



Analyse de la couverture LTE-M Catégorie M1

Entreprises contributrices et de soutien :



Sommaire exécutif

Le LTE-M fournit des appareils à faible coût LTE adaptés pour les massives communications machine-type (MTC) et à l'internet des Objets (IoT) avec une couverture considérablement améliorée par rapport aux appareils LTE normaux. Le 3GPP n'a publié que des objectifs de couverture LTE-M et comme la couverture est un pilier essentiel de toutes les technologies LPWA, il est très important de comprendre quelle couverture le LTE-M peut réellement offrir. A la fin, les groupes de sociétés de soutien figurant sur la page de titre a effectué une analyse approfondie de simulation de la couche de liaison pour évaluer les performances réelles de la couverture de la technologie LPWA LTE-M du 3GPP.

La principale conclusion est que le LTE-M peut de manière réaliste prendre en charge un gain de couverture de 21dB par rapport aux appareils LTE existants, ce qui dépasse l'objectif de 18dB 3GPP. Ce gain de 21dB correspond à un débit de 1400bps en liaison descendante et de 250bps en liaison montante. Pour les applications IoT qui peuvent tolérer des débits de données plus faibles et des temps d'acquisition plus long, un gain de plus de 21dB peut être pris en charge. Il est également important de noter que ces résultats sont obtenus sans recourir à l'augmentation de la densité spectrale de puissance (DSP) de l'eNB.

L'analyse montre que l'affaiblissement de couplage maximal (MCL) de 155,7 dB visé par le 3GPP a été obtenu dans l'hypothèse d'une classe de puissance de l'UE de 20 dBm avec des chiffres de bruit prudents tirés du document 3GPP TR 36.888. Cet objectif de 155,7 dB MCL se traduit par un MCL de 160,7 dBm et des chiffres de bruit moins prudents utilisés dans l'étude Cellular IoT sur l'EC-GSM-IoT et l'NB-IoT, documentés dans le document 3GPP TR 45.820. La principale conclusion est qu'en utilisant ces hypothèses avec un gain de 21 dB, le LTE-M peut prendre en charge une MCL de 164Db.

Cette analyse montre que le LTE-M supporte un gain de couverture très similaire par rapport aux autres technologies LPWA et confirme ainsi que le LTE-M est une technologie LPWA très polyvalente. Pour les applications IoT nécessitant des débits de données plus élevés, une faible latence, une mobilité totale et la voix dans des situations de couverture typiques, le LTE-M est le meilleur choix de technologie LPWA. Et pour les applications IoT nécessitant une couverture étendue où les exigences de latence, de mobilité et de débit de données sont moins strictes, le LTE-M est également un concurrent solide pour la technologie LPWA. Dans l'ensemble, cette polyvalence permet au LTE-M de prendre en charge un très large éventail d'applications IoT, ce qui permet d'augmenter le volume et de réaliser des économies d'échelle.

Conclusion principale : le LTE-M offre un gain de couverture de +21 dB à un débit de 1400 bps DL et 250 bps UL dépassant la cible 3GPP de 18 dB.

Observation clé : En supposant qu'un 23 dBm UE et des chiffres de bruit moins conservateurs, le LTE-M prend en charge un mcl DE 164 dB.

Conclusion : le LTE-M est une technologie LPWA polyvalente, prenant en charge les débits de données élevés, la mobilité totale et la voix dans une couverture typique et prend également en charge les scénarios de couverture étendue.



Table des matières

Analyse de la couverture LTE-M Catégorie M1	1
Sommaire exécutif	2
1. Introduction et champ d'application.....	4
2. Abréviations	5
3. Perte maximale de couplage (MCL).....	6
4. Objectifs de couverture	8
4.1 MCL cibles en utilisant des chiffres de bruit conservateurs et 20dBm	8
4.2 MCL cibles en utilisant des chiffres de bruit moins conservateurs et 23dBm.....	9
5. Amélioration de la couverture LTE-M mode A et B	10
6. Couvertures techniques	11
6.1 Puissance TX.....	11
6.2 Répétition.....	11
6.3 Estimation des canaux CROSS SUBFRAM & CROSS PRB.....	11
6.4 Saut de fréquence mutli-subframe	12
6.5 Redondance version (RV) cyclage	12
6.6 En utilisant le même RV et en brouillant pour plusieurs SF	12
6.7 Augmentation de la densité spectrale de puissance (PSD).....	12
7. Analyse de la couverture	12
7.1 Signal de synchronisation primaire (PSS) et signal de synchronisation secondaire (SSS)	13
7.2 Canal de diffusion physique (PBCH)	14
7.3 MTC canal de contrôle physique de la liaison descendante (MPDCCH)	16
7.4 Canal physique partage en liaison descendante (PDSCH)	17
7.5 Canal physique à accès aléatoire (PRACH)	17
7.6 Canal partagé de liaison montante physique (PUSCH).....	18
7.7 Canal de contrôle physique de la liaison montante (PUCCH)	19
8. Résumé.....	19
9. Références	21

1. Introduction et champ d'application

FAIT : Le 3GPP n'a pas évalué dans quelle mesure la couverture maximale réalisable dépasse l'objectif du 3GPP

FAIT : Étant donné que la couverture étendue est définie comme une caractéristique dans les normes, cela signifie que toute catégorie d'UE peut prendre en charge la caractéristique de couverture étendue

La version 13 a été spécifiée au cours de l'élément de travail [1] du 3GPP eMTC qui s'est achevé en mars 2016 et a défini une nouvelle catégorie d'équipement d'utilisateur (UE) (« catégorie M1 »). Bien que des analyses de couverture aient été effectuées au cours de ces travaux, le 3GPP n'a pas évalué dans quelle mesure la couverture maximale réalisable dépasse l'objectif fixé par la spécification nominative. Le présent livre blanc contient les résultats d'une analyse de la couverture. L'analyse a été étayée par des simulations au niveau de la liaison (LLS) réalisées par plusieurs des sociétés d'appui. La performance de la couverture est rapportée à la fois en termes de rapport signal-bruit (SNR) et de perte de couplage maximale (MCL).

Même si cette analyse ne porte que sur l'UE CAT-M1 et étant donné que les modes d'extension de la couverture A et B sont définis comme des caractéristiques dans les normes, tout UE de catégorie peut prendre en charge les caractéristiques d'extension de la couverture. La qualité de la couverture sur la liaison montante est similaire à celle de CAT-M1 mais, étant donné que la plupart des autres UE de la catégorie LTE ont deux antennes de réception (alors que CAT-M1 n'en a qu'une), la qualité de la liaison descendante est de 3 à 4 dB meilleure que celle indiquée dans le présent document.

Avant d'aborder les résultats de la simulation LLS, l'article présente les fondements et les hypothèses utilisés pour calculer le MLC. De plus, pour fournir un certain contexte technique, plusieurs techniques de couverture utilisées dans la spécification LTE-M sont décrites.

