

RAPPORT UIT-R M.2030

**Coexistence de technologies d'interface radioélectrique de Terre à duplex
à répartition dans le temps et à duplex à répartition en fréquence
IMT-2000 autour de 2 600 MHz, appliquées dans des bandes
adjacentes et dans une région géographique commune**

(Question UIT-R 229/8)

(2003)

1 Introduction

1.1 Introduction et description générale

Le présent Rapport traite de la coexistence d'interfaces radioélectriques IMT-2000 à duplex à répartition dans le temps (DRT) et à duplex à répartition en fréquence (DRF). Plus précisément, on étudie pour un grand nombre de scénarios les conditions de brouillage entre systèmes AMRC à séquence directe IMT-2000 (AMRC large bande (AMRC-LB) ou (à accès hertzien de Terre universel (UTRA, *universal terrestrial radio access*) DRF) et AMRC DRT, IMT-2000 (UTRA DRT) dans les deux modes (DRT, HCR, 3,84 Mélément/s et DRT LCR, 1,28 Mélément/s).

La partie principale du Rapport traite des brouillages de station de base à station de base (BS-BS) dans des configurations de proximité et dans un même lieu géographique. Par ailleurs, dans le cas des scénarios de proximité, on considère également les cas station mobile-station de base (MS-BS), BS-MS et MS-MS.

Les § 2.4 et 2.5 décrivent les caractéristiques des émetteurs et des récepteurs. Le § 2.8 traite de la relation entre le niveau des brouillages externes, la couverture et la capacité. Le § 3.2 décrit la méthodologie appliquée pour ce qui est des scénarios déterministes BS-BS et MS-MS. Les méthodes de Monte Carlo sont décrites au § 3.3. Les résultats sont exposés au § 4 tandis que le § 5 est consacré aux conclusions.

Pour prendre rapidement connaissance des résultats, on se reportera aux § 1, 2.1 à 2.3 et 5.

1.2 Champ de l'analyse

Dans la présente analyse, on suppose que les systèmes DRT et DRF exploités à 2,5 GHz ont des caractéristiques analogues à celles des systèmes AMRC large bande et DRT HCR/LCR traités dans la Recommandation UIT-R M.1457.

1.3 Résumé

Dans le présent Rapport, on analyse les phénomènes de brouillage de canal adjacent et on expose leurs conséquences sur la compatibilité d'interfaces DRT et DRF dans un certain nombre de scénarios. L'étude repose sur une série de calculs déterministes effectués dans des configurations BS-BS, calculs qui permettent de déterminer les distances de séparation et/ou les critères d'isolement, ou encore la couverture de cellule envisageable. Les brouillages occasionnés par des stations mobiles à d'autres stations mobiles et à des stations de base sont analysés au moyen de calculs déterministes et de calculs statistiques grâce auxquels il est possible d'établir la perte de capacité et/ou la probabilité de brouillage.

Certains scénarios sont envisageables au prix de compromis entre divers facteurs d'ordre technique, réglementaire et économique. Différents points de vue sont pris en compte s'agissant de certains facteurs – conditions de propagation, densité d'utilisateurs ou encore lieu géographique d'utilisation – en fonction desquels des compromis peuvent être établis. Ces points de vue n'excluent aucunement d'autres considérations, et les conclusions formulées dans les lignes qui suivent ne rendent compte que des études effectuées.

Les améliorations éventuellement rendues possibles par l'application de techniques de réduction (aménagement du site, antenne adaptative, etc.) ne sont pas prises en compte dans le présent Rapport, et il conviendrait de leur consacrer un complément d'étude.

Principaux résultats

Brouillages BS-BS: observations générales

- Plusieurs des scénarios et des valeurs de paramètre considérés sont associés à de sérieux problèmes de brouillage.
- Les distances de séparation ont été calculées pour une fourchette de niveaux de brouillage externe tolérés: plus la distance de séparation est petite, plus le niveau de brouillage externe toléré à prendre en compte dans la planification est élevé, de sorte que la couverture et/ou la capacité sont réduites d'autant, et qu'il est nécessaire d'accroître en conséquence la puissance d'émission de la station mobile du système victime.
- Il n'y a pas de différence fondamentale de magnitude des brouillages selon que l'on considère un brouillage de liaison descendante DRF à liaison montante DRT ou de liaison descendante DRT à liaison montante DRF dans les scénarios considérés.
- Ainsi, les problèmes potentiels résultent du fait que les émetteurs de liaison descendante sont géographiquement et spectralement proches des récepteurs de liaison montante, quel que soit le système duplex appliqué.
- Dans la mesure du possible, on a appliqué les conditions minimales correspondant aux spécifications des émetteurs et récepteurs du projet de partenariat de troisième génération (3GPP). Et l'on notera que, dans la pratique, les équipements pourront dépasser ces valeurs minimales.
- Plusieurs scénarios imposent des valeurs de séparation importantes ou des marges d'isolement additionnelles si l'on veut obtenir de faibles valeurs de brouillage. Dans certains cas, les distances de séparation sont peu importantes, et il n'est pas nécessaire de prévoir une marge d'isolement additionnelle.
- Dans certaines configurations, il est possible d'établir des compromis entre d'une part les distances de séparation ou les filtrages requis et d'autre part la portée et l'augmentation de la puissance d'émission de la station mobile du système victime.
- On dispose d'un certain nombre de moyens fondamentaux, applicables séparément ou en combinaison, pour traiter les problèmes de brouillage BS-BS. Les mesures envisageables sont plus ou moins onéreuses et entraînent d'autres difficultés dont il faut également tenir compte, et l'on revient à la nécessité du compromis.

Brouillages BS-BS dans des conditions de proximité: AMRC large bande/DRT 3,84 Mélément/s

Dans ce scénario, les distances de séparation requises sont comprises entre 1 m et 15 km, selon le type de cellule et la séparation des porteuses. Les valeurs les plus réduites correspondent aux scénarios pico/pico et les valeurs les plus élevées aux scénarios macro-macro.

Brouillages BS-BS dans des configurations de proximité: AMRC large bande, DRT/1,28 Mélément/s

Avec les distances de séparation de référence, seul le scénario macro/macro impose une marge d'isolement additionnelle significative. Pour les autres scénarios, l'isolement prévu à la base suffit.

Station BS-BS, même emplacement: AMRC large bande/3,84 Mélément/s

- Dans les futurs systèmes, les stations de base seront le plus souvent regroupées.
- Dans le cas de stations de base macro AMRC large bande 3,84 Mélément/s situées en un même lieu, le bruit de fond des deux systèmes est sensiblement modifié pour une valeur d'affaiblissement de couplage de 30 dB.
- La couverture et la capacité dépendent pour beaucoup d'un isolement approprié entre les stations de base.
- Sur la base des spécifications actuelles et avec un affaiblissement de couplage minimal par hypothèses, même une bande de garde de 5 MHz ou 10 MHz ne remédiera pas au problème.
- Il conviendra de poursuivre les études pour définir les spécifications des systèmes et les bandes de garde requises, selon qu'il conviendra, compte tenu de la «coïnstallation» des stations de base et du fait que l'on peut obtenir dans la pratique un certain degré d'isolement.

Brouillages MS-BS et de BS-MS

- Pour les scénarios Manhattan considérés et avec une répartition uniforme des utilisateurs (utilisation à l'extérieur seulement), les simulations de Monte Carlo donnent à penser que les brouillages MS-BS et BS-MS n'ont qu'une incidence négligeable sur la capacité lorsqu'on établit la moyenne pour l'ensemble du système.

Brouillages MS-MS

- Les simulations de Monte Carlo donnent à penser que les brouillages MS-MS ont une incidence faible ou négligeable lorsque l'on considère la moyenne pour l'ensemble du système et pour des densités d'utilisateurs uniformes (voir le § 4.2.2.3).
- Dans les configurations MS-MS, les calculs déterministes font apparaître qu'une station mobile peut occasionner des brouillages sérieux à un autre mobile géographiquement et spectralement proche (voir le § 4.2.3).
- Il est donc nécessaire de procéder à des études faisant intervenir des densités d'utilisateurs non uniformes, plus réalistes d'ailleurs et représentatives des systèmes réels dans des zones de forte activité (voir le § 4.2.3).
- Les interruptions de service ne peuvent pas être réduites sensiblement, même au prix d'une diminution de la densité ou de la capacité des stations de base: les critères doivent plutôt être fixés au niveau du service.

2 Hypothèses

2.1 Technologies d'interface radioélectrique considérées

Dans le présent Rapport, les technologies IMT-2000 considérées sont les suivantes: AMRC DRF à étalement direct et AMRC DRT dans ses deux modes, à savoir DRT HCR (3,84 Mélément/s) et DRT LCR (1,28 Mélément/s) connu également sous le nom de TD-SCDMA (accès multiple par multiplexage par répartition dans le temps et spatiale).

Pour plus de simplicité, ces interfaces seront respectivement dénommées DRF et DRT.

2.2 Scénarios de brouillage

Dans le présent Rapport, les scénarios de base suivants sont considérés:

- Brouillages occasionnés à une station de base DRF par une station de base DRT (calculs déterministes)
- Brouillages occasionnés à une station de base DRT par une station de base DRF (calculs déterministes)
- Brouillages occasionnés à une station de base DRF par une station de base DRT (équipements d'utilisateur) (simulations de Monte Carlo)
- Brouillages occasionnés à une station de base DRT par une station de base DRF (équipements d'utilisateur) (simulations de Monte Carlo)
- Brouillages occasionnés à un équipement d'utilisateur DRF par un équipement d'utilisateur DRT (simulations de Monte Carlo)
- Brouillages occasionnés à un équipement d'utilisateur DRT par un équipement d'utilisateur DRF (simulations de Monte Carlo)
- Brouillages occasionnés à un équipement d'utilisateur DRF par une station de base DRT (simulations de Monte Carlo)
- Brouillages occasionnés à un équipement d'utilisateur DRT par une station de base DRF (simulations de Monte Carlo)
- Brouillages occasionnés à un équipement d'utilisateur DRF par un équipement d'utilisateur DRT (calculs déterministes)
- Brouillages occasionnés à un équipement d'utilisateur DRT par un équipement d'utilisateur DRF (calculs déterministes)

La méthode appliquée dans les calculs et les simulations est décrite au § 3.

2.3 Couches de cellules

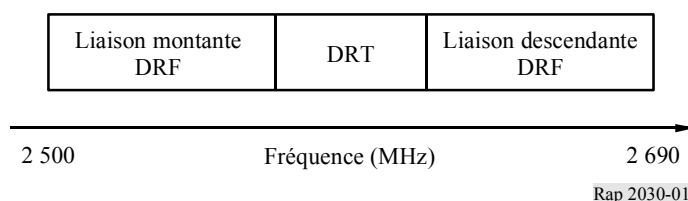
Tous les scénarios doivent être étudiés (macro, micro et pico). Toutefois, toutes les combinaisons de couches de cellules DRF et DRT n'ont pas été examinées, certaines étant considérées comme peu probables.

2.3.1 Attribution de fréquences

L'étude porte essentiellement sur la coexistence dans les fréquences IMT-2000 comprises entre 2 500 et 2 690 MHz. On part de l'hypothèse d'une attribution type (voir la Fig. 1). L'étude concerne avant tous les brouillages en liaisons montantes entre systèmes DRT et systèmes DRF, ainsi qu'en liaisons descendantes entre systèmes DRT et systèmes DRF. Les brouillages entre liaisons montantes DRF et liaisons descendantes DRF ne sont pas pris en considération (en raison de la séparation en fréquence). Aucune hypothèse particulière n'a été faite concernant la dimension des bandes, puisque l'on s'intéresse aux effets à la limite entre respectivement liaisons montantes DRF et DRT et liaisons descendantes DRT et DRF.

FIGURE 1

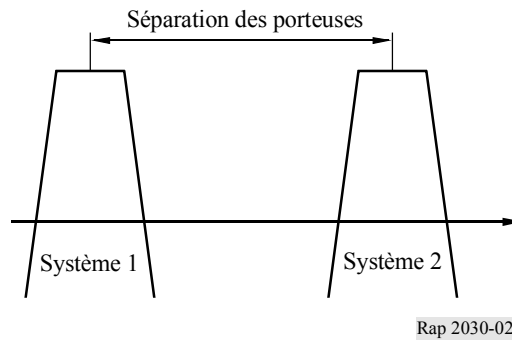
Attribution de fréquences prise pour hypothèse



Rap 2030-01

On suppose dans les calculs que les bandes DRT et DRF sont séparées par une largeur de bande définie (éventuellement nulle). Par définition, la séparation des porteuses est l'espacement spectral entre les fréquences centrales des bandes considérées, compte tenu des bandes de garde éventuelles.

FIGURE 2
Séparation des porteuses



Rap 2030-02

On constate donc que la séparation des porteuses est égale à la somme de la moitié de la largeur de bande du système 1 et de la moitié de la largeur de bande du système 2, plus éventuellement une bande de garde additionnelle. Pour un système DRT AMRC large bande à 3,84 Mélément/s, la séparation des porteuses est au minimum de $2,5 + 2,5 = 5$ MHz et pour un système AMRC-LB/TD-SCDMA, le minimum est de $2,5 + 0,8 = 3,3$ MHz.

Avec une bande de garde additionnelle de 5 MHz, la séparation des fréquences est donc respectivement de 10 et de 8,3 MHz.

2.3.2 Scénarios d'application et positions des stations de base

Dans cette étude, on a considéré différents types de stations de base (macro, micro et pico) (aussi bien pour les systèmes DRF que pour les systèmes DRT). On suppose que les stations de base macro sont installées au-dessus du niveau des toits des bâtiments (sont considérées ici les densités d'utilisateurs élevées ou peu élevées). Les stations de base macro sont utilisées essentiellement lorsque l'on cherche à couvrir une zone relativement étendue.

Les stations de base micro sont généralement installées au-dessous du niveau des toits dans des zones à forte densité d'utilisateurs. On utilise essentiellement ce type de stations pour renforcer la capacité dans des zones à forte densité d'utilisateurs.

Les stations de base pico sont utilisées à l'intérieur, et servent exclusivement aux communications à l'intérieur des bâtiments. Le plus souvent, elles sont utilisées dans des bâtiments administratifs. Elles peuvent en principe être utilisées à tous les étages. Toutefois, on suppose ici que leur hauteur par rapport au sol est comparable à celle des stations de base des microsystèmes.

Les hauteurs supposées des différentes stations de base sont résumées au Tableau 1. Par ailleurs, la hauteur moyenne des bâtiments est par hypothèse de 24 m, de sorte que les stations de base macro sont installées à 6 m au-dessus du niveau moyen des toits.

TABLEAU 1

Hauteur d'installation supposée des stations de base macro, micro et pico (DRF ou DRT)

Type de station de base	Hauteur (m)
Macro	30
Micro	6
Pico	6

2.4 Caractéristiques des émetteurs

Les caractéristiques des émetteurs sont notamment les limites de puissance d'émission et le gain d'antenne d'émission.

2.4.1 Puissance et gain d'antenne d'émission

Le Tableau 2 donne les valeurs de puissance de sortie maximale et de gain d'antenne des stations de base DRF et des stations de base DRT.

TABLEAU 2

Valeurs maximales de puissance d'émission et de gain d'antenne d'émission caractérisant les macro, micro et pico stations de base (DRF et DRT)

Type de station de base	Puissance d'émission maximale (dBm)	Gain d'antenne (d'émission) (dBi)
Macro DRF	43	15
Micro DRF	30	6
Pico DRF	24	0
Macro DRT 3,84 Mélément/s	43	15
Micro DRT 3,84 Mélément/s	30	6
Pico DRT 3,84 Mélément/s	24	0
Macro AMRCS-RT	34 ⁽¹⁾	15
Micro AMRCS-RT	21 ⁽¹⁾	6
Pico AMRCS-RT	12 ⁽¹⁾	3 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ La puissance d'émission d'une station de base TD-SCDMA est supposée inférieure à celle d'une station 3,84 Mélément/s du fait que la première nommée fait intervenir une antenne intelligente à 8 éléments.

On suppose que la station de base DRF émet en continu alors que la station de base DRT émet pendant la moitié du temps (coefficient d'activité = 0,5).

Les valeurs maximales de puissance d'émission et de gain d'antenne d'émission des stations mobiles DRF et DRT sont indiquées au Tableau 3.

TABLEAU 3

Valeurs maximales de puissance d'émission et de gain d'antenne d'émission des stations mobiles DRF et DRT

Type de station mobile	Puissance de sortie maximale (dBm)	Gain d'antenne (d'émission) (dBi)
DRF	21	0
DRT	21	0

2.4.2 Gabarits spectraux et valeurs d'ACLR

Les valeurs de rapport de fuite de puissance dans les canaux adjacents (ACLR, *adjacent channel leakage power ratio*) indiquées dans le Tableau 4 pour les stations de base sont dérivées respectivement des [1] et [2]. Pour une station de base DRT, les critères d'ACLR correspondent à une configuration de coexistence avec d'autres systèmes (DRT ou DRF).

Les valeurs indiquées ci-dessous sont valables pour un système DRT à 3,84 Mélément/s. Pour un système DRT à 1,28 Mélément/s, se reporter au § 2.6.

