

Union internationale des télécommunications

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.2101-0

(02/2017)

**Modélisation et simulation des réseaux et
systèmes IMT à utiliser dans les études
de partage et de compatibilité**

Série M

**Services mobile, de radiorepérage et d'amateur
y compris les services par satellite associés**



Union
internationale des
télécommunications

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/UIT-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR station	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiopéage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2017

© UIT 2017

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R M.2101-0

Modélisation et simulation des réseaux et systèmes IMT à utiliser dans les études de partage et de compatibilité

(2017)

Domaine d'application

La présente Recommandation décrit la méthode de modélisation et de simulation des réseaux IMT¹ à utiliser dans les études de partage et de compatibilité entre les IMT et d'autres systèmes ou applications. A ce titre, elle ne pose aucune hypothèse concernant les paramètres de système ou la modélisation de ces autres systèmes ou applications et vise exclusivement à fournir des renseignements concernant les systèmes IMT.

Mots clés

IMT, IMT évoluées, questions de partage/compatibilité, systèmes mobiles

Recommandations et Rapports

Recommandation UIT-R M.2012 – Spécifications détaillées des interfaces radioélectriques de Terre des télécommunications mobiles internationales évoluées (IMT évoluées)

Rapport UIT-R M.2292 – Caractéristiques des systèmes IMT évolués de Terre pour les analyses de partage des fréquences et les analyses des brouillages

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la Question UIT-R 229/5 porte sur la poursuite du développement de la composante de Terre des systèmes IMT et que les études visant à traiter cette Question sont en cours à l'UIT-R;
- b) qu'en vertu de la Résolution **223 (Rév.CMR-15)**, l'UIT-R est invité à effectuer un certain nombre d'études de compatibilité entre les systèmes IMT et d'autres systèmes ou applications;
- c) que, conformément à la Résolution **238 (CMR-15)**, il a été décidé d'inviter l'UIT-R à procéder à des études de partage et de compatibilité appropriées entre les systèmes IMT et d'autres systèmes ou applications dans plusieurs bandes de fréquences;
- d) qu'il est prévu que de nouvelles interfaces radioélectriques prenant en charge les nouvelles fonctionnalités des IMT-2020 soient mises au point, et que les systèmes IMT-2000 et les systèmes IMT évolués soient améliorés, conformément à la Résolution UIT-R 57-2;
- e) que des méthodes de modélisation et de simulation des réseaux sont nécessaires pour analyser la compatibilité entre les systèmes IMT et les systèmes d'autres services;
- f) qu'il faut décrire avec précision la simulation des transmissions des réseaux IMT, notamment le calcul des effets cumulatifs, afin de modéliser de façon réaliste les systèmes IMT dans les scénarios de partage et de compatibilité,

reconnaissant

- a) que le Rapport UIT-R M.2292 donne les caractéristiques des systèmes IMT évolués de Terre pour les analyses de partage des fréquences et les analyses des brouillages;

¹ Lorsqu'il est fait mention des IMT dans la présente Recommandation, il s'agit de la modélisation des IMT évoluées et des réseaux IMT-2020.

- b) que la Recommandation UIT-R M.2012 contient les spécifications détaillées des interfaces radioélectriques de Terre des télécommunications mobiles internationales évoluées (IMT évoluées);
- c) que les Recommandations UIT-R M.2070 et UIT-R M.2071 donnent respectivement les caractéristiques génériques des rayonnements non désirés des stations de base et des stations mobiles utilisant les interfaces radioélectriques de Terre des IMT évoluées,

recommande

que la modélisation et la simulation des réseaux et des systèmes IMT à utiliser dans les études de partage et de compatibilité reposent sur la méthode décrite dans l'Annexe 1.

Liste des abréviations

AAS	système d'antenne évolué (<i>advanced antenna system</i>)
ACIR	rapport de puissance de brouillage de canal adjacent (<i>adjacent channel interference power ratio</i>)
ACLR	rapport de fuite de puissance dans un canal adjacent (<i>adjacent channel leakage power ratio</i>)
ACS	sélectivité par rapport au canal adjacent (<i>adjacent channel selectivity</i>)
BS	station de base (<i>base station</i>)
D2D	dispositif à dispositif (<i>device-to-device</i>)
eMBB	large bande mobile évolué (<i>enhanced mobile broadband</i>)
FD	dimension pleine (<i>full-dimension</i>)
FDR	rejet dépendant de la fréquence (<i>frequency dependent rejection</i>)
HO	transfert intercellulaire (<i>handover</i>)
M2M	machine-machine (<i>machine to machine</i>)
MBB	large bande mobile (<i>mobile broadband</i>)
MIMO	entrées multiples sorties multiples (<i>multiple input multiple output</i>)
mMTC	communications massives de type machine (<i>massive machine-type communications</i>)
MTC	communications de type machine (<i>machine-type communications</i>)
OOB	hors bande (<i>out-of-band</i>)
OOBE	émission hors bande (<i>out-of-band emission</i>)
RB	bloc de ressource (<i>resource block</i>)
RF	fréquence radioélectrique (<i>radio frequency</i>)
UE	équipement d'utilisateur (<i>user equipment</i>)
URLLC	communications ultrafiabiles présentant un faible temps de latence (<i>ultra-reliable and low latency communications</i>)

Annexe 1

Méthode de modélisation et de simulation des réseaux IMT à utiliser dans les études de partage et de compatibilité

Annexe 1 – Méthode de modélisation et de simulation des réseaux IMT à utiliser dans les études de partage et de compatibilité	3
1 Introduction	4
2 Définitions et concepts fondamentaux	4
2.1 Scénarios d'utilisation	4
2.2 Scénarios de déploiement	5
2.3 Commande de puissance à l'émission.....	7
2.4 Caractéristiques des antennes évoluées et techniques correspondantes	7
2.5 Hauteur d'antenne et structures des environnements	8
2.6 Densité et répartition des stations	8
2.7 Modèles de propagation.....	8
2.8 Répéteurs pour la couverture en intérieur.....	9
2.9 Critères de protection applicables aux IMT.....	9
3 Configuration de simulation	9
3.1 Topologie du réseau.....	9
3.2 Modélisation des réseaux IMT pour le calcul des brouillages.....	14
3.3 Réseaux FDD/TDD	17
3.4 Méthode de simulation	17
4 Mise en oeuvre de la commande de puissance de l'équipement d'utilisateur (UE) IMT	26
4.1 Algorithme de commande de puissance	26
5 Mise en oeuvre du diagramme d'antenne à formation de faisceaux pour la station de base (BS) IMT et l'équipement d'utilisateur (UE)	26
6 Mise en oeuvre des informations de trafic des IMT	29
7 Détermination des brouillages cumulatifs	30
8 Démonstration des résultats préliminaires de la modélisation de systèmes IMT.....	31
9 Références	32
Pièce jointe 1 de l'Annexe 1.....	33
Pièce jointe 2 de l'Annexe 1.....	34

1 Introduction

On trouvera dans la présente Annexe la méthode de modélisation et de simulation des réseaux IMT à utiliser dans les études de partage et de compatibilité. Cette Annexe décrit également les modèles IMT qu'il convient d'utiliser dans les études de partage et de compatibilité entre les systèmes IMT et d'autres systèmes radioélectriques dans diverses bandes de fréquences.

Les définitions et les concepts fondamentaux des réseaux IMT sont présentés au § 2 pour faciliter le choix du modèle IMT qui convient. Le paragraphe 2 donne également des renseignements sur des éléments techniques tels que la puissance de sortie et le diagramme d'antenne, la hauteur d'antenne et l'environnement associé aux scénarios de déploiement, la densité et la répartition des stations IMT, ainsi que sur les modèles de propagation pour les trajets entre les stations de base IMT et les stations mobiles.

La présente Annexe décrit les paramètres détaillés des systèmes IMT qui doivent être pris en compte dans cette modélisation et leur mise en oeuvre dans les simulations présentées aux § 3 à 6. Le paragraphe 3 traite plus particulièrement des échelons de simulation pour la modélisation de toutes les émissions produites par un réseau IMT (dans le cas où le système IMT est le système brouilleur) ainsi que pour la modélisation des conséquences pour le réseau IMT (dans le cas où le système IMT est le système brouillé). Le paragraphe 7 contient des considérations relatives au calcul de l'effet cumulatif de la probabilité de brouillage causé par un système IMT.

De plus, pour souligner l'importance d'une modélisation réaliste des systèmes IMT dans les scénarios de partage et de compatibilité, le § 8 décrit les moyens de comparer la mise en oeuvre de la modélisation d'un système IMT en comparant les résultats intermédiaires relatifs à la qualité de fonctionnement et à l'exploitation du système IMT.

2 Définitions et concepts fondamentaux

2.1 Scénarios d'utilisation

Les IMT évoluées représentent l'interface radioélectrique la plus largement acceptée pour la fourniture du large bande mobile (MBB). L'interface radioélectrique IMT-2020 fournira non seulement le scénario d'utilisation du large bande mobile évolué (eMBB), mais permettra également de nouveaux cas d'utilisation comprenant diverses applications, par exemple les communications massives de type machine (mMTC) et les communications ultrafiabiles présentant un faible temps de latence (URLLC). Bien qu'elle soit applicable à tous les scénarios ci-dessus, la méthode porte essentiellement sur les scénarios MBB et eMBB, qui constituent les principaux scénarios d'utilisation dans les études de partage et de compatibilité.

Le large bande mobile et le large bande mobile évolué se sont imposés grâce au recours à des technologies offrant un meilleur rendement spectral dans une plus grande quantité de spectre, ce qui permet de fournir des services présentant des débits de données plus élevés. Les communications massives de type machine visent à assurer la connectivité d'un grand nombre de dispositifs de coût modique et à faible consommation d'énergie dans le contexte de l'Internet des objets (IoT). Les communications ultrafiabiles présentant un faible temps de latence devraient permettre la commande en temps réel et l'automatisation des processus dynamiques dans des domaines aussi divers que l'automatisation des processus industriels et la fabrication, la distribution d'énergie et les systèmes de transport intelligent et nécessite des communications se caractérisent par une fiabilité et une disponibilité très élevées ainsi que par un très faible temps de latence de bout en bout.

Les communications de dispositif à dispositif (D2D) et de machine à machine (M2M) peuvent être utilisées pour les applications mMTC et URLLC. Dans les communications D2D/M2M, les stations mobiles établissent des communications avec des stations de base au moyen de leur canal de commande. Le trafic de données d'utilisateur est acheminé directement par le canal de données entre les stations mobiles. Dans ce scénario, les stations mobiles sont situées à l'intérieur de la zone d'une cellule fournie par une station de base.

2.2 Scénarios de déploiement

Aux fins du déploiement, il convient de classer les réseaux d'accès radioélectriques IMT évolués et IMT-2020 dans la catégorie des réseaux situés en intérieur ou en extérieur, et assurant sans discontinuité la couverture d'une zone étendue ou d'une petite zone.

Le Tableau 1 présente une description de haut niveau du déploiement des IMT. Les catégories 1 et 2 sont les mêmes que la configuration existante des réseaux IMT assurant une couverture continue de macrostations. Les catégories 3 et 4 correspondant à la couverture de petites zones pourraient être utilisées indépendamment des catégories 1 et 2 ou en association avec ces dernières.

TABLEAU 1

Catégories de réseaux d'accès radioélectriques

Emplacement de la station mobile	Couverture continue d'une zone étendue	Couverture continue d'une petite zone
Station mobile en extérieur	Catégorie 1 Macrocellule classique (antenne omnidirectionnelle, sectorielle, avec formation de faisceaux)	Catégorie 3 Couverture d'une petite zone en extérieur (antenne omnidirectionnelle, sectorielle, avec formation de faisceaux)
Station mobile en intérieur	Catégorie 2 Couverture par macrocellules en extérieur (antenne omnidirectionnelle, sectorielle, avec formation de faisceaux)	Catégorie 4 Couverture d'une petite zone en intérieur (antenne omnidirectionnelle, sectorielle, avec formation de faisceaux)

On peut également classer les réseaux d'accès radioélectriques pour chaque scénario de déploiement en fonction des aspects suivants:

- environnements (rural/suburbain/urbain/en intérieur);
- couverture continue d'une zone étendue/Couverture d'une petite zone.

Six scénarios de déploiement associant les aspects a) et b) ci-dessus sont définis dans le Tableau 2. Trois scénarios de déploiement (macrocellule en zone rurale, macrocellule en zone suburbaine et macrocellule en zone urbaine) sont identiques à la configuration actuelle de réseaux IMT avec couverture continue de macrostations. Les trois autres scénarios de déploiement (microcellule en zone suburbaine, microcellule en zone urbaine et en intérieur) correspondent à la couverture de petites zones.