2. Abréviations

3GPP	Projet de partenariat de 3 ^e génération	MAC	Contrôle d'accès aux médias	RRC	Contrôle des ressources radio
BLER	Taux d'erreur de blocage	MCL	Perte maximale de couplage	RV	Version de redondance
CRC	Vérification cyclique de la redondance	MIB	Bloc d'informations principal	RX	Recevoir
CRS	Signaux de référence spécifiques aux cellules	MDPCCH	MTC canal de contrôle physique de la liaison descendante	SCH	Canal de synchronisation
dB	Décibel	MTC	Communication machine-type	SF	Cadre auxiliaire (1ms)
dBm	Ration de puissance en décibel référencé à 1 mW	NF	Chiffre de bruit	SFN	Numéro de châssis du système
DL	Liaison descendante (de l'eNB à l'UE)	PA	Puissance amplifiée	SNR	Rapport signal/bruit
eMTC	Communications améliorées de machine-type	PBCH	Canal de diffusion physique	SSS	Signal de synchronisation du signal
ENB	Noeud B amélioré (station de base LTE)	PDSCH	Canal partagé de liaison descendante physique	TBS	Transport de taille des blocs
FDD	Duplexage par répartition en fréquence	PRACH	Canal d'accès physique aléatoire	TM	Mode de transmission
HARQ	Demande de répartition automatique hybride	PSS	Signal de synchronisation primaire	TR	Rapport technique
I/Q	In-phase et quadrature	PUCCH	Canal de contrôle physique de la liaison montante	TS	Spécifications techniques
LNA	Amplificateur à faible bruit	PUSCCH	Canal partagé de contrôle physique de la liaison montante	TX	Transmettre
LLS	Simulation de la couche de liaison	PRB	Bloc de ressources physiques	UE	Équipement d'utilisateur
LPWA	Zone étendue à faible puissance	PSD	Densité de la puissance spectral	UL	Liaison montante (de l'UE à eNB)
LTE	Évolution à long terme	RLC	Commande de liaison radio	WID	Description du poste de travail

3. Perte maximale de couplage (MCL)

Fait : Le MCL est une mesure très courante pour décrire le montant de la couverture qu'un système peut supporter.

Fait : Sans amélioration de la couverture, le LTE peut normalement fonctionner jusqu'à un maximum d'environ 142dB MCL.

Fait : Si un appareil est installé sous terre ou profondément à l'intérieur d'un bâtiment, l'affaiblissement de pénétration dans le bâtiment peut au total dépasser 50dB.

La MCL est une mesure très courante pour décrire le degré de couverture qu'un système ou une conception peut supporter. Il s'agit de la valeur limite de la perte de couplage à laquelle un service peut être fourni, et définit donc la couverture du service. Bien sûr, intuitivement, il serait préférable de fournir des « km de couverture » mais ce dernier n'est pas une mesure appropriée car il dépend fortement de la fréquence de la porteuse et de l'environnement (par exemple, intérieur, extérieur, urbain, suburbain et rural). Par conséquent, le MCL est une meilleure mesure de la conception car il est indépendant de la fréquence et des facteurs environnementaux et c'est pourquoi le MCL est utilisé dans le présent document.

Sans amélioration de la couverture, les anciens systèmes LTE (avant la version 13) peuvent fonctionner jusqu'à une LMC d'environ 142 dB et, dans la plupart des cas, pour les environnements extérieurs urbains ou suburbains, le réseau cellulaire fournit une puissance de signal adéquate pour satisfaire cette LMC. Toutefois, la couverture à l'intérieur est plus difficile à obtenir car l'affaiblissement de pénétration dans les bâtiments peut être élevé. Par exemple, si un appareil est installé sous terre ou profondément à l'intérieur d'un bâtiment, l'affaiblissement de pénétration dans les murs extérieurs et l'affaiblissement de pénétration dans les bâtiments peuvent dépasser au total 50dB.

Le tableau 1 ci-dessous montre les entrées et les calculs pour MCL (à partir de TR 36.888[6]) :

Entrée MCL	Valeur
Emetteur	
(0) Puissance Tx maxi (dBm)	Puissance PA de l'UE ou de l'eNB
(1) Puissance dans la largeur de bande du canal (dBm)	Calculée
Récepteur	
(2) Densité de bruit thermique (dBm/Hz)	Constance -174 dBm/Hz
(3) Facteur de bruit du récepteur (dB)	Dépend du LNA
(5) Largeur de bande de canal occupée (Hz)	Bande passante du signal
(6) Puissance sonore effective = (2) + (3) + 10log ((5)) dBm	Calculée
(7) SNR requis	La valeur provient de la simulation des liens
(8) Sensibilité du récepteur = (6) + (7) (dBm)	Calculée
(9) MCL = (1) - (8) (dB)	Calculée

Tableau 1 : Calcul MCL

Comme le montre le tableau ci-dessus, le calcul de la MCL est simple et repose sur quatre entrées : puissance de l'UE PA, facteur de bruit du récepteur (NF), largeur de bande du canal occupé et SNR requis.

Puissance Tx max : Pour le calcul du MCL de la liaison descendante (DL), il s'agit de la puissance de l'amplificateur de puissance (PA) du eNB et pour cette analyse, le eNB prend en charge une puissance PA de +46 dBm (la même valeur a été utilisée dans [6, 7]). Pour le calcul du MCL de la liaison montante (UL), on utilise la puissance PA de l'UE. Le LTE-M PREND EN CHARGE DEUX CLASSES DE PUISSANCE D4ue / UN DE 23 dBm de classe de puissance 5. Dans le présent document, étant donné que la couverture maximale est intéressante, on suppose une UE de classe 3 de 23 dBm ; on utilise donc 23 dBm dans le calcul du MCL.

Fait : Le chiffre du bruit dépend principalement de la perte d'insertion frontale, de la qualité du LNA et de l'appel de courant du LNA mais ne dépend pas de la largeur de bande du signal.

Figure de réception du bruit (NF) : De la même façon que la puissance d'émission maximale (TX) est basée sur le PA, le NF est basé sur l'amplificateur à faible bruit (LNA) du récepteur. L'affaiblissement d'insertion, la qualité et l'appel de courant du LNA du côté frontal peuvent affecter le NF et, par conséquent, le NF des UE est généralement plus élevé que celui de l'eNB (qui a généralement moins de préoccupations en ce qui concerne la consommation d'énergie et le coût). Une idée de faux courant est que le NF dépend de la largeur de la bande de signal (par exemple 200 kHz pour le GSM contre >1.4 MHz pour le LTE) mais étant donné que les UE et les eNB doivent pouvoir

prendre en charge de nombreux canaux différents dans une bande, le LNA frontal doit être suffisamment large pour couvrir toute la bande (par exemple, la bande est large de 20-30MHz). Le 3GPP a utilisé différents NF selon la situation ; un ensemble conservateur (y compris dans des conditions extrêmes) et un ensemble moins conservateur.

Les FN suivants, indiqués dans le Tableau 2, ont été utilisés par le 3GPP :

Source du bruit	eNB	UE
Conservateur (TR 36.888[5])	5	9
Moins conservateur	3	5

Tableau 2 : Source du bruit 3GPP

Dans ce document, les NF les moins conservateurs du TR 45.820 « Prise en charge des systèmes cellulaires pour IoT à très faible complexité et à faible débit » sont utilisés, car ils sont également applicables au NB-IoT et LTE-M.

Bande passante du signal : C'est la largeur de bande du signal réellement transmis (et non la largeur de bande du système). Par exemple, si 2 blocs de ressources physiques (PRB) sont utilisés, alors 2*1800 000 Hz sont utilisés, et non la largeur de bande complète du système.

