{-1} \end{aligned} \tag{1.6}$$

où $\boldsymbol{R}^L$ est la matrice triangulaire inférieure des inter-corrélations normalisées (Ivan et Narayan, 1999).

1.5.2.2 Complexité de la détection linéaire

Le coût de réception des paquets lorsque l'on utilise un détecteur MU inclut les calculs opérés par les filtres adaptés, la multiplication des échantillons à la sortie du filtre adapté par les matrices définies dans les formules (1.6) (Buehrer, Correal-Mendoza et Woerner, 2000). La complexité est définie par le nombre d'opérations requis pour déterminer un symbole CDMA. Les complexités des filtres conventionnels, à suppression successives

d'interférences, à décorrélation ou à erreur quadratique moyenne, dénotées $C_{b,MF}$, $C_{b,SIC}$, $C_{b,DEC}$ sont les suivantes pour l'usagers k :

$$C_{b,MF} = 2GN_sK \tag{1.7}$$

$$C_{b,SIC} = \left(2GN_sK + 5K + 8\sum_{k=1}^{K-1} k + (K-1)(5+2GN_s)\right) + \frac{2KGN_s(K-1) + K + K\log 2(K)}{N_b} + 2K \tag{1.8}$$

$$C_{b,DEC} = 2GN_sK + N_bK^2 + 5K + \frac{2KGN_s(K-1)}{N_b} + \frac{2}{3}N_b^2(K)^3 \tag{1.9}$$

Où N_b est la longueur de la trame et N_s le nombre d'échantillons par bribe, G est le gain d'étalement.

La complexité du récepteur décorrélateur peut être approximée par la formule suivante (Markku, Behnaam et Jorma, 1998).

$$C_{b,DEC} \approx N(K)^3 \tag{1.10}$$

D'où pour le récepteur à MMSE nous avons :

$$C_{b,MMSE} \geq C_{b,DEC} \approx N\left(K\right)^3 \tag{1.11}$$

1.5.3 Transmissions multi-débits

Due à l'adoption du concept de la radio logiciel, et à la grande disponibilité des circuits électroniques, les détecteurs multi-utilisateurs présentent un intérêt certain. Leur utilisation a un impact direct sur la performance de la couche d'accès radio, car ils ont l'avantage de permettre un débit moyen important ainsi que des liaisons de très hautes qualités. Elle engendre cependant des défis majeurs à relever dans la conception des protocoles. La référence (Comaniciu, Naryan et Vincent, 2005) détaille ces défis en profondeurs. L'un d'entre eux est de répondre au besoin de flexibilité en qualité de services, c'est-à-dire doter les différentes stations d'une gamme importante de débits et de taux de pertes de paquets. La

technique de transmission multi-débits CDMA jumelée avec la détection MU constitue une solution pour relever ce défi. Bien investiguées dans la littérature, elle a d'abord été traitée avec une réception MU simple dans la référence (Tony et Arne, 1995). Le gain en débit est significatif par rapport au mono-débit avec un assez bon taux de perte de données. Pour offrir le même taux de pertes de données, dans des conditions de transmissions plus sévères (effet d'éblouissements, augmentation du nombre d'interférents) et surtout de meilleure capacité d'utilisateurs supportables, les détecteurs MU ont été introduits pour la réception de signaux multi-débits (Rekha et al., 2009).

Nous définissons dans cette sous section les notions et concepts sur la transmission multi-débits. L'émetteur multi-débits est doté de la capacité de transmettre les paquets à différents taux de transmission; plusieurs techniques de transmission multi-débits existent dans la littérature (Tony et Arne, 1995) : la transmission multi-débits par variation du facteur d'étalement (MPG multi-spreading gain), la transmission par codes multiples(MC multi-codes), par variation de la taille de la constellation (MM multi-modulation) et celle par variation du débit de transmission des bribes. Les deux premières assurent les mêmes niveaux de performances qui sont supérieures à celle des transmissions à la taille de constellation variable. Nous avons choisi de travailler avec les trois premières techniques et d'ignorer la transmission à débit de bribes variable, car elle augmente de façon significative et quasi-irréaliste, les problèmes de synchronisation, et la complexité du système.

1.5.3.1 Transmissions multi-débits à facteur d'étalement variable

Un transmetteur CDMA à facteur d'étalement variable est un système de transmission qui envoie le train de données à différents débits en variant la longueur facteur d'étalement. Il est caractérisé par (Tony et Arne, 1995) une bande de fréquence de fonctionnement, une période de transmission des bribes fixe, T_c, la série des débits $R_1, R_2, ..., R_{n_c}$ disponibles, la série de facteurs d'étalement y correspondant $G_1, G_2, ..., G_{n_c}$ tel que $G_{i_c} = w / R_{i_c}$. Enfin, il est aussi caractérisé par la série de puissances de transmission $P_1, P_2, ..., P_{n_c}$ utilisées pour fournir les débits demandées. En fonction des périodes de transmissions les débits peuvent être réécrits

de la façon suivante, $R_1 = 1/T_1 > R_2 = 1/T_2 > ... > R_{n_c} = 1/T_{n_c}$ où généralement ils sont des multiples du plus petit débit R_1, c'est-à-dire que $R_{i_c} = L.R_1$, $i_c = 1,...,n_c$. Afin de déterminer ces puissances, l'on suppose que le point de fonctionnement optimal du transmetteur est atteint lorsque tous les utilisateurs transmettent au même rapport signal sur bruit (Tony et Arne, 1995). Cette condition peut être résumée par la relation suivante après quelques simplifications :

$$E_b = P_{i_c} T_{i_c} \qquad i_c = 1,...,n_c \qquad (1.12)$$

tel que E_b est l'énergie par bit correspondant à chaque débit. Les puissances et débits des différents utilisateurs sont liés par la relation suivante :

$$\frac{R_{i_c}}{R_{j_c}} = \frac{P_{i_c}}{P_{j_c}}, \qquad i_c = 1,...,n_c; j_c = 1,...,n_c \qquad (1.13)$$

Cette relation sera très utile dans ce travail, car si la puissance moyenne de transmission est souvent disponible, celle instantanée est difficile à obtenir. Par contre, grâce à un mécanisme de prédiction et de seuillage du canal, les débits de transmission peuvent être connus. Cela nous permettra donc d'exprimer simplement un modèle mathématique des pertes de données pour l'évaluation des performances.

1.5.3.2 Transmissions multi-débits à code multiples

Un transmetteur à codes multiples peut offrir plusieurs débits en envoyant le train principal de bits sur plusieurs trains en parallèles. Une conversion série/parallèle du train principal est d'abord réalisée. Elle est ensuite suivie d'un étalement des différents trains obtenus par des codes différents de même longueur de facteur d'étalement. Ce transmetteur est généralement appelé transmetteur multi-canal. Cette appellation ne sera pas utilisée afin d'éviter toute confusion avec les canaux logiques ou physiques du réseau. Ces caractéristiques sont G_0 la

Rapport-Gratuit.com

taille du facteur d'étalement utilisé tel que $G_0 = w / R_0$, avec R_0 le débit d'un train de données (Tony et Arne, 1995). Le débit global du transmetteur est un multiple de R_0 et la variation du nombre de codes utilisés $N_{i_c}^{cd}$, $i_c = 1,....,n_c$ permet de le moduler. Ici tous les utilisateurs transmettent à la même puissance et la formule (1.13) est valable lorsque l'on veut exprimer les rapports des puissances des usagers entre eux en fonction des débits.

1.5.3.2 Transmissions multi-débits à taille de constellation variable

Dans la transmission à taille de constellation variable, l'émetteur change la taille de la constellation de symboles dans la modulation du train de bits à envoyer afin de varier le débit. Il dispose alors d'un ensemble de constellations à M_{i_c} points, $i_c = 1,...,n_c$ correspondant aux débits R_{i_c}. En supposant que $R_1 > R_2 > ... > R_{n_c}$ tel que R_{n_c} est le plus petit débit offert par une modulation à quatre symboles QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), nous pouvons définir la taille de la constellation en fonction des débits par la formule suivante(Tony et Arne, 1995), $M_{i_c} = 2^{R_{i_c}/R_{n_c}}$. Les rapports entre puissances de transmissions des usagers sont liés aux rapports des débits par la relation (1.13) sous la condition que le point de fonctionnement optimal est atteint si les utilisateurs sont tous au même rapport signal sur bruit par bit.

1.6 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre nous avons présenté, le protocole de la couche d'accès radio et la couche physique dans le contexte général des réseaux ad hoc. Tous les protocoles qui y sont décrits sont à mono-réception, de même que les couches physiques. Ensuite, nous présentons ces couches dans le contexte de multi-réceptions. Nous y détaillons, la couche d'accès radio multi-utilisateurs et la couche physique à détection multi-utilisateurs. La couche physique est détaillée, au niveau de la réception ainsi que de la transmission, puis des modèles mathématiques de calcul de la complexité ont été fournis.

CHAPITRE 2

CADRE CONCEPTUEL INTER-COUCHES CONÇU

2.1 Introduction

La séparation des études, d'une part pour optimiser la couche physique, et d'autre part pour optimiser les couches supérieures des réseaux ad hoc, est modélisée par la barrière entre la couche physique et la couche d'accès radio du modèle OSI. La barrière OSI reste fictive, car des dégradations dans la couche physique, diminuent fortement les performances des autres couches. Il serait plus bénéfique de concevoir une interface, plus adaptée à cette réalité, à la place. De ce fait, une meilleure interface entre la couche d'accès radio et la couche physique à détection multi-utilisateurs nous permet de relever les défis, que constituent les objectifs de ce travail. Pour une telle interface, la connaissance des conditions futures, de la transmission de données est nécessaire. Ces conditions se résument aux taux de perte de paquets et aux débits estimés, les puissances reçues à la sortie du canal radio par les utilisateurs. Les valeurs de ces informations, définissent, les conditions du canal d'accès logique au niveau de la couche d'accès radio. Les conditions d'un canal logique sont déterminées par l'état de la propagation dans le milieu physique, le niveau d'interférences et le contexte (mono ou multi-utilisateurs). Dans la détection multi-utilisateurs, trouver l'état présent ou futur du canal d'accès logique, est complexe. Plusieurs canaux radios physiques sont en jeu et le niveau d'interférences est plus élevé.

Dans ce chapitre, la structure du protocole de base et de la plateforme à détection multi-utilisateurs utilisée, ainsi que les mécanismes, permettant de faire la liaison entre la couche physique et la couche d'accès radio sont présentés. L'accent est mis sur la structure du protocole d'accès, ses points forts et ses points faibles, son fonctionnement, ainsi que la structure et le fonctionnement de la couche physique. Le protocole étudié est à accès ordonnancé. La couche physique est une plateforme radio logicielle à détection MU, développée récemment (Ivan et Narayan, 1999). Elle intègre plusieurs types de récepteurs. La plateforme est modulable, et choisit le récepteur en fonction de la qualité de service

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

demandée. Nous décrivons ensuite en détails la structure du cadre inter-couches conçu, qui permet à la couche d'accès radio d'exploiter la prédiction des canaux radios physiques pour adapter les débits des utilisateurs.

La section 2.2 situe la méthodologie inter-couches dans la littérature et fournit les architectures de conception existantes, ainsi que quelques exemples de conception inter-couches. La section 2.3 présente la structure de base que nous étudions dans ce travail en trois parties. Elle détaille le protocole de base en premier lieu, en deuxième lieu la plateforme radio logicielle, en troisième lieu l'interfaçage de ces deux entités. Dans la section 2.4 nous décrivons de façon succinte le cadre conceptuel, puis donnons le détail des différents modules.

2.2 Méthodologie inter-couches dans la littérature

L'approche de conception inter-couches en général, représente un domaine de recherche hétérogène, elle adresse diverses combinaisons des couches du réseau. Dans cette section, nous soulignons les questions importantes du domaine. Nous présentons ensuite un aperçu des références sur la conception inter-couches physique/couches d'accès. Les méthodes d'optimisation inter-couches peuvent être classées en trois groupes :

- les approches théoriques d'optimisation qui se basent sur une analyse mathématique suivie de l'implémentation ;
- Les approches pratiques font une adaptation de la couche supérieure en jeu, en fonction de la couche inférieure. Elles se basent sur la conception et l'implémentation d'un protocole adaptif ;
- et les méthodes mixtes combinent ces deux approches.

2.2.1 Les différentes architectures inter-couches

La question d'une architecture commune de conception inter-couches est d'un grand intérêt. Elle est discutée par plusieurs auteurs (Conti et al., 2004; Kawadia et Kumar, 2005; Setton et al., 2005). Ils soulignent la nécessité de conserver les avantages du modèle en couches dans

la nouvelle architecture : modularité, transparence des couches les unes aux autres ; tout en intégrant les nouvelles méthodes. En 2005, Vineet et Mehul (Vineet et Mehul, 2005) recensaient trois types d'architectures proposées dans la littérature:

- les architectures à interface ;
- les architectures avec une base de données inter-couches ;
- les architectures en tas de protocoles.

Les deux premières sont les plus utilisées en raison de leur compatibilité avec le modèle OSI. Cette étude utilise la première architecture.

2.2.2 Interfaçage couche d'accès radio/couche physique dans la littérature

La couche physique est longtemps restée à l'écart de la conception inter-couches des réseaux sans fil ad hoc. Pourtant, la qualité des transmissions dans ces réseaux dépend fortement de ses performances. L'idée de l'interfaçage entre la couche physique et les couches de contrôle de réseaux a été tout d'abord développée par Gallager en 1985 (Gallager, 1985), qui montrait comment un même problème, celui de l'accès multiple à un canal donné, est traité dans deux domaines différents : celui de la théorie de l'information et celui du contrôle d'accès radio. L'idée a ensuite été généralisée par Ephremides et Hajek en 1998 (Anthony Ephremides et Hajek, 1998) qui font le lien entre, la théorie de l'information et le domaine de la conception des réseaux. Dès lors l'utilisation des caractéristiques de la couche physique dans les protocoles des couches de contrôle de réseau constitue, un axe important de recherche sur les réseaux ad hoc. Les références sur la conception inter-couches physique/couches supérieures sont très diversifiées. Dans ce qui suit, différents exemples de conception inter-couches sont analysés dans le but de présenter l'inter-couches d'accès radio et couche physique.

2.2.3 Inter-couches d'accès radio/couche physique

2.2.3.1 Couche d'accès radio supportant une liaison à débit adaptatif

Les références (Ning, Sankar et Jungsik, 2005; Wing Ho, Heung-no et Andersen, 2002) présentent chacune, une structure basée sur la communication entre la couche d'accès et la couche physique, pour optimiser les performances du récepteur. La couche d'accès effectue une adaptation du débit de la liaison sans fil, dans le but de maximiser le débit global du réseau. La couche physique implémente une modulation adaptative. Le choix des débits est piloté en fonction d'une estimation de la qualité des liaisons. En (Wing Ho, Heung-no et Andersen, 2002) le nœud récepteur estime le gain du canal en utilisant le paquet de contrôle RTS (Request-To-Send). Le gain estimé permet de calculer le rapport signal sur bruit et interférences, SINR (Signal-to-Interference Ratio). Le débit correspondant est sélectionné et envoyé au transmetteur grâce au paquet CTS (Clear-To-Send). En (Ning, Sankar et Jungsik, 2005) la qualité de la liaison estimée au récepteur, c'est la puissance reçue. Elle est calculée à l'aide d'un modèle de propagation.

2.2.2.2 Optimisation conjointe de la couche d'accès radio et physique

Mihaela et al. (M. Van Der Schaar, 2005) proposent une approche théorique pour optimiser la transmission du multimédia dans le réseau. Leur méthode consiste à identifier les stratégies d'adaptation et de protection du trafic multimédia, dans le réseau :

- les modes de modulations et les codages utilisés au niveau de la couche physique
- le contrôle d'admission, l'ordonnancement, l'adaptation de la taille des paquets, les mécanismes de correction d'erreur (FEC), de répétition (ARQ) au niveau de la couche d'accès.

Le but est de trouver la combinaison optimale de stratégies, afin de respecter les contraintes de qualité de service, de délai et de puissance, sachant que la qualité de service est fonction de l'état du canal physique. Ils proposent l'algorithme d'optimisation suivant :

- regrouper les stratégies qui peuvent être optimisées conjointement ;

- optimiser un groupe de stratégies en fixant les autres ;
- répéter jusqu'à la convergence.

2.2.2.3 Ordonnancement de la couche d'accès radio basé sur contrôle de puissance de la couche physique

Elbatt et Ephremides (ElBatt et Ephremides, 2004) proposent un algorithme qui garantit un ordonnancement centralisé, minimisant la consommation de puissance dans un réseau CDMA. C'est un algorithme, qui limite de ce fait les interférences dans le réseau. Il alloue les puissances de transmission afin de respecter la contrainte de SINR : l'ordonnanceur impose aux nœuds souhaitant transmettre, d'être situés au moins à une distance *D* des nœuds, en mode réception pendant un slot donné. Pour le contrôle de puissance, les nœuds exécutent un algorithme, qui converge vers, la puissance minimale garantissant ce SINR. Lorsque l'algorithme ne converge pas dans un voisinage, le nœud au plus faible SINR suspend sa transmission. En (Weilan et Letaief, 2005) Huang et Letaief utilisent plutôt un algorithme distribué d'ordonnancement, pour optimiser l'allocation des puissances. Le problème du contrôle de puissance est formulé à l'aide de la théorie de jeux pour un accès radio par compétition.

2.2.2.4 L'intégration des modèles analytiques de la couche physique dans la couche d'accès radio

L'amélioration des performances de la couche d'accès radio grâce aux modèles mathématiques de la couche physique est une technique d'inter-couches. Dans la modélisation mathématique, d'importants travaux ont été faits, sous l'hypothèse du contrôle de puissance dans le réseau, afin de représenter : la capacité d'utilisateurs d'un détecteur, la contribution individuelle d'interférences d'accès multiples, les conditions nécessaires pour garantir la QoS etc. Les résultats sont présentés (Tse et Hanly, 1999), sous l'hypothèse de l'utilisation d'un grand réseau sans fil, dans lequel les utilisateurs transmettent avec des codes aléatoires. D'autres hypothèses ont été investiguées et ont conduit à des variantes de ce

travail : le cas de canaux multi-trajets, le cas de réseau avec des utilisateurs connus et inconnus (Yun et Anthony, 2004).

La référence (Taesang et al., 2004) optimise les communications multimédia, grâce à une méthode détaillée (Setton et al., 2005) en utilisant des modèles analytiques de la couche physique : un modèle du SINR, la formule de la probabilité d'erreur, la formule de Shannon pour le calcule des débits.

Liu et al. (Qingwen Liu, Zhou et Giannakis, 2004) développent une méthode analytique qui prend en compte la couche physique dans l'analyse des protocoles d'accès à réservation de bande passante. Le canal de communication suit une distribution de Nakagami. Ses variations à grande échelle sont intégrées dans du SINR moyen. Les variations à petite échelle sont modélisées par une chaîne de Markov à états finis. Le modèle prend en entrée la moyenne du SINR, la fréquence Doppler et le paramètre de la distribution de Nakagami. Il fournit en sortie les probabilités de transitions entre les différents états, utiles pour l'analyse des files d'attente de la couche d'accès.

2.3 Structure détaillée des deux couches de notre réseau

Cette section donne les structures des deux couches implémentées dans notre étude : le protocole à détection multi-utilisateurs MUD-MAC (Multi-user Detection Based Medium Access Control) (Zhang et al., 2009) au niveau de la couche d'accès radio, ainsi que la plateforme CDMA à détection multi-utilisateurs (Ivan et Narayan, 1999) au niveau de la couche physique.

2.3.1 Couche d'accès radio : le protocole d'accès radio MUD-MAC

La couche d'accès radio implémente le protocole qui combine l'accès multiple en temps et celle par codes de la couche physique pour fournir une grande quantité de canaux d'accès radio (TD-CDMA). Le temps est subdivisé en petits intervalles ou "slots". Le réseau est synchronisé au niveau des slots. Le protocole est distribué (non hiérarchisé) et comporte un

système d'ordonnancement basé sur la durée maximale d'attente des paquets, tolérée dans les files d'attente. La séparation des canaux logiques d'accès est en codes. Un mécanisme de contrôle de puissance permet d'annuler l'effet des affaiblissements à moyenne et grande échelles du signal reçu.

Les points forts de ce protocole choisi se résument, premièrement au fait qu'il est à détection multi-utilisateurs complet, deuxièmement, ses algorithmes sont basés sur un modèle mathématique récent, développé spécifiquement pour étudier la détection MU au niveau de la couche d'accès. Le protocole comporte, plusieurs autres mécanismes complexes, d'allocation de codes et de puissances, de gestion des priorités, et de circonscription du voisinage multi-utilisateurs. Ses points faibles sont, le fait que le ratio de paquets de signalisation dans le train de données transmis est élevé de 7 à 19%; il implémente au niveau de la couche physique une modulation à débit fixe simple. Par ailleurs le protocole ne s'occupe pas des aspects d'efficacité de la transmission sur le canal radio. La flexibilité de la qualité de service, c'est-à-dire le débit et le taux d'erreur, l'optimisation des transmissions sur des liaisons multiples dans le voisinage, de la gestion des priorités sont des aspects non considérés.

2.3.1.1 Division du temps et canaux logiques

La structure du protocole d'accès radio à détection multi-utilisateurs étudiée fut introduite dans la référence (Zhang et al., 2009). Il supporte deux types de canaux, séparés par des codes CDMA différents : un canal commun et des canaux dédiés. Le canal commun est destiné à l'échange d'informations de connectivité. Les canaux dédiés, sont destinés à l'ordonnancement et à la transmission de données. Dans le réseau, le temps est divisé en super-trames. Chaque super-trame comprend une trame de connectivité et N trames de données, figure 2.1. Lors de la transmission d'une trame de connectivité les utilisateurs choisissent chacun un code dédié pour la transmission de données. Ils mettent aussi à jour leur ensemble de codes correspondant aux liaisons établies dans le voisinage, c'est-à-dire celles assignées aux nouveaux voisins ou supprimées aux nœuds qui se déconnectent. Les N trames de données suivantes sur les liaisons actives sont destinées à la transmission de

données. Plus particulièrement, une trame de données est composée d'un slot d'ordonnancement et d'un slot de transmission de données propres. Le slot d'ordonnancement est subdivisé en trois mini-slots respectifs, d'ordonnancement initial, de correction de l'ordonnancement et de confirmation des connexions. Lors du premier mini-slot un algorithme distribué d'assignation de nœuds récepteurs permet à chaque station d'activer son statut qui peut être le statut réception de données ou le statut transmission de données (Figure 2.2). En détails, dans le statut réception, un nœud établit plusieurs connexions et dans le statut transmission une connexion. La décision de l'algorithme se base sur la priorité des paquets dans le voisinage. Les nœuds qui n'ont pas été activés lors de ce premier mini-slot exécutent une seconde étape de l'algorithme d'assignation afin d'établir des connexions. Le dernier mini-slot permet à chaque transmetteur de confirmer leur connexion et aussi de négocier la qualité de service (QoS) de leur liaison.

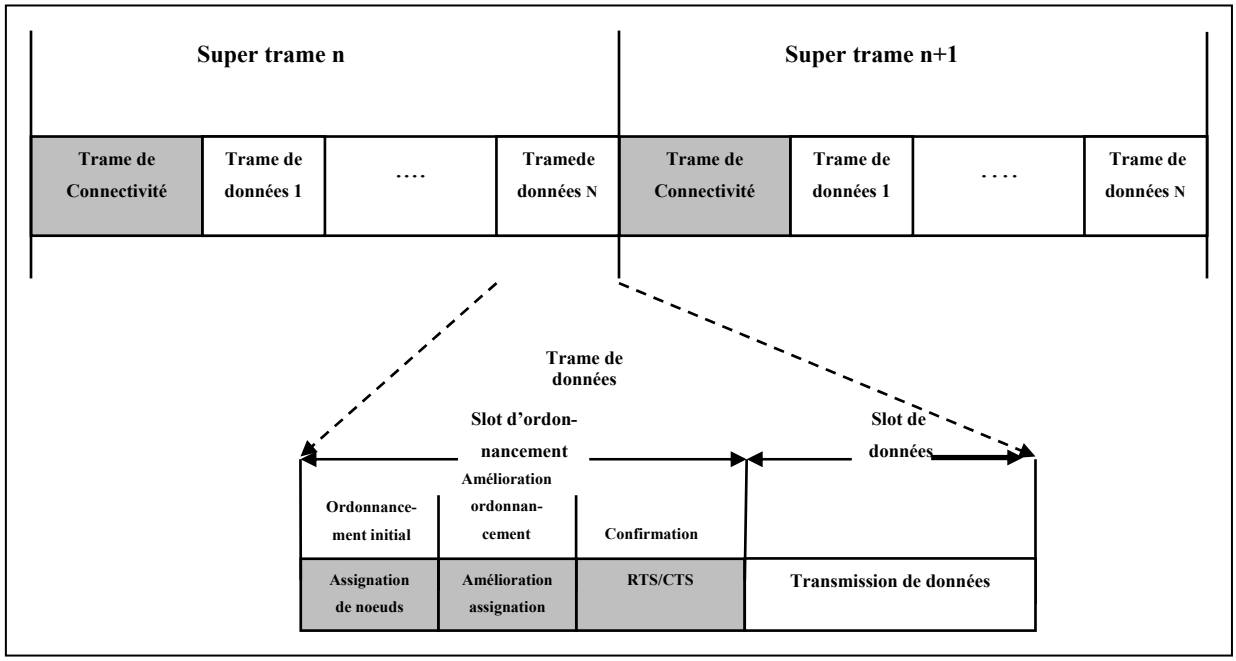

Figure 2.1 La structure de la division temporelle

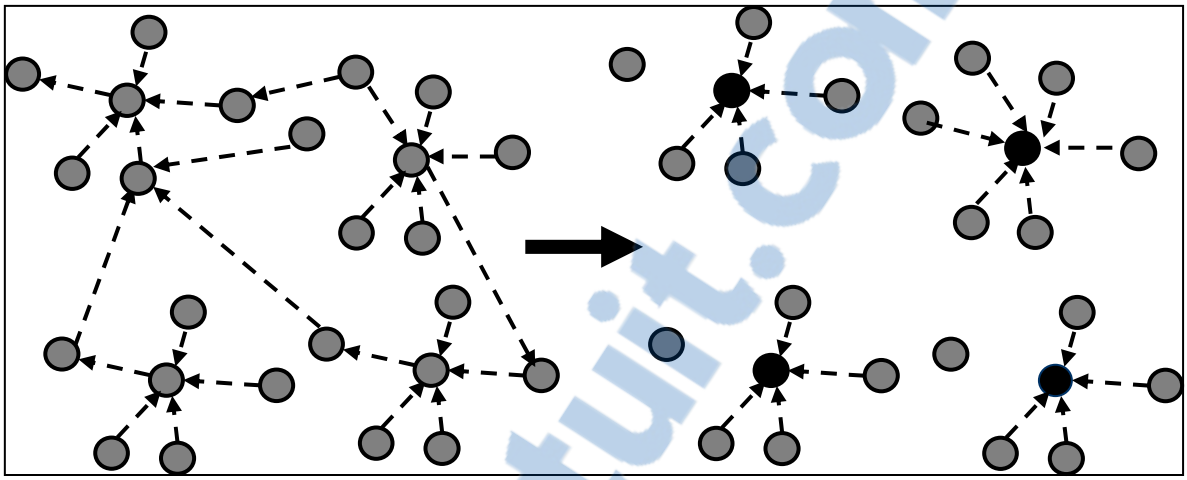

Figure 2.2 Assignation de récepteur dans le réseau

2.3.1.2 Trame de données et mécanisme d'échange d'informations inter-couches intégré

Dans la trame de données, les deux premiers mini-slots du slot d'ordonnancement sont des mini-slots d'établissement de connexions, comme illustrés par la figure 2.3. Ils permettent de sélectionner les récepteurs et les transmetteurs de paquets. Le troisième mini-slot est le mini-slot de confirmation des connexions. Le mécanisme d'échange d'informations intégré s'exécute dans ce mini-slot de confirmation (Figure 2.4). La fonction de confirmation des connexions définie dans la référence (Zhang et al., 2009) a pour rôle de vérifier si chaque récepteur peut recevoir les paquets avec le taux d'erreur requis pour un débit de transmission fixe sur toutes les connexions. Lorsque cette condition n'est pas satisfaite, certaines connexions ne sont pas confirmées. Nous avons ajouté davantage de complexité à ce mécanisme d'échange d'informations. La confirmation des connexions prend en compte la prédiction des variations à petite échelle du canal, qui correspondent à des débits selon un mécanisme décrit dans le cadre conceptuel qui sera présenté dans la section 2.4.

La qualité de service, est essentiellement représentée par les taux de perte de paquets, les débits de transmissions et les délais des paquets. Les utilisateurs en position de transmettre des paquets envoient dans les paquets de contrôle RTS avec des requêtes, de taux de pertes de paquets et de débits minimums, de délai maximal et une séquence pilote pour la

Rapport-Gratuit.com

prédiction. Les métriques citées doivent aussi être connues afin de permettre au récepteur de faire l'admission des connexions. Le récepteur détecte les paquets RTS, extrait les pilotes, prédit les taux de pertes de paquets, et choisit les débits de transmissions disponibles sur les différentes connexions. Ensuite il confirme l'établissement des liaisons en diffusant à tous les transmetteurs les taux d'erreurs et les débits dans un paquet CTS (Clear-To-Send). Cela conduit à modifier la structure des paquets RTS et CTS. La structure des paquets RTS est modifiée, en y ajoutant trois champs qui transportent les taux de pertes de paquets, les débits et les bits pilotes afin de permettre la prédiction de ces trois métriques. Le paquet CTS est modifié pour y inclure une série, de champs qui transportent les accusés de réceptions, les non-accusés de réceptions et les débits disponibles (Figure 2.5).

En somme, l'échange d'informations entre deux couches est une technique d'inter-couches très utilisée. C'est une importante source de gain en performance (Ashraf, A. Jayasuriya et S. Perreau, 2009; Rajan, 2009; Roland, Peiman et Behrouz, 2009; Shaomin et al., 2010b), car il peut palier de façon efficace aux dégradations introduites par le canal. Ici, les informations échangées sont les bits pilotes, les gains de canaux physiques, les puissances de transmissions, les taux de perte de paquets, les débits requis par les services. En détails, celles envoyées par la couche d'accès des transmetteurs au nœud central sont :

- les bits pilotes de chaque utilisateur pour la prédiction du canal ;
- les taux de pertes de paquets demandés ;
- les débits de transmissions requis.

Celles envoyées par la couche d'accès du nœud central aux transmetteurs sont :

- les gains des canaux physiques prédits ;
- les puissances de transmissions correspondantes ;
- les taux de perte de paquets disponibles ;
- les débits de transmissions offerts.

Le but est de maximiser l'efficacité spectrale, par des choix de débits basés sur le canal radio qui varie. Cela est fait par la modification des mécanismes de signalisation (Ivan et Narayan,

1999), de la structure des paquets de contrôle, et une implémentation de procédures de communications adéquates entre la couche physique et la couche d'accès.

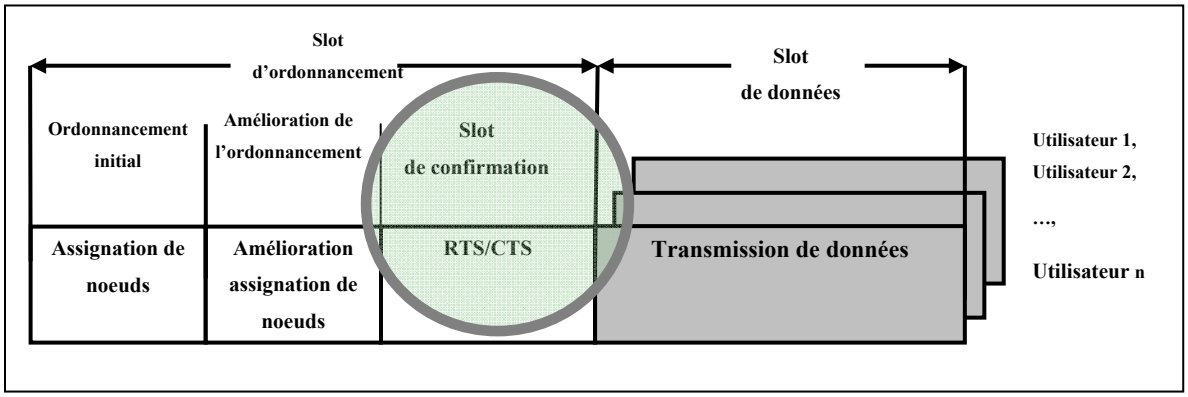

Figure 2.3 Slot de confirmation et échange de paramètres inter-couches

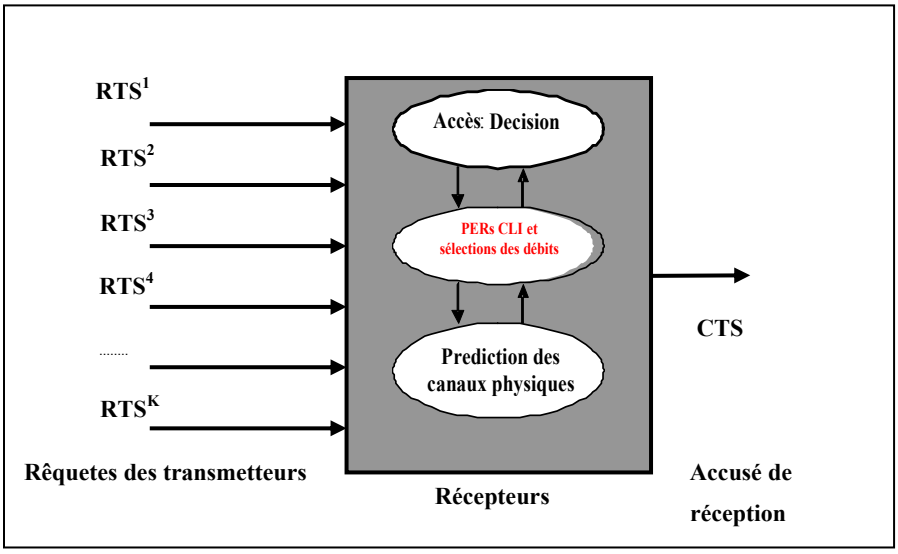

Figure 2.4 La structure de l'échange inter-couches pour l'établissement des liaisons

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

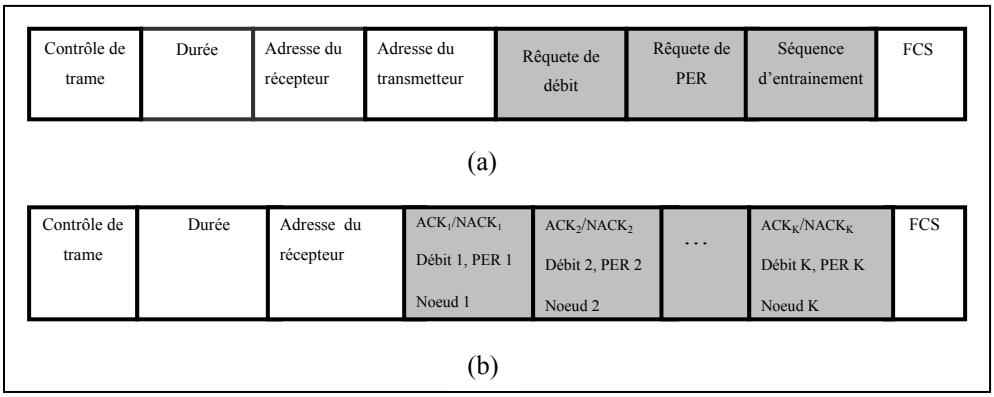

Figure 2.5 a) Le paquet de contrôle RTS b) Le paquet de contrôle CTS

2.3.2 Couche physique : plateforme radio logicielle CDMA

2.3.2.1 Description de la plateforme radio logicielle

Dans la philosophie des radios logicielles, un travail présenté dans la référence (Ivan et Narayan, 1999), intègre les trois détecteurs cités ci-dessus et le récepteur conventionnel MF (Matched filter) dans une plateforme, destinée à être implémentée sous forme logicielle. Un utilisateur reçu est détecté par un filtre qui est reconfigurable, en l'un des quatre récepteurs suivants : celui à filtre adapté (MF), à suppression d'interférences (SIC), à décorrélation (DEC), à erreur quadratique moyenne MMSE. Le critère de sélection d'un filtre dans la plateforme est le taux d'erreur requis par l'utilisateur. Les corrélateurs du récepteur conventionnel et les opérations matricielles des détecteurs sont donc implémentés sous la forme équivalente de filtre reconfigurable défini dans les références (Ivan et Narayan, 1999; Seskar et Narayan B., 1999). Les coefficients de filtre correspondant à ces quatre récepteurs sont les suivants :

$$
\begin{aligned}
c_k^{MF}(t) &= s_j(t) \\
c_k^{SIC}(t) &= \sum_{j=1}^{K} \left(\left(\boldsymbol{R}^L \boldsymbol{A} \right)^{-1} \right)_{jk} s_j(t) \\
c_k^{DEC}(t) &= \sum_{j=1}^{K} \left(\boldsymbol{R}^{-1} \right)_{jk} s_j(t) \\
c_k^{MMSE}(t) &= \sum_{j=1}^{K} \left(\boldsymbol{R} + \sigma^2 \boldsymbol{A} \right)_{jk} s_j(t)
\end{aligned}
\tag{2.1}
$$

Les coefficients, $c_k(t)$, sont mis à jour à chaque pas d'adaptation selon les changements des paramètres du transmetteur. Dans la section qui suit nous décrivons comment se font les changements de paramètres, lorsque le transmetteur est à multiple facteurs d'étalements, à codes multiples, et à taille de constellation variable.

2.3.2.2 Intégration du multi-débit sur la plateforme radio logicielle CDMA

Les changements des paramètres de transmissions sont pilotés depuis la couche d'accès selon le principe de l'inter-couches. Le nombre de mises à jour et les coefficients du filtre dans la plateforme logicielle dépendent dans le cas multi-facteurs d'étalement des changements de longueur des codes des utilisateurs. Dans le cas du multi-code, la fréquence des changements dépend de la variation du nombre de codes utilisés, et dans le cas de la constellation variable des différents changements de constellation. Par ailleurs, nous avons la correspondance suivante entre la couche physique à transmissions multi-débit et la couche d'accès radio. Ces correspondances sont destinées à être gérées par l'interface entres les deux couches. Le transmetteur à facteur d'étalement variable est caractérisé par des longueurs de paquets variables. Dans un slot de données, un seul paquet est envoyé lorsque le transmetteur choisit de transmettre avec le débit le plus petit. S'il choisit un débit de transmission plus élevé, qui est de L_{i_c} fois le débit le plus petit, alors le slot de données transportera L_{i_c} paquets. Dans le cas du multi-code, où le train de données est transmis avec L_{i_c} codes en parallèles, le slot de données transporte, L_{i_c} paquets. La variation de la taille des constellations, implique la variation du nombre de paquets par slot de la couche d'accès. Une taille de constellation i_c, donne le débit R_{i_c}. Ce débit faisant L_{i_c} fois le plus petit débit R_1 disponible, cela entraîne

L_{i_c} paquets à transmettre par slot. La conception inter-couches fait ainsi le lien des deux couches, afin que les algorithmes d'ordonnancement changent les paramètres de transmissions en utilisant les correspondances. Dans ce qui suit nous présentons le cadre conceptuel qui permet aux deux couches de fonctionner.

2.4 Cadre conceptuel inter-couches conçu

2.4.1 Description

Le cadre conceptuel inter-couches conçu est illustré à la figure 2.6. Quatre modules principaux, ont dû être conçus pour mettre en œuvre la méthodologie adoptée et faire la communication inter-couches :

- le module d'observation/estimation, qui extrait les bits pilotes démodulés au transmetteur pour estimer le gain du canal $h_e(t)$;
- le module de prédiction qui calcule les gains des canaux des utilisateurs pour le prochain slot, en se basant sur quelques échantillons des gains estimés ;
- le module de QoS qui utilise les paramètres prédits pour calculer les taux de perte de paquets des différents usagers ;
- le dernier module qui est celui de l'interface inter-couches (CLI) ou cross-layer interface en anglais, transporte les débits des différents usagers et leur taux de pertes de paquets, de la couche physique à la couche accès. L'un de ses rôles est d'exclure aussi la séquence d'entraînement des paquets de contrôle RTS et d'insérer à la place les débits sélectionnés et le taux perte de paquets prédits.

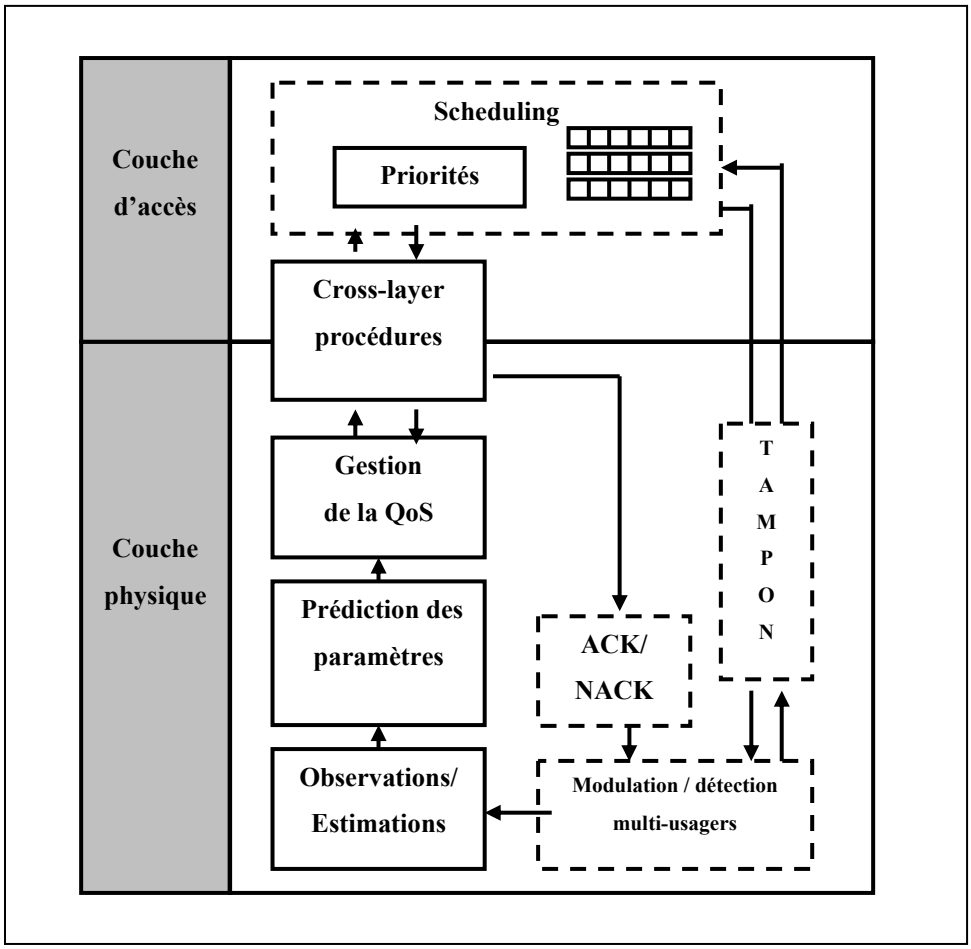

Figure 2.6 Le cadre de conçu

2.4.2 Observation et estimation des paramètres de la couche physique

2.4.2.1 Observation

Durant les trois mini-slots d'ordonnancement de la trame de données, les mini-slots d'ordonnancement initial, de correction et de confirmation des connexions (Figures 2.1 et 2.3), le récepteur ne fait aucune adaptation de débit. Les nœuds communiquent avec une modulation QPSK, quelque soit le type de transmetteur utilisé. Les paquets RTS reçus durant le mini-slot de confirmation des connexions, transportent les séquences d'entraînement et l'image du canal sans fil que le paquet vient de traverser.

L'observation des échantillons des usagers est faite après la synchronisation à la sortie de la banque de filtres adaptés. A l'instant l'observation de l'utilisateur k s'exprime par $y_k(i)$, $k=1,\ldots,K$ tel que défini par (1.1) avec $b_k(i) = b_k^{Pilot}(i)$ le symbole pilote QPSK envoyé. Les paquets sont envoyés à la puissance fixe de P_{tx}.

2.4.2.2 Estimation

Deux algorithmes d'estimation existent : l'estimateur à maximum de vraisemblance et l'estimateur Bayesien (Kay, 1993). Lorsque, couplées avec l'algorithme de prédiction LMS, ces deux méthodes demandent une grande capacité de calcul et augmentent de façon significative les délais de calcul dans le réseau. Afin d'éviter les coûts de calcul élevés de ces méthodes, nous avons opté pour un estimateur simple. La méthode d'estimation choisie, permet de trouver le gain du canal de la façon suivante (Glisic, 2003) :

$$he_k(i) \approx \frac{y_k(i)}{b_k^{Pilot}(i)\sqrt{2P_{tx}}}\ , \qquad k=1,\ldots,K \tag{2.2}$$

tel que i est l'index du bit courant, $b_k^{pilot}(i)$ le symbole pilote de la modulation QPSK.

2.4.3 Prédiction du canal

Dans ce paragraphe nous décrivons la prédiction des paramètres. Pour les K utilisateurs, la connaissance des N_{pilot} bits des paquets RTS donne un bloc de N_{pilot} échantillons estimés, stockés dans un tampon à l'entrée du prédicteur. Cela donne lieu à une banque de K prédicteurs, et à une augmentation de la complexité du système à considérer dans le choix de l'algorithme de prédiction. Un autre critère dominant dans le choix est la capacité de l'algorithme à faire une prédiction de longue portée. Les critères décrits ont orienté notre choix sur la prédiction linéaire (Haykin, 2002), au lieu des méthodes de calcul lourdes, comme cela a été analysé dans la référence (Duel-Hallen, Shengquan et Hans, 2000).

2.4.3.1 Traitement au niveau de la couche physique

Le processus aléatoire correspondant au gain du canal, $he_k(i), i = 1,2,...,$ peut être modélisé par un processus autorégressif. A partir du modèle nous déterminons les coefficients de la réponse impulsionelle (finite impulse reponse), du filtre $a_l, L = 1,...,L-1$, qui maximise l'erreur quadratique moyenne (MSE), (mean square erreur), entre les échantillons estimés et les échantillons prédits. *L* est l'ordre de prédiction du filtre. Le gain du canal prédit $hp_k(i)$ à l'instant *i* est alors calculé en utilisant les *L* échantillons passés et les coefficients du filtre comme suit :

$$hp_k(i) = \boldsymbol{a}_k(i).\boldsymbol{he}_k(i) = \sum_{l=0}^{L-1} a_l^k(i).hek(i-l), \qquad k=1,...,K \tag{2.3}$$

tel que $\boldsymbol{he}_k(i) = \left[he_k(i), he_k(i-1),..., he_k(i-l+1)\right]^T$ représente le vecteur des *L* échantillons passés, de l'usager *k*, $\boldsymbol{a}_k(i) = \left[a_0^k(i), a_1^k(i),..., a_{L-1}^k(i)\right]^T$ les coefficients du filtre. Nous déduisons le vecteur $\boldsymbol{a}_k(i)$ qui minimise le MSE, en appliquant le principe d'orthogonalité (Haykin, 2002).

Les coefficients du vecteur peuvent être aussi calculés de façon adaptative, et plusieurs algorithmes existent à cet effet. Ce sont l'algorithme de moindres carrés, (LMS) Least Mean Square, l'algorithme des moindres carrés récursifs, (RLS) Recursive Least Square, le filtre de Kalman (Gifford, C. et S., 2005; Haykin, 2002). Le filtre de Kalman est le plus complexe des trois. Il converge rapidement vers l'erreur minimale. L'algorithme RLS est moins complexe que le filtre de Kalman et converge moins rapidement. Le moins complexe est l'algorithme LMS qui converge aussi moins rapidement. Son délai de convergence est négligeable devant les délais de calcul des nœuds du réseau, de plus la prédiction est suffisamment précise (Duel-Hallen, Shengquan et Hans, 2000). Nous avons donc choisi de minimiser l'impact du temps de calcul sur les délais du réseau, en adaptant les coefficients du filtre avec l'algorithme LMS. Le module de prédiction ainsi conçu se compose de la banque des *K* prédicteurs qui implémentent des algorithmes LMS.

Dans ce qui suit nous décrivons le fonctionnement des prédicteurs, qui s'effectue en deux phases :

- la *phase d'entraînement*, durant laquelle les coefficients sont adaptés à chaque instant en fonction de l'erreur entre l'échantillon estimé et l'échantillon prédit :

$$a_k(i) = a_k(i-1) + \mu_k . e_k^*(i-1) . \boldsymbol{he}_k(i-1) \qquad k=1,\ldots,K \qquad (2.4)$$

  tel que $\mu_k \in [0,1)$ est le paramètre d'adaptation qui guide la convergence de l'algorithme, $e_k^*(i) = hp_k^*(i) - he_k^*(i)$ le conjugué complexe de l'erreur de prédiction, $\boldsymbol{he}_k(i)$ le vecteur des L échantillons passés du gain du canal ;

- la *phase de poursuite*, dont la durée va du premier bit après la séquence d'apprentissage du paquet RTS à la fin du paquet de données. Durant cette période, nous n'avons pas la connaissance de l'estimation du canal. Ces valeurs sont interpolées par le dernier échantillon prédit comme suit :

$$\tilde{he}_k(i) = hp_k(i-1), \qquad k=1,\ldots,K \qquad (2.5)$$

  L'erreur utilisée pour l'adaptation des coefficients du filtre est par conséquent calculée de la façon suivante :

$$e_k^*(i) = hp_k^*(i) - \tilde{he}_k^*(i), \qquad k=1,\ldots,K \qquad (2.6)$$

  Pour un paquet de données de N_{data} bits, chaque prédicteur produit N_{data} échantillons qui alimentent l'entrée du module de QoS.

Afin d'évaluer la prédiction, nous avons choisi deux options de références, la première option consiste à utiliser l'information exacte du gain du canal sans fil, pour les calculs de la QoS, la seconde, à utiliser une extrapolation de l'estimation du canal de communication sur toute la durée du slot. Nous présentons cette partie dans le prochain chapitre.

2.4.3.2 Traitement au niveau de la couche d'accès

La prédiction des évanouissements à petite échelle, varie plus ou moins rapidement en fonction de l'environnement et de la vitesse. Par ailleurs, la prédiction durant le slot de données, qui dure des millisecondes, nous offre suffisamment d'échantillons pour faire une moyenne à différents pas d'adaptation. En prenant une période d'adaptation T_{adapt} et une fenêtre d'échantillons N_{window} à chaque pas, nous obtenons :

$$h_k^{(l)} = \frac{1}{N_{windows}} \sum_{i=l.N_{windows}}^{(l+1)N_{windows}} hp_k(i) \qquad l = 0,1,... \tag{2.7}$$

Lors des simulations, afin de comparer la prédiction par rapport, à la méthode de l'estimation seule, nous avons calculé les échantillons estimés, sur toute la longueur du slot de donnée, de la façon suivante :

$$he_k^{(l)} = \frac{1}{N_{training}} \sum_{i=1}^{N_{training}} he_k(i) \qquad l = 0,1,... \tag{2.8}$$

Une comparaison plus détaillée, sera accomplie, dans les prochains chapitres.

2.4.4 Gestion de la qualité de service/assignation des débits

Dans ce module, aux prédictions des gains de canaux des différents usagers, sont assignés les débits correspondants dans l'ensemble des n_c débits disponibles au transmetteur. La plage de variation du gain du canal est subdivisée en n_c+1 sous-intervalles limités par les seuils $\boldsymbol{ch} = \left[ch_1, ch_2, ..., ch_{n_c} \right]^T$ tel que $ch_1 < ch_2 < ... < ch_{n_c}$. L'assignation des débits se fait de la façon suivante :

$$R_k = R_1, \text{ pour } \quad 0 < h_k < ch_1 \quad pour$$

$$R_k = R_{i_c}, \text{ pour } ch_{i_c} < h_k < ch_{i_c+1}, \; i_c = 2,...,n_c - 1$$

$$R_k = R_{n_c}\text{, pour} \quad h_k > ch_{n_c} \tag{2.9}$$

Les valeurs des seuils sont calculées afin que le débit choisi à chaque pas d'adaptation garantisse l'optimalité de la transmission et ce, pour les trois types d'adaptation :

- pour le transmetteur à facteur d'étalement variable la performance optimale est garantie lorsque les usagers transmettent un rapport signal sur bruit constant SNR_t,

$$SNR_{i_c} = SNR_t \qquad i_c = 1,...,n_c \tag{2.10}$$

tel que le SNR_{i_c} est le rapport signal sur bruit auquel correspond le débit R_{i_c}.

Ainsi, nous pouvons écrire :

$$SNR_{i_c} = \frac{A^2 ch_{i_c}}{R_{i_c} N_0} = SNR_t \qquad i_c = 1,...,n_c \tag{2.11}$$

tel que, $A^2 = 2P_{tx}$, est la puissance de transmission du signal supposée fixe, de chaque symbole QPSK et ch_{i_c}, le seuil au-delà duquel nous transmettons au débit R_{i_c}.

La valeur du seuil est ainsi déduite :

$$ch_{i_c} = \frac{SNR_t . R_{i_c} . N_0}{A^2} \qquad i_c = 1,...,n_c \tag{2.12}$$

- pour le transmetteur à codes multiples, les seuils sont calculés de la façon suivante :

$$\frac{A^2 ch_{i_c}}{R_0 N_0} = N_{i_c}^{codes} . SNR_t \qquad i_c = 1,...,n_c \tag{2.13}$$

tel que R_0, est le débit de transmission avec chaque code, $N_{i_c}^{codes}$ le nombre de codes utilisés. Ainsi nous pouvons calculer la valeur des seuils de la façon suivante :

$$ch_{i_c} = \frac{N_{i_c}^{cd}.R_0 N_0 SINR_t}{A^2} \qquad i_c = 1,...,n_c \qquad (2.14)$$

- pour les transmetteurs à taille de constellation variable, nous avons une performance optimale lorsque nous transmettons à SNR par bit constant SNR_t . Les seuils sont calculés en supposant que l'énergie par symbole, lorsque nous transmettons avec le débit R_i est donnée par (Proakis, 2001) :

$$SNR_{i_c}^{Symbole} = \frac{3\log_2(M_{i_c})}{2(M_{i_c}-1)} SNR_t = \frac{A_{i_c}^2 ch_{i_c}}{R_0 N_0} \qquad (2.15)$$
$$i_c = 1,...,n_c$$

tel que, A_{i_c} est le symbole transmis, $\log_2(.)$ est logarithme à base 2, M_{i_c} la taille de la constellation correspondant au débit R_{i_c} . Le seuil est alors donné par :

$$ch_{i_c} = \frac{R_0 N_0 SINR_t}{A_{i_c}^2} \frac{3\log_2(M_{i_c})}{2(M_{i_c}-1)} \qquad i_c = 1,...,n_c \qquad (2.16)$$

tel que $\log_2(M_{i_c})$ est le nombre de bits par point de constellation.

Notons que l'adaptation de débit est possible lorsque la période d'adaptation est inférieure au temps de cohérence :

$$T_{adapt} \leq T_{coher}$$

où T_{coher} est le temps de cohérence du canal de communication.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

2.4.5 Interfaçage couche d'accès radio/physique : les procédures inter-couches à implémenter

Dans ce paragraphe nous décrivons les procédures exécutées par le mécanisme inter-couches au récepteur. Elles sont :

Étape 1 : écouter le voisinage pour recevoir les paquets de confirmation de connexions.

Étape 2 : analyser les entêtes des paquets RTS pour extraire les adresses de destination.

Étape 3 : extraire les requêtes de QoS des transmetteurs qui souhaitent établir des connexions.

Étape 4 : estimer et prédire les gains des canaux des usagers.

Étape 5 : assigner les débits correspondants et calculer les taux de pertes de paquets pour le slot de données.

Étape 6 : remplacer les séquences d'apprentissage des différents usagers dans les paquets RTS par les débits sélectionnés et les taux de pertes de paquets calculés. Ces valeurs seront extraites au niveau de la couche accès.

Étape 7 : ordonnancer la configuration optimale de transmetteurs selon le vecteur des débits sélectionnés, les taux pertes de paquets, les délais tolérables et les priorités des paquets.

Une fois la configuration optimale d'usagers décidés par la couche accès, le récepteur envoie un paquet CTS, qui transporte la réponse aux différentes requêtes de QoS (les taux de perte de paquets et les débits de transmissions sélectionnés). La structure du paquet CTS de réponse est donnée Figure 2.7. Ce dernier module permet aussi à la couche physique de faire une synchronisation sur les séquences d'entraînement des différents utilisateurs et d'extraire les bits utilisés par le module d'observation/estimation.