Ces trois derniers scénarios de développement pourraient être utilisés indépendamment les uns des autres dans certains cas, mais il pourra fréquemment arriver qu'ils soient utilisés en association avec les trois premiers scénarios de déploiement.

La classification des scénarios de déploiement présentée dans le Tableau 2 est applicable aux modèles IMT pertinents ainsi qu'aux environnements de propagation associés, aux fins de la modélisation des IMT pour les études de partage.

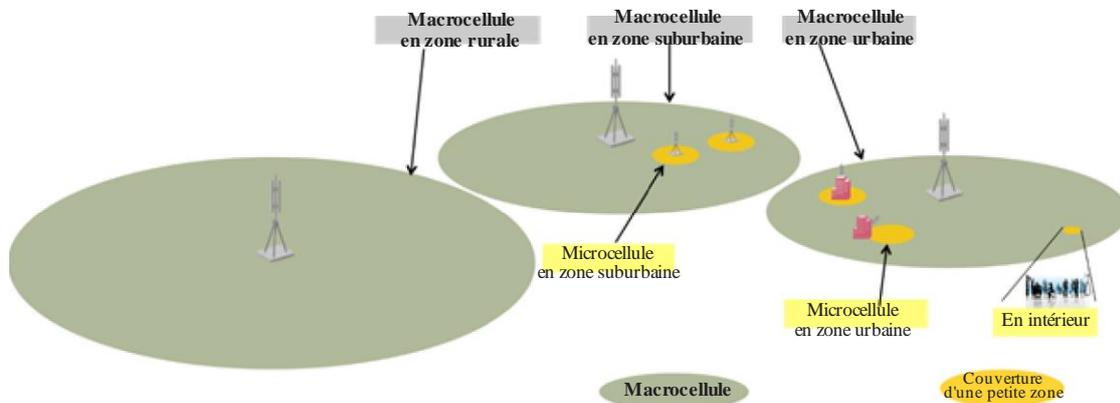
TABLEAU 2

Scénarios de déploiement des réseaux d'accès radioélectriques

Emplacement de la station de base	Couverture continue d'une zone étendue	Couverture d'une petite zone
Zone rurale	Macrocellule en zone rurale	Sans objet
Zone suburbaine	Macrocellule en zone suburbaine	Microcellule en zone suburbaine
Zone urbaine	Macrocellule en zone urbaine	Microcellule en zone urbaine
En intérieur	Sans objet	En intérieur

La Figure 1 est une illustration des scénarios possibles, qui sont décrits de manière plus détaillée ci-dessous.

FIGURE 1
Exemples de scénarios de déploiement



M.210101

1) Macrocellule en zone rurale

Le scénario de déploiement en zone rurale concerne essentiellement la couverture continue et plus importante d'une zone étendue. En général, les antennes des stations de base sont placées au sommet d'un pylône.

2) Macrocellule en zone suburbaine

Le scénario de déploiement de macrocellules en zone suburbaine correspond à la couverture sans discontinuité de zones suburbaines (essentiellement résidentielles) ainsi que de localités rurales comprenant des bâtiments peu élevés, à l'exclusion des zones non peuplées entre ces localités. Généralement, les antennes de stations de base sont placées sur un pylône ou sur un toit et les utilisateurs peuvent se trouver à l'intérieur comme à l'extérieur de bâtiments.

3) Macrocellule en zone urbaine

Le scénario de déploiement de macrocellules en zone urbaine correspond à des bâtiments à plusieurs étages équipés d'antennes de stations de base généralement placées au niveau de la ligne de toiture ou au-dessus de ce niveau. La puissance de la station de base peut varier en fonction des besoins de déploiement et de couverture au niveau local. Les utilisateurs peuvent se trouver à l'extérieur ou à

l'intérieur de bâtiments. Les répéteurs éventuels utilisés pour la couverture en intérieur sont considérés comme équivalents à l'équipement d'utilisateur (équipement UE) et sont donc traités comme tels.

4) Microcellule en zone suburbaine

Le scénario de déploiement de microcellules en zone suburbaine correspond au renforcement des capacités dans les petits espaces communautaires comprenant des bâtiments peu élevés dans des zones suburbaines. Les antennes des stations de base sont généralement placées sur des mâts. Les utilisateurs peuvent se trouver à l'extérieur ou à l'intérieur de bâtiments. Les répéteurs éventuels utilisés pour la couverture en intérieur sont considérés comme équivalents à l'équipement UE et sont donc traités comme tels.

5) Microcellule en zone urbaine

Le scénario de déploiement de microcellules en zone urbaine correspond à des bâtiments à plusieurs étages dotés d'antennes de stations de base placées sous la ligne de toiture. En général, les antennes de stations de base sont des antennes sectorielles uniques ou des antennes avec formation de faisceaux offrant une faible puissance de sortie. Ce scénario de déploiement se caractérise par des phénomènes d'occultation, de diffraction par effet d'écran multiple et de diffusion qui prédominent à proximité des antennes (microcellules associées à une rue et petits points d'accès public par exemple), du point de vue des effets de la propagation. Les utilisateurs peuvent se trouver à l'extérieur ou à l'intérieur de bâtiments

6) Déploiement en intérieur

Le scénario de déploiement en intérieur correspond le plus souvent à des environnements urbains ou suburbains. Les stations de base et les utilisateurs se trouvent à l'intérieur de bâtiments.

2.3 Commande de puissance à l'émission

Les études visant à analyser les incidences de la totalité d'un réseau IMT devraient tenir compte de la diversité des réseaux IMT, en particulier sous l'angle de la commande de puissance.

En ce qui concerne la liaison montante, certains types de dispositifs (par exemple les dispositifs de faible puissance destinés aux applications MTC) peuvent fonctionner sans commande de puissance, tandis que pour d'autres types de dispositifs (par exemple les dispositifs large bande mobiles évolués), on utilisera la commande de puissance. La commande de puissance compense en totalité ou en partie la différence de l'affaiblissement dû au couplage entre les différents dispositifs connectés à la station de base et correspond à un niveau de réception initial cible par bloc de ressources (RB).

Pour ce qui est de la liaison descendante, on utilise plusieurs types de stations de base (macrostation, microstation, picostation, femtostation, etc.), présentant chacune un niveau de p.i.r.e. différent. En général, la puissance de sortie des stations de base pour les microstations en zone urbaine et à l'intérieur de bâtiments décrites au § 2 est inférieure à celle utilisée pour d'autres scénarios de déploiement. Aucun mécanisme de commande de puissance sur la liaison descendante n'est utilisé au niveau de la station de base et la puissance d'émission par bloc de ressource (RB) est constante. La puissance totale sur la liaison descendante varie selon le nombre de blocs RB utilisés. Cependant, dans la présente Recommandation, cet effet est modélisé différemment (voir le § 3.4).

2.4 Caractéristiques des antennes évoluées et techniques correspondantes

Ces dernières années, les antennes des stations de base IMT ont été conçues de manière à optimiser la transmission ou la réception des signaux. De plus, dans les terminaux IMT, le nombre d'antennes de réception a augmenté.

Etant donné qu'il existe plusieurs éléments d'antennes aussi bien au niveau de la station de base qu'au niveau du terminal, de nouvelles fonctionnalités sont possibles. Les systèmes à entrées multiples et à sorties multiples (MIMO) permettent d'utiliser plusieurs flux de signaux pour la diversité à l'émission, le multiplexage spatial, le modelage des faisceaux ou l'annulation de lobes dans un sens ou un autre.

Les IMT-2020 fonctionneront non seulement dans les gammes de fréquences inférieures, mais aussi dans les bandes de fréquences supérieures. La taille de l'antenne est modulable en fonction de la fréquence, ce qui permet aux stations de base et aux terminaux d'exploiter une empreinte d'antenne plus petite avec un plus grand nombre d'éléments d'antenne aux fréquences supérieures. Les éléments d'antenne plus nombreux permettent des formes de faisceaux plus étroites et réduisent ainsi le risque de brouillage causé aux récepteurs autres que le récepteur voulu. De plus, le gain d'antenne plus élevé peut réduire l'affaiblissement plus important sur le trajet aux fréquences supérieures, par exemple dans la bande des ondes millimétriques, et permettre la transmission de plusieurs flux de signaux à plusieurs utilisateurs (technique également appelée technique multi-utilisateurs (MU)-MIMO).

2.5 Hauteur d'antenne et structures des environnements

Dans les zones rurales, rares sont les hautes structures susceptibles d'occulter la propagation en visibilité directe autour des antennes des stations de base. En revanche, dans un environnement suburbain ou urbain, on trouve des structures plus hautes et plus denses autour des antennes des stations de base. En conséquence, la propagation s'en trouvera affectée, en fonction de la position des antennes des stations de base et des structures qui les entourent.

2.6 Densité et répartition des stations

Il est nécessaire de prendre en considération une densité et une répartition souples des stations radioélectriques dans les calculs des brouillages cumulatifs. La demande de débits de données élevés existe principalement dans les zones précises où se trouvent des points d'accès public. Dans les bandes de fréquences supérieures, les déploiements englobent rarement toutes les zones d'un pays ou d'une région, étant donné que la couverture pourra être complétée moyennant l'utilisation des bandes de fréquences inférieures.

2.7 Modèles de propagation

Les IMT existent dans de nombreuses configurations de déploiement, qu'il s'agisse d'un réseau homogène monocouche, par exemple un macroréseau, ou de réseaux hétérogènes à plusieurs couches, par exemple un macroréseau/microréseau ou un macroréseau/picoréseau ou encore un microréseau/picoréseau etc., et doivent prendre en charge des environnements de propagation extérieur vers extérieur, extérieur vers intérieur et en intérieur pour plusieurs gammes de fréquences.

En outre, il faut également tenir compte des environnements de propagation entre le système IMT et les systèmes d'autres services assujettis à d'éventuelles conditions de coexistence. Il existe déjà plusieurs modèles dans les Recommandations UIT-R de la série P ou dans des Rapports de l'UIT-R. Pour le calcul de l'affaiblissement sur le trajet entre les stations de base IMT et les équipements UE, voir également le Rapport UIT-R M.2135.

Les effets de la propagation entre les systèmes brouilleurs et les systèmes brouillés n'entrent pas dans le cadre du présent document. Cependant, lors du choix des modèles de propagation, il convient également de tenir compte des environnements de déploiement des systèmes IMT, et notamment de la position des antennes des stations de base, des structures physiques environnantes et des fréquences d'exploitation

2.8 Répéteurs pour la couverture en intérieur

Afin de remédier à l'affaiblissement important dû à la pénétration dans les bâtiments, il pourrait être utile d'utiliser des répéteurs montés sur un mur à l'extérieur des bâtiments ou placés à côté de la fenêtre à l'intérieur des bâtiments, afin de faciliter la propagation en visibilité quasi directe en direction d'une station de base.

2.9 Critères de protection applicables aux IMT

Les critères de protection sont décrits dans différents documents de l'UIT-R, tels que le Rapport UIT-R M.2292, qui indique que le rapport I/N est le critère de protection. Le rapport I/N est le rapport entre le niveau de brouillage intersystèmes autorisé, reçu au niveau du récepteur IMT, et le niveau de bruit du récepteur (bruit thermique + facteur de bruit du récepteur).

Lors de la modélisation des réseaux IMT, la dégradation du rapport porteuse-brouillage plus bruit ($C/(I+N)$) pourrait également servir à évaluer l'affaiblissement du débit ou l'interruption du système IMT résultant des brouillages intersystèmes.

3 Configuration de simulation

Aux fins de la modélisation et de la simulation des réseaux IMT qui seront utilisés dans les études relatives à la coexistence, il est essentiel de choisir des conditions de déploiement appropriées. Les conditions de déploiement prises pour hypothèse constituent des aspects essentiels qui influenceront directement sur les résultats des études de partage. Comme exemples de facteurs de ce type, on citera le choix réaliste de l'environnement dans lequel fonctionne le réseau IMT pris pour hypothèse (urbain/suburbain/rural) et les bandes de fréquences qui seront utilisées dans la simulation IMT. De plus, la densité et la répartition des stations ainsi que la p.i.r.e. pourront être prises en considération en fonction de facteurs tels que la dimension de la zone au-dessus de laquelle les brouillages s'additionnent. D'autres facteurs à prendre en considération sont brièvement traités ci-dessous.