Fait : Le « SNR requis » est une mesure de la quantité de bruit que le système peut tolérer tout en maintenant une certaine performance du système (par exemple, un taux d'erreur de 10%)

SNR requis : Cette valeur est une mesure de la quantité de bruit que la conception (par exemple, modulation, taux de codage, type de codage, mode de transmission et schéma de diversité) peut tolérer tout en fonctionnant dans les limites d'une certaine performance. La mesure de la performance est souvent le taux d'erreur sur les blocs (BLER), mais peut aussi être le temps ou la vitesse d'acquisition. Dans ce livre blanc, le SNR a été obtenu par LLS. Comme le SNR est également une mesure de performance commune, tous les résultats du LLS incluent à la fois le MCL et le SNR.

4. Objectifs de couverture

Cette section fournit des informations générales sur les objectifs du 3GPP qui ont été utilisés dans l'élaboration de la spécification LTE-M.

4.1 MCL cibles en utilisant des chiffres de bruit conservateurs et 20dBm

L'UE 3GPP a initialement commencé à examiner le LTE-M dans la version 11, en produisant le rapport technique sur le point d'étude TR 36.888 [6]. Ce rapport technique présente les objectifs de qualité de fonctionnement et une analyse de certaines approches techniques pour adapter le LTE afin de le rendre adapté aux applications MTC. D'après la description de l'élément d'étude (WID) [1] de la version 13, l'objectif du 3GPP était de fournir un gain de couverture de 15 dB pour le LTE-M avec une classe de puissance d l'UE de 23 dBm, par rapport à un UE de base de la version 10 de la CAT-1. Toutefois, la même amélioration de la couverture devait être disponible pour le nouvel équipement d'utilisateur de classe de puissance 5 de 20dBm, ce qui signifie que l'objectif réel pour le LTE-M était de fournir au moins 18dB de couverture supplémentaire pour le canal physique limitatif. Le tableau 3 (ci-dessous) indique le calcul de la MCL et le gain requis pour les canaux LTE-M, où les valeurs prudentes des facteurs de bruit sont tirées de [6], qui étaient basées sur la norme CAT-1, mais sont ajustées en fonction d'un affaiblissement de 4dB dû à l'utilisation d'un récepteur unique, comme on l'a supposé pour la norme CAT-M1 :

Nom du canal physique	PUCCH	PRACH	PUSCH	PDSCH	PBCH	SCH	MDPCCH
Emetteur							
(0) Puissance Tx maxi (dBm)	20	20	20	46	46	46	46
(1) Puissance dans la largeur de bande du canal (dBm)	20	20	20	32	36.8	36.8	36.8
Récepteur							
(2) Densité de bruit thermique (dBm/Hz)	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174
(3) Facteur de bruit du récepteur (dB)	5	5	5	9	9	9	9
(4) Largeur de bande de canal occupée (Hz)	180,000	1,080,000	360,000	360,000	1,080,000	1,080,000	1,080,000
(5) Puissance sonore effective = (2) + (3) + 10log (5) dBm	-116.4	-108.7	-113.4	-109.4	-104.7	-104.7	-104.7
(6) SNR requis	-7.8	-10	-4.3	0	-3.5	-3.8	-0.7
(7) Sensibilité du récepteur = (6) + (7) (dBm)	-124.2	-118.7	-117.7	-109.4	-108.2	-108.5	-105.4
(8) MCL = (1) - (8) (dB)	144.2	138.7	137.7	141.4	145.0	145.3	142.2
Gains requis	11.5	17.0	18.0	14.3	10.7	10.4	13.5
Cible MCL	155.7	155.7	155.7	155.7	155.7	155.7	155.7

Tableau 3 : Calcul du MCL en utilisant des hypothèses prudentes de NF avec une classe de puissance de 20 dbm UE

Constatation clé : Le gain de couverture cible du LTE-M 3GPP était de 18dB

Note : le débit de données de référence de base utilisé dans le TR 36.888 pour le calcul des MCL PUSCH et PDSCH était de 20 kbps en utilisant une taille de bloc de transport (TBS) de 72 bits avec 2 blocs de ressources physiques (PBR). Le gain requis pour atteindre le MCL cible est différent pour chaque canal, le gain le plus important étant requis pour le PUSCH à 18dB, et le gain cible 3GPP était donc de 18dB.

4.2 MCL cibles en utilisant des chiffres de bruit moins conservateurs et 23dBm

La plupart des analyses récentes de la couverture du 3GPP en zone étendue à faible puissance (LPWA) ont utilisé des chiffres de bruit moins prudents de TR 45.820 [7] pour calculer le MCL (par exemple, pour NB-IoT et EC-GSMIoT). Le document TR 45.820 est un rapport technique d'étude du 3GPP qui présente les hypothèses et les résultats concernant la prise en charge cellulaire des dispositifs IoT de faible complexité. Il fait état des MCL pris en charge par NB-IoT et CE-GSMIoT, mais les hypothèses sont également applicables LTE-M, de sorte que pour le reste de ce livre blanc, les chiffres de bruit de [7] sont utilisés. Le tableau 4 ci-dessous montre que la LMC cible mise à jour lorsque des NF moins prudents de [6] et un UE de classe 3 de puissance de 23 dBm sont supposés :

Nom du canal physique	PUCCH	PRACH	PUSCH	PDSCH	PBCH	SCH	MDPCCH
Emetteur							
(0) Puissance Tx maxi (dBm)	23	23	23	46	46	46	46
(1) Puissance dans la largeur de bande du canal (dBm)	23	23	23	32	36.8	36.8	36.8
Récepteur							
(2) Densité de bruit thermique (dBm/Hz)	-174	-174	-174	-174	-174	-174	-174
(3) Facteur de bruit du récepteur (dB)	3	3	3	5	5	5	5
(4) Largeur de bande de canal occupée (Hz)	180,000	1,080,000	360,000	360,000	1,080,000	1,080,000	1,080,000
(5) Puissance sonore effective = (2) + (3) + 10log (5) dBm	-118.4	-110.7	-115.4	-113.4	-108.7	-108.7	-108.7
(6) SNR requis	-7.8	-10	-4.3	0	-3.5	-3.8	-0.7
(7) Sensibilité du récepteur = (6) + (7) (dBm)	-126.2	-120.7	-119.7	-113.4	-112.2	-112.5	-109.4
(8) MCL = (1) - (8) (dB)	149.2	143.7	142.7	145.4	149.0	149.3	146.2
Gains requis	11.5	17.0	18.0	14.3	10.7	10.4	13.5
Cible MCL	160.7	160.7	160.7	159.7	159.7	159.7	159.7

Tableau 4 : Calcul du MCL en utilisant des hypothèses NF moins prudentes avec une puissance de 23 dBm classe 3 UE

Conclusion principale :

En utilisant des NF moins conservatrices avec un UE de 23 dBm, le MCL cible est passé de 155.7 à 160.7dB.

Les valeurs d'entrée qui ont changé par rapport au tableau de la section 4.1 ont été mises en évidence. Comme on peut le voir, en faisant passer la puissance de l'UE PA de 20 à 23 et en modifiant les chiffres du bruit, les cibles MCL et les lignes de base MCL ont maintenant changé alors que les gains requis restent les mêmes. En utilisant les valeurs moins conservatrices du facteur de puissance de TR 45.820 et si l'on suppose 23dBm de classe de puissance 3 UE,

La valeur cible de la MCL de l'équipement LTE-M est de 160.7 dB pour la liaison montante et de 159.7 dB pour la liaison descendante.