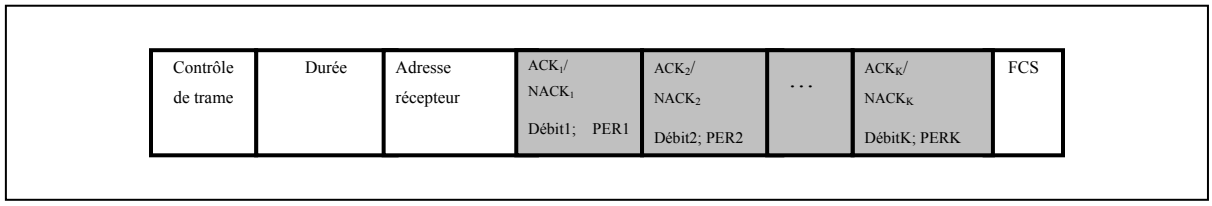

Figure 2.7 Structure du paquet CTS

2.5 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre nous avons donné les différents détails sur le protocole de base MUD-MAC et la structure de la plateforme logicielle CDMA à détection multi-utilisateurs. Nous faisons une description du mécanisme d'échange d'informations et les différentes modifications introduites dans le protocole. Ensuite, nous présentons notre cadre conceptuel. Il se compose de quatre modules notamment 1, 2, 3, 4. Les algorithmes qui y sont intégrés, permettent, en résumé, de prédire les canaux et d'adapter les débits aux prédictions obtenues. Les paramètres des canaux n'étant pas immédiatement disponibles, une estimation est faite à partir des mesures au transmetteur-récepteur. Les paramètres estimés, sont utilisés pour faire les prédictions des échantillons et les calculs appropriés pour l'allocation de QoS. Le mécanisme de gestion de la QoS, en utilisant les prédictions, trouve la qualité de service disponible au niveau de la couche physique pour la couche d'accès. Pour l'interfaçage des deux couches, nous implémentons un mécanisme de communication chargée de coordonner la transmission des données de QoS calculées dans la couche physique.

CHAPITRE 3

PRÉDICTION DU CANAL ET ADAPTATION DE DÉBIT

3.1 Introduction

Le cadre conceptuel présenté dans le chapitre précédent fonctionne avec l'information de prédiction du canal. Dans ce chapitre, nous donnons le scénario de base que nous utilisons dans cette étude. Puis nous nous focalisons sur l'environnement de notre couche physique à savoir les différents canaux physiques, et les degrés de mobilité utilisés dans la simulation du scénario. Les méthodes de calcul des différentes métriques, utilisées pour évaluer les performances sont détaillées à la suite de l'environnement de la couche physique. Enfin, les résultats des simulations sont donnés en deux grandes parties. La première partie détaille le test du cadre conceptuel avec la transmission multi-débits la plus simple à mettre en œuvre, c'est-à-dire le multi-facteurs d'étalement. Tous les canaux concernés par notre étude sont simulés et les résultats présentés sous formes graphiques pour toute la plateforme, soit les quatre méthodes de détection. La seconde partie décrit la comparaison de l'adaptation de débit au transmetteur, à la transmission sans adaptation de débit ou mono-débit. Les simulations de l'adaptation de débit, concernent toute la plateforme avec les trois transmetteurs, dans les quatre types de canaux.

La section 3.2 du chapitre décrit de façon formelle le scénario de base utilisé tout au long de l'étude. Il s'agit des différents types de nœuds qui sont en présence dans le voisinage d'un nœud récepteur. La section 3.3 donne une description formelle de l'environnement physique à savoir les modèles de canaux physiques à implémenter. La section 3.4 montre les méthodes de calcul des métriques de taux réception et de débit utile agrégé global au nœud récepteur. La section 3.5 présente les résultats de simulations de la prédiction et leur analyse. La section 3.6 donne les résultats de l'adaptation de débit et leur analyse.

3.2 Le scénario de base

3.2.1 Description formelle

La topologie aérienne du réseau, du début du mini-slot de confirmation des connexions, jusqu'à la fin du slot de transmission de données est stable, telle que nous l'avons détaillée dans la section 2.3.1.1 et illustrée sur la figure 2.2. Elle se compose d'un ensemble de nœuds récepteurs connectés avec des transmetteurs voisins. Chacun de ces ensembles constitue la configuration de base de notre étude. Trois catégories de nœuds entourent le nœud récepteur dans le scénario de base tel qu'illustré sur la figure 3.1. En dénotant γ_t le seuil de rapport signal sur bruit et interférences (RSBI) au dessus duquel le récepteur détecte le signal reçu nous avons :

- la première qui est l'ensemble des nœuds situés dans la zone de détection, auxquels le récepteur a confirmé les connexions. Ils sont reçus avec un RSBI $\gamma_k \geq \gamma_t$, $k = 1,...,K$;
- la seconde est l'ensemble des nœuds situés dans la zone de détection, auxquels le récepteur n'a pas confirmé les connexions ;
- la troisième catégorie de nœuds est l'ensemble des transmetteurs hors de la zone de détection, dont les signaux constituent des interférences. Leur RSBI est donné par $\gamma_k < \gamma_t$, $k = 1,...,K$.

Dans cette recherche nous avons choisi de négliger dans le signal reçu, la puissance des interférences causées par les nœuds situés hors de la zone de couverture. Ces interférences sont assimilées à du bruit.

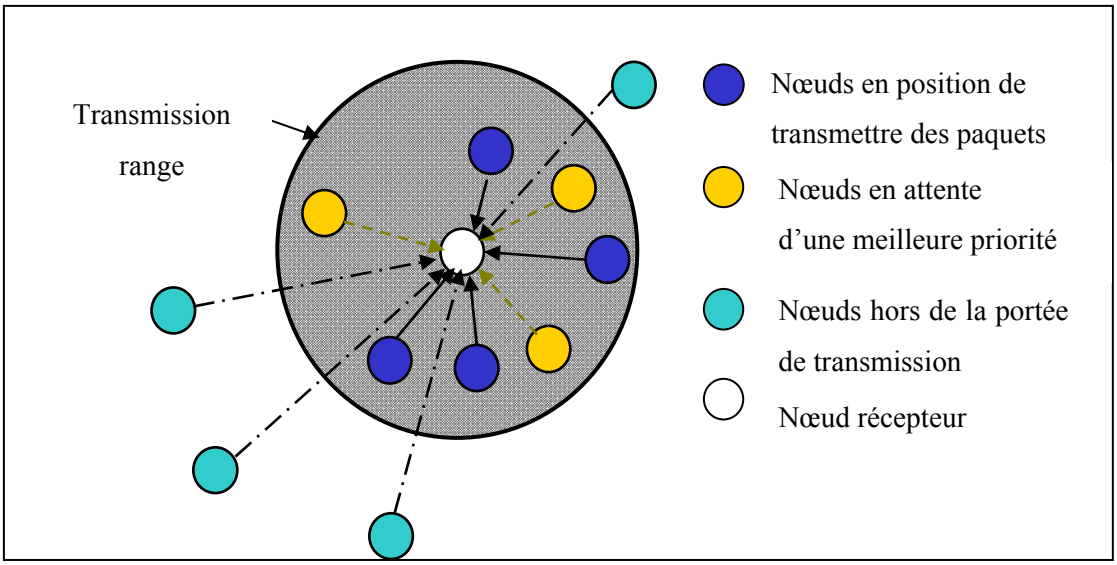

Figure 3.1 Configuration de base du réseau

Le scénario de base est fixé par l'assignation de nœuds récepteurs de la couche d'accès lors des trois mini-slots d'ordonnancement de la trame de données (Figure 2.2). Il est caractérisé par le nombre d'utilisateurs K en connexion et les paramètres suivants, propres aux canaux logiques des différents utilisateurs :

- le vecteur des débits de transmissions, $\boldsymbol{r} = [R_1, R_2, ..., R_K]$, tel que la valeur du débit de utilisateur k est donnée par, $R_k = R_{i_c}$ avec $R_{i_c} \in \{R_1, R_2, ..., R_{n_c}\}$, $i_c = 1, ..., n_c$;
- le vecteur des taux de perte de paquets maximum tolérés, $\boldsymbol{per} = [PER_1, PER_2, ..., PER_K]$.

Les séries de paramètres qui suivent, représentent le scénario de base lorsque les utilisateurs qui transmettent des paquets font de l'adaptation de débit. Les paramètres du scénario, propres à chaque technique de transmission multi-débit utilisées sont :

- en utilisant des longueurs différentes de facteurs d'étalement c'est-à-dire lors de transmissions multi-facteurs d'étalement, les différents utilisateurs sont définis, par le vecteur des facteurs d'étalement, $\boldsymbol{g} = [G_1, G_2, ..., G_K]$, tel que $G_k = G_{i_c}$, est le facteur d'étalement de l'utilisateur k, avec G_{i_c} un facteur d'étalement dans l'ensemble des facteurs d'étalement disponibles au transmetteur, $G_{i_c} \in \{G_1, G_2, ..., G_{n_c}\}$;

- en transmettant avec des codes en parallèles, dans le cas des transmissions à codes multiples, les utilisateurs sont définis par leur vecteur de nombre de codes utilisés $\boldsymbol{n}^{codes} = \{N_1^{codes}, N_2^{codes}, ..., N_K^{codes}\}$ tel que, $N_k^{codes} = N_{ic}^{codes}$ est le nombre de codes utilisés par l'utilisateur *k* pour transmettre ses données et $N_{i_c}^{codes}$ est un nombre de codes compris dans l'ensemble des nombres de codes disponibles au transmetteur, $N_{i_c}^{codes} \in \{N_1^{codes}, N_2^{codes}, ..., N_n^{codes}\}$;
- lorsque chaque utilisateur ajuste son débit en choisissant la taille de constellation, dans le cas de transmissions à taille de constellation variable. Le vecteur des tailles de constellation des différents utilisateurs est, $\boldsymbol{m}^{constellation} = \{M_1, M_2, ..., M_K\}$, tel que, $M_k = M_{i_c}$, est la taille de la constellation utilisée par l'utilisateur *k* pour envoyer ses données dans l'ensemble des tailles de constellation disponibles au transmetteur, $M_{i_c} \in \{M_1, M_2, ..., M_n\}$.

Pour un récepteur donné, les utilisateurs transmettant des données sont regroupés en classes d'utilisateurs. Chaque classe se compose de tous les transmetteurs qui envoient leurs données avec le même facteur d'étalement. La classe d'utilisateurs d'indice i_c , (*c* signifiant classe) est alors le groupe d'utilisateurs transmettant avec le facteur d'étalement G_{i_c} où $i_c = 1, 2, ..., n_c$, et K_{i_c} leur nombre. Le nombre total de classes est donc le nombre de facteurs d'étalement distincts utilisés dans le scénario, soit n_c. Lorsque les transmissions sont à codes multiples, la classe d'indice i_c, est le groupe d'utilisateurs transmettant avec le nombre de codes, $N_{i_c}^{codes}$ et K_{i_c} leur nombre ; lorsque les transmissions sont à taille de constellation variable, la classe, i_c, désigne un groupe de K_{i_c} utilisateurs qui transmettent avec une modulation de taille de constellation, M_{i_c}.

3.2.2 Variation des scénarios dans le temps et délai

Dans ce paragraphe nous modélisons le changement des scénarios de base dans le temps. Cela consiste à définir quel est le temps moyen τ que prend un groupe de nœuds pour quitter un scénario de base donné et y revenir. Le changement de scénario de base est illustré sur la figure 3.2.

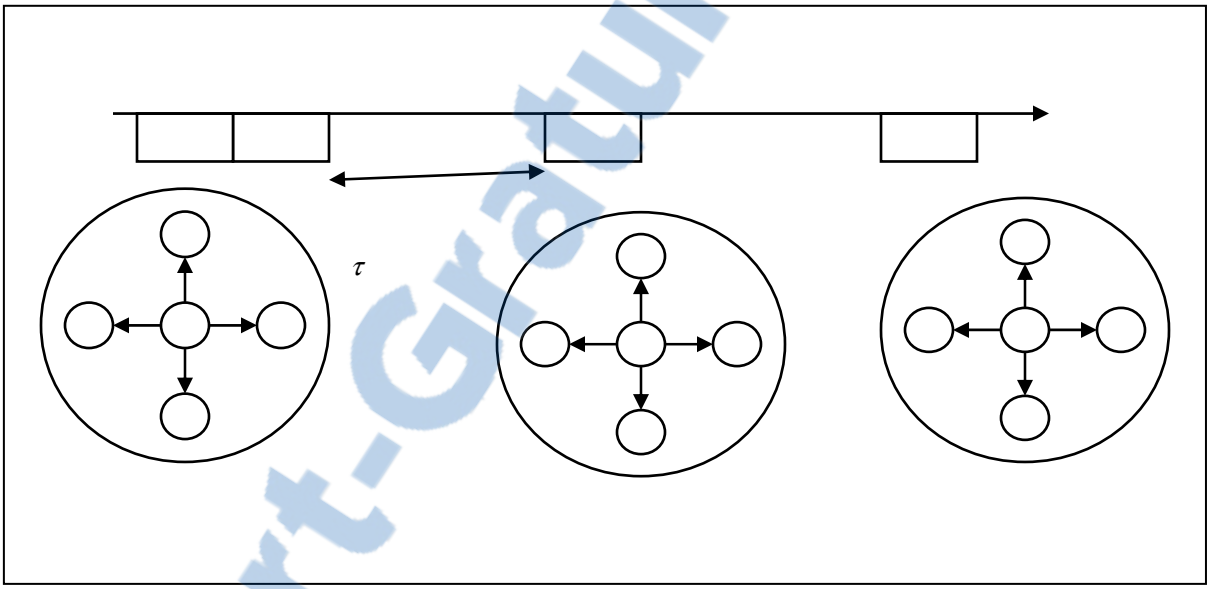

Figure 3.2 Modélisation du temps moyen pour quitter un scénario de base et y revenir

Nous avons modélisé le temps moyen de changement de scénario de base par une variable aléatoire distribuée de façon exponentielle. Dans la définition du protocole (Zhang et al., 2009), les probabilités de génération des paquets sur les liaisons sans fil sont données : pour une paire de nœuds *(i,j)*, par les variables $P_v(i,j)$, $P_d(i,j)$. Elles représentent respectivement la probabilité de génération d'un paquet de voix, et d'un paquet de données. La trame de données est ainsi composée des nombres, N_v de paquets de voix, N_d paquets de données. Par conséquent, pour une configuration donnée nous avons :

$T_{connect}$ + $N.T_{données}$ + $T_{connect}$ + $N.T_{données}$ + $T_{connect}$ + $N.T_{données}$ + délai aléatoire + $T_{connect}$ + $N.T_{données}$ + $T_{connect}$ + $N.T_{données}$ +délai aléatoire etc.

Rapport-Gratuit.com

N est le nombre de trames de données par supertrame comme spécifié dans la section 2.3.1.1, $T_{connect}$ la durée de la trame de connectivité et $T_{données}$ la durée de la trame de données. Le délai maximal toléré pour la voix est de 15 trames de données soit 150ms. Le délai maximal toléré pour les données de 150 trames soit N.150ms. Le problème ici consiste à évaluer les délais de la voix et des données en prenant en compte le changement de configuration afin de s'assurer qu'ils restent dans les limites imposées par les exigences de ces deux trafics.

3.3 Environnement de la couche physique

3.3.1 Généralité sur les canaux

Le canal sans fil des réseaux ad hoc se caractérise par les dégradations qu'il introduit dans le signal lors de la propagation. Nous avons trois dégradations communément appelées évanouissements et atténuations selon le cas : l'atténuation du signal observable à grande échelle, celle à moyenne échelle ou effet de masquage (shadowing), puis les évanouissements du signal à petite échelle (fading). Fondamentalement, les atténuations et évanouissements sont des imperfections à combattre lors de la démodulation des signaux, ainsi que lors de l'accès des utilisateurs au média. Cela se fait par élimination grâce à la prédiction ou l'estimation, dans le cas de la couche physique, et par compensation grâce au contrôle de puissance dans le cas de la couche d'accès radio. Ils peuvent cependant, être exploités pour rehausser la qualité de la réception (Rappaport, 2002), grâce aux techniques de réception du signal avec la diversité. Plus récemment, les évanouissements sont utilisés au niveau de la couche d'accès dans des techniques adaptatives de transmissions pour rehausser la qualité de l'ordonnancement des paquets.

Par ailleurs, l'amplitude des signaux reçus subit des évanouissements à petite échelle selon une distribution de Rayleigh, dans les canaux sans ligne de vue directe. En présence de ligne de vue directe dans le signal, les évanouissements suivent une distribution de Rice. La fréquence du signal reçu varie selon la vitesse, c'est l'effet Doppler. Les évanouissements à petite échelle sont de ce fait lents ou rapides en fonction de la vitesse. Dans le domaine fréquentiel, si toute la bande du signal est convoluée par le même coefficient de réponse

impulsionnelle du canal dans l'intervalle, où sont reçues toutes les composantes fréquentielles de ce signal, le canal est plat en fréquence. Dans le cas où toutes la bande du signal est convoluée par plusieurs coefficients de réponse impulsionnelle dans cet intervalle, le canal est sélectif en fréquence. En général, le canal subit des évanouissements plats en fréquence dans les transmissions à bandes étroites. Lorsque la bande de transmission est large, le canal est sélectif en fréquence.

Trois types de canaux physiques de propagation radio, repartis selon deux degrés de mobilité différents sont utilisés dans ce travail. Il s'agit de deux canaux de Rayleigh, l'un à un seul chemin plat en fréquence, et l'autre large bande sélectif en fréquence. Le récepteur y est fixe et les transmetteurs mobiles. Puis, du canal large bande sélectif en fréquence avec des récepteurs et transmetteurs mobiles.

3.3.2 Canal de Rayleigh à bande étroite et plat en fréquence

Lorsque le canal est plat en fréquence et se compose globalement d'un chemin, ce qui est le cas dans les transmissions à bande étroite, le signal reçu à la sortie s'exprime de la façon suivante :

$$r(t) = s_{tx}(t-\tau_0)\alpha(t)e^{\varphi(t)} \tag{3.1}$$

tel que s_{tx} est le signal transmis, τ_0 est le délai et $h(t) = \alpha(t)e^{\varphi(t)}$.

Le modèle du simulateur standard qui permet de représenter ce type de canal est le modèle de Jake dont les coefficients sont générés par une sommation de, L_s, sinusoïdes retardés (W., 1974) :

$$h(t) = \sum_{n=1}^{L_S} c_n e^{(2\pi f_n t + \phi_n)} \tag{3.2}$$

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

le paramètre, c_n, défini par, $c_n = \frac{1}{\sqrt{L_s}}$, est un facteur de normalisation, garantissant $|h(t)|^2 = 1$.

Celui dénoté par f_n, la fréquence de la sinusoïde d'indice *n* est définie par, $f_n = f_{\max} \cos\theta_n$, tel que, $f_{\max}$, est la fréquence Doppler maximale. θ_n représente l'angle d'incidence de la sinusoïde d'indice, *n*. La fréquence Doppler maximale est donnée par, $f_{\max} = f_c.v/c$, où , f_c, est la fréquence de la porteuse, v, la vitesse du mobile, c, la vitesse de la lumière. L'angle d'incidence de la sinusoïde, θ_n, est supposé uniformément distribué, et nous avons :

$$\theta_n = \begin{cases} \frac{2\pi n}{L_s}, & n = \pm 1, \pm 2, ..., \pm\left(\frac{L_s}{2} - 1\right) \\ 0, & n = -L_s \end{cases} \tag{3.3}$$

avec *L* une valeur impaire.

Le terme, ϕ_n, est la phase aléatoire de la sinusoïde d'indice, n. Elle est uniformément distribuée dans l'intervalle, $[0, 2\pi)$, tel que, $\phi_n = 2\pi f_c \tau_n$, avec τ_n est le délai de la sinusoïde.

Le simulateur de Jake prend une expression simplifiée, lorsque l'on tient compte de la périodicité du terme, f_n. En posant $L_0 = (L_s/2 - 1)/2$, le nouveau nombre de sinusoïdes, nous pouvons écrire :

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{L_s}}\left(\left(\sqrt{2}\sum_{n=1}^{L_0} e^{j\left(2\pi f_{\max}\cos\frac{2n\pi}{L_s}t + \phi_n\right)} + e^{-j\left(2\pi f_{\max}\cos\frac{2n\pi}{L_s}\right)}\right) + e^{j(2n\pi f_{\max}t + \phi_n)} + e^{-j(2n\pi f_{\max}t + \phi_n)}\right) \tag{3.4}$$

Par ailleurs, les limites dans lesquelles le canal reste plat dans le domaine fréquentiel, sans dispersion sont déterminées par la formule suivante :

$$w < w_{coher} \tag{3.5}$$

tel que w_{coher} est la bande de cohérence du canal, calculée de la façon suivante :

$$w_{coher} = 1/(2\pi\tau_{\max}) \tag{3.6}$$

Dans le domaine temporelle, l'intervalle dans lequel le gain du canal reste constant est définit par :

$$T < T_{coher} \tag{3.7}$$

tel que $T_{coher} = \sqrt{\frac{9}{16\pi}} f_d$ est le temps de cohérence du canal.

3.3.3 Canal de Rayleigh multi-trajets large bande

Les transmissions à bande étroite dans le CDMA ont pour avantage d'être démodulées par des détecteurs simples, peu complexes. Elles sont faciles à modéliser et à étudier, du fait que le canal de communications reste plat en fréquence. Cependant leur inconvénient est lié aux débits faibles qu'ils offrent.

Afin d'augmenter les débits tout en fournissant des rapports signal sur bruit et des taux de réception élevés, nous envisageons dans cette section d'étudier les transmissions à large bande. Dans ce contexte le canal comporte en générale plusieurs chemins et est sélectif en fréquence. Le modèle du canal de Rayleigh multi-trajets se compose d'un ensemble de signaux qui arrivent au récepteur avec des délais aléatoires. Les amplitudes des trajets suivent une distribution de Rayleigh et le modèle peut s'écrire de la façon suivante :

$$h_k(t) = \sum_{l=1}^{L_p} \alpha_{k,l} \delta\left(t - \tau_{k,l}\right) \tag{3.8}$$

où $h_{k,l}(t)$ est le gain du canal de l'utilisateur *k*. $\alpha_{k,l}$, est l'amplitude du chemin d'indice *l* et de délai $\tau_{k,l}$ uniformément distribué dans l'intervalle $[0, T_k)$ et T_k la période du signal.

Les signaux sont démodulés par des détecteurs à plus grande complexité. En particulier, dans les systèmes CDMA, la technique de réception à diversité est implémentée à travers le récepteur RAKE ou râteau. C'est un récepteur muni de plusieurs branches qui reçoivent les différents trajets du signal à la sortie du canal. Le nombre de trajets détectables peut être connu par la formule suivante (Tony et Arne, 1995):

$$L_{\max} \leq \frac{\tau_{\max}}{T_c} + 1 \tag{3.9}$$

où le terme $\tau_{\max}$ est la dispersion de délai, T_c la période chips.

Pour obtenir le récepteur total, les différents trajets reçus par le RAKE sont ensuite combinés par un algorithme pour restituer le signal initial, augmenté en puissance du fait de la combinaison. Deux techniques de combinaisons sont utilisées dans la référence (Chang-Joo et al., 1996), la méthode par combinaison maximale des rapports signal sur bruit et la méthode par sélection du plus fort gain. La première technique maximise le rapport-signal-sur-bruit et donne de meilleures performances que la seconde (Chang-Joo et al., 1996; Tony et Arne, 1995).

3.3.4 Canal multi-trajets mobile-à-mobile

Deux niveaux de mobilité existent dans le contexte ad hoc. Dans la paire transmetteur-récepteur à un instant donné, l'un des deux nœuds est en mouvement ou les deux le sont en même temps. Dans cette section nous étudions le canal mobile-à-mobile correspondant à un niveau de mobilité fréquent dans les réseaux ad hoc. Les modèles de canaux mobile-à-mobile sont, soit des sommes de sinusoïdes (Zajic et Stuber, 2006), soit des lignes à retard de phase (Ben Sik Ali et Basile L. Agba, 2007). Le dernier modèle permet de représenter simplement un canal multi-trajets et le spectre est donné par la formule suivante :

$$S(f) = \frac{1}{\pi^2 f_{\max}\sqrt{\alpha}} K\left[\frac{1+\alpha}{2\sqrt{\alpha}}\sqrt{1-\left(\frac{f}{(1+\alpha) f_{\max}}\right)^2}\right] \tag{3.10}$$

où α est l'indice de double mobilité, tel que $\alpha = \min(v_1, v_2) / \max(v_1, v_2)$, avec $0 \le \alpha \le 1$; v_1 et v_2 représente respectivement les vitesses des mobiles 1 et 2. $K[*]$ est l'intégrale elliptique de première espèce. Le terme $f_{\max}$ est le maximum des fréquences Doppler maximales f_{m1} et f_{m2} des deux utilisateurs, avec $f_{\max} = \max(f_{m1}, f_{m2})$.

3.4 Métrique de performances des deux couches

Dans cette partie, nous supposons que les différents signaux traités à la réception sont correctement démodulés, tel que le taux de perte des bits suit les modèles théoriques de la probabilité d'erreur. Nous supposons aussi un contrôle de puissance parfait qui compense les atténuations à moyenne échelle et les atténuations à grande échelle. Par conséquent nous pouvons considérer uniquement les évanouissements à petite échelle dans l'étude.

3.4.1 Métrique de la couche physique dans un canal à trajet unique

Dans ce paragraphe nous donnons la métrique principale de la couche physique, le taux d'erreur binaire représenté par la probabilité d'erreur binaire théorique qui donne la qualité des liaisons sans fil. Dans un canal à trajet unique et plat en fréquence, lorsque les utilisateurs transmettent avec des facteurs d'étalement variable ou de multiples codes, la probabilité d'erreur de l'utilisateur k s'écrit sous la forme suivante (Tony et Arne, 1995) :

$$P_{b,k} = \frac{1}{2}\left(1-\sqrt{\frac{\overline{\gamma}_k}{1+\overline{\gamma}_k}}\right) \tag{3.11}$$

Cette expression est valable pour les récepteurs suivants : le récepteur à filtre adapté (Tony et Arne, 1995), le détecteur décorrélateur (Verdú, 1998), le détecteur à erreur quadratique moyenne. Soulignons pour le dernier détecteur, celui à erreur quadratique moyenne minimale MMSE que sa probabilité d'erreur exacte est difficile à calculer, du fait de l'expression du rapport signal sur bruit et interférences qui est mathématiquement complexe. Elle est calculée par approximation. La variante approximée est obtenue en supposant que les interférences d'accès multiples peuvent être assimilées à un processus Gaussien (Poor et Verdù 1997; Verdú, 1998). Sous cette condition, la probabilité d'erreur du récepteur MMSE peut être exprimée sous forme d'une fonction $Q(x)$, de la même façon que les deux autres, tel que $Q(x) = 1/\sqrt{2\pi}.\int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$. Cette variante, donnée dans la référence (Yu, Jamie et Lain, 2003) sous l'hypothèse d'approximation énoncée, peut aisément être utilisée dans la formule (3.11) pour trouver la taux d'erreur binaire dans le canal de Rayleigh à trajet unique.

Les expressions du rapport signal sur bruit et interférences de l'utilisateur k, le SINR, $\overline{\gamma}_k$, sont définies dans la suite pour chaque méthode de réception. Elles dépendent du type de réception utilisé et s'expriment globalement en fonction de l'énergie par bit, du rapport comprenant les puissances des utilisateurs interférents sur la puissance transmise et de la densité spectrale de puissance du bruit. Selon la formule (1.13) tirée de la référence (Tony et Arne, 1995), dans la transmission multi-débits le rapport des puissances est égal au rapport des débits. Les SINR $\overline{\gamma}_k$, pour les différents récepteurs s'expriment donc en fonction des rapports des débits, ce qui facilite les calculs du mécanisme d'adaptation de débit. Le cas du détecteur à suppression successive d'interférences est particulier, lorsque l'on utilise un canal plat en fréquence à trajet unique. Le calcul de la probabilité d'erreur ne suit pas la formule (3.11). L'on calcule d'abord le taux d'erreur symbole, conditionnellement à la distribution des différents ordres de suppression d'amplitudes des utilisateurs (Johansson et Svensson, 1995), tel que pour l'utilisateur k, nous pouvons écrire :

$$P_{e,k}^{I/Q,SIC} \approx Q\left(\gamma_k^{I/Q,SIC}\right) \tag{3.12}$$

La deuxième étape consiste à calculer la probabilité d'erreur symbole inconditionnelle comme suit :

$$\hat{P}_{e,k}^{I/Q,SIC} = \int_0^{\infty} P_{e,k}^{I/Q,SIC} f_{h_k}(x)dx \tag{3.13}$$

où $f_{h_k}(x)$ est la distribution des différents ordres des amplitudes des utilisateurs à supprimer du signal reçu. La probabilité d'erreur binaire est donnée en dernier lieu par :

$$P_b = \frac{1-\left(1-\hat{P}_{e,k}^{I/Q,SIC}\right)\left(1-\hat{P}_{e,k}^{I/Q,SIC}\right)}{2} \tag{3.14}$$

Dans la suite, nous donnons, l'expression du rapport signal sur bruit de l'utilisateur *k*, en fonction de la méthode de réception utilisée pour le calcul de la probabilité d'erreur binaire

3.4.1.1 Transmission multi-facteurs d'étalement

Lors de transmissions à facteur d'étalement variable, l'expression du rapport signal sur bruit de l'utilisateur courant *k*, que nous utilisons dans les équations (3.11 et 3.12) pour déterminer la probabilité d'erreur binaire, comprend en particulier la somme des rapports comprenant les débits des utilisateurs interférents sur le débit du transmetteur. Cette somme est aussi exprimée en fonction du facteur d'étalement tel que, par récepteur nous avons :

- pour le récepteur à filtre adapté il est possible, en fonction la densité de puissance du bruit et des interférences de chaque utilisateur de déduire le SINR
  (Tony et Arne, 1995) qui s'écrit comme suit:

$$\bar{\gamma}_k^{MF} = \frac{1}{2}\left(\frac{N_0}{2E_b} + \frac{2\left(\sum_{i_c=1}^{n_c}\frac{R_{i_c}}{R_k}K_{i_c} - 1\right)}{3G_k}\right)^{-1} \tag{3.15}$$

- pour le détecteur à suppression successive d'interférences, l'expression du SINR, plus complexe est calculée de façon récursive par les formules (3.11 à 3.13) tirées de la recherche présentée dans la référence (Johansson et Svensson, 1995) :

$$\gamma_k^{I/Q,SIC} = \left(\frac{N_0}{2\overline{E}_b} + \sum_{i_c=1}^{n_c}\left(\frac{2}{3G_k}\sum_{j=k+1}^{K_{i_c}} E_{h_k}\left[\frac{A_j^2}{A_k^2}\right] + \frac{2}{3G_k}\sum_{j=1}^{k-1} E_{h_k}\left[\frac{A_j^2}{A_k^2}\bar{\gamma}_{k-1}^{I/Q,SIC}\right]\right)\right)^{-1} \tag{3.16}$$

où $E_{h_k}[.]$ est l'opérateur d'espérance mathématique selon la distribution du canal de l'utilisateur *k*.

Le rapport des puissances étant égale au rapport des débits (Eq. 1.13), nous pouvons écrire :

$$\bar{\gamma}_k^{I/Q,SIC} = \left(\frac{N_0}{2\overline{E}_b} + \sum_{i_c=1}^{n_c}\frac{2}{3G_k}\sum_{j=k+1}^{K_{i_c}}\frac{R_j}{R_k} + \frac{2}{3G_k}\sum_{j=1}^{k-1}\left(\frac{R_j}{R_k}\bar{\gamma}_{k-1}^{I/Q,SIC}\right)\right)^{-1} \tag{3.17}$$

- pour le détecteur décorrélateur, l'expression du SINR s'exprime comme suit (Rekha et al., 2009; Verdú, 1998):

$$\bar{\gamma}_k^{DEC} = \frac{1}{2}\left(\frac{2\overline{E}_b}{N_0}\left(\frac{1}{R_{k,k}^{+}}\right)\right) = \frac{\overline{E}_b}{N_0}\left(1 - \frac{\left(\sum_{i_c=1}^{n_c}\frac{R_{i_c}}{R_k}K_{i_c} - 1\right)}{G_k}\right) \tag{3.18}$$

- pour le détecteur à MMSE, le SINR de l'utilisateur k est exprimé en utilisant l'approximation gaussienne des interférences d'accès multiples (Poor et Verdù 1997; Verdú, 1998):

$$\gamma_k^{MMSE} = A_k^2 \boldsymbol{s}_k^* (\boldsymbol{S}_k \boldsymbol{A}_k \boldsymbol{S}_k^* + \sigma^2 \boldsymbol{I})^{-1} \boldsymbol{s}_k = \boldsymbol{s}_k^* \left(\boldsymbol{S}_k \frac{\boldsymbol{A}_k}{A_k^2} \boldsymbol{S}_k^* + \frac{\sigma^2}{A_k^2} \boldsymbol{I} \right)^{-1} \boldsymbol{s}_k \tag{3.19}$$

où $\boldsymbol{A}_k$ est défini par $\boldsymbol{A}_k = diag\left([A_1^2, ..., A_{k-1}^2, A_{k+1}^2, ..., A_K^2]\right)$, s_k est la signature de l'utilisateur k, $\boldsymbol{S}_k$ le vecteur des signatures tel que $\boldsymbol{S}_k = [S_1, ..., S_{k-1}, S_{k+1}, ..., S_K]$ et $\boldsymbol{I}$ la matrice identité d'ordre $K-1$.

3.4.1.2 Transmissions à codes multiples.

Lorsque l'on transmet des codes multiples, les formules de calcul de la probabilité d'erreur données ci-dessus (3.11-3.14) restent valables. Nous détaillons donc, les expressions des rapports signal sur bruit et interférences de l'utilisateur k utilisées pour calculer les taux d'erreurs binaires. Les expressions ici sont fonctions du rapport comprenant des débits des utilisateurs interférents sur le débit de l'utilisateur courant k, et du facteur d'étalement fixe utilisé :

- pour le récepteur à filtre adapté nous avons (Tony et Arne, 1995):

$$\gamma_k^{MF} = \frac{1}{2} \left(\frac{N_0}{2\overline{E}_b} + \frac{\sum_{i_c=1}^{n_c} \frac{R_{i_c}}{R_0} K_{i_c} - 1}{G_0} \right)^{-1} \tag{3.20}$$

- pour le détecteur à suppression successive d'interférences nous pouvons écrire (Johansson et Svensson, 1995) :

$$\bar{\gamma}_k^{I/Q,SIC} = \left(\frac{N_0}{2\overline{E}_b} + \sum_{i_c=1}^{n_c} \left(\frac{2}{3G_0} \sum_{j=k+1}^{K_{i_c}} E_{h_k} \left[\frac{A_j^2 h_j}{A_k^2 h_k} \right] + \frac{2}{3G_0} \sum_{j=1}^{k-1} \left(E\left[\frac{A_j^2 h_j}{A_k^2 h_k} . \bar{\gamma}_j^{I/Q,SIC} \right] \right) \right) \right)^{-1} \tag{3.21}$$

En supposant que le rapport des puissances est égal au rapport des débits (1.13) nous pouvons écrire :

$$\bar{\gamma}_k^{I/Q,SIC} = \left(\frac{N_0}{2\overline{E}_b} + \sum_{i_c=1}^{n_c} \left(\frac{2}{3G_0} \sum_{j=k+1}^{K_{i_c}} \frac{R_j}{R_k} + \frac{2}{3G_0} \sum_{j=1}^{k-1} \left(\frac{R_j}{R_k} . \bar{\gamma}_j^{I/Q,SIC} \right) \right) \right)^{-1} \tag{3.22}$$

- pour le détecteur décorrélateur nous avons (Verdú, 1998):

$$\bar{\gamma}_k^{DEC} = \frac{2\overline{E}_b}{N_0} \left(1 - \frac{\left(\sum_{i_c}^{n_c} \frac{R_{i_c}}{R_0} K_{i_c} - 1 \right)}{G_0} \right) \tag{3.23}$$

- pour le détecteur à erreur quadratique moyenne minimal nous avons (Verdú, 1998; Yu, Jamie et Lain, 2003):

$$\bar{\gamma}_k^{MMSE} = A_k \boldsymbol{s}_k^* \left(\boldsymbol{S}_k \boldsymbol{A}_k \boldsymbol{S}_k^* + \sigma^2 \boldsymbol{I} \right)^{-1} \boldsymbol{s}_k = \boldsymbol{s}_k^* \left(\boldsymbol{S}_k \boldsymbol{A}_k \boldsymbol{S}_k^* + \frac{\sigma^2}{A_k^2} \boldsymbol{I} \right)^{-1} \boldsymbol{s}_k \tag{3.24}$$

où $\boldsymbol{A}_k$ est défini par $\boldsymbol{A}_k = diag\left(\left[A_1^2, ..., A_{k-1}^2, ..., A_{k+1}^2, ..., A_K^2 \right] \right)$

3.4.1.3 Transmissions à taille de constellation variable

Dans les transmissions à taille de constellation variable les formules (3.11-3.14) doivent être exprimées à nouveau, pour la modulation en quadrature à M points M-QAM. Le calcul de la probabilité d'erreur sur les symboles transmis est fait par une autre formule tirée de la référence (Tony et Arne, 1995) :

$$P_{e,k}^{I/Q} \approx \left(\frac{\sqrt{M_k} - 1}{\sqrt{M_k}} \right) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{\overline{\gamma}_k}{\overline{\gamma}_{k+1}}} \right) \tag{3.25}$$

où $\overline{\gamma}_k$ est le SINR qui sera exprimé plus tard pour ces trois récepteurs.

Dans le cas particulier du détecteur à suppression successive d'interférences, la probabilité d'erreur symbole pour une modulation à taille de constellation variable, conditionnellement à la distribution des ordres des amplitudes à supprimer est calculée de la façon suivante (Johansson et Svensson, 1995):

$$P_{e,j,k}^{I/Q,SIC} \approx 2 \left(\frac{\sqrt{M_k} - 1}{\sqrt{M_k}} \right) Q\left(\overline{\gamma}_{j,k}^{I/Q,SIC} \right) \tag{3.26}$$

où $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$, j est l'indice de l'utilisateur supprimé et k est l'utilisateur décodé.

La probabilité d'erreur binaire est exprimée par (Tony et Arne, 1995):

$$P_{b,k}^{I/Q} = \frac{1 - \left(1 - P_{e,k}^{I/Q}\right)\left(1 - P_{e,k}^{I/Q}\right)}{L_{M_k}} \tag{3.27}$$

où L_{M_k} est le nombre de bits par symbole, donné par l'expression $L_{M_k} = \log_2(M_k)$.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

La probabilité d'erreur symbole inconditionnelle est obtenue en utilisant la formule (3.13). Puis, la probabilité d'erreur binaire est deduite en remplaçant la probabilité d'erreur symbole inconditionnelle dans la formule (3.14).

En somme, les expressions du SINR de l'utilisateur *k*, pour calculer les taux d'erreur binaire dans les formules (3.15-3.17) sont données ci-dessous en fonctions des rapports des débits, de la taille des constellations des différents utilisateurs et du nombre de bits par symbole :

- pour le récepteur à filtre adapté nous avons :

$$\overline{\gamma}_k^{I,MF} = \frac{1}{2}\left(\frac{(M_k-1)}{3}\left(\frac{N_0}{L_{M_k}\overline{E_b}} + \frac{2}{3}\frac{\left(\sum_{i_c=1}^{n_c}\frac{R_{i_c}}{R_k}K_{i_c}-1\right)}{G_0}\right)\right)^{-1} \tag{3.28}$$

- pour le détecteur à suppression successive d'interférences, s'exprime (Johansson et Svensson, 1995) :

$$\overline{\gamma}_k^{I,SIC} = \left[\left(\frac{N_0}{2\beta_k\overline{E_b}}\right) + \sum_{i_c=1}^{n_c}\left(\frac{2}{3N}\sum_{j=m+1}^{K_{i_c}}\frac{(M_j-1)}{3}\frac{\beta_j.E_{h_k}\left[h_j^2\right]}{\beta_k} + \frac{2}{3N}\sum_{j=1}^{m}\frac{\beta_j}{\beta_k}.\left(\gamma_j^{I,SIC}\right)^{-2}\right)\right]^{-1/2} \tag{3.29}$$

En remplaçant le rapport des puissances par le rapport de débits (1.13), nous pouvons écrire :

$$\overline{\gamma}_k^{I,SIC} = \left[\left(\frac{N_0}{2\beta_k\overline{E_b}}\right) + \sum_{i_c=1}^{n_c}\left(\frac{2}{3N}\sum_{j=m+1}^{K_{i_c}}\frac{(M_k-1)}{3}\frac{R_j}{R_k} + \frac{2}{3N}\sum_{j=1}^{m}\frac{(M_k-1)}{(M_j-1)}\frac{R_j}{R_k}.\left(\gamma_j^{I,SIC}\right)^{-2}\right)\right]^{-1/2} \tag{3.30}$$

où $\beta_k = \dfrac{3L_{M_k}}{2(M_k-1)}$

- pour le décorrélateur nous avons (Yen, 2002):

$$\bar{\gamma}_k^{I,DEC} = \frac{1}{2}\left[\frac{3}{(M_k-1)}\left(\frac{L_{M_k}\overline{E_b}}{N_0} - 2\frac{\left(\sum_{i_c=1}^{n_c}\frac{R_{i_c}}{R_k}K_{i_c}-1\right)}{3G_0}\right)\right]^{-1} \tag{3.31}$$

- pour le détecteur à MMSE, en approximant les interférences d'accès multiples à un processus Gaussien (Poor et Verdù 1997), le rapport signal-sur-bruit et interférences peut être exprimé (Verdú, 1998; Yu, Jamie et Lain, 2003) :

$$\bar{\gamma}_k^{I,MMSE} = \frac{3L_{M_k}}{2(M_k-1)}A_k\boldsymbol{s}_k^*\left(\boldsymbol{S}_k\boldsymbol{A}_k\boldsymbol{S}_k^* + \sigma^2\boldsymbol{I}\right)^{-1}\boldsymbol{s}_k = \frac{3L_{M_k}}{2(M_k-1)}\boldsymbol{s}_k^*\left(\boldsymbol{S}_k\boldsymbol{A}_k\boldsymbol{S}_k^* + \frac{\sigma^2}{A_k^2}\boldsymbol{I}\right)^{-1}\boldsymbol{s}_k \tag{3.32}$$

où $\boldsymbol{A_k}$ est défini par $\boldsymbol{A_k} = diag\left(\left[A_1^2,...,A_{k-1}^2,...,A_{k+1}^2,...,A_K^2\right]\right)$.

3.4.2 Métrique de la couche physique dans un canal multi-trajets, fixe-à-mobile et mobile-à-mobile

Ce paragraphe donne le calcul des métriques de taux d'erreur binaire de la couche physique dans un canal de multi-trajets. Le récepteur se compose deux parties : la première partie comporte les branches chargées de démoduler les trajets du signal reçu et la seconde l'algorithme de combinaison des branches.

Au niveau de la partie des branches, nous savons que les opérations de réception à filtre adapté, à suppressions successives d'interférences et à décorrélation sont linéaires (section 1.5.1.1). Les expressions du rapport signal sur bruit et interférences SINR d'une branche de réception du signal de l'utilisateur courant *k* restent donc identiques à celles développées pour le canal à trajet unique. Ce fait est spécifié pour le récepteur conventionnel dans (Tony et Arne, 1995) et pour le détecteur à suppression successive d'interférences dans (Hui et

Khaled, 1988). La formule (3.11) s'applique pour le calcul de la probabilité sur un trajet lors de transmissions multi-facteurs d'étalement et à codes multiples. La variante (3.25) s'applique pour le calcul dans les modulations M-QAM à taille de constellation variable. La probabilité d'erreur de l'utilisateur k, sur le trajet d'indice l du récepteur s'exprime par :

$$P_{e,k,l}^{I/Q}(\gamma_{k,l}) = A.\left(1-\sqrt{\frac{\overline{\gamma}_{k,l}}{1+\overline{\gamma}_{k,l}}}\right) \tag{3.33}$$

$A = 1/2$ pour une modulation BPSK, QPSK et $A = \left(\frac{\sqrt{M}-1}{\sqrt{M}}\right)$ pour la modulation QAM de constellation à M points.

Au niveau de la partie chargée de combiner les trajets, deux principales méthodes de combinaisons des trajets sont étudiées (Proakis, 2001), celle qui maximise les SINRs et celle qui applique des gains égaux de valeur 1. Dans le but de maximiser le SINR de l'utilisateur k reçu nous avons choisi la première méthode. Ainsi, la combinaison des probabilités des différents trajets de l'utilisateur k donne une probabilité totale d'erreur symbole :

- pour le récepteur à filtre adapté (Proakis, 2001) :

$$P_{b,k}^{I/Q} = \left[\left(Pb_{l,k}^{I/Q}\right)^{L_p}\sum_{i=0}^{L_p}\binom{L_p-1+i}{i}\left(1-Pb_{l,k}^{I/Q}\right)^{i}\right] \tag{3.34}$$

$$P_{b,k}^{I/Q} \approx \left[\left(\frac{1}{4\gamma_{l,k}}\right)^{L_p}\binom{2L_p-1}{L}\right], \quad \gamma_l >> 1 \tag{3.35}$$

où L_p est le nombre de branches du récepteur.

A partir de la probabilité d'erreur symbole, la probabilité d'erreur binaire est trouvée à l'aide de la formule (3.27) ;

- pour le détecteur à suppression successive d'interférences la probabilité d'erreur est donnée par (3.34 et 3.35), les mêmes formules que dans le cas du récepteur à filtre adapté (Hui et Khaled, 1988) ;
- pour le détecteur à décorrélation, la probabilité d'erreur symbole est obtenue pour les trois techniques de transmissions multi-débits (Verdú, 1998) d'une autre façon définie:

$$P_{Rake}^{I/Q} = \sum_{i=1}^{L_p} \frac{\beta_i}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{N_0}{\lambda_i}}} \right] \tag{3.36}$$

où les λ_i sont les valeurs propres de la matrice de covariance $\sum \boldsymbol{R}_u(0)$ et $\beta_i = \prod_{j=1, j \neq i}^{L_p} \frac{\lambda_i}{\lambda_i - \lambda_j}$.

Les expressions de λ_i étant difficiles à déterminer analytiquement une approximation a été dérivée pour faciliter les calculs. La probabilité totale est donc (Proakis, 2001) :

$$P_{Rake}^{I/Q,BPSK} \approx \binom{2L-1}{L} \prod_{l=1}^{L} \frac{1}{4\gamma_l} \quad \gamma_l >> 1 \tag{3.37}$$

$$P_{Rake}^{I/Q,M-QAM} \approx 2\frac{\left(\sqrt{M}-1\right)}{\sqrt{M}} . \binom{2L-1}{L} \prod_{l=1}^{L} \frac{1}{2\gamma_l}, \quad \gamma_l >> 1 \tag{3.38}$$

La probabilité d'erreur binaire est obtenue à remplaçant les probabilités d'erreur symbole dans la formule (3.27) .

- pour le détecteur MMSE, le nombre d'opérations de calculs, lorsque l'on applique la technique de diversité dans un système où les utilisateurs transmettent à débit variable, devient très important (Latva-aho, 1998). Notons que ce détecteur est déjà

complexe dans la réception à trajet unique. Vue la performance de ce détecteur, presqu'égale à celle du décorrélateur, quelques rares fois légèrement meilleur, nous ne l'avons pas considéré dans l'étude du canal multi-trajets.

3.4.3 Couche d'acces radio : métriques de performances au niveau des slots de données

Cette section donne les métriques de la couche d'accès radio qui nous ont permis, d'évaluer les performances globales dans les simulations. Ce sont les métriques de taux de réception et de débit utile moyen. La troisième métrique, celle du délai sort du cadre de ce travail.

Le taux de perte de paquet est lié au taux d'erreur binaire de la couche physique. Il dépend de la modulation utilisée et du type de récepteur à travers le rapport signal sur bruit et interférences SINR (3.4.1 et 3.4.2). Les expressions des différents taux erreurs binaires, utilisées dans cette section sont données, dans les calculs de métriques de la couche physique, élaborés dans les deux sections précédentes 3.4.1 et 3.4.2. En supposant que le transmetteur envoie un train de bits indépendants, le taux de perte de paquets de l'utilisateur *k,* PER_k et le taux d'erreur binaire BER_k sont liés par la formule suivante :

$$PER_k = 1 - (1 - BER_k)^{N_b} \tag{3.39}$$

tel que, N_b , est la longueur du paquet en bit.

En utilisant cette expression (3.39), nous pouvons calculer la perte totale sur la liaison de l'utilisateur *k*, $Loss_k$. En effet, l'ensemble des paquets envoyés durant un slot de données peut être divisé, d'après le formalisme présenté dans la section 2.3.2.2, en plusieurs classes de données, selon le facteur d'étalement, le nombre de codes parallèles ou la taille de constellation, distincts utilisés pour transmettre durant ce slot. Nous déterminons alors la perte sur l'ensemble du slot de données en faisant la somme des pertes sur chaque classe. La perte par classe est obtenue en multipliant le taux de pertes de données durant une période

d'adaptation de débit par les données totales transmises durant cette période. Ainsi pour l'ensemble des slots de données transmis sur la liaison, nous pouvons écrire :

$$Loss_k = \sum_{j=1}^{Nslot} \sum_{i_c^j=1}^{n_c^j} \left(\sum_{l_{période}^j=1}^{N_{période}^j} L_{i_c^j} PER_{l_{période}^j}^{i_c^j} \right) \tag{3.40}$$

$PER_{l_{période}^j}^{i_c^j}$ est le taux de perte de données calculé, j l'indice du slot de données courant, i_c^j l'indice de la classe de données dans le slot j ; $L_{i_c^j}$ tel que défini dans la section 2.3.2.2 est la quantité de données transmises par le facteur d'étalement, le nombre de codes en parallèles ou la constellation d'indice i_c^j ; n_c^j est le nombre totale de classes de données transmises durant le slot ; $l_{période}^j$ est l'indice de la période courante d'adaptation et $N_{période}^j$ le nombre total de périodes d'adaptation. *Nslot* le nombre total de slots de données transmis.

La métrique utilisée pour évaluer le nombre total de paquets reçus au nœud central est calculée de la façon suivante :

$$(\%)PDR = \frac{1}{N_{user}} \left(\sum_{k=1}^{N_{user}} \frac{N_{paquets_k} - Loss_k}{N_{paquets_k}} \right).100 \tag{3.41}$$

tel que $Loss_k$ est la perte totale sur la liaison de l'utilisateur k ; N_{user} est le nombre d'utilisateurs, $N_{paquets}$ le nombre total de paquets de données transmis.

Pour mesurer la quantité de paquets reçus, nous avons choisi comme métrique le débit utile moyen du réseau que nous exprimons :

$$Goodput = \sum_{k=1}^{N_{user}} \frac{\left(N_{paquets_k} - Loss_k \right)}{t_k} \tag{3.42}$$

tel que t_k est la durée de transmission totale.

Nous avons évalué le délai moyen dans le réseau en utilisant la formule suivante :

$$Delai = \frac{1}{N_{user}} \sum_{k=1}^{N_{users}} \frac{\left(\sum_{l_{slot}=1}^{N_{slot}} délai_{l_{slot}} . \sum_{i_c=1}^{n_c} \left(L_{i_c} . PER_{l_{sot}}^{i_c} \right) \right)}{N_{paquets_k}} \tag{3.43}$$

3.5 Performance de la couche d'accès en présence de prédiction

Le travail d'évaluation des performances du protocole de base à détection multi-utilisateurs a été fait dans la référence (Zhang et al., 2009). Celui-ci a été comparé à trois modèles existants : le protocole à réception multiple simple utilisant un récepteur à filtre adapté, le protocole à canaux multiples en parallèles, et le protocole IEEE 802.11. La supériorité de notre protocole de base à détection multi-utilisateurs a été démontrée. Dans la littérature, très peu de travaux ont été publiés sur les protocoles à détection multi-utilisateurs complets, afin de nous permettre de faire une comparaison avec d'autres études.

La spécificité de ce travail consiste donc à étudier l'augmentation de performance, apportée par le cadre conceptuel en termes de débit et de taux d'erreurs, à notre protocole de base MUD-MAC afin de le rendre plus opérationnel ; vu que la supériorité de ce dernier est démontrée par rapport au protocole à réception multi-utilisateurs, au protocole à canaux multiples, et au protocole IEEE802.11, comme cela a été mentionné. Nous avons ainsi choisi de comparer notre système, le protocole MUD-MAC avec le cadre conceptuel, à des systèmes de références. Parmi ces systèmes, le premier élément de comparaison est le protocole de base sans le cadre conceptuel inter-couches c'est-à-dire sans prédiction. En d'autres termes il s'agit du protocole à détection multi-utilisateurs avec une transmission à débit unique. Le deuxième élément de comparaison retenu est le protocole de base à réception multiple simple avec le cadre conceptuel inter-couches à prédiction du canal. Des

simulations de Monté Carlo ont été utilisées pour l'évaluation des performances. Les paramètres des simulations sont donnés dans le tableau 3.1. Comme spécifié dans la section 1.5.2.1, nous avons adopté un modèle à codes aléatoires afin d'avoir des mesures les plus réalistes possibles. Les métriques de performances utilisées sont calculées dans la section 3.5.

Dans le cas de transmissions multi-facteurs la période d'un bit varie. Elle est fonction de la longueur du code qui est plus ou moins grande. Pour implémenter les périodes variables nous avons considéré des codes étendus selon le formalisme présenté dans la référence (Tony et Arne, 1998). Par exemple, un utilisateur qui transmet avec un code de longueur de 256 bribes enverra 1 bit sur une période donnée, tandis que ceux transmettant avec un code de longueur 16 transmettront 16 bits. La période des bits de 16 bribes seront 16 fois plus petites. Dans le cas de la transmission à codes multiples la période bit est fixe et le nombre de bits transmis durant cette période est le nombre de codes en parallèle. Dans le cas de la transmission à modulations multiples, la période est également fixe, le nombre de bits transmis est lié au nombre de points de la constellation de transmission. Dans les sections suivantes, les performances de la couche d'accès sont étudiées, en présence du cadre conceptuel muni de l'algorithme de prédiction du canal.

Nous calculons le taux de réception moyen sur l'ensemble des connexions et le débit utile agrégé au récepteur, en fonction de la longueur du slot de données que nous avons fait varier de 1 à 8ms. Le taux réception et le débit utile du protocole de base muni du cadre conceptuel ont été évalués en présence d'algorithmes qui permettent d'obtenir l'information du canal. Nous avons distingué les trois cas suivants, où l'information du canal est obtenue :

- avec l'algorithme de prédiction de canal proposé ;
- avec l'algorithme d'estimation uniquement ;
- dans le dernier cas elle est connue de façon parfaite.

Pour faire l'évaluation, nous considérons le système à plateforme CDMA supportant les quatre filtres de réception, présenté dans la section 2.3.2, avec un transmetteur à facteur d'étalement variable.

Rapport-Gratuit.com

Tableau 3.1 Les paramètres de simulations

Bande passante du signal	2, 25 MHz
Rapport signal sur bruit seuil des transmetteurs	20, 25 dB
Puissances moyennes des transmetteurs	0.1, 0.63mW
Longueur des codes dans la transmission multi-facteurs	[2 4 16 32 64 128 256 512]
Longueur du code dans la transmission à codes multiples	512
Longueur du code dans la transmission à taille de constellation variable	512
Taille de constellation dans la transmission à taille de constellation variable	[4 16 32 64 128 256 512 1024]
Débit bit dans la transmission multi-facteurs d'étalement et à codes multiples	[2 1 0.25 0.125 0.0625 0.0313 0.0156 0.0078] Mbits/s
Débit bit dans la transmission à taille de constellation variable	[1024 512 256 128 64 32 16 8 4] Mbits/s
Bits pilotes	20 bits
Longueur des paquets CTS	264 bits
CRC	32 bits
Fréquence d'échantillonnage du canal	10^6 Hz
Période d'adaptation du débit	0.2 m/s
Fréquence porteuse	2.4 GHz
Le nombre de sinusoïdes du simulateur du canal de Rayleigh	8 sinusoïdes
La longueur du filtre dans l'algorithme de prédiction LMS	40 coefficients
L'erreur de prédiction maximale admise	0.1

La synthèse des canaux simulés, précisant les conditions de transmissions des utilisateurs lors de l'adaptation de leurs débits est donnée dans le tableau 3.2. Pour la suite du document, lorsqu'il sera nécessaire, nous préciserons les seuils et les puissances moyennes de transmissions, que nous avons utilisés en particulier dans les deux premiers cas, pour le canal à trajet unique de 2MHz de largeur de bande, où premièrement les seuils et les puissances sont de $seuil_1$=20dB et Pm_1=0.63mW et deuxièmement de $seuil_2$=25dB et Pm_2=0.1mW. Dans les transmissions larges bandes multi-trajets fixe-à-mobile et mobile-à-mobile de 25MHz,

seuls les seuils et les puissances $seuil_2$ et Pm_2 sont utilisés lors des simulations si bien que nous ne les préciserons pas à nouveau dans toutes les sections afin d'éviter les redondances.

Tableau 3.2 Synthèse des canaux simulés et paramètres des liaisons

Types de canal et largeur de bande	**Canal à trajet unique de 2MHz**	**Canal à trajet unique de 2MHz**	**Canal multi-trajets fixe-à-mobile de 25MHz**	**Canal multi-trajets mobile-à-mobile de 25MHz**
Seuil de transmissions	$Seuil_1$=20dB	$Seuil_2$=25dB	$Seuil_2$=25dB	$Seuil_2$=25dB
Puissance moyenne de transmissions	Pm_1=0.63mW	Pm_2=0.1mW	Pm_2=0.1mW	Pm_2=0.1mW

3.5.1 Canal à trajet unique et plat en fréquence de 2 MHz

En premier lieu, les simulations ont été menées pour un canal de largeur de bande 2MHz, à trajet unique, où les utilisateurs transmettent avec une puissance moyenne Pm=0.63mw et un rapport signal sur bruit seuil de SNR=20dB. Ensuite elles ont été menées avec une puissance moyenne Pm=0.1mw et un rapport signal sur bruit seuil de SNR=25dB. Nous avons considéré un scénario de 30 utilisateurs en mouvement à 10m/s, connectés au récepteur qui est fixe. Les atténuations à grande et à moyenne échelles des signaux sont parfaitement compensées par le contrôle de puissance. Une série de 5000 trames est envoyée par chaque utilisateur.