3.1 Topologie du réseau

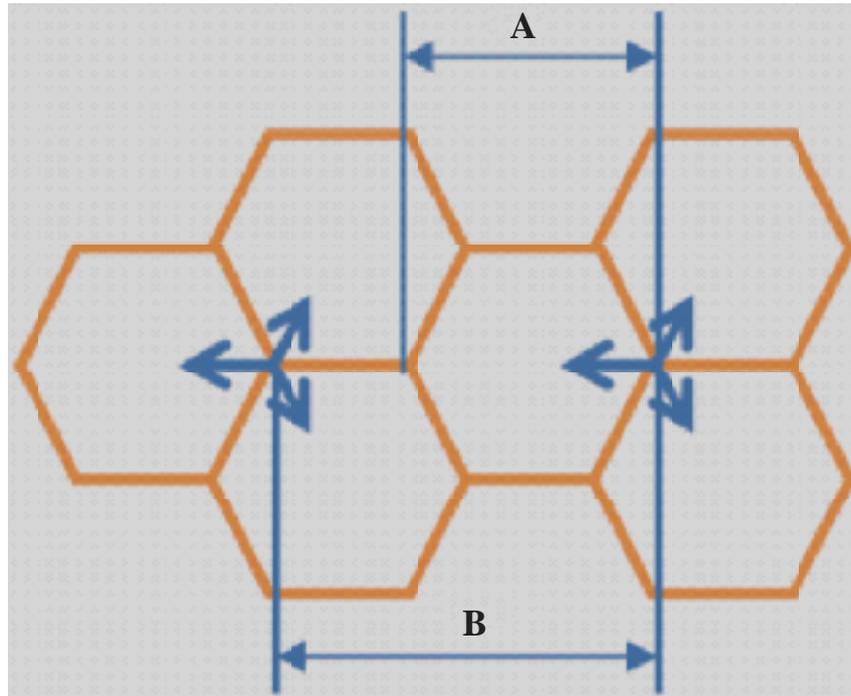
Il existe deux types différents de structures de réseaux: les réseaux homogènes et les réseaux hétérogènes. Une structure de réseaux homogènes comprend un seul type de station de base. Il peut s'agir d'une macrostation de base, d'une microstation de base ou d'une station de base à l'intérieur de bâtiments. Une structure de réseaux hétérogènes comprend une combinaison d'au moins deux types de stations de base. Aux fins des études relatives aux zones étendues ou couvrant l'ensemble du territoire, une combinaison de structures de réseaux sera peut-être nécessaire.

3.1.1 Réseau macrocellulaire

Les macrostations de base sont souvent déployées au-dessus du niveau des toits. La Figure 2 illustre la géométrie d'un déploiement à 3 secteurs ainsi que les paramètres suivants: rayon de la cellule (A) et distance entre les sites (B). Chaque cellule (également appelée secteur) est représentée sous la forme d'un hexagone et dans cette figure, on compte trois cellules/secteurs par site de station de base. Dans les réseaux IMT, la taille des cellules peut varier considérablement en fonction de l'environnement, de la fréquence porteuse et du type de station de base.

Dans les études de partage relatives aux zones étendues ou couvrant l'ensemble du territoire qui utilisent des rayons de cellule correspondant à des déploiements urbains et suburbains, il convient de tenir compte des stations qui ne sont déployées que dans certaines zones limitées du centre de grandes villes et de zones suburbaines.

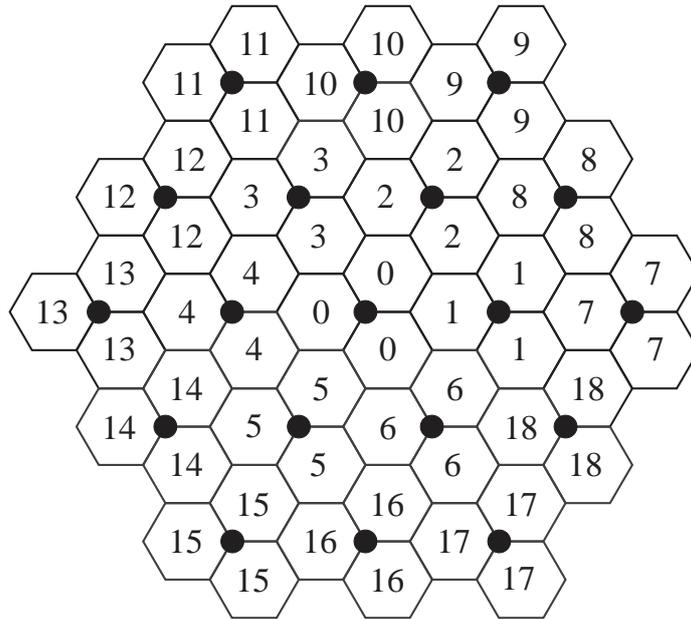
FIGURE 2
Géométrie d'une macrocellule



M.2101-02

La Figure 3 présente un exemple de topologie de macroréseau. La totalité de la région du réseau présentant de l'intérêt pour les simulations est un groupe de 19 sites comprenant trois secteurs chacun (sites 0 à 18 sur la figure), dans lequel d'autres groupes de 19 sites sont reproduits autour de ce groupe central sur la base d'une méthode dite de rebouclage («wrap-around»), qui vise à éviter les effets marginaux du déploiement de réseaux (voir la Pièce jointe 2 pour en savoir plus sur la méthode de rebouclage («wrap-around»). Dans certains scénarios, par exemple dans les cas transfrontières, une modélisation des effets marginaux sera peut-être nécessaire.

FIGURE 3
Déploiement macrocellulaire (groupe central)

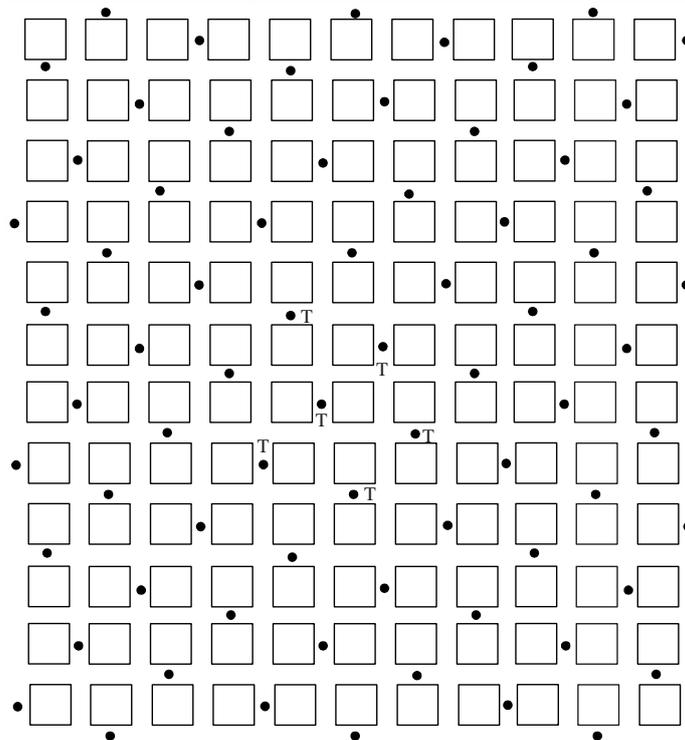


M.210103

3.1.2 Réseau microcellulaire

En milieu urbain, les microstations de base sont généralement déployées au-dessous du niveau des toit. Un exemple de topologie microcellulaire [2] est le modèle dit de Manhattan. Les microstations de base sont placées dans la grille de Manhattan comme cela est proposé sur la Fig. 4.

FIGURE 4
Topologie microcellulaire



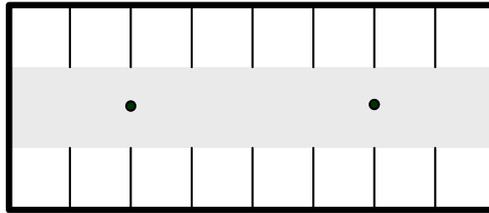
M.210104

3.1.3 Points d'accès public en intérieur

Dans ce scénario, les stations de base sont déployées à l'intérieur de bâtiments. Comme exemple de scénario de point d'accès public en intérieur, on peut citer l'étage d'un bâtiment. La topologie d'une cellule en intérieur est représentée sur la Fig. 5. La taille d'une cellule en intérieur variera selon la bande de fréquences et la configuration de l'intérieur du bâtiment. Des déploiements analogues seront utilisés pour simuler chaque étage dans un scénario de partage multi-étages. Si un système IMT en intérieur est considéré comme un système brouilleur, l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments devra être pris en considération.

FIGURE 5

Configuration d'un point d'accès public à l'intérieur de bâtiments

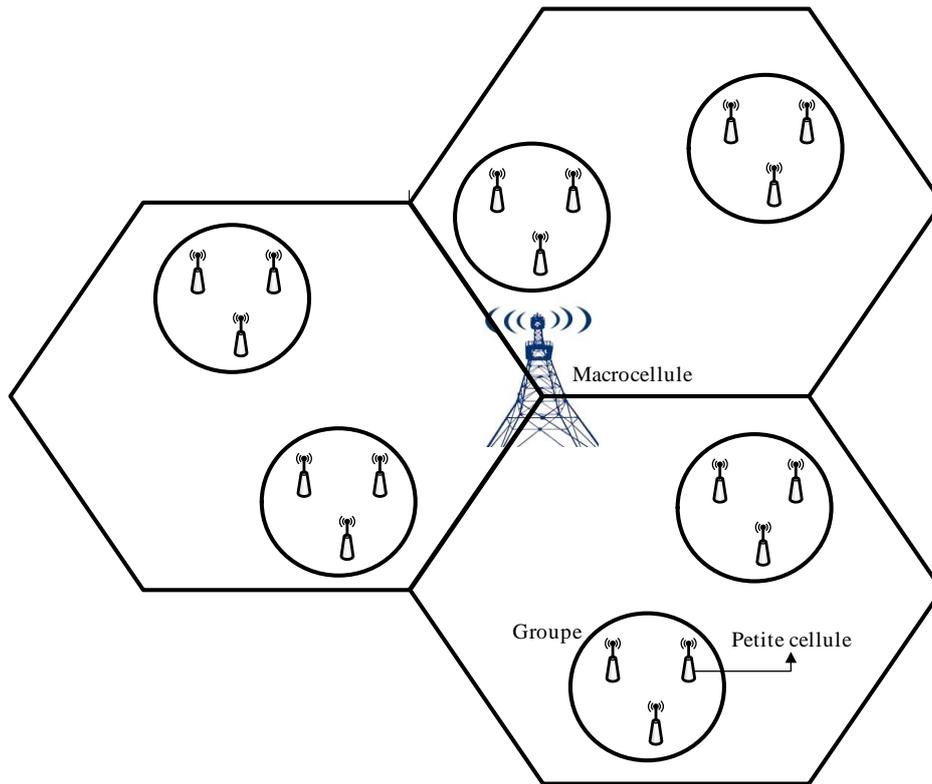


M.2101-05

3.1.4 Réseau hétérogène

On trouvera sur la Fig. 6 un exemple de réseau hétérogène composé de macrocellules et de microcellules. Plusieurs groupes de microcellules sont répartis dans une zone de couverture de macrocellules. Chaque groupe comprend plusieurs cellules qui peuvent être positionnées de manière aléatoire ou placées dans des emplacements fixes et prédéterminés.

FIGURE 6
Configuration de réseau hétérogène



M.2101-06

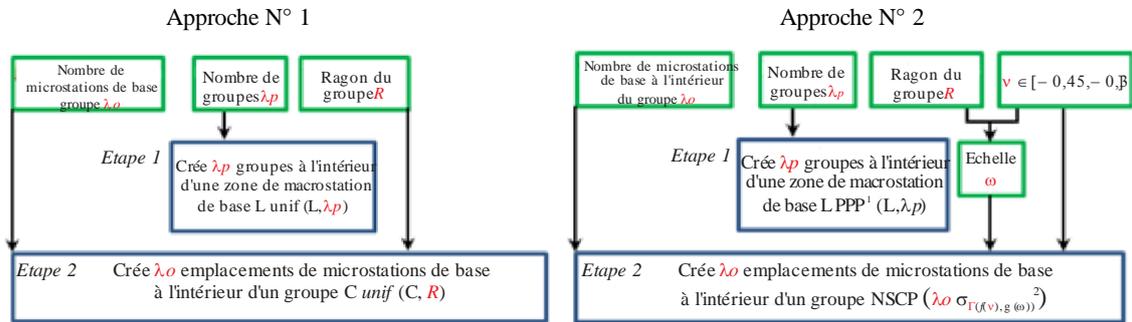
Compte tenu de la configuration décrite sur la Fig. 6, la création du processus aléatoire utilisé dans la répartition des microstations de base peut se faire en deux étapes successives:

- Etape 1: création de λ_p groupes à l'intérieur de la zone de la macrocellule selon une répartition $D_{cluster}$
- Etape 2: création, à l'intérieur de chaque groupe, de λ_o emplacement de microstations de base selon une répartition D_{BS}

Deux approches différentes sont décrites pour suivre ces étapes. Elles concernent toutes deux la topologie de la microstation de base et le nombre de groupes λ_p ainsi que le rayon du groupe R sur lequel est situé le nombre de microstations de base λ_o à l'intérieur de chaque groupe.