TABLEAU 4

Valeurs d'ACLR pour une station de base DRF ou DRT

Séparation des porteuses (MHz)	ACLR station de base DRF (dB)	ACLR station de base DRT (dB)
5	45	70
10	50	70
15	67	70

Les valeurs d'ACLR employées pour les stations mobiles DRF ou DRT sont indiquées au Tableau 5. Ces valeurs sont extraites des [3] et [4] sauf dans le cas 15 MHz (hypothèse de travail).

TABLEAU 5

Valeurs d'ACLR applicables aux stations mobiles DRF et DRT

Séparation des porteuses (MHz)	ACLR station mobile DRF (dB)	ACLR station mobile DRT (dB)
5	33	33
10	43	43

2.5 Caractéristiques des récepteurs

2.5.1 Bruit de fond et gain d'antenne des récepteurs (DRF et DRT)

Des valeurs de bruit de fond de respectivement -103 dBm et -99 dBm supposent une caractéristique de bruit de 5 et 9 dB (puissance de bruit thermique -174 dBm/Hz $\cdot$ 3,84 MHz = -108 dBm/3,84 MHz).

On trouvera au Tableau 6 les valeurs de bruit de fond et de gain d'antenne des récepteurs des stations de base DRF ou DRT. Les valeurs correspondantes pour ce qui est des stations mobiles DRF ou DRT figurent au Tableau 7.

TABLEAU 6

**Valeurs de bruit de fond et de gain d'antenne des récepteurs
des stations de base DRF ou DRT**

Type de station de base	Bruit de fond du récepteur (dBm)	Gain d'antenne (de réception) (dBi)
Macro DRF	-103	15
Micro DRF	-103	6
Pico DRF	-103	0
Macro DRT	-103	15
Micro DRT	-103	6
Pico DRT	-103	0

TABLEAU 7

**Valeurs de bruit de fond et de gain d'antenne des récepteurs
des stations mobiles DRF ou DRT**

Type de station mobile	Bruit de fond du récepteur (dBm)	Gain d'antenne (de réception) (dBi)
DRF	-99	0
DRT	-99	0

2.5.2 Sensibilité des récepteurs

Les niveaux de sensibilité de référence correspondant aux stations de base indiquées au Tableau 8 (pour un service à 12,2 kbit/s avec un TEB ne dépassant pas 0,001) sont établis à partir des [1] et [2].

TABLEAU 8

Sensibilité de référence des stations de base (DRF ou DRT)

Type de station de base	Niveau de sensibilité de référence de la station de base (dBm)
Macro DRF	-121
Micro DRF	-121
Pico DRF	-121
Macro DRT 3,84 Mélément/s	-109
Micro DRT 3,84 Mélément/s	-109
Pico DRT 3,84 Mélément/s	-109

Les valeurs de sensibilité des récepteurs de station mobile indiquées au Tableau 9 sont établies respectivement à partir des [3] et [4].

TABLEAU 9

Sensibilité des récepteurs de station mobile (DRF ou DRT)

Type de station mobile	Niveau de sensibilité de référence de la station de base (dBm)
DRF	-117
DRT	-105

2.5.3 Spécifications des valeurs de ratio de sélectivité vis-à-vis de la voie adjacente (ACS, *adjacent channel selectivity*)

Les valeurs de ratio ACS indiquées au Tableau 10 pour les stations de base sont (indirectement) établies à partir des [1] et [2], à l'exception du cas 15 MHz, pour lequel une hypothèse de travail a été posée. Par ailleurs, le Tableau 11 indique les valeurs d'ACS des stations mobiles DRF et DRT.

Les valeurs indiquées ci-après sont valables pour un système DRT à 3,84 Mélément/s. Pour les systèmes DRT à 1,28 Mélément/s, voir le § 2.6.

TABLEAU 10

Valeurs d'ACS, stations de base DRF et DRT

Séparation des porteuses (MHz)	ACS station de base DRF (dB)	ACS station de base DRT (dB)
5	46	46
10	58	58
15	66	66

TABLEAU 11

Valeurs d'ACS, stations mobiles DRF et DRT

Séparation des porteuses (MHz)	ACS station mobile DRF (dB)	ACS station mobile DRT (dB)
5	33	33
10	43	43

2.6 Ratio résultant de brouillage dans les canaux adjacents (ACIR, *adjacent channel interference ratio*)

Les ratios ACS et d'ACLR ont été extraits des spécifications 3GPP pour les valeurs de séparation de porteuses 5 et 10 MHz, et estimés pour une séparation de porteuses de 15 MHz.

Les valeurs d'ACLR et d'ACS indiquées plus haut donnent une valeur ACIR selon la formule suivante:

$$ACIR = \frac{1}{\frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS}} \text{ (linéaire)}$$

Dans la colonne ACIR, les valeurs ont été arrondies.

TABLEAU 12

Valeurs d'ACIR, station de base, dans le sens station DRF vers station DRT 3,84 Mélément/s

Séparation des porteuses (MHz)	ACLR station de base DRF (dB)	ACS station de base DRT 3,84 Mélément/s (dB)	Valeur d'ACIR résultante (dB)
5	45	46	~42
10	50	58	~49
15	67	66	~63

TABLEAU 13

ACIR DRT 3,84 Mélément/s → DRF

Séparation des porteuses (MHz)	ACLR station de base DRT 3,84 Mélément/s (dB)	ACS station de base DRF (dB)	Valeur ACIR résultante (dB)
5	70	46	~46
10	70	58	~58
15	70	66	~64

TABLEAU 14

ACIR TD-SCDMA → station de base DRF

Séparation des porteuses (MHz)	ACLR station de base TD-SCDMA (dB)	ACS station de base DRF (dB)	Valeur ACIR résultante (dB)
3,3	50 (dans la spécification, on utilise également une valeur de 50 dB pour une séparation des porteuses de 3,2 MHz)	46	~45
8,3	65 (estimation)	58	~57

Notons que les valeurs d'ACLR correspondant aux systèmes TD-SCDMA pour une séparation des porteuses de 8,3 MHz ont été estimées, puisqu'il n'existe pas de valeurs correspondant à cette séparation dans la spécification normalisée.

2.7 Gains d'antenne de la station brouilleuse et de la station victime dans la pratique

Avec des systèmes d'antennes classiques, les valeurs de gain d'antenne de la station brouilleuse et de la station victime, dans la pratique, correspondent à la somme des gains individuels dans le sens station brouilleuse-station victime, compte tenu des effets dus aux différences de hauteur d'installation et d'angle d'inclinaison vers le bas. Dans le cas particulier d'un couplage dans l'axe de visibilité directe, ce gain serait la somme des gains maximaux et correspondrait sans doute à la configuration de coexistence la plus défavorable. L'Appendice 3 expose de façon détaillée le calcul des gains d'antenne dans la pratique.

Dans le cas de systèmes DRT à antennes adaptatives avec mise en forme du faisceau, la configuration de coexistence doit être analysée différemment, et le calcul des probabilités de brouillage impose des analyses statistiques, par exemple sous forme de simulations de Monte Carlo. Les améliorations éventuellement apportées par l'utilisation d'antennes adaptatives ne sont pas traitées dans le présent Rapport et appellent un complément d'étude.

Distance de séparation de référence

2.8 Relations entre la dégradation acceptable au niveau de la station de base et les brouillages additionnels occasionnés à la station de base-distance de séparation de référence

Pour bien comprendre l'effet global au niveau d'un système d'une source de brouillage donnée (et en conséquence déterminer les distances de séparation requises), il importe de connaître les pertes de couverture et de capacité induites par un certain niveau de brouillage externe.

Dans la présente section, on étudie l'incidence du brouillage sur la couverture et la capacité en fonction du niveau de bruit total, compte tenu à la fois du bruit du récepteur et des brouillages externes. A partir des pertes acceptables, on détermine donc un niveau de brouillage acceptable. Il suffit ensuite de lire les distances de séparation requises dans les Tableaux du § 4.

Deux approches différentes sont adoptées pour étudier l'incidence de l'augmentation du bruit de fond au niveau de la liaison montante d'une cellule DRF: on étudie d'une part, l'impact sur la couverture et, d'autre part, l'impact sur la capacité.

Dans la première méthode, on calcule le nombre de stations de base (ou la densité de stations de base) nécessaire pour différentes valeurs de bruit de fond total (bruit du récepteur de la station de base + brouillage externe) et pour deux densités d'utilisateur différentes. On connaît ainsi l'effet sur la densité de stations de base requise d'une augmentation du bruit de fond dans des macrosystèmes à faible et fort taux d'utilisation. La méthode est décrite sous [5].

Dans la seconde méthode, on étudie l'incidence de l'augmentation du bruit de fond dans un réseau où les stations de base occupent des positions fixes. Ici, l'augmentation du bruit de fond entraîne une baisse de la capacité du système.

Bien que l'incidence n'ait été étudiée que dans le cas d'un système DRF, les mêmes principes s'appliquent aux systèmes DRT, et l'on constate des pertes analogues.

2.8.1 Définitions et relations de base

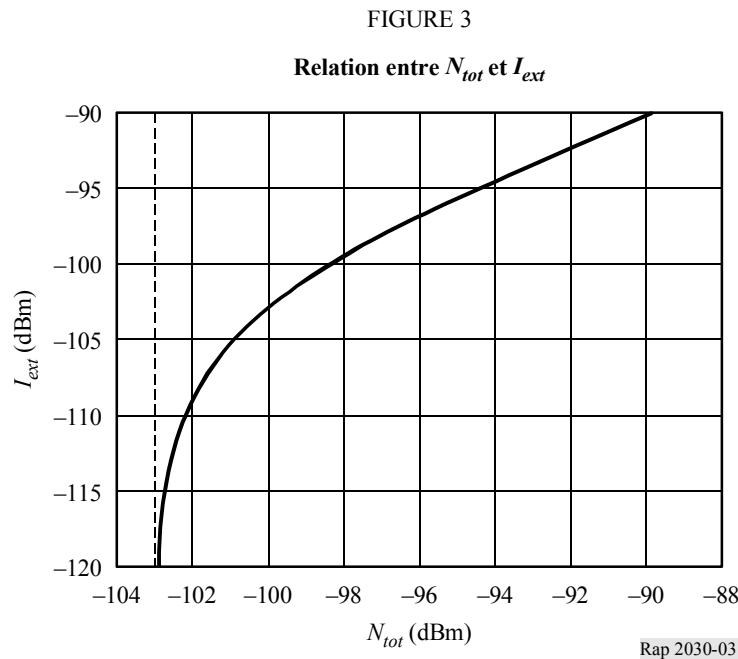
Le bruit de fond du récepteur imputable au bruit thermique est désigné N_{BS} , et il est fixe par hypothèse: $N_{BS} = -103$ dBm.

Le brouillage interne dans le système victime est composé aussi bien de brouillages entre cellules que de brouillages à l'intérieur d'une même cellule, et il est désigné par I_{int} , alors que le brouillage externe émanant du système brouilleur est désigné par I_{ext} .

Le bruit de fond total observé dans le système victime s'écrit:

$$N_{tot} = N_{BS} + I_{ext}$$

La Fig. 3 illustre la relation de correspondance entre N_{tot} et I_{ext} pour une valeur fixe de $N_{BS} = -103$ dBm.



Dans un système sans brouillage externe, le bruit de fond total au niveau du récepteur est $N_{tot} = N_{BS} = -103$ dBm.

Le brouillage total I se compose de trois éléments:

$$I = N_{BS} + I_{ext} + I_{int}$$

2.8.2 Incidence sur la densité de stations de base d'un nombre d'utilisateurs donné

L'incidence d'une augmentation du bruit de fond (occasionné par exemple par des brouillages externes) sur une liaison montante DRF est illustrée à la Fig. 4 (densité de stations de base en fonction du «bruit de fond total» au niveau du récepteur de la station de base DRF).

On calcule le point de référence pour une zone et une densité d'utilisateurs données. Un système DRF macrocellulaire doit couvrir la zone considérée et desservir les utilisateurs selon un critère de qualité de service donné. Pour minimiser les coûts, il faut faire intervenir un nombre de stations de base aussi peu élevé que possible. Comme les utilisateurs sont limités en puissance, c'est en général la liaison montante qui limite la couverture des macrocellules.

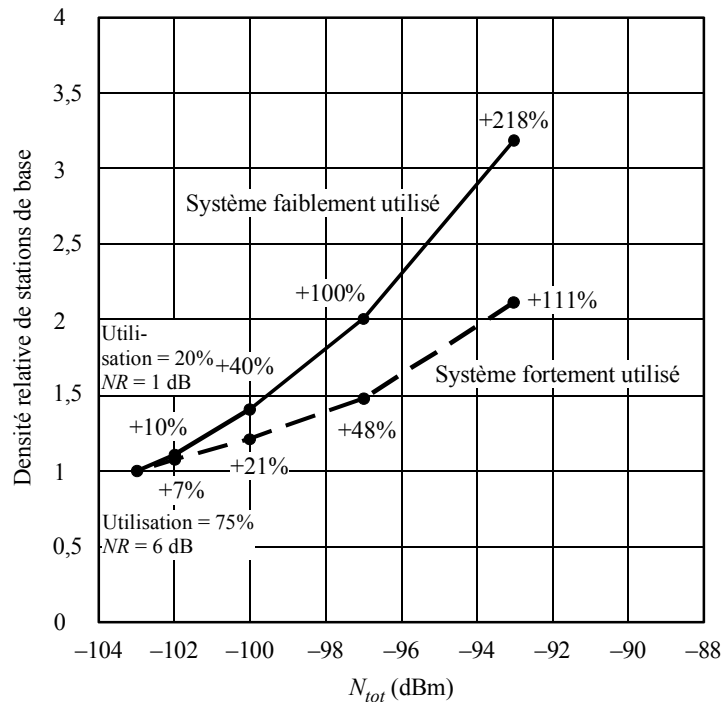
La partie extrême gauche des courbes de la Fig. 4 correspond à un système isolé en l'absence de brouillages externes. Au fur et à mesure que les brouillages externes apparaissent et augmentent, N_{tot} augmente en conséquence, ce qui impose un resserrement de la densité de cellules si l'on veut continuer de respecter le critère de qualité de service. La Fig. 4 représente également l'augmentation relative du nombre de stations de base par rapport au cas de référence.

On étudie deux systèmes, un premier système à faible taux d'utilisation (20% de la capacité) et un système fortement utilisé (75% de la capacité), ce qui correspond respectivement à une augmentation de bruit de 1 et 6 dB.

On constate que l'incidence est plus importante dans le cas du système faiblement utilisé (planifié essentiellement en fonction de la couverture) que dans le système fortement utilisé (planifié également en fonction d'une forte capacité).

FIGURE 4

Densité relative de stations de base en fonction du bruit du récepteur



NR: Augmentation du bruit

Rap 2030-04

2.8.3 Incidence sur la capacité du système pour un plan de cellules donné

Dans ce scénario, on suppose que la densité de stations de base ne peut pas être affectée par un resserrement du plan de cellules. Les brouillages externes auront plutôt des conséquences au niveau de la capacité du système. On montre que la perte de capacité de la liaison montante dépend de la configuration de mise en œuvre et du plan de système.

Les contraintes du système sont les suivantes: en liaison montante, le service doit respecter un certain rapport C/I cible, et par ailleurs, la station mobile doit émettre à un niveau de puissance inférieur à la puissance maximale jusqu'à la limite théorique de la cellule. Ainsi, le brouillage total I , au niveau du récepteur de la station de base, ne doit pas dépasser une certaine valeur I_{acc} , niveau maximal de brouillage acceptable défini à partir du critère de diamètre de cellule.

La relation: $I = N_{BS} + I_{ext} + I_{int} \leq I_{acc}$ doit donc être vérifiée.

Le bruit de fond relevé au niveau du système victime est comme auparavant:

$$N_{tot} = N_{BS} + I_{ext}$$

Outre l'inégalité définie plus haut, il faut aussi tenir compte de la contrainte de stabilité suivante: I_{int} ne peut pas dépasser de plus de 6 dB le bruit de fond total N_{tot} correspondant à une utilisation égale à 75% de la capacité maximale.

Pour les macrocellules et microcellules également prévues pour une couverture à l'intérieur des bâtiments, I_{acc} doit être relativement peu élevé, puisque la station de base doit pouvoir détecter un faible signal émanant d'une station mobile à la limite de la cellule la plus éloignée (ou, à l'intérieur de bâtiments, indépendamment de la configuration des murs) présentant un rapport C/I donné. Dans le cas de microcellules pour couverture extérieure seulement, I_{acc} peut être plus élevé. Les pico-cellules sont réservées aux configurations sans problèmes de couverture importants et autorisent des valeurs de I_{acc} encore plus importantes. La question sera traitée plus avant à la section suivante.