Performances pour un seuil de transmission $seuil_1$=20dB et une puissance moyenne Pm_1=0.63mw

Taux de réception de paquets

Les résultats du récepteur multi-utilisateurs à filtre adapté, des détecteurs à suppression successive d'interférences, décorrélateur et MMSE, sont donnés sur la figure 3.3.a. Ils montrent qu'en présence de prédiction le taux de réception des paquets décroît lorsque l'on

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

augmente la longueur des slots. Le taux de réception de paquets évalué avec l'information exacte est approximativement constant. Le taux de réception en présence de prédiction du canal est meilleur qu'en présence de l'estimation du canal.

En comparant les différents récepteurs, nous observons que le récepteur à filtre adapté donne des performances faibles (en dessous de 2%). Cela est dû à l'impact des interférences d'accès causées par les multiples utilisateurs en présence et à la dégradation du signal par les évanouissements lors de la propagation. Les performances du détecteur à suppression successive d'interférences sont moyennes (26% - 30%). Celles des récepteurs à erreur quadratique moyenne minimale et du détecteur décorrélateur sont élevées (56% - 71%). Elles sont quasi-similaires avec un léger avantage pour le récepteur à erreur quadratique moyenne minimale. Ce qui est en parfaite concordance avec les résultats donnés dans la référence (Ivan et Narayan, 1999).

Le débit utile agrégé

Le débit utile agrégé moyen sur l'ensemble des connexions d'un nœud récepteur est présentée à la Figure 3.3.b pour les trois cas. En général, il décroît lorsque la longueur du slot de données augmente. La prédiction assure de meilleurs résultats que l'estimation. L'influence de la réception sur les résultats est telle que, celle à filtre adapté donne un faible débit utile (inférieur à 7 Mbits/s). La détection à suppression successive d'interférences assure un débit utile agrégé élevé (30-60Mbits/s). Celles à erreur quadratique moyenne minimale et à décorrélation donnent les meilleurs débits utiles moyens (52-66 Mbits). Notons que le débit utile agrégé des deux dernières méthodes de détection est plus important que celle du détecteur à suppression successive d'interférences. Par contre, elles détectent les utilisateurs avec plus d'opérations de calculs. Le nombre d'opérations est grand dans le cas du décorrélateur et très grand dans le cas du détecteur à erreur quadratique moyenne minimale (voir complexité 1.5.2.2).

N.B. : Nous utilisons quelques fois dans la suite du document, et sur les légendes des figures, les abréviations suivantes pour la réception des paquets des utilisateurs :

- MF pour le récepteur à filtre adapté ;
- SIC pour le détecteur à suppression successive d'interférences ;
- DEC pour le détecteur décorrélateur ;
- MMSE pour le détecteur d'erreur quadratique moyenne minimale.

Pour la transmission des paquets, les abréviations utilisées sont :

- MPG pour transmetteur multi-facteurs d'étalement ;
- MC pour transmetteur à codes multiples ;
- MM pour transmetteurs à modulations multiples.

Les tableaux de même nom insérés à la suite des figures représentent les données utilisées pour le tracé des courbes.

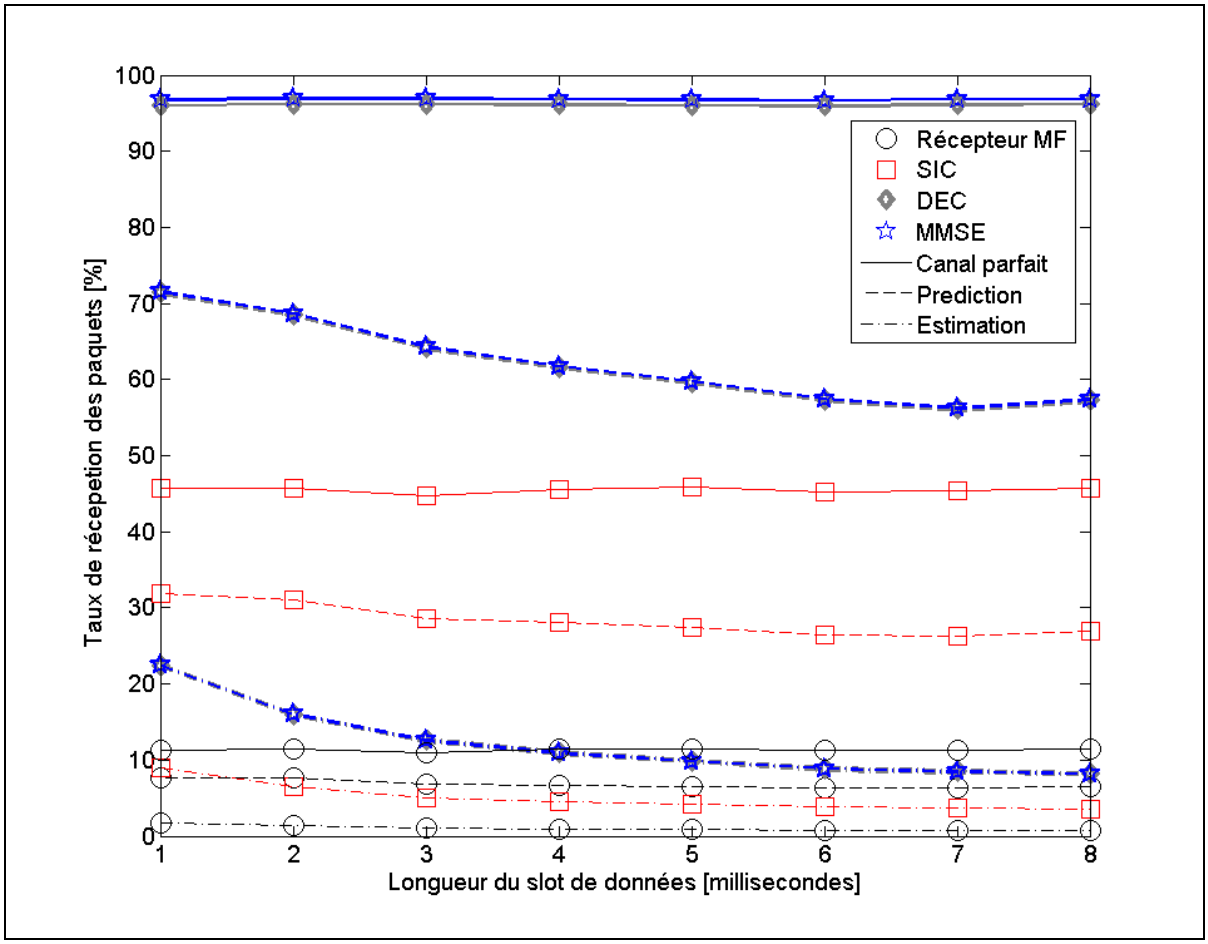

Figure 3.3.a Taux de réception des paquets, de la couche d'accès, prédiction, quatre récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW

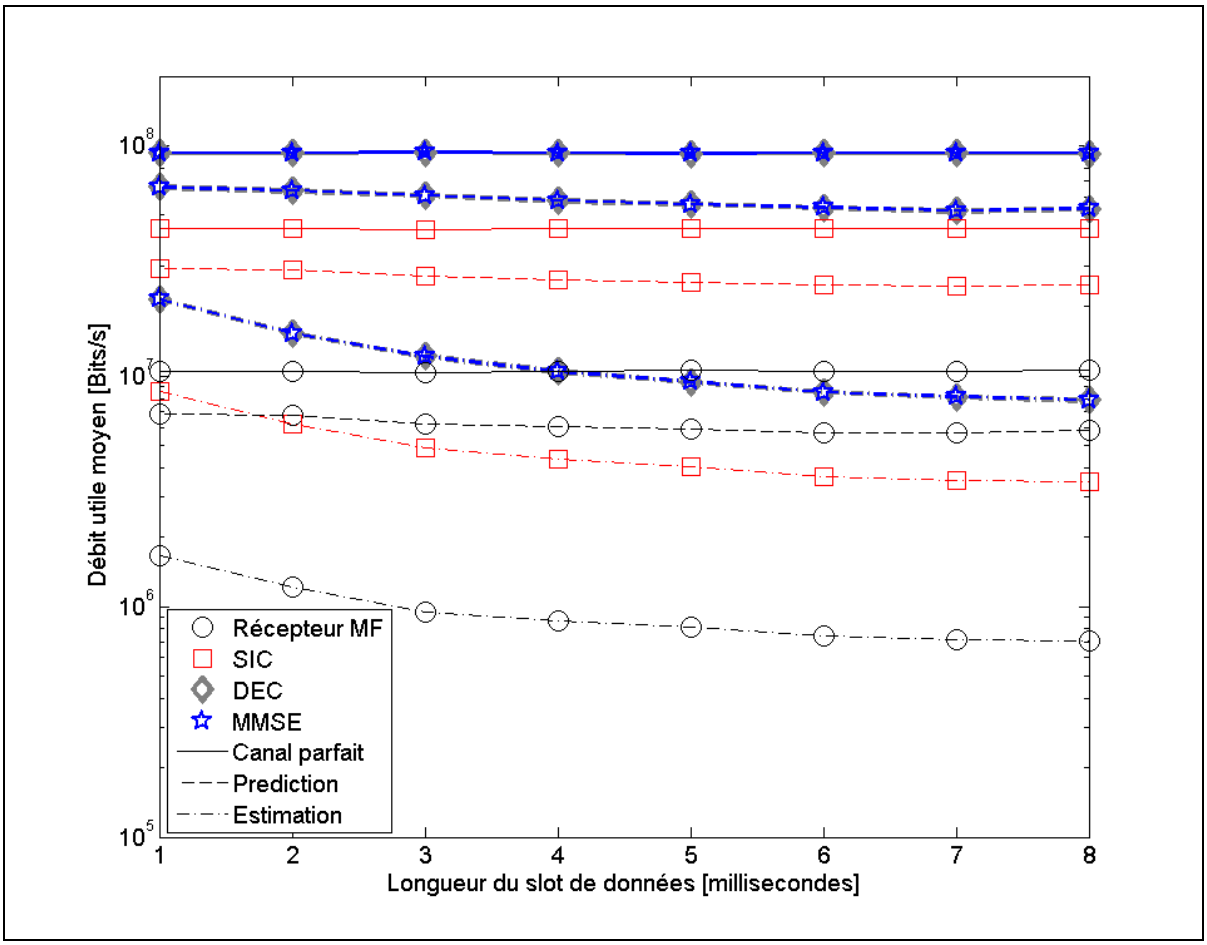

Figure 3.3.b Débit utile agrégé, de la couche d'accès, prédiction, quatre récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW

Tableaux 3.3.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction quatre récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW

Taux de réception des paquets récepteur filtre à adapté (%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	11,34	11,39	11,02	11,37	11,45	11,25	11,25	11,41
Prédiction	7,73	7,59	6,76	6,70	6,56	6,33	6,34	6,48
Estimation	1,80	1,32	1,01	0,94	0,88	0,80	0,77	0,77

a) Récepteur à filtre adapté

Taux de réception des paquets détecteur SIC (%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données (m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	45,66	45,72	44,76	45,62	45,86	45,24	45,34	45,75
Prédiction	31,89	31,04	28,65	28,10	27,50	26,50	26,32	26,89
Estimation	9,00	6,49	5,03	4,56	4,21	3,80	3,67	3,61

b) Récepteur à suppression successive d'interférences

Taux de réception des paquets détecteur décorrélateur (%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	95,99	96,17	96,19	96,11	96,01	95,94	96,09	96,15
Prédiction	71,36	68,45	64,13	61,55	59,59	57,30	56,02	57,24
Estimation	22,38	15,94	12,54	10,89	9,81	8,81	8,41	8,17

c) Récepteur décorrélateur

Taux de réception des paquets détecteur MMSE (%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	96,71	96,88	96,91	96,84	96,72	96,66	96,81	96,87
Prédiction	71,56	68,64	64,32	61,73	59,77	57,47	56,18	57,41
Estimation	22,45	15,98	12,58	10,93	9,84	8,83	8,44	8,20

d) Récepteur MMSE

Tableaux 3.3.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, quatre récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW

Débit utile agrégé récepteur à filtre adapté (Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	10.49	10.53	10.32	10.53	10.58	10.46	10.45	10.55
Prédiction	6.88	6.80	6.17	6.046	5.91	5.71	5.69	5.80
Estimation	1.66	1.22	0.94	0.87	0.81	0.75	0.72	7.12

a) Récepteur à filtre adapté

Débit utile agrégé détecteur SIC(Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	43.78	43.68	43.27	43.65	43.83	43.55	43.56	43.71
Prédiction	29.37	28.76	27.01	26.21	25.63	24.75	24.40	59.077
Estimation	8.62	6.20	4.86	4.36	4.03	3.66	3.53	6.870

b) Récepteur à suppression successive d'interférences

Débit utile agrégé détecteur décorrélateur (Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	92.19	92.02	93.04	92.05	91.83	92.40	92.39	91.92
Prédiction	65.82	63.53	60.49	57.45	55.59	53.55	51.97	52.98
Estimation	21.48	15.26	12.13	10.42	9.40	8.48	8.11	7.9

c) Récepteur décorrélateur

Débit utile agrégé détecteur MMSE(Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	92.88	92.71	9.37	92.74	92.51	93.09	93.08	92.61
Prédiction	66.00	63.71	60.67	57.62	55.76	53.71	52.12	53.14
Estimation	21.55	15.30	12.16	10.45	9.42	8.51	8.13	7.88

(d) Récepteur MMSE

Performances pour un seuil de transmission seuil$_2$=25dB et une puissance Pm$_2$=0.1mW

Taux de réception des paquets

Lorsque l'on transmet à 0.1mw avec un seuil de transmission de 25dB, le taux de pertes de paquets est meilleur, c'est-à-dire plus petit que lorsque le seuil est de 20dB (Figure 3.4.a). On observe toujours une décroissance en fonction de la longueur des slots de données. Il est à noter ici que les performances du SIC se trouvent être sensiblement plus élevées et approchent celles du DEC. Ces deux détecteurs assurent entre 90 et 99% de taux de réception de paquets. A 25dB de seuil de transmission le récepteur à filtre adapté assure autour de 73 à 68% de taux de perte de paquet. La qualité de la réception est globalement plus élevée.

Débit utile agrégé

Le débit utile agrégé varie de 18Mbits/s à 28Mbits/s contre 30 à 66Mbits/s pour le seuil à 20dB (Figure 3.4.b). On observe donc une chute de la quantité de données transmises lorsque l'on diminue la puissance de transmission. Cela est surtout lié au fait que le seuil de transmission de 25 dB n'est pas toujours atteint lors des différentes variations du canal. Une optimisation devra être faite pour trouver le seuil de transmission adéquat en fonction de la fréquence des évanouissements du canal pour permettre la transmission d'une grande quantité de données. Au niveau de la plateforme, les différents récepteurs assurent un débit utile agrégé légèrement décroissant, l'impact de la longueur des slots de données n'est pas important, pour maximiser le débit utile l'on doit transmettre avec des slots de petites longueurs. Le récepteur à filtre adapté assure au noeud récepteur un débit utile agrégé entre 18 et 20Mbits/s, le détecteur SIC entre 27 et 24Mbits/s, le décorrélateur entre 27 et 23.5Mbits/s.

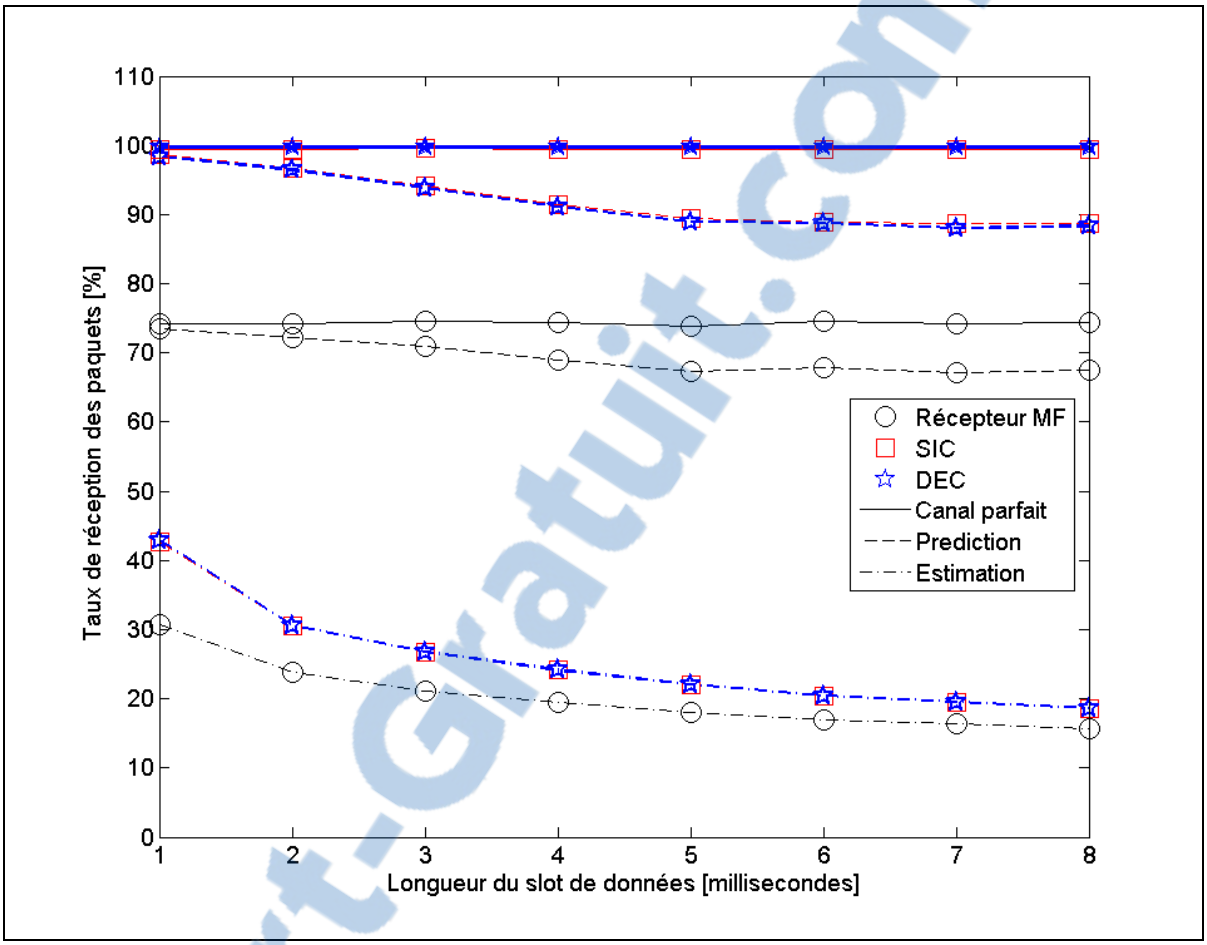

Figure 3.4.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction, quatre récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW

Rapport-Gratuit.com

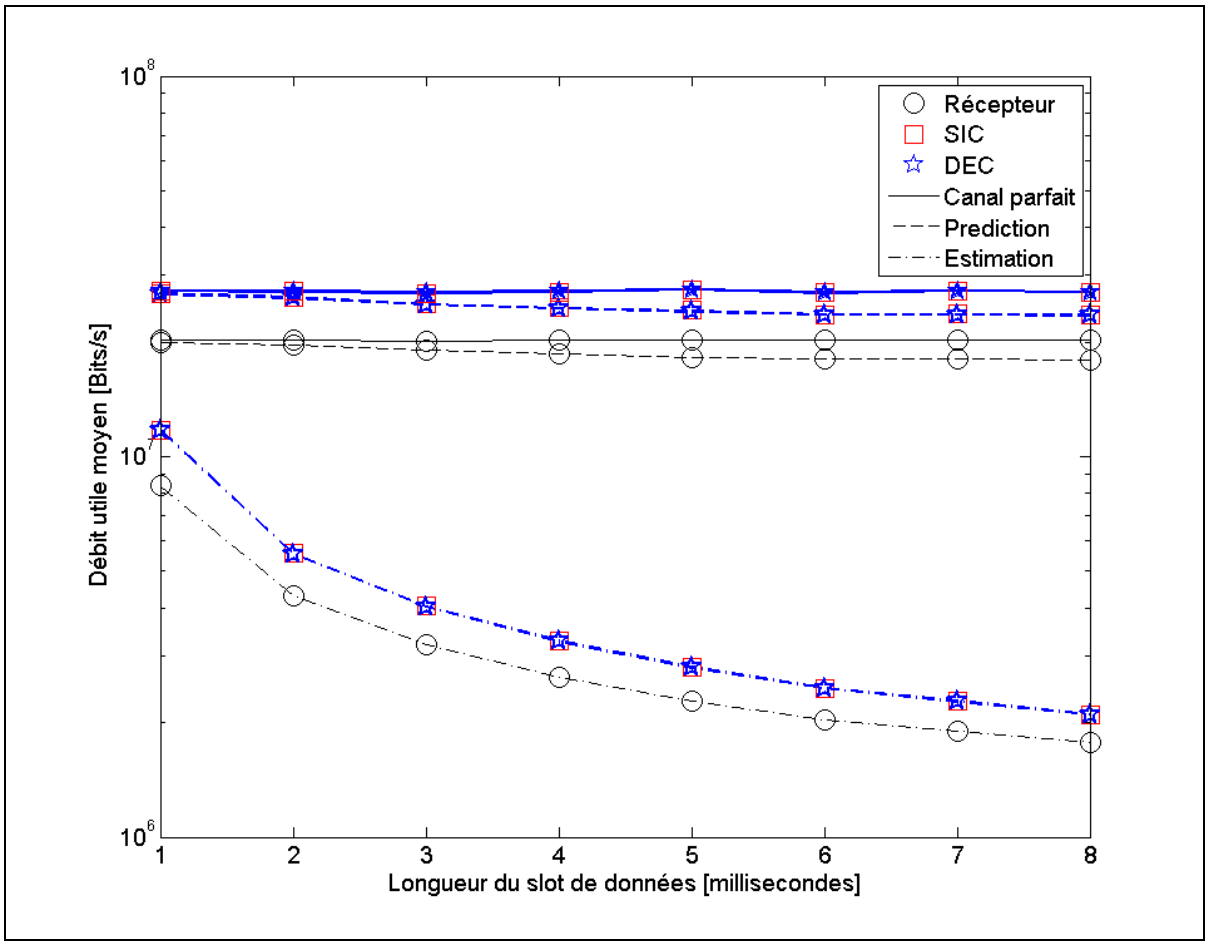

Figure 3.4.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW

Tableaux 3.4.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW

Taux de réception des paquets récepteur à filtre adapté(%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	74,26	74,2	74,61	74,32	73,85	74,56	74,24	74,45
Prédiction	73,55	72,3	70,99	68,97	67,28	67,84	67,23	67,54
Estimation	30,7	23,74	21,2	19,43	18,02	16,86	16,32	15,67

a) Récepteur à filtre adapté

Taux de réception du détecteur SIC (%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	99,47	99,46	99,49	99,47	99,43	99,49	99,46	99,48
Prédiction	98,6	96,69	94,11	91,48	89,49	88,96	88,71	88,65
Estimation	42,77	30,6	26,77	24,14	22,09	20,44	19,57	18,6

b) Récepteur à suppression successive d'interférences

Taux de réception du détecteur décorrélateur (%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7
Prédiction	98,38	96,45	93,78	91,08	88,93	88,72	88,06	88,25
Estimation	42,94	30,56	26,73	24,11	22,07	20,42	19,55	18,59

c) Récepteur décorrélateur

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableaux 3.4.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW

Débit utile agrégé récepteur à filtre adapté (Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	20,29	20,24	20,16	20,24	20,32	20,17	20,29	20,22
Prédiction	19,97	19,6	19,02	18,57	18,21	18,02	18,01	17,98
Estimation	8,39	4,31	3,2	2,64	2,28	2,03	1,9	1,77

a) Récepteur à filtre adapté

Débit utile agrégé détecteur SIC (Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	27,18	27,13	26,88	27,09	27,37	26,92	27,18	27,02
Prédiction	26,78	26,21	25,22	24,63	24,23	23,64	23,77	23,61
Estimation	11,69	5,56	4,04	3,28	2,8	2,46	2,27	2,1

b) Récepteur à suppression successive d'interférences

Débit utile agrégé détecteur décorrélateur (Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	27,25	27,19	26,94	27,15	27,44	26,98	27,25	27,09
Prédiction	26,72	26,15	25,14	24,52	24,08	23,57	23,59	23,5
Estimation	11,73	5,55	4,04	3,27	2,79	2,46	2,27	2,1

c) Récepteur décorrélateur

3.5.2 Canal multi-trajets fixe-à-mobile de 25MHz

En deuxième lieu les transmissions sont faites dans un canal de largeur de bande 25MHz, à quatre chemins, où les utilisateurs émettent également avec une puissance moyenne Pm_2=0.1mw et un rapport signal sur bruit seuil de $seuil_2$=25dB. Le scénario et la mobilité

sont les mêmes que dans le premier canal, soit 30 utilisateurs mobiles à la vitesse 10m/s, connectés à un récepteur fixe. Dans ce type de canal à large bande, comme spécifié à la section 3.4.2 dans le calcul des métriques, la plateforme intègre la technique de diversité pour la réception matérialisée ici, par un râteau à 4 chemins. Le détecteur MMSE demande un très grand nombre de calculs lorsqu'il est combiné avec la technique de diversité, et donne des performances quasiment égales à celle du décorrélateur. Les raisons pratiques de conduite des simulations nous ont amenées à ne retenir que trois récepteurs dans cette partie. En somme, les résultats de la prédiction lorsque l'on utilise la technique de diversité sont donnés sur les Figures 3.5.a et 3.5.b pour les différents types de réceptions. En général, ils varient peu lorsque la longueur du slot de données augmente. Pour ce type de canal il est donc possible de maximiser le débit utile agrégé en transmettant les paquets sur des slots de grandes longueurs.

Le taux de réception de paquets

Lorsque le débit est adapté en utilisant l'information de prédiction, le taux de réception augmente de 73% à 83% pour le récepteur à filtre adapté, de 86% à 95% pour le détecteur à suppression successive d'interférences et de 86 à 96% pour le détecteur décorrélateur. Le taux de réception du décorrélateur approche celui du canal à trajet unique sous les mêmes conditions. Par contre le récepteur à filtre adapté et le détecteur à suppression successive d'interférences donnent de moins bonnes qualités de réception que dans le canal à trajet unique aux mêmes conditions. Nous pouvons quand même conclure globalement, que la réception est de bonne qualité dans ce canal vue sa sévérité par rapport au canal à un seul chemin. Le décorrélateur est le détecteur qui permet la réception de haute qualité.

Débit utile agrégé

Le débit utile agrégé dans ce canal est élevé, entre 141 et 188 Mbits/s. Le récepteur à filtre adapté donne des performances moyennes, des débits utiles de 141 à 160 Mbits/s tandis que les détecteurs SIC et décorrélateur assurent des performances très élevées, entre 160 à

188Mbits/s. Il est intéressant de noter que lorsque les récepteurs sont munis de la technique de diversité, dans le canal multi-trajets fixe-à-mobile, le taux de réception et le débit utile agrégé augmentent avec la longueur des slots de données. Pour ce type de situation on peut transmettre avec des slots de données allant jusqu' à la longueur maximale de 8ms.

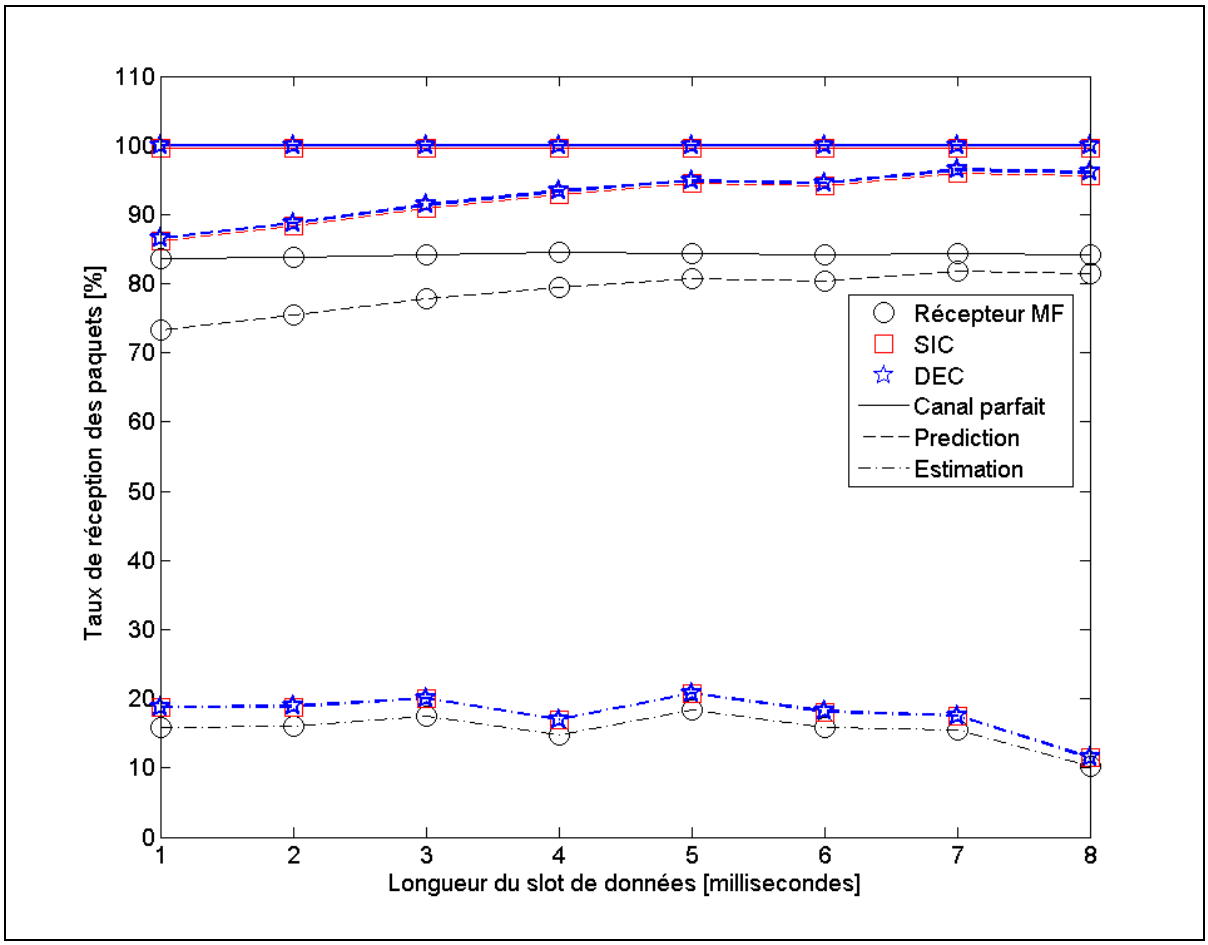

Figure 3.5.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets fixe-à-mobile de 25 MHz

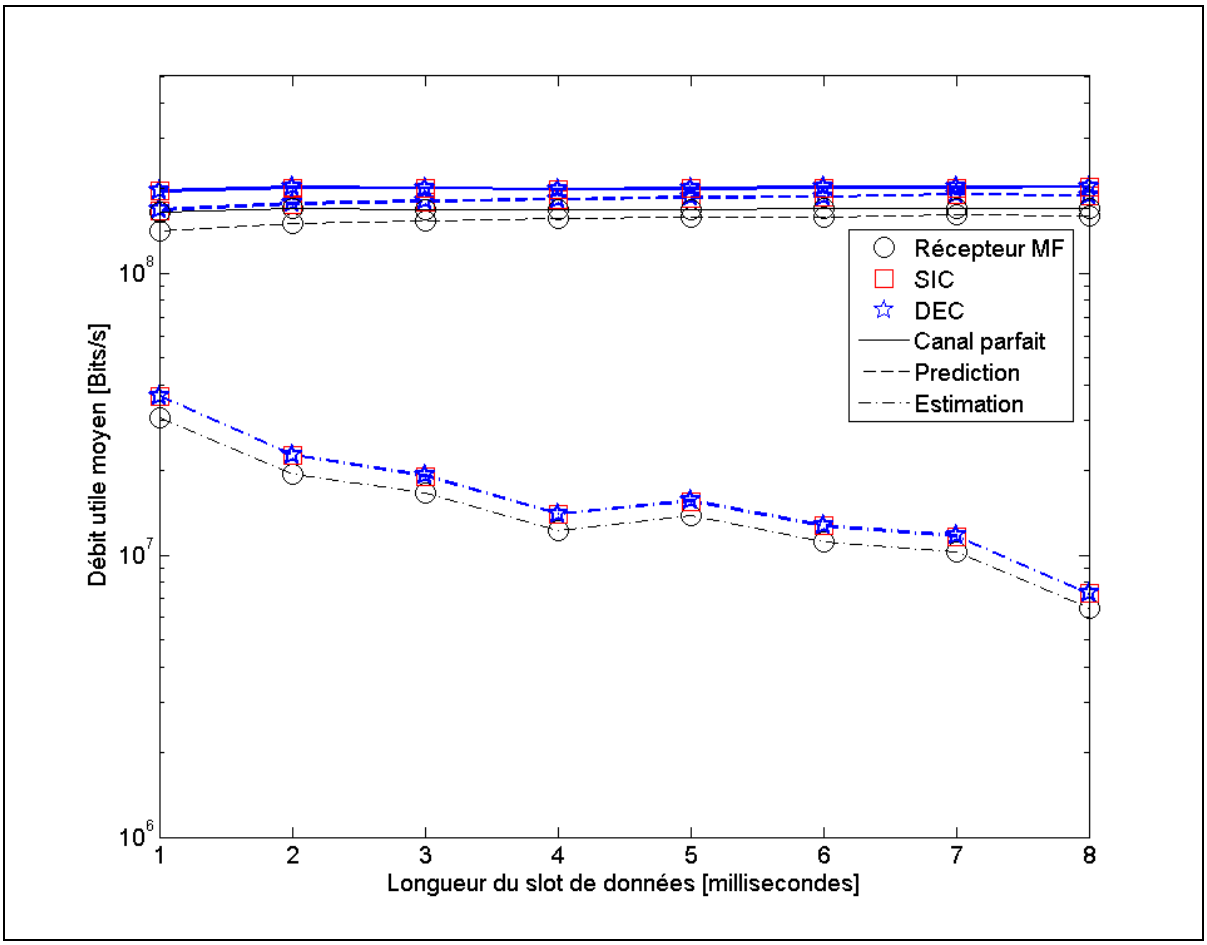

Figure 3.5.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement canal multi-trajets fixe-à-mobile de 25 MHz,

Tableaux 3.5.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets fixe-à-mobile de 25 MHz

Taux de réception des paquets récepteur à filtre adapté (%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	83,72	83,85	84,22	84,5	84,34	84,24	84,27	84,15
Prédiction	73,3	75,41	77,75	79,43	80,66	80,35	81,76	81,49
Estimation	15,78	16,04	17,41	14,83	18,34	15,92	15,52	10,17

a) Récepteur à filtre adapté

Taux de réception du détecteur SIC (%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	99,57	99,59	99,58	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6
Prédiction	86,12	88,36	90,91	92,91	94,43	94,12	96,03	95,62
Estimation	18,7	18,78	20,03	16,9	20,7	18,08	17,52	11,44

b) Récepteur à suppression successive d'interférences

Taux de réception du détecteur décorrélateur (%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	100	100	100	100	100	100	100	100
Prédiction	86,53	88,76	91,34	93,33	94,87	94,56	96,48	96,07
Estimation	18,79	18,86	20,11	16,96	20,76	18,14	17,57	11,47

c) Récepteur décorrélateur

Tableaux 3.5.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets fixe-à-mobile de 25 MHz

Débit utile agrégé récepteur à filtre adapté (Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	163,94	168,99	168,47	168,08	168,64	169,85	170,01	170,42
Prédiction	141,78	150,16	153,21	156	157,72	158,33	161,73	160,28
Estimation	30,85	19,29	16,57	12,25	13,77	11,16	10,32	6,49

a) Récepteur à filtre adapté

Débit utile agrégé détecteur SIC (Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	194,98	200,73	199,19	198,11	199,15	200,81	200,95	201,71
Prédiction	166,59	175,94	179,16	182,48	184,64	185,46	189,95	188,07
Estimation	36,55	22,58	19,06	13,96	15,54	12,67	11,65	7,3

b) Récepteur à suppression successive d'interférences

Débit utile agrégé détecteur décorrélateur (Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	195,82	201,55	200,03	198,91	199,95	201,62	201,75	202,51
Prédiction	167,39	176,75	180,01	183,32	185,5	186,32	190,84	188,95
Estimation	36,72	22,67	19,13	14,01	15,59	12,71	11,69	7,32

c) Récepteur décorrélateur

3.5.3 Canal mobile-à-mobile de 25MHz

En troisième lieu, le canal utilisé est un canal multi-trajets, de largeur 25MHz et à quatre chemins. Nous avons utilisé le même scénario avec un degré de mobilité supérieur à la situation précédente soit : 30 utilisateurs mobiles, connectés à un nœud récepteur en mouvement aussi. Les seuils de transmissions sont les mêmes que ceux de la section 3.5.2, soit les valeurs, $seuil_2$=25dB et Pm_2=0.1mW. Les résultats des simulations donnent une forte décroissance des taux de réception et des débits utiles agrégés en fonction de la longueur des slots. Les meilleures performances sont atteintes avec des slots de données de 1ms et les performances moyennes pour des slots de 2 et 3ms. Lorsque l'on transmet avec des slots de grandes longueurs, la qualité de la réception et la quantité de données reçues baissent considérablement.

Taux de réception des paquets

Dans ce canal, le système est quasiment obligé de transmettre des paquets correspondant à une longueur de slot de 1ms. L'on observe pour le récepteur à filtre adapté, une chute du taux de réception de 78,53 à 40%, lorsque l'on passe de 1 à 2 ms de longueur de slot de données. La chute est de 91 à 46% pour les détecteurs SIC, et DEC.

Débit utile agrégé

Le débit utile agrégé chute de moitié lorsque l'on passe des slots de longueur 1ms, à des slots de longueur 2ms et plus. La chute est de 119 à 58 Mbits/s pour le récepteur à filtre adapté, de 140 à 68Mbits/s pour les détecteurs SIC et DEC. Du fait de ces importantes baisses de performances nous avons limité dans les expérimentations qui suivent, la durée des slots de transmission à 1ms pour le scénario mobile-à-mobile. La raison principale expliquant cette chute est la sévérité du canal de communication. On y observe des évanouissements de fréquences très élevées réduisant de façon importante la qualité de la prédiction.

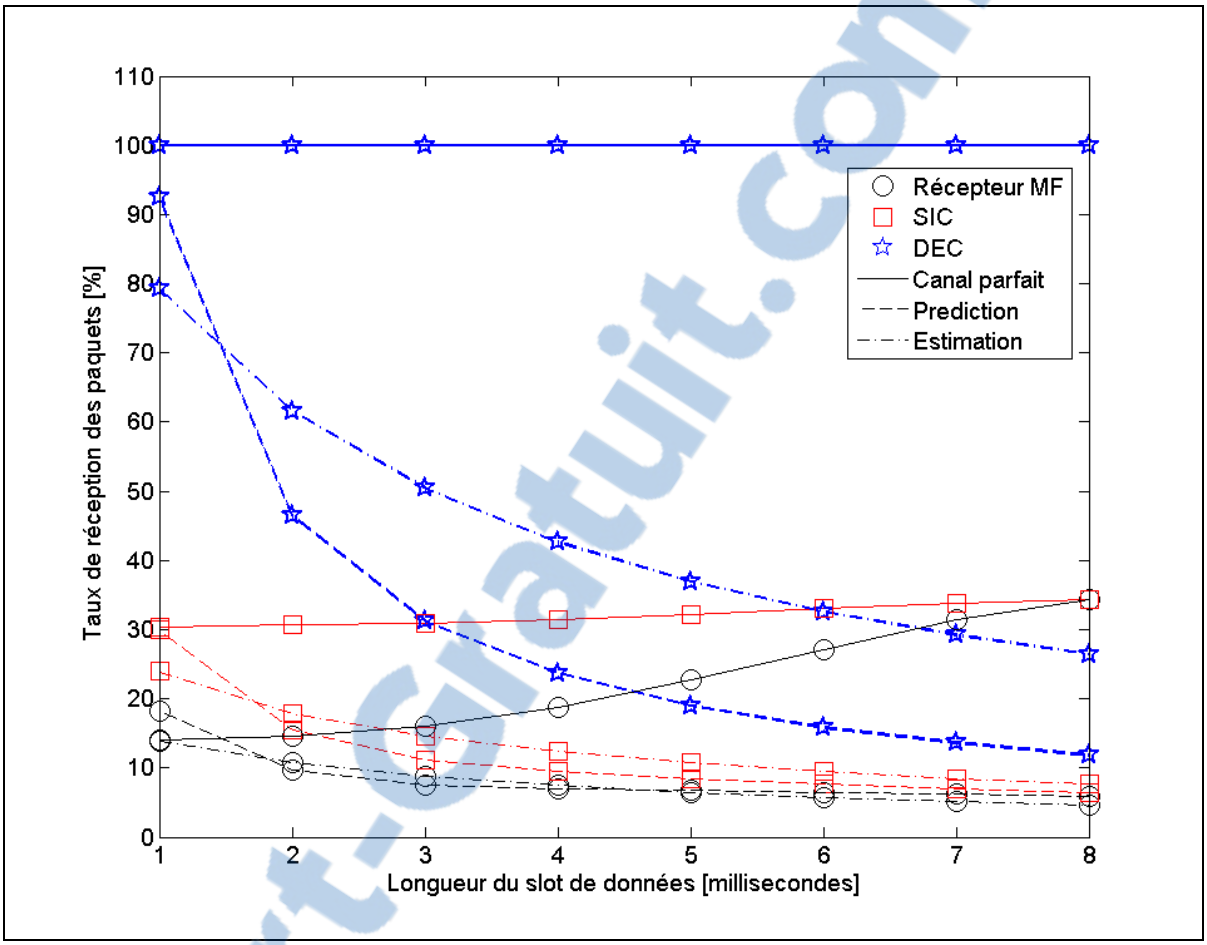

Figure 3.6.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets mobile-à-mobile de 25 MHz

Rapport-Gratuit.com

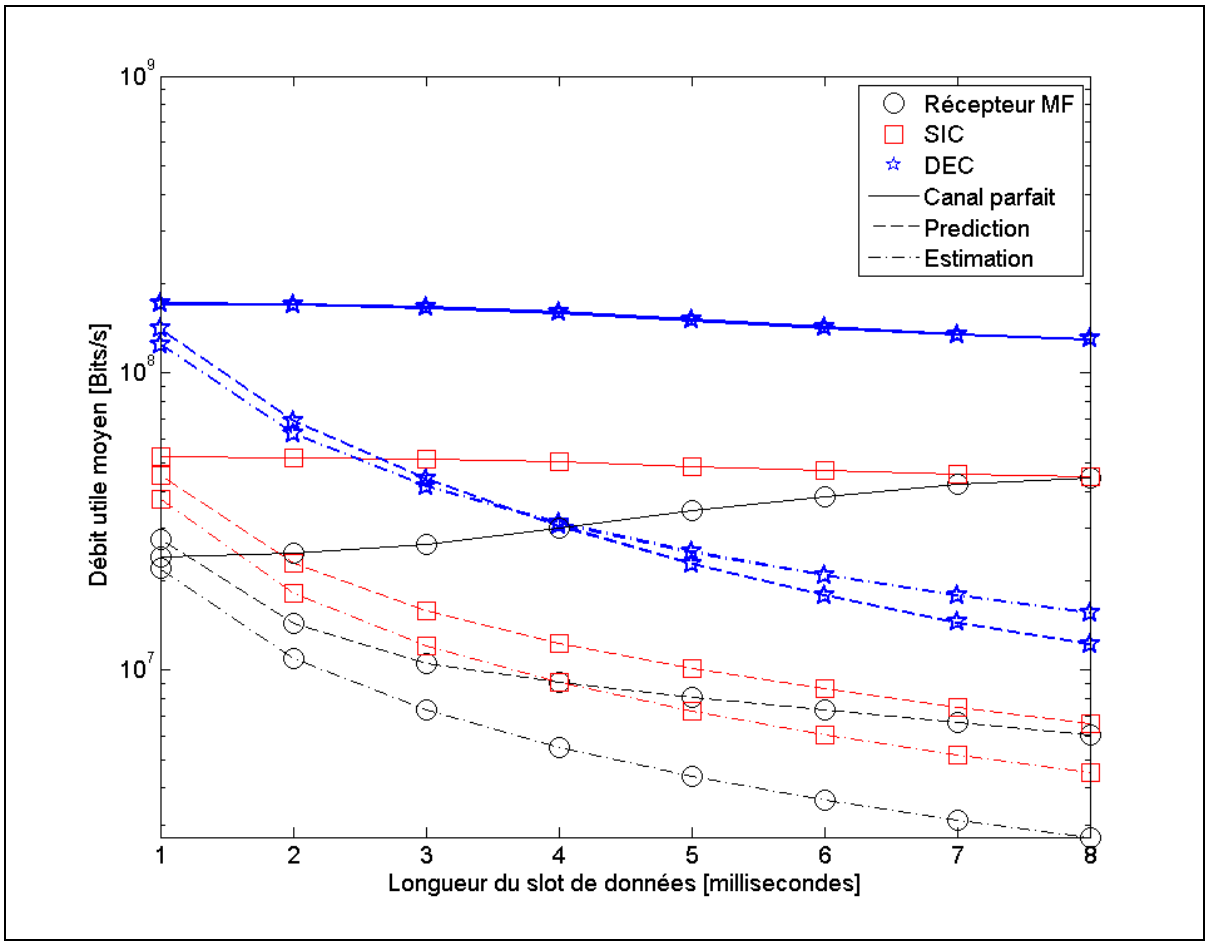

Figure 3.6.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets mobile-à-mobile de 25 MHz

Tableaux 3.6.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement,

Taux de réception des paquets récepteur à filtre adapté (%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	86,11	85,96	85,6	85,28	85,38	86,07	86,59	87,19
Prédiction	78,53	39,38	26,36	20,08	16,23	13,66	11,87	10,44
Estimation	67,08	52,15	42,66	36,09	31,27	27,59	24,68	22,32

a) Récepteur à filtre adapté

Taux de réception du détecteur SIC (%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	99,52	99,49	99,43	99,34	99,28	99,31	99,31	99,35
Prédiction	91,75	46,09	30,94	23,45	18,84	15,68	13,48	11,77
Estimation	78,63	61,32	50,17	42,44	36,79	32,46	29,03	26,27

b) Détecteur à suppression successive d'interférences

Taux de réception du détecteur décorrélateur(%)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	100	100	100	100	100	100	100	100
Prédiction	92,46	46,46	31,22	23,68	19,02	15,83	13,59	11,86
Estimation	79,22	61,61	50,41	42,65	36,96	32,61	29,18	26,4

c) Détecteur décorrélateur

canal multi-trajets mobile-à-mobile de 25 MHz

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableaux 3.6.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, prédiction, trois récepteurs, un transmetteur multi-facteurs d'étalement, canal multi-trajets mobile-à-mobile de 25 MHz

Débit utile agrégé récepteur à filtre adapté (Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	147,43	145,82	142,22	136,05	128,81	122,48	116,58	113,2
Prédiction	119,26	58,36	37,11	25,93	19,42	15,37	12,59	10,75
Estimation	105,61	52,78	35,19	26,39	21,11	17,58	15,07	13,18

a) Récepteur à filtre adapté

Débit utile agrégé détecteur SIC (Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	170,4	168,77	165,19	158,47	149,78	141,32	133,72	129
Prédiction	139,33	68,31	43,55	30,28	22,54	17,65	14,31	12,12
Estimation	123,78	62,06	41,38	31,02	24,83	20,69	17,73	15,52

b) Détecteur SIC

Débit utile agrégé détecteur décorrélateur (Mbits/s)								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	171,22	169,63	166,14	159,53	150,86	142,31	134,65	129,83
Prédiction	140,41	68,86	43,95	30,58	22,76	17,81	14,43	12,21
Estimation	124,72	62,36	41,57	31,18	24,94	20,79	17,82	15,59

c) Détecteur décorrélateur

3.5.4 Résumé de la comparaison et de l'analyse

Les performances de la couche d'accès s'améliorent sensiblement, lorsque nous avons une meilleure connaissance de l'information des canaux sur le prochain slot. Par ailleurs, les

performances de l'estimation pourraient être meilleures, si l'on utilisait les estimateurs classiques disponibles tels que l'estimateur à maximum de vraisemblance "Maximum Likelihood" (ML) ou Bayesien (Kay, 1993), comme spécifié dans le chapitre 2 Section 2.3.2. Par contre ceci alourdirait les calculs, et augmenterait les délais. Vues les contraintes de délai de calculs des nœuds, nous avons préféré le plus simple estimateur, donné dans la référence (Glisic, 2003).

3.6 Performance de la couche d'accès en présence d'adaptation de débit

Dans cette section nous comparons le taux de réception de paquets et le débit utile agrégé de l'adaptation de débit. Nous le faisons avec l'information de prédiction, pour une plateforme qui comprend les récepteurs à filtres adaptés, les détecteurs SIC, décorrélateur et MMSE. Les conditions de simulations et les canaux sont les mêmes que dans la section 3.5. Le transmetteur implémente les techniques multi-facteurs d'étalement, à codes multiples, et à modulations multiples. Cette section vise donc à analyser comment se comporte le système lorsque l'on utilise les trois différentes techniques de transmissions.

3.6.1 Canal à trajet unique et plat en fréquence de 2MHz

Adaptation de débit, seuil$_1$= 20dB et Pm$_1$=0.63mw

Les performances des simulations sont présentées sur les figures 3.7.a et 3.7.b pour un canal à trajet unique. Les résultats sont obtenus pour 30 utilisateurs transmettant chacun 300 trames. Pour l'influence des transmetteurs, en général, le taux de réception de paquets dans le cas de transmissions multi-facteurs d'étalement, et à codes multiples, sont à peu près similaires, avec un léger avantage en faveur de la transmission à codes multiples. Celui des transmissions à taille de constellation variable est autour de 5%. Le débit utile agrégé des transmissions multi-facteurs d'étalement et à codes multiples est le double de celui des transmissions à taille de constellation variable.

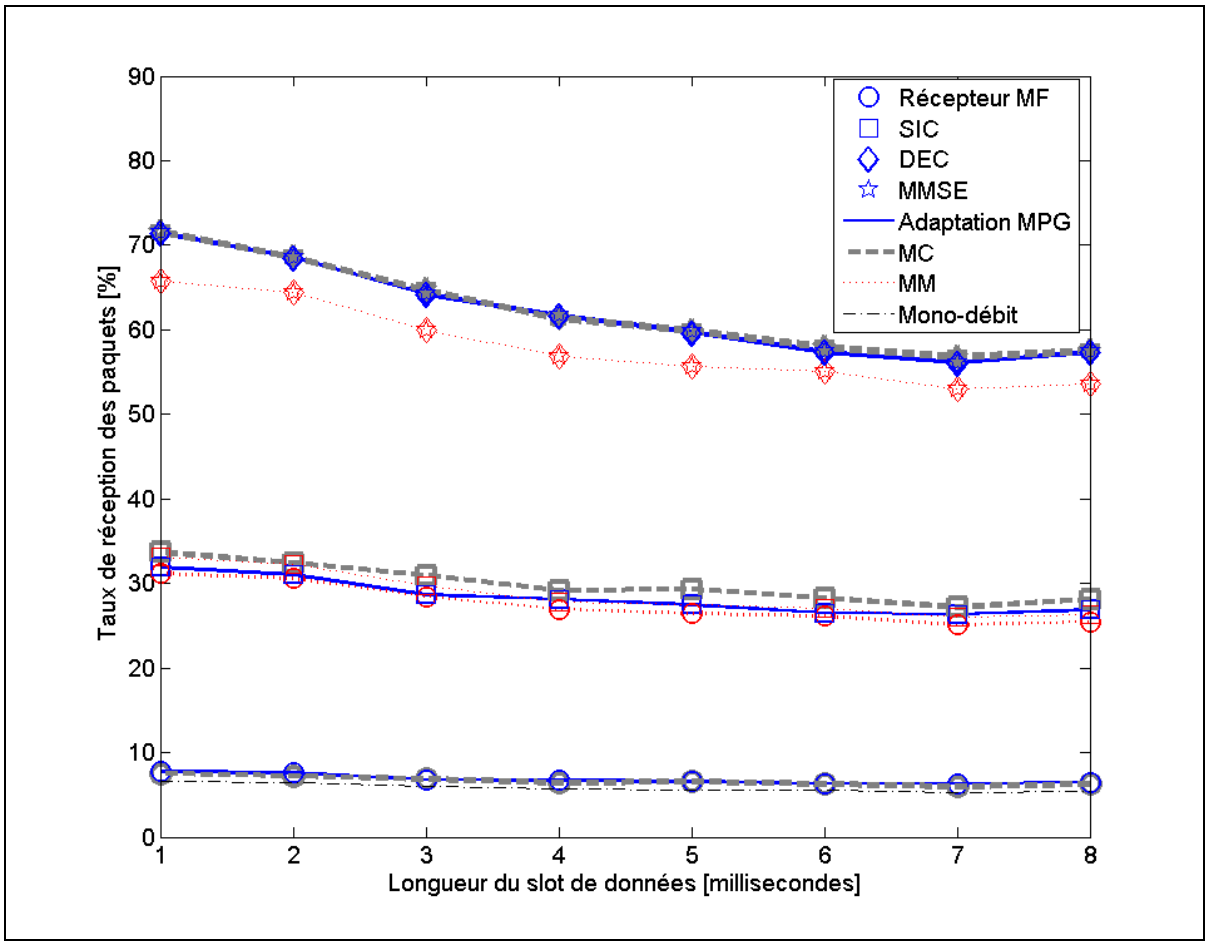

Figure 3.7.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, quatre récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW

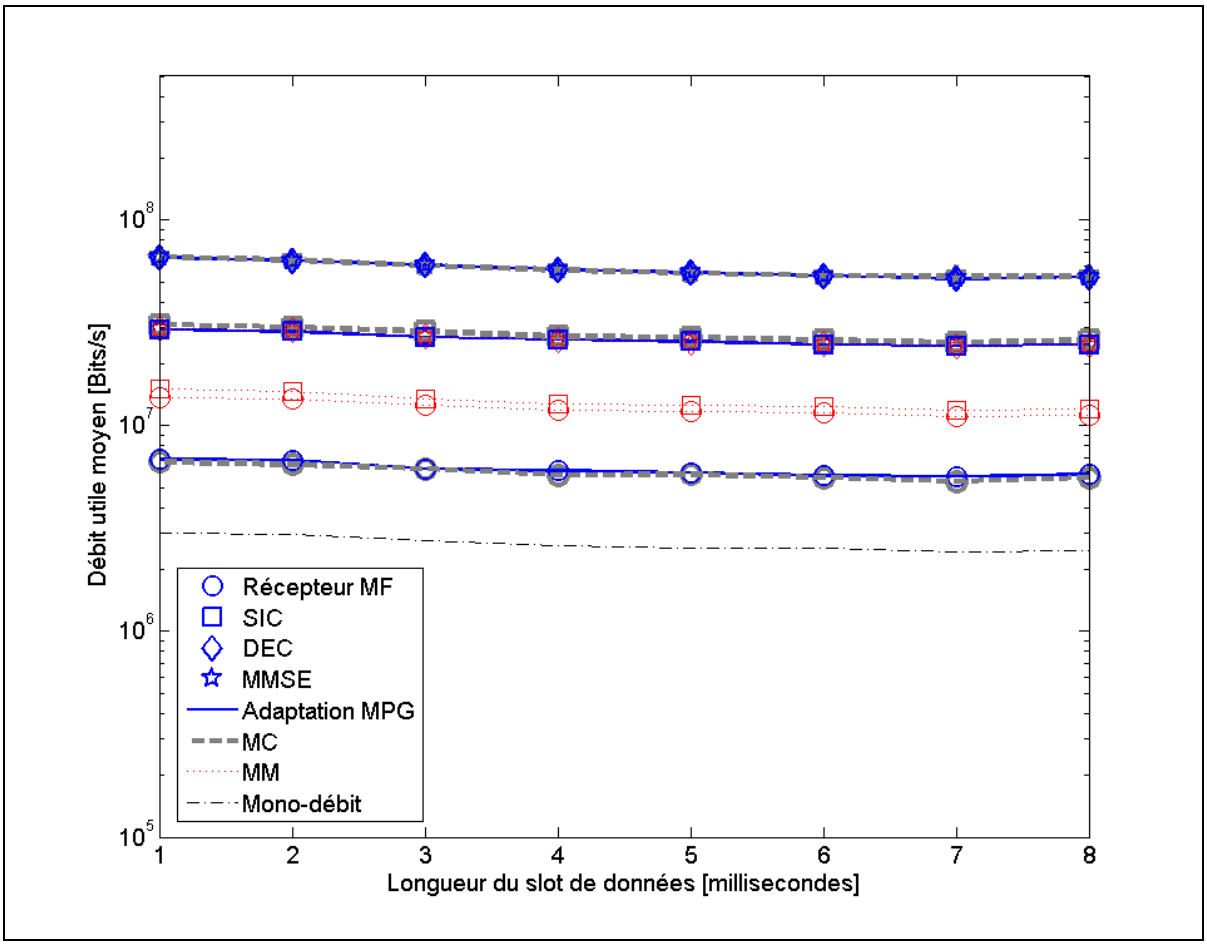

Figure 3.7.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, adaptation et débit unique, quatre récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW

Tableaux 3.7.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, quatre récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW

Taux de réception multi-facteurs d'étalement (%)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
MMSE SR	6,52	6,35	5,85	5,67	5,51	5,31	5,26	5,37
MF	7,73	7,59	6,76	6,70	6,56	6,33	6,35	6,48
SIC	31,89	31,04	28,65	28,10	27,50	26,50	26,32	26,89
DEC	71,36	68,45	64,13	61,55	59,59	57,30	56,02	57,24
MMSE	71,56	68,64	64,3	61,73	59,77	57,47	56,18	57,41

a) Multi-facteurs d'étalement et facteur d'étalement unique

Taux de réception multi-codes (%)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
MMSE SR	6,58	6,32	6,00	5,63	5,60	5,41	5,25	5,38
MF	7,51	7,22	6,88	6,38	6,53	6,26	5,95	6,25
SIC	33,73	32,42	30,92	29,17	29,30	28,31	27,18	28,13
DEC	71,49	68,45	64,60	61,23	59,81	57,90	56,62	57,39
MMSE	71,71	68,66	64,80	61,42	60,00	58,08	56,80	57,57

b) Codes multiples et code unique

Taux de réception multi-modulations (%)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
MMSE SR	6,60	6,47	6,02	5,71	5,60	5,53	5,32	5,39
MF	31,19	30,55	28,41	26,93	26,41	26,11	25,11	25,44
SIC	33,11	32,21	29,68	27,86	27,44	27,01	25,95	26,34
DEC	65,69	64,39	59,93	56,82	55,69	55,05	52,96	53,63
MMSE	65,70	64,39	59,93	56,83	55,69	55,05	52,96	53,63

c) Modulations multiples et modulation unique

Tableaux 3.7.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, adaptation et débit unique, quatre récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=20dB, Pm=0.63mW

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
MMSE SR	6.00	5.88	5.51	5.29	5.13	4.96	4.87	4.96
MF	6.88	6.80	6.17	6.05	5.91	5.71	5.69	5.80
SIC	29.37	28.76	27.01	26.21	25.63	24.75	24.40	24.87
DEC	65.82	63.53	60.49	57.45	55.59	53.55	51.97	52.98
MMSE	66.00	63.71	60.67	57.62	55.76	53.71	52.12	53.14

a) Multi-facteur d'étalement et facteur d'étalement unique

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
MMSE SR	6.06	5.88	5.57	5.24	5.15	4.99	4.91	4.97
MF	6.68	6.48	6.18	5.75	5.81	5.59	5.38	5.59
SIC	31.05	30.18	28.74	27.13	26.98	26.15	25.46	26.03
DEC	65.95	63.76	60.11	56.97	55.13	53.53	53.06	53.12
MMSE	66.15	63.96	60.30	57.15	55.30	53.69	53.23	53.29

b) Codes multiples et code unique

Débit utile agrégé multi-modulations (Mbits/s)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
MMSE SR	6.06	5.88	5.57	5.24	5.15	4.99	4.91	4.97
MF	13.72	13.51	12.57	11.94	11.69	11.59	11.12	11.28
SIC	15.06	14.71	13.57	12.76	12.55	12.38	11.87	12.07
DEC	29.88	29.41	27.41	26.03	25.47	25.23	24.23	24.57
MMSE	29.88	29.41	27.41	26.03	25.48	25.23	24.23	24.57

c) Modulations multiples et modulation unique

Adaptation de débit, seuil$_2$=25dB et Pm$_2$=0.1mw

Le taux de réception du détecteur décorrélateur est très élevé pour les trois types de transmetteurs : entre 98 et 88% (Figure 3.8.a). Le récepteur à filtre adapté et le détecteur SIC donnent une réception de qualité élevée pour les transmissions multi-facteurs d'étalement et multi-codes. Le SIC présente des résultats du même ordre que le décorrélateur. Le filtre adapté donne de 73 à 67% de taux de réception quand on transmet avec plusieurs facteurs d'étalement et de 84 à 75% avec des codes multiples. Les résultats du SIC sont moyens et ceux du filtre adapté sont faibles dans la transmission à modulations multiples.