FIGURE 7

Diagramme pour la création de microstations de base



M.2101-07

Sur la Fig. 7 ci-dessus, l'Approche 1 est fondée sur la formule [1] et suppose une répartition uniforme aléatoire (à l'intérieur d'une zone macrogéographique) des groupes ainsi que des microstations de base à l'intérieur de chaque groupe, tandis que l'Approche 2 reposant sur des déploiements réels de microstations de base [8] nécessite un autre paramètre v et prend en compte différentes distributions de probabilité pour le groupe (processus ponctuel de Poisson (PPP) ainsi que les emplacements des microstations de base (variance de la loi gamma σ_{Γ}). Voir la Pièce jointe 1 pour plus de renseignements sur la signification et la relation entre R , ω et v . Il y a lieu de noter que, bien que l'application des deux approches soit possible dans les études de partage, l'Approche 2 convient peut-être mieux dans le cas où le récepteur brouillé du service non IMT est situé à proximité des stations de base IMT (par exemple dans le même environnement urbain).

Afin d'éviter de subir des brouillages importants en provenance de la macrocellule, la microcellule utilise généralement une autre bande de fréquences. Dans le cas d'un réseau utilisant différentes fréquences pour les deux couches IMT, il suffit, dans une étude de partage, de simuler la couche adjacente à la fréquence du système brouillé, ou la couche qui chevauche cette fréquence. Cependant, aux fins de cette simulation, il convient de considérer que tout le trafic n'est pas acheminé dans la couche IMT simulée.

Dans le cas d'un réseau utilisant plusieurs bandes de fréquences, la macrocellule utilisera la bande de fréquences inférieure pour assurer une couverture complète.

3.2 Modélisation des réseaux IMT pour le calcul des brouillages

Différents types de brouillages doivent être pris en compte dans les études de partage et de compatibilité en fonction des différents scénarios. Ces brouillages sont décrits dans les lignes qui suivent.

Dans les scénarios faisant intervenir des systèmes IMT et des systèmes non IMT, les effets du brouillage cocanal et du brouillage dans le canal adjacent pourront être examinés en même temps que le rejet en fonction de la fréquence (FDR) décrit dans la Recommandation UIT-R SM.337.

3.2.1 Emissions dans le même canal

Dans un scénario où le système brouilleur et le système brouillé fonctionnent sur la même fréquence (cocanal), le principal type de brouillage à prendre en considération est celui qui résulte de la puissance émise dans le même canal par le système brouilleur.

3.2.2 Emissions dans le canal adjacent

Dans un scénario concernant le canal adjacent dans lequel le système brouilleur et le système brouillé fonctionnent sur des fréquences différentes, deux types de brouillages doivent être pris en considération, à savoir:

- rayonnements non désirés émis par le système brouilleur: rayonnements non désirés comprenant les émissions hors bande et les rayonnements non essentiels;
- caractéristique de blocage du récepteur du système brouillé: capacité du récepteur de recevoir un signal utile dans la largeur de bande du canal qui lui a été assigné en présence de brouillages.

3.2.2.1 Rayonnements non désirés émis par le système brouilleur

3.2.2.1.1 Brouillages provenant d'émissions hors bande (OOB)

Une émission hors bande (OOB) provenant d'un système brouilleur désigne une émission sur une ou des fréquences situées en dehors de la largeur de bande nécessaire, mais dans son voisinage immédiat, due au processus de la modulation, à l'exclusion des rayonnements non essentiels.

Dans le cas des systèmes IMT, les brouillages provenant d'émissions brouilleuses hors bande produites par le système brouilleur P_{tx}^{OOB} peuvent être calculés de la façon suivante:

$$P_{tx}^{OOB} = P_{tx} - ACLR \quad \text{dB} \quad (1)$$

où:

- P_{tx} (dBm): puissance de sortie de l'émetteur brouilleur
- $ACLR$ (dB): rapport de fuite de puissance dans un canal adjacent, à savoir le rapport entre la puissance moyenne mesurée à l'aide d'un filtre (intégrée dans la largeur de bande du canal assigné) centré sur la fréquence du canal assigné et la puissance moyenne mesurée à l'aide d'un filtre (intégrée dans la largeur de bande du canal adjacent) centré sur la fréquence d'un canal adjacent. Le rapport ACLR peut également être calculé au moyen du gabarit des émissions hors bande qui est fourni dans les spécifications correspondantes, par exemple dans la norme 3GPP[6][7].

Des renseignements sur les émissions hors bande provenant d'autres systèmes (non IMT) seront peut-être également nécessaires, et celles-ci pourront être également définies ou non par le rapport ACLR.

3.2.2.1.2 Brouillages dus aux rayonnements non essentiels

Les rayonnements non essentiels représentent les rayonnements non désirés sur une ou des fréquences situées en dehors du domaine des émissions hors bande et dont le niveau peut être réduit sans affecter la transmission de l'information correspondante. Ces rayonnements comprennent les rayonnements harmoniques, les rayonnements parasites, les produits d'intermodulation et de conversion de fréquence, à l'exclusion des émissions hors bande.

Dans le cas des systèmes IMT, la valeur des rayonnements non essentiels $P_{tx}^{spurious}$ définie dans une bande de fréquences donnée peut être fournie dans les spécifications correspondantes, par exemple dans le Rapport UIT-R M.2292 et dans la norme 3GPP.

Comme pour les émissions hors bande, une valeur équivalente du rapport ACLR ($ACLR_{equiva}$) peut être calculée pour les rayonnements non essentiels et utilisée dans la simulation. La valeur de $P_{tx}^{spurious}$ peut alors être calculée comme suit

$$P_{tx}^{spurious} = P_{tx} - ACLR_{equiva} \text{ dB} \quad (2)$$

Des renseignements sur les émissions hors bande provenant d'autres systèmes (non IMT) seront peut-être également nécessaires, et celles-ci pourront également être définies ou non par le rapport ACLR.

3.2.2.2 Brouillage de blocage

La caractéristique de blocage est une mesure de la capacité du récepteur de recevoir un signal utile au niveau du canal qui lui a été assigné en présence d'un signal brouilleur.

Dans le cas des systèmes IMT, la valeur du brouillage de blocage $P_{blocking}$ peut être calculée de la façon suivante:

$$P_{blocking} = P_{rx} - ACS \text{ dB} \quad (3)$$

où:

P_{rx} (dBm): puissance moyenne du signal brouilleur au niveau du récepteur

ACS (dB): la sélectivité vis-à-vis d'un canal adjacent est une mesure de la capacité d'un récepteur de recevoir un signal au niveau de la fréquence du canal qui lui a été assigné en présence d'un signal modulé dans un canal adjacent. La valeur d'ACS peut être calculée à partir du niveau du brouillage de blocage défini dans les spécifications connexes. Voir le Rapport UIT-R M.2039-3, note (27) relative au Tableau 2, ou la norme 3GPP TR 36.942.

Des renseignements sur les caractéristiques de blocage d'autres systèmes (non IMT) seront peut-être également nécessaires, et celles-ci pourront également être définies ou non par la sélectivité vis-à-vis d'un canal adjacent(ACS).

3.2.3 ACIR/FDR

Le rapport de puissance de brouillage dans le canal adjacent (ACIR) est défini comme étant le rapport de la puissance totale émise par une source (station de base ou équipement UE) et la puissance totale de brouillage affectant le récepteur d'un système brouillé, qui entraîne des perturbations au niveau de l'émetteur et du récepteur. On utilise généralement le rapport ACIR dans les cas où le système brouilleur et le système brouillé sont tous deux des systèmes IMT. En conséquence, le rapport ACIR est une valeur combinée des deux types de brouillages (rayonnements non désirés et brouillage de blocage), qui est calculée à l'aide de la formule (4), les valeurs du rapport ACLR et de la sélectivité ACS étant exprimées sous forme linéaire:

$$ACIR^{-1} = ACLR_{TX}^{-1} + ACS_{RX}^{-1} \quad (4)$$

En l'absence des valeurs du rapport ACLR et de la sélectivité ACS, la valeur du rapport pourra être remplacée par la valeur de FDR, comme indiqué dans la Recommandation UIT-R SM.337.

3.2.4 Caractéristiques des mises en oeuvre réelles d'équipements IMT

La qualité de fonctionnement qui peut être obtenue dans les mises en oeuvre réelles d'équipements IMT, par exemple les niveaux des rayonnements non désirés ou la caractéristique de blocage, est généralement meilleure dans les conditions normales que celle indiquée dans les normes.

En conséquence, lors de la modélisation des systèmes IMT, on pourra tenir compte de considérations pratiques relatives à la conception des équipements IMT. Si l'on dispose de renseignements tels que les résultats de mesure des niveaux de rayonnement non désirés de mises en oeuvre d'équipements réelles, on pourra tenir compte de la différence entre les valeurs indiquées et les valeur mesurées lors de la modélisation des systèmes IMT.

3.3 Réseaux FDD/TDD

Les réseaux IMT peuvent fonctionner soit en mode duplex par répartition en fréquence (FDD) (en utilisant différentes bandes de fréquences pour la liaison montante et la liaison descendante), soit en mode duplex par répartition dans le temps (TDD) (en utilisant la même bande de fréquences pour la liaison montante et la liaison descendante dans des conditions de synchronisation/non synchronisation, fixes ou variables, liaison montante/liaison descendante), soit encore en tant que réseau en liaison descendante/liaison montante seulement. La modélisation des réseaux IMT doit en tenir compte lors de l'élaboration d'un scénario de simulation.

Si le brouillage cumulatif en direction d'un système brouillé provient d'une grande/très grande zone de la Terre – satellite ou plate-forme à haute attitude par exemple –, le simulateur devra peut-être pouvoir tenir compte de plusieurs réseaux IMT séparés géographiquement.

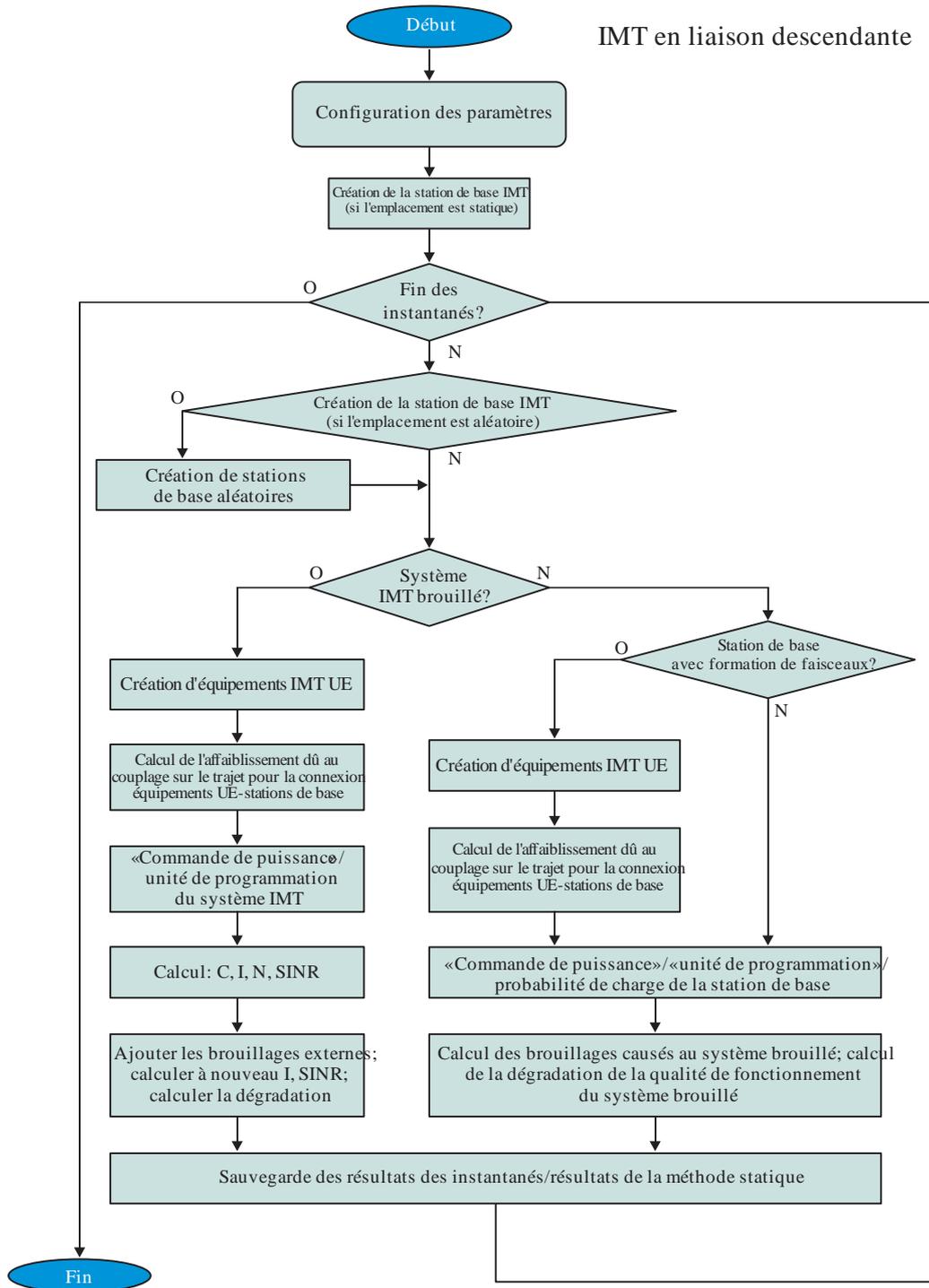
3.4 Méthode de simulation

Le présent paragraphe décrit dans ses grandes lignes les étapes de la méthode de simulation à utiliser pour créer des émissions en liaison montante et en liaison descendante provenant d'un réseau IMT aux fins des études de coexistence.