5. Amélioration de la couverture LTE-M mode A et B

Fait : Pour soutenir les différents niveaux de couverture, les modes A et B soutiennent différents nombres maximums de répétitions.

La spécification LTE-M a défini deux modes d'améliorations modérés de la couverture : mode A et mode B. La principale différence est que le mode A ne prend en charge que des améliorations modérées de la couverture, tandis que le mode B prend en charge une couverture très étendue. Le mode A d'amélioration de la couverture est une fonction obligatoire pour CAT-M1, tandis que le mode B est une fonction optionnelle. Le présent document analyse le rendement de la couverture pour le mode B.

Pour prendre en charge les différents niveaux de couverture, les modes A et B prennent en charge différents nombres maximums de répétitions. Le tableau 5 (ci-dessous) indique ces maximums [4, 5] :

Canal LTE-M	Répétitions mode A	Répétitions mode B
PSS/SSS	1	1
PBCH	1	5
MPDCCH	16	256
PDSCH	32	2048
PUSCH	32	2048
PUCCH	8	32
PRACH	32	128

Tableau 5 : Nombre maximum de répétitions pour le mode A et le mode B

Une autre différence est certaines fonctions/caractéristiques ne sont prises en charge qu'en mode A, comme la mobilité en mode connecté, 8 processus de demande de répétition automatique (HARQ) et plusieurs modes de transmission (TM). Le mode d'amélioration de la couverture ne s'applique que lorsque l'UE est dans l'état connecté de la commande des ressources radio (RRC). Principalement sur la base de la qualité du signal périodiquement signalée par l'UE, l'eNB décide du mode d'amélioration de la couverture dans lequel l'UE doit se trouver. En général, l'eNB maintient l'UE en mode d'extension de la couverture A, sauf si l'UE a une très mauvaise couverture.

6. Couvertures techniques

La section suivante fournit des renseignements généraux et des aperçus techniques sur bon nombre des techniques utilisées pour améliorer la couverture de la spécification LTE-M.

6.1 Puissance TX

Fait : Le CAT-M1 prend en charge deux classe de puissance UE : 23dBm classe 3 et 20dBm classe 5

Pour chaque dB d'augmentation de la puissance TX, il y a une augmentation de 1 dB de MCL. Comme mentionné dans la section MCL, le LTE-M prend en charge deux classes de puissance d'UE PA ; la classe 3 PA 23 dBm, et la classe 5 PA 20 dBm, donc un UE de classe 3 aurait une MCL UL de 3 dB de mieux. Bien que l'augmentation de la puissance d'émission de l'UE au-dessus de 23dBm semble être une méthode facile pour obtenir une couverture, elle pose plusieurs problèmes : coût accru, problèmes de réglementation (par exemple, limites

d'absorption spécifiques), augmentation du brouillage intercellulaire et problèmes de courant de crête. En fait, pour les dispositifs IoT, la tendance est à la baisse de la puissance TX pour rendre le PA plus pratique à intégrer et donc réduire les coûts. C'est pourquoi l'UE de classe 5 à 20dBm a été ajouté dans le cadre des travaux sur le LTE-M.

6.2 Répétition

La répétition est la technique la plus courante utilisée par tous les LPWAs pour améliorer la couverture. En général, il existe une relation linéaire entre la répétition et le gain (par

Fait : La répétition est la technique la plus couramment utilisée par tous les LPWA pour améliorer la couverture, où le doublement des répétitions se traduit par un gain de couverture d'environ 3dB mais à la moitié de la vitesse.

exemple, le double des répétitions donne un gain de couverture de 3dB). Toutefois, cela n'est vrai que si l'UE ou l'eNB peut obtenir des estimations de canal et un suivi de fréquence précis ainsi que d'autres fonctions de bas niveau (voir plus loin les paragraphes 6.3 et 6.6), ce qui n'est souvent pas le cas. Le principal inconvénient de la répétition est qu'elle ralentit la transmission de manière linéaire (par exemple, doublement des répétitions, réduction de moitié de la vitesse/doublement de la latence).

6.3 Estimation des canaux CROSS SUBFRAM & CROSS PRB

Fait : L'estimation précise des canaux commence à devenir un problème dominant aux niveaux de SNR les plus bas.

Comme mentionné ci-dessus, la répétition ne fournit un gain linéaire que si l'UE ou l'eNB peut obtenir de bonnes estimations du canal. L'estimation précise du canal commence à devenir une question dominante aux niveaux de SNR les plus bas (c'est-à-dire lorsque plus de 12 dB de gain de couverture est nécessaire). On a constaté que l'utilisation de l'estimation de canal par sous-trame croisée (SF) et par PRB croisée (bloc de ressources physiques)

était une méthode très efficace pour améliorer l'estimation de canal (voir [8, 16, 17, 22]) et donc la couverture. Lors de la normalisation du LTE-M, on a supposé que le mode d'amélioration de la couverture en profondeur (c'est-à-dire le mode B d'amélioration de la couverture) serait principalement utilisé pour surmonter les pertes importantes dues à la pénétration dans les bâtiments (par exemple, pour atteindre des mètres dans les sous-sols). C'est pourquoi on a utilisé des canaux mobiles à déplacement lent (par exemple, ETU Hz et EPA 1 Hz) lorsque le canal ne varie pas rapidement en temps ou en fréquence, ce qui permet d'utiliser l'estimation des canaux SF et PRB croisés. Lorsque l'UE se déplace rapidement, le canal change rapidement, ce qui limite le nombre de SF et de PRB pouvant être utilisés.

6.4 Saut de fréquence mutli-subframe

Étant donné que la largeur de bande de canal maximale LTE-M UE (1.08 MHz), le saut de fréquence a été spécifié pour assurer une certaine diversité de fréquence (voir [18, 19, 20]). Contrairement aux autres techniques de saut de fréquence dans le système LTE, le saut de fréquence su système LTE-M permet à l'UE et au eNB de continuer à utiliser l'estimation de canal entre subframe car le saut se produit entre plusieurs subframes.

6.5 Redondance version (RV) cyclage

On a constaté qu'il était plus efficace sur le plan spectral d'envoyer de plus gros blocs de transport (par exemple 1000 bits) que de fragmenter et d'envoyer de petits blocs de transport (voir [9, 15] pour plus de détails) en raison du CRC et du contrôle d'accès au support (MAC) et du contrôle de liaison radio (RLC) de l'en-tête. Le problème était que le débit de codage n'est pas suffisant pour prendre en charge de plus grands blocs de transport, en particulier dans l'UL en mode B, lorsque seuls 1 ou 2 PRB sont attribués. Le cyclage des versions de redondance entre différentes subframes améliore le taux de codage, ce qui permet de prendre en charge des blocs de transport plus importants lorsque seuls 1 ou 2 PRB sont attribués.

6.6 En utilisant le même RV et en brouillant pour plusieurs SF

Le degré d'estimation des canaux transversaux qui peut être utilisé dépend principalement de la capacité à minimiser toute erreur de fréquence résiduelle. La norme LTE-M a donc apporté quelques modifications pour permettre à l'eNB et à l'UE de mieux minimiser l'erreur de fréquence résiduelle. Il a été déterminé que si le contenu du SF est exactement le même pour plusieurs SF, cela permet à l'UE et à l'eNB d'appliquer un algorithme de détection de phase différentielle sur les données, ce qui permet d'utiliser les données pour la correction du décalage de fréquence, en plus des signaux de référence spécifiques à la cellule (CRS) (voir la section 4 de [10] pour plus de détails). En outre, cela permet à l'UE et à la carte eNB de combiner les entrées et les sorties, ce qui peut également améliorer les performances de décodage.