A ce seuil de transmission, soit 25dB, le débit utile agrégé est plus bas qu'avec un seuil de 20dB pour les trois transmetteurs multi-débits. En transmissions à modulations multiples, il est autour de 20Mbits/s sauf pour le décorrélateur où il est plus élevé (autour de 40Mbits/s). Les détections SIC et décorrélateur ne rehausse pas le débit utile agrégé par rapport au seuil de 20dB.

Nous faisons aussi la comparaison du système en présence d'adaptation de débit au protocole MUD-MAC avec une plateforme, où seul le détecteur décorrélateur est implémenté. Ce système sans adaptation à débit unique a été appelé SR DEC (single rate decorrelation). Nous calculons son taux de réception et son débit utile relativement à la quantité totale de paquets transmis lors de l'adaptation de débit. L'adaptation est globalement avantageuse par rapport au cas sans adaptation.

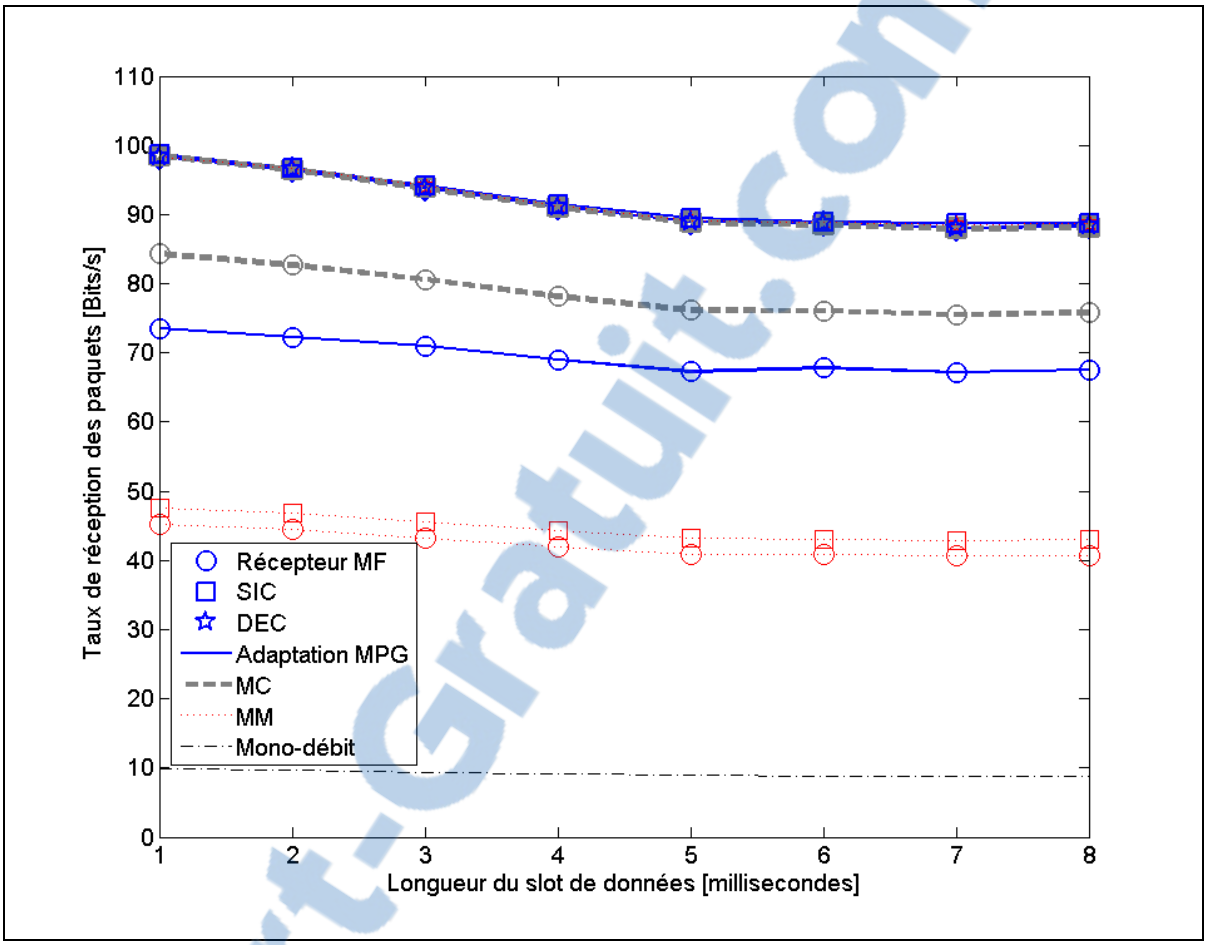

Figure 3.8.a Taux de réception des paquets de la couche, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW

Rapport-Gratuit.com

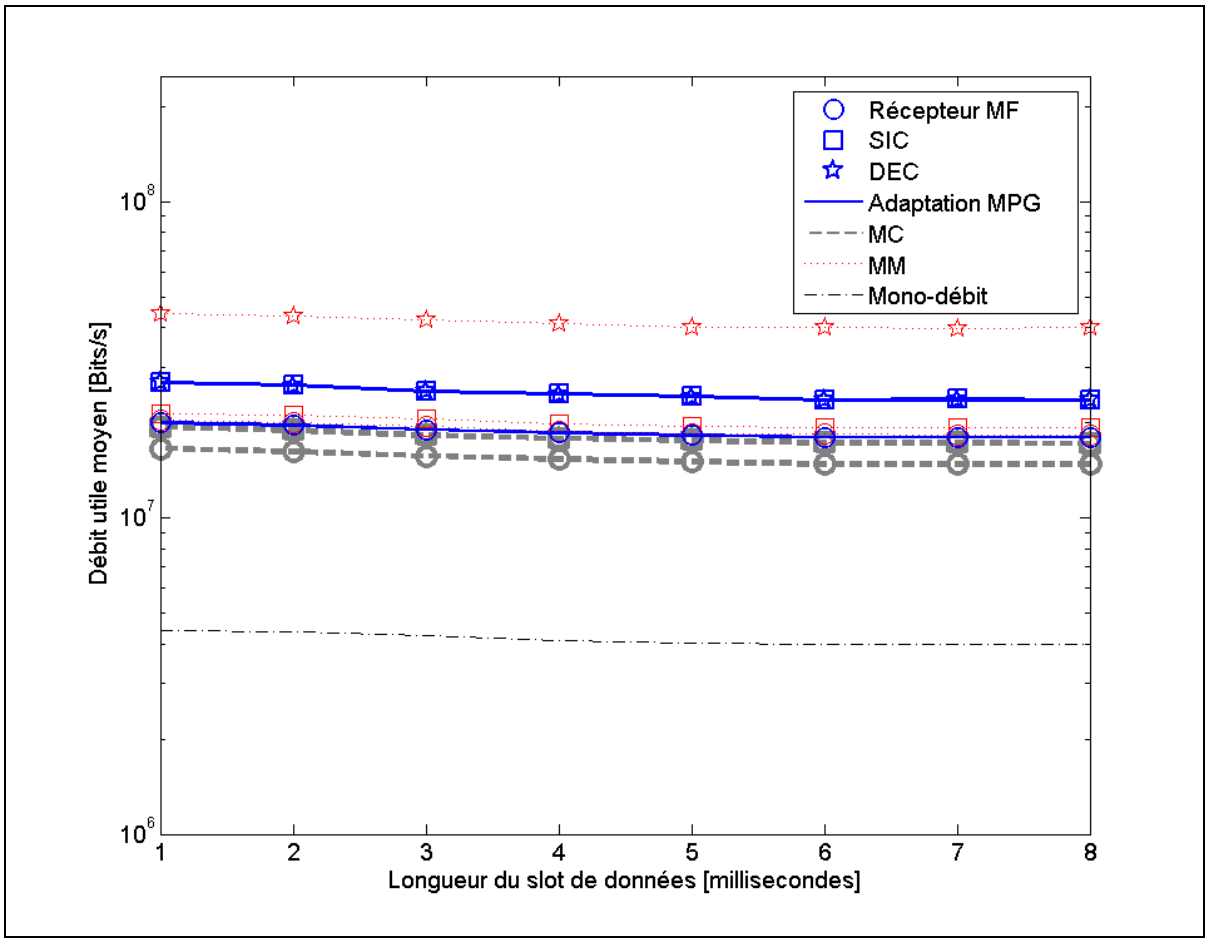

Figure 3.8.b Débit utile agrégé de la couche, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW

Tableaux 3.8.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW

Taux de réception multi-facteurs d'étalement (%)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	32,61	32,17	31,66	30,56	29,66	30,16	29,78	30,01
MF	73,55	72,3	70,99	68,97	67,28	67,84	67,23	67,54
SIC	98,6	96,69	94,11	91,48	89,49	88,96	88,71	88,65
DEC	98,38	96,45	93,78	91,08	88,93	88,72	88,06	88,25

a) Multi-facteur d'étalement et facteur d'étalement unique

Taux de réception multi-codes (%)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	45,09	44,44	43,61	41,94	40,57	41,11	40,62	40,94
MF	84,33	82,7	80,62	78,17	76,17	76,03	75,48	75,75
SIC	98,55	96,57	93,88	91,1	88,86	88,5	87,92	88,13
DEC	98,44	96,46	93,77	91	88,77	88,4	87,82	88,02

b) Codes multiples et code unique

Taux de réception multi-modulation (%)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	9,81	9,66	9,4	9,12	8,9	8,88	8,84	8,85
MF	45,15	44,44	43,26	41,94	40,93	40,85	40,66	40,74
SIC	47,64	46,9	45,66	44,25	43,17	43,09	42,92	42,99
DEC	98,3	96,74	94,18	91,31	89,12	88,93	88,52	88,69

c) Modulations multiples et modulation unique

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableaux 3.8.b Débit utile agrégé de la couche, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajet unique de 2 MHz, seuil=25dB, Pm=0.1mW

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	8,85	8,71	8,48	8,22	8,03	8,01	7,97	7,99
MF	19,97	19,6	19,02	18,57	18,21	18,02	18,01	17,98
SIC	26,78	26,21	25,22	24,63	24,23	23,64	23,77	23,61
DEC	26,72	26,15	25,14	24,52	24,08	23,57	23,59	23,5

a) Multi-facteur d'étalement et facteur d'étalement unique

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	8,84	8,7	8,47	8,22	8,02	8	7,96	7,98
MF	16,55	16,21	15,67	15,32	15,06	14,8	14,81	14,77
SIC	19,34	18,93	18,25	17,85	17,57	17,23	17,25	17,19
DEC	19,32	18,9	18,23	17,83	17,55	17,21	17,23	17,16

b) Codes multiple et code unique

Débit utile agrégé multi-modulation (Mbits/s)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	4,41	4,34	4,23	4,1	4	3,99	3,97	3,98
MF	20,31	19,99	19,46	18,87	18,41	18,37	18,29	18,33
SIC	21,43	21,09	20,54	19,9	19,42	19,38	19,31	19,34
DEC	44,21	43,52	42,36	41,07	40,09	40	39,82	39,89

c) Modulations multiples et modulation unique

3.6.2 Canal multi-trajets fixe-à-mobile à 25 MHz

Les performances dans ce canal sont bonnes pour le transmetteur multi-facteurs d'étalement, moyennes pour le multi-code et faibles pour la multi-modulation (Figure 3.9.a et 3.9.b). Le décorrélateur donne une bonne réception quelque soit le transmetteur. Au niveau du débit utile agrégé, sur les trois techniques de transmissions, le multi-facteurs d'étalement donne de meilleurs résultats. Le taux de réception est de 86 à 95% pour les récepteurs SIC et décorrélateur. Le décorrélateur peut être ainsi utilisé avec chacune des trois techniques afin d'offrir de très hautes performances quelque soit le cas. La technique de diversité a permis ici de relever de façon importante la qualité de réception et le débit utile agrégé au nœud récepteur.

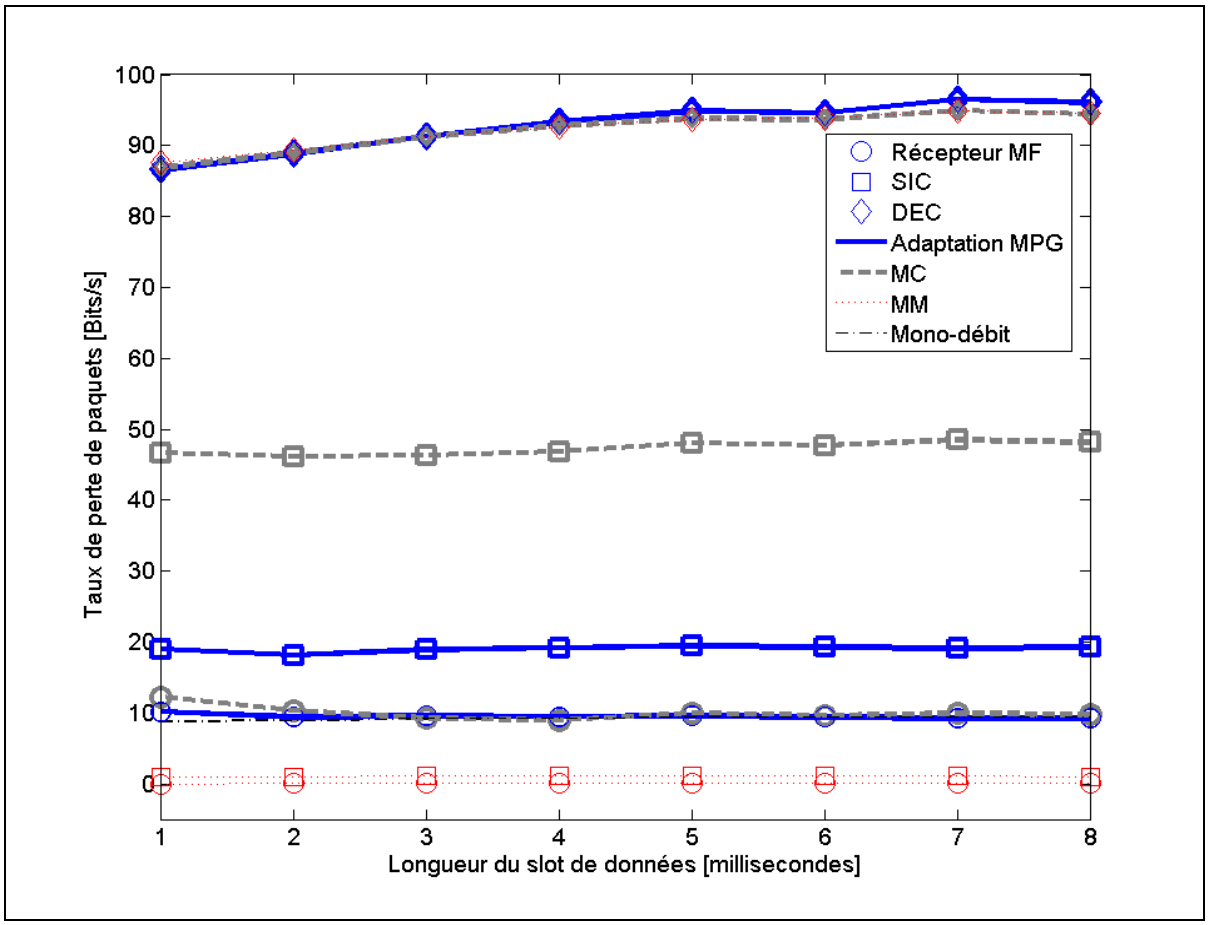

Figure 3.9.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples fixe-à-mobile de 25 MHz

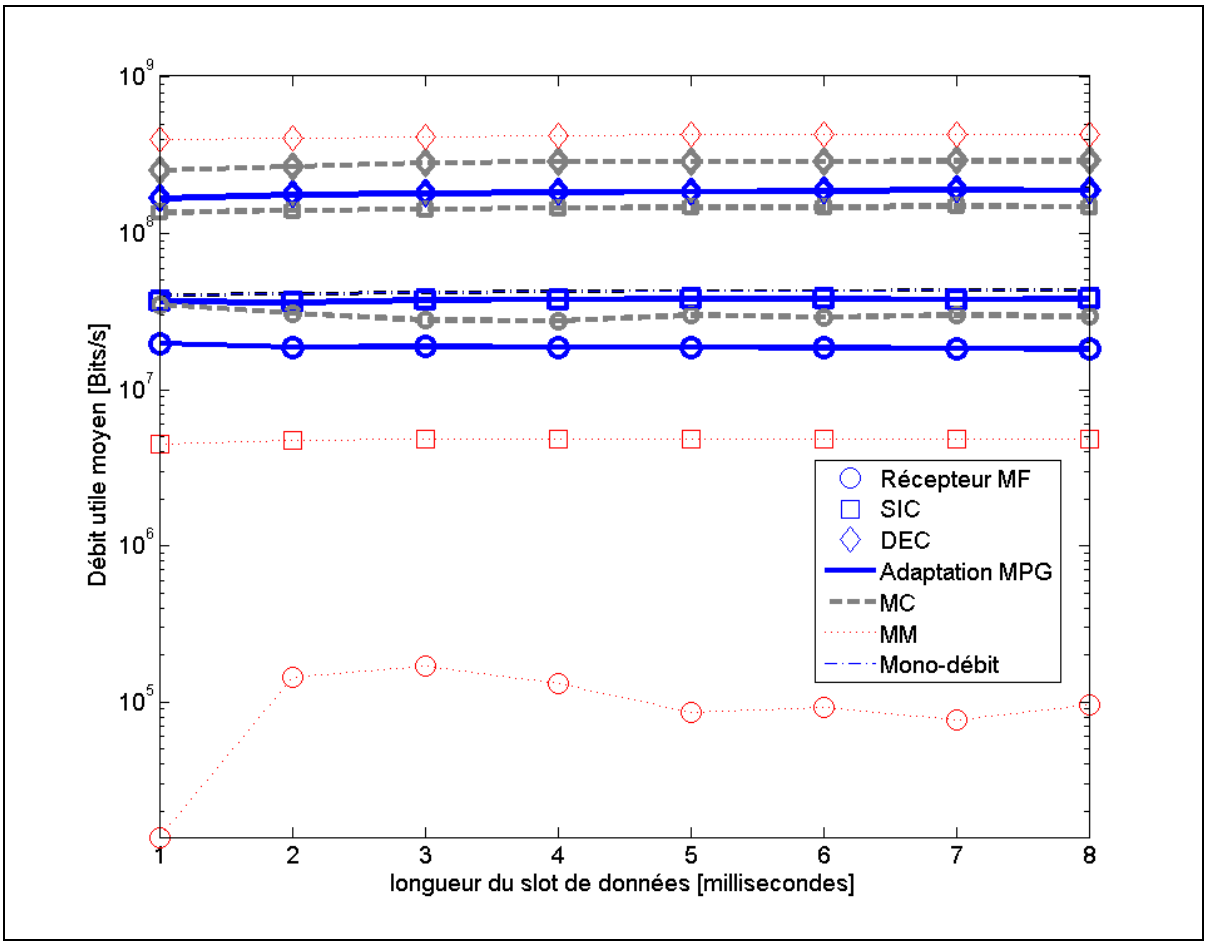

Figure 3.9.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples fixe-à-mobile de 25 MHz

Tableaux 3.9.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples fixe-à-mobile de 25 MHz

Taux de réception multi-facteurs d'étalement (%)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	20,78	20,57	21,27	21,64	21,98	21,83	21,99	22,03
MF	73,3	75,41	77,75	79,43	80,66	80,35	81,76	81,49
SIC	86,12	88,36	90,91	92,91	94,43	94,12	96,03	95,62
DEC	86,53	88,76	91,34	93,33	94,87	94,56	96,48	96,07

a) Multi-facteur d'étalement et facteur d'étalement unique

Taux de réception multi-codes (%)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	27,53	27,13	27,11	27,35	28,11	27,88	28,32	28,12
MF	12,28	10,36	9,21	9	9,99	9,63	9,9	9,72
SIC	46,69	46,19	46,37	46,87	48,09	47,73	48,5	48,13
DEC	86,91	89,01	91,26	92,75	93,81	93,64	94,94	94,46

b) Codes multiple et code unique

Taux de réception multi-modulations (%)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	8,78	8,99	9,19	9,31	9,4	9,4	9,5	9,47
MF	0	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
SIC	0,98	1,04	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,05
DEC	87,68	89,35	91,32	92,73	93,73	93,78	94,83	94,47

c) Modulations multiples et modulation unique

Tableaux 3.9.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples fixe-à-mobile de 25 MHz

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	40,2	40,96	41,92	42,51	42,98	43,01	43,49	43,33
MF	141,78	150,16	153,21	156	157,72	158,33	161,73	160,28
SIC	166,59	175,94	179,16	182,48	184,64	185,46	189,95	188,07
DEC	167,39	176,75	180,01	183,32	185,5	186,32	190,84	188,95

a) Multi-facteur d'étalement et facteur d'étalement unique

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	80,39	81,92	83,83	85,02	85,96	86,01	86,99	86,67
MF	35,15	30,66	27,92	27,43	29,97	29,14	29,82	29,38
SIC	136,34	139,48	143,39	145,72	147,07	147,28	148,97	148,36
DEC	253,8	268,78	282,17	288,33	286,89	288,94	291,6	291,19

b) Codes multiple et code unique

Débit utile agrégé multi-modulations (Mbits/s)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	40,2	40,96	41,92	42,51	42,98	43,01	43,49	43,33
MF	0,01	0,15	0,17	0,13	0,09	0,09	0,08	0,1
SIC	4,5	4,72	4,83	4,82	4,84	4,83	4,83	4,82
DEC	401,26	407,12	416,74	423,37	428,35	428,84	434,01	432,46

c) Modulations multiple et modulation unique

3.6.3 Canal mobile-à-mobile à 25 MHz

Les simulations de cette partie nous indiquent les mêmes zones de fonctionnement que dans le cas de la section 3.5, où la transmission multi-facteurs d'étalement seule a été utilisée. Dans le canal mobile-à-mobile, la zone de hautes performances correspond aux slots de 1ms. C'est la zone exploitable pour les trois cas de transmissions multi-débits. La zone de performances moyennes va de 2ms à 4ms. La zone de faibles performances est au delà de 4ms. Le taux de réception des paquets ici est bon uniquement pour la transmission multi-facteurs d'étalement, où le décorrélateur et le SIC donnent des taux de réception de 92% pour des slots de 1ms. L'influence des deux autres transmetteurs est telle que, la qualité de réception est moyenne pour des transmissions à codes multiples, elle est faible pour des modulations multiples. Globalement le débit utile est élevé du fait de la technique de diversité à réception multi-trajets.

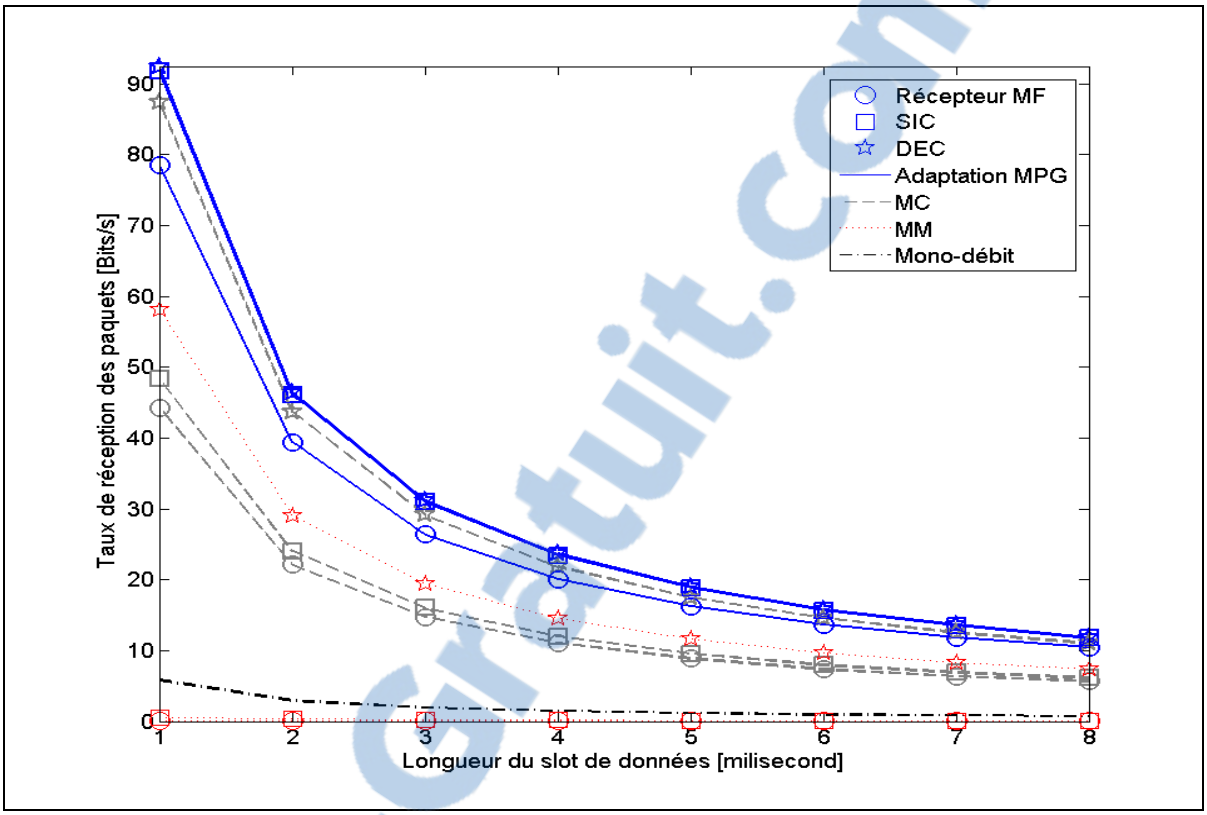

Figure 3.10.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples mobile-à-mobile de 25 MHz

Rapport-Gratuit.com

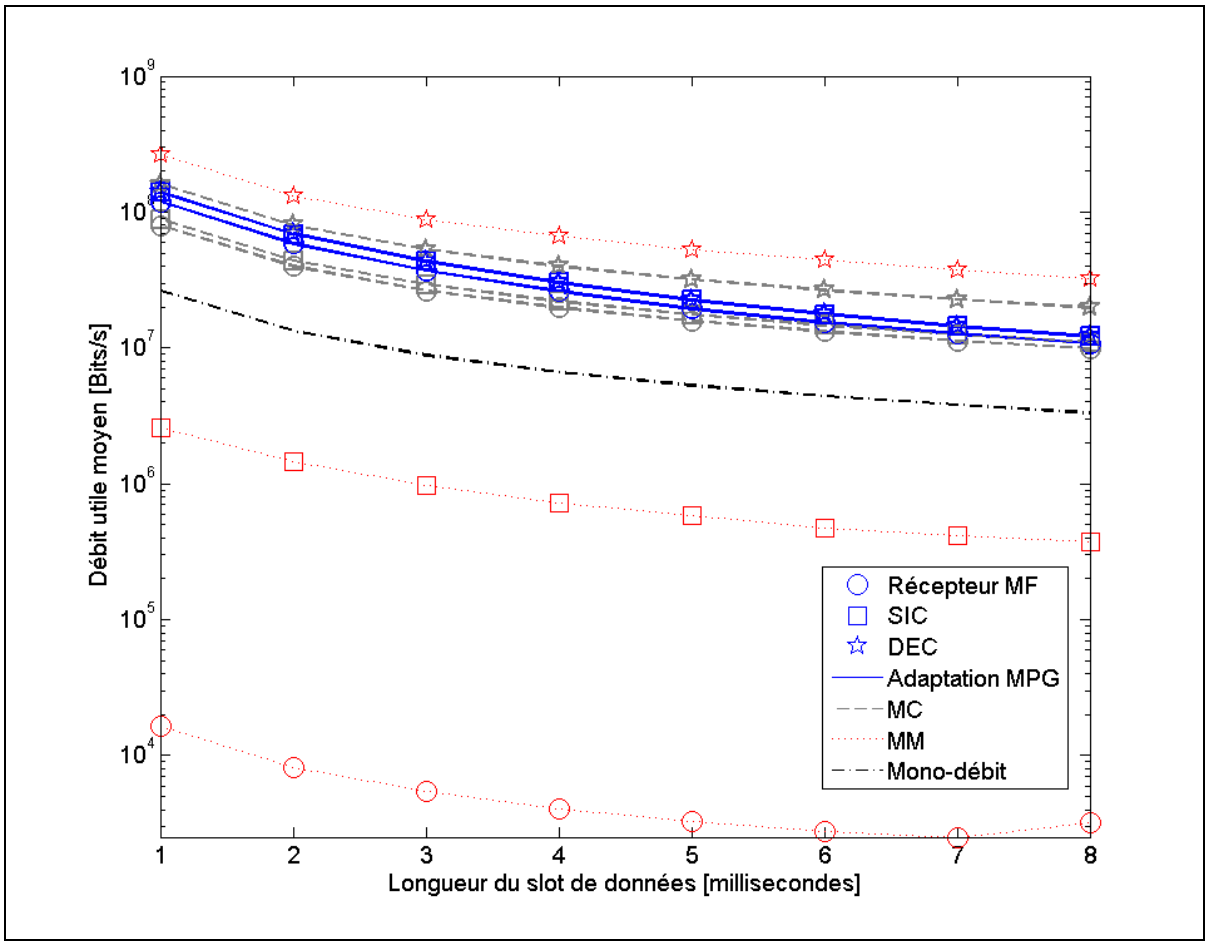

Figure 3.10.b Débit utile agrégé de la couche, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples mobile-à-mobile de 25 MHz

Tableaux 3.10.a Taux de réception des paquets de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples mobile-à-mobile de 25 MHz

Taux de réception multi-facteurs d'étalement (%)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	26,29	13,47	9,45	7,73	6,67	5,91	5,37	4,85
MF	78,53	39,38	26,36	20,08	16,23	13,66	11,87	10,44
SIC	91,75	46,09	30,94	23,45	18,84	15,68	13,48	11,77
DEC	92,46	46,46	31,22	23,68	19,02	15,83	13,59	11,86

a) Multi-facteur d'étalement et facteur d'étalement unique

Taux de réception multi-codes (%)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	43,7	21,85	14,57	10,93	8,74	7,28	6,26	5,58
MF	44,27	22,14	14,75	11,06	8,84	7,36	6,33	5,65
SIC	48,35	24	16	11,99	9,59	8	6,87	6,11
DEC	87,4	43,71	29,14	21,85	17,48	14,57	12,51	11,03

b) Codes multiple et code unique

Taux de réception multi-modulations (%)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	5,82	2,91	1,94	1,45	1,16	0,97	0,84	0,75
MF	0	0	0	0	0	0	0	0
SIC	0,56	0,32	0,21	0,16	0,13	0,1	0,09	0,09
DEC	58,18	29,08	19,39	14,54	11,64	9,71	8,35	7,35

c) Modulations multiples et modulation unique

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableaux 3.10.b Débit utile agrégé de la couche d'accès, adaptation et débit unique, trois récepteurs, trois transmetteurs multi-débits, canal à trajets multiples mobile-à-mobile de 25 MHz

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	39,92	19,96	13,31	9,98	7,98	6,65	5,7	4,99
MF	119,26	58,36	37,11	25,93	19,42	15,37	12,59	10,75
SIC	139,33	68,31	43,55	30,28	22,54	17,65	14,31	12,12
DEC	140,41	68,86	43,95	30,58	22,76	17,81	14,43	12,21

a) Multi-facteur d'étalement et facteur d'étalement unique

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	79,85	39,92	26,62	19,96	15,97	13,31	11,41	9,98
MF	79,3	39,65	26,42	19,81	15,84	13,19	11,3	9,91
SIC	88,34	43,84	29,22	21,91	17,52	14,61	12,52	10,93
DEC	159,7	79,85	53,23	39,92	31,94	26,62	22,79	19,75

b) Codes multiple et code unique

Débit utile agrégé multi-modulations (Mbits/s)								
	Durée du slot de données(m/s)							
Récepteurs	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DEC SR	26,55	13,28	8,85	6,64	5,31	4,43	3,79	3,32
MF	0,02	0,01	0,01	0	0	0	0	0
SIC	2,58	1,45	0,96	0,73	0,58	0,48	0,42	0,37
DEC	265,55	132,77	88,51	66,38	53,09	44,2	37,66	32,39

c) Modulations multiples et modulation unique

Dans ce qui suit nous analysons plus en détails, les performances des trois techniques de transmissions multi-débits.

Comparaison des récepteurs de la plateforme dans les transmissions multi-facteurs d'étalement

Dans la transmission multi-facteurs d'étalement, si le canal est à trajet unique, de 2 MHz, 20dB de seuil et Pm=0.63mW, la réception est telle que les détecteurs à erreur quadratique moyenne et décorrélateur donnent presque les mêmes taux de réception de paquets et débit utile moyen. Le détecteur à erreur quadratique moyenne obtient des performances légèrement meilleures. Ces deux détecteurs ont des performances qui doublent celle du détecteur à suppression successive d'interférences. Le récepteur le moins performant est celui à filtre adapté. Ses performances, de l'ordre de 10% de taux de réception des paquets et 10Mbits de débit utile agrégé, dépassent uniquement celle de la transmission mono-débit. Pour les trois autres canaux qui ont un seuil de 25 dB et une puissance de 0.1mW, où le MMSE n'est pas utilisé, le décorrélateur et le récepteur SIC ont relativement des performances élevées. Globalement, les transmissions multi-débits décodées par la détection multi-utilisateurs donnent de meilleures performances que celles reçues par le récepteur à filtre adapté.

Comparaison des récepteurs de la plateforme dans les transmissions à codes multiples

Dans le premier canal utilisé, pour des transmissions multi-codes, les résultats sont légèrement meilleurs que ceux des transmissions multi-facteurs d'étalement. Les deux meilleures réceptions sont celles à erreur quadratique moyenne minimale et à décorrélation qui ont presque les mêmes résultats, tandis que le récepteur à filtre adapté donne des performances plus faibles. Les performances du détecteur à suppression successives d'interférences sont entre ces deux niveaux de performances. Pour les autres canaux, sous la transmission multi-codes, le détecteur décorrélateur est largement le plus performant avec un taux de réception et un débit utile très élevé. Le détecteur SIC sous code multiples a des performances moyennes car les interférences d'accès multiples augmentent avec le nombre de codes. Le récepteur à filtre adapté a des performances basses pour cette même raison. Sa capacité de réjection des interférences ici est plus faible qu'avec des facteurs d'étalement multiples.

Comparaison des récepteurs de la plateforme dans les transmissions à taille de constellation variable

Les résultats de la transmission à taille de constellations variable sont globalement plus faibles que celle des deux autres transmetteurs. L'ordre de performances dans lequel apparaissent les récepteurs, reste le même quelques soient les canaux dans le cas de ce transmetteur. Seuls les détecteurs MMSE dans le premier cas de canal et le décorrélateur dans le tous les autres cas arrivent à relever le niveau de performances de la transmission multi-modulation.

3.6.4 Résumé

En somme, au niveau des transmetteurs, dans le premier canal, les résultats des transmissions multi-facteurs d'étalement et à codes multiples sont meilleurs. Les transmissions à taille de constellation variable donnent des résultats globalement plus faibles. Les deux premiers transmetteurs cités ont des performances quasi similaires et pour quelques rares fois, un léger avantage est en faveur des transmissions à codes multiples. Cela est dû au fait que les utilisateurs transmettent plusieurs trains de bits en parallèles avec un code de longueur importante : sachant qu'une longueur importante de code procure au système une bonne capacité de suppression d'interférences d'accès multiples. Pour les trois derniers canaux sous des puissances plus faibles de Pm=0.1mw, la transmission multi-facteurs d'étalement est la technique la plus performante. La transmission multi-codes est beaucoup moins performante et celle à modulations multiples donne de très faibles performances. En effet, transmettre avec des codes en parallèles peut être dans la majorité des cas, une grande source d'interférences. Par conséquent, le MMSE et le décorrélateur résistent quelque peu aux interférences, le SIC moins bien, le récepteur à filtre adapté donne de très basses performances. Ce dernier récepteur est très sensible aux interférences d'accès multiples en général, et dans ce cas particulier à celles causées par les multiples trains de bits transmis en parallèles.

Au niveau de la réception, la plateforme (MMSE, décorrélateur, SIC, filtre adapté) améliore la qualité de réception des paquets. Cependant une importante perte de performances est due aux utilisateurs interférents de puissances plus élevées. Ce problème dans les transmissions CDMA est connu sous le nom d'effet d'éblouissement. Les utilisateurs à fortes puissances correspondent aux utilisateurs à hauts débits, selon l'équation (1.13). La transmission à code multiples est affectée par son niveau élevé d'interférences même si l'on utilise un facteur d'étalement de grande longueur (Rekha et al., 2009). Cela dépend du nombre de codes en parallèles et de la longueur du code utilisée. En général, lorsque le nombre de codes en parallèle est très élevé, la transmission multi-codes donne de très mauvais résultats. La transmission multi-facteurs d'étalement est aussi sensible à l'effet d'éblouissement, parce que l'on transmet avec un facteur d'étalement variable. Les signaux des utilisateurs à débits élevés sont étalés et désétalés avec des facteurs d'étalement plus ou moins longs, ce qui diminue l'efficience de la rejection d'interférences. Malgré cet aspect, cette technique reste la meilleure car elle résiste mieux à l'augmentation du nombre d'utilisateurs et aux interférences d'accès multiples. La transmission à taille de constellation variable est encore plus sensible, car la puissance des utilisateurs varie énormément d'une constellation à une autre, bien que les utilisateurs transmettent chacun avec le même facteur d'étalement.

Le choix d'implémenter la transmission multi-facteurs d'étalement ou la transmission à codes multiples repose principalement sur des raisons pratiques qui viennent s'ajouter aux raisons expérimentales que nous venons de citer. La transmission multi-facteurs d'étalement est plus facile à implémenter que la transmission à codes multiples. La transmission à codes multiples permet d'utiliser des codes certes longs, mais son inconvénient majeur est lié au fait qu'il ne tolère pas un nombre très élevé de codes en parallèle. Pour gérer les multiples trains de bit en parallèle, le transmetteur a besoin d'un amplificateur linéaire pour transmettre l'agrégation des signaux. Les résultats de la simulation de la modulation à taille de constellation variable sont validés en (Rekha et al., 2009; Tony et Arne, 1995). Ils révèlent que ce type de transmission donne de faibles performances et confirment le fait que cette technique ne supporte pas de façon adéquate de la transmission multi-débits, sauf dans quelques rares cas. Les faibles performances sont essentiellement justifiées par le fait qu'une

erreur sur un symbole dans une constellation implique une perte simultanée de 2 jusqu'à 10bits. Cet aspect combiné avec la sensibilité à l'effet d'éblouissement augmente de façon significative le taux de pertes de paquets.

Le dernier aspect, important à considérer ici est l'impact global du canal de Rayleigh sur les performances du système. Lorsque l'on transmet dans le canal à trajet unique avec un seuil de transmission de 20dB et une puissance de 0.63mw, nous avons 30 à 40% de pertes de performances si la longueur des slots augmente de 1 à 8ms. Cette perte, qui est une limitation due à la propagation du signal dans le canal, peut être combattue soit en ajustant la puissance de transmission ou en augmentant la complexité du récepteur au niveau de la couche physique. Ce qui a été fait en implémentant un récepteur à diversité pour les deux canaux multi-trajets utilisés et a permis d'augmenter sensiblement le niveau de performances des détecteurs SIC et décorrélateur.

3.7 Conclusion du chapitre

Notre travail dans ce chapitre, à consister en première partie à décrire le scénario de base ainsi que l'environnement de la couche physique, et à calculer théoriquement les expressions des métriques utilisées dans la pratique pour mesurer les performances. La deuxième partie présente les simulations faites pour vérifier la robustesse du cadre conceptuel inter-couches à prédiction dans ses fonctions de base. La première série de simulations met l'accent sur la fonction de prédiction des canaux et la diminution de la complexité de calcul par le test d'algorithmes judicieux. Elles montrent que l'algorithme de prédiction LMS est un bon compromis entre les performances et la complexité. La deuxième série de simulations aborde la fonction d'adaptation de débit. L'accent est mis sur l'analyse de la qualité de réception globale de la plateforme avec l'implémentation des quatre récepteurs, et du niveau d'augmentation de débit adapté avec les trois transmetteurs. L'évaluation des performances a été faite en fonction de la longueur du slot de données. Les petites longueurs de slots donnent de meilleures performances car elles diminuent les erreurs de prédiction. Malgré les baisses de performances en fonction de la longueur, il est possible d'aller jusqu'à 8ms de durée de

slots de données tout en maintenant un bon niveau de performance, pour les canaux de Rayleigh à trajet unique et multi-trajets. Par contre, cela n'est pas possible pour le canal multi-trajets mobile-à-mobile. Les erreurs de prédiction limitent la longueur du slot de données à 1ms dans ce cas.

CHAPITRE 4

AUGMENTATION DU NOMBRE D'UTILISATEURS, DE LA VITESSE ET EFFET DES INTERFÉRENCES

4.1 Introduction

Ce chapitre présente l'évaluation des performances du cadre conceptuel inter-couches à prédiction dans divers contextes de mobilité propres aux réseaux ad hoc et d'interférences d'accès multiples plus ou moins importants. La mobilité des nœuds influencent la qualité de la prédiction du canal et de façon évidente la réception des paquets. Elle entraîne aussi divers niveaux d'interférences selon le scénario utilisé et le nombre d'utilisateurs reçus. Les interférences sont considérées sous deux aspects : elles diminuent la qualité de détection et tous les utilisateurs ne sont pas affectés de la même manière du fait des éblouissements. Nous commençons par définir la charge d'utilisateurs. Nous présentons ensuite les simulations effectuées avec notre cadre conceptuel inter-couches dans les divers contextes de réseaux ad hoc que représentent le scénario de base, si la vitesse des nœuds change ou si le nombre de connexions supportées augmente. Les résultats numériques sont donnés pour l'ensemble de la plateforme du point de vue de la qualité de réception et des quantités de données reçues grâce aux transmissions à débits variables. Trois niveaux de vitesses et tous les scénarios de mobilité ont été étudiés. Une analyse est ensuite faite pour interpréter les résultats numériques.

La section 4.2 présente les analyses et les simulations en quatre points correspondant chacun aux quatre canaux physiques utilisés dans le chapitre précédent. La section 4.3 conclut le chapitre.

Rapport-Gratuit.com

4.2 Mobilité et augmentation du nombre d'utilisateurs au noeud récepteur

4.2.1 Canal à trajet unique et plat en fréquence de 2MHz

Seuil de transmission des paquets à 20dB et Pm=0.63mW

Afin de se focaliser sur les questions de la capacité d'utilisateurs du récepteur et de l'impact de la mobilité sur le système, nous avons augmenté le nombre de nœuds transmetteurs. Pour le scénario fixe-à-mobile, les transmetteurs sont mobiles à 20, 30, 50m/s. Dans le cas du scénario mobile-à-mobile, nous avons considéré des indices de mobilités relatives de $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57143$, $\alpha = 0.4$. A la réception, les méthodes simulées sont celle à filtre adapté, à suppression successive d'interférences, à décorrélation et lorsqu'il était possible de l'implémenter, à erreur quadratique moyenne minimale MMSE. A la transmission, les trois méthodes de transmissions sont considérées. Les transmissions se font sans une garantie de qualité de service. La taille du slot de données est fixée à 8m/s. Les simulations sont réalisées sur 15 supertrames transmises soit 150 trames. Le nombre d'utilisateurs étant très élevés, cela nous permet de faire de bonnes moyennes mathématiques. De plus longues simulations, entraîneraient un grand nombre de calculs, vu le nombre élevé d'utilisateurs et mèneraient aux mêmes conclusions.

Les simulations sont conduites, pour une charge au nœud central correspondant à un nombre d'utilisateurs allant de 32 à 256. La charge au nœud récepteur se définit comme suit :

$$Charge^{MPG} = \sum_{i_c=1}^{K_{i_c}} 1/G_{i_c} \;,\; Charge^{MC} = \sum_{i_c=1}^{K_{i_c}} N_{i_c}^{code} / G_0 \;,\; Charge^{MM} = \sum_{i_c=1}^{K_{i_c}} \log_2(M_{i_c}) / G_0 \qquad (4.1)$$

Les trois formules nous permettent de constater que les systèmes multi-débits supportent moins d'utilisateurs par facteur d'étalement que les transmissions mono-débits, pour la même

qualité de réception. Les utilisateurs qui diminuent la charge supportable sont ceux qui transmettent :

- dans la transmission multi-facteurs d'étalement, avec des facteurs d'étalement élevés ;
- dans la transmission à codes multiples, avec de grands nombres de codes parallèles ;
- dans la transmission à une taille de constellation variable, avec des constellations de grande taille.

Ils prennent un grand pourcentage dans la charge au récepteur par rapport aux utilisateurs à faibles valeurs de facteurs d'étalement, de nombre de codes ou de taille de constellation. Nous pouvons aussi remarquer que la charge n'est pas constante car elle varie au rythme de l'adaptation de débit, qui occasionne différents groupes de débits à chaque slot de données en fonction des canaux physiques des utilisateurs.

Seuil de transmission 20dB et Pm=0.63mW

Les Figures 4.1.a et 4.1.b montrent les taux de pertes de paquets et le débit utile agrégé pour des transmetteurs mobiles à une vitesse de 20m/s. Les quatre récepteurs sont considérés, ainsi que les trois transmetteurs. Les transmissions se font sans qualité de service fixe. Les figures 4.2-4.3 représentent les taux de réception de paquets et les débits utiles moyens au niveau d'un nœud central connecté à des nœuds transmetteur mobiles à 35 puis 50 m/s respectivement. Les débits utiles moyens à 20m/s (Figure 4.2.a) sont meilleurs que ceux présentés sur ces deux autres figures c'est-à-dire 35 et 50m/s.

Par rapport au débit unique, les transmissions multi-débits reçues par le récepteur à filtre adapté donnent de meilleurs résultats dans les trois techniques, pour des nombres d'utilisateurs allant jusqu'à 217. Pour le nombre d'utilisateurs de 217, le filtre adapté donne un taux de réception de paquets plus bas que le mono-débit. Les méthodes de transmissions à facteur d'étalement et codes multiples assurent à peu près les mêmes performances et la dernière, celle à modulations multiples des performances plus basses.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Lorsque la mobilité augmente, l'effet Doppler augmente : les évanouissements du canal de propagation varient plus rapidement avec la vitesse. Cela affecte principalement la qualité de la prédiction du canal et engendre des erreurs de prédiction.