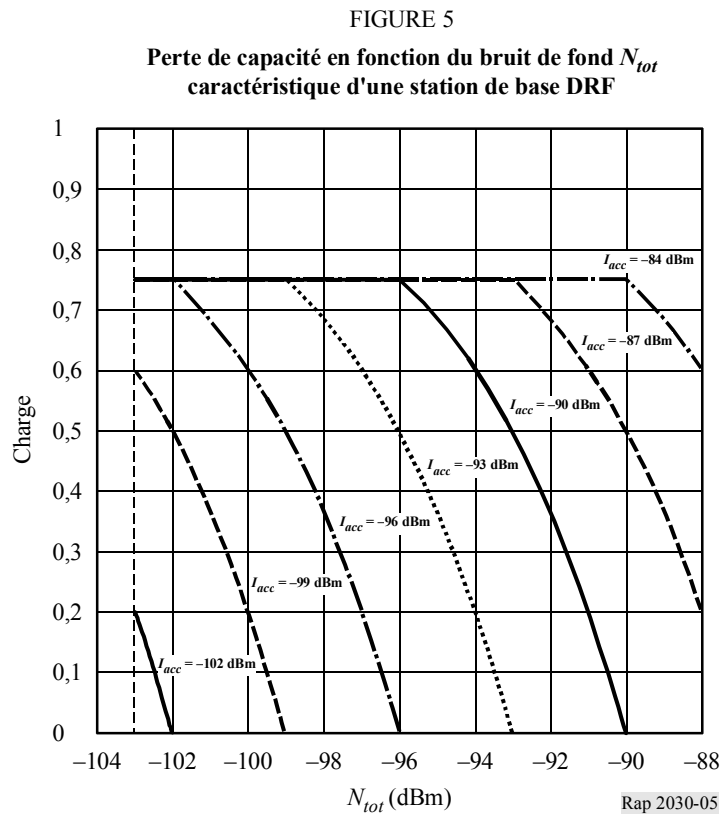
Aussi longtemps que I_{ext} et I_{int} sont suffisamment petits pour que l'inégalité ci-dessus soit vérifiée, I_{ext} et I_{int} peuvent s'accroître sans conséquences au niveau de la couverture ou de la capacité. Lorsque I_{ext} (et donc N_{tot}) augmente, I_{int} doit également augmenter pour que le rapport C/I soit respecté.

Toutefois, lorsque le terme gauche de l'inégalité est égal à I_{acc} , toute augmentation de I_{ext} doit avoir l'une des deux conséquences suivantes:

- le terme gauche dépasse la valeur limite de I_{acc} , de sorte que l'inégalité n'est plus respectée;
- l'augmentation de I_{ext} est compensée par une diminution du taux d'utilisation, et donc de I_{int} .

La première possibilité réduit la couverture et crée des vides dans le plan de cellules, et nous ne nous y intéresserons donc pas. La seconde option préserve l'intégralité du plan de cellules mais réduit la capacité. Les lignes qui suivent traitent de la quantification de cet effet.

La Fig. 5 représente le taux d'utilisation acceptable en fonction du bruit total au niveau du récepteur, N_{tot} . Du fait que la charge maximale est limitée à 75% pour des raisons de stabilité, les courbes présentent des segments horizontaux. Les différentes courbes sont établies pour différentes valeurs de I_{acc} , et toutes les courbes partagent la première partie du segment horizontal.



Il convient de noter cependant que pour des valeurs de $I_{acc} < -97$ dBm, la charge maximale est inférieure à 75% puisque la sensibilité du système est limitée par l'équation $N_{BS} = -103$ dBm même en l'absence de brouillages externes. Les courbes de gauche s'appliquent aux macrocellules, tandis que les courbes de droite correspondent aux picocellules, les courbes de la partie centrale s'appliquant aux microcellules.

Plus les valeurs de I_{acc} sont élevées, plus le segment horizontal de la courbe s'allonge, c'est-à-dire plus le brouillage externe tolérable sans dégradation de la capacité peut s'accroître. Lorsque le brouillage externe atteint une valeur critique, la capacité chute puisque la seule manière de maintenir la couverture est de réduire les brouillages internes en refusant des utilisateurs.

2.8.4 Niveaux de dégradation acceptables

Les sections qui précèdent permettent de formuler les conclusions suivantes quant au brouillage total pouvant être toléré en fonction du type de cellule et quant au bruit total pouvant être accepté compte tenu d'une perte de capacité admise.

Le Tableau 15 indique les fourchettes types des valeurs de brouillage externe maximal toléré pour différents types de cellules.

TABLEAU 15
Niveaux maximums de brouillage toléré

	Valeur de I_{ext} proposée (dBm)	I_{acc}		Augmentation résultant de la densité de stations de base	
		Sans perte de capacité (dBm)	Avec une marge de perte de capacité relative de 5%	Sans perte de capacité (%)	Avec une marge de perte de capacité relative de 5% (%)
Macro rurale	-114 à -106	-101,6 à -100,2	-101,6 à -100,2	3 à 21	3 à 21
Macro centre ville	-100 à -95	-95,1 à -91	-95,1 à -91,5	52 à 129	52 à 117
Micro extérieur	-97 à -90	-90,5 à -84,1	-90 à -83,6	60 à 183	46,5 à 170
Pico à l'intérieur de bâtiments	-85	Pas de résultat	Pas de résultat	Pas de résultat	Pas de résultat

Dans le présent Rapport, les résultats indiqués dans les tableaux ont été établis sur la base de la fourchette de valeurs de I_{ext} du Tableau 15.

Il convient de noter que plus la valeur tolérable retenue pour I_{ext} est réduite, plus le problème des brouillages potentiels est accentué, alors que, à l'inverse, une valeur élevée signifie que le système victime résiste mieux aux brouillages externes. Une valeur peu élevée est nécessaire dans les configurations où l'on recherche une forte sensibilité, par exemple dans le cas de systèmes limités en couverture ou de microsystemes prévus pour l'intérieur de bâtiments. Le système peut être configuré pour une valeur plus élevée au prix d'une augmentation du nombre de stations de base et parfois d'une réduction de la capacité, comme nous l'avons vu plus haut. Par ailleurs, le niveau de puissance des signaux émis par toutes les stations mobiles du système victime augmente alors.

Les valeurs de I_{ext} du présent tableau sont utilisées dans le § 4 pour l'estimation des distances de séparation ou des valeurs du paramètre ACIR requises.

2.8.5 Distances de séparation de référence

La distance de séparation acceptable entre stations de base dépend non seulement du type de cellule considéré mais également des contraintes de configuration ou de coopération associées au marché considéré. Les distances utilisées dans l'évaluation de la qualité de fonctionnement des systèmes sont indiquées ci-après. Ces valeurs semblent raisonnables et confèrent aux deux opérateurs une marge de manœuvre optimale pour choisir des configurations indépendantes, mais d'autres distances peuvent également être envisagées. On pourrait recourir à des valeurs de distance de séparation plus importantes sur les marchés où une coplanification entre les opérateurs concernés est envisageable.

Le Tableau 16 est exploité de deux manières différentes dans le présent Rapport. On utilise la distance comme critère de base pour le calcul de la valeur requise du paramètre ACIR. Lorsque le paramètre ACIR est fixe par hypothèse, on peut aussi comparer la distance de séparation calculée avec la valeur correspondante du Tableau 16 pour vérifier si le critère de distance minimale est respecté.

TABLEAU 16
Distances de séparation de référence

Scénario	Distance de séparation de référence (m)
Macro-macro	100
Macro-micro	50
Micro-micro	50
Macro-pico	50
Micro-pico	20
Pico-pico	10

3 Méthodes d'évaluation des brouillages

3.1 Modèles de propagation

Tous les modèles de propagation utilisés sont conformes à ce qui est spécifié au [6], à l'exception du modèle de propagation en ligne de visibilité directe (LoS, *line of sight*) à double pente. Par ailleurs, tous les modèles sont adaptés pour une fréquence de 2,6 GHz.

Les modèles de propagation ne tiennent compte que du comportement moyen du signal. Les variations par rapport à la moyenne, dues à l'évanouissement, ne sont pas prises en compte. De surcroît, les modèles de propagation sont initialement utilisés pour l'étude de la propagation entre stations de base et stations mobiles. Cependant, dans la présente étude, il faut également considérer la propagation de base à base et la propagation de mobile à mobile. Lorsque cela est possible, on utilise les modèles de propagation appliqués à la propagation base-mobile.

On utilise les modèles suivants:

- modèle d'affaiblissement sur le trajet – essais à bord de véhicules [6];
- modèle d'affaiblissement sur le trajet – essais extérieur-intérieur de bâtiments [6];
- modèle d'affaiblissement sur le trajet – essais avec piétons [6];
- modèle d'affaiblissement sur le trajet – essais intérieur de bâtiments [6];
- modèle de propagation en visibilité directe à double pente (voir l'Appendice 2 et [7]).

Modèle d'affaiblissement sur le trajet – essais à l'aide de véhicules

$$L = 130,5 + 37,6 \log(R)$$

où:

R : distance (km).

Modèle d'affaiblissement sur le trajet – essais extérieur-intérieur de bâtiments

$$L = 151,4 + 40 \log(R)$$

où:

R : distance (km).

Modèle d'affaiblissement sur le trajet – essai avec piétons

Par hypothèse, le trajet entre l'émetteur et le récepteur fait un angle de 90° . Par ailleurs, on suppose que la distance au sol de l'émetteur et celle du récepteur sont sensiblement inférieures à la hauteur des bâtiments avoisinants.

$$L = 20 \log\left(\frac{4 \pi d_n}{\lambda}\right)$$

$$d_n = \frac{d}{2} \left(2 + d \cdot \frac{q}{2}\right)$$

où:

d : distance (m).

Modèle d'affaiblissement sur le trajet – essais à l'intérieur de bâtiments

$$L = 37 + 30 \log(R) + 18,3 n \left(\frac{n+2}{n+1} - 0,46\right)$$

où:

R : distance (m)

n : nombre d'étages sur le trajet.

Propagation LoS à double pente

Dans le modèle de propagation en visibilité à double pente, on suppose que la propagation se fait en espace libre jusqu'au point d'inflexion, d_{break} . Après le point d'inflexion, l'affaiblissement s'accroît en raison des réflexions de surface.

$$L_{LoS} = \begin{cases} 40,7 + 20 \log(d) & \text{pour } 1 \leq d \leq d_{break} \\ 40,7 - 20 \log(d_{break}) + 40 \log(d) & \text{pour } d \geq d_{break} \end{cases}$$

où:

d : distance (m).

Le point d'inflexion est déterminé comme suit:

$$d_{break} = 4 \frac{h_{tx} \cdot h_{rx}}{\lambda}$$

avec:

h_{tx} et h_{rx} : respectivement hauteur (par rapport à la surface réfléchissante) de l'émetteur et du récepteur.

λ : longueur d'onde.

On suppose que le point d'inflexion apparaît à la distance à laquelle la première zone de Fresnel est tangente au sol (surface réfléchissante). La formule de détermination du point d'inflexion donne une approximation de cette distance.

Exemple: Si l'on suppose que l'émetteur et le récepteur sont situés à une hauteur de 6 m, le point d'inflexion se trouve à 1 248 m (puisque la fréquence de 2,6 GHz correspond à une longueur d'onde de 0,1154 m).

On trouvera davantage de détails sur ce modèle à l'Appendice 2.

3.2 Calculs déterministes

3.2.1 Brouillage BS-BS

Macro DRF – macro DRT

Situation de proximité: On utilise le modèle de propagation LoS à double pente pour calculer l'affaiblissement sur le trajet entre une station de base de macrosystème DRF et une station de base de macrosystème DRT.

Même emplacement: Le modèle n'est pas utilisé, et l'on applique un affaiblissement de couplage de 30 dB.

Macro DRF – micro DRT

On utilise le modèle véhicules pour modéliser la propagation entre une station de base de macrosystème DRF et une station de base de macrosystème DRT. On suppose que l'altitude de la première nommée est supérieure à la hauteur des toits et que la station de base du système DRT est utilisée à une hauteur sensiblement inférieure à celle des bâtiments avoisinants.

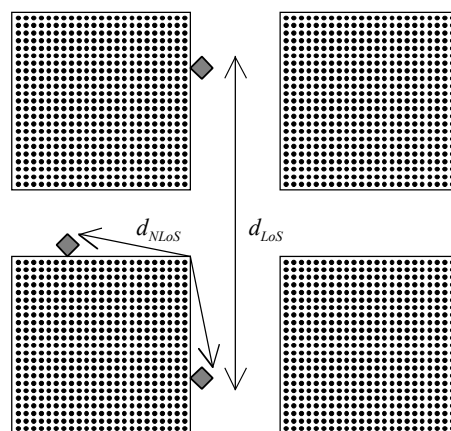
Macrosystème DRF – picosystème DRT

On utilise le modèle de propagation extérieur-intérieur pour calculer l'affaiblissement sur le trajet entre une station de base de macrosystème DRF et une station de base de picosystème DRT. On suppose que cette dernière se trouve à l'intérieur d'un bâtiment et qu'il n'y a pas de trajet en LoS entre les deux stations de base (une configuration LoS pourrait exister par exemple lorsque la station de base du picosystème est située au niveau supérieur du bâtiment à proximité d'une fenêtre faisant face à la station de base du macrosystème).

Micro DRF – micro DRT

Dans ce cas, deux scénarios sont considérés, selon que les stations de base sont situées dans la même rue ou dans des rues différentes. Dans le premier cas, la propagation se fait en LoS. Dans le cas de stations de base situées dans des rues différentes, on suppose qu'un seul coin de bâtiment (90°) existe sur le trajet entre les deux stations, lesquelles sont équidistantes de ce coin. Les deux configurations sont illustrées à la Fig. 6.

FIGURE 6
Propagation entre 2 stations de base de microsysteme,
dans une même rue et dans des rues différentes



NLoS: non LoS

Rap 2030-06

Lorsque les stations de base sont situées dans la même rue, on utilise le modèle de propagation LoS à double pente, tandis que c'est le modèle d'affaiblissement sur le trajet en environnement piétons qui est appliqué lorsque les deux stations de base sont dans des rues différentes.

Micro DRF – pico DRT

Dans cette configuration, on utilise le modèle d'affaiblissement sur le trajet extérieur-intérieur. On suppose un trajet indirect entre les deux stations de base (mais il pourrait y avoir un trajet LoS dans certaines configurations: fenêtre ...).

Pico DRF – macro DRT

Scénario non considéré.

Pico DRF – micro DRT

Modèle d'affaiblissement sur le trajet extérieur-intérieur (voir également configuration micro DRF – pico DRT ci-dessus).

Pico DRF – pico DRT

On suppose que les deux stations de base sont à l'intérieur du même bâtiment, séparées par un étage.

Exemple de calcul de brouillage occasionné à l'étage de réception d'une station de base de système DRF par l'étage d'émission d'une station de base de macrosystème DRT

Nous considérons d'abord le calcul de la distance de séparation requise lorsque le paramètre ACIR est connu, puis le calcul de la valeur requise du paramètre ACIR lorsque la distance est connue. On trouvera au § 2 et à l'Appendice 3 toutes les valeurs de gain d'antenne résultantes ainsi que les valeurs du paramètre ACIR et les fourchettes de brouillage externe toléré.

Éléments connus:

Puissance de sortie de la station de base du système DRT	$P = 43$ dBm
Coefficient d'utilisation de la station de base du système DRT: 0,5	$\alpha = -3$ dB
Gain d'antenne d'émission de la station de base du système DRT	$G_{A,Tx} = 15$ dBi
ACLR de la station de base du système DRT	$ACLR = 70$ dB
Bruit de fond du récepteur de la station de base du système DRF	$Rx_{noise} = -103$ dBm
Gain d'antenne de réception de la station de base du système DRF	$G_{A,Rx} = 15$ dBi
ACS de la station de base du système DRF	$ACS = 46$ dB

Étape 1: Calculer la puissance de sortie efficace

La puissance de sortie efficace est la puissance d'émission moyenne (puissance de sortie plus coefficient d'utilisation):

$$P_{average} = P + \alpha = 43 + (-3) = 40 \text{ dBm}$$

Étape 2: Calculer le gain d'antenne résultant

On considère ici deux stations de base macro situées à la même hauteur. Le gain d'antenne résultant est la somme des gains à l'émission et à la réception.

$$G_A = G_{A,Tx} + G_{A,Rx} = 15 + 15 = 30 \text{ dBi}$$

Étape 3: Calculer ACIR

$$ACIR = \frac{1}{\frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS}} \text{ (linéaire)}$$

$(ACLR, ACS) = (70, 46)$ dB signifie $ACIR = 45,98 \text{ dB} \approx 46 \text{ dB}$.

Etape 4: Définir le brouillage maximal tolérable dans un canal adjacent

Selon le Tableau 15, N_{tot} doit être égal au maximum à $-102,7$ dBm, ce qui, pour $N_{BS} = -103$ dBm, implique que $ACI_{max} = -114$ dBm.

Etape 5: Calculer l'affaiblissement sur le trajet requis

$$L = P + G_A - ACIR - ACI_{max} = 40 + 30 - 46 - (-114) = 138 \text{ dB}$$

Etape 6: Convertir l'affaiblissement sur le trajet en une distance de séparation requise (selon la formule de propagation)

$$L_{LoS} = \begin{cases} 40,7 + 20 \log(d) & \text{pour } 1 \leq d \leq d_{break} \\ 40,7 - 20 \log(d_{break}) + 40 \log(d) & \text{pour } d \geq d_{break} \end{cases}$$

L'affaiblissement au point d'inflexion (à 1 248 m) est de 102,6 dB: la distance recherchée est donc supérieure à la distance au point d'inflexion ($d > d_{break}$). La distance de séparation requise d_{sep} est donc égale à 9 541 m.