6.7 Augmentation de la densité spectrale de puissance (PSD)

L'augmentation PSD est une technique de mise en œuvre d'eNB qui peut être utilisée pour améliorer la couverture DL. L'eNB réduira la puissance appliquée à certains PRB, qu'elle pourra ensuite utiliser pour augmenter la puissance dans les autres PRB ciblés. Si un utilisateur se voit attribuer les PRB à puissance réduite, il bénéficiera d'un débit de données réduit (voir [21]). Pour le LTE-M, le niveau maximal généralement accepté de l'augmentation possible de la puissance de service public est de 4dB. Pour le

LTE-M, le niveau maximal généralement accepté de l'augmentation possible de la puissance de service public est de 4dB Cette augmentation peut être appliquée spécifiquement à un canal (par exemple, PSS/SSS/PBCH) ou aux données d'un utilisateur spécifique dans le PDSCH. Toutefois, il convient de noter que l'analyse de la couverture effectuée dans le présent document ne suppose aucune augmentation de la densité spectrale de puissance.

Activité clé : Pour déterminer la couverture LTE-M, une analyse de simulation de chaque canal a été effectuée.

Clé TENET : Par souci de cohérence, les hypothèses de simulation pour les différents canaux sont communes.

7. Analyse de la couverture

Pour déterminer la couverture pratique que la spécification LTE-M de la version 13 peut prendre en charge, une analyse LLS de chaque canal LTE-M a été effectuée. Chaque canal a été analysé pour trouver la couverture maximale possible pour chaque canal ayant la couverture maximale la plus faible, ce qui permettrait d'établir l'espérance de couverture globale réaliste pour la spécification LTE-M. Par souci de cohérence, les hypothèses de simulation pour les différents canaux sont communes et fondées sur les hypothèses de simulation utilisées dans la recommandation TR 45.820, comme indiqué dans le tableau 6 ci-dessous :

(Les versions approuvées des spécifications de la version 13 du LTE-M [2, 3, 4, 5] ont été utilisées pour élaborer les simulations.)

Paramètres	PSS/SSS	PBCH	MDPCH	MDPCCH	PDSCH	PUSCH	PRACH
Système de bande passante	10 MHz						
Configuration	FDD						
Fréquence	2 GHz						
Configuration antenne	2x1, basse corrélation				1x2, basse corrélation		
Nombre de RBs	N/A	N/A	6	6	1	1	6
Mode de transmission	N/A	N/A	Faisceau aléatoire	TM2	TM1	N/A	N/A
Erreur de suivi de fréquence	1 KHz	30Hz	30 Hz	30 Hz	30 Hz	30 Hz	30 Hz
Estimation de canal	N/A	Cross SF et Cross PRB	Cross SF	Cross SF et Cross PRB	Cross SF	Cross SF	N/A
Saut de fréquence	No	No	Yes – 16 SF				
Cible de performance	Acq. Temps vs SNR 0.1% de faux – probabilité de détection	Acq. Temps vs SNR	1% BLER DCI format 6-1B (18bits)	Données rapide – 10% BLER vs SNR en utilisant TBS de 936 à 152	Données rapide – 10% BLER vs SNR en utilisant TBS de 504 à 175	10% et 1% de probabilité de manque. 1% de probabilité de faux. Format 1A	10% et 1% de probabilité de manque. 0.1% de probabilité de faux. Format 0

7.1 Signal de synchronisation primaire (PSS) et signal de synchronisation secondaire (SSS)

Clé TENET :

Pour le PSS/SSS, la limite du MCL n'est pas définie par un objectif de taux d'erreur mais par un temps d'acquisition acceptable qui est une mesure plus subjective

Cette section comprend les résultats du LLS pour le PSS et le SSS. Pour l'acquisition de systèmes, le PSS et le SSS sont les premiers signaux que l'UE doit acquérir. Le PSS/SSS est utilisé principalement pour aider l'UE à acquérir le temps de propagation du système, le décalage de fréquence résiduel supposé pour ce canal a été fixé à 1KHz par rapport à une erreur de poursuite de fréquence de 30 Hz qui a été utilisée pour tous les autres canaux. L'erreur de fréquence brute due aux imprécisions des cristaux peut être supérieure à 1KHz, de sorte que l'UE peut avoir besoin d'exécuter un

algorithme initial de décalage de fréquence grossier ou des corrélations PSS/SSS parallèles avec différentes erreurs de fréquence (par exemple par pas de 2 KHz). La figure 1 (ci-dessous) indique le temps d'acquisition en fonction du rapport signal/bruit/contact pour le temps de détection combiné pour les systèmes PSS et SSS :

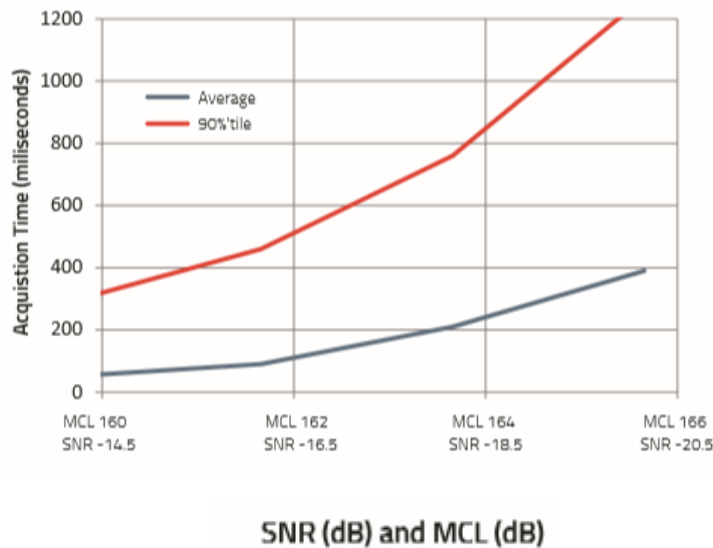


Figure 1 : Temps d'acquisition PSS/SSS versus SNR/MCL

Constatations clés : A 164dB MCL, le temps d'acquisition moyen du PSS/SSS est de 240 ms et le temps d'acquisition du 90^{ème} percentile est de 850 ms, ce qui devrait permettre de répondre à la plupart des besoins des applications IoT.

Comme le montre la figure 1, le PSS/SSS peut toujours être détecté au-delà de 165,5 dB MCL mais le temps d'acquisition s'allonge, ce qui peut ne pas convenir à certaines applications. Le PSS/SSS peut être acquis en combinant de manière non cohérente de nombreuses copies du PSS/SSS ; ainsi, en couverture profonde, le temps nécessaire pour acquérir le PSS/SSS augmente. En raison de cette accumulation, la limite du MCL n'est pas définie par le BLER mais par un temps d'acquisition acceptable. Étant donné que les applications IoT ont des exigences différentes en matière de temps d'acquisition, cette limite est

subjective et quelque peu arbitraire, de sorte qu'une MCL maximale n'est pas définie spécifiquement pour cette voie et que le temps d'acquisition du PSS/SSS est plutôt fourni pour de nombreuses MCL. Comme le montre la figure 1 ci-dessus, pour une MCL de 164 dB, le temps d'acquisition moyen (ou 50^{ème} percentile) du PSS/SSS n'est que de 240 ms et le temps d'acquisition du 90^{ème} percentile est de 850 ms, ce qui devrait permettre de répondre à la plupart des besoins des applications IoT.