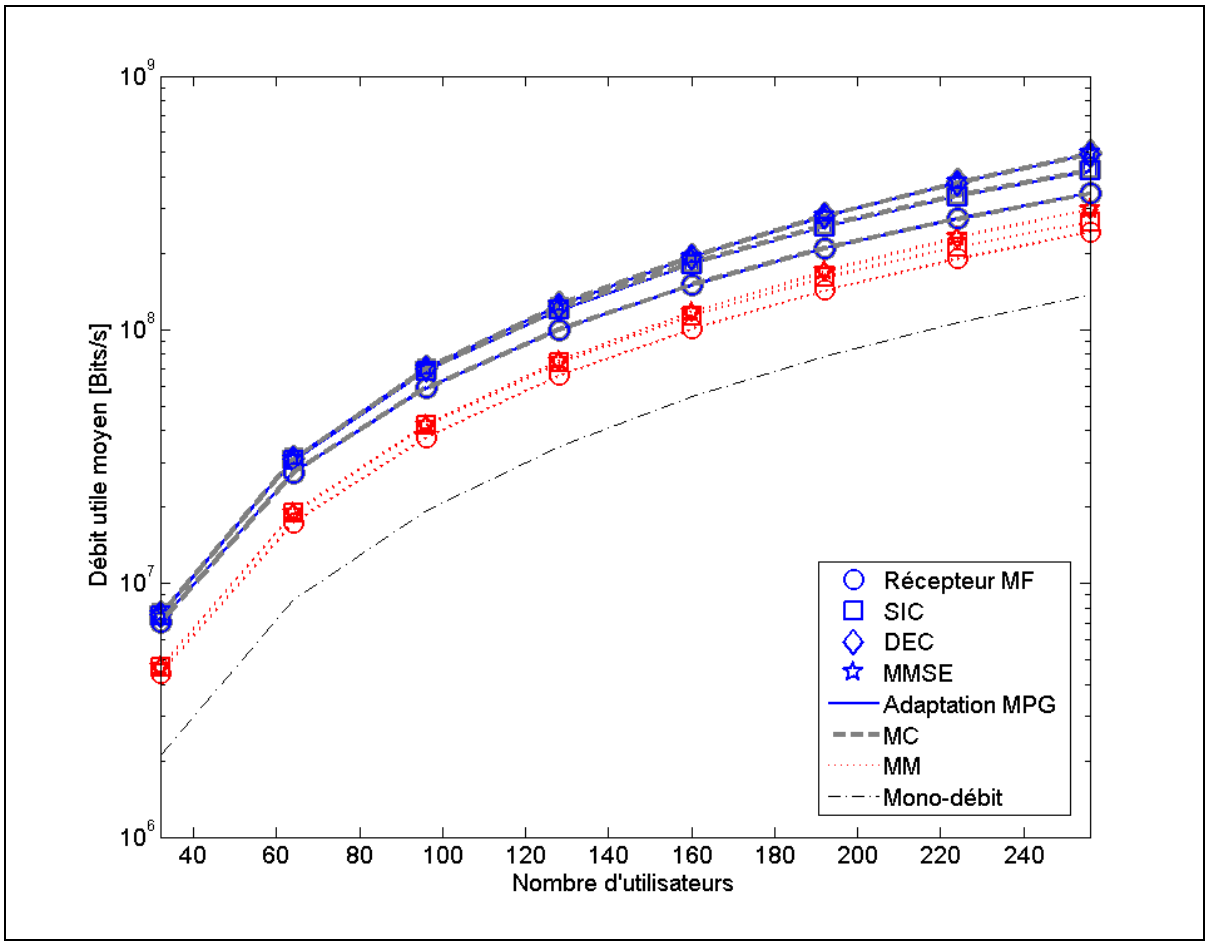

Figure 4.1.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

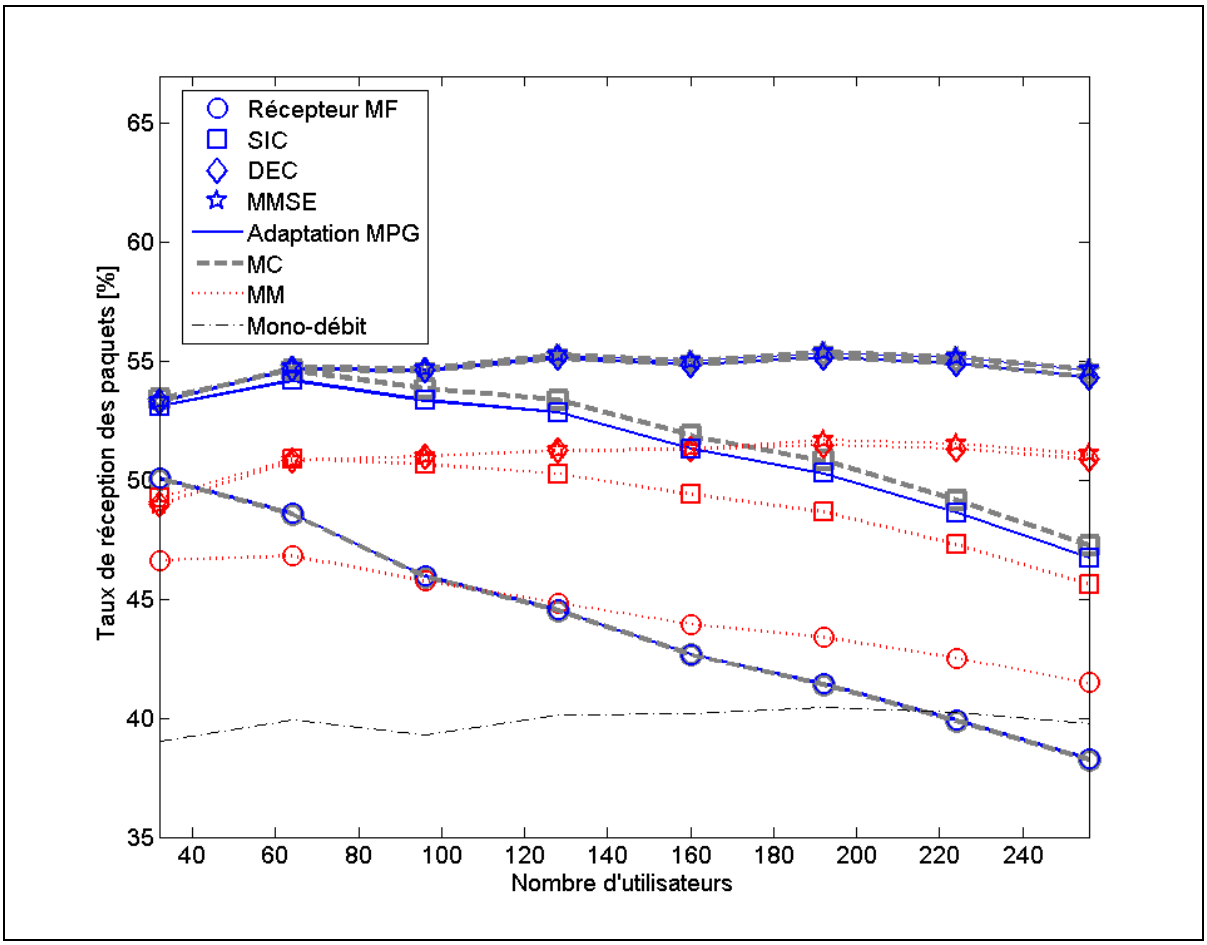

Figure 4.1.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Tableaux 4.1.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	5,41	22,2	49,9	89,42	139,59	202,21	274,34	355,24
MF	7,05	27,34	59,06	100,33	149,75	209,26	274,46	345,12
SIC	7,48	30,52	68,64	119,2	180,46	254,35	335,14	422,25
DEC	7,51	30,81	70,34	124,54	193,2	279,77	379,35	492,3
MMSE	7,51	30,84	70,44	124,79	193,71	280,74	381,02	495,06

a) Multi-facteurs d'étalement

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	5,41	22,2	49,9	89,42	139,59	202,21	274,34	355,24
MF	7,04	27,32	59,01	100,26	149,66	209,15	274,32	344,97
SIC	7,52	30,75	69,3	120,44	182,42	257,11	338,76	426,71
DEC	7,51	30,81	70,34	124,54	193,2	279,77	379,35	492,3
MMSE	7,51	30,84	70,44	124,79	193,71	280,74	381,02	495,06

b) Codes multiples

Débit utile agrégé multi-modulations (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	2,1	8,64	19,42	34,69	54,42	78,28	106,81	137,86
MF	4,42	17,38	37,71	65,93	100,59	142,88	190,31	242,51
SIC	4,68	18,93	41,83	74,03	113,26	160,44	211,89	266,9
DEC	4,65	18,89	42,08	75,43	117,56	169,76	230,01	297,86
MMSE	4,65	18,89	42,09	75,47	117,59	170,44	230,89	299,09

c) Modulations multiples

Tableaux 4.1.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Taux de réception de paquets multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	39,01	39,95	39,32	40,16	40,2	40,45	40,27	39,75
MF	50,09	48,61	45,99	44,56	42,68	41,45	39,91	38,28
SIC	53,13	54,21	53,36	52,85	51,34	50,29	48,65	46,76
DEC	53,3	54,69	54,64	55,14	54,86	55,19	54,92	54,34
MMSE	53,32	54,74	54,71	55,25	55,01	55,38	55,16	54,65

a) Multi-facteurs d'étalement

Taux de réception de paquets multi-codes (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	39,01	39,95	39,32	40,16	40,2	40,45	40,27	39,75
MF	50,05	48,57	45,95	44,53	42,65	41,43	39,89	38,26
SIC	53,44	54,61	53,87	53,39	51,88	50,82	49,17	47,24
DEC	53,3	54,69	54,63	55,14	54,86	55,19	54,92	54,34
MMSE	53,32	54,74	54,71	55,25	55,01	55,38	55,16	54,65

b) Codes multiples

Taux de réception de paquets multi-modulation (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	22,29	23,36	23,66	23,66	23,84	23,84	23,92	23,64
MF	46,63	46,83	45,78	44,85	43,95	43,41	42,53	41,49
SIC	49,27	50,91	50,67	50,27	49,42	48,67	47,3	45,61
DEC	48,99	50,83	51	51,24	51,3	51,49	51,33	50,88
MMSE	48,97	50,84	51,01	51,27	51,32	51,7	51,53	51,09

c) Modulations multiples

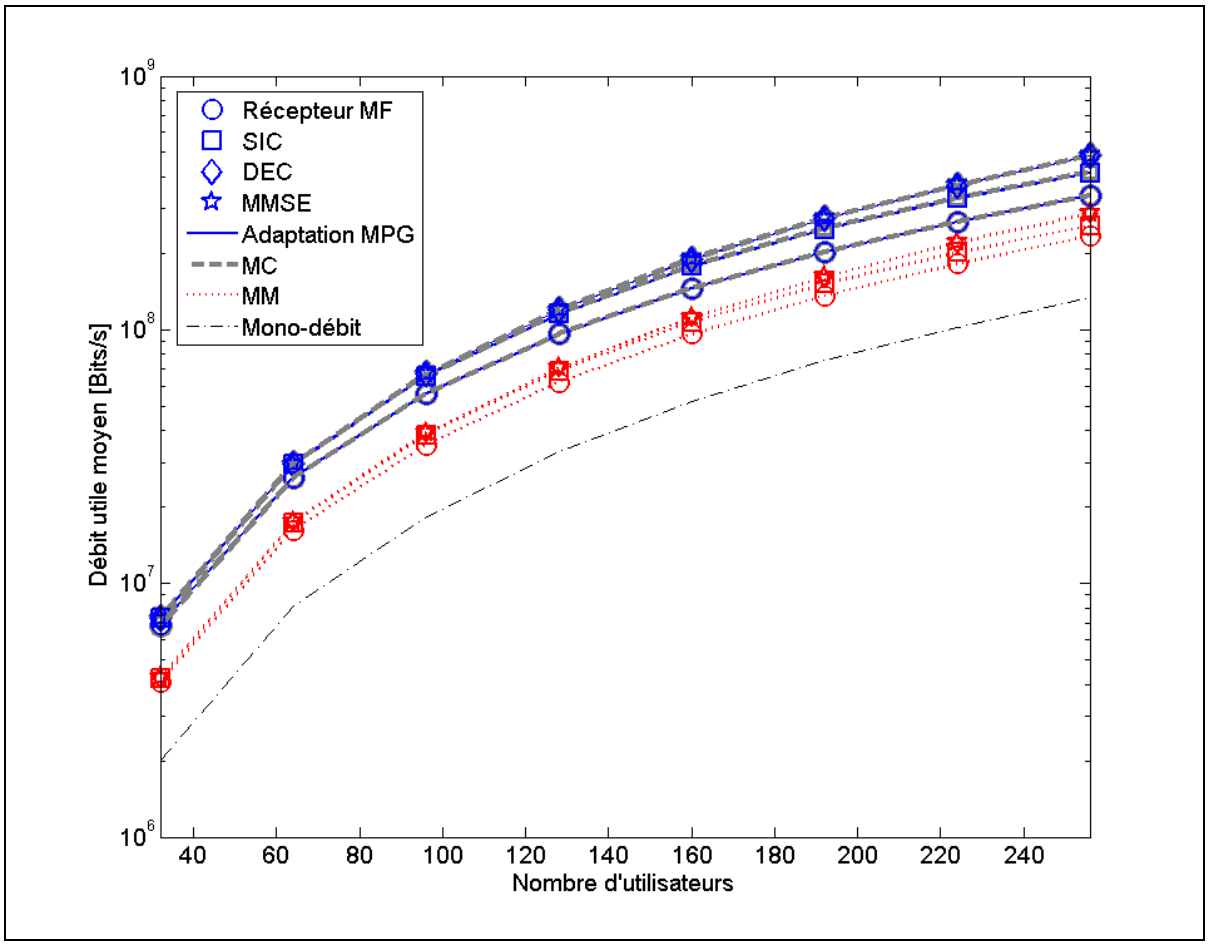

Figure 4.2.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

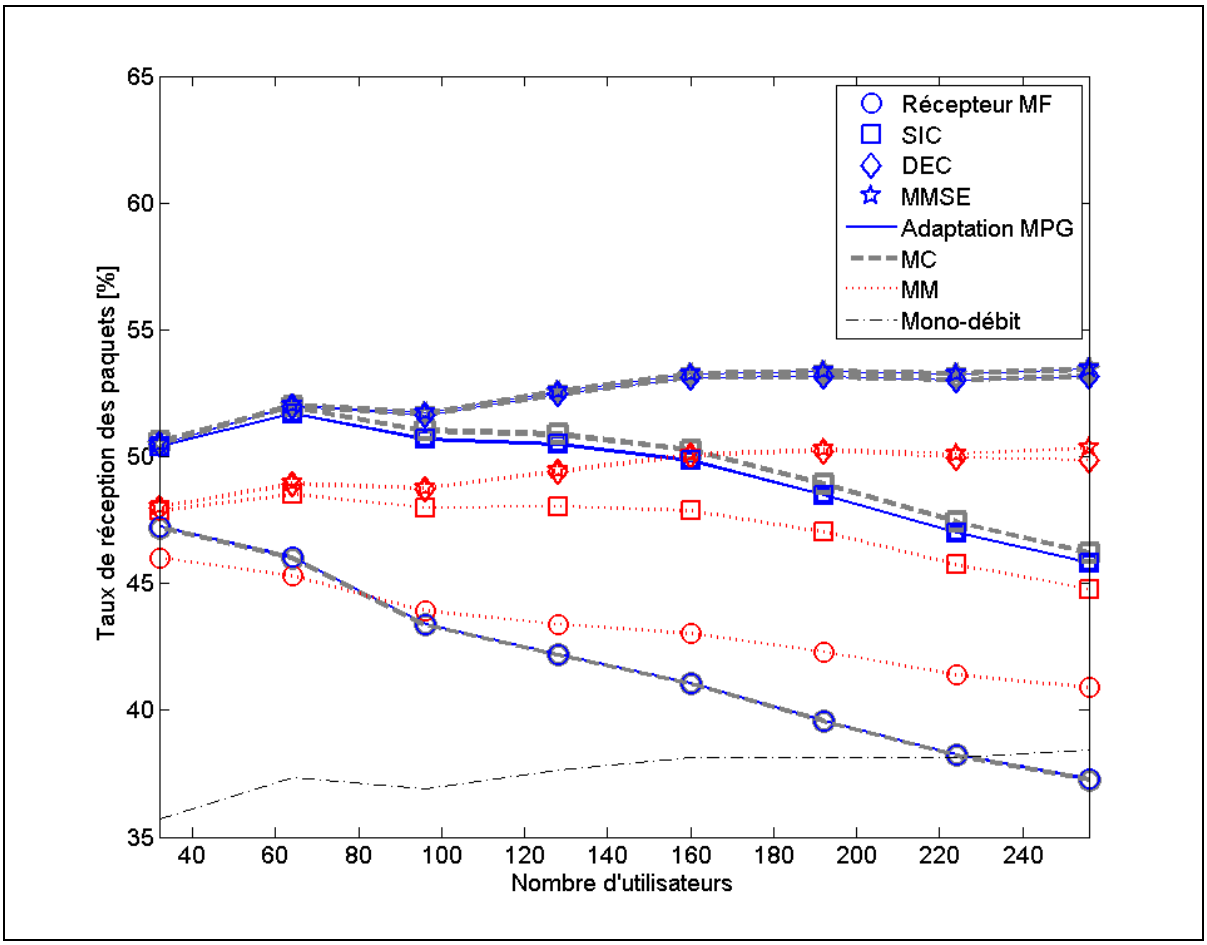

Figure 4.2.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Tableaux 4.2.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s,seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	5,14	21,01	47,04	84,92	134,31	193,94	263,43	345,58
MF	6,85	26,18	56,01	96,26	146,11	203,23	266,58	338,1
SIC	7,3	29,42	65,51	115,32	177,68	249,29	328,16	416,24
DEC	7,32	29,6	66,84	120,05	189,78	273,99	371,3	484,3
MMSE	7,32	29,63	66,92	120,28	190,27	274,92	372,92	486,97

a) Multi-facteurs d'étalement

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	5,14	21,01	47,04	84,92	134,31	193,94	263,43	345,58
MF	6,84	26,16	55,97	96,19	146,02	203,12	266,44	337,94
SIC	7,33	29,59	65,99	116,27	179,22	251,52	331,1	419,87
DEC	7,32	29,6	66,84	120,05	189,78	273,99	371,3	484,29
MMSE	7,32	29,63	66,92	120,28	190,27	274,92	372,92	486,97

b) Codes multiples

Débit utile agrégé multi-modulations (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	2	8,16	18,32	32,98	52,14	75,55	102,56	134,32
MF	4,07	16,18	35,18	62,03	95,98	136,09	181,81	234,68
SIC	4,23	17,34	38,47	68,75	106,91	151,47	201,14	257,22
DEC	4,24	17,47	39,08	70,67	111,76	161,74	219,81	286,61
MMSE	4,25	17,49	39,11	70,76	111,91	161,93	220,4	289,23

c) Modulations multiples

Tableaux 4.2.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Taux de réception des paquets multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	35,73	37,36	36,88	37,66	38,14	38,14	38,16	38,44
MF	47,26	46,04	43,39	42,2	41,06	39,59	38,25	37,28
SIC	50,39	51,7	50,67	50,47	49,84	48,47	47	45,82
DEC	50,48	51,98	51,65	52,47	53,13	53,16	53,04	53,14
MMSE	50,5	52,03	51,72	52,57	53,27	53,34	53,27	53,44

a) Multi-facteurs d'étalement

Taux de réception de paquets multi-codes (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	35,73	37,36	36,88	37,66	38,14	38,14	38,16	38,44
MF	47,21	46	43,36	42,17	41,03	39,57	38,23	37,26
SIC	50,6	51,98	51,03	50,88	50,26	48,9	47,42	46,21
DEC	50,48	51,98	51,65	52,47	53,13	53,16	53,04	53,14
MMSE	50,5	52,03	51,72	52,57	53,27	53,34	53,27	53,44

b) Codes multiples

Taux de réception de paquets multi-modulations (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	22,66	22,9	22,9	23,11	23,42	23,54	23,4	23,45
MF	46,02	45,29	43,91	43,4	43,02	42,31	41,39	40,88
SIC	47,87	48,51	47,98	48,04	47,86	47,03	45,73	44,77
DEC	47,97	48,89	48,74	49,39	50,03	50,21	49,97	49,86
MMSE	48,02	48,94	48,78	49,45	50,09	50,27	50,1	50,32

c) Modulations multiples

Rapport-Gratuit.com

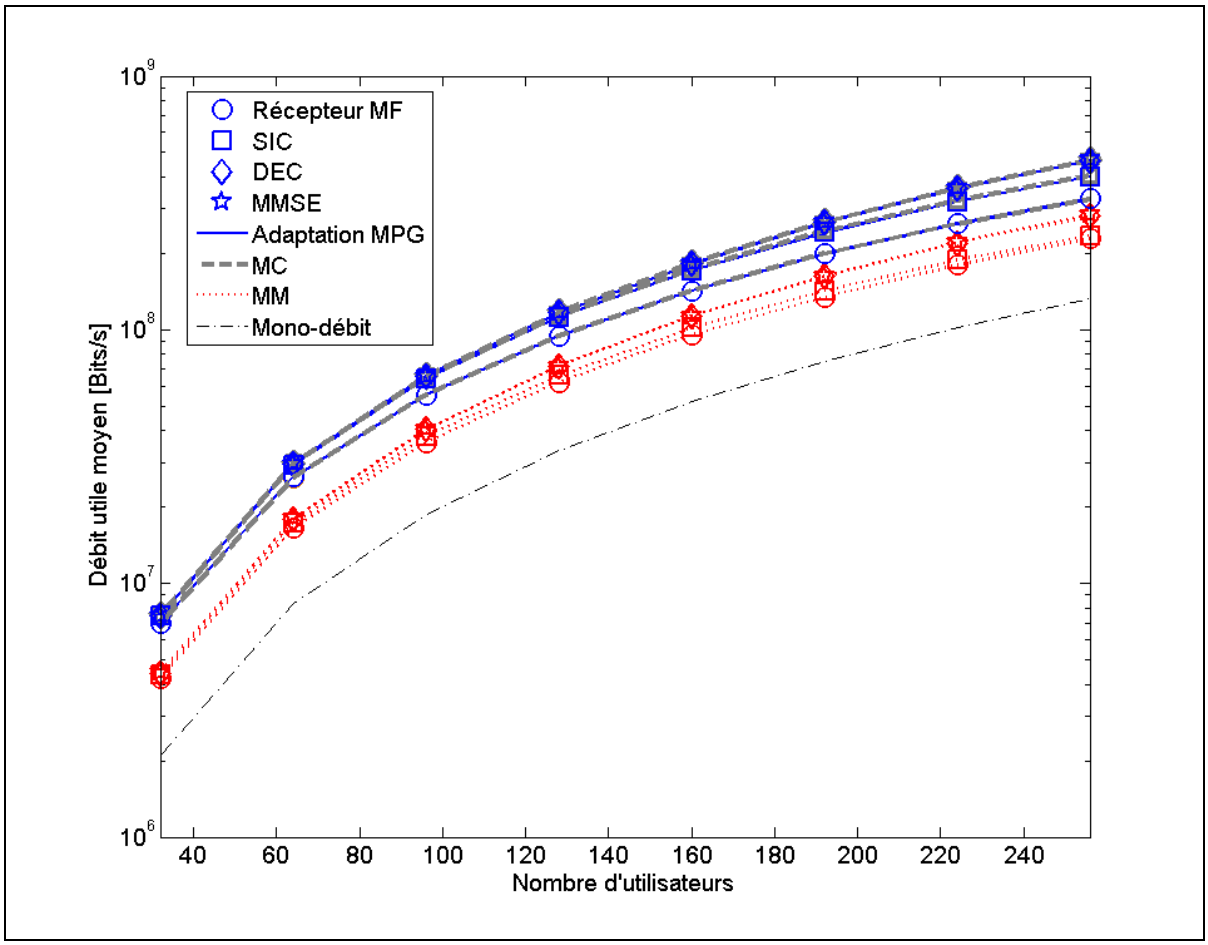

Figure 4.3.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

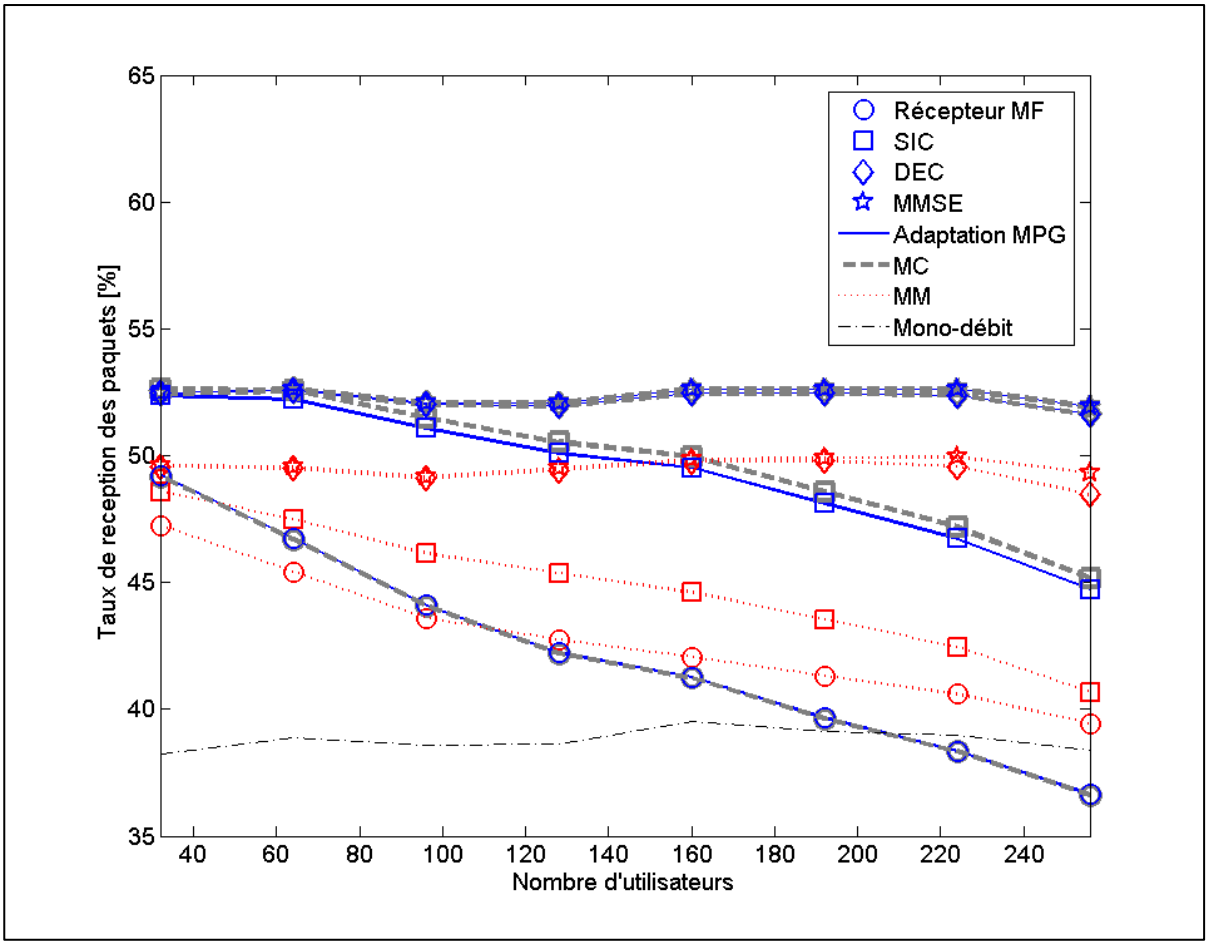

Figure 4.3.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableaux 4.3.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 50m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	5,34	21,47	47,95	85,49	134,75	193,89	263,72	340,47
MF	6,99	26,22	55,5	94,58	142,39	198,99	262,1	328,51
SIC	7,44	29,33	64,4	112,38	171,24	241,92	320	401,79
DEC	7,45	29,54	65,63	116,79	181,88	264,54	359,95	465,53
MMSE	7,46	29,57	65,72	117,02	182,35	265,44	361,5	468,07

a) Multi-facteurs d'étalement

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s) 50m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	5,34	21,47	47,95	85,49	134,75	193,89	263,72	340,47
MF	6,98	26,19	55,46	94,52	142,31	198,88	261,97	328,36
SIC	7,48	29,54	64,93	113,42	172,84	244,3	323,16	405,76
DEC	7,45	29,54	65,63	116,79	181,88	264,54	359,95	465,53
MMSE	7,46	29,57	65,72	117,02	182,35	265,44	361,5	468,07

b) Codes multiples

Débit utile agrégé multi-modulations (Mbits/s) 50m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	2,08	8,36	18,68	33,29	52,14	75,46	102,59	132,59
MF	4,23	16,49	35,86	62,17	95,77	134,72	179,73	228,08
SIC	4,35	17,27	38,02	66,08	101,71	142,16	188,04	235,35
DEC	4,44	17,99	40,46	71,99	113,47	162,61	219,82	280,75
MMSE	4,44	18,02	40,51	72,09	113,69	163,08	221,45	285,71

c) Modulations multiples

Tableaux 4.3.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Taux de réception des paquets multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 50m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	38,23	38,87	38,61	38,64	39,53	39,1	39	38,37
MF	49,23	46,74	44,1	42,23	41,25	39,65	38,34	36,64
SIC	52,35	52,22	51,08	50,08	49,51	48,11	46,72	44,73
DEC	52,46	52,56	52,01	51,97	52,47	52,46	52,38	51,63
MMSE	52,48	52,6	52,08	52,08	52,61	52,64	52,61	51,92

a) Multi-facteurs d'étalement

Taux de réception des paquets multi-codes (Mbits/s) 50m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	38,23	38,87	38,61	38,64	39,53	39,1	39	38,37
MF	49,18	46,7	44,07	42,2	41,23	39,63	38,32	36,63
SIC	52,64	52,58	51,49	50,54	49,96	48,57	47,17	45,16
DEC	52,46	52,56	52,01	51,97	52,47	52,45	52,38	51,63
MMSE	52,48	52,6	52,08	52,08	52,61	52,64	52,61	51,92

b) Codes multiples

Taux de réception des paquets multi-modulations (Mbits/s) 50m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
MMSE SR	23,3	23,1	22,77	22,96	22,98	23,21	23,24	22,98
MF	47,26	45,41	43,58	42,74	42,07	41,31	40,6	39,43
SIC	48,58	47,49	46,13	45,35	44,61	43,54	42,45	40,67
DEC	49,57	49,49	49,1	49,41	49,75	49,78	49,57	48,45
MMSE	49,62	49,55	49,17	49,48	49,85	49,92	49,94	49,31

c) Modulations multiples

Seuil de transmission à 25 dB et la puissance de transmission Pm=0.1mw

Les Figures 4.4.a à 4.6.b donnent les résultats de simulations pour une augmentation des interférences et de la mobilité dans un canal à trajet unique lorsque le seuil de transmission est de 25 dB, la puissance de transmission de 0.1mW et les vitesses des transmetteurs fixées à 20, 35, 50m/s. Le débit utile agrégé est plus bas pour un canal avec un seuil de transmission de 25dB. On observe une chute importante de débit lorsque la vitesse passe de 20 à 35m/s. La vitesse dégrade la qualité de la prédiction, de plus la puissance de transmission étant faible soit 0.1mW, la prédiction du canal est moins précise. Le débit utile agrégé croît en fonction du nombre d'utilisateurs et le taux de pertes de paquets décroît. La dégradation est légère en fonction de l'augmentation de la vitesse des transmetteurs. En général le débit utile moyen agrégé sur l'ensemble des utilisateurs augmente lorsque le nombre d'utilisateurs augmente. Les taux de réception de paquets restent approximativement constants pour les détecteurs à erreur quadratique moyenne et le décorrélateur. Ils décroissent pour le filtre adapté et le détecteur à suppression successive d'interférences. Les trois détecteurs multi-utilisateurs (MMSE, décorrélateur, SIC) donnent des résultats dans le même ordre de performance. Typiquement ils permettent la réception de paquet de très haute qualité.

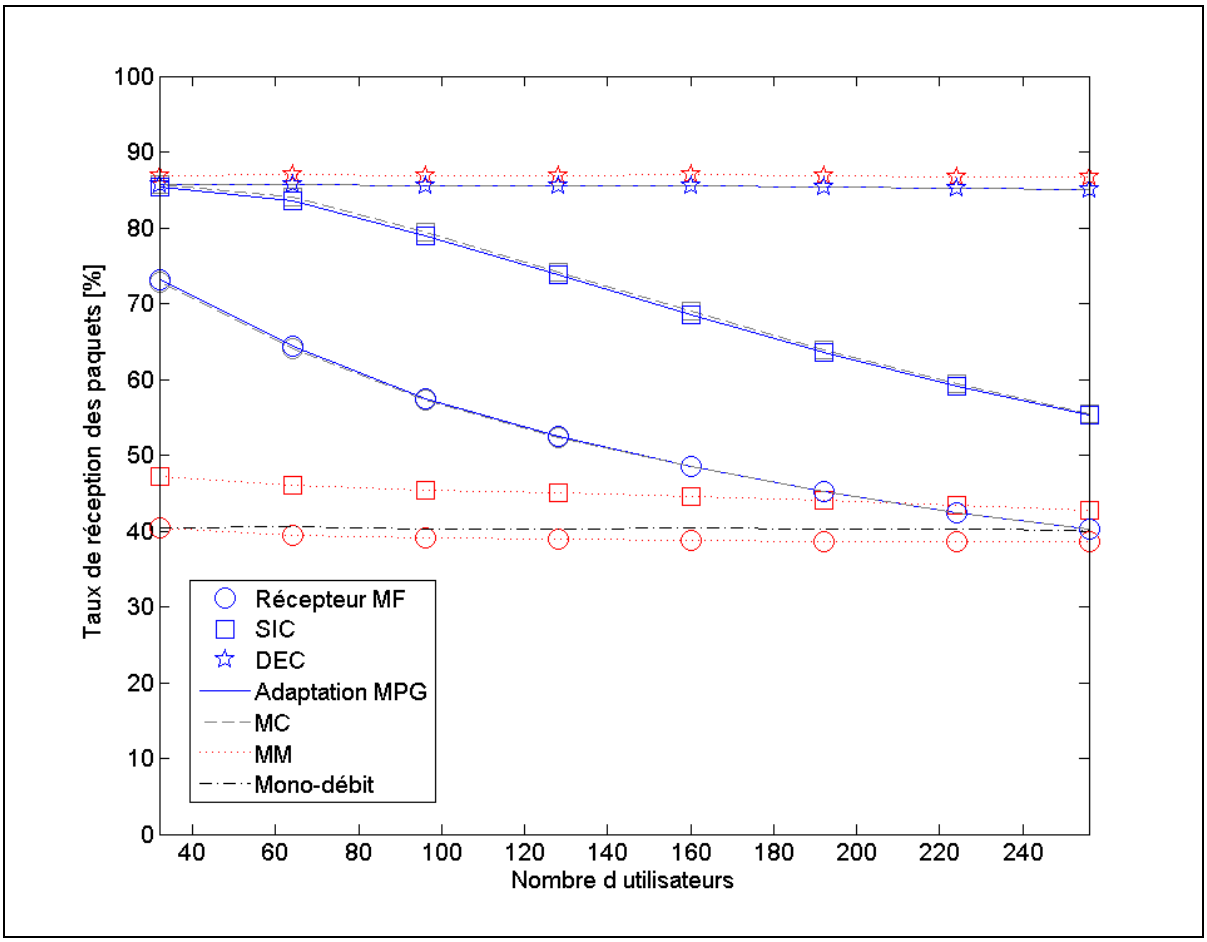

Figure 4.4.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW

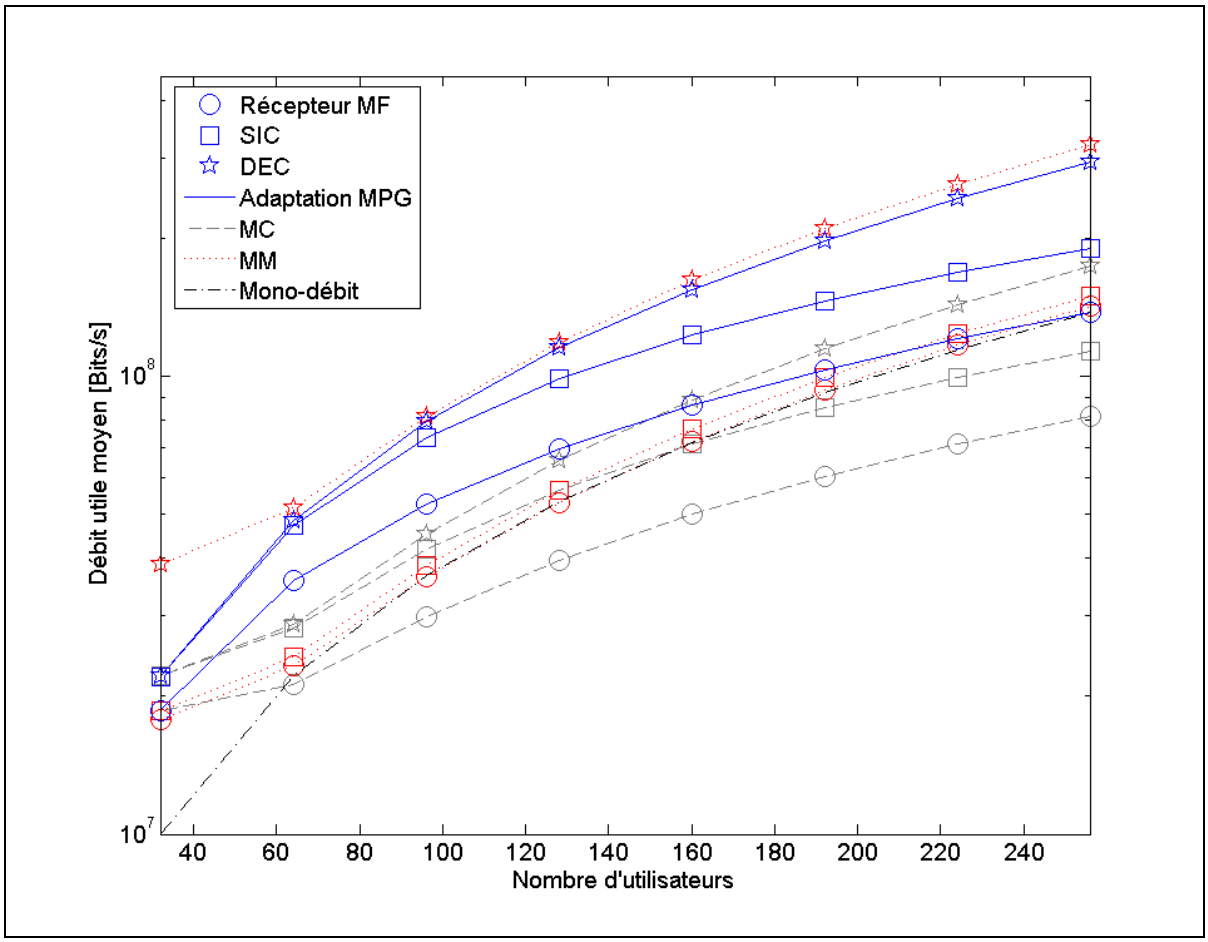

Figure 4.4.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW

Tableaux 4.4.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à 25dB etPm=0.1mW

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	9,97	22,16	36,64	53,21	71,83	92,13	114,16	137,95
MF	18,65	35,72	52,71	69,55	86,57	103,5	120,68	138,14
SIC	22,08	47,11	73,38	98,65	122,9	145,93	168,29	190,16
DEC	22,12	48,41	79,86	115,28	154,45	197,1	243,92	294,45

a) Multi-facteurs d'étalement

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	9,97	22,16	36,64	53,21	71,83	92,13	114,16	137,95
MF	18,57	21,21	29,9	39,61	49,89	60,34	71,05	81,94
SIC	22,13	28,11	41,82	56,47	71,21	85,54	99,62	113,37
DEC	22,12	28,76	45,21	65,47	88,78	114,67	143,35	174,32

b) Codes multiples

Débit utile agrégé multi-modulations (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	9,97	22,16	36,64	53,21	71,83	92,13	114,16	137,95
MF	17,81	23,28	36,51	52,98	72,15	93,41	116,71	141,94
SIC	18,57	24,38	38,53	56,22	76,7	99,25	123,66	149,78
DEC	38,93	51,73	81,61	118,83	162,14	210,23	262,95	320,06

c) Modulations multiples

Tableaux 4.4.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=20m/s, seuil à seuil à 25dB et Pm=0.1mW

Taux de réception de paquets multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	40,35	40,51	40,22	40,32	40,34	40,26	40,17	40,16
MF	73,11	64,31	57,38	52,46	48,53	45,21	42,47	40,23
SIC	85,43	83,6	78,94	73,76	68,54	63,53	59,09	55,27
DEC	85,65	85,76	85,49	85,57	85,6	85,36	85,23	85,1

a) Multi-facteurs d'étalement

Taux de réception des paquets multi-codes (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	40,35	40,51	40,22	40,32	40,34	40,26	40,17	40,16
MF	72,81	64,09	57,23	52,34	48,44	45,13	42,4	40,18
SIC	85,66	83,99	79,4	74,2	68,94	63,87	59,39	55,53
DEC	85,65	85,76	85,49	85,57	85,59	85,36	85,23	85,09

b) Codes multiples

Taux de réception de paquets multi-modulations (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	40,35	40,51	40,22	40,32	40,34	40,26	40,17	40,16
MF	40,42	39,45	39,02	38,88	38,78	38,65	38,57	38,52
SIC	47,15	45,99	45,42	45,07	44,59	43,97	43,33	42,71
DEC	86,94	87,05	86,84	86,92	86,96	86,83	86,77	86,75

c) Modulations multiples

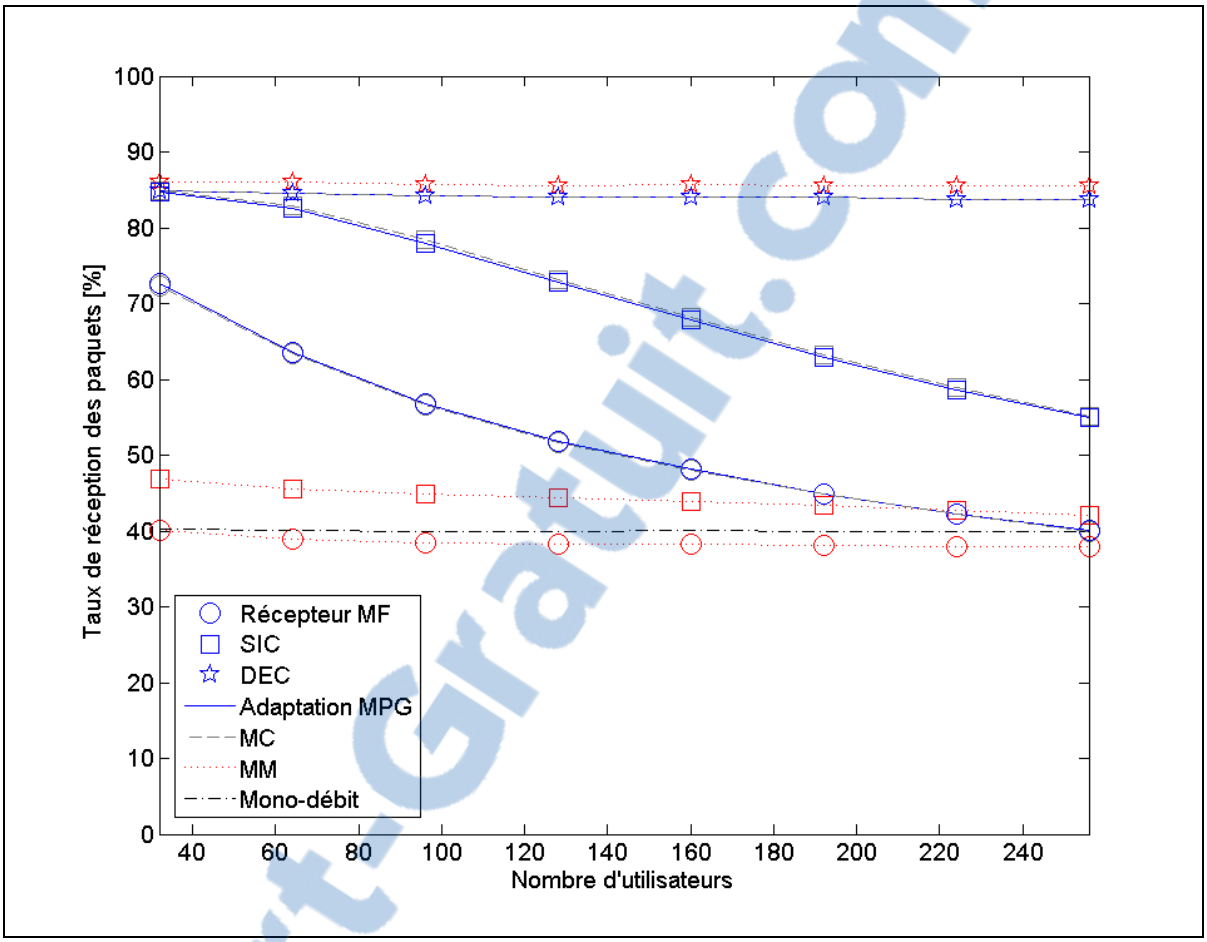

Figure 4.5.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW

Rapport-Gratuit.com

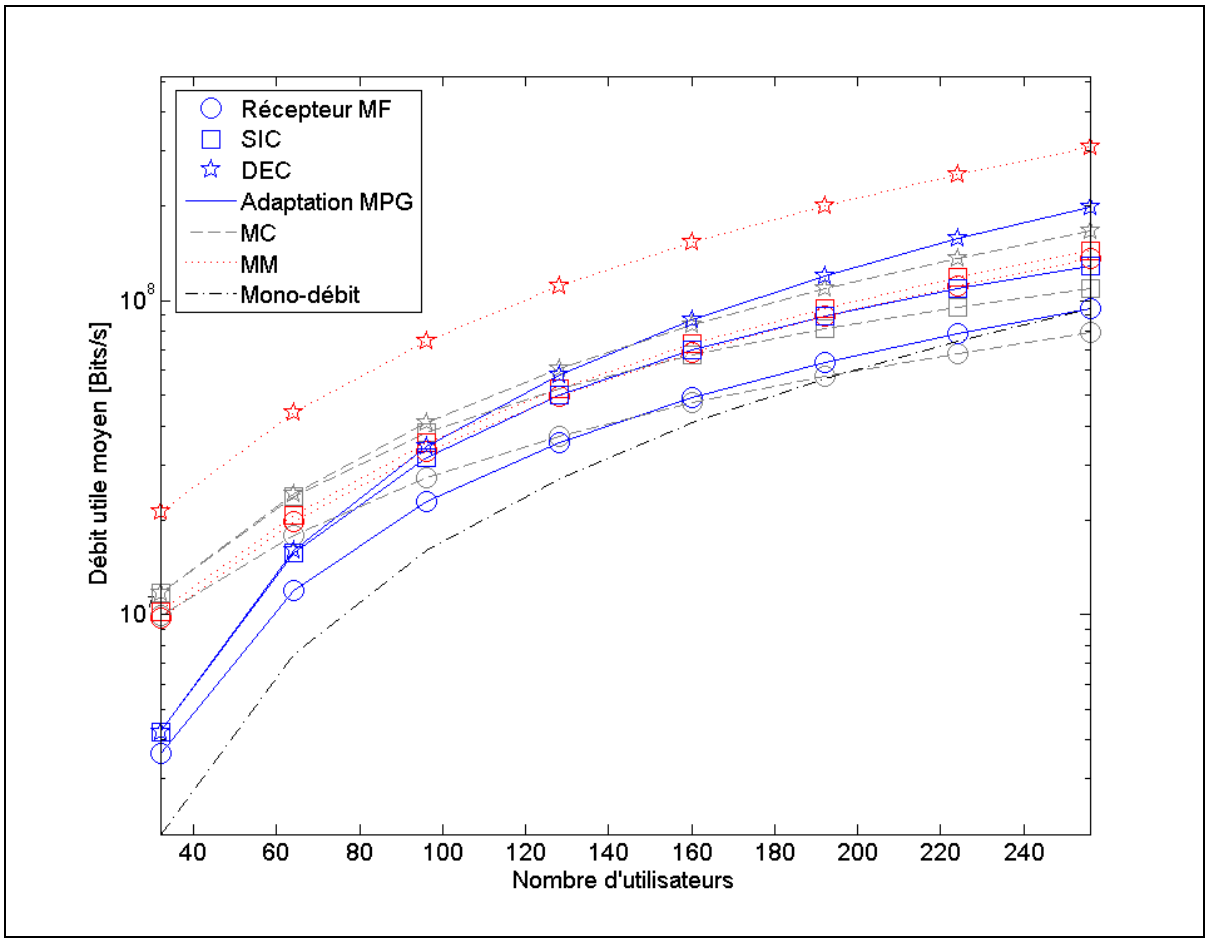

Figure 4.5.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v= 35m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW

Tableaux 4.5.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	1,99	7,48	15,99	27,16	40,84	56,54	74,33	94,11
MF	3,61	11,97	22,9	35,41	49,16	63,5	78,58	94,32
SIC	4,22	15,68	31,69	50,06	69,61	89,45	109,46	129,72
DEC	4,23	16,08	34,36	58,25	87	120,43	157,72	199,52

a) Multi-facteurs d'étalement

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	1,99	7,48	15,99	27,16	40,84	56,54	74,33	94,11
MF	9,94	17,98	27,21	36,98	47,25	57,57	68,17	79,02
SIC	11,72	23,78	38	52,68	67,36	81,59	95,49	109,22
DEC	11,71	24,32	41,04	61,01	83,75	109,24	136,83	167,08

b) Codes multiples

Débit utile agrégé multi-modulations (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	1,99	7,48	15,99	27,16	40,84	56,54	74,33	94,11
MF	9,77	19,78	33,28	49,51	68,38	89,13	111,98	136,79
SIC	10,27	20,83	35,27	52,69	72,86	94,87	118,84	144,49
DEC	21,34	43,93	74,38	111,04	153,69	200,62	252,31	308,46

c) Modulations multiples

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableaux 4.5.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=35m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW

Taux de réception de paquets multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	40,3	40,16	39,97	39,91	40,08	39,98	39,92	39,93
MF	72,61	63,6	56,83	51,84	48,13	44,88	42,21	40,04
SIC	84,65	82,6	77,98	72,78	67,81	62,95	58,63	54,93
DEC	84,81	84,61	84,18	84,1	84,12	83,97	83,8	83,7

a) Multi-facteurs d'étalement

Taux de réception de paquets multi-codes (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	40,3	40,16	39,97	39,91	40,08	39,98	39,92	39,93
MF	72,3	63,39	56,68	51,73	48,04	44,81	42,15	39,99
SIC	84,85	82,94	78,39	73,17	68,16	63,25	58,89	55,16
DEC	84,81	84,61	84,18	84,1	84,12	83,97	83,8	83,69

b) Codes multiples

Taux de réception de paquets multi-modulation (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	40,3	40,16	39,97	39,91	40,08	39,98	39,92	39,93
MF	40,03	38,97	38,47	38,27	38,2	38,09	37,99	37,96
SIC	46,79	45,56	44,88	44,41	43,95	43,34	42,71	42,1
DEC	86,08	85,96	85,62	85,57	85,65	85,56	85,47	85,49

c) Modulations multiples

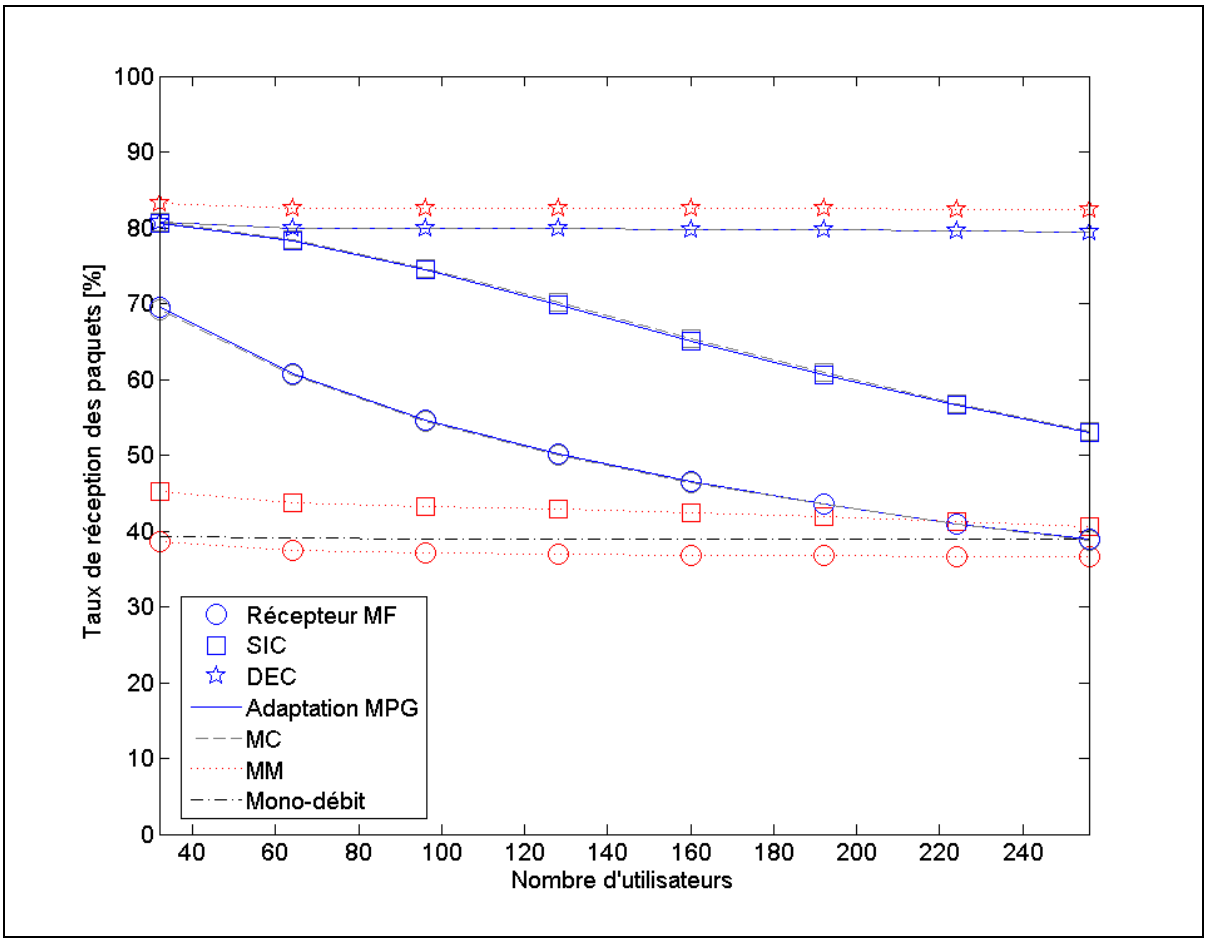

Figure 4.6.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW

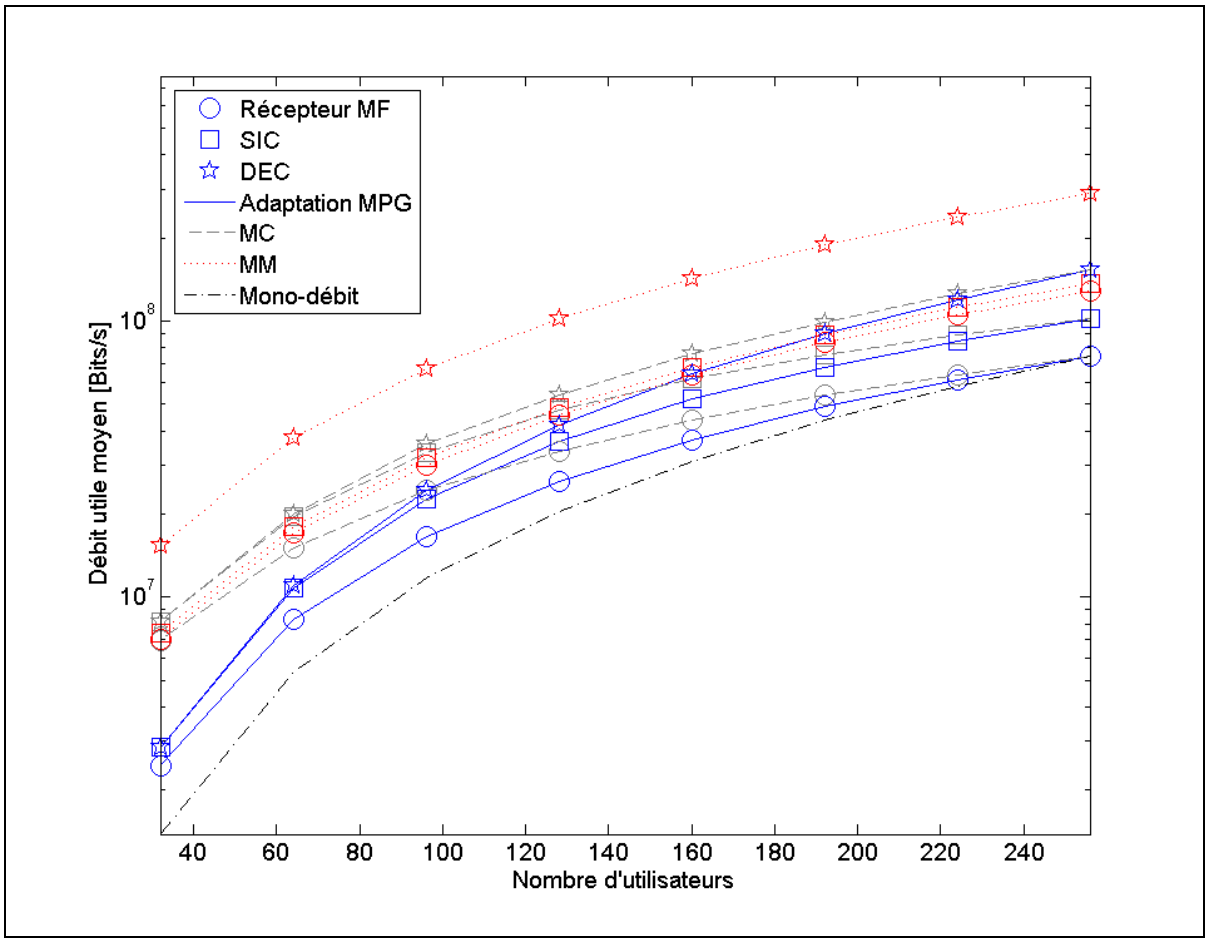

Figure 4.6.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW

Tableaux 4.6.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 50m/s								
Récepteurs	**Nombre d'utilisateurs**							
	32	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	1,38	5,35	11,72	20,32	31,07	43,7	58,16	74,37
MF	2,46	8,35	16,54	26,2	37,14	48,83	61,29	74,39
SIC	2,85	10,77	22,59	36,53	52,08	68,15	84,72	101,55
DEC	2,86	11,01	24,31	41,92	64,18	90,09	119,85	152,88

a) Multi-facteurs d'étalement

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 50m/s								
Récepteurs	**Nombre d'utilisateurs**							
	32	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	1,38	5,35	11,72	20,32	31,07	43,7	58,16	74,37
MF	6,97	15,12	24,26	33,73	43,72	53,71	63,93	74,3
SIC	8,15	19,64	33,4	47,38	61,71	75,4	88,84	101,92
DEC	8,14	20,02	35,82	54,16	75,76	99,31	125,21	152,88

b) Codes multiples

Débit utile agrégé multi-modulations (Mbits/s) 50m/s								
Récepteurs	**Nombre d'utilisateurs**							
	32	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	1,38	5,35	11,72	20,32	31,07	43,7	58,16	74,37
MF	7,04	17,06	30,09	45,65	63,68	83,56	105,34	128,88
SIC	7,43	18,04	31,99	48,72	67,99	89,12	112	136,38
DEC	15,35	37,89	67,25	102,38	143,12	188,07	237,35	290,63

c) Modulations multiples

Tableaux 4.6.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajet unique v=50m/s, seuil à 25dB et Pm=0.1mW

Taux de réception de paquets multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 50m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	39,31	39,01	38,85	39	38,93	38,98	38,89	38,86
MF	69,46	60,74	54,62	50,18	46,46	43,54	40,99	38,88
SIC	80,6	78,24	74,38	69,81	65,03	60,66	56,58	53,02
DEC	80,67	79,9	79,85	79,85	79,81	79,76	79,59	79,37

a) Multi-facteurs d'étalement

Taux de réception de paquets multi-codes (Mbits/s) 50m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	39,31	39,01	38,85	39	38,93	38,98	38,89	38,86
MF	69,2	60,55	54,48	50,07	46,38	43,48	40,93	38,83
SIC	80,72	78,47	74,68	70,11	65,31	60,91	56,8	53,21
DEC	80,67	79,9	79,85	79,85	79,81	79,75	79,58	79,37

b) Codes multiples

Taux de réception de paquets multi-modulation (Mbits/s) 50m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	39,31	39,01	38,85	39	38,93	38,98	38,89	38,86
MF	38,68	37,4	37,06	36,9	36,8	36,75	36,65	36,58
SIC	45,19	43,69	43,27	42,88	42,37	41,88	41,26	40,63
DEC	83,19	82,51	82,49	82,5	82,51	82,56	82,46	82,38

c) Modulations multiples

Résumé canal à trajet unique :

L'adaptation de débit résiste bien à l'augmentation du nombre d'utilisateurs dans le canal. A un seul chemin, le récepteur est moins complexe et permet une réception de qualité moyenne lorsque le seuil de transmission est de 20dB, pour un débit plus élevé. A 25 dB de seuil, la

réception est de meilleure qualité contre de faibles débits. L'augmentation du nombre d'utilisateurs est plus favorable au transmetteur à facteur d'étalement variable qu'à celui à codes multiples. La modulation multiple performe plus faiblement.

4.2.2 Canal multi-trajets fixe-à-mobile à 25 MHz

Les Figures 4.7.a à 4.9.b donnent les résultats numériques des simulations, lorsque le nombre d'utilisateurs augmente pour les trois vitesses, soit 20, 35, 50m/s. Le taux de réception du transmetteur à facteur d'étalement variable surpasse celui des deux autres techniques. Du coté des récepteurs, le taux de réception est faible pour les récepteurs à filtre adapté et le SIC. Il est par contre élevé pour le décorrélateur lorsque l'on transmet avec des codes multiples. Le récepteur multi-trajets, combiné avec la transmission à codes multiples donne une grande complexité de calcul. De plus la grande quantité de transmissions en parallèles augmente les interférences d'accès multiples et fait chuter les taux de réception, ainsi que les débits utiles agrégés. Le détecteur décorrélateur résiste mieux à l'augmentation du nombre d'utilisateurs dans ce cas. Les résultats des récepteurs à filtre adapté et du détecteur à suppression d'interférences sont plus bas. Les modulations multiples moins adaptées aux transmissions multi-débits donnent des débits faibles pour le filtre adapté et la suppression successive d'interférences. La faiblesse des performances vient du fait que les utilisateurs s'éblouissent mutuellement certains transmettant avec des puissances plus élevées que les autres.