Cette méthode, qui est une simulation au niveau des systèmes, est largement utilisée dans les études de partage et de compatibilité concernant des réseaux IMT. Elle repose sur une analyse de Monte Carlo, qui permet d'évaluer la probabilité de brouillage causé en simulant simultanément les brouillages entre systèmes provenant de plusieurs sources de brouillages. Les effets des différentes topologies prises pour hypothèse concernant la topologie, des différents algorithmes de commande de puissance et des différentes densités de distribution des émetteurs brouilleurs apparaissent également dans le résultat de l'évaluation. Il convient de noter que la méthode de calcul de la dégradation de la qualité de fonctionnement du système brouillé non IMT, présentée sur les Figs 8 et 9, ainsi que la modélisation des autres systèmes, n'entrent pas dans le cadre du présent document.

La méthode statique décrite ci-après pourra servir de base à la mise au point de modèles plus élaborés, qui prennent par exemple en considération le temps. Un tel modèle tiendra compte de la variation des niveaux de brouillages en fonction du temps, par exemple du cas d'équipements UE qui se déplacent et causent des brouillages à des systèmes de Terre sans retransmission, par exemple des récepteurs de radiodiffusion. Le diagramme type de la simulation statique est présenté ci-dessous.

FIGURE 8
 Diagramme de la méthode de simulation en liaison descendante



3.4.1 Liaison descendante

Créer une grille de stations de base (BS) (si la station est statique et occupe des positions fixes) selon le cas d'utilisation/scénario de déploiement retenu.

Pour $i = 1$ par rapport au nombre d'instantanés

- 1) Il se peut que certaines des étapes a) à f) ne soient pas nécessaires pour chaque instantané selon le trajet retenu dans le diagramme.
 - a) Créer/distribuer de manière aléatoire des noeuds de stations BS en cas de grille BS comportant des noeuds BS positionnés de façon aléatoire.
 - b) Distribuer de manière aléatoire un nombre suffisant² d'équipements UE dans la totalité de la zone du système, de telle sorte que le même nombre K d'utilisateurs «choisis» (équipements UE recevant des données des stations BS dans cet instantané) soit attribué à chaque cellule située dans les limites de la marge de transfert (HO). La valeur de K dépendra du cas d'utilisation/scénario de déploiement, de la fréquence et de la largeur de bande. Calculer l'affaiblissement dû au couplage sur le trajet (valeur maximale {affaiblissement de propagation + évanouissements + gains d'antenne}, MCL) entre chaque équipement UE et toutes les stations BS. Si la grille de stations BS utilise le rebouclage («wrap-around»), il convient également d'identifier les plus petites valeurs de l'affaiblissement dû au couplage entre les équipements UE et les stations BS.
 - c) Relier de manière aléatoire l'équipement UE à une station BS au niveau de laquelle l'affaiblissement dû au couplage sur le trajet ne dépasse pas la valeur la plus petite de l'affaiblissement dû au couplage plus la marge de transfert (HO).
 - d) Sélectionner de manière aléatoire K équipements UE parmi tous les équipements UE reliés à une seule station BS en tant qu'équipements UE «choisis». Ces K équipements UE «choisis» seront programmés pendant cet instantané. Si la formation de faisceaux est utilisée, pointer les faisceaux BS/UE choisis en direction les uns des autres.
 - e) Tous les blocs de ressources (RB) disponibles seront attribués aux équipements UE «choisis» et chaque équipement UE est programmé avec le même nombre n de ressources RB. En conséquence, la puissance d'émission de la station BS pour chaque équipement UE est fixe.
 - f) Les stations BS émettent à pleine puissance ou sont silencieuses avec une probabilité de charge, c'est-à-dire que $x\%$ des stations BS sont sélectionnées de manière aléatoire pour émettre tandis que les autres stations restent silencieuses. Voir le § 6.

La valeur de x peut être un numéro à un chiffre ou être sélectionnée de manière aléatoire dans la fourchette indiquée dans chaque instantané.

Pour les stations BS qui émettent, la puissance par équipement UE³ est calculée de la façon suivante:

En supposant que P_{BS}^{Max} désigne la puissance d'émission maximale de la station BS

² «Le nombre suffisant de dispositifs abandonnés (distribués) dépendra à la fois de la méthode d'abandon utilisée, c'est-à-dire si l'abandon aléatoire est effectué à l'intérieur de chaque zone de couverture de la station BS ou de manière aléatoire à l'intérieur de la totalité de la zone de couverture du réseau, et du nombre K qui devrait être attribué à chaque station BS. En principe, un nombre suffisant varie entre $2*K$ et $10*K$ pour obtenir l'attribution demandée pour chaque station BS en fonction de la méthode d'abandon utilisée.»

³ Comme indiqué dans le diagramme, un trajet possible ne nécessite pas la création d'équipements UE. Pour ce trajet, définir $P_{BS}^{UE} = P_{BS}^{Max}$ pour la suite des opérations décrites dans les étapes 2 et 6.

$M = n \times K$ est le nombre de toutes les ressources RB disponibles pour chaque station BS
 P_{BS}^{UE} est la puissance émise par la station BS en direction de l'équipement UE «choisi», et
 n est le nombre de blocs de ressources par équipement UE,

$$P_{BS}^{UE} = P_{BS}^{Max} \frac{n}{M} \quad (5)$$

Passer à l'étape 2 si le système IMT en liaison descendante fait fonction de système brouilleur.

Passer à l'étape 3 si le système IMT en liaison descendante fait fonction de système brouillé.

- 2) Sélectionner le système IMT en liaison descendante faisant fonction de système brouilleur.
- Sélectionner de façon aléatoire $x\%$ de stations BS selon la charge du système et les conditions de brouillage (brouilleur le plus proche ou brouillages cumulatifs) qui feront fonction de stations brouilleuses en direction du système brouillé.
 - A supposer que le système brouillé soit modélisé, appliquer le brouillage en direction du système brouillé et calculer la dégradation de sa qualité de fonctionnement.

Calculer le brouillage externe causé par chaque liaison descendante du système IMT au système brouillé.

Former une boucle autour de toutes les stations BS «choisies» de $j = 1$ à N_{cell} (nombre de stations BS choisies dans la zone du système).

Former une boucle autour de tous les équipements UE «choisis» parmi les stations BS retenues de $k = 1$ à K , pour pouvoir calculer le brouillage causé par BS_j (quand le K -ème équipement UE est desservi) de la façon suivante;

$$I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) = P_{BS}^{UE} \times CL_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) / ACIR_{linear} \quad (6)$$

où:

$CL_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim})$: affaiblissement de couplage entre BS_j (quand son K -ème équipement UE est desservi) du système IMT et le récepteur brouillé, qui comprend l'affaiblissement sur le trajet, l'affaiblissement dû à la pénétration, les évanouissements par occultation et le gain d'antenne au niveau de l'émetteur/du récepteur.

Remplacer $ACIR_{linear}$ par FDR dans le cas où FDR est utilisé.

$I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim})$: brouillage entre systèmes causé par BS_j (quand son K -ème équipement UE est desservi) au récepteur brouillé.

Le brouillage cumulatif causé par le système externe est désigné par:

$$I_{External} = \sum_j \sum_k I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) \quad (7)$$

où:

$I_{External}$: brouillage cumulatif causé par le système externe au système brouillé.

Calculer les conséquences du brouillage externe pour le système brouillé. Le calcul de ces conséquences pour les systèmes brouillés non IMT n'entre pas dans le cadre de la présente Recommandation et dépend du scénario de partage.

- c) Passer à l'étape 6

- 3) Sélectionner le système IMT en liaison descendante faisant fonction de système brouillé.
- Sélectionner de façon aléatoire x% des stations BS selon la charge du système.
 - Calculer le rapport C/I en liaison descendante pour tous les équipements UE «choisis».
- Former une boucle autour de toutes les stations BS choisies de $j=1$ à N_{cell} (nombre de stations BS choisies dans la zone du système).
- Former une boucle autour de tous les équipements UE «choisis» dans les stations BS retenues de $k=1$ à K .
- Pour le k -ème équipement UE «choisi» dans la j -ème cellule (c'est-à-dire $UE_{j,k}$), son rapport C/I est désigné par $\frac{C(j,k)}{I(j,k)}$.

$C(j,k)$ est la puissance reçue en provenance de la station BS de desserte, c'est-à-dire la j -ème station BS.

$$C(j,k) = P_{BS}^{UE} \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_j) \quad (8)$$

$I(j,k)$ est la puissance de brouillage, qui comprend les brouillages intrasystèmes (causés par d'autres cellules de son propre réseau) $I_{intra}(j,k)$, et le bruit thermique N_t .

$$I(j,k) = I_{intra}(j,k) + N_t \quad (9)$$

$$I_{intra}(j,k) = \sum_{l=1, l \neq j}^{N_{cell}} P_{BS}^{UE} \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_l) \quad (10)$$

$$N_t = 10^{((10 \log_{10}(kT) + 10 \log_{10}(bandwidth\ of\ n\ RBs) + NoiseFigure_{UE})/10)} \quad (11)$$

où $10 \log_{10}(kT)$ est la densité spectrale de puissance de bruit en dBm.

- 4) Ajouter le brouillage externe Z_y , composé de y brouilleurs ayant chacun une puissance $P_{ext,y}$. En présence de brouillage uniquement dans l'une des cellules ou dans quelques cellules, le brouillage principal devrait être placé dans une cellule active (c'est-à-dire une cellule avec une station BS choisie).

Calculer le rapport $C/I = \frac{C(j,k)}{I(j,k)}$ pour un brouillage externe en liaison descendante pour tous les équipements UE «choisis».

$C(j,k)$, $I_{intra}(j,k)$ et N_t sont les mêmes que dans l'étape 3.

$$I(j,k) = I_{intra}(j,k) + I_{external}(j,k) + N_t \quad (12)$$

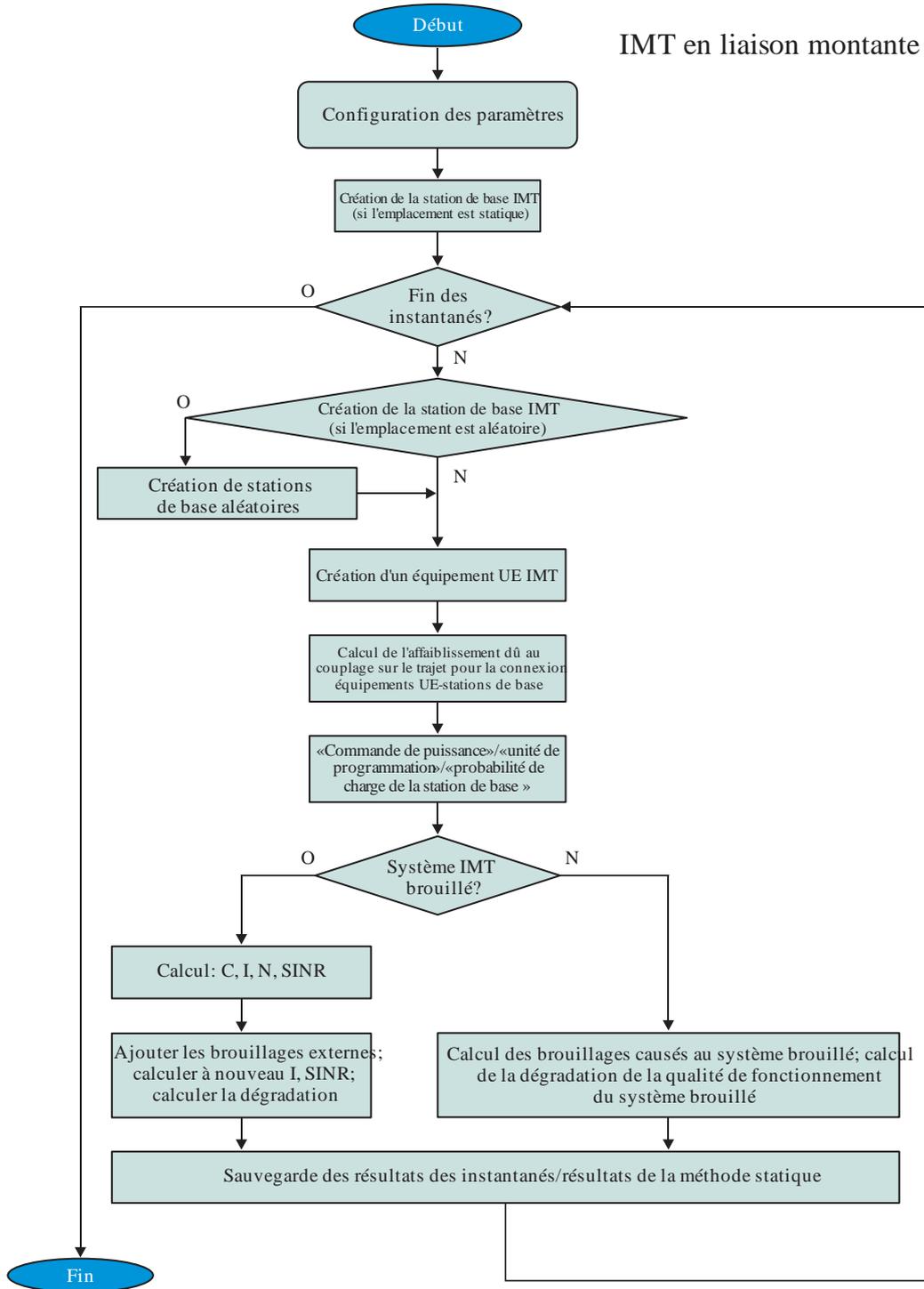
$$I_{external}(j,k) = \sum_{m=1}^y P_{ext,m} \times pathCouplingLoss(Z_m, UE_{j,k}) / ACIR_{linear} \quad (13)$$