La méthode de détection PSS/SSS analysée a utilisé les séquences PSS et SSS combinées pour la corrélation, ce qui n'est généralement pratique sur le plan des calculs que lorsque l'identification de la cellule est connue. Cela vaut pour la resynchronisation, qui est de loin la situation la plus courante étant donné que la mode d'amélioration de la couverture B est destinée aux scénarios stationnaires. On considère que le temps d'acquisition plus long qui peut se produire aux rares exceptions où l'ID de la cellule est inconnu en raison d'un mouvement ou à la mise sous tension initiale de l'UE n'a pas d'incidence importante sur la consommation d'énergie ou le temps de latence.

7.2 Canal de diffusion physique (PBCH)

Cette section comprend les résultats LLS pour le canal de diffusion physique (PBCH). En général, après l'acquisition du PSS/SSS, l'étape suivante du processus d'acquisition du système consiste à décoder le PBCH (qui transporte le bloc d'informations de base (MIB)). Le PBCH comporte 24 bits d'information et un contrôle de redondance cyclique (CRC) de 16 bits et contient des informations du système et les nouvelles informations essentielles de planification pour les informations du système LTE-M. La figure 2 ci-dessous montre le temps d'acquisition en fonction du MCL/SNR pour un décodeur de corrélation où le taux de fausse détection est <0.01% (voir [11]) :

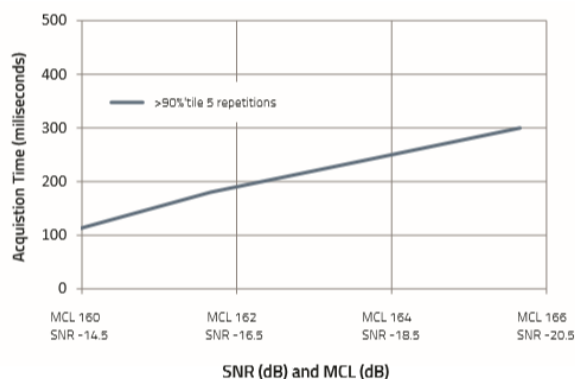


Figure 2 : Temps d'acquisition PBCH versus SNR/MCL pour le décodeur de corrélation

Les résultats ci-dessus ont été obtenus en utilisant 5 répétitions PBCH occupant entièrement le SF#0 et le SF#9, qui est le maximum pris en charge dans la spécification LTE-M.

Constatation clé : A 164 dB MCL, le temps d'acquisition d'un PBCH 90% est de 240 ms en utilisant un décodeur de corrélation PBCH.

Comme pour le PSS/SSS, la limite de couverture de la PBCH n'est pas définie par une cible BLER mais par une limite de temps d'acquisition plus subjective. Comme le montre la figure 2, la PBCH peut toujours être détectée au-delà de 165,5 dB MCL mais le temps d'acquisition s'allonge, ce qui peut ne pas convenir à certaines applications. A 164 dB MCL, le temps d'acquisition de la PBCH à 90%tile est de 240 ms en utilisant un décodeur de corrélation PBCH. Les résultats ci-dessus concernent un décodeur de corrélation PBCH qui fonctionne en corrélant les symboles reçus à débit adapté avec les symboles PBCH éventuellement transmis,

puis en testant les multiples hypothèses. Les résultats présentés ci-dessus concernent un scénario de ré-acquisition similaire à celui qui a été présenté pour le PSS/SSS qui est de loin, le cas le plus courant. Pour le scénario de ré-acquisition PBCH en général, seul le numéro de trame du système (SFN), un champ de 8 bits, est inconnu. Pour un scénario d'acquisition à froid, ce décodeur de corrélation PBCH peut ne pas être pratique et autre décodeur PBCH peut donc être utilisé. La figure 3 ci-dessous montre les résultats obtenus avec le décodeur PBCH « keep trying » (voir [12, 13]) qui a également été étudié par le 3GPP :

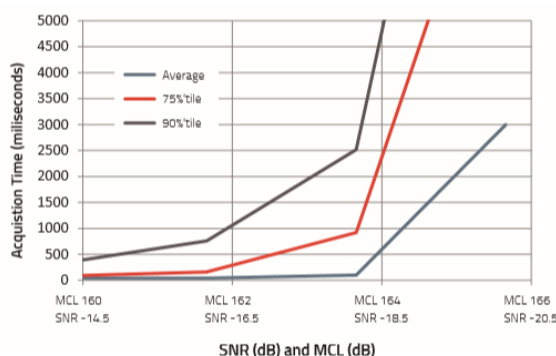


Figure 3 : Temps d'acquisition PBCH contre SNR/MCL pour le décodeur « Keep Trying »

Constatation clé :

Bien que les temps d'acquisition soient plus longs, le décodeur PBCH « keep trying » peut decoder avec succès le PBCH à >164 dB MCL.

Bien que les temps d'acquisition pour le décodeur « keep trying » soient plus long, il peut également decoder avec succès la PBCH, le décodeur de corrélation fonctionne dans tous les scénarios d'acquisition. L'une des principales conclusions est que le décodeur PBCH « keep trying » peut decoder avec succès la PBCH à >164 dB MCL.

Si des temps d'acquisition initiale à la mise sous tension, il est possible d'utiliser un troisième type de décodeur qui est capable d'accumuler des valeurs douces sur plusieurs transmissions PBCH même si le compteur SFN change de valeur. Un tel décodeur, basé sur une modification de la gestion des métriques de branche et/ou

de chemin dans le décodeur de Viterbi, a été présenté dans [14].

7.3 MTC canal de contrôle physique de la liaison descendante (MPDCCH)

Cette section comprend les résultats LLS pour le canal de contrôle physique en liaison descendante du MTC (MPDCCH). Le MPDCCH est un canal de contrôle qui est utilisé principalement pour affecter des ressources PDSCH/PUSCH dédiées à l'UE. On trouvera ci-après (figure 4) le BLER à 1% par rapport au SNR/MCL pour les divers niveaux de répétition du MDPCCCH :

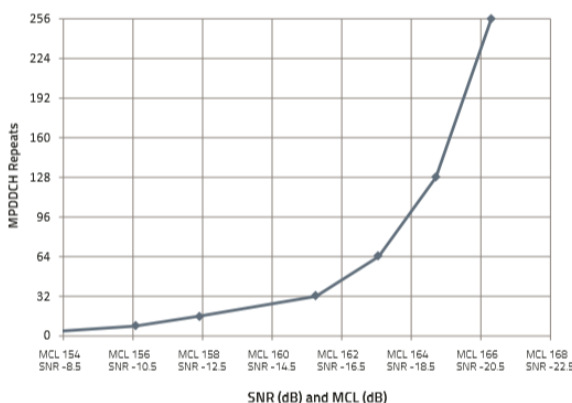


Figure 4 : MPDCCH se répète à 1% BLER contre SNR/MCL

Constatation clé

Le 164 dB MCL peut être pris en charge en utilisant entre 64 et 128 répétitions MDPCCH, ce qui est inférieur aux 256 répétitions possibles que la norme LTE-M autorise.