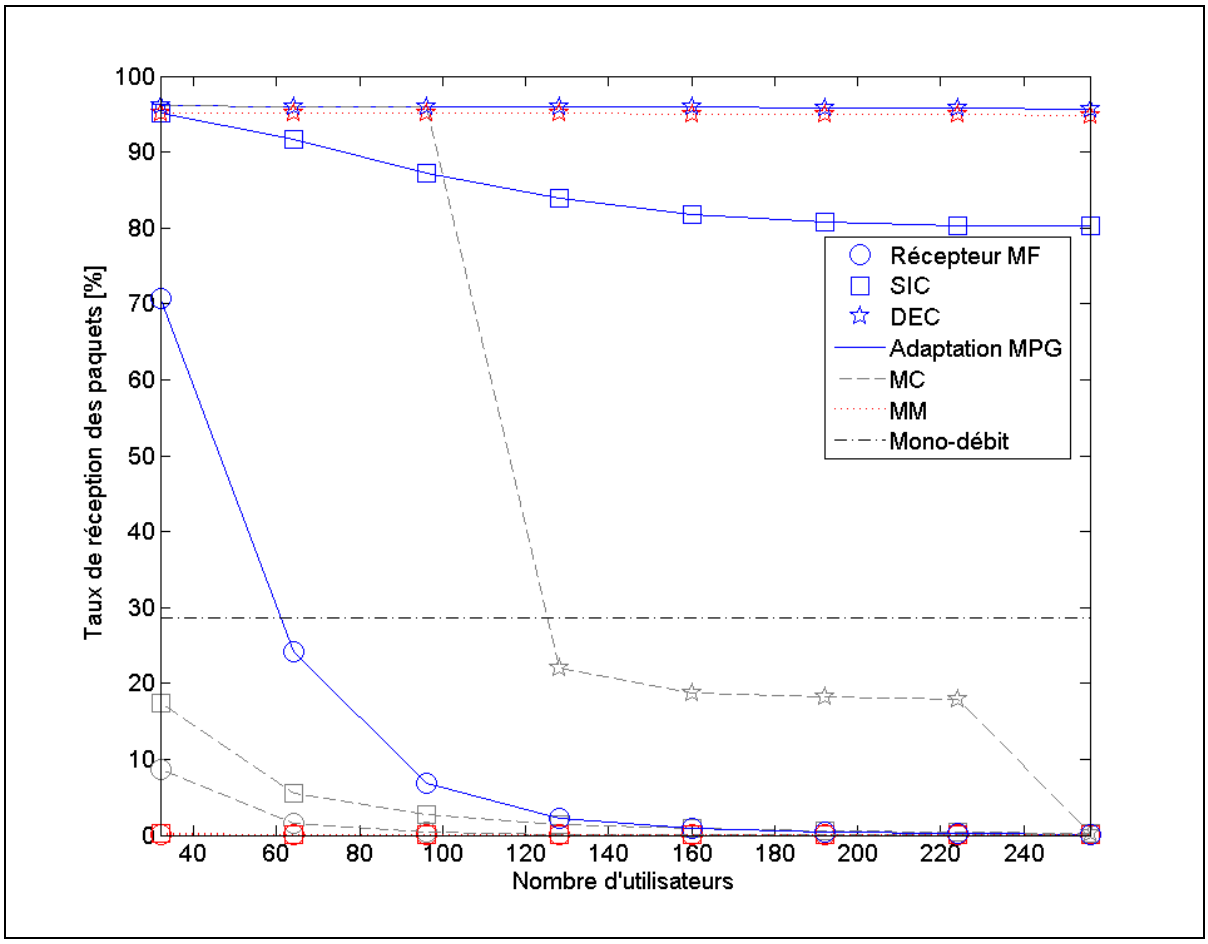

Figure 4.7.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20m/s

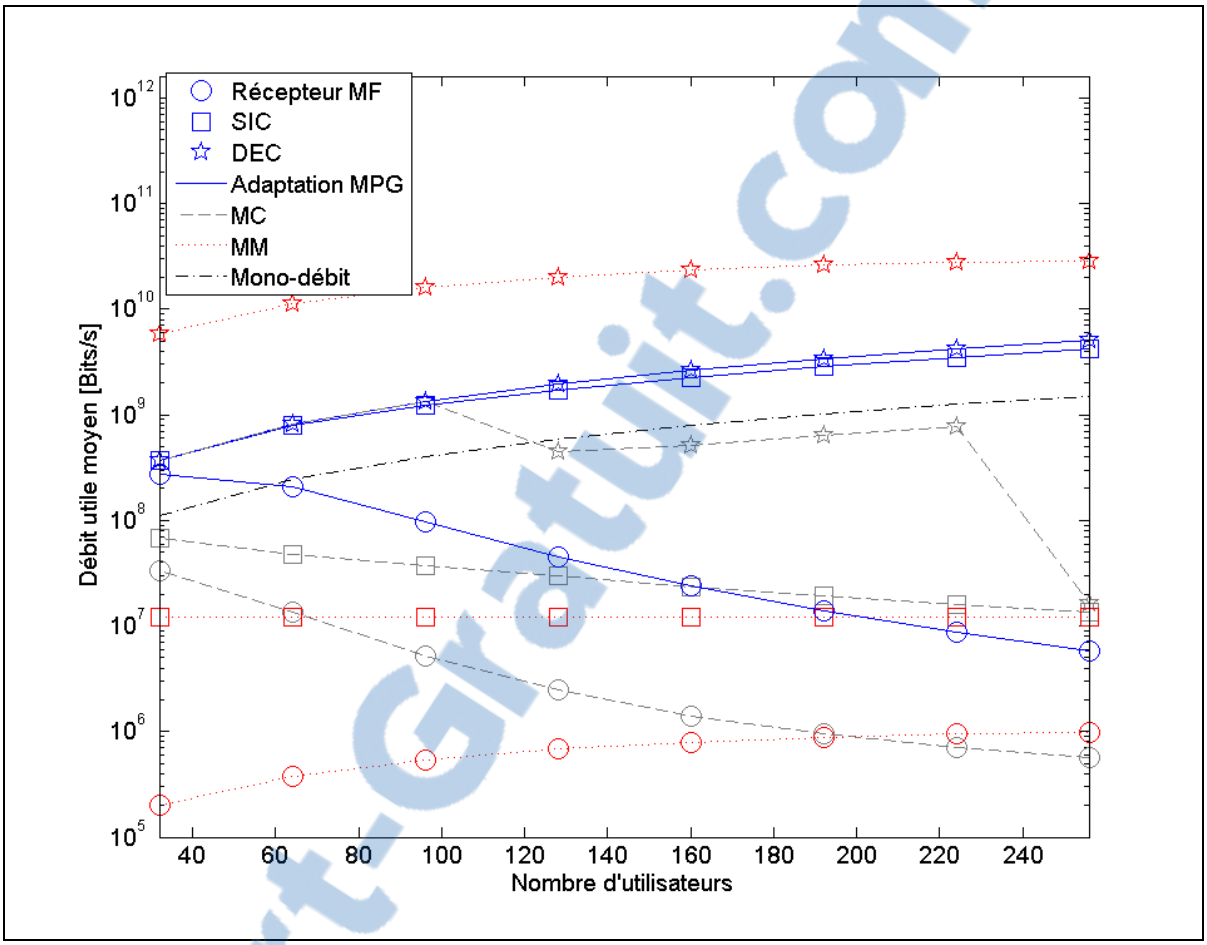

Figure 4.7.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20m/s

Rapport-Gratuit.com

Tableaux 4.7.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20m/s

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	110,42	245,62	404,33	585,23	787,22	1009,22	1250,19	1509,18
MF	272,43	207,88	96,64	45,48	24,05	14,01	8,75	5,76
SIC	366,76	785,26	1231,2	1713,85	2249,62	2847,85	3510,63	4236,99
DEC	370,13	823,06	1354,6	1960,24	2635,95	3378,18	4183,03	5046,32

a) Multi-facteurs d'étalement

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	110,42	245,62	404,33	585,23	787,22	1009,22	1250,19	1509,18
MF	33,35	13,6	5,25	2,45	1,41	0,95	0,71	0,57
SIC	67,37	47,8	37,62	29,66	23,64	19,2	15,95	13,53
DEC	370,33	823,80	1355,10	451,17	515,33	642,54	781,78	16,27

b) Codes multiples

Débit utile agrégé multi-modulations (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	110,42	245,62	404,33	585,23	787,22	1009,22	1250,19	1509,18
MF	0,2	0,38	0,54	0,68	0,79	0,88	0,95	0,98
SIC	12,19	12,19	12,19	12,19	12,19	12,19	12,19	12,19
DEC	5848,3	11163,1	15887,6	19967,8	23351,3	25987,7	27828,8	28827,5

c) Modulations multiples

Tableaux 4.7.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20m/s

Taux de réception de paquets multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	28,65	28,65	28,64	28,64	28,63	28,62	28,61	28,6
MF	70,7	24,24	6,84	2,23	0,87	0,4	0,2	0,11
SIC	95,2	91,61	87,23	83,87	81,83	80,77	80,35	80,29
DEC	96,07	96,02	95,98	95,93	95,88	95,81	95,73	95,62

a) Multi-facteurs d'étalement

Taux de réception de paquets multi-codes (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	28,65	28,65	28,64	28,64	28,63	28,62	28,61	28,6
MF	8,65	1,58	0,37	0,12	0,05	0,03	0,02	0,01
SIC	17,48	5,57	2,66	1,45	0,86	0,54	0,36	0,26
DEC	96,07	96,03	95,98	22,08	18,75	18,22	17,85	0,3

b) Codes multiples

Taux de réception de paquets multi-modulation (Mbits/s) 20m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	28,65	28,65	28,64	28,64	28,63	28,62	28,61	28,6
MF	0	0	0	0	0	0	0	0
SIC	0,29	0,14	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
DEC	95,21	95,17	95,13	95,09	95,05	94,99	94,93	94,85

c) Modulations multiples

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

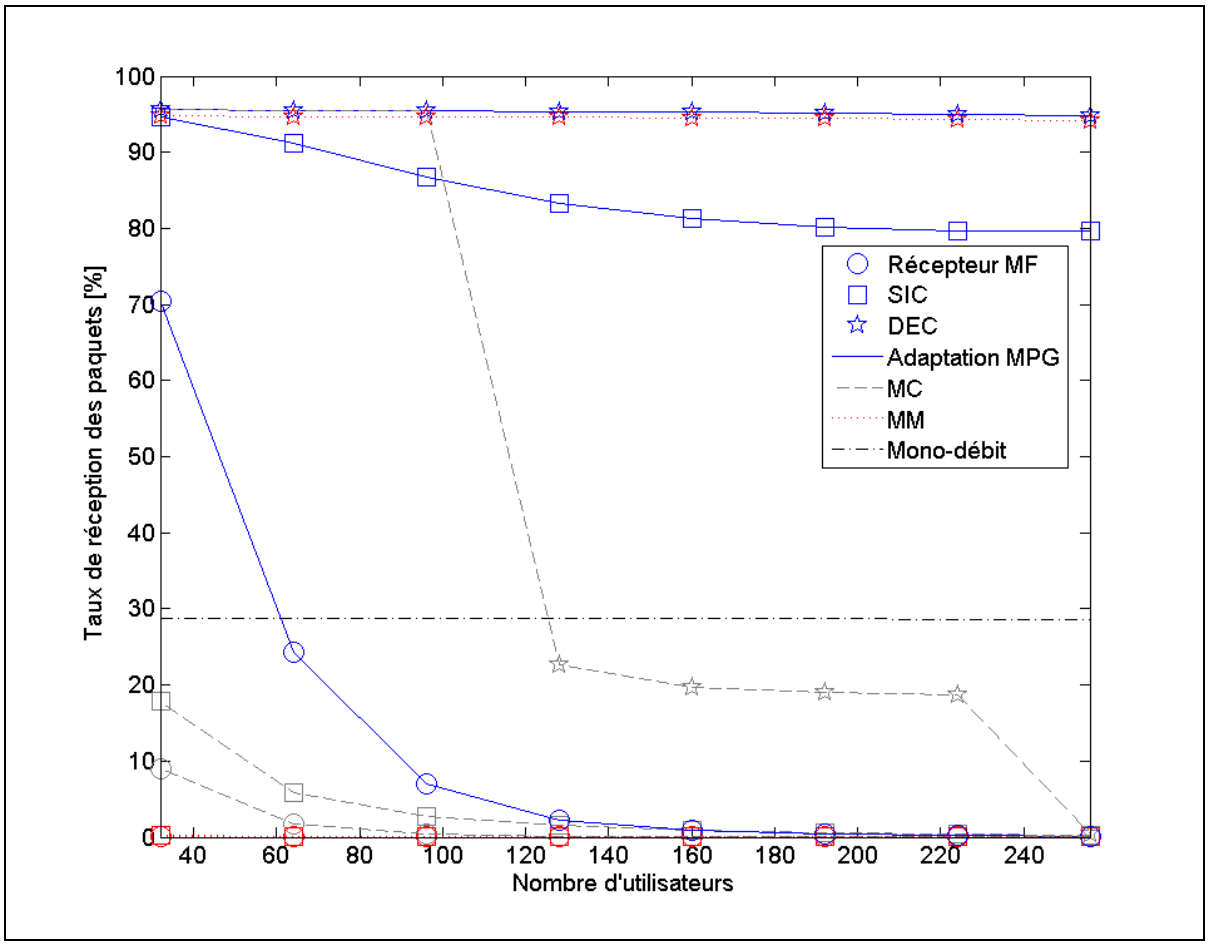

Figure 4.8.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=35m/s

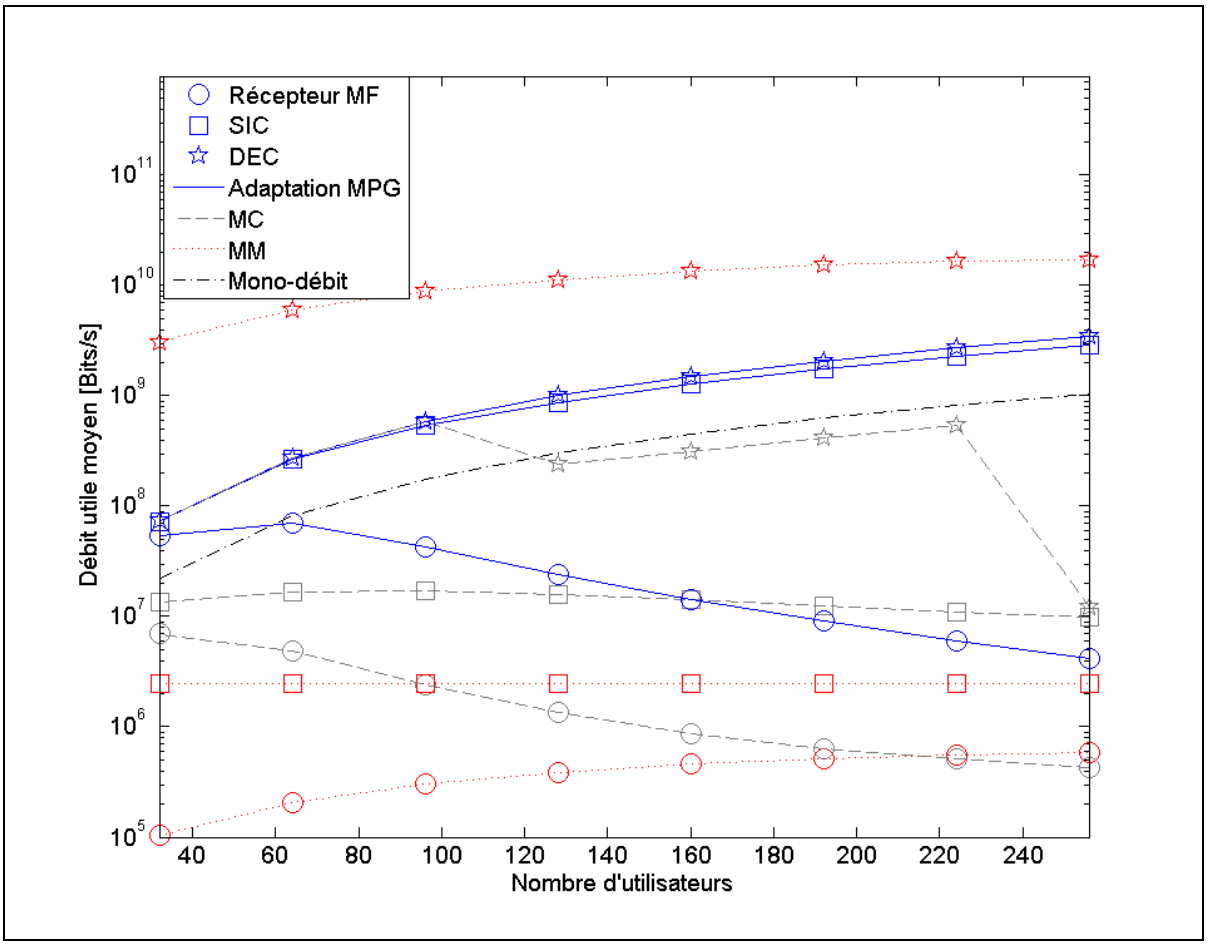

Figure 4.8.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=35m/s

Tableaux 4.8.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=35m/s

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	22,07	83,2	177,76	301,59	451,85	626,09	822,22	1038,6
MF	54,09	70,49	43,11	24,09	14,29	9,03	5,98	4,12
SIC	72,69	263,86	536,83	875,78	1280,19	1751,25	2288,07	2889,02
DEC	73,35	276,53	590,56	1001,6	1500,08	2077,72	2727,25	3442,24

a) Multi-facteurs d'étalement

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	22,07	83,2	177,76	301,59	451,85	626,09	822,22	1038,6
MF	6,94	4,83	2,43	1,34	0,87	0,64	0,51	0,43
SIC	13,66	16,79	17,23	15,97	14,19	12,47	10,99	9,77
DEC	73,29	276,48	590,47	238,71	309,46	417,06	537,03	12,12

b) Codes multiples

Débit utile agrégé multi-modulation (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	22,07	83,2	177,76	301,59	451,85	626,09	822,22	1038,6
MF	0,1	0,21	0,3	0,39	0,46	0,52	0,56	0,58
SIC	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44
DEC	3079,4	6056,6	8840,2	11348,0	13505,1	15242,3	16495,5	17204,4

c) Modulations multiples

Tableaux 4.8.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=35m/s

Taux de réception de paquets multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	28,75	28,73	28,72	28,71	28,69	28,67	28,65	28,62
MF	70,46	24,34	6,97	2,29	0,91	0,41	0,21	0,11
SIC	94,71	91,12	86,73	83,36	81,28	80,2	79,73	79,61
DEC	95,56	95,49	95,42	95,33	95,25	95,16	95,03	94,86

a) Multi-facteurs d'étalement

Taux de réception de paquets multi-codes (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	28,75	28,73	28,72	28,71	28,69	28,67	28,65	28,62
MF	9,04	1,67	0,39	0,13	0,06	0,03	0,02	0,01
SIC	17,81	5,79	2,78	1,52	0,9	0,57	0,38	0,27
DEC	95,56	95,5	95,42	22,72	19,65	19,08	18,71	0,33

b) Codes multiples

Taux de réception de paquets multi-modulation (Mbits/s) 35m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	28,75	28,73	28,72	28,71	28,69	28,67	28,65	28,62
MF	0	0	0	0	0	0	0	0
SIC	0,28	0,14	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	0,03
DEC	94,77	94,72	94,65	94,58	94,51	94,43	94,32	94,2

c) Modulations multiples

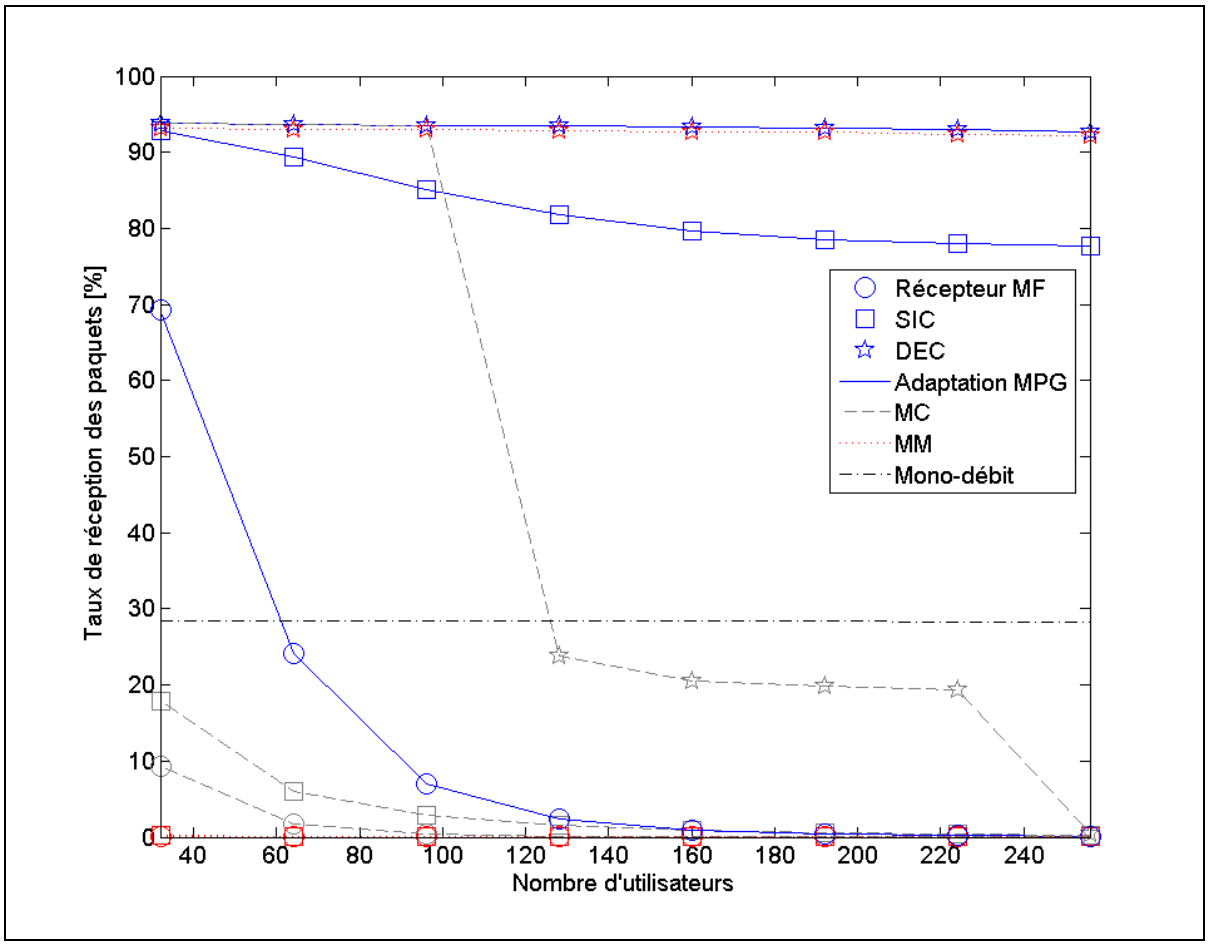

Figure 4.9.a Taux de réception des paquets, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=50m/s

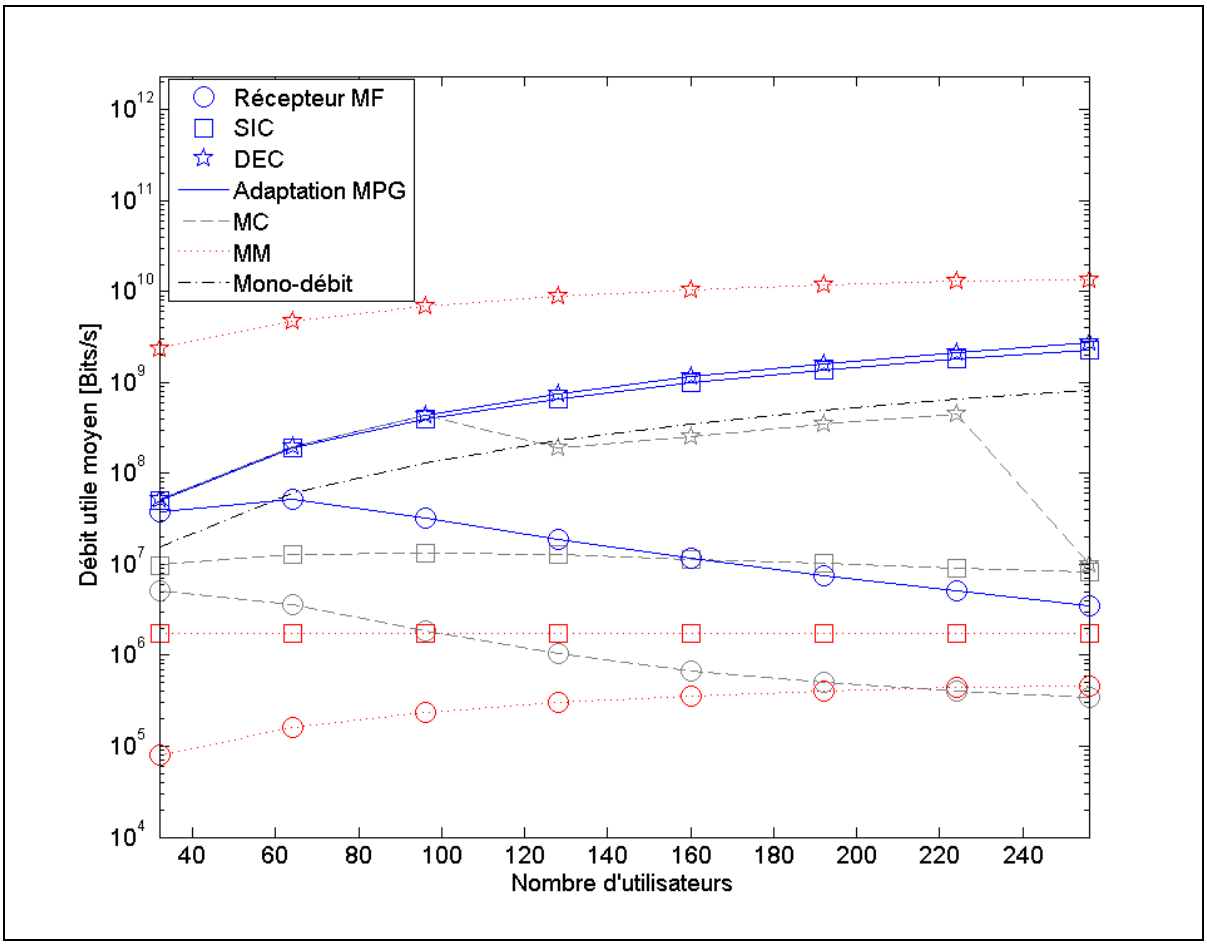

Figure 4.9.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=50m/s

Tableaux 4.9.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=50m/s

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 50m/s								
Récepteurs	**Nombre d'utilisateurs**							
	32	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	14,37	55,87	122,25	211,96	323,05	454,06	603,96	771,98
MF	24,33	50,77	49,09	36,63	24,9	16,5	10,97	7,41
SIC	28,62	108,57	228,88	382,23	564,65	776,11	1017,76	1290,38
DEC	28,74	111,74	244,5	423,91	646,09	908,11	1207,91	1543,96

a) Multi-facteurs d'étalement

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s) 50m/s								
Récepteurs	**Nombre d'utilisateurs**							
	32	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	14,37	55,87	122,25	211,96	323,05	454,06	603,96	771,98
MF	12,98	9,59	4,42	2,02	1	0,53	0,31	0,19
SIC	15,16	29,86	33,98	32,43	28,98	25,31	22,03	19,25
DEC	28,74	111,73	244,50	423,91	646,09	908,11	1207,91	0,074

b) Codes multiples

Débit utile agrégé multi-modulations (Mbits/s) 50m/s								
Récepteurs	**Nombre d'utilisateurs**							
	32	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	14,37	55,87	122,25	211,96	323,05	454,06	603,96	771,98
MF	0	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09	0,12	0,15
SIC	0,13	0,39	0,69	0,98	1,3	1,58	1,85	2,22
DEC	70,18	272,79	596,91	1034,94	1577,37	2217,07	2949,01	3769,43

c) Modulations multiple

Tableaux 4.9.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=50m/s

Taux de réception de paquets multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) 50m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	28,49	28,47	28,45	28,43	28,4	28,36	28,31	28,26
MF	69,2	24,13	7,02	2,35	0,94	0,43	0,22	0,12
SIC	92,91	89,38	85,06	81,72	79,63	78,49	77,93	77,74
DEC	93,75	93,68	93,57	93,46	93,31	93,14	92,94	92,69

a) Multi-facteurs d'étalement

Taux de réception de paquets multi-modulation (Mbits/s) 50m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	28,49	28,47	28,45	28,43	28,4	28,36	28,31	28,26
MF	9,36	1,72	0,4	0,13	0,06	0,03	0,02	0,01
SIC	17,95	5,97	2,88	1,57	0,93	0,59	0,39	0,28
DEC	93,76	93,68	93,57	23,86	20,43	19,85	19,34	0,34

b) Codes multiples

Taux de réception de paquets multi-modulation (Mbits/s) 50m/s								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	28,49	28,47	28,45	28,43	28,4	28,36	28,31	28,26
MF	0	0	0	0	0	0	0	0
SIC	0,28	0,14	0,09	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03
DEC	93,12	93,06	92,97	92,87	92,74	92,59	92,42	92,23

c) Modulations multiples

Rapport-Gratuit.com

Résumé canal multi-trajets fixe-à-mobile :

Lorsque l'on transmet dans le canal multi-trajets fixe-à-mobile, les résultats sont peu favorables aux transmissions multi-codes et multi-modulations malgré la réception à diversité. Le récepteur à diversité devient trop complexe et donne des performances plus basses.

4.2.3 Canal mobile-à-mobile à 25 MHz

Les Figures 4.10.a à 4.12.b représentent les performances des transmissions dans un scénario mobile-à-mobile pour trois indices de mobilités, soit 0.95, 0.57, 0.4. La longueur du slot de données est fixée à 1ms. Les meilleures performances sont assurées par le transmetteur à facteur d'étalement variable, les performances moyennes par la transmission à codes multiples, les plus faibles par la multi-modulation. L'efficacité de la prédiction est réduite par la mobilité relative du récepteur par rapport aux transmetteurs. La diminution de l'efficacité de la prédiction est d'autant plus accentuée que l'indice de mobilité relative diminue.

Lorsque l'on combine le récepteur multi-trajets et la transmission multi-codes, les interférences d'accès multiples augmentent de façon considérable et nuisent à la qualité de réception, sauf pour le détecteur à décorrélateur qui résiste à l'augmentation des interférences.

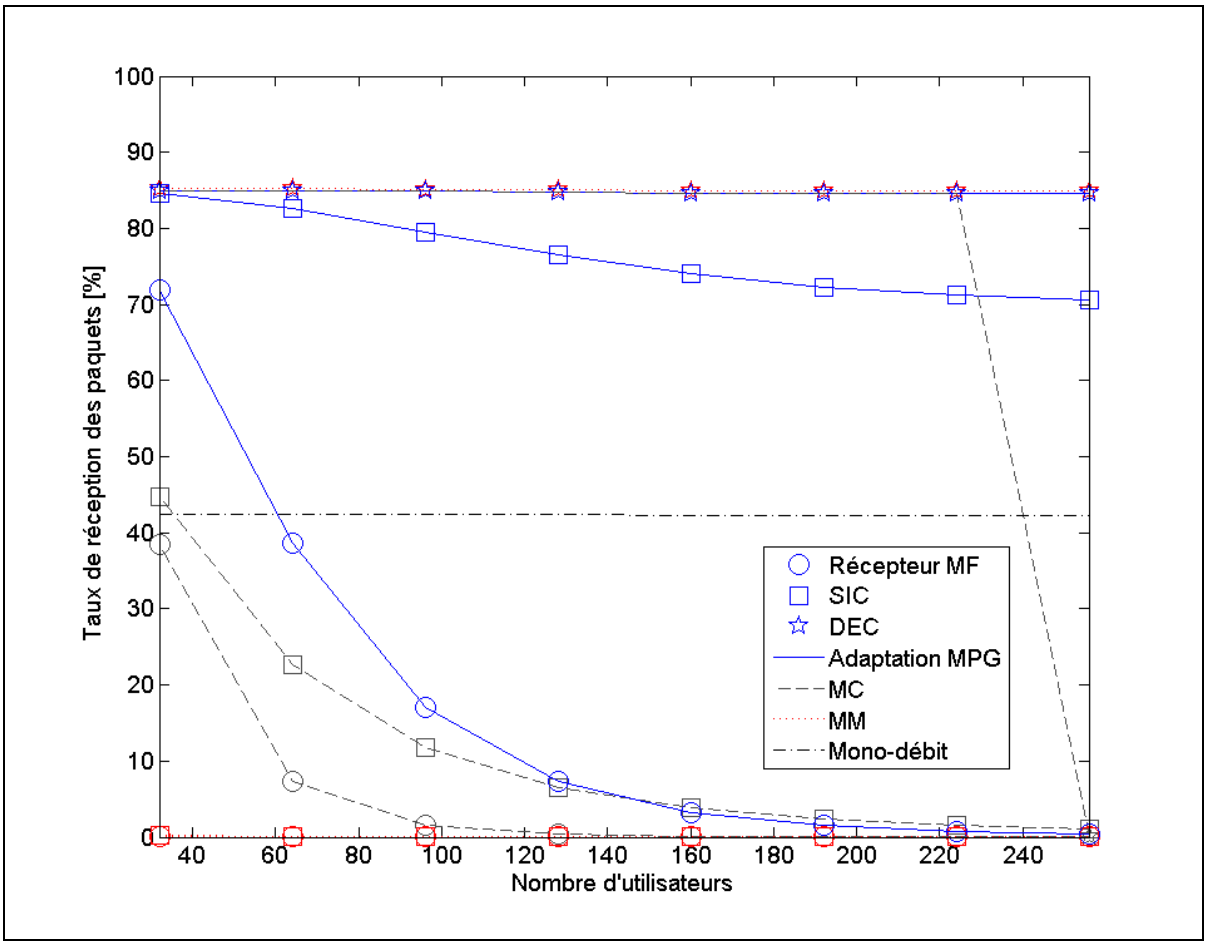

Figure 4.10.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

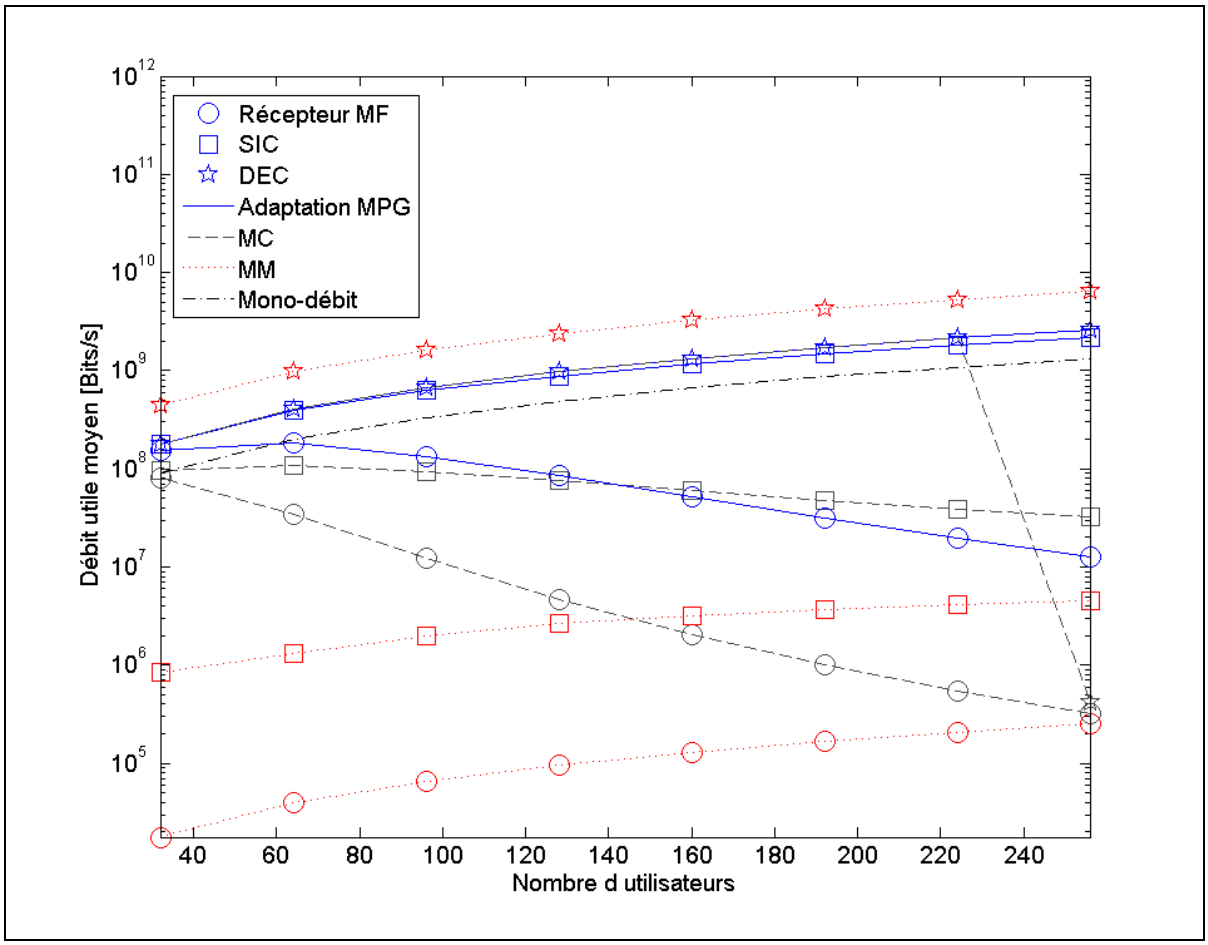

Figure 4.10.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$

Tableaux 4.10.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) $\alpha = 0.95$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	90,17	202,66	335,89	490,31	666,69	863,31	1076,8	1307,13
MF	152,65	184,24	134,96	84,78	51,42	31,39	19,57	12,55
SIC	179,53	393,78	628,67	883,05	1161,46	1467,7	1804,94	2174,65
DEC	180,34	405,32	671,78	980,61	1333,37	1726,61	2153,6	2614,25

a) Multi-facteurs d'étalement

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s) $\alpha = 0.95$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	90,17	202,66	335,89	490,31	666,69	863,31	1076,8	1307,13
MF	81,48	34,81	12,14	4,68	2,06	1,02	0,55	0,32
SIC	95,31	108,55	93,49	75,1	59,79	47,98	39,07	32,37
DEC	180,34	405,32	671,78	980,61	1333,37	1726,61	2153,60	0,42

b) Codes multiples

Débit utile agrégé multi-modulations (Mbits/s) $\alpha = 0.95$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	90,17	202,66	335,89	490,31	666,69	863,31	1076,8	1307,13
MF	0,02	0,04	0,07	0,1	0,13	0,17	0,21	0,25
SIC	0,84	1,32	2,01	2,65	3,18	3,68	4,16	4,5
DEC	440,27	989,56	1640,09	2394,07	3255,3	4215,37	5257,82	6382,46

c) Modulations multiples

Tableaux 4.10.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$

Taux de réception de paquets multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) $\alpha = 0.95$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	42,47	42,47	42,43	42,39	42,33	42,33	42,33	42,31
MF	71,91	38,62	17,05	7,33	3,27	1,54	0,77	0,41
SIC	84,56	82,54	79,45	76,45	73,98	72,31	71,27	70,68
DEC	84,94	84,94	84,87	84,79	84,67	84,66	84,65	84,63

a) Multi-facteurs d'étalement

Taux de réception de paquets multi-codes (Mbits/s) $\alpha = 0.95$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	42,47	42,47	42,43	42,39	42,33	42,33	42,33	42,31
MF	38,39	7,3	1,53	0,41	0,13	0,05	0,02	0,01
SIC	44,79	22,71	11,8	6,49	3,8	2,36	1,54	1,05
DEC	84,94	84,94	84,87	84,79	84,67	84,66	84,65	0,02

b) Codes multiples

Taux de réception de paquets multi-modulations (Mbits/s) $\alpha = 0.95$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	42,47	42,47	42,43	42,39	42,33	42,33	42,33	42,31
MF	0	0	0	0	0	0	0	0
SIC	0,17	0,14	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,07
DEC	85,19	85,19	85,12	85,04	84,92	84,92	84,9	84,88

c) Modulations multiples

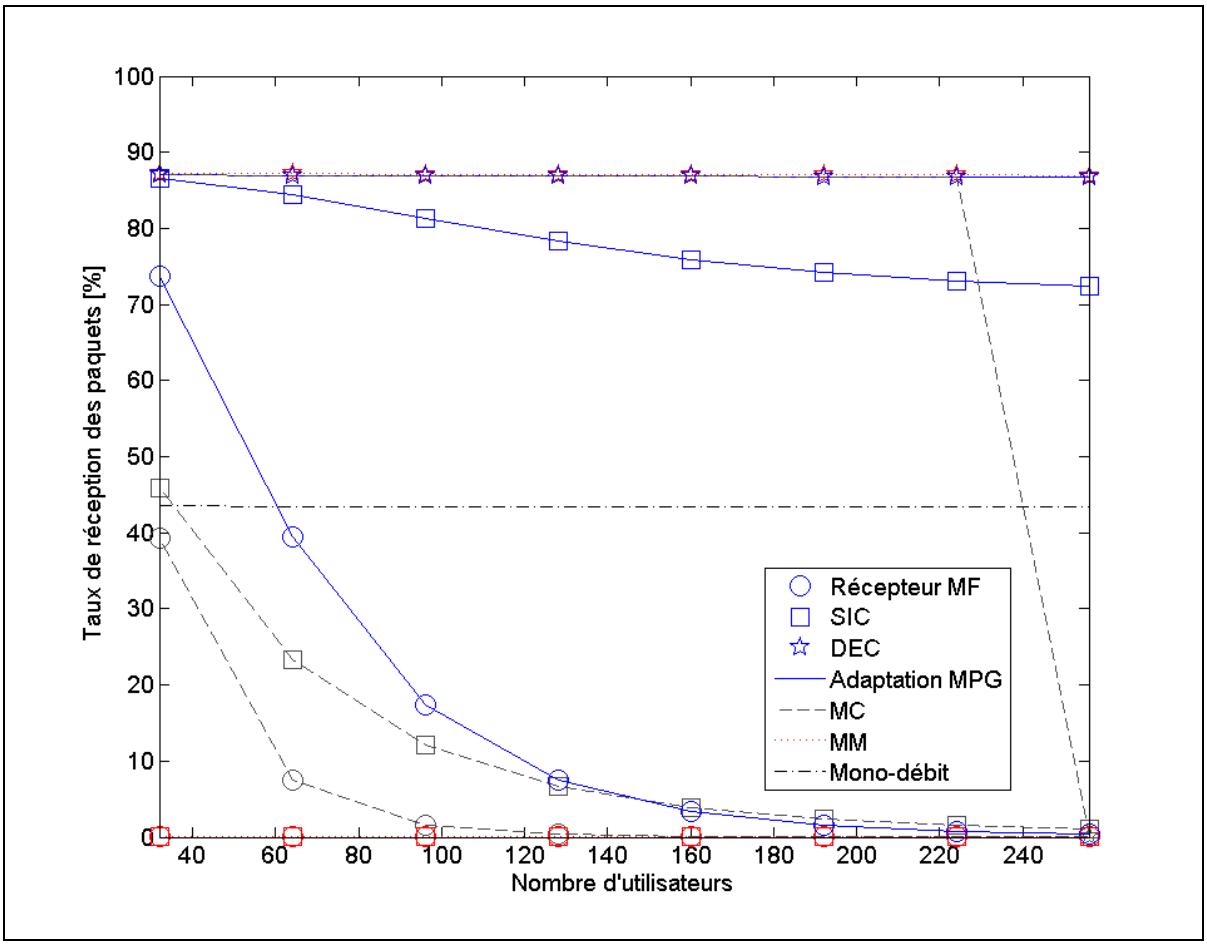

Figure 4.11.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.57143$

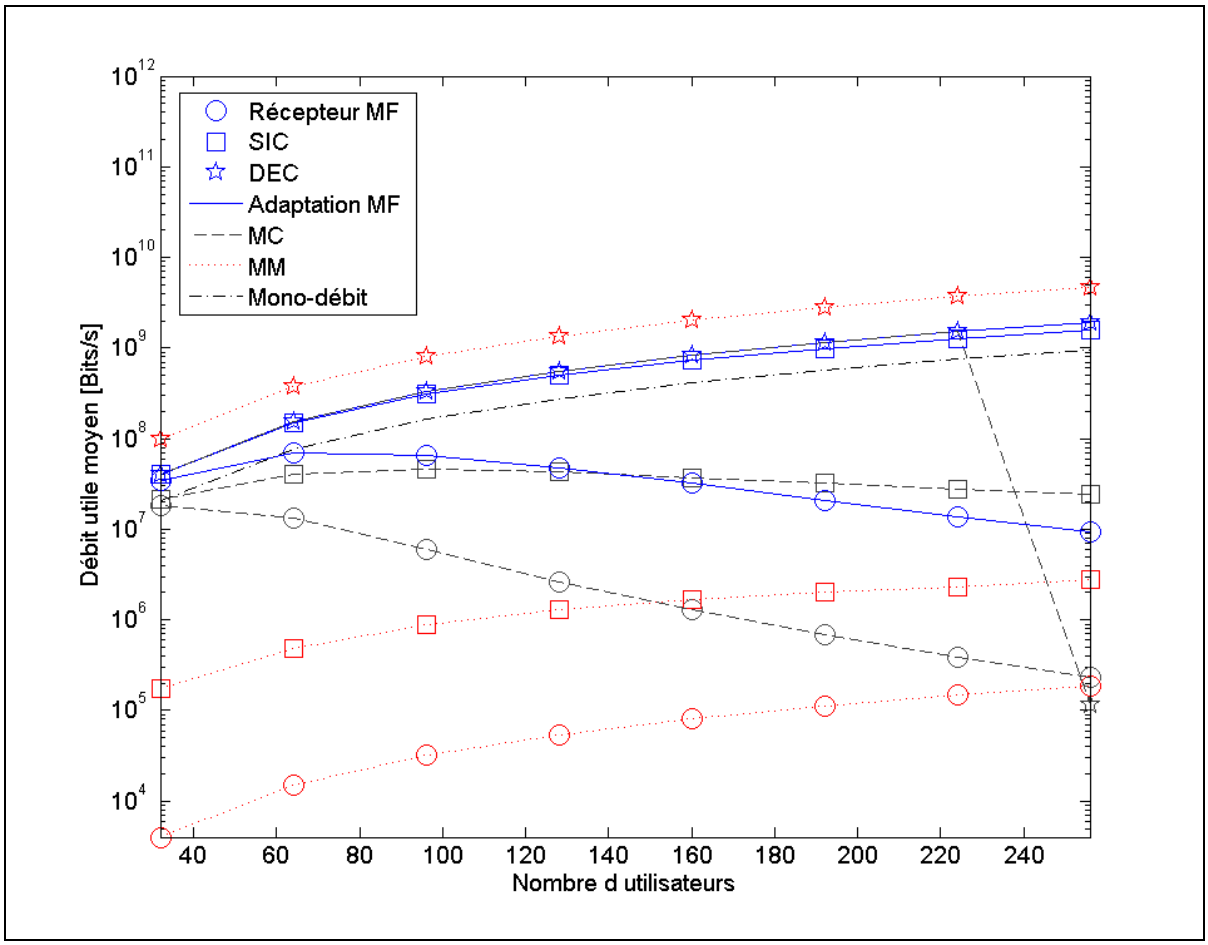

Figure 4.11.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.57143$

Tableaux 4.11.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.57143$

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) $\alpha = 0.57143$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	20,4	76,86	164,21	278,18	416,9	578,04	759,48	959,85
MF	34,53	69,86	65,96	48,09	32,15	21,01	13,8	9,21
SIC	40,61	149,38	307,46	501,68	728,81	988,13	1279,88	1604,46
DEC	40,79	153,72	328,42	556,35	833,81	1156,08	1518,96	1919,7

a) Multi-facteurs d'étalement

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s) $\alpha = 0.57143$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	20,4	76,86	164,21	278,18	416,9	578,04	759,48	959,85
MF	18,43	13,2	5,94	2,66	1,29	0,68	0,39	0,24
SIC	21,51	41,08	45,64	42,57	37,4	32,23	27,71	23,95
DEC	40,79	153,72	328,42	556,35	833,81	1156,08	1518,95	0,11

b) Codes multiples

Débit utile agrégé multi-modulation (Mbits/s) $\alpha = 0.57143$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	20,4	76,86	164,21	278,18	416,9	578,04	759,48	959,85
MF	0	0,01	0,03	0,05	0,08	0,11	0,15	0,19
SIC	0,17	0,49	0,88	1,28	1,69	2,04	2,34	2,75
DEC	99,59	375,3	801,81	1358,29	2035,67	2822,47	3708,39	4686,78

c) Modulations multiples

Tableaux 4.11.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.57143$

Taux de réception de paquets multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) $\alpha = 0.57143$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	43,52	43,47	43,44	43,41	43,41	43,4	43,37	43,35
MF	73,67	39,51	17,45	7,5	3,35	1,58	0,79	0,42
SIC	86,65	84,48	81,33	78,28	75,87	74,18	73,07	72,44
DEC	87,03	86,95	86,88	86,83	86,82	86,8	86,74	86,7

a) Multi-facteurs d'étalement

Taux de réception de paquets multi-codes (Mbits/s) $\alpha = 0.57143$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	43,52	43,47	43,44	43,41	43,41	43,4	43,37	43,35
MF	39,32	7,47	1,57	0,41	0,13	0,05	0,02	0,01
SIC	45,91	23,24	12,08	6,64	3,89	2,42	1,58	1,08
DEC	87,03	86,95	86,88	86,83	86,82	86,8	86,74	0,01

b) Codes multiples

Taux de réception de paquets multi- modulation (Mbits/s) $\alpha = 0.57143$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	43,52	43,47	43,44	43,41	43,41	43,4	43,37	43,35
MF	0	0	0	0	0	0	0	0
SIC	0,16	0,13	0,11	0,1	0,08	0,07	0,06	0,07
DEC	87,3	87,21	87,15	87,09	87,09	87,07	87	86,96

c) Modulations multiples

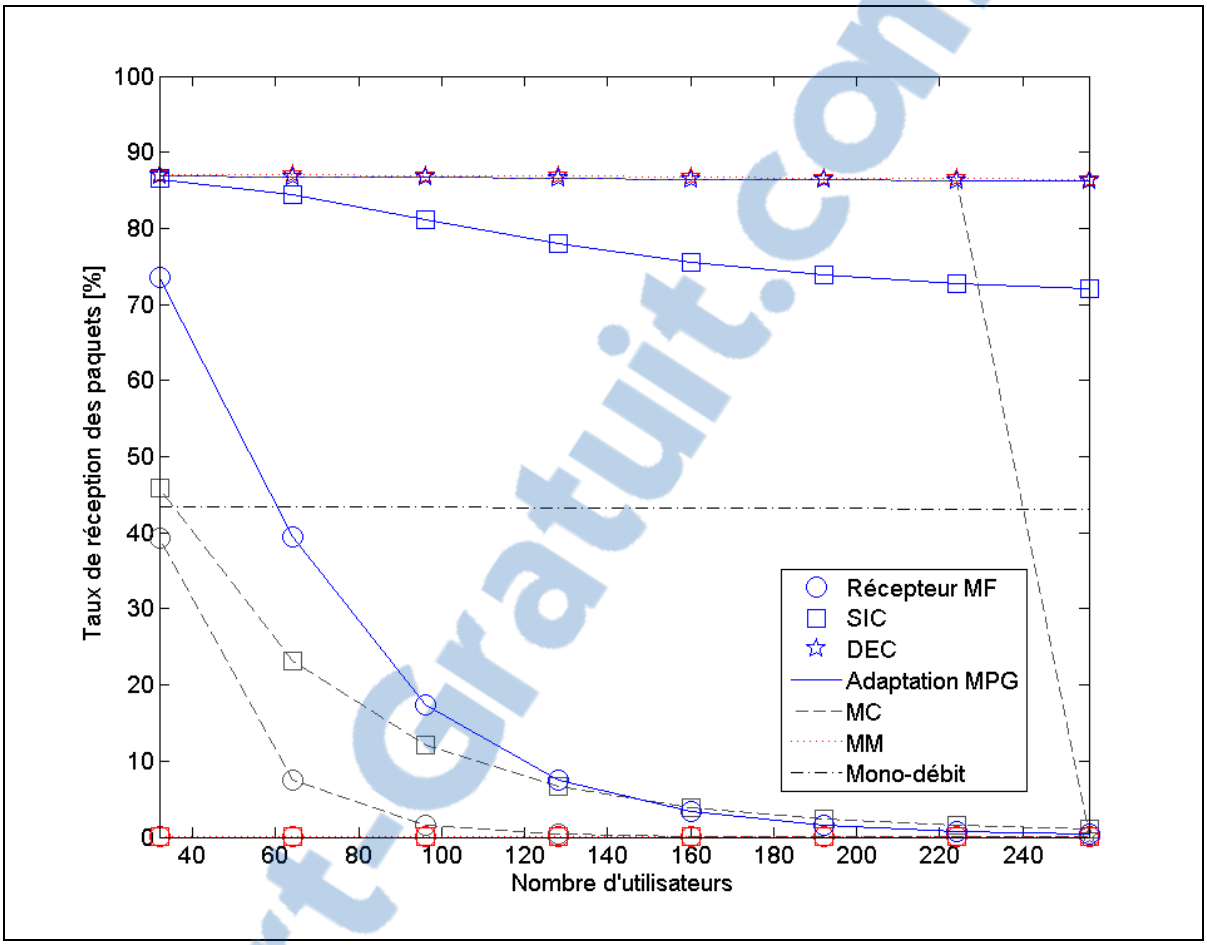

Figure 4.12.a Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.4$

Rapport-Gratuit.com

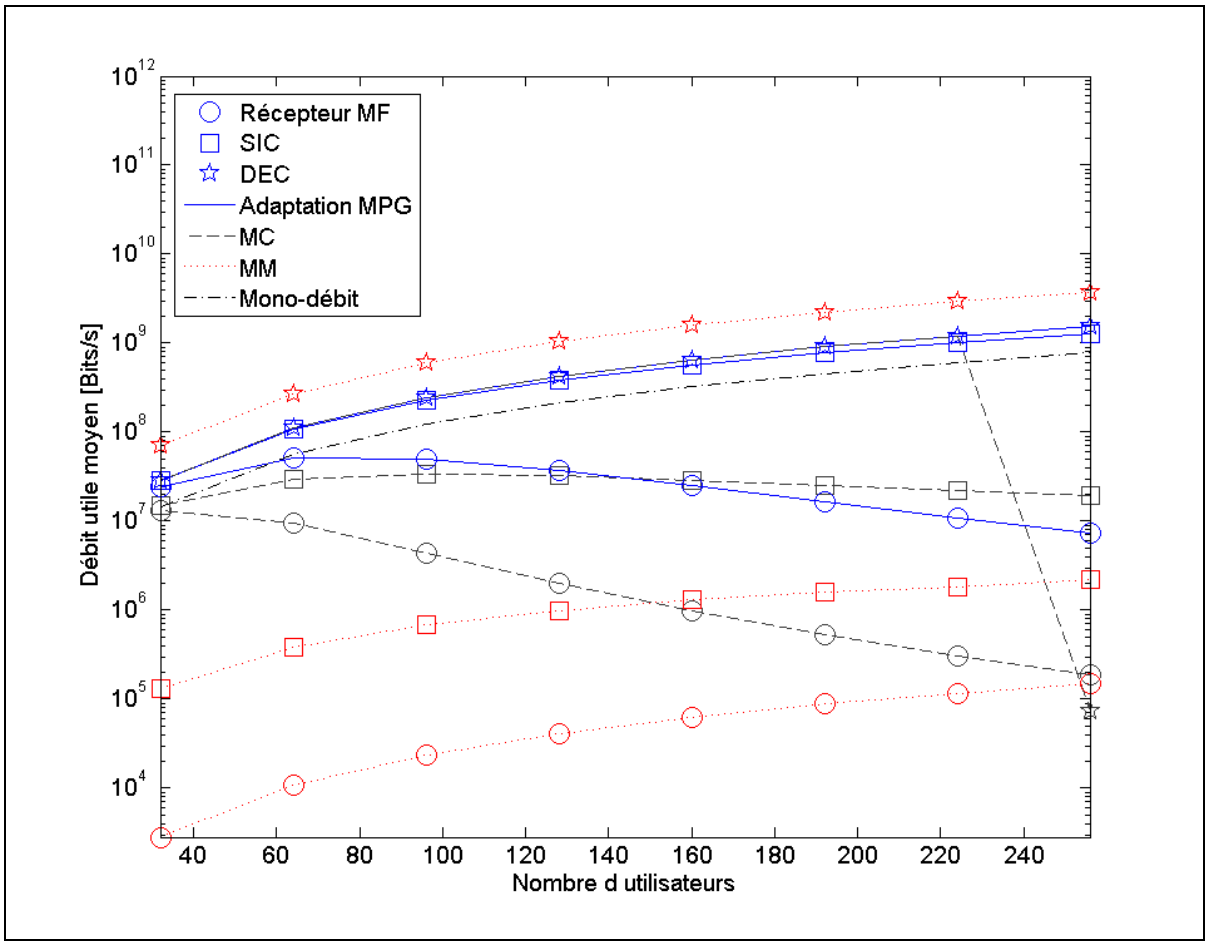

Figure 4.12.b Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.4$

Tableaux 4.12.a Débit utile agrégé, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.4$

Débit utile agrégé multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) $\alpha = 0.4$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	14,37	55,87	122,25	211,96	323,05	454,06	603,96	771,98
MF	24,33	50,77	49,09	36,63	24,9	16,5	10,97	7,41
SIC	28,62	108,57	228,88	382,23	564,65	776,11	1017,76	1290,38
DEC	28,74	111,74	244,5	423,91	646,09	908,11	1207,91	1543,96

a) Multi-facteurs d'étalement

Débit utile agrégé multi-codes (Mbits/s) $\alpha = 0.4$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	14,37	55,87	122,25	211,96	323,05	454,06	603,96	771,98
MF	12,98	9,59	4,42	2,02	1	0,53	0,31	0,19
SIC	15,16	29,86	33,98	32,43	28,98	25,31	22,03	19,25
DEC	28,744	111,73	244,50	423,91	646,09	908,11	1207,91	0,074

b) Codes multiples

Débit utile agrégé multi-modulation (Mbits/s) $\alpha = 0.4$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	14,37	55,87	122,25	211,96	323,05	454,06	603,96	771,98
MF	0	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09	0,12	0,15
SIC	0,13	0,39	0,69	0,98	1,3	1,58	1,85	2,22
DEC	70,18	272,79	596,91	1034,94	1577,37	2217,07	2949,01	3769,43

c) Modulations multiples

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableaux 4.12.b Taux de réception, en fonction du nombre d'utilisateurs connectés, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.4$

Taux de réception de paquets multi-facteurs d'étalement (Mbits/s) $\alpha = 0.4$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	43,44	43,41	43,34	43,29	43,24	43,2	43,16	43,11
MF	73,53	39,44	17,4	7,48	3,33	1,57	0,78	0,41
SIC	86,5	84,35	81,14	78,08	75,6	73,85	72,73	72,06
DEC	86,88	86,81	86,68	86,59	86,49	86,41	86,31	86,22

a) Multi-facteurs d'étalement

Taux de réception de paquets multi-codes (Mbits/s) $\alpha = 0.4$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	43,44	43,41	43,34	43,29	43,24	43,2	43,16	43,11
MF	39,24	7,45	1,57	0,41	0,13	0,05	0,02	0,01
SIC	45,82	23,2	12,05	6,62	3,88	2,41	1,57	1,08
DEC	86,88	86,81	86,68	86,59	86,49	86,41	86,31	0

b) Codes multiples

Taux de réception de paquets multi-modulation (Mbits/s) $\alpha = 0.4$								
	Nombre d'utilisateurs							
Récepteurs	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
DEC SR	43,44	43,41	43,34	43,29	43,24	43,2	43,16	43,11
MF	0	0	0	0	0	0	0	0
SIC	0,16	0,13	0,12	0,1	0,08	0,07	0,06	0,06
DEC	87,13	87,05	86,91	86,82	86,72	86,64	86,55	86,46

c) Modulations multiples

4.2.4 Résumé canal multi-trajets mobile-à-mobile

Lorsque l'on transmet dans un canal mobile-à-mobile, le transmetteur multi-facteurs d'étalement donne de meilleurs résultats pour des slots de 1ms de longueur. Les autres transmetteurs assurent une réception de moins bonne qualité.