Lorsque l'on connaît la distance de séparation et que l'on recherche $ACIR$, les Etapes 5 et 6 sont légèrement modifiés comme suit:

Etape 7: Calculer $ACIR$

$$ACIR = P + G_A - L - ACI_{max}$$

avec (selon la formule de propagation) L fonction du modèle de propagation (propagation LoS dans l'exemple) et, la distance d étant connue:

$$L_{LoS} = \begin{cases} 40,7 + 20 \log(d) & \text{pour } 1 \leq d \leq d_{break} \\ 40,7 - 20 \log(d_{break}) + 40 \log(d) & \text{pour } d \geq d_{break} \end{cases}$$

Si $d = 100$ m

$$ACIR = 40 + 30 - (40,7 + 20 \cdot \log(100)) - (-114) = 103,3 \text{ dB}.$$

3.2.2 Brouillage BS-BS, autre méthode

La méthode utilisée pour évaluer le brouillage BS-BS peut servir à déterminer un compromis entre la puissance d'émission requise compte tenu de la couverture demandée et la puissance disponible pour surmonter les brouillages externes. On détermine alors l'affaiblissement sur le trajet tolérable en limite de cellule en supposant que les contraintes C/I sont respectées et en prenant pour hypothèse une différence positive de 6 dB entre le bruit de cellule et le brouillage externe.

On considère trois cas:

- DRT et DRF en configuration micro, sans propagation LoS entre stations de base.
- DRT et DRF en configuration micro, avec LoS entre les stations de base.
- DRT micro et DRF macro.

Pour le gain d'antenne combiné en configuration macro-micro, on considère deux cas. Dans l'hypothèse la plus défavorable, on calcule les résultats en partant de l'hypothèse que l'antenne de la station de base victime et l'antenne de la station de base qui cause le brouillage se font face dans l'axe de leur gain maximal. Dans ce cas, le gain combiné des deux antennes est de 21 dB puisque par hypothèse la station de base macro présente un gain de 15 dBi et la station de base micro un gain de 6 dBi.

Toutefois, comme cela est précisé dans l'Appendice 3, la valeur combinée du gain d'antenne d'émission et du gain d'antenne de réception, lorsque ces antennes sont proches l'une de l'autre, est inférieure (ou égale) à 8 dB.

La différence de niveau de brouillage entre les deux hypothèses est de 13 dB (21 – 8 dB). En conséquence, la variation de portée de cellule tolérable est comparable (légèrement inférieure à 13 dB, en raison de la contribution du bruit thermique).

Dans la plupart des cas, les paramètres retenus dans l'analyse ont été vérifiés. Les variations de paramètres sont indiquées au Tableau 17. En ce qui concerne les valeurs du paramètre ACLR pour les stations de base DRT, on utilise deux ensembles de valeurs. Le premier ensemble correspond aux critères minimums définis sous [2], alors que le second ensemble de valeurs correspond aux valeurs du Tableau 4. L'augmentation du paramètre ACLR (à 5 MHz et 10 MHz), à 70 dB, entraîne une réduction du niveau de brouillage occasionné par la station de base brouilleuse à la station de base victime, ce qui explique l'augmentation des valeurs tolérables de portée de cellule.

TABLEAU 17
**Evaluation de diverses configurations de brouillage BS-BS –
hypothèses de travail**

Paramètre		Micro-micro, NLoS	Micro-micro, LoS	Micro-macro
Coefficient d'utilisation de l'émetteur de la station de base		1		
Coefficient d'activité vocale (dB)		–2,8		
Station de base DRT (Groupe 1)	ACLR1	45		
	ACLR2	55		
	ACLR3	70		
Station de base DRT (Groupe 2)	ACLR1	70		
	ACLR2	70		
	ACLR3	70		
ACLR1 (Station de base DRT)		45		
ACLR2 (Station de base DRT)		55		
ACLR3 (Station de base DRT)		67		
Distance de couplage (m)		50		
Couplage (dB)		89	72	79

3.3 Simulation de Monte Carlo

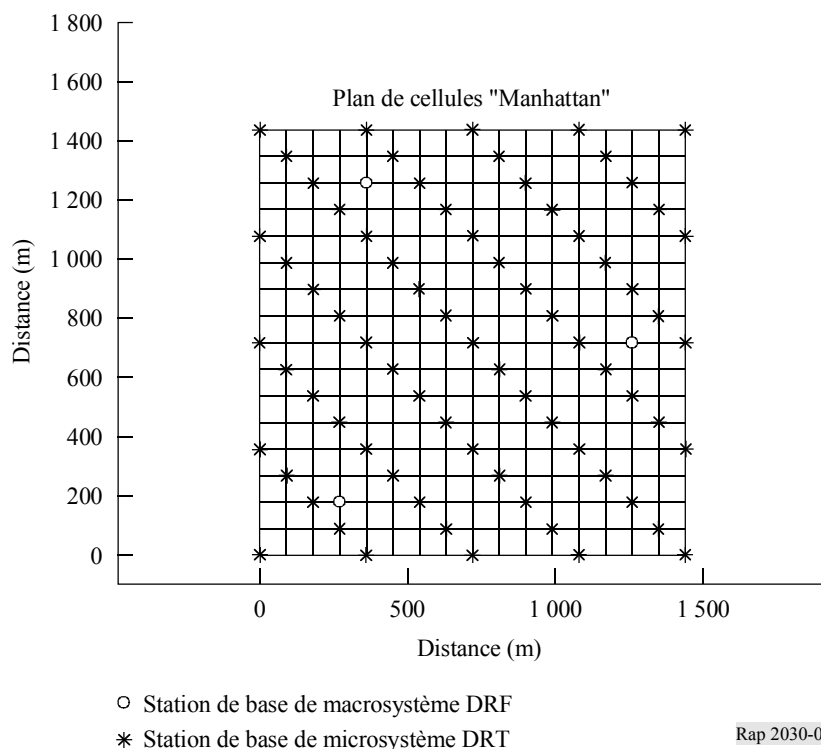
3.3.1 Effets, sur la capacité, de configurations de brouillage MS-BS, BS-MS, MS-MS dans des scénarios macro DRF/micro DRT/3,84 Mélément/s

Environnement et modèles de propagation

Le plan de cellules utilisé correspond à un environnement Manhattan classique (voir la Fig. 7). La configuration est analogue à la configuration proposée dans [6, § 6.1.5]. Le groupe de bâtiments mesure 75 × 75 m, avec une largeur de rue de 15 m. Le système DRT n'est modélisé que sous forme de microsystème, avec 73 stations de base. On suppose que le système DRF est soit un macrosystème (au-dessus du niveau des toits), soit un microsystème. Le modèle prévoit

12 macrosystèmes mais, comme illustré à la Fig. 7, 3 systèmes seulement sont utilisés dans l'évaluation de la qualité de fonctionnement. Les 9 stations de base qui entourent la configuration ne sont utilisées que pour éviter les effets en limite. Les stations de base du microsysteme DRF sont modélisées comme la station de base du microsysteme DRT. Les stations de base micro DRT et micro DRF ne sont toutefois pas installées sur les mêmes sites, étant systématiquement séparées par un groupe de bâtiments.

FIGURE 7
Plan de cellules utilisé



Les utilisateurs sont à l'extérieur, également répartis dans les rues.

On utilise le modèle d'affaiblissement sur le trajet de type véhicules pour décrire la propagation des signaux radioélectriques entre une station de base de système macro et un utilisateur. Entre une station de base de microsysteme et un utilisateur et entre deux utilisateurs, on utilise le modèle piétons.

Les principaux paramètres de la simulation apparaissent dans le Tableau 18.

TABLEAU 18
Valeurs requises de C/I et asymétrie supposée

	Type de commande de puissance	Valeur requise de C/I	Nombre d'intervalles de temps par trame (DRT seulement)
Liaison descendante DRF	D'après C/I	-21	—
Liaison montante DRF	D'après C/I	-21	—
Liaison descendante DRT	D'après C/I	-3	8
Liaison montante DRT	D'après C/I	-5	7

Mesure de la qualité de fonctionnement

La qualité de fonctionnement se mesure d'après les interruptions et les occultations. Il y a interruption de service lorsqu'un utilisateur ne peut pas obtenir la valeur C/I requise (évaluation effectuée d'après le nombre total d'utilisateurs). Il y a blocage ou occultation lorsqu'un utilisateur ne peut pas accéder au système faute de ressources suffisantes au niveau des stations de base (par exemple, lorsque tous les canaux sont occupés).

La capacité est par définition la charge de trafic maximale associée à un taux d'interruption inférieur à 5% et à un taux d'occultation inférieur à 2%.

Toutes les évaluations sont effectuées pour des valeurs de séparation de porteuse de 5 et 10 MHz.

Brouillages MS-BS

Dans cette configuration, les terminaux DRT provoquent des brouillages subis par une station de base DRF. La configuration inverse (station de base DRT subissant les brouillages de terminaux DRF) peut être examinée de façon analogue.

Les utilisateurs du système DRT sont répartis de façon aléatoire dans la zone couverte par le système. On peut alors calculer l'affaiblissement sur le trajet (y compris dans les zones d'ombre) pour les stations de base DRT et DRF. Les utilisateurs des systèmes DRT se raccordent à la station de base DRT la plus proche (relativement à l'affaiblissement sur le trajet) et ils sont affectés de façon aléatoire à l'un des canaux de liaison montante (combinaison intervalle de temps/code).

Par ailleurs, on calcule la puissance de sortie que doit présenter la station mobile DRT pour que le rapport C/I requis au niveau du récepteur soit obtenu. En fonction de la puissance de sortie de tous les terminaux DRT, on peut calculer l'ACI au niveau des récepteurs de stations de base DRF. L'ACI est calculé pour chaque intervalle de temps de liaison montante DRT, et on calcule la moyenne pour l'ensemble de la trame radioélectrique.

Le niveau d'ACI relevé à chaque station de base qui est à l'origine d'une augmentation du bruit de fond du récepteur de la station de base DRF est pris en compte dans l'évaluation de la qualité du système DRF, et on applique alors une procédure analogue à la méthode décrite plus haut. Les utilisateurs sont répartis de façon aléatoire dans le système, on calcule l'affaiblissement sur le trajet vers les stations de base DRF et chaque utilisateur se raccorde à une ou plusieurs stations de base (en fonction des critères de transfert progressif). Par ailleurs, le niveau de puissance de la liaison montante DRF est réglé, si possible, de façon à ce que le rapport C/I requis à la réception du système DRF soit obtenu. Enfin, on évalue la qualité de fonctionnement du système par des calculs d'interruption (et de blocage).

Brouillages BS-MS

On procède comme pour les brouillages de station mobile à station de base (voir plus haut), à la différence qu'ici la station brouilleuse est une station de base (DRT ou DRF) tandis que la station victime est une station mobile (DRF ou DRT).

Brouillages MS-MS

Même méthode que pour les brouillages de station mobile à station de base, à la différence que la station brouilleuse est une station mobile (DRT ou DRF), le brouillage étant subit par une autre station mobile (DRF ou DRT).

3.3.2 Effets de brouillage MS-BS et MS-MS dans des configurations DRF/DRT 3,84 Mélément/s et DRF/DRT 1,28 Mélément/s

Les modèles et la méthode appliqués sont tout à fait comparables aux modèles et méthodes utilisés par Ericsson (voir la section précédente), de sorte qu'une brève description suffira. On cherche avant tout, avec les simulations, à évaluer la coexistence de macrocellules dans un environnement véhicules (cas 3: 120 km/h), pour une téléphonie vocale à 8 kbit/s seulement.

La simulation repose sur des calculs de fonctions de distribution cumulative instantanés de Monte Carlo effectués pour de grands nombres (essais) de distributions mobiles stochastiques sur les différentes cellules (avec commande de puissance).

Aucune synchronisation ou coordination n'est supposée entre les différents systèmes.

La simulation a pour objet de déterminer la perte de capacité relative d'un système victime (pour une liaison montante ou descendante donnée) en présence d'un second système qui est le système brouilleur. La référence de perte de capacité est la capacité du système victime seul, sans la présence du système brouilleur.

3.3.3 Effets d'interruption de service dans le cas de brouillages MS-MS dans des configurations DRF/DRT 3,84 Mélément/s

Pour examiner une disposition de fréquences donnée dans une bande, il est nécessaire de déterminer les bandes de garde nécessaires entre les deux systèmes considérés, ainsi que les effets résiduels en limite de canal.

En cas de réduction de la capacité en canaux en limite de couverture, cette disposition n'est pas nécessairement à exclure. Toutefois, la situation diffère selon que l'on considère une modification des bandes existantes ou la planification de nouvelles bandes. Dans le cas d'une bande déjà en service, la réduction de capacité consécutive à une modification d'utilisation d'une bande adjacente pose un problème plus sérieux que dans le cas d'une bande nouvellement mise en service avec deux systèmes coexistants car, dans le second cas, on sait dès le départ qu'il y aura réduction de la capacité.

Le choix de la technologie d'accès radioélectrique dans la bande de fréquences considérée dépend de la probabilité d'interruption du service pouvant être obtenue dans la bande en question et les canaux avoisinants dans une configuration réaliste. Si le plan de fréquences ne permet pas une valeur minimale de probabilité d'interruption satisfaisante dans un système en conditions réelles, il y a lieu d'éviter la configuration de fréquences en question.

Lorsqu'il s'agit d'arrêter la disposition des fréquences, on procède généralement à des études de coexistence, qui font apparaître l'efficacité relative d'exploitation du spectre que l'on peut envisager. L'efficacité de la disposition retenue peut être évaluée sur la base de deux paramètres, à savoir le taux minimal d'interruption du service et la perte de capacité.

On peut éviter les problèmes que pose un taux d'interruption minimal peu satisfaisant en recourant à des bandes de garde entre les différents systèmes. Pour ce qui est du problème de réduction de la capacité, on peut envisager d'ajouter des stations de base ou de prévoir dès le départ un nombre suffisant de stations de base dans la planification.

Les plans de disposition des fréquences des systèmes DRF (AMRC large bande) et DRT (3,84 Mélément/s) exploités dans des bandes adjacentes peuvent se traduire par des problèmes de brouillage du fait que les systèmes DRT utilisent les mêmes bandes à la fois en liaison montante et en liaison descendante. A la limite entre un système DRT et un système DRF, il peut être nécessaire d'utiliser une bande de garde et, pour réduire les brouillages, de réduire la capacité globale des deux systèmes.

3.3.3.1 Simulation de Monte Carlo en fonction d'un taux d'interruption minimal

Il y a interruption du service lorsque l'utilisateur ne peut pas obtenir la valeur cible de $C/(I + N)$, c'est-à-dire lorsque la connexion avec le réseau ne peut pas être établie ou maintenue. Plus généralement, l'interruption du service dépend des effets combinés du bruit, des brouillages dans le même canal et des brouillages de canal adjacent.

En l'absence de brouillages, la portée est limitée par le champ du signal. Les brouillages occasionnés par d'autres utilisateurs dans le même canal peuvent également provoquer l'interruption lorsque le nombre des utilisateurs actifs est élevé et que les brouillages sont donc importants, et, dans ce cas, il faut limiter le nombre des utilisateurs qui accèdent au réseau. Les brouillages de fréquences adjacentes peuvent également être à l'origine de problèmes d'interruption de service que l'on peut résoudre dans certaines configurations, par exemple, BS-BS. L'effet du paramètre ACI est particulièrement important pour les brouillages MS-MS, occasionnant des interruptions de service inévitables au niveau de la planification. Il est donc nécessaire de déterminer la largeur de la bande de garde à prévoir pour que le taux d'interruption du service ne soit pas inacceptable.

En ce qui concerne la mesure des niveaux de brouillage, l'expression probabilité de brouillage est souvent utilisée; cette expression correspond en fait au pourcentage d'interruption de service, c'est-à-dire au pourcentage d'utilisateurs pour lesquels le niveau brouillage + bruit est trop élevé.

L'objectif des simulations est de déterminer les interruptions de service causées par des brouillages de canal adjacent, l'accent étant mis sur les interruptions qui ne peuvent pas être évitées avec une bonne planification initiale du réseau.

3.3.3.2 Méthode de simulation

On utilise pour la mesure des interruptions la même méthode et les mêmes outils, pour l'essentiel, que pour les simulations de Monte Carlo de la réduction de capacité. On évalue les niveaux du signal utile et des signaux brouilleurs pour chaque configuration (sur la base de distributions aléatoires) afin de déterminer si la valeur cible de $C/(I + N)$ est atteinte. A la différence de la méthodologie appliquée pour l'évaluation de la réduction de la capacité, on calcule les interruptions de service (alors que pour calculer la réduction de la capacité, on suppose un niveau donné d'interruption acceptable).