Comme le montre la figure 4, une MCL maximale de 166.3 dB est possible avec un BLER de 1% lorsque l'on utilise 256 répétitions MDPCCH sont nécessaires. L'une des principales conclusions est que la MCL à 164 dB peut être prise en charge en utilisant entre 64 et 128 répétitions MDPCCH, ce qui est inférieur aux 256 répétitions possibles que la norme LTE-M autorise.

7.4 Canal physique partage en liaison descendante (PDSCH)

Cette section comprend les résultats LLS pour le canal partagé de liaison descendante physique (PDSCH). Le PDSCH transporte les données utilisateur DL. Au lieu de fournir plusieurs courbes BLER pour diverses combinaisons de taille de bloc de transport (TBS) et de répétition, cette mesure présente un avantage intrinsèque plus important pour le lecteur. En outre, la mesure la plus difficile est de supporter des débits de données plus élevés à des valeurs MCL élevées. Pour cette raison, le TR 45.820 devait non seulement prendre en charge une MCL de 164 dB mais aussi fournir un débit de données d'au moins 160 bps à une MCL de 164 dB. La figure 5 ci-dessous montre le débit de données en fonction du rapport signal/bruit/longueur de bande pour le PDSCH :

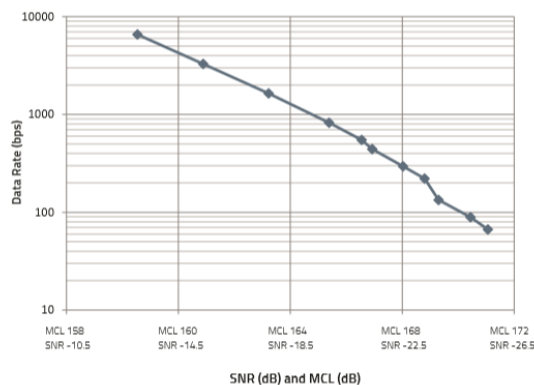


Figure 5 : Taux de données PDSCH à 10% BLER par rapport au SNR/MCL

Constatation clé : A 164 dB MCL, le LTE-M peut prendre en charge un débit de données sur la liaison descendante de 1400 bps, ce qui est bien supérieur à l'exigence de 160 bps du TR 45.820.

Remarque : Le débit de données de la couche physique ci-dessus n'inclut pas les frais généraux d'en-tête MAC/RLC/PDCP/IP ni les retards de planification. Comme PSS/SSS et PBCH, le MCL maximum supporté est plutôt subjectif car la norme supporte de telles répétitions. Le MCL maximum pris en charge est obtenu lorsque le plus grand nombre de répétitions (2048) est utilisé avec un petit TBS (152 bits), mais cela se traduit par un débit de données très lent de 67 bps qui peut ne pas répondre aux besoins de l'application et ne pas répondre aux besoins d'efficacité spectrale de l'opérateur. Comme indiqué plus haut, le TR 45.820 devait prendre en charge 160 bps à une MCL de 164 bps et, comme le montre le graphique ci-dessus, le PDSCH LTE-M peut prendre en charge un débit de données de 1400 bps à une MCL de 164 dB, soit 8.5 fois plus rapide que le TR 45.820.

7.5 Canal physique à accès aléatoire (PRACH)

Cette section comprend les résultats LLS pour le canal d'accès physique aléatoire (PRACH). Le PRACH est un canal de contrôle UL principalement utilisé par l'UE pour lancer une demande d'accès aléatoire. La section suivante (Figure 6) présente les taux de détection de 1% et 10% par rapport au SNR/MCL avec une probabilité de fausse alarme inférieure à 0.1% pour divers niveaux de répétition du PRACH :

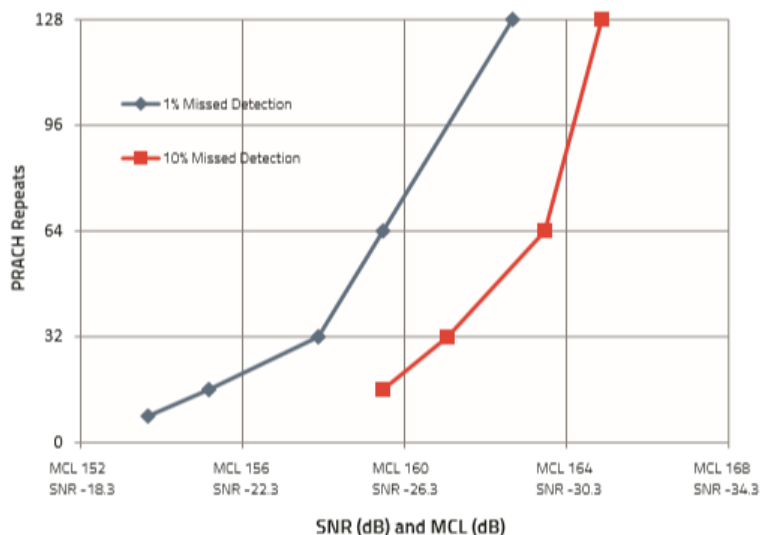


Figure 6 : PRACH Répétition contre SNR/MCL

Étant donné que le LTE-M est conçu pour des applications tolérantes à la latence, la cible de détection PRACH manquée de 10% est la cible applicable et également utilisée dans le TR 45.820 [7]. Toutefois, la cible de détection manquée n'est pas spécifiée et dépend donc de la mise en œuvre du réseau. Comme le montre la Figure 6 ci-dessus, la MCL maximale de 165 dB est possible en utilisant 128 répétitions. L'une des principales conclusions est que la MCL de 164 dB peut être prise en charge en utilisant entre 64 et 128 répétitions PRACH.

7.6 Canal partagé de liaison montante physique (PUSCH)

Principales conclusions : 164 dB MCL peut être supporté en utilisant entre 64-128 répétitions PRACH.

Cette section comprend les résultats LLS pour le canal partagé de liaison montante physique (PUSCH). Ce canal transporte les données utilisateur UL. Comme pour le PDSCH, au lieu de fournir plusieurs courbes BLER pour diverses combinaisons TBS et répétées, cette section fournit le débit de données du PUSCH en fonction du SNR/MCL :

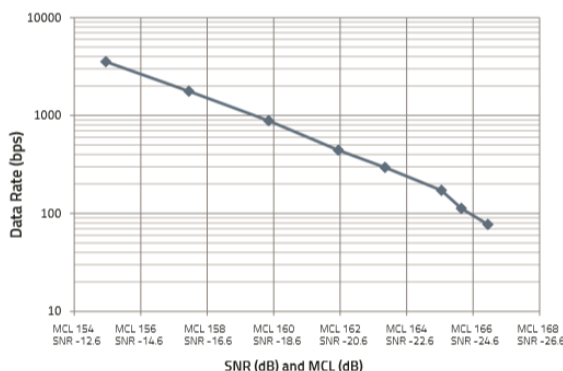


Figure 7 : Taux de données PUSCH à 10% BLER par rapport au SNR/MCL

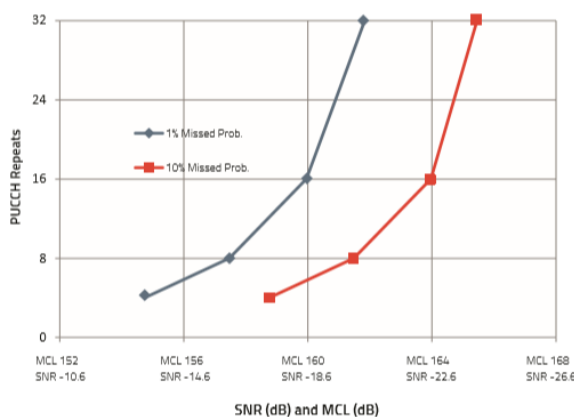
Remarque : Le débit de données de la couche physique ci-dessus n'inclut pas les frais généraux d'en-tête MAC/RLC/PDCP/IP ni les retards d'ordonnancement.