4.3 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre nous avons testé le système conçu, en présence de mobilité et d'augmentation du nombre d'utilisateurs, sachant que davantage d'utilisateurs entraînent plus d'interférences multi-utilisateurs dans le système. Différents scénarios de mobilités ont été simulés en augmentant le nombre d'utilisateurs connectés au nœud central, afin de déduire le comportement du système et ses performances. Les quatre méthodes de réception de la plateforme ont été considérées pour chaque technique de transmission multi-débits. Les résultats montrent que pour de grandes quantités d'utilisateurs, la plateforme doit détecter les utilisateurs avec le décorrélateur, le MMSE et quelques fois le SIC pour avoir une bonne qualité de réception de paquets. Le transmetteur multi-facteurs d'étalement est le transmetteur le plus résistant aux interférences d'accès multiples. Pour le premier degré de mobilité, des durées de slots de 8ms ont été utilisées, c'est-à-dire pour les canaux à trajet unique et multi-trajets fixe-mobile. Dans le canal multi-trajets mobile-à-mobile, des slots de durée 1ms sont requis pour atteindre un niveau de performance suffisant vis-à-vis des services supportés.

CHAPITRE 5

EVALUATION DES PERFORMANCES DANS LES CANAUX LOGIQUES ET QUALITÉ DE SERVICE

5.1 Introduction

Dans ce chapitre nous donnons les fondements du contrôle d'admission des utilisateurs de la couche d'accès radio. Quelques modèles d'ordonnancement avec une garantie de QoS sont donnés afin de situer le cadre de fonctionnement de l'accès des utilisateurs au niveau de cette couche du réseau. Nous simulons ensuite deux algorithmes d'ordonnancement, que nous comparons en présence de mobilité et dans le même contexte d'augmentation d'utilisateurs que le chapitre précédent. Ce sont les algorithmes d'ordonnancement mono-débit sans QoSs et avec une garantie de QoS. Les résultats de simulation de ces algorithmes sont présentés dans un premier temps, en fonction de la durée du slot de données. Dans un deuxième temps, ils sont présentés en fonction de l'augmentation du nombre d'utilisateurs pour des nœuds mobiles à différentes vitesses selon les deux scénarios de mobilité.

Le chapitre est organisé comme suit : la section 5.1 fait une mise en contexte, la section 5.2 décrit les approches d'ordonnancement en présence de critère de qualité de service. La section 5.3 donne les résultats pratiques. La section 5.4 tire les conclusions de l'évaluation des performances dans les canaux d'accès.

5.2 Environnement de la couche d’accès radio

5.2.1 Canaux logiques et méthodes d'admission des utilisateurs dans la couche

Au niveau de la couche d’accès radio du protocole MUD-MAC, nous avons deux types de canaux logiques comme spécifiés dans la section 2.3.1.1 :

- le canal commun pour la connectivité des utilisateurs
- les canaux dédiés à chaque utilisateur pour la transmission de données.

Chaque canal d'accès se caractérise par son débit minimal requis, son taux de perte de paquets maximum tolérable PER ou le taux réception minimal et son délai maximal admissible.

Il existe, deux méthodes générales d'accès des utilisateurs au niveau de la couche d'accès. La première est la méthode *d'accès statique non itérative*. Elle consiste à admettre les utilisateurs qui ont la qualité de service demandée. La seconde est la méthode *d'accès dynamique itérative*. Cette méthode est plus complexe. Elle admet d'abord les utilisateurs qui ont la qualité de service demandée. Puis une négociation entre les transmetteurs et le récepteur se fait pour allouer, aux utilisateurs qui souhaitent relâcher leur contrainte de qualité de servicedes connexions. Le dernier groupe d'utilisateurs qui ne peuvent pas relâcher leur contrainte est rejeté. Dans ce travail nous utilisons la méthode statique d'accès. La seconde est plus complexe et sort du cadre de cette étude.

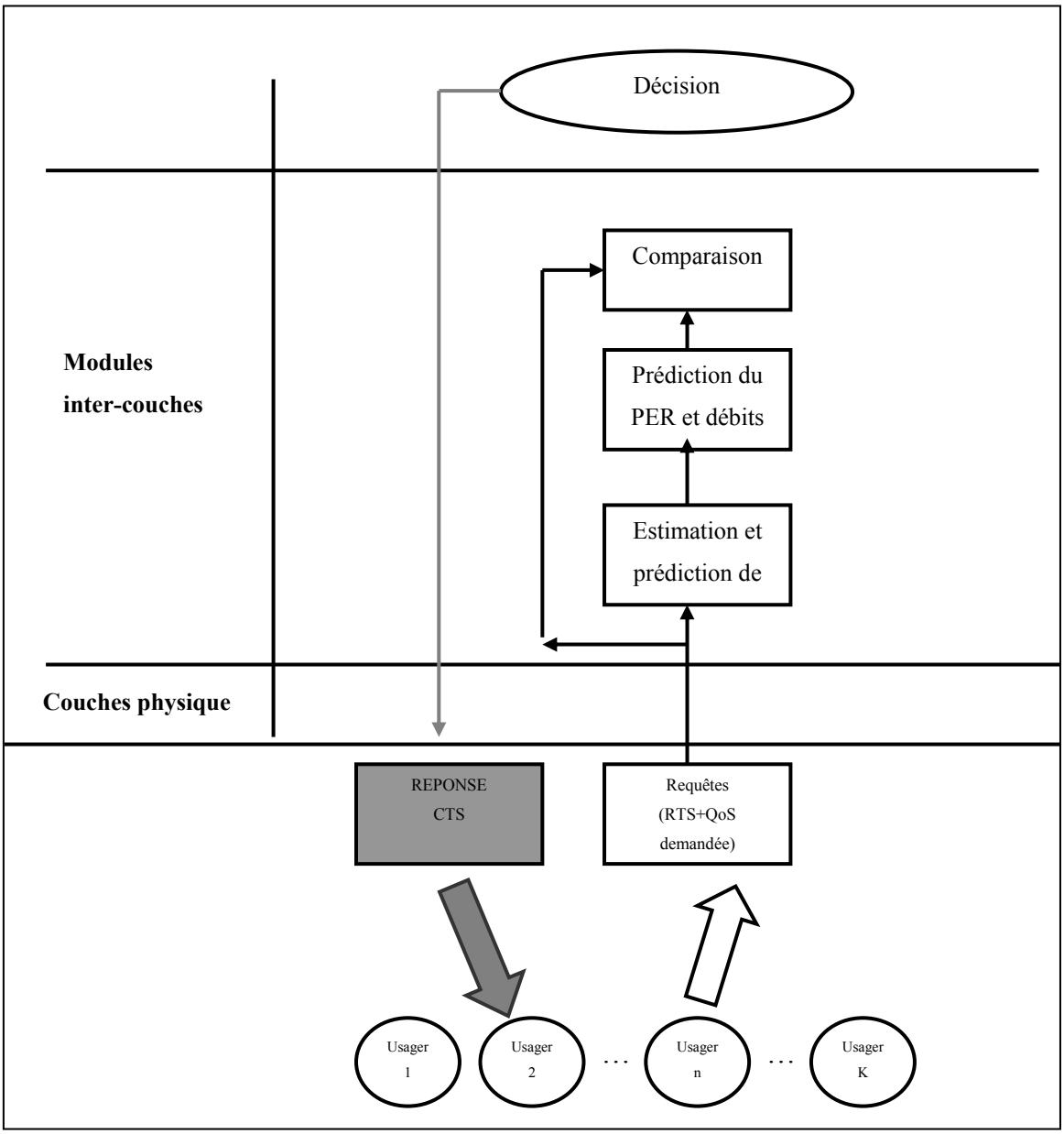

Figure 5.1 Méthode d'accès statique non itérative

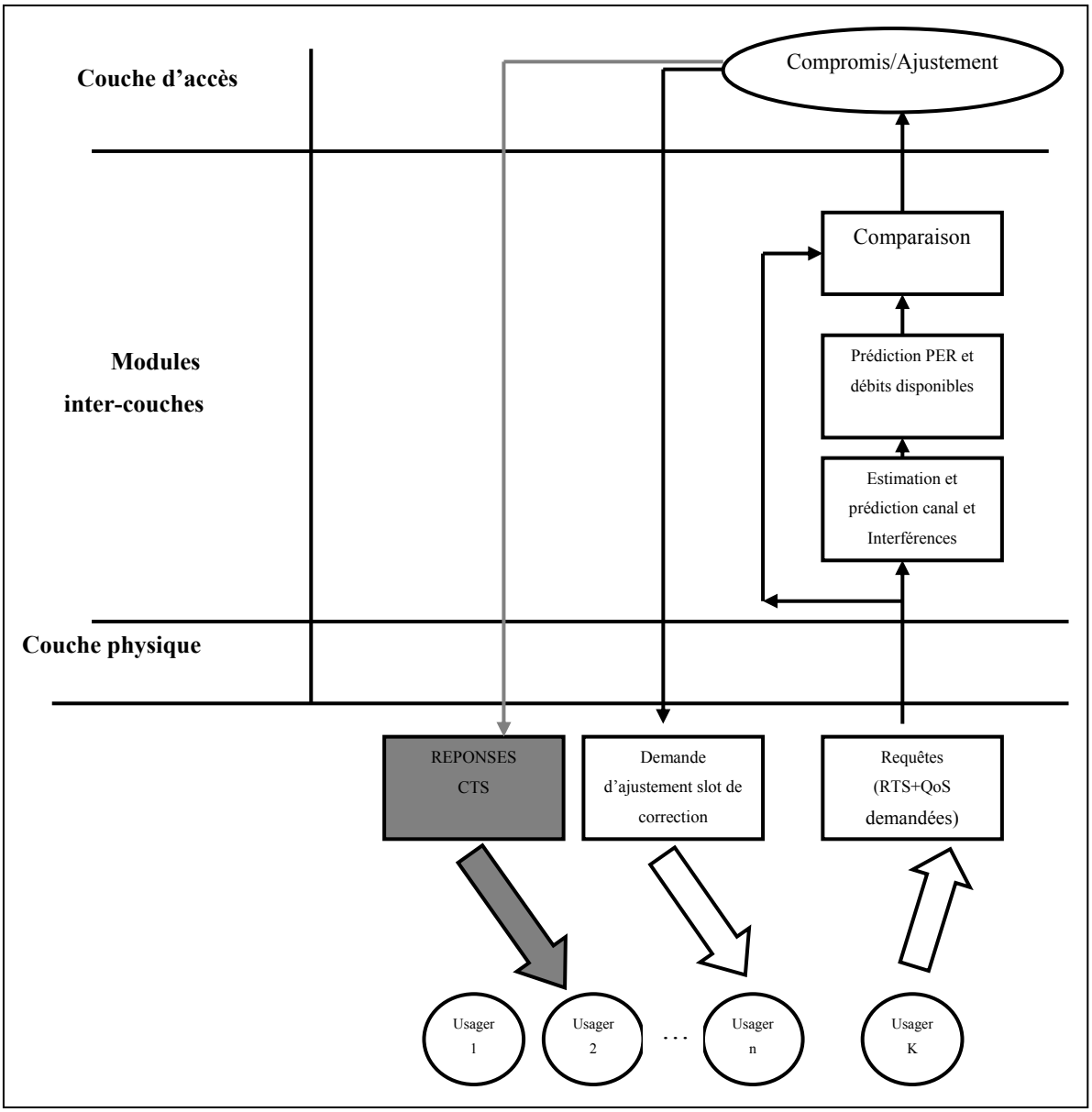

Figure 5.2 Méthode d'accès dynamique itérative

5.2.2 Algorithmes d'ordonnancement et capacité d'utilisateurs au nœud récepteur

L'algorithme d'ordonnancement permet de trouver le nombre d'utilisateurs supportables par récepteurs qui assure les qualités de service demandées. Le problème posé par l'utilisation de ces algorithmes est donc de trouver le nombre d'utilisateurs qui peuvent être reçus dans les

bonnes conditions de QoS vu les performances offertes par les quatre méthodes de réception de la plateforme (MF, SIC, DEC, MMSE) et les trois techniques de transmissions à débits variables étudiés (MPG, MC, MM). Trois algorithmes d'accès sont décrits ci-dessous et permettent de réaliser cet objectif :

- l'algorithme d'accès avec une garantie de qualité de service ;
- l'algorithme d'accès mono-débit sans QoS ;
- l'algorithme d'accès à détection multi-utilisateurs utilisant le contrôle de puissance.

L'algorithme avec une garantie de qualité de service utilisé, calcule "la capacité d'utilisateur" ou nombre d'utilisateurs admissibles en prédisant le taux de perte de paquets. Il est inspiré de l'algorithme d'ordonnancement dit "clairvoyant" de la référence (Aguiar et al., 2003). Cet algorithme calcule le taux de pertes de paquets et le compare au nombre d'erreurs corrigeables par le FEC (Forward Error Correction). Si le nombre d'erreurs corrigeables est inférieur au taux de perte de paquets calculé, le nœud transmet le paquet. Dans le cas contraire il attend le prochain slot de données. Pour les besoins de notre travail, nous avons adapté l'algorithme clairvoyant à la détection multi-utilisateurs. Pour cela, nous avons intégré une modification telle que l'on prédit les taux de pertes paquets disponibles dans les canaux de propagation, afin de faire une comparaison avec les requêtes de pertes de paquets PERs. Ces requêtes ont été préalablement envoyées par les utilisateurs au nœud central dans les paquets RTS de confirmation des connexions (section 2.3.1.2). Ainsi, ceux qui respectent les requêtes de PERs sont admis a transmettre leur paquets.

L'algorithme d'accès mono-débit sans QoS est mentionné à des fins de comparaisons. Cet algorithme n'utilise aucune information sur le canal et transmet les paquets de façon aveugle.

L'algorithme d'accès à détection multi-utilisateurs utilisant le contrôle de puissance et des codes aléatoires permet de calculer le nombre d'utilisateurs qui ont la QoS demandée. L'algorithme de la référence (Sampath, P. S. et J., 1995) le fait en utilisant le récepteur à filtre adapté conventionnel. Les travaux sur les détecteurs multi-utilisateurs linéaires, sont plus

Rapport-Gratuit.com

récents (Evans et David, 2000). Le nombre d'utilisateurs admissibles par récepteur est calculé pour la transmission multi-débits comme suit. Dans le cas de K nœuds connectés avec un nœud récepteur, les données étant transmis sur n_c classes de débits, si chaque classe comporte K_{i_c} utilisateurs nous pouvons écrire :

- pour le récepteur à filtre adapté :

$$\sum_{i_c=1}^{n_c} \alpha_{i_c} \gamma_{i_c} \leq 1 \qquad i_c = 1,\ldots,n_c \tag{5.2}$$

où α_{i_c} est défini tel que $\alpha_{i_c} = \frac{K_{i_c}}{G_{i_c}}$ dans le cas de la transmission multi-facteurs d'étalement, $\alpha_{i_c} = \frac{K_{i_c}.N^{cd}}{G_0}$ dans le cas de la transmission à codes multiples, $\alpha_{i_c} = \frac{K_{i_c}}{G_0}$ dans le cas de la transmission taille de constellation variable.

Les utilisateurs doivent transmettre avec les puissances suivantes pour être admissibles :

$$P_{i_c} \leq \frac{\gamma_{i_c}(N_0 W)}{\left(1-\alpha_{i_c}\gamma_{i_c}\right)}, \tag{5.3}$$

- pour le détecteur décorrélateur :

$$\sum_{i_c=1}^{n_c} \alpha_{i_c} \leq 1 \tag{5.4}$$

Les utilisateurs dans ce cas doivent transmettre avec les puissances suivantes :

$$P_{i_c} \leq \frac{\gamma_{i_c}(N_0 W)}{\left(1-\alpha_{i_c}\right)} \tag{5.5}$$

- pour le détecteur à erreur quadratique moyenne minimale :

$$\sum_{i_c=1}^{n_c} \alpha_{i_c} \frac{\gamma_{i_c}}{1+\gamma_{i_c}} \leq 1 \tag{5.6}$$

Les puissances de transmission sont données par :

$$P_{i_c} \leq \frac{\gamma_{i_c}(N_0 W)}{\left(1-\alpha_{i_c} \frac{\gamma_{i_c}}{1+\gamma_{i_c}}\right)} \tag{5.7}$$

5.3 Performances de l'accès des utilisateurs et qualité de service

5.3.1 Canal à trajet unique

Seuil de transmission à 20dB et Pm=0.63mW

Dans cette section nous comparons la transmission avec une garantie de taux de perte de paquets de 10^{-3}, à la transmission mono-débit sans QoS. Les deux types de transmissions sont comparés pour une adaptation de débit avec la prédiction et avec l'information parfaite du canal. Les résultats sont illustrés par les figures 5.3.a et 5.3.b, pour un scénario de 30 utilisateurs mobile à 10, 20m/s. Les simulations ont été menées sur des transmissions de 500 trames. Contrairement aux deux chapitres précédents, le taux de réception de paquets et le débit utile sont ramenés ici à l'échelle d'un utilisateur, en divisant la valeur globale au nœud

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

récepteur par le nombre d'utilisateurs. Les simulations montrent un débit utile très faible (autour de 1Mbits/s) à 10m/s pour les transmissions mono-débit sans QoS. Avec une prédiction le débit est réduit de 45% à 35% par rapport au cas avec l'information parfaite (autour de 10Mbits/s). Le taux de réception de paquets de la transmission avec une garantie de qualité de service utilisant la prédiction de canal est d'environ 10% supérieur à celui de la transmission mono-débit sans QoS. Une diminution de performance apparaît clairement lorsque nous comparons les résultats à 10m/s et ceux de 20m/s.

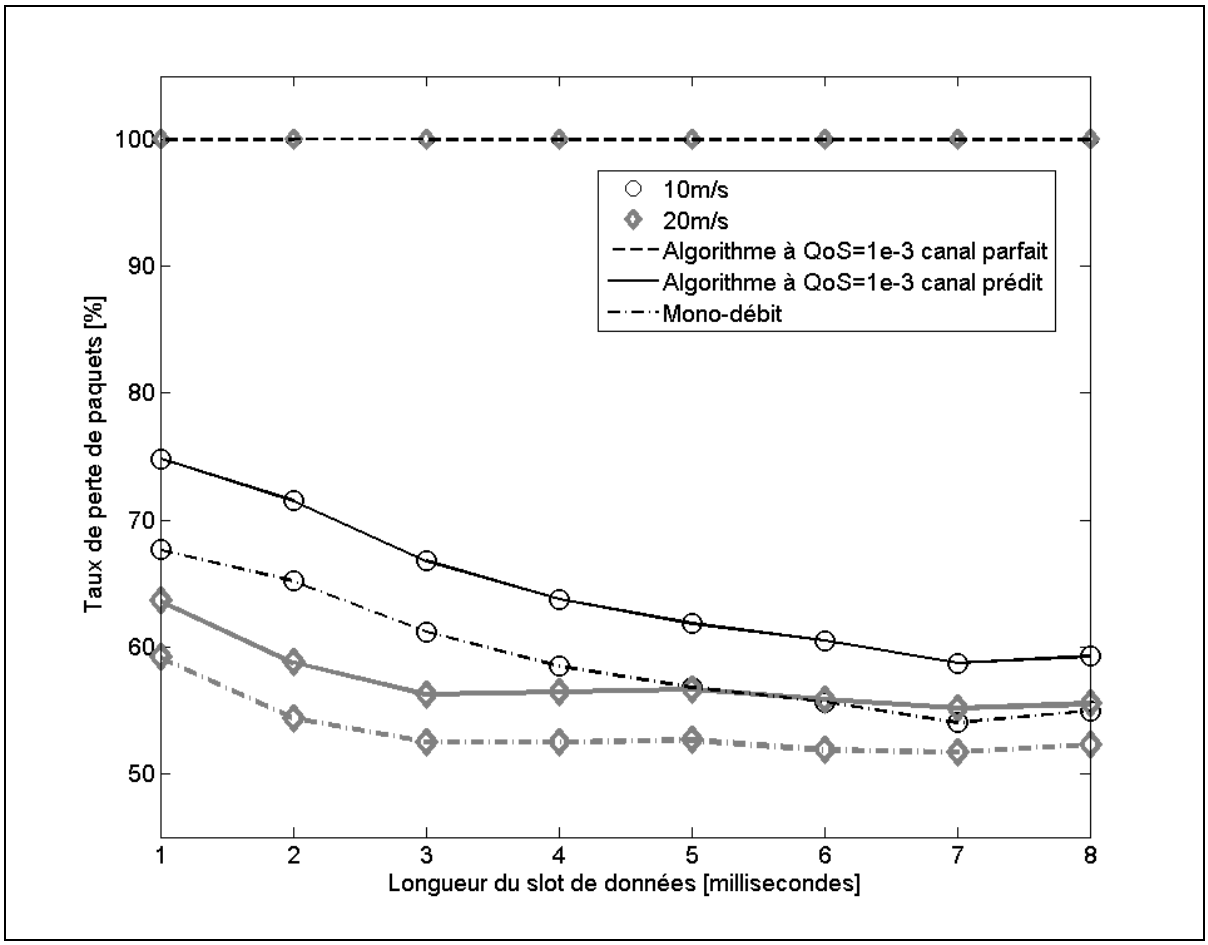

Figure 5.3.a Taux de réception des paquets des algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajet unique v=10 et 20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

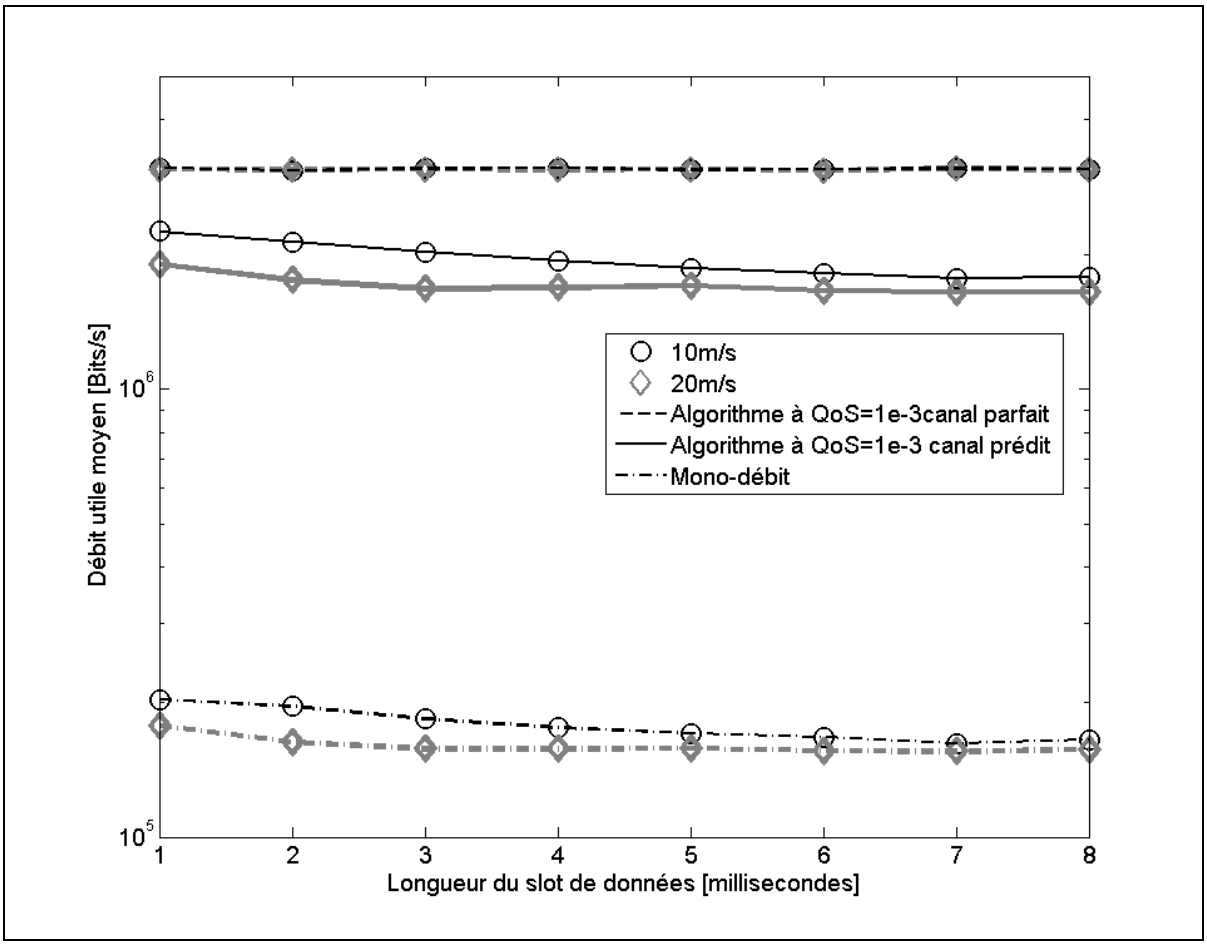

Figure 5.3.b Débit utile agrégé des algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajet unique v=10 et 20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Tableaux 5.1 Performances des algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajet unique v=10 et 20m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Taux de réception des paquets ordonnancement (%) 10m/s								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99
Prédiction	63,37	58,76	56,59	56,22	56,22	56,71	55,32	55,32
Mono-débit	59,05	54,44	52,88	52,21	52,17	52,61	51,81	52,09

(a)

Débit utile agrégé ordonnancement (Mbits/s) 10m/s								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	3.090	3.103	3.090	3.093	3.098	3.067	3.099	3.079
Prédiction	1.889	1.764	1.691	1.679	1.690	1.682	1.650	1.642
Mono-débit	0.177	0.163	0.159	0.157	0.157	0.158	0.155	0.156

(b)

Taux de réception des paquets ordonnancement(%) 20m/s								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99
Prédiction	63,37	58,76	56,59	56,22	56,22	56,71	55,32	55,32
Mono-débit	59,05	54,44	52,88	52,21	52,17	52,61	51,81	52,09

(c)

Débit utile agrégé ordonnancement (Mbits/s) 20m/s								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	3.090	3.103	3.090	3.093	3.098	3.067	3.099	3.079
Prédiction	1.889	1.764	1.691	1.679	1.690	1.682	1.650	1.642
Mono-débit	0.177	0.163	0.159	0.157	0.157	0.158	0.155	0.156

(d)

Sur les figures 5.4.a et 5.4.b nous présentons les performances de la stratégie de garantie de qualité de service lorsque la mobilité et les interférences d'accès multiples augmentent. Des vitesses de 20, 35, 50m/s sont considérées, tandis que, le nombre d'utilisateurs qui matérialisent les interférences d'accès multiples varie de 32 à 256 utilisateurs. Le nombre très élevé d'utilisateurs permet de faire de bonnes moyennes, les simulations sont menées sur la transmission de 150 trames. Le rapport signal sur bruit utilisé est de 20dB. Le taux de réception de paquets chute lorsque le nombre d'utilisateurs supportés par le système augmente pour une vitesse donnée et le débit utile moyen augmente. Pour le même nombre d'utilisateurs, lorsque la vitesse augmente les performances du système se dégradent. Cela est essentiellement dû à l'augmentation de la fréquence des évanouissements qui apparaissent. Le taux de réception ici reste moyen et l'ordonnanceur assure un bon débit utile agrégé. Notons qu'en dehors du scénario mobile-à-mobile où nous avons adopté des slots de 1ms de longueur, le système fonctionne avec des slots de données de 8ms lorsque nous simulons l'augmentation d'interférences.

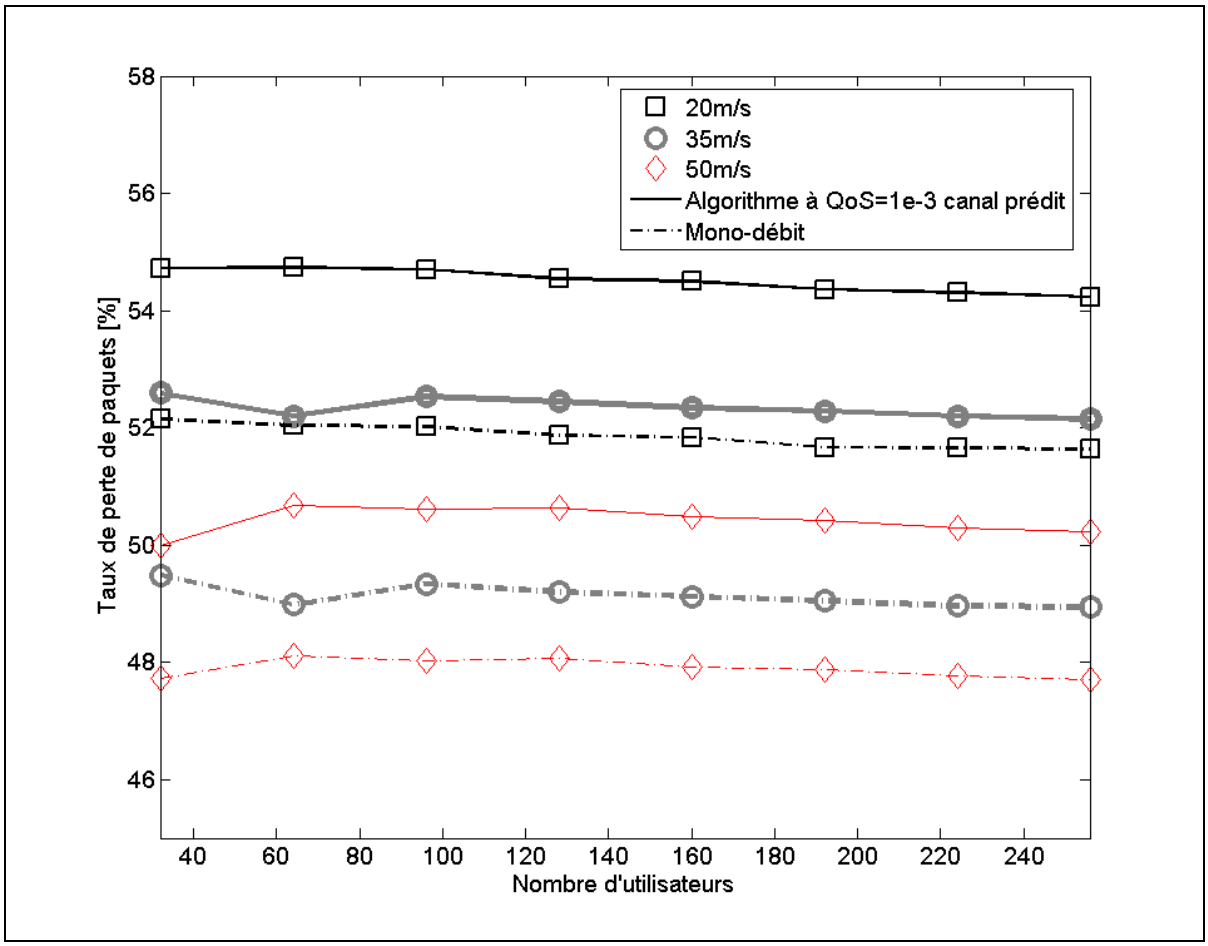

Figure 5.4.a Taux de réception des paquets des algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

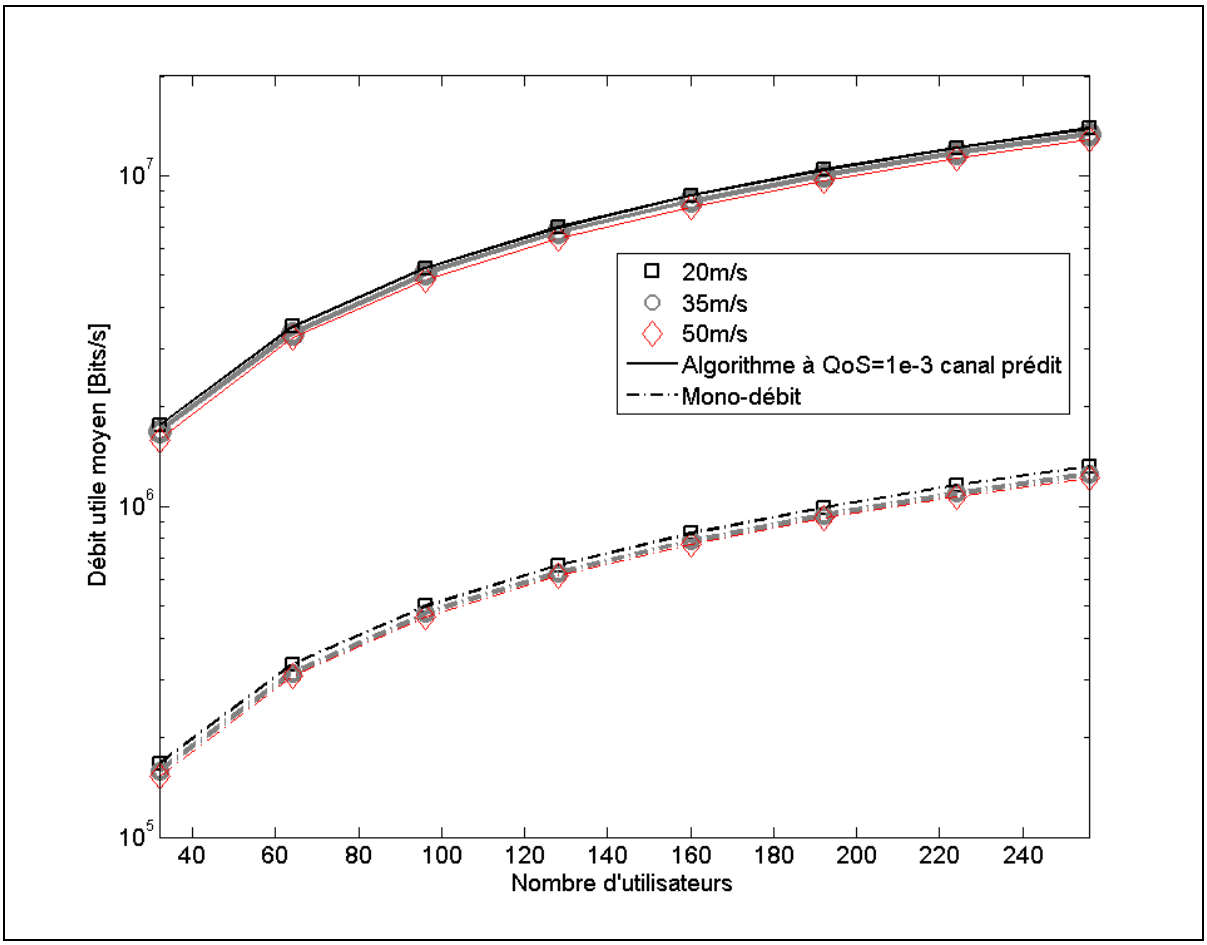

Figure 5.4.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Tableaux 5.2 Performances des algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 20dB, Pm=0.63mW

Taux de réception des paquets ordonnancement (%)								
Vitesse du mobile	**Nombre d'utilisateurs**							
(m/s)	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
20m/s	52,44	54,38	55,24	54,94	54,72	54,59	54,60	54,53
35m/s	52,68	52,77	53,30	53,14	52,96	53,06	52,75	52,59
50m/s	49,91	51,72	51,40	50,76	50,37	50,20	50,14	50,17

a)

Débit utile agrégé ordonnancement (Mbits/s)								
Vitesse du mobile	**Nombre d'utilisateurs**							
(m/s)	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
20m/s	1.71	3.47	5.25	7.00	8.76	10.49	12.26	13.96
35m/s	1.70	3.40	5.13	6.82	8.49	10.17	11.84	13.51
50m/s	1.60	3.32	4.95	6.50	8.03	9.58	11.14	12.75

b)

Seuil de transmission de 25 dB et Pm=0.1mW

Dans un canal à trajet unique de 25 dB de seuil, les taux de réception de la transmission mono-débit sans QoS dépassent légèrement ceux de la transmission avec QoS fixe (Figure 5.5.a). Ce type de canal est très peu sévère, si bien que le taux de paquets reçus sans qualité de service dépasse celui des paquets reçus avec une qualité de service correspondant à 10^{-3} de perte. Par contre, le débit utile agrégé ramené à la durée de transmission totale est plus important lorsque l'on transmet avec une qualité de service fixe.

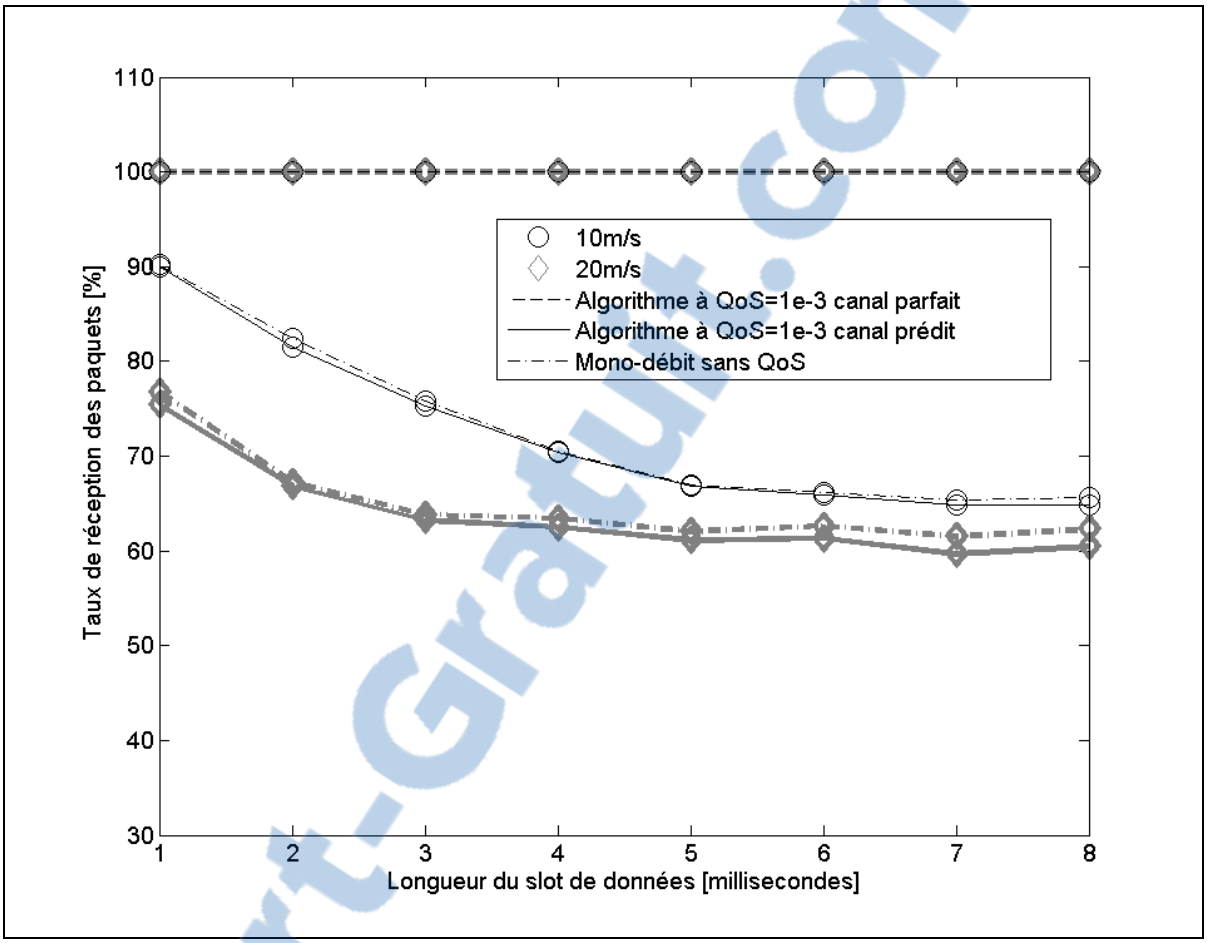

Figure 5.5.a Taux de réception des paquets, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 25dB, Pm=0.1mW

Rapport-Gratuit.com

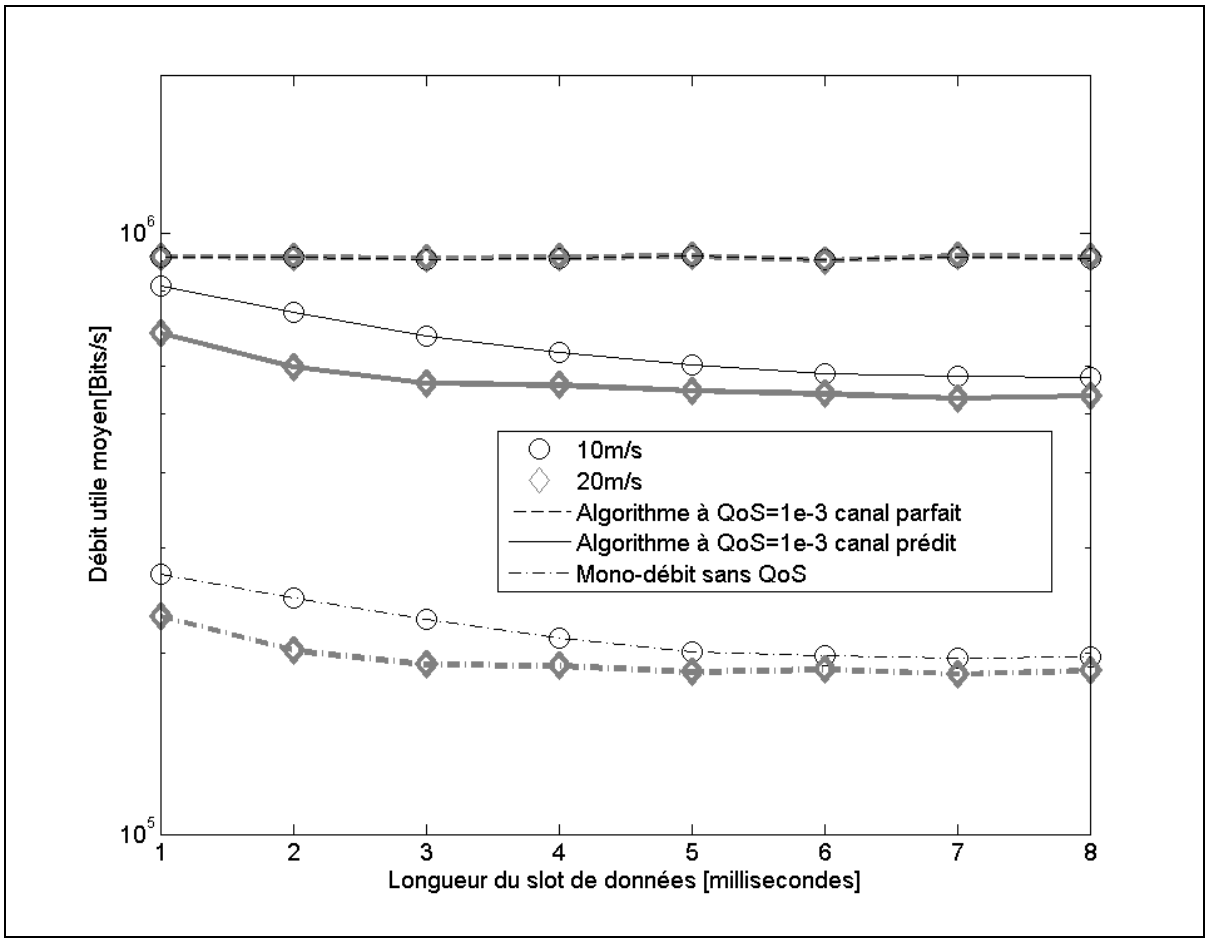

Figure 5.5.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 25dB, Pm=0.1mW

Tableaux 5.3 Performances des algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajet unique v=10 et 20m/s, seuil à 25dB, Pm=0.1mW

Taux de réception des paquets ordonnancement(%) 10m/s								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99
Prédiction	89,99	81,52	75,33	70,46	66,88	65,84	64,81	64,83
Mono-débit	90,17	82,42	75,88	70,54	67,01	66,16	65,36	65,6

(a)

Débit utile agrégé ordonnancement (Mbits/s) 10m/s								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	0,91	0,91	0,9	0,91	0,92	0,9	0,91	0,91
Prédiction	0,81	0,74	0,67	0,63	0,6	0,58	0,58	0,58
Mono-débit	0,27	0,25	0,23	0,21	0,2	0,2	0,2	0,2

(b)

Taux de réception des paquets ordonnancement(%) 20m/s								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99
Prédiction	75,37	66,82	63,25	62,5	61,08	61,32	59,63	60,43
Mono-débit	76,74	67,26	63,83	63,43	63,01	62,64	61,53	62,30

(c)

Débit utile agrégé ordonnancement (Mbits/s) 20m/s								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	0,91	0,91	0,91	0,91	0,92	0,9	0,91	0,91
Prédiction	0,68	0,6	0,56	0,56	0,55	0,54	0,53	0,54
Mono-débit	0,23	0,2	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,19

(d)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Lorsque la mobilité et les interférences d'accès multiples augmentent (Figures 5.6a et 5.6.b), le taux de réception est faible quand on utilise l'information de prédiction du canal. Le débit utile est légèrement plus élevé à cause du transmetteur multi-débits. Le taux de réception des paquets baisse à 20m/s, par contre le débit utile est plus élevé en fonction le nombre d'utilisateurs (Figure 5.6.b). Au seuil de transmission de 25dB et avec une puissance de transmission de 0.1mw certains nombres d'utilisateurs ne sont pas supportables. La capacité d'utilisateurs du système est limitée à environ 192 utilisateurs car à 224 et 256, le taux de réception des paquets est nul.

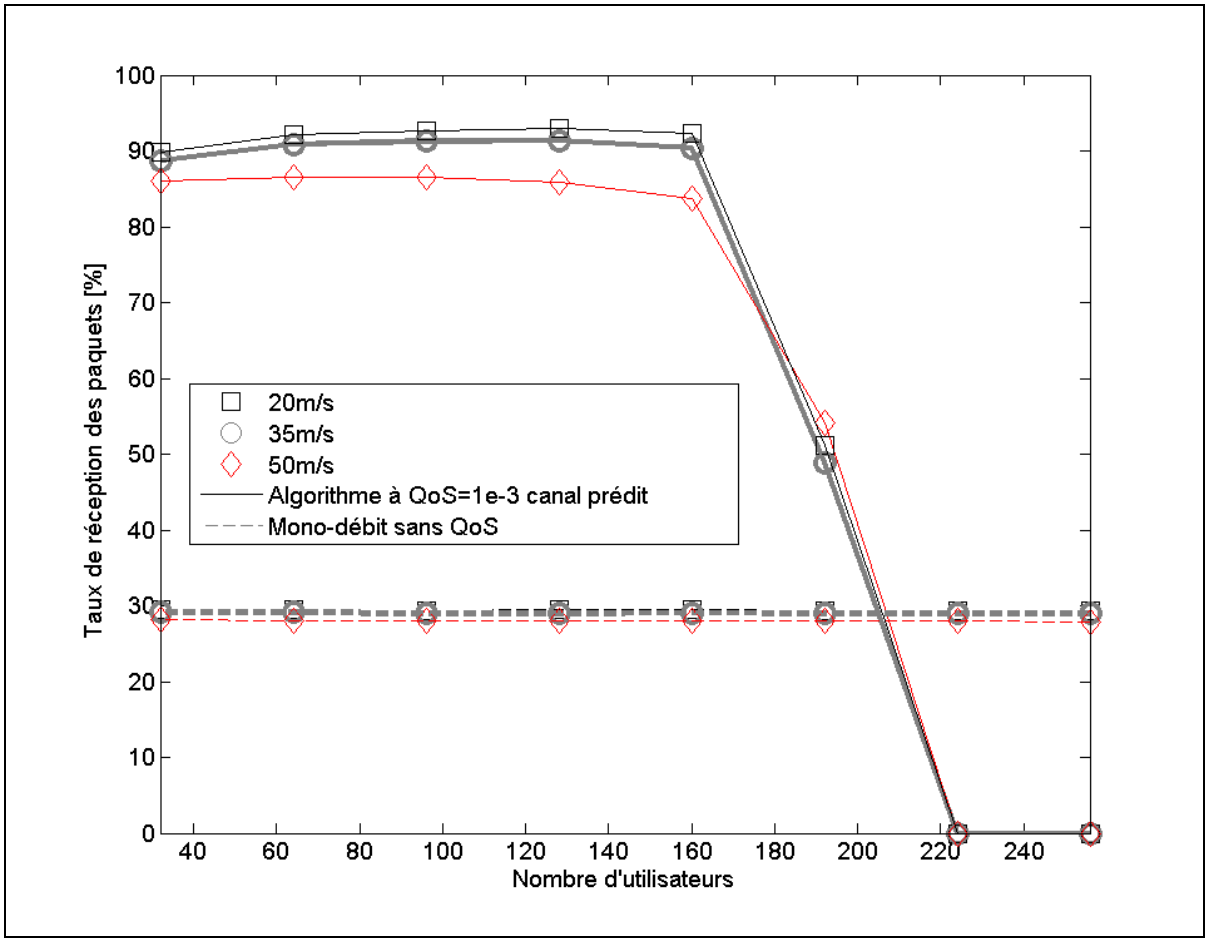

Figure 5.6.a Taux de réception des paquets, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 25dB, Pm=0.1mW

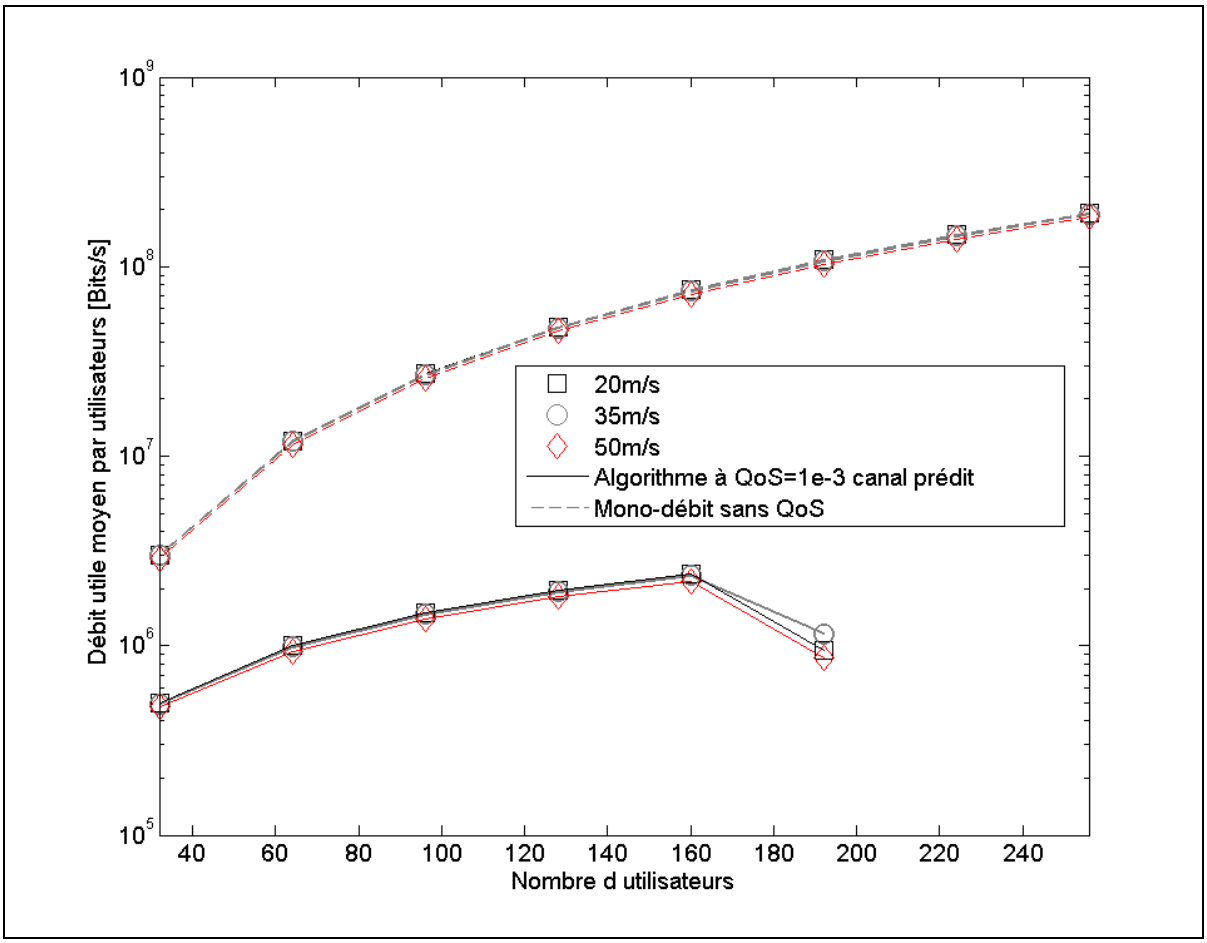

Figure 5.6.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique v=20, 35 et 50m/s, seuil à 25dB, Pm=0.1mW

Tableaux 5.4 Performances des algorithmes d'accès , en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajet unique, v=20, 35 et 50m/s, seuil à 25dB, Pm=0.1mW

Taux de réception des paquets ordonnancement(%)								
Vitesse du mobile	**Nombre d'utilisateurs**							
(m/s)	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
20m/s	89,78	92,1	92,7	93,04	92,31	51,21	0	0
35m/s	88,72	90,84	91,27	91,35	90,35	48,93	0	0
50m/s	86,09	86,54	86,47	85,79	83,71	54,16	0	0

a)

Débit utile agrégé ordonnancement (Mbits/s)								
Vitesse du mobile	**Nombre d'utilisateurs**							
(m/s)	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
20m/s	0,5	1	1,49	1,97	2,4	0,94	0	0
35m/s	0,49	0,98	1,46	1,93	2,35	1,15	0	0
50m/s	0,48	0,93	1,38	1,81	2,18	0,86	0	0

b)

5.3.2 Canal multi-trajets fixe-à-mobile

Dans le canal multi-trajets fixe-à-mobile, le taux de réception de la transmission mono-débit sans QoS est de 89,33 contre 86,53% quand les paquets sont envoyés avec une qualité de service fixe pour une durée du slot de données de 1ms (Figure 5.7.a). Pour des slots de longues durées, le taux de réception de la transmission mono-débit sans QoS chute de 44,66 à 11,17%, pour des nœuds à la vitesse de 10m/s alors que celui des transmissions à QoS fixe augmente de 88,76 à 96,07%. La transmission mono-débit sans QoS est très exposée aux erreurs introduites par les chutes de gain du canal dans les paquets. Lorsque les nœuds transmetteurs sont à 20m/s, une légère baisse de performances est notée. Ceci ne change pas l'allure des différentes courbes représentant les performances pour un scénario où les nœuds transmetteurs vont à 10m/s. Globalement le taux de réception avec QoS augmente de 88,72% à 97,05%. A 2ms de durée de slot et plus, le taux de réception de la transmission mono-débit

sans QoS chute de 45,57% à 11,39%. Pour des slots de 1ms de durée la transmission mono-débit sans QoS induit peu d'erreurs dans les paquets en passant à travers le canal et son taux de réception est de 91,14% contre 88,72% avec la QoS fixée. En termes de débit utile moyen ramené à la durée totale de transmission par utilisateurs, c'est l'algorithme de transmission avec la QoS fixée qui donne les meilleures valeurs, soit 11 à 12Mbits/s contre 2 à 0,3 Mbits/s.