La configuration utilisée dans les calculs comporte une liaison victime et une liaison brouilleuse (voire plusieurs liaisons brouilleuses) entre un terminal mobile et une station de base. Les positions relatives des terminaux mobiles et des stations de base sont définies sur la base de distributions.

L'effet des brouillages dans un même canal n'est pas pris en compte. En conséquence, la probabilité de brouillage obtenue dans la simulation sera inférieure à celle d'un système sous charge. Toutefois, puisqu'il est difficile d'obtenir une bonne estimation de la charge, la décision de ne modéliser que les brouillages de canal adjacent est judicieuse.

Dans les simulations, les utilisateurs ne se déplacent pas, et il n'y a ni adjonction ni suppression de connexions. En conséquence, les pertes de connexion ne se produisent qu'au stade de l'établissement, puisque l'environnement ne change pas. Il en résulte que, dès lors que la connexion a été établie, la liaison est active de bout en bout. Dans un réseau réel, les utilisateurs se déplacent, et un utilisateur n'étant pas concerné par une interruption du service au début de sa communication pourra pénétrer dans une zone où existe de forts brouillages, zone au niveau de laquelle la communication sera interrompue.

3.3.3.3 Brouillages MS-MS, DRF macro-DRT macro/pico

Dans le cas de brouillages MS-MS, l'évaluation se fait par simulation de Monte Carlo, avec des espacements des porteuses de 5 et de 10 MHz. On suppose que les fréquences inférieures à 2550 MHz sont utilisées pour les liaisons montantes DRF et les fréquences supérieures à 2550 MHz pour les liaisons DRT. Le système DRF est toujours un système macro, alors que pour le système DRT on étudie la situation avec un macrosystème et un picosystème mais, il convient de le noter, en configurations distinctes.

Le service considéré est un service parole à 8 kbit/s (DRT et DRF).

3.3.3.4 Système victime

Le système victime est soit une macrocellule DRT soit une picocellule DRT. Ces deux possibilités sont étudiées comme deux scénarios différents. On considère la liaison descendante, puisque c'est le terminal mobile qui subit le brouillage.

Dans le scénario macrocellule, tous les mobiles DRT sont par hypothèse dans un environnement extérieur. Pour ce qui est du scénario picocellule, la station de base et le terminal mobile sont à l'intérieur d'un bâtiment.

Les spécifications figurent au Tableau 19, au Tableau 20 (macro) et au Tableau 21 (pico). Il s'agit des spécifications précisées au § 2. Les valeurs ACS d'un terminal mobile DRT sont indiquées au Tableau 22. La station de base DRT n'a pas de commande de puissance (puissance d'émission fixe).

La puissance d'émission totale de la station de base est partagée entre les utilisateurs. On considère par hypothèse un nombre maximal de 12 utilisateurs par intervalle de temps, et les puissances d'émission dont disposent ainsi les utilisateurs sont indiquées au Tableau 20 et au Tableau 21.

TABLEAU 19

Station mobile DRT AMRC (réception)

<i>C/I</i>	−5 dB
Bruit de fond	−99 dBm
Sensibilité	−105 dBm
Hauteur d'antenne	1,5 m
Gain d'antenne	0 dBi

TABLEAU 20

Station de base macro DRT AMRC (émission)

Puissance d'émission, total station de base	43 dBm
Puissance d'émission, disponible pour un utilisateur	32,2 dBm
Rayon de couverture	0,5 km
Hauteur d'antenne	30 m
Gain d'antenne	15 dBi

TABLEAU 21

Station de base pico DRT AMRC (émission)

Puissance d'émission, total station de base	24 dBm
Puissance d'émission, disponible pour un utilisateur	13,2 dBm
Rayon de couverture	0,05 km
Hauteur d'antenne	6 m
Gain d'antenne	0 dBi

TABLEAU 22

Valeurs des paramètres ACLR et ACS

Espacement des porteuses (MHz)	ACLR station mobile DRF (dB)	ACS station mobile DRT (dB)
5	33	33
10	43	43

3.3.3.5 Système brouilleur

Le système brouilleur est une macrocellule DRF. Dans ce scénario, on considère la liaison montante (émission terminal mobile). La station mobile est dotée d'une commande de puissance, modélisée sur la base d'une commande de puissance idéale. La commande de puissance règle la puissance reçue en fonction d'une valeur de sensibilité de réception fixe préétablie (contrôle de puissance basé sur C).

Dans le scénario où le système victime est un macrosystème DRT, on suppose que tous les mobiles DRF sont utilisés en plein air. Dans le cas d'un picosystème DRT, on suppose que tous les mobiles DRF sont à l'intérieur du bâtiment. Les spécifications sont celles du § 2, résumées dans les Tableaux 23 et 24. Les valeurs du paramètre ACLR d'un terminal mobile DRF sont indiquées au Tableau 22.

TABLEAU 23

Terminal mobile DRF AMRC-LB (émission)

Puissance d'émission	21 dBm
Hauteur d'antenne	1,5 m
Gain d'antenne	0 dBi
Pas du système de commande de puissance	1 dB
Commande de puissance: puissance reçue minimale	-121 dBm
Commande de puissance: dynamique	70 dB

TABLEAU 24

Station de base DRF AMRC-LB (réception)

Hauteur d'antenne	30 m
Gain d'antenne	15 dBi
Sensibilité du récepteur	-121 dBm
Rayon de couverture fixe	0,5 km

3.3.3.6 Modèles d'affaiblissement sur le trajet

L'affaiblissement sur le trajet est modélisé sur la base d'un affaiblissement moyen et d'un évanouissement lent (log-normal). Dans un environnement extérieur macrocellules, le modèle utilisé dépend de la distance de séparation entre les deux mobiles. On utilise un affaiblissement en espace libre pour les distances jusqu'à 40 m et le modèle de Hata (modifié) pour les distances supérieures à 100 m. Entre ces deux limites, on a recours à une interpolation entre l'espace libre et le modèle de Hata. Le modèle de Hata est adapté aux fréquences jusqu'à 3 GHz, et aux configurations dans lesquelles l'antenne d'émission et l'antenne de réception sont toutes les deux au-dessous du niveau des toits.

Le modèle de propagation extérieur-intérieur est le même que le modèle extérieur seulement, à la différence d'un nouveau facteur d'affaiblissement additionnel rendant compte de l'affaiblissement dû aux murs extérieurs. Le modèle de propagation intérieur seulement repose sur un affaiblissement en espace libre, avec adjonction d'un affaiblissement additionnel pour tenir compte de l'affaiblissement dû aux parois internes et aux planchers.

On peut également considérer le cas d'une propagation entre l'intérieur d'un bâtiment et l'intérieur d'un autre bâtiment. Lorsque l'émetteur et le récepteur sont tous les deux situés à l'intérieur de bâtiments, et que la distance qui les sépare est importante, on suppose que l'émetteur et le récepteur sont dans des bâtiments différents. On utilise alors un modèle de propagation différent du modèle intérieur «pur». L'affaiblissement sur le trajet est alors la somme de:

- l'affaiblissement dû à un mur extérieur sur la transmission vers l'extérieur du bâtiment;
- la valeur donnée par le modèle de Hata pour l'affaiblissement sur le trajet entre les deux bâtiments;
- l'affaiblissement dû à un mur extérieur dans la transmission vers l'intérieur de l'autre bâtiment. Ainsi, l'affaiblissement total sur le trajet est égal à l'affaiblissement donné par le modèle de Hata plus deux fois l'affaiblissement de pénétration d'un mur extérieur.

3.4 MS-MS (déterministe)

On utilise la même méthode que pour des brouillages BS-BS (voir le § 3.2), mais, dans ce cas, les paramètres de l'émetteur et du récepteur de station mobile sont ceux du § 2. Seule la propagation LoS est considérée.

4 Exemples de calculs et résultats

4.1 Exemples de calculs

Voir le § 3.3.1.

4.2 Résultats des calculs

4.2.1 Résultats des calculs déterministes de brouillage BS-BS

4.2.1.1 Distances de séparation requise dans une configuration DRT/DRF

TABLEAU 25
Brouillages DRT vers DRF

Description du scénario (+ modèle de propagation)	Espacement des porteuses (MHz)	Puissance d'émission (y compris coefficient d'activité) (dBm)	Gain d'antenne effectif (dBi)	ACIR (dB)	Niveau d' I_{ext} accepté valeur basse/ valeur haute (dBm)	Perte acceptée sur le trajet (dB)	Distance de séparation requise (m)
DRT macro vers DRF macro (LoS)	5	40	30	46	-114/-106	138/130	9 541/6 020
	10	40	30	58	-114/-106	126/118	4 782/3 017
	15	40	30	64	-114/-106	120/112	3 385/2 136
DRT macro vers DRF micro (véhicules)	5	40	15	46	-97/-90	106/99	222/145
	10	40	15	58	-97/-90	94/87	107/69
	15	40	15	64	-97/-90	88/81	74/48
DRT macro vers DRF pico (extérieur vers intérieur)	5	40	15	46	-85	94	37
	10	40	15	58	-85	82	18
	15	40	15	64	-85	76	13
DRT micro vers DRF macro (véhicules)	5	27	15	46	-114/-106	110/102	284/174
	10	27	15	58	-114/-106	98/90	136/83
	15	27	15	64	-114/-106	92/84	94/58
DRT pico vers DRF macro (extérieur vers intérieur)	5	21	15	46	-114/-106	104/96	65/41
	10	21	15	58	-114/-106	92/84	33/21
	15	21	15	64	-114/-106	86/78	23/15
DRT micro vers DRF micro (LoS)	5	27	12	46	-97/-90	90/83	290/130
	10	27	12	58	-97/-90	78/71	73/33
	15	27	12	64	-97/-90	72/65	37/16
DRT micro vers DRF micro (piétons)	5	27	12	46	-97/-90	90/83	52/33
	10	27	12	58	-97/-90	78/71	24/14
	15	27	12	64	-97/-90	72/65	15/9
DRT pico vers DRF micro (extérieur vers intérieur)	5	21	6	46	-97/-90	78/71	15/10
	10	21	6	58	-97/-90	66/59	7/5
	15	21	6	64	-97/-90	60/53	5/3
DRT micro vers DRF pico (extérieur vers intérieur)	5	27	6	46	-85	72	10
	10	27	6	58	-85	60	5
	15	27	6	64	-85	54	4
DRT pico vers DRF pico (LoS)	5	21	0	46	-85	60	9
	10	21	0	58	-85	48	2
	15	21	0	64	-85	42	1
DRT pico vers DRF pico (intérieur)	5	21	0	46	-85	60	1
	10	21	0	58	-85	48	1
	15	21	0	64	-85	42	<1

TABLEAU 26

Brouillage DRF vers DRT

Description du scénario (+ modèle de propagation)	Espacement des porteuses (MHz)	Puissance d'émission (y compris coefficient d'activité) (dBm)	Gain d'antenne effectif (dBi)	ACIR (dB)	Niveau d' I_{ext} accepté valeur basse/ valeur haute (dBm)	Perte acceptée sur le trajet (dB)	Distance de séparation requise (m)
DRF macro vers DRT macro (LoS)	5	43	30	42	-114/-106	145/137	14 275/9 007
	10	43	30	49	-114/-106	138/130	9 541/6 020
	15	43	30	63	-114/-106	124/116	4 262/2 689
DRF macro vers DRT micro (véhicules)	5	43	15	42	-97/-90	113/106	341/222
	10	43	15	49	-97/-90	106/99	222/145
	15	43	15	63	-97/-90	92/84	94/61
DRF macro vers DRT pico (extérieur vers intérieur)	5	43	15	42	-85	101	55
	10	43	15	49	-85	94	37
	15	43	15	63	-85	80	16
DRF micro vers DRT macro (véhicules)	5	30	15	42	-114/-106	117/109	436/267
	10	30	15	49	-114/-106	110/102	284/174
	15	30	15	63	-114/-106	96/88	121/74
DRF micro vers DRT micro (LoS)	5	30	12	42	-97/-90	97/90	650/290
	10	30	12	49	-97/-90	90/83	290/130
	15	30	12	63	-97/-90	76/69	60/26
DRF micro vers DRT micro (piétons)	5	30	12	42	-97/-90	97/90	80/52
	10	30	12	49	-97/-90	90/83	52/33
	15	30	12	63	-97/-90	76/69	21/12
DRF micro vers DRT pico (extérieur vers intérieur)	5	30	6	42	-85	79	25
	10	30	6	49	-85	72	10
	15	30	6	63	-85	58	5
DRF pico vers DRT macro (extérieur vers intérieur)	5	24	6	42	-114/-106	102/94	58/37
	10	24	6	49	-114/-106	95/87	39/25
	15	24	6	63	-114/-106	81/73	17/11
DRF pico vers DRT micro (extérieur vers intérieur)	5	30	6	42	-97/-90	91/84	31/21
	10	30	6	49	-97/-90	84/77	21/14
	15	30	6	63	-97/-90	70/63	9/6
DRF pico vers DRT pico (LoS)	5	24	0	42	-85	64	7
	10	24	0	49	-85	57	4
	15	24	0	63	-85	43	2
DRF pico vers DRT pico (intérieur)	5	24	0	42	-85	64	2
	10	24	0	49	-85	57	1
	15	24	0	63	-85	43	<1

4.2.1.2 Valeur d'ACIR requise dans le cas de brouillages DRT 3,84 Mélément/s/DRF

La valeur requise du paramètre ACIR est indépendante de la séparation des porteuses. Toutefois, tel n'est pas le cas en ce qui concerne l'isolement manquant par rapport aux cas de référence. La dernière colonne indique l'isolement manquant par rapport à la valeur supposée du paramètre ACIR, établie à partir du Tableau 13 dans le cas DRT vers DRF, et du Tableau 12 dans le cas DRF vers DRT. Pour des raisons de simplicité, les valeurs ne sont données que pour un espacement des porteuses de 5 MHz.

TABLEAU 27
Brouillage DRT vers DRF

Description du scénario (+ modèle de propagation)	Puissance d'émission (y compris coefficient d'activité) (dBm)	Gain d'antenne effectif (dBi)	Distance de séparation de référence (m)	Affaiblissement sur le trajet (dB)	Niveau accepté d' I_{ext} à la réception (dBm)	Valeur d'ACIR requise (dB)	Isolement manquant, séparation des porteuses: 5 MHz (dB)
DRT macro vers DRF macro (LoS)	40	30	100	80,7	-114/-106	103,3/95,3	57,3/49,3
DRT micro vers DRF macro (véhicules)	27	15	50	81,6	-114/-106	74,4/66,4	28,8/20,4
DRT pico vers DRF macro (extérieur vers intérieur)	21	15	50	99,4	-114/-106	50,6/42,6	4,6/-3,4
DRT micro vers DRF micro (LoS)	27	12	50	74,7	-97/-90	61,3/54,3	15,3/8,3
DRT micro vers DRF micro (piétons)	27	12	50	91,9	-97/-90	44,1/37,1	-1,9/-8,9
DRT pico vers DRF micro (extérieur vers intérieur)	21	6	20	83,4	-97/-90	40,6/33,6	-5,4/-12,4
DRT micro vers DRF pico (extérieur vers intérieur)	27	6	20	83,4	-85	34,6	-11,4
DRT pico vers DRF pico (LoS)	21	0	10	60,7	-85	45,3	-0,7
DRT pico vers DRF pico (intérieur)	21	0	10	85,3	-85	20,7	-25,3

TABLEAU 28
Brouillages DRF vers DRT

Description du scénario (+ modèle de propagation)	Puissance d'émission (y compris coefficient d'activité) (dBm)	Gain d'antenne effectif (dBi)	Distance de séparation de référence (m)	Affaiblissement sur le trajet (dB)	Niveau d' I_{ext} accepté à la réception (dBm)	Valeur d'ACIR requise (dB)	Isolement manquant, espacement des porteuses: 5 MHz (dB)
DRF macro vers DRT macro (LoS)	43	30	100	80,7	-114/-106	106,3/98,3	64,3/56,3
DRF macro vers DRT micro (véhicules)	43	15	50	81,6	-97/-90	73,4/66,4	31,4/24,4
DRF macro vers DRT pico (extérieur vers intérieur)	43	15	50	99,4	-85	43,6	1,6
DRF micro vers DRT micro (LoS)	30	12	50	74,7	-97/-90	64,3/57,3	22,3/15,3
DRF micro vers DRT micro (piétons)	30	12	50	91,9	-97/-90	47,1/40,1	5,1/-1,9
DRF micro vers DRT pico (extérieur)	30	6	20	83,4	-85	37,6	-4,4
DRF pico vers DRT micro (extérieur)	21	6	20	83,4	-97/-90	40,6/33,6	-1,4/-8,4
DRF pico vers DRT pico (LoS)	21	0	10	60,7	-85	45,3	3,3
DRF pico vers TDD pico (intérieur)	21	0	10	85,3	-85	20,7	-21,3

4.2.1.3 Distances de séparation requises dans une configuration de brouillage TS-SCDMA/DRF

TABLEAU 29
Brouillage DRT vers DRF

Description de scénario (+ modèle de propagation)	Espacement de porteuse (MHz)	Puissance d'émission (dBm)	Gain d'antenne dans la pratique (dBi)	ACIR (dB)	Niveau accepté d' I_{ext} à la réception (dBm)	Affaiblissement sur le trajet requis (dB)	Distance de séparation requise (m)	Isolement additionnel requis
DRT macro vers DRF macro (LoS)	3,5	34	$15 + 15 - 6 = 24$	45	-106	140	2 700	40,9 (OUI)
DRT macro vers DRF micro (sans LoS)	3,5	21	$15 + 6 - 3 = 8$	45	-97	131	44,7	-1,6 (NON)
DRT macro vers DRF pico	3,5	12	$15 + 0 - 10 = 5$	45	-91	125	9,8	-9,3 (NON)
DRT micro vers DRF macro	3,5	34	$6 + 15 - 13 = 8$	45	-106	125	31,6	-7,6 (NON)
DRT micro vers DRF micro	3,5	21	$6 + 6 = 12$	45	-97	116	23,7	-11,4 (NON)
DRT micro vers DRF pico	3,5	12	$6 + 0 = 6$	45	-91	110	3,3	-23,3 (NON)
DRT pico vers DRF macro	3,5	34	$3 + 15 - 10 = 8$	45	-106	116	6,2	-15,3 (NON)
DRT pico vers DRF micro	3,5	21	$3 + 6 = 9$	45	-97	107	3,3	-23,3 (NON)
DRT pico vers DRF pico	3,5	12	$3 + 0 = 3$	45	-91	101	1,3	-35,3 (NON)

4.2.1.4 Scénarios de même emplacement AMRC-LB/DRT 3,84 Mélément/s

Dans la présente section, on décrit et quantifie les brouillages de sources différentes que l'on peut observer entre un système DRF et un système DRT exploités dans des bandes adjacentes, lorsque les deux stations de base de ces systèmes partagent leur lieu d'installation. Plus précisément, on considère les brouillages occasionnés au récepteur de la station de base d'un système DRF par un émetteur de station de base de système DRT installés à proximité immédiate l'un de l'autre et les brouillages occasionnés au récepteur d'une station de base de système DRT par l'émetteur d'une station de base DRF également à proximité immédiate l'un de l'autre.