Constatation clé : A 164 dB MCL, le LTE-M peut prendre en charge un débit de données sur la liaison montante de 250 bps, ce qui est supérieur à l'exigence de 160 bps du TR 45.820.

La norme TR 45.820 exige la prise en charge de 160 bps à une LMC de 164 dB et, comme le montre le graphique ci-dessus, le PUSCH LTE-M peut prendre en charge un débit de 250 bps à une LMC de 164 dB, ce qui est supérieur à la norme TR 45.820. Une couverture encore plus importante peut être prise en charge, avec une réduction correspondante du débit données.

7.7 Canal de contrôle physique de la liaison montante (PUCCH)

Cette section comprend les résultats LLS pour le canal de contrôle de la liaison montante physique (PUCCH). Le PUCCH est un canal de contrôle UL principalement utilisé par l'UE pour envoyer des accusés de réception. La figure suivante indique les taux de BLER de 1% et 10% par rapport au SNR/MCL pour divers niveaux de répétition de la PUCCH :



Constatation clé : Un MCL de 164 dB peut être pris en charge en utilisant entre 16 et 32 répétitions PUCCH.

Comme le montre la figure 8, une LMC maximale de 165,5 dB peut être obtenue avec un taux de détection manquée de PUCCH de 10% (10% est la cible utilisée dans le TR 45.820 [7]). L'une des principales conclusions est que la MCL de 164 dB peut être prise en charge en utilisant entre 16 et 32 répétitions PUCCH.

8. Résumé

Comme nous l'avons mentionné plus haut, la détermination de la couverture ne consiste pas simplement à examiner les taux d'erreur sur les blocs. Pour certaines voies, il est plus approprié de mesurer par rapport à un critère de rendement au niveau de l'application, de sorte que dans le présent document, nous avons également mesuré la vitesse et les temps d'acquisition des données. Le tableau 7 résume les résultats de l'évaluation de la qualité de fonctionnement du LLS à un MCL de 164 dB :

Canal LTE-M	MCL	Performance	Répétitions du mode B max
PSS/SSS	164 dB	Temps d'acquisition 850ms	0
PBCH	164 dB	Temps d'acquisition 850ms	5
MPDCCH	164 dB	99% des détections utilisant 128 répétitions	256
PDSCH	164 dB	1 400 bps utilisant 512 répétitions	2048
PUSCH	164 dB	250 bps utilisant 1536 répétitions	2048
PUCCH	164 dB	90% des détections utilisant 64-128 répétitions	128
PRACH	164 dB	90% des détections utilisant 16-32 répétitions	32

Tableau 7 : Résumé des performance de 164 dB MCL

Constatation clé
Grâce au LLS, tous les canaux LTE-M sont bien équilibrés et peuvent supporter de façon réaliste un MCL de 164 dB.

Comme le montre le tableau 7, non seulement le LTE-M est capable de fonctionner à une MCL de 164 dB, mais les performances en termes de vitesse de données et de temps d'acquisition sont très bonnes. Si l'application peut tolérer des vitesses plus faibles et des temps d'acquisition plus longs, une MCL supérieure à 164 dB peut également être prise en charge. Le bilan de couverture des canaux LTE-M est également très bon lorsqu'il y aura moins un niveau de répétition supplémentaire disponible dans la norme pour tous les canaux de contrôle LTE-M. L'une des principales conclusions est que, grâce au LLS, tous les canaux LTE-M sont bien équilibrés et peuvent de manière réaliste supporter une MCL de 164 dB.

Constatation clé
Le LTE-M peut fournir de façon réaliste un gain de 21.3 dB qui dépasse de 3,3 dN

Comme nous l'avons mentionné, le rendement de la couverture peut être exprimé en LMC ou en gain. Comme indiqué au paragraphe 4.2, la ligne de base est à 142.7 dB MCL, le LTE-M peut de façon réaliste fournir 21.3 dB de gain par rapport au LTE de la version 12 qui dépasse de 3.3 dB de l'objectif de 18 dB.

Le but principal de ce document était de déterminer la couverture fournie par la spécification LTE-M par le biais de LLS, mais il existe d'autres indicateurs de performance clés qui peuvent être évalués. Par exemple, la durée de vie des piles et le délai de livraison des messages à différents niveaux de LLS sont des indicateurs de performance supplémentaires qui sont importants. Ce travail peut servir de base à une étude plus approfondie de ces sujets.

9. Références

Les références sont fournies pour offrir au lecteur des informations plus détaillées sur les techniques de couverture et les types de décodeurs mentionnés dans ce document. Ces documents peuvent également comprendre des résultats de simulation, mais comme l'hypothèse de simulation n'est pas la même que celle du présent document, les résultats de simulation obtenus à partir de ces références ne sont pas comparable à ceux du présent document.

- [1] RP-150492, "3GPP Work Item on Further LTE Physical Layer Enhancements for MTC"
- [2] TS 36.211 V13.2.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation"
- [3] TS 36.212 V13.2.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding"
- [4] TS 36.213 V13.2.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures"
- [5] TS 36.331 V13.3.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification"
- [6] TR 36.888 V12.0.0, "Study on provision of low-cost Machine-Type Communications (MTC) User Equipments (UEs) based on LTE"
- [7] TR 45.820 V13.1.0, "Cellular system support for ultra-low complexity and low throughput Internet of Things (CIoT)"
- [8] R1-150759, Sierra Wireless, "PUSCH simulation Summary for Rel-13 LC UEs"
- [9] R1-157880, Sierra Wireless, "PUSCH Performance for 1000-bit TBS"
- [10] R1-157179, Sierra Wireless, "PUSCH RV Cycle Performance and Discussion"
- [11] R1-132743, Sierra Wireless, "Further results for PBCH Correlation Decoder for MTC Coverage Improvement" [12] R1-132908, Sierra Wireless, "An Analysis of Repetition and "Keep Trying" PBCH Decoding Methods"
- [13] R1-134145, Sierra Wireless, "Additional Single Receiver Performance Results for the "Keep Trying" PBCH decoding method"
- [14] R1-152190, Ericsson, "PBCH repetition for MTC"
- [15] R1-157854 Ericsson, "Bundle sizes for MTC"
- [16] R1-154845, Sony, "Summary of Simulation Results for M-PDCCH"
- [17] R1-154211, Sony, "Cross PRB Channel Estimation for M-PDCCH"
- [18] R1-152281, Nokia Networks, "Summary of PDSCH Simulation Results"
- [19] R1-152282, Nokia Networks, "Summary of PRACH Simulation Results"
- [20] R1-152289, Sony, "Summary of Simulation Results for Physical Downlink Control Channel for MTC"
- [21] R1-153580, Nokia Networks, "Summary of PDSCH and SIB/RAR/Paging Simulation Results"
- [22] R1-151216, Ericsson, "PUSCH channel estimation aspects for MTC"