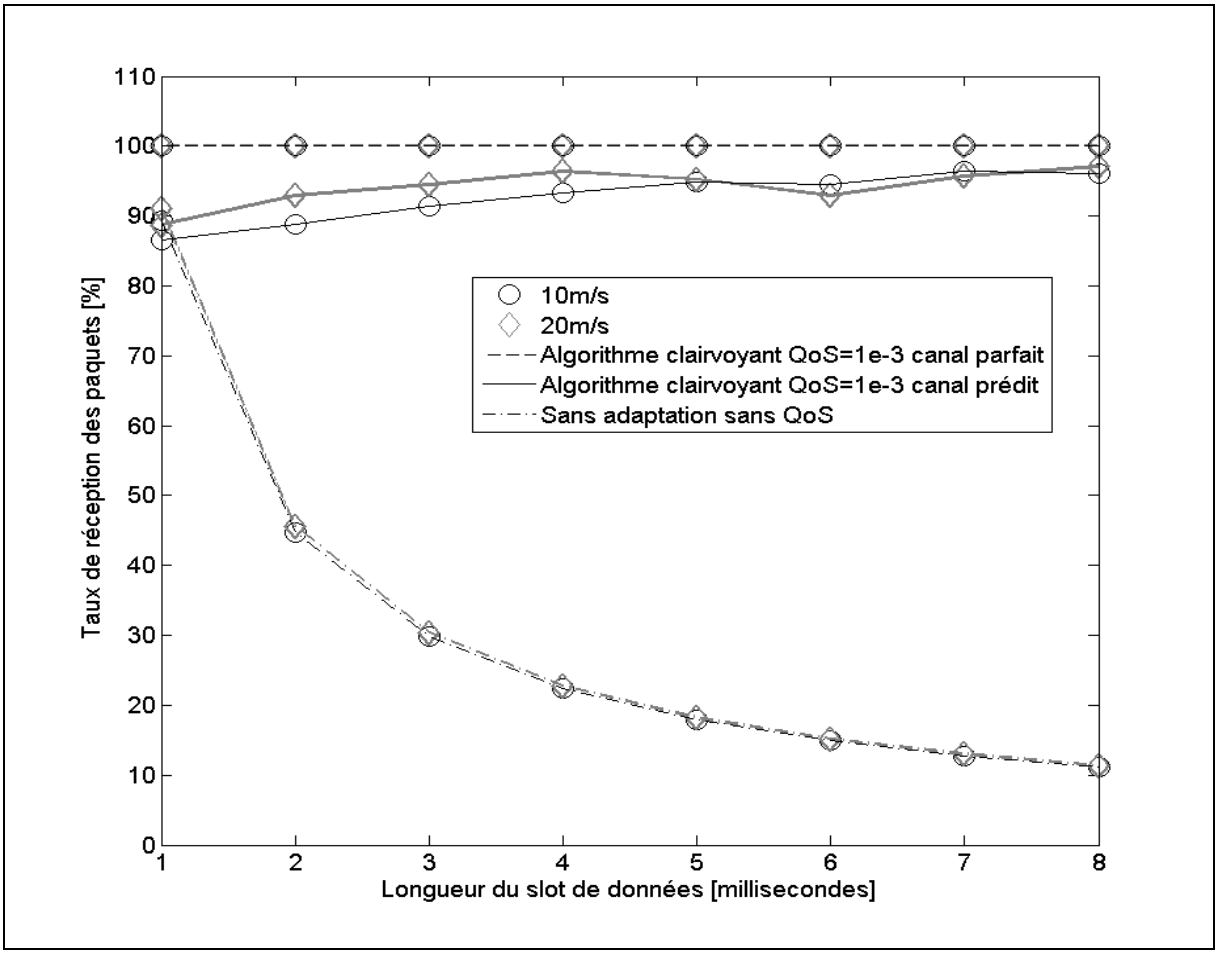

Figure 5.7.a Taux de réception des paquets, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20, 35 et 50m/s

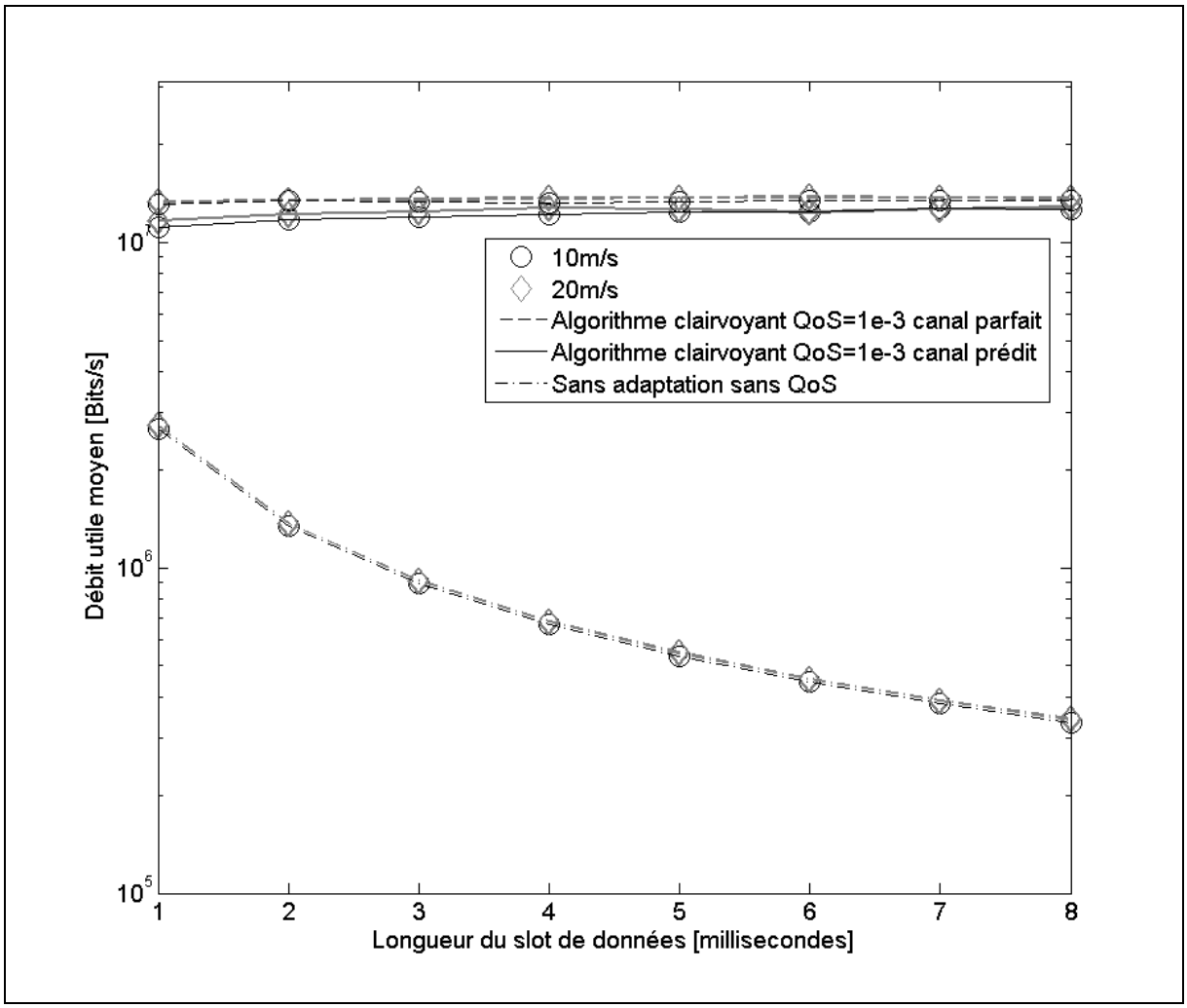

Figure 5.7.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20, 35 et 50m/s

Tableaux 5.5 Performances des algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=10 et 20m/s

Taux de réception des paquets ordonnancement(%) 10m/s								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données (m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	100	100	100	100	100	100	100	100
Prédiction	86,53	88,76	91,34	93,33	94,87	94,56	96,48	96,07
Mono-débit	89,33	44,66	29,78	22,33	17,87	14,89	12,76	11,17

(a)

Débit utile agrégé ordonnancement (Mbits/s) 10m/s								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données (m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	13,05	13,44	13,34	13,26	13,33	13,44	13,45	13,5
Prédiction	11,16	11,78	12	12,22	12,37	12,42	12,72	12,6
Mono-débit	2,68	1,34	0,89	0,67	0,54	0,45	0,38	0,33

(b)

Taux de réception des paquets ordonnancement(%) 20m/s								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données (m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	100	100	100	100	100	100	100	100
Prédiction	88,72	92,95	94,48	96,37	95,26	92,94	95,72	97,05
Mono-débit	91,14	45,57	30,38	22,78	18,22	15,19	13,02	11,39

(c)

Débit utile agrégé ordonnancement (Mbits/s) 20m/s								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données (m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	13,28	13,47	13,53	13,65	13,71	13,76	13,71	13,63
Prédiction	11,69	12,22	12,43	12,75	12,65	12,35	12,68	12,81
Mono-débit	2,73	1,37	0,91	0,68	0,55	0,46	0,39	0,34

(d)

En présence d'une augmentation de mobilité et d'interférences d'accès multiples, le taux de réception à 10m/s déjà élevé, augmente à 20m/s. La fréquence des évanouissements devient plus grande, ils sont combattus avec le récepteur à diversité. La capacité d'utilisateurs dans ce cas va jusqu'à 256 utilisateurs (Figure 5.8). Le taux de réception reste constant lorsque les interférences augmentent et le débit utile moyen par utilisateurs augmente en fonction de la charge.

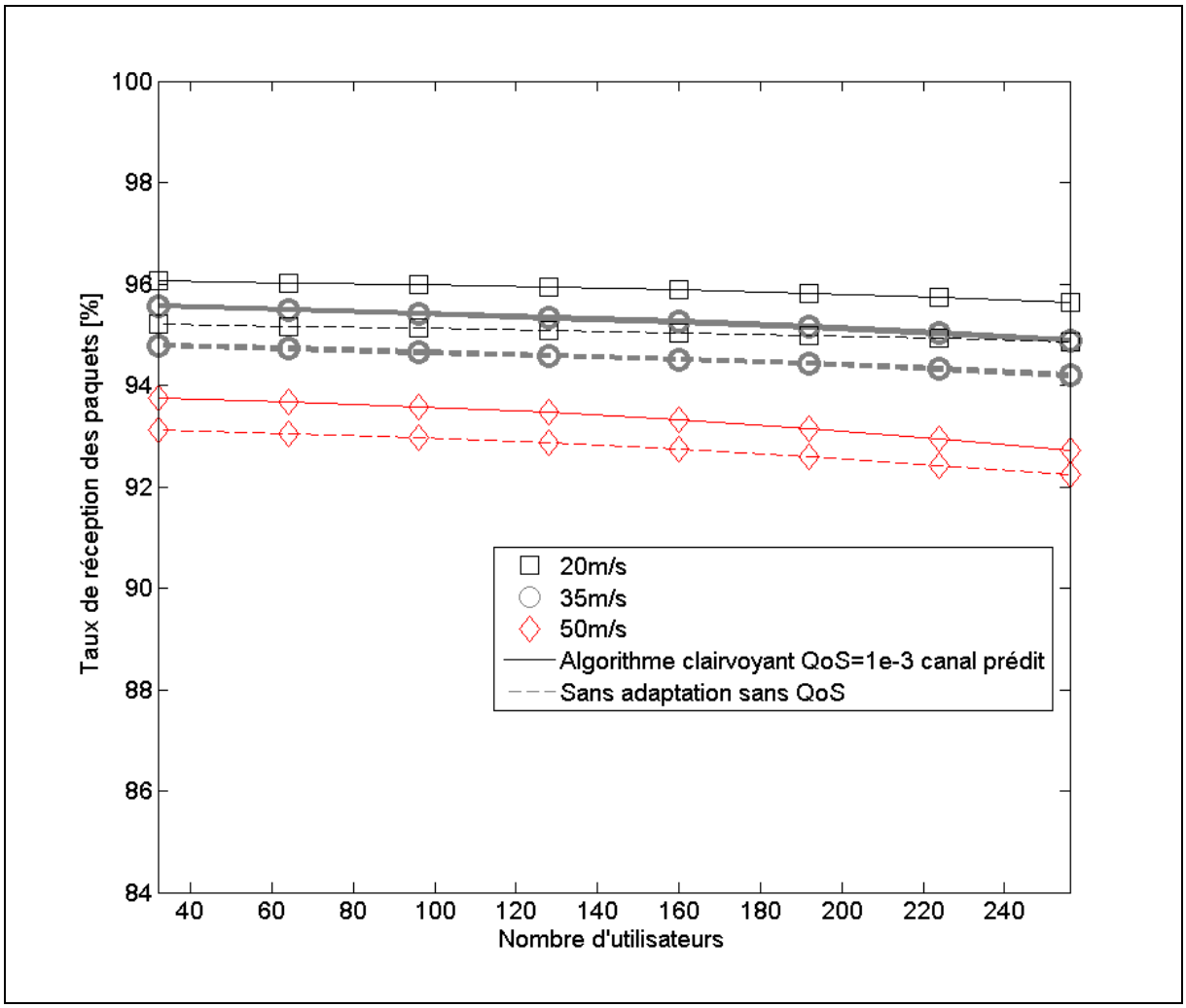

Figure 5.8.a Taux de réception des paquets, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20, 35 et 50m/s

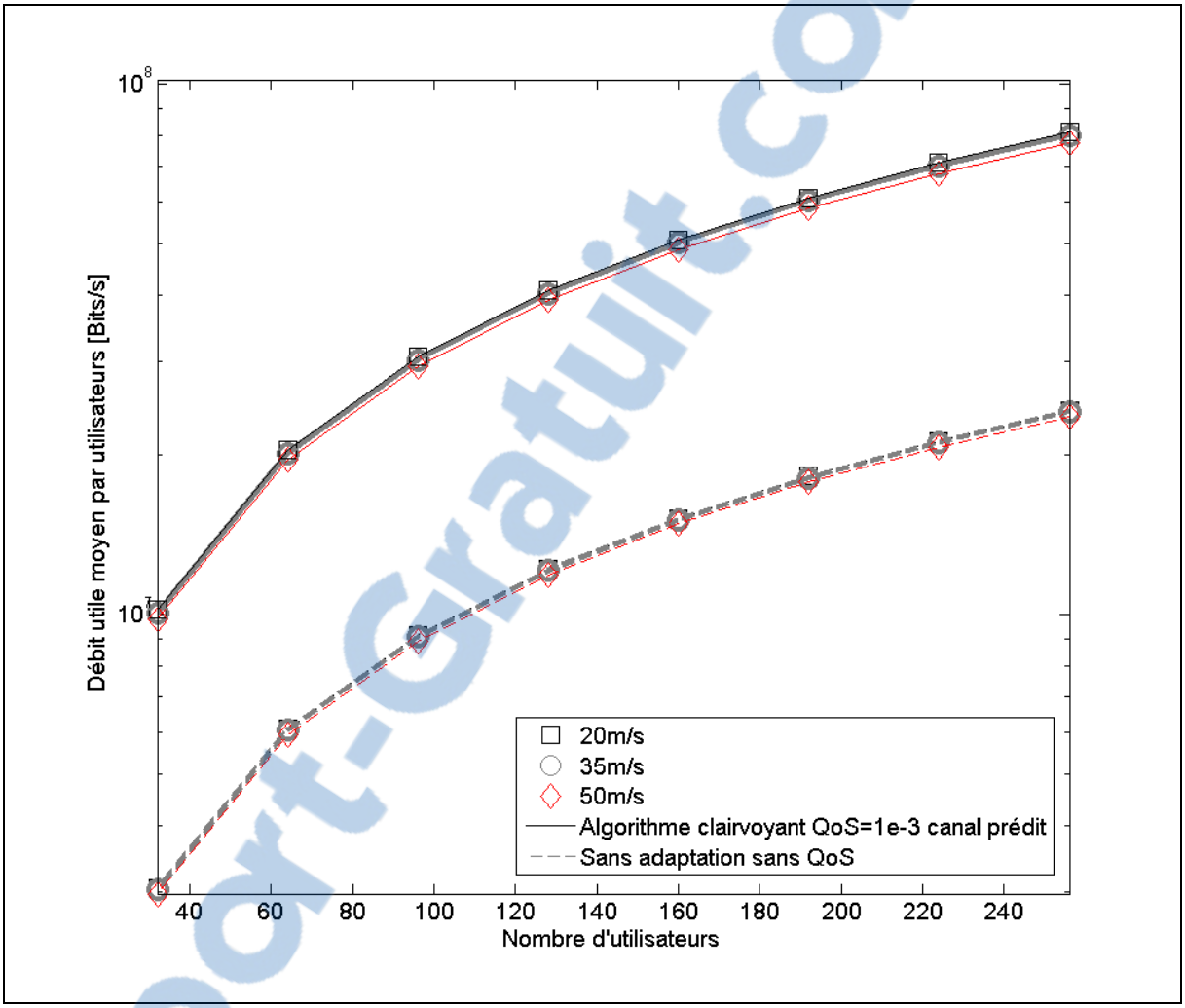

Figure 5.8.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20, 35 et 50m/s

Rapport-Gratuit.com

Tableaux 5.6 Performances des algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples fixe-à-mobile v=20, 35 et 50m/s

Taux de réception des paquets ordonnancement (%)								
Vitesse du mobile	**Nombre d'utilisateurs**							
(m/s)	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
20m/s	96,07	96,02	95,98	95,93	95,88	95,81	95,73	95,65
35m/s	95,56	95,49	95,42	95,33	95,25	95,16	95,03	94,89
50m/s	93,75	93,68	93,57	93,46	93,31	93,14	92,94	92,72

(a)

Débit utile agrégé ordonnancement (Mbit/s)								
Vitesse du mobile	**Nombre d'utilisateurs**							
(m/s)	**32**	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
20m/s	10,21	20,41	30,6	40,77	50,92	61,05	71,15	81,21
35m/s	10,08	20,15	30,19	40,21	50,2	60,17	70,08	79,95
50m/s	9,81	19,59	29,35	39,08	48,76	58,39	67,95	77,45

(b)

5.3.3 Canal multi-trajets mobile-à-mobile

Le taux de réception baisse en fonction de la longueur des slots. Il est plus faible par rapport au canal multi-trajets, car le canal est plus sévère et l'algorithme de prédiction est moins précis. Le meilleur taux de réception est obtenu pour un indice de mobilité relative de 0.57 (Figure 5.9).

Dans le cas où l'indice de mobilité relative est 0.95 le taux de réception de la transmission mono-débit décroît de 92,46 à 65,49%. Pour un indice de 0,57 la décroissance est de 92,95 à 65,86%. La qualité de la transmission avec QoS est au dessus de la transmission mono-débit sans QoS. Le débit utile ramené à la durée de transmission est plus important dans le cas des transmissions avec QoS fixée 9 à 4 Mbits/s contre 2 à 0.3 Mbits/s pour le mono-débit sans QoS. Lorsque la mobilité relative du récepteur par rapport aux transmetteurs baisse 0,57, le débit utile baisse aussi.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

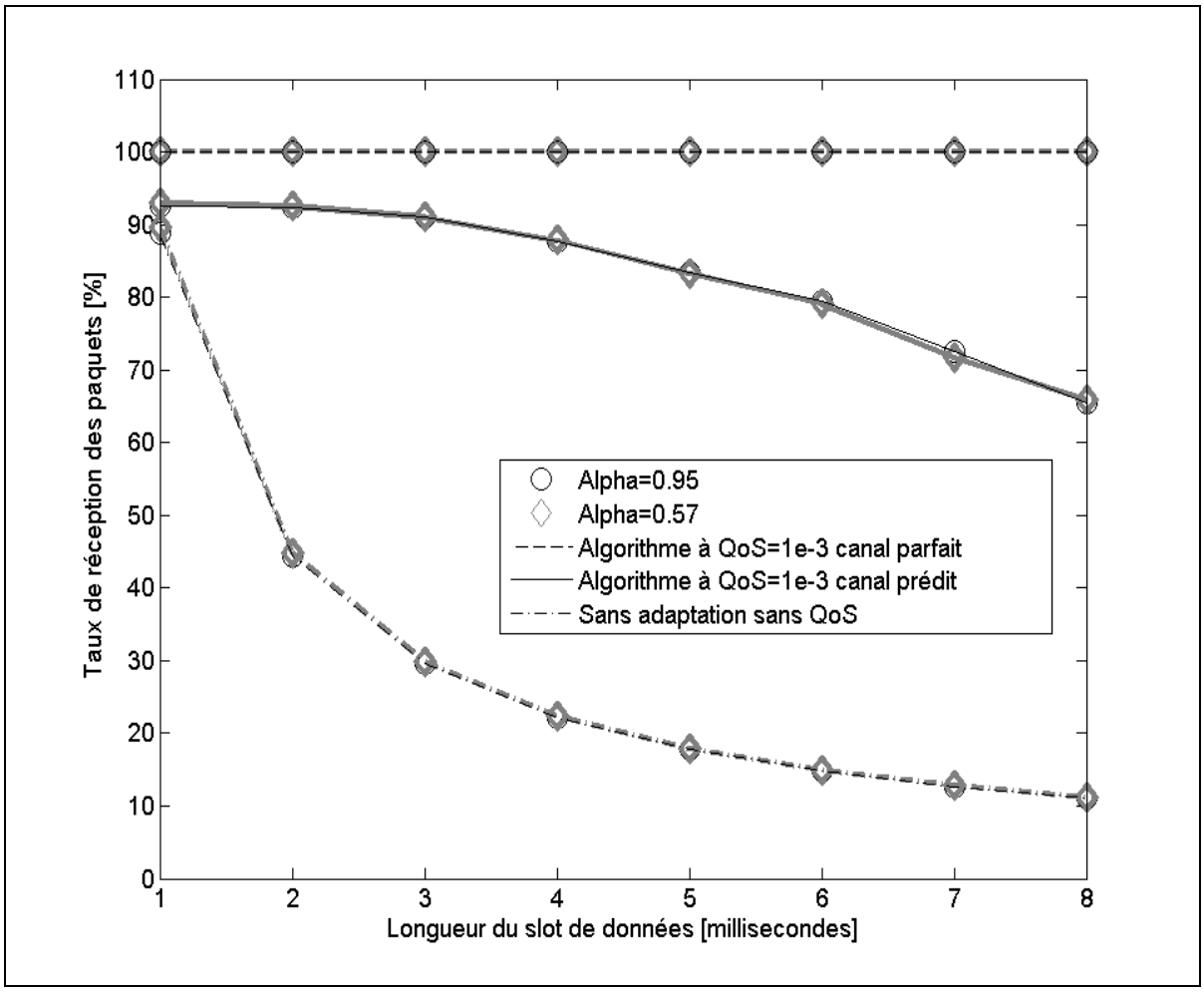

Figure 5.9.a Taux de réception des paquets, algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57$

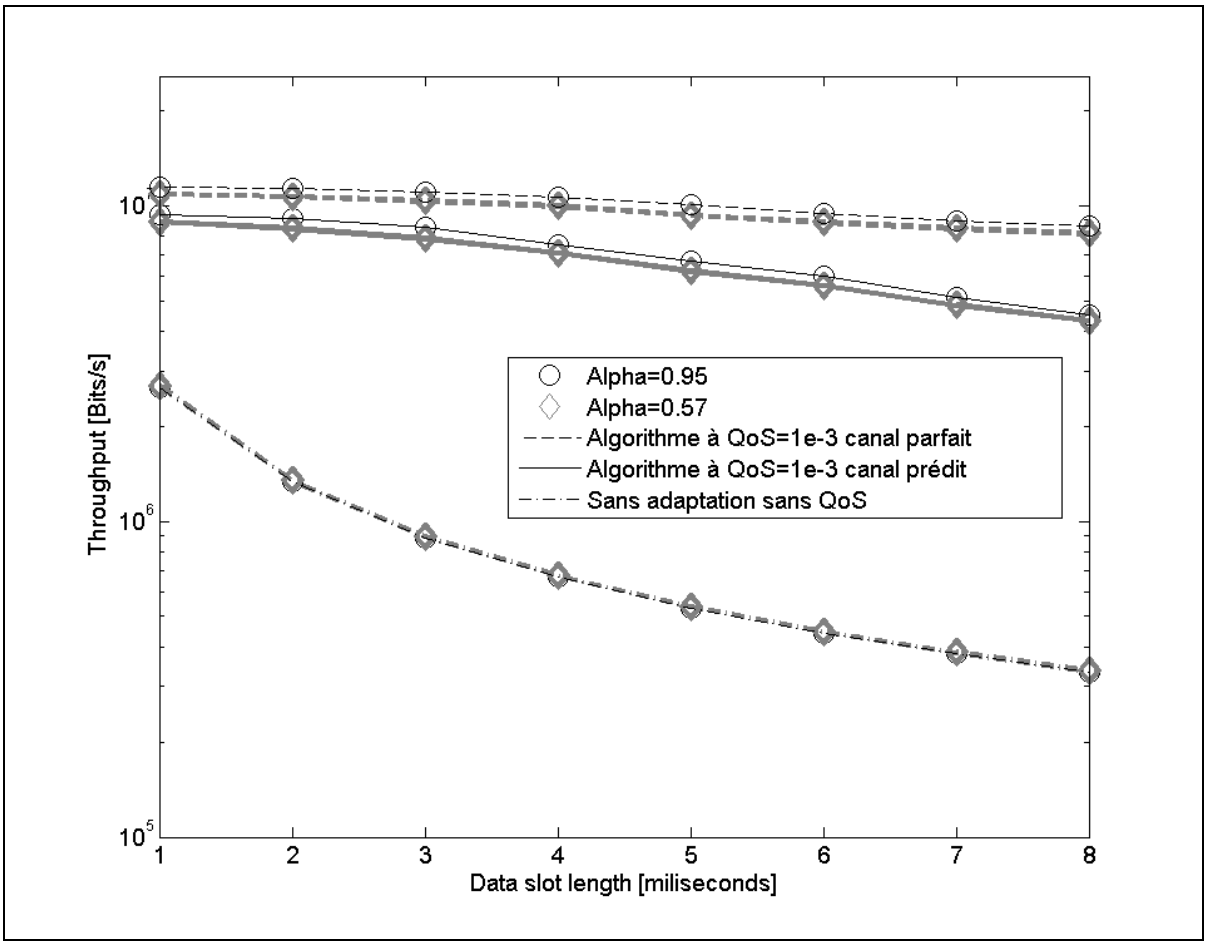

Figure 5.9.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57$

Tableaux 5.7 Performances des algorithmes d'accès, en fonction de la longueur du slot de données, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57$

Taux de réception des paquets ordonnancement(%) alpha=0.95								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	100	100	100	100	100	100	100	100
Prédiction	92,46	92,35	91,11	87,69	83,45	79,46	72,46	65,49
Mono-débit	88,72	44,36	29,57	22,18	17,74	14,79	12,67	11,09

(a)

Débit utile agrégé ordonnancement (Mbits/s) alpha=0.95								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	11,41	11,31	11,08	10,64	10,06	9,49	8,98	8,66
Prédiction	9,36	9,13	8,55	7,55	6,66	5,96	5,13	4,49
Mono-débit	2,66	1,33	0,89	0,67	0,53	0,44	0,38	0,33

(b)

Taux de réception des paquets ordonnancement(%) alpha=0.57								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	100	100	100	100	100	100	100	100
Prédiction	92,95	92,5	90,98	87,8	83,27	79	71,64	65,86
Mono-débit	89,56	44,77	29,85	22,39	17,91	14,92	12,79	11,19

(c)

Débit utile agrégé ordonnancement (Mbits/s) alpha=0.57								
Information sur l'état du canal	**Durée du slot de données(m/s)**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Parfait	10,88	10,66	10,33	9,95	9,32	8,83	8,44	8,14
Prédiction	8,91	8,45	7,84	7,06	6,19	5,57	4,85	4,33
Mono-débit	2,69	1,34	0,9	0,67	0,54	0,45	0,38	0,34

(b)

Le taux réception est quasi constant en fonction de l'augmentation des interférences et chute lorsque la mobilité relative augmente (Figure 5.10).

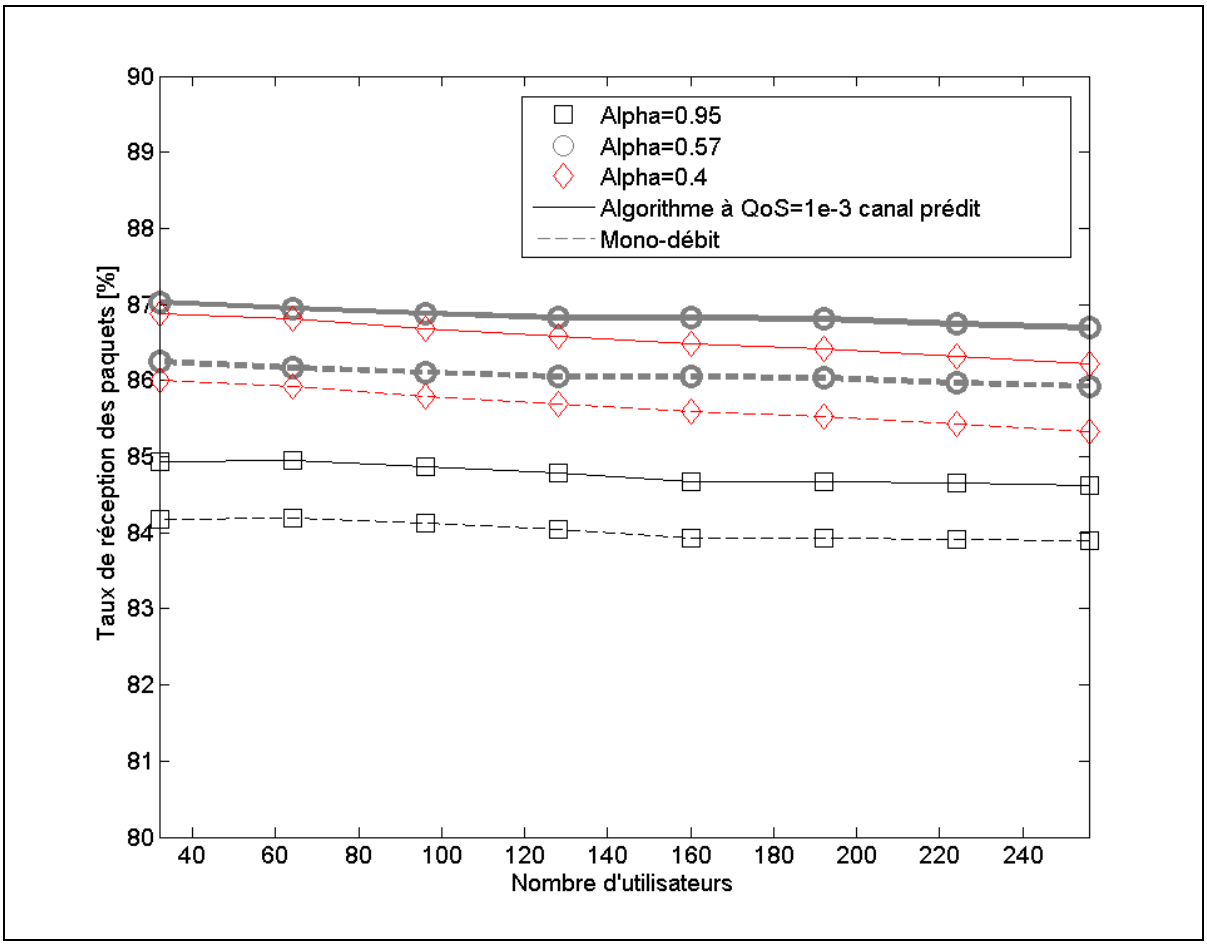

Figure 5.10.a Taux de réception des paquets, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57$, $\alpha = 0.4$

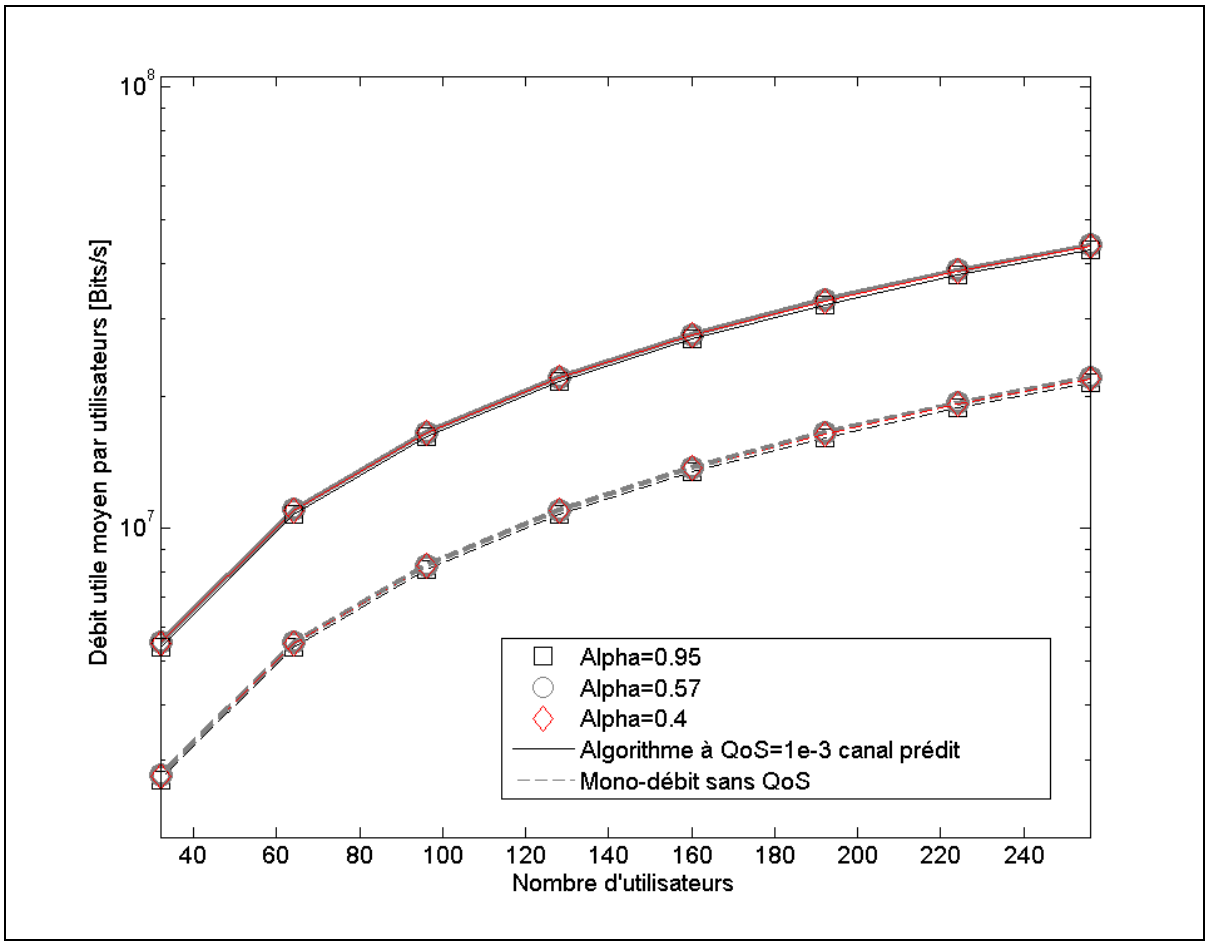

Figure 5.10.b Débit utile agrégé, algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples mobile-à-mobile $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57$, $\alpha = 0.4$

Tableaux 5.8 Performances des algorithmes d'accès, en fonction du nombre d'utilisateurs, canal à trajets multiples mobile-à-mobile, $\alpha = 0.95$, $\alpha = 0.57$, $\alpha = 0.4$

Taux de réception des paquets ordonnancement (%)								
Vitesse du mobile (m/s)	**Nombre d'utilisateurs**							
	32	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
Alpha=0,95	84,94	84,94	84,87	84,79	84,67	84,66	84,65	84,63
Alpha=0,57	87,03	86,95	86,88	86,83	86,82	86,8	86,74	86,7
Alpha=0,4	86,88	86,81	86,68	86,59	86,49	86,41	86,31	86,22

a)

Débit utile agrégé ordonnancement (Mbit/s)								
Vitesse du mobile (m/s)	**Nombre d'utilisateurs**							
	32	**64**	**96**	**128**	**160**	**192**	**224**	**256**
alpha=0,95	5,39	10,78	16,15	21,52	26,86	32,23	37,6	42,96
alpha=0,57	5,52	11,03	16,53	22,03	27,54	33,04	38,51	43,99
alpha=0,4	5,5	11	16,47	21,94	27,39	32,84	38,27	43,69

b)

5.4 Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre nous avons présenté le calcul du nombre d'utilisateurs admissibles au nœud récepteur sous la contrainte de qualité de service. Des résultats de simulation ont été présentés pour montrer l'écart entre la transmission mono-débit sans QoS et celle avec un critère de qualité de service. Pour le canal à trajet unique à 25 dB de seuil et 0.1 mW de puissance, le nombre d'utilisateurs admissibles est d'environ 190. Dans les autres situations, il va jusqu'au nombre maximum d'utilisateurs simulés soit 272. Par ailleurs, l'augmentation de la mobilité affecte le système mais les résultats produits restent dans les limites de qualité de réception acceptable, vue la sévérité des canaux engendrée par les fortes variations de vitesses.

CONCLUSION

Sommaire des investigations

Dans ces recherches, nous avons analysé les performances d'un protocole d'accès basé sur la détection multi-utilisateurs interagissant, avec une couche physique à détection multi-utilisateurs. Le protocole utilisé seul, augmente le débit utile agrégé. Cependant, davantage de gain en performance est possible lorsque nous créons une synergie entre les couches physique et d'accès radio. A cette fin, nous proposons un cadre conceptuel inter-couches qui repose sur les paquets de contrôle et la prédiction des gains des canaux physiques des différents utilisateurs lors du slot de données. La prédiction est utilisée pour l'adaptation des débits des liaisons des utilisateurs. Quatre méthodes de réception multi-utilisateurs intégrées sur une plateforme radio logiciel sont étudiées dans la recherche.

Gains apportés

Par l'inter-couches et la prédiction

Les résultats, indiquent que la prédiction du canal au niveau de la couche d'accès introduit une amélioration significative de performances dans le réseau. Cela a été mis en évidence, en comparant les performances du cadre conceptuel inter-couches muni d'un algorithme d'estimation, au cas idéal où l'information parfaite du canal est disponible dans le système. La prédiction donne environ deux à trois fois le débit utile agrégé de l'estimation et quelques fois jusqu'à 30 fois. Le débit utile est de 70%, jusqu'à 98% au dessus, lorsque l'on utilise la technique de diversité. Cela surpasse de 3 à 10 fois celui de la transmission mono-débit selon les cas. Il est aussi important de souligner que le cadre conceptuel inter-couches proposé assure une grande flexibilité, en termes de débits et de taux d'erreurs assurés aux utilisateurs. Les gammes de débits et de taux d'erreurs disponibles correspondent au nombre de combinaisons que l'on obtient avec quatre méthodes de réception et trois transmissions à débits variables.

Plateforme à détection multi-utilisateurs et à débits de transmissions variables

Les récepteurs ont été testés dans un canal à évanouissement de Rayleigh à un seul chemin. Pour leur étude dans un canal de Rayleigh multi-trajets, l'effet des évanouissements est difficile à combattre. Des améliorations y sont apportées en implémentant la technique de diversité afin d'augmenter les rapports signal-sur bruit reçus. En troisième lieu, le comportement des récepteurs est analysé dans un canal multi-trajets mobile-à-mobile.

Au niveau des performances de la détection, les récepteurs à erreur quadratique moyenne minimale ainsi que le décorrélateur, garantissent une détection de paquets de haute qualité, et un débit utile moyen double de ceux des détecteurs à suppression d'interférences. Dans certains cas, ce dernier (le SIC) donne de très hautes performances. Le récepteur à filtre adapté, assure une réception de paquets de faibles ou moyennes qualités selon les cas.

Au niveau des performances de la transmission, notre étude montre que le multi-débits à facteurs d'étalement variable et à codes multiples assurent de meilleures performances que la transmission à taille de constellation variable : en terme de débit utile moyen et de taux de pertes de paquets. Le choix de l'une de ces trois techniques de transmissions est guidé par des contraintes d'implémentation sur les stations qui composent le réseau. Par exemple la transmission à code multiples doit être implémentée avec un amplificateur linéaire de puissance.

Résistance du système dans différents contextes ad hoc de mobilité et d'interférences

Deux scénarios de mobilité ont été étudiés : le scénario fixe-à-mobile où le récepteur est fixe et les transmetteurs mobiles (premier degré de mobilité) et celui où le récepteur et les transmetteurs sont mobiles (deuxième degré de mobilité). La robustesse et la résistance du système ont été analysées lorsque la vitesse et les interférences augmentent. Les deux détecteurs qui résistent le mieux à l'augmentation de la capacité d'utilisateurs sont le

Rapport-Gratuit.com

détecteur à MMSE et le décorrélateur. Le premier est difficilement implémentable de telle sorte qu'il n'a pas été utilisé pour les trois derniers canaux. Dans cette étude, le détecteur de haute capacité d'utilisateurs est le décorrélateur : les autres récepteurs peuvent être utilisés jusqu' à une certaine capacité d'utilisateurs, par contre pour de hautes capacités, le décorrélateur devra prendre le relai. La capacité d'utilisateurs est plus réduite, lorsque l'on impose une transmission avec de la qualité de service.

Canaux logiques et efficacité de la garantie de QoS

Dans le mode de transmissions avec une garantie de qualité de service, qui est d'une grande importance pour les applications multimédias, nous avons étudié le cadre conceptuel, sous la contrainte d'un ordonnancement des paquets qui garantissent un taux de perte de paquets requis. Les résultats montrent la supériorité de la stratégie d'ordonnancement proposée qui double en terme de débit utile moyen les transmissions en absence de toute adaptation de débit.

Dans le scénario fixe-à-mobile, plusieurs durées de slots de données sont utilisables (configurables). Le système fonctionne pour des longueurs de slots allant de 1 à 8 ms lorsque nous sommes dans le scénario fixe-à-mobile. Dans ce cas l'effet de la mobilité est faible sur le système. Lorsque nous avons le scénario mobile-à-mobile, les longueurs de slots configurables dans le système sont réduites. En réalité seule les longueurs de slots proches de 1 ms donnent des résultats acceptables. Lorsque le récepteur et les transmetteurs sont tous en mouvement, cela a un grand impact sur l'efficacité du système fonctionnant avec de grandes longueurs de slots de données.

Travaux futurs

Comme indiqué ci-dessus, le cadre conceptuel inter-couches réalisant une adaptation de débit basée sur la prédiction du canal, assure des résultats prometteurs. Plusieurs gammes de débits et de taux d'erreurs y sont disponibles. Le fait que la plateforme peut supporter de grandes

capacités d'utilisateurs rend possible la suppression des interférences des utilisateurs transmettant vers d'autres destinations que le nœud central courant (ou utilisateurs interférents). Cette fonction est importante pour la couche d'accès radio des réseaux ad hoc en général, où le problème des utilisateurs interférents est crucial. Les protocoles à détection multi-utilisateurs à suppression d'interférences tentent de le résoudre, mais leurs capacités d'utilisateurs sont faibles, du fait qu'ils admettent un seul utilisateur par nœud récepteur. Les travaux futurs consisteront à étudier cet aspect dans les protocoles à détection multi-utilisateurs complets. Au niveau de l'ordonnancement, l'algorithme avec une garantie de QoS a été comparé à l'algorithme mono-débit sans QoS. Notons qu'un gain en débit utile moyen peut être obtenu avec les ordonnanceurs basés sur la détection multi-utilisateurs, que nous avons présentés dans la section 5.2.3. Ces ordonnanceurs prennent avantage de la structure de la détection multi-utilisateurs au niveau de la couche physique. Ces thèmes feront l'objet des recherches futures.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

BIBLIOGRAPHIE

Adachi, F. , Sawahashi K. et Okawa M. 1997. « Three-Structured Generation of Orthogonal Spreading with Different Length for Forward Link of DS-CDMA Mobile Radio ». *Electronics Letters,* vol. 33, n° 1, p. 27-28.

Aguiar, Ana, Karl Holger, Wolisz Adam et Miesmer Horst. 2003. « A Framework for Evaluating Effects of Channel Prediction Inaccuracy on the Performance of Channel Adaptive Techniques ». In *Proceeding of International Conference on Wireless Networks - ICWN'03*. (June), p. 7.

Anthony Ephremides, et Bruce Hajek. 1998. « Information Theory and Communications Networks: An Unconsummated Union ». *IEEE Transactions on Information Theory,* vol. 44 No. 6, p. 2416-2434.

Ashraf, M. , A. Jayasuriya et S. Perreau. 2009. « Channel MAC Protocol for Opportunistic Communication in Ad HocWireless Networks ». *EURASIP Journal on Applied Signal Processing,* vol. 2009, Article ID 528675, p. 17 pages.

Ben Sik Ali, Olfa , et Basile L. Agba. 2007. « Performances Simulation of Flat Fading Channels in Mobile Ad Hoc Networks ». In *International Symposium on Signals, Systems and Electronics, 2007. ISSSE '07.* (August).

Buehrer, R. M., N. S. Correal-Mendoza et B. D. Woerner. 2000. « A Simulation Comparison of Multiuser Receivers for Cellular CDMA ». *IEEE Transaction on Vehicular Technology,* vol. 49, n° 4, p. 1065-1085.

Chang-Joo, Kim , Kim Young-Su, Jeong Goo-Young, Jae-Kyung Mun et Hyuck-Jae Lee. 1996. « SER Analysis of QAM with Space Diversity in Rayleigh Fading Channels ». *ETRI Journal,* vol. 17, n° 4.

Comaniciu, Cristina, Naryan B. Mandayam Naryan et Poor Vincent. 2005. *Wireless Networks : Multiuser Detection in Cross-Layer Design*, 1. Springer Science + Business Media, Inc.

Conti, M., G. Maselli, G. Turi et S. Giordano. 2004. « Cross-layering in mobile ad hoc network design ». *Computer Society,* vol. 37, n° 2, p. 48-51.

Duel-Hallen, Alexandra, Hu Shengquan et Hallen Hans. 2000. « Long Range Prediction of Fading Signals: Enabling Adaptive Transmission for Mobile Radio Channels ». *IEEE Signal Processing Magazine* vol. 17, n° 3, p. 62-75.

Ebner, A., Rohling H., Halfmann R. et Lott M. 2002. « Synchronization in ad hoc networks based on UTRA TDD ». In *13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'02)* (Lisbon, Portugal, September). Vol. 4, p. 1650–1654.

ElBatt, T., et A. Ephremides. 2004. « Joint scheduling and power control for wireless ad hoc networks ». *Wireless Communications, IEEE Transactions on,* vol. 3, n° 1, p. 74-85.

Evans, Jamie, et N. C. David, Tse. 2000. « Large system performance of linear multiuser receivers in multipath fading channels ». *IEEE Transactions on Information Theory,* vol. 46, n° 6, p. 2059 - 2078

Gallager, Robert. 1985. « A Perpective on Multiaccess Channels ». *IEEE Transactions on Information Theory,* vol. IT-31 No2, p. 124-142.

Gifford, S., Bergstrom C. et Chuprun S. 2005. « Adaptive and Linear Prediction Channel Tracking Alagorithms for Mobile OFDM-MIMO Applications ». In *Military Communications Conference, MILCOM*. (October). Vol. 2, p. 1298 - 1302

Giridhar, K. . 2003. « Presentation Panel : OFDM Physical Layer -- Fundamentals, Standards, & Advances ».

Glisic, G. Savo 2003. *Adaptive WCDMA : Theorie and Practice* (November). John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

Gummalla, Ajay Chandra V. , et O. Limb John. 2000. « Wireless Medium Access Control Protocols ». *IEEE Communications Survey & Tutorials,* vol. 3, n° 2, p. 2-15.

Haykin, S. O. 2002. *Adaptive filter theory 4th Edition*. Prentice Hall

Hui, Andrew, L. C. , et Ben Khaled, Letaief. 1988. « Successive Interference Cancellation for Multiuser Asynchronous DS/CDMA Detectors in Multipaths fading Links ». *IEEE Transaction on Communications,* vol. 46, n° 3, p. 384-391.

Ivan, P. S., et B. M. Narayan. 1999. « Software Defined Radio Architecture for Interference Cancellation in DS-CDMA Systems ». *IEEE Personal Communications,* vol. 6, n° 4, p. 26-34.

J. Goldsmith, Andrea. 2005. *Wireless Communications* (Aug 8), 1 Cambridge University Press, 672 p.

Johansson, Anne-Louise , et Arne Svensson. 1995. « Successive Interference Cancellation Schemes in Multi-rate DS/CDMA Systems ». In *WINLAB Workshop*. (Rutgers University).

John McCorkle. « DS-CDMA: The Technology Of Choice For UWB ». *IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs),IEEE P802.15-03/277r0*.

Katsutoshi, K., V. Robert, M. Andreas, H. Christian et B. Gerhard. 2009. « Medium Access in Spread-Spectrum Ad Hoc Networks with Multiuser Detection ». *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing,* vol. 2009, Article ID 156247, p. 14 pages.

Kawadia, V., et P. R. Kumar. 2005. « Principles and protocols for power control in wireless ad hoc networks ». *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on,* vol. 23, n° 1, p. 76-88.

Kay, Steven M. 1993. *Fundamentals of Statistical Signal Processing, Estimation Theory*, 1. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Latva-aho, M. . 1998. « Bit Error Probability Analysis for FRAMES WCDMA Downlink Receivers ». *IEEE Transaction on Vehicular Technology,* vol. 47, n° 4, p. 1119-1133.

M. Van Der Schaar, D. S. Shankar N. 2005. « Cross-Layer Wireless Multimedia Transmission: Challenges, Principles, and New Paradigms ». *IEEE Wireless Communications*, p. 50-58.

Markku, J. J. , A. Behnaam et O. L. Jorma. 1998. « Iterative Implementation of Linear Multiuser Detection for Dynamic Asynchronous CDMA Systems ». *IEEE Transaction on communications,* vol. 46, n° 4, p. 503-508.

Mergen, G., et Tong Lang. 2001. « Receiver controlled medium access in multihop ad hoc networks with multipacket reception ». In. Vol. 2, p. 1014-1018 vol.2.

Ning, Yang, R. Sankar et Lee Jungsik. 2005. « Improving ad hoc network performance using cross-layer information ». In *ICC 2005 in Seoul - IEEE Internationl Conference on Communications*. Vol. 4, p. 2764-2768 Vol. 4.

Ojanpera, Tero , et Prasad Ramjee (Eds). 1998. *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications*. Coll. « Artech House Universal Personal Communications Series ». 439 p.

Poor , H. V., et S. Verdù 1997. « Probability of Error in MMSE Multiuser Detection ». *IEEE Transactions on Information Theory,* vol. 43, n° 3, p. 858-871.

Proakis, John G. 2001. *Digital Communications*, 4th. McGraw-hill Series in Electrical and Computer Engineering.

Qingwen Liu, Shengli Zhou et Georgios B. Giannakis. 2004. « Cross-Layer Modeling of Adaptive Wireless Links for QoS Support in Multimedia Networks ». In *Proceedings of the First International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks (QSHINE'04)*. IEEE Computer Society.

Raja, Jurdak, Videira Cristina, Lopes et Baldi Pierre. 2004. « A Survey, Classification and Comparative Analysis of Medium Access Control Protocols for Ad Hoc Networks ». *IEEE Communications survey & Tutorials,* vol. 6, n° 1.

Rajan, Dinesh. 2009. « Exploiting Transmit Buffer Information at the Receiver in Block-Fading Channels ». *EURASIP Journal on Applied Signal Processing,* vol. 2009, Article ID 520287, p. 12.

Rappaport, Theodore S. 2002. *Wireless Communications: Principles and Practice* (January 10, 2002), 2nd Prentice Hall.

Rekha, A., V. B., R., Reddy, Bindu E. et Nayak Pinki. 2009. « On Performance of Linear Multiuser Detectors for Wireless Multimedia Applications ». *Communications in Computer and Information Science,* vol. 31, n° 11, p. 303-312.

Richard Van Nee, et Ramjee Prasad. 1996. *OFDM for Wireless Multimedia Communications*.

Roland, K., A. Peiman et F.-B. Behrouz. 2009. « Enhancing the Performance of RandomAccess Networks with Random Packet CDMA and Joint Detection ». *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing,* vol. 2009, Article ID 238103, p. 16 pages.

Ryuji Kohno, Reuven Meidan et Laurence B. Milstein. 1995. « Spread Spectrum Access Methods for Wireless Communications ». *IEEE Communications Magazine*.

Sampath, A., Kumar P. S. et M. Holtzman J. 1995. « Power Control and Resource Management for a Multimedia CDMA Wireless System ». In *PIMRC'95* (September) Vol. 1, p. 21-25.

Seskar, P. Ivan , et Mandayam Narayan B. 1999. « A software Radio Architecture for Linear Multiuser Detection ». *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* vol. 17 n° 5, p. 814-823.

Setton, E., Yoo Taesang, Zhu Xiaoqing, A. Goldsmith et B. Girod. 2005. « Cross-layer design of ad hoc networks for real-time video streaming ». In *Wireless Communications, IEEE [see also IEEE Personal Communications]*. Vol. 12, p. 59-65.

Shaomin, M., J. Gu, R. Ghanadan, M. Sherman, J. Farkas, J. Tranquilli, J. Niedzwiecki et B. Fette. 2010a. « Distributed scheduler design for multiuser detection enabled wireless

mobile ad-hoc networks ». In *Military Communications Conference - Milcom*. p. 98-103.

Shaomin, M., G. John, R. Ghanadan, M. Sherman, J. Farkas, J. Tranquilli, J. Niedzwiecki et B. Fette. 2010b. « Multiuser detection enabled medium access control in mobile ad hoc networks ». In *Military Communications Conference - Milcom*. (Oct. 31 2010-Nov. 3), p. 86 - 91.

Siva, C. , Murthy Ram et S. B., Manoj. 2004a. *Ad Hoc Wireless Networks: Architecutres and Protocols*, 1rst Coll. « Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series ». New Jersey: Prentice Hall, Chapitre 6: pages 227-298 p.

Siva, C. , Murthy Ram et S. B., Manoj. 2004b. *Ad Hoc Wireless Networks: Architecutres and Protocols*, 1rst Coll. « Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series ». New Jersey: Prentice Hall, Chapitre 10 : pages 505-583 p.

Taesang, Yoo, E. Setton, Zhu Xiaoqing, A. Goldsmith et B. Girod. 2004. « Cross-layer design for video streaming over wireless ad hoc networks ». In *IEEE 6th Workshop on Multimédia Signal Processing*. p. 99-102.

Tony, O., et S. Arne. 1995. « Multi-rate Performance in DS/CDMA Systems ». *Technical report no.14*.

Tony, O., et S. Arne. 1998. « On Schemes for Multirate Support in DSCDMA Systems ». *Wireless Personal Communications,* vol. 6, p. 265–287.

Tse, D. N. C., et S. V. Hanly. 1999. « Linear Multiuser Receivers: Effective Interference, Effective Bandwidth and User Capacity ». *IEEE Transactions on Information Theory,* vol. 45, n° 2, p. 641-651.

Tyrrell, A., Auer G. et C. Bettstetter. 2006. « Synchronization inspired from nature for wireless meshed networks ». In *Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM' 06)*. (Wuhan, China, September).

Verdú, Sergio. 1998. *Multiuser detection*. Cambridge University Press

Vineet, Srivastava, et Motani Mehul. 2005. « Cross-Layer Design: A Survey and the Road Ahead ». *IEEE Communications Magazine, December 2005,* vol. Volume 43, n° Issue 12, p. Page(s):112 - 119

W., C., Jakes. 1974. *Microwave Mobile Communications*, Wiley. New York.

Weilan, Huang, et K. B. Letaief. 2005. « Cross-layer scheduling and power control combined with adaptive modulation for wireless ad hoc networks ». In *IEEE GLOBECOM 2005 proceedings.* Vol. 6, p. 3180-3184.

Wing Ho, Yuen, Lee Heung-no et T. D. Andersen. 2002. « A simple and effective cross layer networking system for mobile ad hoc networks ». In. Vol. 4, p. 1952-1956 vol.4.

Yen, Kai. 2002. « On the Performance of the M-QAM Signalling with Multi-user Detection and Interference Cancellation ». In *PIMRC*. (Sept.) Vol. 2, p. 874-878.

Yu, Kegen, S. E. Jamie et B. C. Lain. 2003. « Performance Analysis of LMMSE Receivers for M-ary QAM in Rayleigh Faded CDMA Channels ». *IEEE Transactions on Vehicular Technology,* vol. 52, n° 5, p. 1242-1253.

Yun, L., et E. Anthony. 2004. « Linear Multiuser Detectors for Incompletely Known Symmetric Signals in CDMA Systems ». *IEEE Transactions on Information Theory,* vol. 50, n° 6, p. 1026-1040.

Zajic, Alenka, G. ,, et Gordon L. Stuber. 2006. « A New Simulation Models for Mobile-to-Mobile Rayleigh Fading Channels ». In *IEEE WCN'06*. (April).

Zhang, J., D. Zbigniew, F. Gagnon et M. Kadoch. 2009. « Multiuser Detection Based MAC Design for Ad Hoc Networks ». *IEEE Transaction on Wireless Communications* vol. 8, n° 4, p. 1836-1846.