La présence d'opérateurs multiples dans une même tour ou un même bâtiment est chose courante et se généralise d'ailleurs avec l'augmentation du nombre des opérateurs et l'accroissement des valeurs de densité de cellules nécessaires pour gagner en couverture et en capacité. En raison des contraintes d'installation, des difficultés d'acquisition des sites et d'autres problèmes logistiques ou techniques, il est très fréquent qu'un système DRT AMRC-LB et un système DRF soient installés en un même lieu.

Le niveau maximal de brouillage admissible (MAI, *maximum allowed interference*), au-delà duquel l'immunité du récepteur n'est plus garantie, est défini par l'équation suivante:

$$\text{MAI_Desen. (dBm)} = \text{bruit de fond (dBm)} + \text{caractéristique de bruit du récepteur} - 6 \text{ dB}$$

TABLEAU 30

Seuils calculés de MAI avant désensibilisation du récepteur

Système	Bruit de fond (dBm)	Caractéristique de bruit à la réception (dB)	MAI (avant désensibilisation) (dBm)
DRT AMRC-LB	-108	5	-109
DRF AMRC-LB	-108	5	-109

La puissance brouilleuse reçue à la borne d'entrée du récepteur de la station victime est donnée par:

$$\text{Int@_Rcvr} = C_Tx_ - ACIR - MCL$$

où:

Int@_Rcvr: brouillage à l'entrée du récepteur du système victime (dBm)

C_Tx_: niveau de puissance nominale maximum de la porteuse à la sortie de l'amplificateur de l'émetteur (dBm)

ACIR: $1/(1/ACS + 1/ACLR)$

MCL: affaiblissement minimal de couplage (*minimum coupling loss*) (dBm) = 30 dB.

Le Tableau 31 indique les valeurs de brouillage calculées pour un système DRT AMRC-LB et un système DRT 3,84 Mélément/s avec des séparations de porteuses de 5, 10 et 15 MHz. Dans tous les cas, le niveau maximum de brouillage de -109 dBm est dépassé.

TABLEAU 31

Valeurs de brouillage calculées entre système DRT et système DRF

Système victime	C_Tx_ (dBm)	ACS réception	ACLR émission	ACIR	Int@_Rcvr (dBm)	Dépassement de seuil (-109 dBm)
DRT AMRC-LB	43	46 @ 5 MHz	45 @ 5 MHz	42,46	-29,46	Oui
DRT AMRC-LB	43	58 @ 10 MHz	50 @ 10 MHz	49,36	-36,36	Oui
DRT AMRC-LB	43	66 @ 15 MHz	67 @ 15 MHz	63,46	-50,46	Oui
DRF AMRC-LB	40,2	46 @ 5 MHz	70 @ 5 MHz	45,98	-35,78	Oui
DRF AMRC-LB	40,2	58 @ 10 MHz	70 @ 10 MHz	57,73	-47,53	Oui
DRF AMRC-LB	40,2	66 @ 15 MHz	70 @ 15 MHz	54,34	-54,34	Oui

NOTE – Puissance de sortie de l'émetteur de la station de base du système DRT = 43 dBm

Coefficient d'utilisation de la station de base du système DRT = -2,8 dB

C_Tx_ = 43 + (-2,8) = 40,2 dans le cas de l'émetteur du système DRF.

Saturation du récepteur

Par définition, un récepteur est saturé lorsque la puissance totale du signal appliqué à l'entrée dépasse le point d'écrasement à 1 dB, compte tenu d'une marge de sécurité (en général de 10 dB).

$$MAI_Over = \text{Point d'écrasement à 1 dB} - \text{marge de sécurité}$$

On utilise une valeur de blocage de -40 dBm, selon les spécifications 3GPP. La puissance totale de la porteuse à la réception est définie par:

$$C_Rx_ = C_Tx_ - ACIR - MCL$$

où:

- $C_Rx_ :$ total de la puissance de la porteuse reçue à l'entrée de la station victime (dBm)
- $C_Tx_ :$ puissance totale de la porteuse rayonnée à la borne de sortie de la station brouilleuse (dBm)
- $ACIR :$ $1/(1/ACS + 1/ACLR)$
- $MCL :$ affaiblissement de couplage minimum (dBm) = 30 dB.

Avec ces paramètres, on obtient les valeurs suivantes:

TABLEAU 32

Valeurs calculées donnant le brouillage à la réception du système victime

Système victime	$C_Tx_ (dBm)$	ACS réception	ACLR émission	ACIR	$C_Rx (dBm)$	La valeur seuil MAI correspondant à la saturation est-elle dépassée? (-40 dBm)
DRT AMRC-LB	43	46 @ 5MHz	45 @ 5MHz	42,46	$-29,46$	Oui
DRT AMRC-LB	43	58 @ 10MHz	50 @ 10MHz	49,36	$-36,36$	Oui
DRT AMRC-LB	43	66 @ 15MHz	67 @ 15MHz	63,46	$-50,46$	Non
DRF AMRC-LB	40,2	46 @ 5MHz	70 @ 5MHz	45,98	$-35,78$	Oui
DRF AMRC-LB	40,2	58 @ 10MHz	70 @ 10MHz	57,73	$-47,53$	Non
DRF AMRC-LB	40,2	66 @ 15MHz	70 @ 15MHz	54,34	$-54,34$	Non

4.2.1.5 Valeurs d'affaiblissement sur le trajet tolérables dans d'autres configurations de brouillage BS-BS

Le Tableau 33 indique les valeurs tolérables d'affaiblissement sur un trajet de MS-BS en limite de cellule dans une configuration de brouillage BS-BS correspondant à la description du § 3.2.2, compte tenu de la puissance de sortie des stations mobiles et des critères C/I requis dans le service considéré. Le Tableau 33 indique la portée de cellule envisageable dans le scénario d'inclinaison des antennes de station de base le plus défavorable. Le Tableau 34 donne ces valeurs pour des inclinaisons d'antenne réalisables dans la pratique (pour des configurations macro/micro ou micro/macro entre stations de base). Selon les modèles d'affaiblissement sur le trajet considérés et les critères imposés par l'opérateur, les diamètres de cellule obtenus peuvent être acceptables ou inacceptables.

TABLEAU 33

**Valeurs de portée de cellule envisageables dans les conditions
d'inclinaison d'antenne les plus défavorables**

Scénario BS-BS	Espacement des porteuses (MHz)	Valeurs de couverture de cellule envisageables (affaiblissement sur le trajet en dB) Station de base DRT: hypothèses retenues pour le paramètre ACLR corres- pondant à l'ensemble 1	Valeurs de couverture de cellule envisageables (affaiblissement sur le trajet en dB) Station de base DRT: hypothèses retenues pour le paramètre ACLR corres- pondant à l'ensemble 2
DRT micro → DRF macro	5	124,2	127,7
	10	134,8	139,3
	15	145,5	145,5
DRF macro → DRT micro	5	90,2	Sans objet
	10	100,9	
	15	111,2	
DRT micro → DRF micro (LoS)	5	117,3	120,7
	10	127,9	132,3
	15	138,3	138,3
DRT micro → DRF micro (sans LoS)	5	133,9	137,0
	10	142,0	143,7
	15	144,7	144,7
DRF micro → DRT micro (LoS)	5	105,3	Sans objet
	10	115,9	
	15	125,5	
DRF micro → DRT micro (sans LoS)	5	121,9	
	10	130,0	
	15	132,6	

TABLEAU 34

**Valeurs de portée de cellule envisageables dans des conditions
d'inclinaison d'antenne pratiques**

Scénario BS-BS	Espacement des porteuses (MHz)	Valeurs de couverture de cellule envisageables (affaiblissement sur le trajet en dB) Station de base DRT: hypothèses retenues pour le paramètre ACLR corres- pondant à l'ensemble 1	Valeurs de couverture de cellule envisageables (affaiblissement sur le trajet en dB) Station de base DRT: hypothèses retenues pour le paramètre ACLR corres- pondant à l'ensemble 2
DRT micro → DRF macro	5	137,1	140,5
	10	146,9	150,1
	15	152,9	152,9
DRF macro → DRT micro	5	103,2	Sans objet
	10	113,8	
	15	123,7	

4.2.2 Résultats des simulations de Monte Carlo

4.2.2.1 Effets au niveau de la capacité, configurations DRF macro/DRT micro 3,84 Mélément/s et DRF micro/DRT micro 3,84 Mélément/s

DRF macro – DRT micro

TABLEAU 35

Brouillages MS-BS (liaison montante)

Système brouilleur	Système victime	Perte de capacité (%)
Station mobile DRT	Station de base DRF	< 1
Station mobile DRF	Station de base DRT	< 1

TABLEAU 36

Brouillages BS-MS (liaison descendante)

Système brouilleur	Système victime	Perte de capacité (%)
Station de base DRT	Station mobile DRF	1
Station de base DRF	Station mobile DRT	4

TABLEAU 37

Brouillages MS-MS (liaison descendante)

Système brouilleur	Système victime	Perte de capacité (%)
Station mobile DRT	Station mobile DRF	< 1
Station mobile DRF	Station mobile DRT	2

DRF micro – DRT micro

TABLEAU 38

Brouillages MS-BS (liaison montante)

Système brouilleur	Système victime	Perte de capacité (%)
Station de base DRT	Station mobile DRF	1
Station de base DRF	Station mobile DRT	< 1

TABLEAU 39

Brouillages BS-MS (liaison descendante)

Système brouilleur	Système victime	Perte de capacité (%)
Station de base DRT	Station mobile DRF	< 1
Station de base DRF	Station mobile DRT	1

TABLEAU 40
Brouillages MS-MS (liaison descendante)

Système brouilleur	Système victime	Perte de capacité (%)
Station mobile DRT	Station mobile DRF	< 1
Station mobile DRF	Station mobile DRT	1

Etudes à prévoir

Jusqu'ici, toutes les évaluations ont été faites dans un environnement de type Manhattan et pour des services symétriques (commutation de circuit). Tous les utilisateurs étaient par hypothèse à l'extérieur. Ces scénarios sont particulièrement intéressants.

D'autres études intéressantes pourront concerner d'autres types d'environnement, par exemple à l'intérieur de bâtiments. Il faudra également étudier le problème de la couverture à l'intérieur de bâtiments et de la relation entre la couverture et la qualité de fonctionnement du système. D'autres types de services pourront être intéressants à étudier: asymétriques, orientés paquets, etc.

4.2.2.2 Conséquences au niveau de la capacité: scénarios DRF macro/DRT macro 3,84 Mélément/s et DRF macro/DRT 1,28 Mélément/s

Les résultats sont résumés ci-après.

TABLEAU 41
DRT 3,84 Mélément/s/DRF

Système brouilleur/ système victime	Macro/macro (%)	Micro/micro (%)	Pico/pico (%)	Macro/micro (%)
Station mobile DRF/ station de base DRT	< 4	< 1	< 2	< 1
Station mobile DRF/ station mobile DRT	< 5	< 1	< 4	< 1
Station mobile DRT/ station de base DRF	< 4	< 1	< 1	< 1

TABLEAU 42
DRT 1,28 Mélément/s/DRF

Victime (récepteur)	Brouilleur (émetteur)	Perte de capacité relative (%)
Station de base DRF	Station mobile DRT 1,28 Mélément/s (groupe = 1)	< 2
Station de base DRT 1,28 Mélément/s (groupe = 1)	Station mobile DRF	< 2
Station mobile DRT 1,28 Mélément/s (groupe = 1)	Station mobile DRF	< 2
Station mobile DRT 1,28 Mélément/s (groupe = 3)	Station mobile DRF	< 3

4.2.2.3 Effets d'interruption de service résultant de brouillages MS-MS dans des scénarios DRF/DRT 3,84 Mélément/s

Dans les sections qui suivent, on calcule les niveaux d'interruption de service de deux manières différentes. On considère tout d'abord les résultats obtenus dans le cas de terminaux DRF spatialement répartis de façon uniforme, et l'on connaît ainsi l'effet d'une augmentation de la densité de terminaux DRF dans une cellule.

En second lieu, on considère le niveau d'interruption de service observé dans la configuration suivante: les distances de séparation entre les terminaux DRF et les terminaux DRT sont fixes, tandis que la distance d'un terminal à sa station de base de rattachement varie. Les résultats permettent de déterminer à partir de quelle distance le niveau de brouillage devient significatif.

4.2.2.3.1 DRF macro – DRT macro

Les Tableaux 43 et 44 donnent les résultats obtenus dans le cas d'un scénario de brouillage entre un macrosystème DRF et un macrosystème DRT.

On suppose que le nombre maximum d'utilisateurs de téléphonie vocale par secteur DRF est de 50. Pour un rayon de cellule de 0,5 km, cette hypothèse correspond à une densité de 191 utilisateurs/km². D'autres densités sont également considérées (simulation de cellules ne fonctionnant pas à saturation).

TABLEAU 43

Probabilité de brouillage en fonction de la densité de signaux brouilleurs

Espacement des porteuses (MHz)	5	10
Densité de signaux brouilleurs (1/km ²):		
50 (%)	< 1	< 1
100 (%)	1	< 1
191 (%)	1	< 1

Lorsque la distance de séparation entre les terminaux mobiles est fixe, la distance entre les terminaux mobiles et leurs stations de base respectives varie, ce qui est pris en compte dans les simulations de Monte Carlo.

TABLEAU 44

Probabilité de brouillage en fonction de la distance de séparation

Séparation des porteuses (MHz)	5	10
Distance de séparation (m):		
1 (%)	24	10
3 (%)	9	3
10 (%)	2	1
30 (%)	1	< 1
100 (%)	< 1	< 1

4.2.2.3.2 DRF macro – DRT pico

Les Tableaux 45 et 46 regroupent les résultats obtenus dans un scénario de brouillage entre macrosystème DRF et picosystème DRT.

Dans cette configuration, la probabilité de brouillage est supérieure à la probabilité observée dans le cas d'un macrosystème DRT, ce qui s'explique sans doute par le champ relativement faible du signal DRT utile (faible p.i.r.e. de la station de base, important affaiblissement sur le trajet à l'intérieur du bâtiment). De surcroît, la puissance d'émission variable du terminal mobile DRF est calée sur une valeur élevée, puisque l'affaiblissement sur le trajet vers la station de base extérieure est important.

TABLEAU 45

Probabilité de brouillage en fonction de la densité de signaux brouilleurs

Espacement des porteuses (MHz)	5	10
Densité de signaux brouilleurs (1/km ²):		
50 (%)	3	3
100 (%)	4	3
191 (%)	7	4

TABLEAU 46

Probabilité de brouillage en fonction de la distance de séparation

Séparation des porteuses (MHz)	5	10
Distance de séparation (m):		
1 (%)	73	54
3 (%)	54	34
10 (%)	18	8
30 (%)	3	2
100 (%)	2	2

4.2.3 Résultats des calculs déterministes de brouillage MS-MS

Normalement, la perte de capacité moyenne occasionnée par des brouillages MS-MS est peu importante. Toutefois, à l'échelle d'une station mobile individuelle, l'effet de brouillage MS-MS peut être important, et une perte de couverture n'est pas exclue. En l'occurrence, les effets dépendent d'un grand nombre de paramètres, notamment des éléments suivants:

- distance entre les deux stations mobiles;
- puissance d'émission de la station mobile brouilleuse;
- position dans la cellule (de la station mobile victime).