La valeur du rapport ACIR devrait être calculée en fonction du nombre de blocs de ressources attribuées à chacun des équipements UE. Remplacer $ACIR_{linear}$ par FDR dans le cas où FDR est utilisé.

- Déterminer le débit avec et sans brouillage externe pour chaque équipement UE «choisi» ainsi que le rapport C/I en fonction de la correspondance entre le niveau liaison-système.
- Recueillir des statistiques.

3.4.2 Liaison montante

FIGURE 9
Diagrammes de la méthode de simulation en liaison montante



Créer une grille de stations BS (si la station est statique et occupe des positions fixes) selon le cas d'utilisation/scénario de déploiement retenu.

Pour $i = 1$ par rapport au nombre d'instantanés

- 1) Il se peut que certaines des étapes a) à f) ne soient pas nécessaires pour chaque instantané selon le trajet retenu dans le diagramme.
 - a) Créer/distribuer de manière aléatoire des noeuds de stations BS en cas de grille de stations BS comportant des noeuds BS positionnés de façon aléatoire.
 - b) Distribuer de manière aléatoire un nombre suffisant⁴ d'équipements UE aléatoires dans la totalité de la zone du système, de telle sorte que le même nombre K d'utilisateurs «choisis» soit attribué à chaque station BS se situant dans les limites de la marge de transfert (HO) de 3 dB. La valeur de K dépendra du cas d'utilisation/scénario de déploiement, de la fréquence et de la largeur de bande. En général, on utilise une valeur de K comprise entre 3 et 6 pour les études sur le large bande mobile (MBB).
 - c) Calculer l'affaiblissement dû au couplage sur le trajet (valeur maximale {affaiblissement de propagation + évanouissements + gains d'antenne}, MCL) entre chaque équipement UE et toutes les stations BS. Si la grille de stations BS utilise le rebouclage («wrap-around»), il convient également d'identifier les plus petites valeurs de l'affaiblissement dû au couplage entre les équipements UE et les stations BS.
 - d) Relier de manière aléatoire l'équipement UE à une station BS au niveau de laquelle l'affaiblissement dû au couplage sur le trajet ne dépasse pas la valeur la plus petite de l'affaiblissement dû au couplage plus la marge de transfert (HO).
 - e) Sélectionner de manière aléatoire K équipements UE parmi tous les équipements UE reliés à une station BS en tant qu'équipements UE «choisis». Ces K équipements UE «choisis» seront programmés pendant cet instantané.
 - f) La puissance par équipement UE est déterminée par la commande de puissance UL.
 - g) On prend pour hypothèse une station de base à pleine charge, c'est-à-dire que tous les blocs RB disponibles sont attribués à des équipements UE actifs. Chacun équipement UE est programmé avec le même nombre n de blocs RB. Les équipements UE connectés à une station BS peuvent ou non émettre avec une probabilité de charge, c'est-à-dire que les équipements UE de $x\%$ des stations BS choisies de manière aléatoire émettent et les autres équipements UE restent silencieux. Voir le § 6. La valeur de x peut être un numéro à un chiffre ou être sélectionnée de manière aléatoire dans la fourchette indiquée dans chaque instantané.
- 2) Procéder à la commande de puissance sur la liaison montante.
Passer à l'Étape 3 si le système IMT en liaison montante fait fonction de système brouilleur.
Passer à l'Étape 4 si le système IMT en liaison montante fait fonction de système brouillé.

⁴ «Le nombre suffisant de dispositifs abandonnés (distribués) dépendra à la fois de la méthode d'abandon utilisée, c'est-à-dire si l'abandon aléatoire est effectué à l'intérieur de chaque zone de couverture de la station BS ou de manière aléatoire à l'intérieur de la totalité de la zone de couverture du réseau, et du nombre K qui devrait être attribué à chaque station BS. En principe, un nombre suffisant varie entre $2 \cdot K$ et $10 \cdot K$ pour obtenir l'attribution demandée pour chaque station BS en fonction de la méthode d'abandon utilisée.»

- 3) Sélectionner le système IMT en liaison montante faisant fonction de système brouilleur.
- a) Sélectionner de façon aléatoire $x\%$ de stations BS selon la charge du système et les conditions de brouillage (brouilleur le plus proche ou brouillage cumulatif). Sélectionner les équipements UE connectés à ces stations BS qui feront fonction de systèmes brouilleurs en direction du système brouillé.

- b) Appliquer le brouillage causé au système brouillé et calculer ses conséquences:

Former une boucle autour de toutes les stations BS «choisies» de $j = 1$ à N_{cell} (nombre de stations BS choisies dans la zone du système).

Former une boucle autour de tous les équipements UE «choisis» parmi les stations BS retenues de $k = 1$ à K .

Calculer le brouillage externe causé par chaque système IMT en liaison montante au système brouillé.

$$I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) = P_{BS}^{UE} \times CL_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) / ACIR_{linear} \quad (14)$$

(Remplacer $ACIR_{linear}$ par FDR dans le cas où FDR est utilisé.)

où:

$P_{UE_k}^{BS_j}$: puissance d'émission du k -ème équipement UE desservi par BS_j .

$CL_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim})$: affaiblissement de couplage entre le k -ème équipement UE desservi par BS_j et le récepteur brouillé.

$I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim})$: brouillage entre systèmes causé par le k -ème équipement UE desservi par BS_j au récepteur brouillé.

Le brouillage cumulatif causé par le système externe est désigné par:

$$I_{External} = \sum_j \sum_k I_{External}(TX_{BS_j}^{UE_k}, RX^{victim}) \quad (15)$$

où:

$I_{External}$: brouillage cumulatif causé par le système externe au système brouillé.

Calculer les conséquences du brouillage externe pour le système brouillé. Le calcul de ces conséquences sur les systèmes brouillés non IMT n'entre pas dans le cadre de la présente Recommandation et dépend du scénario de partage

- c) Passer à l'étape 7.

- 4) Sélectionner le système IMT en liaison montante faisant fonction de station brouillée.

- a) Sélectionner de façon aléatoire $x\%$ de stations BS selon la charge du système.
- b) Calculer le rapport C/I en liaison montante pour tous les équipements UE «choisis» dans toutes les cellules.

Former une boucle autour de toutes les stations BS choisies de $j = 1$ à N_{cell} (nombre de stations BS choisies dans la zone du système).

Former une boucle autour de tous les équipements UE «choisis» dans les stations BS retenues de $k = 1$ à K .

Pour le k -ème équipement UE «choisi» dans la j -ème cellule (c'est-à-dire $UE_{j,k}$), son rapport C/I est désigné par $\frac{C(j,k)}{I(j,k)}$.

où:

$C(j,k)$ est la puissance reçue en provenance d' $UE_{j,k}$, au niveau de la j -ème station BS.

$$C(j,k) = P_{BS}^{UE} \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_j) \quad (16)$$

$I(j,k)$ est la puissance de brouillage, qui comprend les brouillages intrasystèmes (brouillages causés par les équipements UE attribués aux mêmes blocs de ressources d'autres cellules de son propre réseau) $I_{intra}(j,k)$, et le bruit thermique N_t .

$$I(j,k) = I_{intra}(j,k) + N_t \quad (17)$$

$$I_{intra}(j,k) = \sum_{l=1, l \neq j}^{N_{cell}} P_{BS}^{UE} \times pathCouplingLoss(UE_{j,k}, BS_l) \quad (18)$$

$$N_t = 10^{((10 \log_{10}(kT) + 10 \log_{10}(bandwidth\ of\ n\ RBs) + NoiseFigure_{UE})/10)} \quad (19)$$

où $10 \log_{10}(kT)$ est la densité spectrale de puissance de bruit en dBm.

- 5) Ajouter le brouillage externe Z_y , composé de y brouilleurs ayant chacun une puissance $P_{ext,y}$. En présence de brouillage uniquement dans une cellule ou dans quelques cellules, le brouillage principal devrait être placé dans une cellule active (c'est-à-dire une cellule avec une station BS choisie).

Calculer le rapport $C/I = \left(\frac{C(j,k)}{I(j,k)} \right)$ pour un brouillage externe en liaison montante pour tous

les équipements UE «choisis»

$C(j,k)$, $I_{intra}(j,k)$ et N_t sont les mêmes que dans l'étape 4.

$$I(j,k) = I_{intra}(j,k) + I_{external}(j,k) + N_t \quad (20)$$

$$I_{external}(j,k) = \sum_{m=1}^y P_{ext,m} \times pathCouplingLoss(Z_m, UE_{j,k}) / ACIR_{linear} \quad (21)$$

La valeur du rapport ACIR utilisée devrait être calculée en fonction du nombre de blocs de ressources attribuées à chacun des équipements UE. Remplacer $ACIR_{linear}$ par FDR dans le cas où FDR est utilisé.

$$N_t = 10^{((10 \log_{10}(kT) + 10 \log_{10}(bandwidth\ of\ n\ RBs) + NoiseFigure_{BS})/10)} \quad (22)$$

où $10 \log_{10}(kT)$ est la densité spectrale de puissance de bruit en dBm.

- 6) Déterminer le débit avec et sans brouillage externe pour chaque équipement UE «choisi» ainsi que le rapport C/I en fonction de la correspondance entre le niveau liaison-système.
- 7) Recueillir des statistiques.

4 Mise en oeuvre de la commande de puissance de l'équipement d'utilisateur (UE) IMT

La commande de puissance est une fonction technique importante des systèmes IMT. Dans les systèmes basés sur la technique OFDMA, la capacité des cellules en liaison montante est limitée par les niveaux de brouillages provenant d'autres équipements UE. Les niveaux de puissance de sortie des équipements UE sont adaptés de manière à réduire les brouillages au minimum et à assurer une couverture au bord de la cellule. La commande de puissance peut être utilisée en association avec des stratégies d'attribution des ressources dans le domaine des fréquences, de manière à améliorer la qualité de fonctionnement en bordure de cellules ainsi que le rendement spectral.

Il convient de noter qu'étant donné que la puissance de sortie de l'émetteur UE peut être inférieure à la puissance de sortie maximale de l'émetteur dans la bande de fréquences d'émission, le niveau moyen des émissions hors bande (OOBE) sera inférieur au niveau OOBE indiqué.

4.1 Algorithme de commande de puissance

Pour les systèmes IMT évolués, l'algorithme de commande de puissance des équipements UE à utiliser dans les études de partage est le suivant:

$$P_{\text{PUSCH}}(i) = \min(P_{\text{CMAX}}, 10 \log_{10}(M_{\text{PUSCH}}(i)) + P_{0_ \text{PUSCH}}(j) + \alpha(j) \cdot PL) \quad (23)$$

où:

P_{PUSCH}	puissance d'émission du terminal en dBm
P_{CMAX}	puissance maximale d'émission en dBm
M_{PUSCH}	nombre de blocs RB attribués
$P_{0_ \text{PUSCH}}$	valeur cible utilisée pour la puissance par bloc RB en dBm
α	facteur d'équilibre pour les équipements UE dans de mauvaises conditions radioélectriques et pour les équipements UE dans de bonnes conditions radioélectriques
PL	affaiblissement sur le trajet en dB entre les équipements UE et leur station de base de desserte.