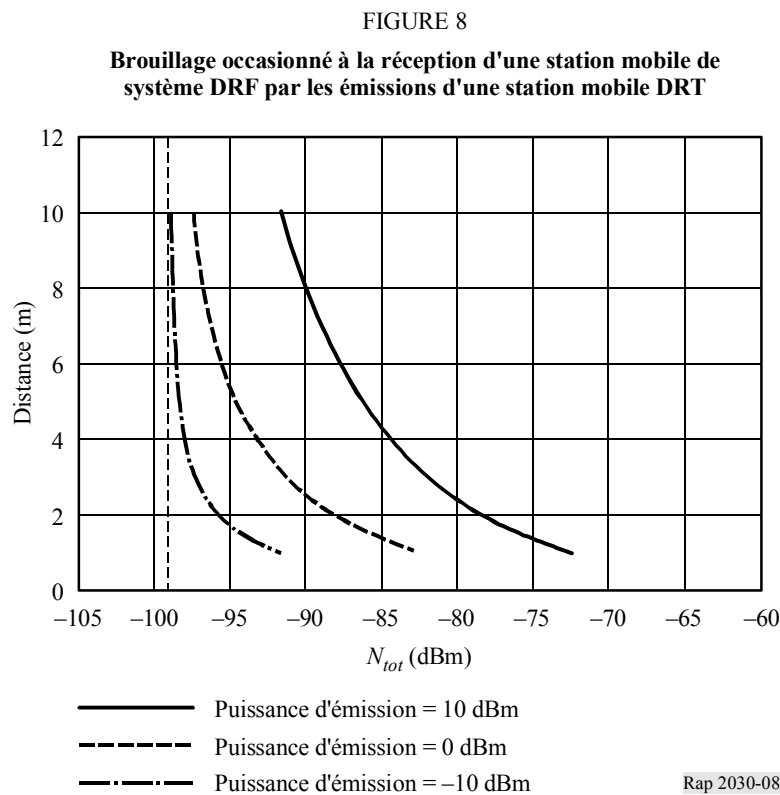
Les effets des brouillages MS-MS ne se remarquent normalement que lorsque la distance entre les stations mobiles considérées est extrêmement petite. Toutefois, lorsque la distance est petite, la probabilité de transmission en LoS entre les deux terminaux considérés est élevée, de sorte que l'affaiblissement sur le trajet est peu important.

La puissance d'émission de la station mobile brouilleuse dépend de la configuration du scénario (en moyenne, la puissance d'émission est plus élevée dans une macro-configuration où les cellules ont un diamètre plus important que dans une micro-configuration) et du taux d'utilisation du système.

Enfin, l'effet est moins important lorsque la station mobile victime est proche de sa station de base: la station de base peut être dotée d'une certaine marge d'accroissement de la puissance de liaison descendante pour dominer le brouillage.

En appliquant la méthodologie déjà utilisée pour les cas BS-BS, mais avec les paramètres station mobile, on a pu calculer la relation entre le bruit total au niveau de la station mobile et la distance entre les mobiles pour différentes valeurs de puissance d'émission de la station brouilleuse.

La Fig. 8 donne la distance en fonction du bruit de fond total N_{tot} dans le cas d'une station mobile DRT brouillant une station mobile DRF, en LoS par hypothèse. Lorsque la distance de séparation est peu importante et que la puissance d'émission de la station mobile du système DRT est élevée, N_{tot} est également élevé (par comparaison avec le bruit de fond au niveau de la station mobile, -99 dBm). Toutefois, il est difficile de prévoir les conséquences de l'augmentation du bruit de fond puisque ce bruit dépend d'un grand nombre de paramètres différents.



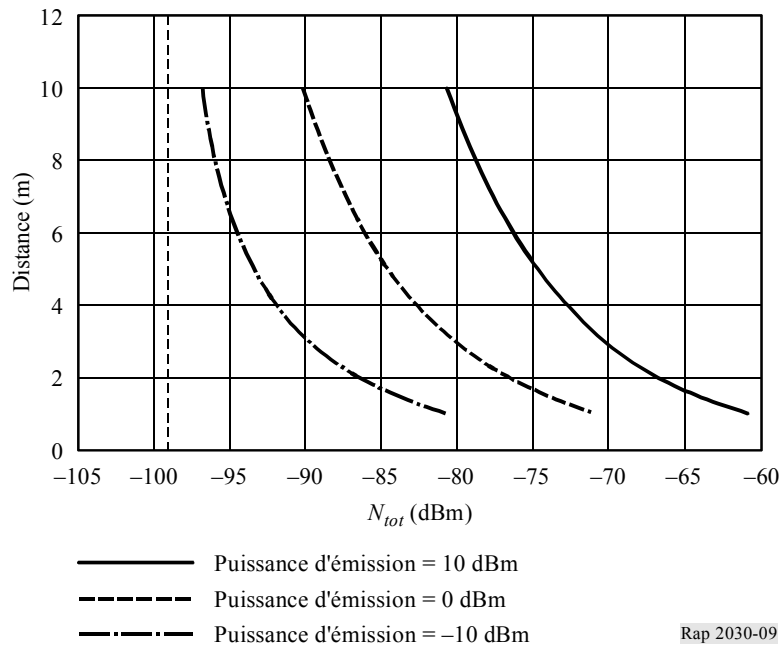
En tout état de cause, une forte augmentation du bruit de fond (valeur élevée de N_{tot}) ne pouvant pas être compensée par la station de base par un accroissement de la puissance d'émission a pour conséquence une perte de couverture pour la station mobile victime.

Il convient de noter à ce stade que les courbes sont calculées sur la base de certaines hypothèses quant aux puissances d'émission instantanées. Pour le système DRT actif 1/15 du temps ($-11,8$ dB) en mode téléphonie parole dans notre exemple, une valeur instantanée de -10 , 0 ou 10 dBm correspond respectivement à une valeur moyenne sur la période considérée de $-21,8$, $-11,8$ et $-1,8$ dBm. Pour les systèmes DRS, la puissance moyenne et la puissance instantanée sont les mêmes.

La Fig. 9 illustre la situation inverse, c'est-à-dire le cas d'une station mobile de système DRT subissant les brouillages d'une station mobile de système DRF. Le coefficient d'utilisation de la station mobile du système DRF étant plus important, l'effet est plus sensible que dans le cas précédent.

FIGURE 9

Brouillage subi à la réception par une station mobile de système DRT et occasionné par l'émission d'une station mobile de système DRF



Il n'est pas difficile d'imaginer des scénarios regroupant un certain nombre des éléments que nous avons considérés plus haut, combinant par exemple de faibles distances entre mobiles avec des niveaux de puissance moyens à élevés ou des distances moyennes à importantes par rapport aux stations de base, et dans lesquels une telle combinaison est à l'origine de très fortes augmentations du bruit de fond total (jusqu'à 20-25 dB) impossibles à compenser au niveau des stations de base. Ce type de scénario pourrait probablement être représenté par exemple par deux mobiles dans un autocar ou un train, connectés à des micro ou macrostations de base à l'extérieur: le surcroît de brouillage suffirait souvent largement à entraîner une perte de connexion pour la station mobile victime.

Il semble que les brouillages MS-MS affectent sérieusement les utilisateurs directement concernés, tandis que les autres peuvent parfaitement n'observer aucune dégradation.

5 Conclusions

La faisabilité de certains scénarios est conditionnée par des compromis entre divers facteurs techniques, réglementaires et économiques. Dans ce Rapport, on a rendu compte de différents points de vue qui correspondent à différents choix, et les conclusions exposées n'excluent nullement d'autres conclusions possibles, de sorte que les éléments résumés ci-après ne s'appliquent qu'aux études dont il est question dans ce Rapport.

BS-BS: Observations générales

- Un certain nombre des scénarios et des choix de valeurs de paramètres considérés sont associés à d'importants problèmes de brouillage.
- Les distances de séparation ont été calculées pour certaines fourchettes de valeurs tolérées de brouillage externe: les faibles valeurs de distance de séparation correspondent à des niveaux élevés de brouillage externe que l'on prévoit de tolérer, lesquels impliquent à leur tour des couvertures et/ou des capacités réduites ainsi qu'une plus forte puissance d'émission au niveau de la station mobile du système victime.

- Quel que soit le scénario considéré, on n'observe aucune différence sensible de niveau de brouillage entre une configuration liaison descendante DRF vers liaison montante DRT et une configuration liaison descendante DRT vers liaison montante DRF.
- Ainsi, les problèmes potentiels tiennent à une constatation fondamentale: les émetteurs de liaison descendante sont géographiquement et spectralement proches des récepteurs de liaison montante sensibles, quel que soit le système duplex appliqué.
- Dans la mesure du possible, on a utilisé, pour les caractéristiques des émetteurs et des récepteurs, les critères minimaux des spécifications 3GPP, et l'on peut noter à cet égard que, dans la pratique, les équipements peuvent être supérieurs aux minimums ainsi définis.
- Dans plusieurs scénarios, il est nécessaire d'adopter des distances de séparation importantes ou de recourir à un isolement supplémentaire pour obtenir des brouillages peu importants (voir les § 4.2.1.1 et 4.2.1.2). Dans certains scénarios, les distances de séparation sont peu importantes et il n'est pas nécessaire de prévoir un isolement supplémentaire.
- Dans certaines configurations, on peut établir un compromis entre les distances de séparation et la portée et la puissance d'émission de la station mobile du système victime (voir le § 4.2.1.4).

BS-BS, conditions de proximité: AMRC-LB/DRT 3,84 Mélément/s (voir le § 4.2.1.1)

TABLEAU 47

BS-BS: AMRC-LB/DRT 3,84 Mélément/s

Scénario	Séparation des porteuses (MHz)	Distance de séparation requise entre le système DRT et le système DRF (m)	Distance de séparation requise entre le système DRF et le système DRT (m)	Distance de séparation de référence (m)	Isolement additionnel requis (dB)
Macro vers macro (LoS)	5-15	2 136-9 541	2 689-14 275	100	+49,3
Macro vers micro (véhicules)	5-15	48-222	61-341	50	+20,4
Micro vers micro (LoS)	5	130-290	290-650	50	+8,3
	10	33-73	130-290	50	–
	15	16-37	26-60	50	–
Micro vers micro (piétons)	5	33-52	52-80	50	+8,3
	10-15	9-24	12-52	50	–
Micro vers macro (véhicules)	5-15	58-284	69-341	100	–
Pico vers macro (extérieur vers intérieur)	5-15	15-65	11-58	50	–
Pico vers micro (extérieur vers intérieur)	5-15	3-15	6-31	20	–12,4
Micro vers pico (extérieur vers intérieur)	5-15	4-10	5-25	20	–11,4
Pico vers pico (LoS)	5-15	1-9	2-7	10	–0,7
Pico vers pico (intérieur)	5-15	1	1	10	–25,3

Les distances de séparation ont été calculées pour des gains d'antenne correspondant aux valeurs du Tableau 49 de l'Appendice 3. Le Tableau 47 regroupe certains des résultats obtenus sur la base des Tableaux 25 et 26 du § 4.2.1.1. Se reporter à ces Tableaux pour l'ensemble des résultats.

BS-BS, conditions de proximité: AMRC-LB/DRT 1,28 Mélément/s (voir le § 4.2.1.3)

TABLEAU 48
BS-BS: AMRC-LB/TD-SCDMA

Scénario	Séparation des porteuses (MHz)	Isolement supplémentaire requis (dB)	Distance de séparation de référence (m)	Distance de séparation requise (dB)
Macro vers macro	3,5	40,9 (OUI)	100	2 700
Macro vers micro	3,5	-1,6 (NON)	50	44,7
Macro vers pico	3,5	-9,3 (NON)	20	9,8
Micro vers macro	3,5	-7,6 (NON)	50	31,6
Micro vers micro	3,5	-11,4 (NON)	50	23,4
Micro vers pico	3,5	-23,3 (NON)	50	3,3
Pico vers macro (extérieur vers intérieur)	3,5	-15,3 (NON)	10	6,2
Pico vers micro (extérieur vers intérieur)	3,5	-23,3 (NON)	50	3,3
Pico vers pico (intérieur vers intérieur)	3,5	-35,3 (NON)	10	1,3

BS-BS, même emplacement: AMRC-LB/3,84 Mélément/s (voir le § 4.2.1.4)

- Dans les futurs systèmes, les stations de base auront des emplacements communs.
- Lorsqu'une station de base AMRC-LB et une station de base de macrosystème 3,84 Mélément/s sont situées au même endroit, le bruit de fond des deux systèmes varie sensiblement avec un affaiblissement de couplage de 30 dB.
- La couverture et la capacité sont sensiblement affectées lorsque l'on ne prévoit pas un isolement approprié entre les stations de base.
- Sur la base des spécifications existantes et des hypothèses concernant les valeurs MCL, même une bande de garde de 5 MHz ou de 10 MHz ne permettra pas de résoudre le problème.
- Il faudra mener d'autres études pour définir les spécifications système requises et les bandes de garde, en fonction des besoins, compte tenu des emplacements communs des stations de base et du fait que, dans la pratique, il est possible d'obtenir un certain isolement.

Solutions proposées pour les brouillages BS-BS

Un certain nombre de mesures fondamentales peuvent être prises isolément ou en combinaison pour limiter les problèmes de brouillage BS-BS. Dans tous les cas, les mesures envisageables entraînent certains coûts ou d'autres problèmes dont il faut également tenir compte: les compromis sont toujours nécessaires.

- Filtrage performant à l'émission et à la réception.
- Coplanification des systèmes multiples permettant d'installer les stations de base suffisamment loin des stations de base des systèmes victimes. Dans le cas d'opérateurs multiples, une collaboration des divers concurrents est alors indispensable.

- Dans plusieurs scénarios, pour obtenir toute la souplesse requise au niveau des configurations, il faudra envisager des bandes de garde appropriées.
- Lorsque les systèmes brouilleurs émettent à faible niveau de puissance, les problèmes sont moins importants, mais la couverture et la souplesse dans le choix des configurations sont alors limitées.
- Les valeurs exactes des bandes de garde et les caractéristiques précises des filtres dépendent d'un certain nombre de facteurs, de sorte qu'aucune réponse précise n'est proposée dans le présent Rapport.
- Tenir compte, dans la planification, d'un niveau de brouillage plus élevé à l'entrée du récepteur de la station de base, tout en prévoyant les compromis nécessaires: limitation du diamètre de cellule, puissance d'émission plus élevée du système victime mobile, conséquences, etc.

Brouillages MS-BS et BS-MS

- Pour les configurations de type environnement Manhattan à répartition uniforme des utilisateurs, lesquels sont tous situés à l'extérieur, les simulations de Monte Carlo font apparaître que les brouillages MS-BS ou BS-MS ont en moyenne une incidence très faible ou nulle sur les capacités.

Brouillages MS-MS

- Les simulations de Monte Carlo donnent à penser que les brouillages entre les stations mobiles ont une incidence négligeable ou nulle sur la capacité lorsque l'on considère la moyenne à l'échelle des systèmes et lorsque l'on pose en hypothèse que les densités d'utilisateurs sont uniformes (voir le § 4.2.2.3).
- Les calculs déterministes effectués pour ce type de brouillages MS-MS font apparaître qu'un mobile peut occasionner des brouillages sérieux à un autre mobile proche à la fois géographiquement et spectralement (voir le § 4.2.3).
- Il est donc nécessaire de procéder à des études sur les configurations à densité d'utilisateurs non uniforme, par ailleurs plus réalistes (zones à forte densité) (voir le § 4.2.3).
- Le taux d'interruption du service ne peut guère être réduit même au prix d'une diminution de la densité de stations de base ou de la capacité. Les spécifications doivent donc être fixées au niveau du service minimum.

Références bibliographiques

- [1] 3GPP TS 25.104 v3.4.0. Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD).
- [2] 3GPP TS 25.105 v3.4.0. UTRA (BS) TDD: Radio transmission and reception.
- [3] 3GPP TS 25.101 v3.4.0. User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD).
- [4] 3GPP TS 25.102 v3.4.0. User Equipment (UE) radio transmission and reception (TDD).
- [5] HOLMA, H. et TOSKALA, A. [2000] *WCDMA for UMTS – Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. John Wiley & Sons.
- [6] 3GPP TR 25.942 v2.1.3. RF system scenarios.
- [7] RAPPAPORT, T. S. [1996] *Wireless Communications – Principles and Practice*, Prentice Hall PTR.
- [8] SMG2 UMTS L1 Tdoc 679/98. Coupling Loss analysis for UTRA – additional results, Siemens.

Appendice 1

ACLR, ACS et ACIR

ACLR: rapport de fuite de puissance dans le canal adjacent (*adjacent channel leakage power ratio*)

ACS: sélectivité vis-à-vis de la voie adjacente (*adjacent channel selectivity*)

ACIR: rapport de puissance de brouillage de canal adjacent (*adjacent channel interference power ratio*)

Le paramètre ACLR exprime la relation entre la puissance émise dans la porteuse considérée et la puissance qui passe dans les bandes de fréquences voisines: ce paramètre permet donc de mesurer la qualité de fonctionnement de l'émetteur.