On prévoit que pour les systèmes IMT-2020, l'algorithme de commande de puissance de l'équipement UE sera peut-être analogue à celui utilisé pour les réseaux IMT évolués.

5 Mise en oeuvre du diagramme d'antenne à formation de faisceaux pour la station de base (BS) IMT et l'équipement d'utilisateur (UE)

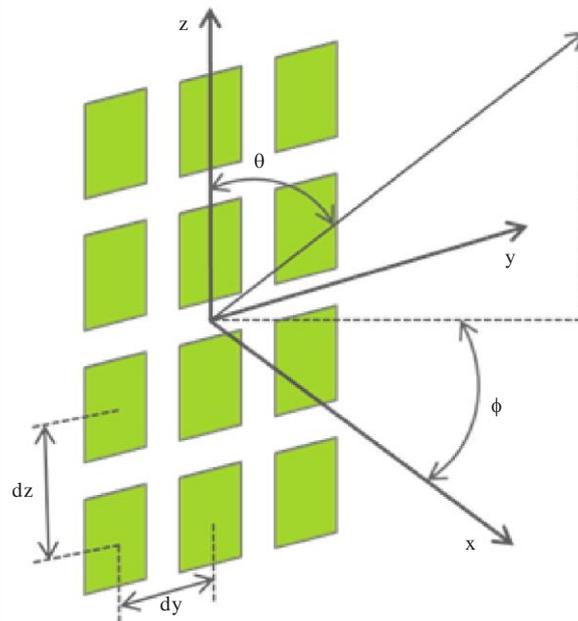
On pourra avoir recours à la Recommandation UIT-R F.1336, qui a été utilisée par le passé pour les études de partage (voir le Rapport UIT-R M.2292) pour certains scénarios IMT. La plupart des systèmes IMT-2020 utiliseront la formation de faisceaux, notamment aux fréquences supérieures.

L'antenne à formation de faisceaux repose sur un réseau d'antennes et comprend plusieurs éléments rayonnants identiques situés dans le plan yz avec une distance de séparation fixe (par exemple $\lambda/2$), tous les éléments ayant des diagrammes de rayonnement identiques et «pointant» (étant donné que leur directivité est maximale) le long de l'axe des x. On utilise une fonction de pondération pour orienter le faisceau dans différentes directions. Le gain d'antenne total est la somme (échelle logarithmique) du gain du réseau et du gain de l'élément. Ce modèle est décrit comme suit dans la norme 3GPP TR 37.842 et au § 5.4.4.1 de la norme 3GPP TR 37.840.

La définition des angles θ et φ repose sur le système de coordonnées illustré sur la Fig. 10.

FIGURE 10

Géométrie du modèle d'antenne, θ : élévation, compris entre 0 et 180 degrés
 ϕ : azimut, compris entre -180 et 180 degrés



M.2101-10

Les éléments rayonnants sont placés de manière uniforme le long de l'axe vertical des z dans le système de coordonnées cartésien. Le plan x - y correspond au plan horizontal. L'angle d'élévation du sens du signal est désigné par θ (défini entre 0° et 180° , 90° représentant l'angle perpendiculaire à l'ouverture de l'antenne-réseau). L'angle d'azimut est désigné par ϕ (défini entre -180° et 180°).

Un système d'antennes passives (par exemple un système reposant sur la Recommandation UIT-R F.1336) diffère d'un système d'antenne évolué (AAS), en ce sens que pour le système AAS, le comportement de l'antenne en présence de rayonnements non désirés (hors bloc) sera différent de celui qui existe en présence de signaux utiles (dans un bloc).

Un système IMT utilisant un système AAS commandera activement tous les signaux individuels fournis aux différents éléments d'antenne du réseau d'antenne, afin de modeler et d'orienter le diagramme de rayonnement de l'antenne pour lui donner la forme voulue, par exemple celle d'un faisceau étroit en direction d'un utilisateur. En d'autres termes, il crée un signal utile corrélé provenant de l'antenne. Le signal brouilleur, dû à la modulation des émissions hors bande de l'émetteur, aux produits d'intermodulation et aux rayonnements non essentiels, ne présentera pas la même corrélation des signaux provenant de l'antenne et aura un diagramme de rayonnement différent. Un système AAS non corrélé présente un diagramme de rayonnement d'antenne analogue à celui d'un élément d'antenne unique.

Dans le cas d'une bande de fréquences adjacente dans laquelle le système IMT est le système brouilleur, on suppose que le diagramme de rayonnement d'antenne pour les rayonnements non désirés est analogue à celui d'un élément d'antenne unique. Pour ce qui est des rayonnements du système IMT dans la largeur de bande du canal, il faut simuler le diagramme d'antenne composite.

Dans le cas d'une bande de fréquences adjacente dans laquelle le système IMT est le système brouillé, lorsqu'on calcule le brouillage dans le canal adjacent, on suppose que le diagramme de rayonnement d'antenne est analogue à celui d'un élément d'antenne unique. Pour ce qui est des brouillages causés dans la largeur de bande du canal du système IMT, il faut simuler le diagramme d'antenne composite.

Le modèle de réseau d'antenne AAS est déterminé par le diagramme de l'élément de réseau, la fonction caractéristique du réseau et les signaux appliqués au système du type antenne-réseaux. Le diagramme des éléments et le diagramme d'antenne composite sont décrits dans les paragraphes qui suivent.

5.1 Diagramme des éléments

TABLEAU 3

Diagramme des éléments du modèle d'antenne-réseau

Diagramme d'antenne horizontal	$A_{E,H}(\varphi) = -\min \left[12 \left(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}} \right)^2, A_m \right] \text{ dB}$
Largeur de bande horizontale de 3dB d'un élément unique/deg (φ_{3dB})	Paramètre d'entrée
Rapport avant/arrière de l'antenne: A_m et SLA_v	Paramètre d'entrée
Diagramme de rayonnement vertical	$A_{E,V}(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta - 90}{\theta_{3dB}} \right)^2, SLA_v \right] \text{ dB}$
Largeur de bande verticale de 3dB d'un élément unique/deg (θ_{3dB})	Paramètre d'entrée
Diagramme d'un élément unique	$A_E(\varphi, \theta) = G_{E,\max} - \min \{ - [A_{E,H}(\varphi) + A_{E,V}(\theta)], A_m \}$
Gain de l'élément (dBi), $G_{E,\max}$	Paramètre d'entrée

5.2 Diagramme d'antenne composite

Le Tableau 4 illustre la manière d'obtenir le diagramme d'antenne composite, $A_A(\theta, \varphi)$. $A_A(\theta, \varphi)$ est le diagramme d'antenne à formation de faisceaux obtenu par la somme logarithmique du gain de l'antenne-réseau, $10 \log_{10} \left(\sum_{m=1}^{N_H} \sum_{n=1}^{N_V} w_{i,n,m} \cdot v_{n,m} \right)^2$, et du gain de l'élément $A_E(\theta, \varphi)$. Il convient d'utiliser le

diagramme d'antenne composite pour l'antenne de la station de base lorsque le réseau d'antenne dessert un ou plusieurs équipements UE comportant un ou plusieurs faisceaux, chaque faisceau étant indiqué par le paramètre i .

TABLEAU 4

**Diagramme d'antenne composite pour la formation de faisceaux au niveau
de la station BS et de l'équipement UE**

Configuration	Colonnes multiples ($N_V \times N_H$ éléments)
Diagramme d'antenne composite de l'antenne-réseau en dB $A_A(\theta, \varphi)$	<p>Pour le faisceau i:</p> $A_{A,Beam_i}(\theta, \varphi) = A_E(\theta, \varphi) + 10 \log_{10} \left(\left \sum_{m=1}^{N_H} \sum_{n=1}^{N_V} w_{i,n,m} \cdot v_{n,m} \right ^2 \right)$ <p>Le vecteur de superposition est donné par la formule:</p> $v_{n,m} = \exp \left(\sqrt{-1} \cdot 2\pi \left((n-1) \cdot \frac{d_V}{\lambda} \cdot \cos(\theta) + (m-1) \cdot \frac{d_H}{\lambda} \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) \right) \right),$ <p>$n = 1, 2, \dots, N_V; m = 1, 2, \dots, N_H;$</p> <p>la pondération est donnée par la formule:</p> $w_{i,n,m} = \frac{1}{\sqrt{N_H N_V}} \exp \left(\sqrt{-1} \cdot 2\pi \left((n-1) \cdot \frac{d_V}{\lambda} \cdot \sin(\theta_{i,entl}) - (m-1) \cdot \frac{d_H}{\lambda} \cdot \cos(\theta_{i,entl}) \cdot \sin(\varphi_{i,escan}) \right) \right) \cdot \sqrt{}$
Configuration de l'antenne-réseau (ligne \times colonne)	Paramètre d'entrée
Espacement horizontal des éléments rayonnants d/λ	Paramètre d'entrée
Espacement vertical des éléments rayonnants d/λ	Paramètre d'entrée
Angle d'inclinaison vers le bas (degrés)	Paramètre d'entrée

6 Mise en oeuvre des informations de trafic des IMT

Pour la plupart des études de simulation de Monte-Carlo faisant intervenir des systèmes IMT évolués, on prend pour hypothèse un modèle de trafic avec mise en mémoire tampon complète, ce qui revient à supposer que les stations de base émettent/reçoivent toujours en utilisant tous les blocs de ressources. Il est indiqué dans le Rapport UIT-R M.2241 que tel n'est pas le cas dans les réseaux OFDM déployés, étant donné que l'émission de 100% des blocs de ressources de fréquences pendant 100% du temps entraîne une saturation de la cellule et un échec du service pour de nombreux utilisateurs. C'est pourquoi la plupart du temps, les stations de base émettent en n'utilisant qu'une partie des blocs de ressources disponibles.

On trouvera dans la présente Recommandation (§ 7) des indications permettant de mieux tenir compte du comportement réel des réseaux IMT, que le système IMT soit le système brouillé ou qu'il fasse fonction de brouilleur cumulatif.

La charge d'un réseau IMT dépend de plusieurs facteurs tels que le comportement de l'utilisateur, les applications et les scénarios de déploiement. Dans un souci de simplification, on modélise la charge du réseau en faisant varier statistiquement les stations de base exploitées à pleine charge qui émettent simultanément et/ou le nombre de ces stations. Cet élément a été présenté en tant que facteur d'activité des stations de base dans les documents pertinents de l'UIT-R, par exemple le Rapport UIT-R M.2292. La modélisation de la charge d'un réseau IMT peut dépendre du scénario de partage. Ainsi, la modélisation de la charge du réseau dans une modélisation des brouillages pourra dépendre de facteurs tels que la dimension de la zone au-dessus de laquelle les brouillages s'additionnent.

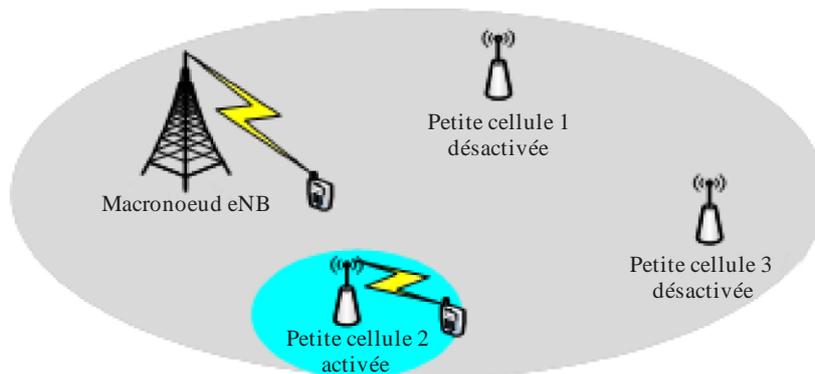
7 Détermination des brouillages cumulatifs

La configuration de simulation décrite au § 3 de la présente Recommandation permet de calculer le brouillage cumulatif provenant de plusieurs stations de base et/ou équipements UE. En conséquence, on peut en conclure que le simulateur calcule toujours par nature les brouillages cumulatifs causés par le réseau IMT au système brouillé. Cependant, en fonction du scénario de coexistence, les questions ci-dessous devraient toujours être prises en considération:

- Les stations BS sont toujours modélisées comme émettant à pleine puissance, ou comme n'émettant pas du tout avec une probabilité de charge, c'est-à-dire que $x\%$ des stations BS sont choisies de manière aléatoire pour émettre, tandis que les autres stations n'émettent pas. Voir le § 6. La valeur de x peut être un nombre à un chiffre ou un nombre choisi de manière aléatoire dans la fourchette indiquée dans chaque instantané.
- Dans les cas où les études nécessitent des simulations avec un très grand nombre de stations IMT, il se peut que la mise en oeuvre directe de la modélisation décrite plus haut prenne trop de temps. En pareils cas, on pourra modéliser les statistiques des émissions des systèmes IMT et les recueillir auprès d'un segment représentatif suffisamment large du réseau IMT. Les statistiques obtenues auprès de ce segment pourront alors servir à calculer les brouillages provenant de plusieurs segments présentant des caractéristiques de brouillages équivalentes, compte tenu des différences entre les scénarios de déploiement des systèmes IMT dans les grandes régions. Il faut prendre soin de tenir compte des différences entre l'angle de départ et d'arrivée des brouillages au niveau du système brouillé dues à la topographie de la zone étendue. Il convient de souligner qu'une simplification de la mise en oeuvre ne doit pas se traduire par un écart entre les statistiques relatives aux émissions des systèmes IMT et l'application directe de cette méthode.
- Les petites cellules IMT peuvent être activées/désactivées sur de longues échelles de temps, de manière semi-statique ou dynamique, ce qui peut influencer sur la probabilité de charge. Il peut s'agir notamment de la prise en compte du temps dans le processus de simulation. Un système d'activation/de désactivation peut permettre de réduire les brouillages causés aux autres petites cellules situées au voisinage ou à d'autres systèmes lorsqu'on utilise le même canal ou un canal adjacent (voir la Fig. 11). De plus, les systèmes d'activation/de désactivation de petites cellules peuvent aussi se révéler avantageux sur le plan des économies d'énergie. On trouvera des renseignements détaillés sur les techniques correspondantes dans les normes 3GPP RP-130811 [3], 3GPP TR 36.873 [4], 3GPP TR36.897 [5] et 3GPP TR 36.872 [1].

FIGURE 11

Système d'activation/de désactivation de petites cellules



- Si le fonctionnement en mode TDD doit être simulé, la transmission en liaison descendante de la station de base n'a lieu que pendant une partie du temps, ce qui réduira la puissance moyenne de la station de base sur une trame. Cependant, cet effet n'est pas pris en compte dans la modélisation décrite dans la présente Recommandation.

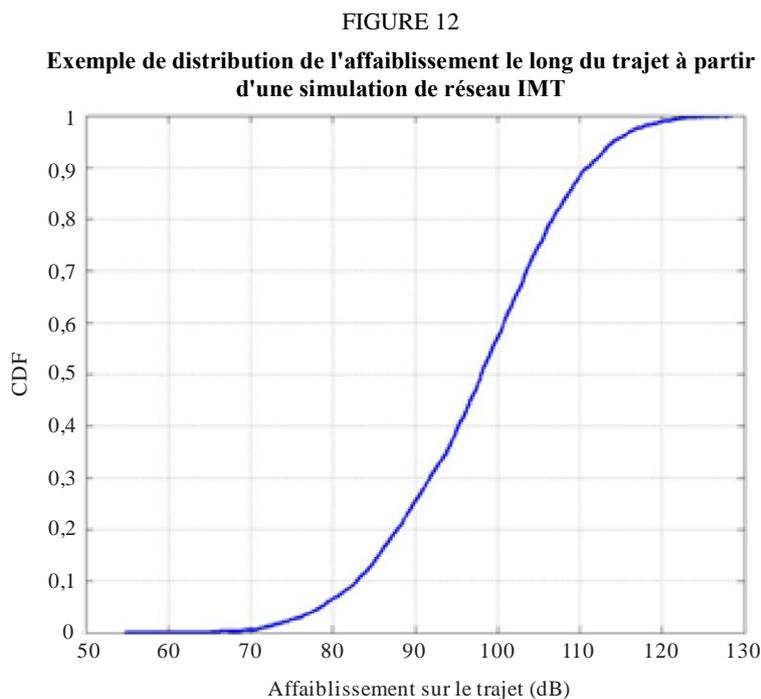
Le déploiement du réseau sera plus souple à terme en raison de la diversité des besoins des services; le trafic à haut débit de données existe essentiellement dans les régions précises où se trouvent les points d'accès public, de sorte que l'on pourra prendre en considération les brouillages causés dans une partie d'une zone dans le calcul du brouillage cumulatif

8 Démonstration des résultats préliminaires de la modélisation de systèmes IMT

Lors de la modélisation de systèmes IMT, il est probable que la même étude effectuée par différentes parties aboutira dans un premier temps à des résultats différents. Afin de pouvoir comparer les mises en oeuvre de simulateurs du système IMT, on peut utiliser un certain nombre de résultats intermédiaires. Comme exemples de paramètres de ce type, on citera:

- la distribution de la puissance d'émission;
- la distribution des brouillages internes et externes;
- la distribution du rapport signal/brouillage et bruit (SINR);
- la distribution de la puissance reçue;
- la distribution de l'affaiblissement par couplage le long d'un trajet (cette distribution comprend les gains d'antenne à l'émission et à la réception, l'affaiblissement dû à la propagation et les évanouissements, etc.).

Il est recommandé d'obtenir au moins deux des résultats intermédiaires décrits ci-dessus. On trouvera sur la Fig. 12 ci-après, à titre d'illustration, un exemple de résultat intermédiaire obtenu pour la distribution de l'affaiblissement le long du trajet. Il convient d'examiner ces résultats intermédiaires en association avec l'ensemble complet de paramètres d'entrée. D'autres résultats pourront également être obtenus de la même manière.



9 Références

- [1] 3GPP TR 36.872 V12.1.0, Small cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN (Version 12).
- [2] 3GPP TR 25.942 V10.0.0, Radio Frequency (RF) system scenarios (Version 10).
- [3] 3GPP RP-130811, 3GPP Work Item Description, Study on 3D-channel model for Elevation Beamforming and FD-MIMO studies for LTE.
- [4] 3GPP TR 36.873 V12.0.0, Study on 3D channel model for LTE (Version 12).
- [5] 3GPP TR 36.897 V0.3.1, Elevation Beamforming/Full-Dimension (FD) MIMO for LTE (Version 13).
- [6] 3GPP TS 36.104 V12.7.0, Base Station (station BS) radio transmission and reception (Version 12).
- [7] 3GPP TS 36.101 V12.7.0, User Equipment (équipement UE) radio transmission and reception (Version 12).
- [8] H. Houas, Y. Louet, E. Fournier et Y. Maigron, *Distribution of microcells for cellular mobile networks, IEEE VTC Nanjing, 15-18 mai 2016.*

Pièce jointe 1 de l'Annexe 1

Considérations relatives aux paramètres déterminant la variance de la loi gamma (fonction de Bessel) pour les emplacements de microstations de base

Lors de la distribution des emplacements de petites cellules à l'intérieur d'une zone de macrocellules,

- 1) un nombre (moyen) de groupes contenant ces petites cellules doit être défini à l'intérieur de cette zone. Pour obtenir ce paramètre, on peut dans un premier temps envisager une carte de macrostations de base (de forme hexagonale), sur laquelle on pourra placer un groupe (de petites cellules), correspondant à λ_p ;
- 2) il convient de prendre pour hypothèse un nombre (moyen) de petites cellules à l'intérieur de chaque groupe, correspondant à λ_o ;
- 3) [1]⁵ indique que γ varie entre $[-0,45$ et $-0,3]$. Il est donc recommandé d'utiliser les valeurs minimales/maximales comprises dans cet intervalle;
- 4) le dernier paramètre, ω , doit être étudié de façon plus approfondie afin de pouvoir être correctement calculé:
 - i) **Etape 1:** un autre paramètre, plus facile à définir dans la mesure où il correspond à une signification physique, est le rayon (moyen) du groupe, appelé R , que l'on peut considérer comme le rayon de la zone (censée être représentée par un disque) dans laquelle se trouvent (sans doute avec une probabilité élevée) les petites cellules pour fournir l'application voulue à l'utilisateur. Ce rayon de la zone prend également pour hypothèse un centre qui correspond au centre du groupe.
 - ii) **Etape 2:** Etant donné que le rayon du groupe R a été calculé initialement à l'aide de la fonction R^6 du rayon du groupe avec les paramètres d'entrée ω et γ et que l'on connaît γ , mais que l'on ne connaît pas ω , on peut élaborer une table de consultation qui associe pour chaque couple (γ, R) l'échelle inconnue ω .

Ces quatre paramètres permettent d'obtenir une série aléatoire d'échantillons NSVGP, sachant que pour élaborer le processus, on crée en premier lieu un processus ponctuel de Poisson de points «parents» (c'est-à-dire les centres du groupe), d'intensité λ_p . Chaque point parent est ensuite remplacé par un groupe aléatoire de points, le nombre de points de chaque groupe étant une variable aléatoire qui suit une distribution de Poisson (λ_o), et les points étant placés de manière indépendante et uniforme selon une variance de noyau gamma. La variance de noyau gamma est définie en fonction de γ et ω .

Une fois définis les paramètres déterminant cette distribution, on peut alors décrire de manière statistique (par une fonction de densité de probabilité pdf) la distribution de la variance de la loi gamma (fonction de Bessel). Etant donné que les points descendants à l'intérieur de chaque groupe sont créés suivant une loi normale combinant variance et moyenne, c'est-à-dire une distribution normale associée à une distribution gamma dont la fonction de densité de probabilité (pdf) f est:

$$f(x; k, \theta) = \frac{x^{k-1} e^{-\frac{x}{\theta}}}{\Gamma(k)\theta^k}$$

⁵ *Distribution of microcell base stations within cellular networks*, IEEE VTC mai 2016, Nanjing.

⁶ Basé sur le langage R (logiciel spatstat, <http://spatstat.github.io>).

où

$$\Gamma(k) = \frac{e^{-\gamma k}}{k} \prod_{n=1}^{+\infty} \left(1 + \frac{k}{n}\right)^{-1} e^{\frac{k}{n}} \text{ et } \gamma = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{k} - \ln(n)\right).$$

On remarque que θ et k ont un lien avec les autres paramètres décrits dans les paragraphes précédents si l'on utilise la formule: $k = \gamma + 1$ et $\theta = \frac{1}{2\omega^2}$.

Pièce jointe 2 de l'Annexe 1

Technique de rebouclage («wrap-around»)

Pour analyser le comportement d'un réseau cellulaire sans créer de distorsions dues aux limites imposées par les effets de fin d'échelle, il est nécessaire d'envisager un réseau cellulaire infini. Pour y parvenir, il est possible d'utiliser une technique dite de «rebouclage» («wrap-around»), avec laquelle laquelle le groupe de cellules initial se reboucle pour former une surface toroïdale.

Afin d'illustrer la nature de la structure cellulaire rebouclée, on reproduit six fois un groupe de 19 sites de stations de base (57 cellules), comme indiqué sur la Fig. 13. A noter que le groupe de cellules initial reste au centre, tandis que les six groupes entourent de manière égale cet ensemble central

Dans le modèle de rebouclage envisagé, le signal émis ou le brouillage causé par une station mobile en direction d'une cellule donnée est traité comme si cette station mobile se trouvait dans le groupe de cellules initial et comme si la station mobile se trouvait dans l'un quelconque des sept groupes. L'affaiblissement de couplage sur le trajet entre une station mobile et une station de base peut être obtenu de la façon suivante:

- 1) Définir un système de coordonnées tel que le centre de la cellule 0 soit à (0,0).
- 2) Les distances du trajet et les angles utilisés pour calculer les affaiblissements sur le trajet ainsi que les gains d'antenne entre une station mobile à (x,y) et une station de base à (a,b) sont les suivants:

Distance entre (x,y) et (a,b);

Distance entre (x,y) et (a + 3,5 * D, b + 1,5 * $\sqrt{3}$ * D);

Distance entre (x,y) et (a - 0,5 * D, b + 2,5 * $\sqrt{3}$ * D);

Distance entre (x,y) et (a - 4 * D, b + $\sqrt{3}$ * D);

Distance entre (x,y) et (a - 3,5 * D, b - 1,5 * $\sqrt{3}$ * D);

Distance entre (x,y) et (a + 0,5 * D, b - 2,5 * $\sqrt{3}$ * D);

Distance entre (x,y) et (a + 4 * D, b - $\sqrt{3}$ * D),

où D est la distance entre les sites station de base-station de base.

- 3) Calculer les valeurs de l'affaiblissement dû au couplage (valeur maximale {affaiblissement de propagation + évanouissements + gains d'antenne, MCL}) pour les distances du trajet/angles ci-dessus et choisir la valeur minimale à utiliser pour la configuration instantanée de la simulation.

FIGURE 13

Rebouclage («wrap-around») avec «7» groupes de 19 sites de stations de base (57 cellules) illustrant la nature toroïdale de la surface de rebouclage