De même, le paramètre ACS permet de mesurer la qualité de fonctionnement du récepteur. Il représente la suppression de la puissance émise par le canal adjacent (par rapport à la puissance du canal considéré).

Ensemble, les paramètres ACLR et ACS définissent la protection vis-à-vis des brouillages du canal adjacent, protection représentée par le paramètre ACIR, défini comme suit:

$$ACIR = \frac{1}{\frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS}}$$

équation dans laquelle les paramètres ACLR et ACS, étant des rapports, ne sont pas exprimés en dB.

Pour respecter les critères ACIR, il faut que les deux paramètres ACLR et ACS aient une valeur supérieure à l'ACIR considéré. Si les deux paramètres ACLR et ACS sont égaux, leur valeur doit être double de celle du paramètre ACIR (soit 3 dB d'écart).

Appendice 2

Etablissement du modèle de propagation en LoS à double pente

Le modèle est défini comme suit:

- On suppose que la propagation se fait en espace libre pour de petites distances d . A partir des équations 3.3 et 3.6 données dans [7], et avec $f = 2,6$ GHz, on obtient un affaiblissement sur le trajet de $40,7 + 20 \log_{10}(d)$ (gain d'antenne unitaire).
- Pour les distances plus importantes et en mode réflexion, la relation de dépendance en fonction de la distance est de $40 \log_{10}(d)$ [7, p. 89].
- Le sol apparaît dans la première zone de Fresnel à la distance de Fresnel [7, p. 89]:

$$d_{break} = 4 \frac{h_{tx} \cdot h_{rx}}{\lambda}$$

- On sait que jusqu'à la distance de Fresnel, l'hypothèse de la propagation en espace libre tient.
- On obtient une estimation prudente du point d'inflexion en choisissant une distance égale à la distance de Fresnel.
- En combinant les données qui précèdent, on obtient le modèle de propagation en LoS à double pente utilisé.

En conditions réelles, le paramètre d'affaiblissement présente une variation continue entre les valeurs 20 (distance de Fresnel) et 40, limite correspondant à des distances suffisamment grandes. En prévoyant un seul point d'inflexion à la distance de Fresnel, comme indiqué plus haut, on surestime l'affaiblissement de propagation pour les distances supérieures à la distance du point d'inflexion.

Il découle de ce qui précède qu'au-dessus du point d'inflexion la puissance de brouillage est sous-estimée au niveau du récepteur du système victime. Du fait que le modèle décrit dans le présent Rapport est utilisé pour des études de brouillage, on peut considérer qu'il s'agit d'un modèle très prudent.

Par exemple, dans les scénarios MS-MS, les distances sont largement inférieures à la distance du point d'inflexion et le modèle correspond en fait à une propagation en espace libre.

Appendice 3

Valeurs pratiques de gain d'antenne – station brouilleuse et station victime

En ce qui concerne les valeurs pratiques de gain d'antenne, de station brouilleuse comme de station victime, on observe deux opinions principales:

- Certains pensent que le gain effectif pratique est la somme arithmétique des valeurs maximales de gain de l'antenne de la station brouilleuse et de l'antenne de la station victime (voir le § 1).
- Pour d'autres, la valeur pratique du gain d'antenne est le gain observé dans l'axe de la ligne reliant les deux antennes (voir les § 2 et 3, avec des diagrammes de rayonnement verticaux différents).

1 Somme des valeurs maximales de gain d'antenne de la station brouilleuse et de la station victime

En général, la valeur résultante de gain d'antenne dépend du gain de l'antenne de l'émetteur et du gain de l'antenne du récepteur ainsi que de l'orientation de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception.

Lorsque les antennes sont situées au même niveau (hauteur par rapport au sol), le gain d'antenne résultant est par hypothèse la somme des gains d'antenne d'émission et de réception. Toutefois, lorsque les deux antennes sont installées à des hauteurs sensiblement différentes, le gain d'antenne résultant est le gain de l'antenne la plus élevée. Les gains d'antenne résultants pour différentes combinaisons de stations de base sont indiqués au Tableau 49 (où l'on suppose que les gains des antennes d'émission et de réception de la station de base sont égaux). Les stations de base de macrosystème sont à 30 m par rapport au sol, tandis que la hauteur des stations de base de microsysteme ou de picosystème est de 6 m par rapport au sol. Ainsi, les stations de base de micro- et de picosystème sont à la même hauteur. Les stations de base de macrosystème sont à une hauteur supérieure à celle des stations de base de microsysteme et des stations de base de picosystème.

Le Tableau 49 est valable aussi bien pour les systèmes DRT/1,28 Mélément/s que pour les systèmes 3,84 Mélément/s.

TABLEAU 49
Gain d'antenne résultant

	Station de base macrosystème DRF (15 dBi)	Station de base microsystème DRF (6 dBi)	Station de base picosystème DRF (0 dBi)
Station de base macrosystème DRT (15 dBi)	30	15	15
Station de base microsystème DRT (6 dBi)	15	12	6
Station de base picosystème DRT (0 dBi)	15	6	0

2 Somme des gains d'antenne en direction de la station brouilleuse et de la station victime (diagrammes d'antenne verticaux définis par un angle de 3 dB et un angle de 10 dB)

On utilise ici des scénarios macro-micro pour analyser la contribution de gain des antennes dans un réseau réel.

Dans la pratique, l'isolement d'une antenne à l'autre est fonction de l'angle d'inclinaison, de l'ouverture verticale du faisceau et du gain d'antenne. Dans la pratique, pour réduire les brouillages entre cellules, le lobe principal de l'antenne est incliné d'une certaine valeur angulaire et l'angle d'inclinaison de l'antenne dépend de la hauteur de l'antenne, du rayon de la cellule et de l'ouverture verticale du faisceau, etc. [8]

Dans le cas d'une coexistence de systèmes TD-SCDMA et DRT dans des bandes adjacentes et dans une même région, le gain d'antenne dépend du diagramme de directivité de l'antenne de la station brouilleuse et de celui de l'antenne de la station victime ainsi que de l'angle d'inclinaison des deux antennes.

Ouverture du faisceau d'antenne

L'ouverture de faisceau à 3 dB de l'antenne, θ peut être estimée comme suit:

$$\theta = 180/G$$

G étant le gain maximum de l'antenne.

Pour les calculs techniques, on peut estimer approximativement l'ouverture de faisceau à 10 dB comme équivalant à 2θ .

Valeurs de gain d'antenne pratiques entre stations de base de macrosystème et stations de base de microsystème

Pour les scénarios micro vers macro, les hauteurs d'antenne diffèrent sensiblement; le gain d'antenne pratique dans le cas des deux systèmes est calculé d'après la somme des gains d'antenne d'émission et de réception dans l'axe station de base du macrosystème-station de base du microsystème (voir la Fig. 3).

Hypothèses:

Distance de séparation de référence:	$D = 50$ m
Gain d'antenne d'émission de la station de base du microsystème:	$G_{A,Tx} = 6$ dBi
Gain d'antenne de réception de la station de base du macrosystème:	$G_{A,Rx} = 15$ dBi
Hauteur d'antenne moyenne, macrocellule:	30 m
Hauteur d'antenne moyenne, microcellule:	6 m
Angle d'inclinaison vers le bas de l'antenne de la station de base du microsystème:	$4,43^\circ$
Angle d'inclinaison vers le bas de l'antenne d'émission du microsystème:	$2,5^\circ$

Ouverture verticale du faisceau de l'antenne de la station de base du microsysteme:

$$\theta_{macro} = 180/G_{macro} = 5,7^\circ$$

Ouverture verticale du faisceau de l'antenne de la station de base du microsysteme:

$$\theta_{micro} = 180/G_{micro} = 45,2^\circ$$

Angle c :

$$c = \text{tg}^{-1}((h_1 - h_2)/D) = \text{tg}^{-1}(Dh/D) = 25,64^\circ$$

Angle a :

$$a = c - 4,43 = 21,21^\circ$$

Angle b :

$$b = c + 2,5 = 28,14^\circ$$

Il apparaît à ce point de notre analyse que l'angle a est supérieur à l'ouverture verticale du faisceau θ_{macro} , de telle sorte que l'affaiblissement dans ce sens est inférieur de 10 dB au gain maximal. La contribution de gain de la station de base du macrosystème est donc inférieure à 5 dB ($15 - 10 = 5$).

L'angle d'inclinaison b est supérieur à l'ouverture verticale du faisceau $\theta_{micro}/2$, de telle sorte que l'affaiblissement dans ce sens doit être inférieur de 3 dB au gain maximal.

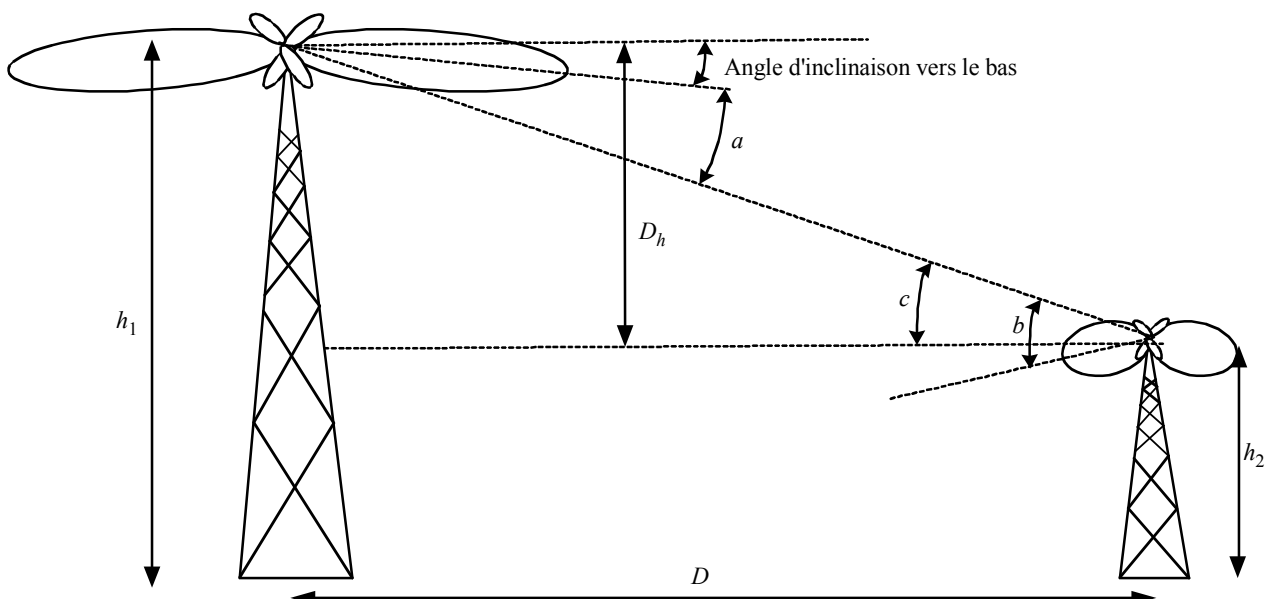
En conséquence, le gain pratique de la station de base du microsysteme est inférieur à 3 dB ($6 - 3 = 3$).

Les valeurs pratiques de gain de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception peuvent être estimées comme suit:

$$G_{practical} = G_{macro}(a) + G_{micro}(b) < 5 + 3 = 8 \text{ dB}$$

FIGURE 10

Diagramme des antennes de la station de base dans le cas d'une macrocellule et d'une microcellule



Lorsque la distance de l'antenne d'émission et de l'antenne de réception augmente, il faut réduire l'angle d'inclinaison vers le bas, si bien que les valeurs pratiques de gain d'antenne d'émission et de réception augmenteront également. Néanmoins, l'affaiblissement sur le trajet, pour la station brouilleuse et pour la station victime, augmentera plus rapidement que l'augmentation du gain contributif, si bien que l'isolement total vis-à-vis de la station brouilleuse et de la station victime augmente lorsque la distance de l'antenne d'émission et celle de l'antenne de réception augmentent.

Lorsque l'on utilise cette méthode pour les scénarios macro vers macro, les antennes sont situées à la même hauteur, et les valeurs pratiques de gain d'antenne d'émission et de réception doivent être inférieures d'au moins 6 dB à la somme des gains maximaux des deux antennes.

3 Somme des gains des antennes en direction de la station brouilleuse et de la station victime (diagramme vertical d'antenne conforme à la Recommandation UIT-R F.1336)

Les calculs reposent ici sur l'approche proposée au § 2, étendue à tous les scénarios envisageables (voir le Tableau 49). Le diagramme vertical d'antenne des macrocellules et des microcellules est en l'occurrence conforme à la Recommandation UIT-R F.1336, avec un coefficient K de 0,2 pour tout angle d'inclinaison (dans tous les scénarios considérés ici, on a utilisé une valeur de $2,5^\circ$), et les antennes sont par hypothèse des antennes sectorielles de 120° . Dans le cas de picocellules, on suppose que l'antenne est omnidirectionnelle.

Cette section est conforme au Rapport UIT-R M.2039 – Caractéristiques de la composante de Terre des IMT-2000 aux fins d'analyse des brouillages et de partage des fréquences

Les hypothèses concernant le facteur K et les angles d'inclinaison pourront être modifiées dans un avenir proche.

Diagrammes d'antenne (macrocellules et microcellules)

La Recommandation UIT-R F.1336 définit les diagrammes de rayonnement de référence des antennes équidirectionnelles, sectorielles et autres antennes des systèmes du type point à multipoint, à utiliser pour les études de partage dans la gamme de fréquences comprise entre 1 et environ 70 GHz.

Pour les antennes sectorielles, cette Recommandation donne les équations suivantes:

$$G(\theta) = \max \{ G_1(\theta), G_2(\theta) \}$$

$$G_1(\theta) = G_0 - 12 \left(\frac{\theta}{\theta_3} \right)^2$$

$$G_2(\theta) = G_0 - 12 + 10 \log \left[\left(\max \left\{ \frac{|\theta|}{\theta_3}, 1 \right\} \right)^{-1,5} + K \right]$$

avec:

$G(\theta)$: gain relatif à une antenne isotrope (dBi)

G_0 : gain maximal dans le plan horizontal ou au voisinage du plan horizontal (dBi)

θ : valeur absolue de l'angle d'élévation relatif à l'angle du gain maximal (degrés)

θ_3 : ouverture de faisceau à 3 dB dans le plan vertical (degrés)

K : paramètre rendant compte des niveaux accrus en lobe latéral par rapport au niveau que l'on pourrait attendre avec une antenne à lobes latéraux améliorés (typique: $K = 0,7$ entre 1 et 3 GHz).

La relation entre le gain (dBi) et l'ouverture de faisceau à 3 dB dans le plan d'élévation (degrés) est, dans le cas des antennes sectorielles, représentée par l'équation suivante:

$$\theta_3 = \frac{31000 \times 10^{-0,1G_0}}{\varphi_s}$$

dans laquelle φ_s est l'ouverture du faisceau à 3 dB d'un secteur dans le plan azimutal (degrés).

Gains d'antenne résultants

La géométrie des configurations est la même que celle du § 2, Fig. 10. Si l'on utilise les notations de la Fig. 10 et les notations suivantes:

- h_1 et h_2 : hauteurs d'antenne (macro: 30 m, micro: 6 m);
- et les angles d'inclinaison suivants pour les antennes macro et micro: 2,5° vers le bas pour tilt 1 et tilt 2.

On a:

Angle a :

$$a = \sin^{-1} \left(\frac{h_1 - h_2}{\sqrt{(h_1 - h_2)^2 + D^2}} \right) - \text{tilt 1}$$

Angle b :

$$b = \sin^{-1} \left(\frac{h_1 - h_2}{\sqrt{(h_1 - h_2)^2 + D^2}} \right) - \text{tilt 2}$$

On obtient alors les gains d'antenne résultants pour les deux stations de base avec les équations de gain de la Recommandation UIT-R F.1336 (affaiblissement d'alimentation FL_{BS} : 2 dB pour toutes les stations de base considérées):

$$G_{resulting} = G_{BS1}(a) + G_{BS2}(b) - 2FL_{BS}$$

Caractéristiques des stations de base

- Gain d'antenne: 17 dBi (macro), 8 dBi (micro), 2 dBi (pico)
- Coefficient K selon la Recommandation UIT-R F.1336: 0,2 (macro et micro) et 1 (pico)
- Secteur (macro et micro): 120°
- Hauteurs d'antenne: 30 m (macro), 6 m (micro), 2 m (pico)
- Affaiblissement d'alimentation: 2 dB.

Le Tableau 50 résultant se présenterait alors comme suit:

TABLEAU 50
Gain d'antenne résultant

	DRF macrostation de base (15 dBi)	DRF microstation de base (6 dBi)	DRF picostation de base (0 dBi)
DRT macrostation de base (15 dBi)	23	0-15	0-15
DRT microstation de base (6 dBi)	0-15	12	5
DRT picostation de base (0 dBi)	0-15	5	0