

Bilan de liaison 4G

Marceau Coupechoux
INFRES/RMS



Plan du cours

- Introduction
- Concepts de base
 - Principes du bilan de liaison
 - SINR et sensibilité
 - Propagation
 - Antennes, diversité et sectorisation
 - Bruit thermique et facteur de bruit
 - Pertes câble
 - Marges
- Bilan de liaison LTE
 - Paramètres généraux
 - Voie descendante
 - Voie montante
 - Rayons de cellule typiques
- Conclusion
- Références

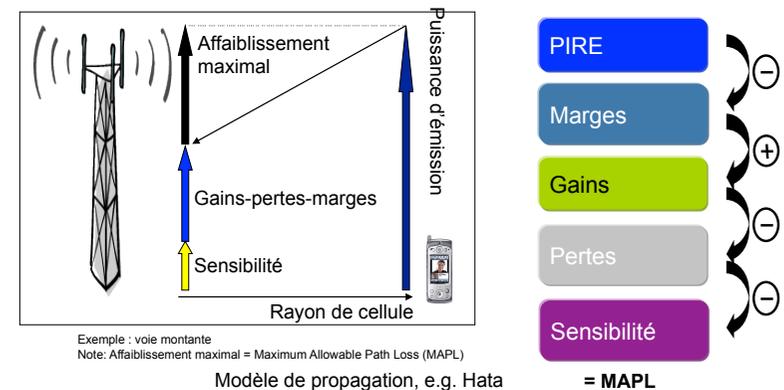
Introduction

- **Problématiques :**
 - Dimensionnement d'un réseau cellulaire : combien de stations de base sont-elles nécessaires pour couvrir une région caractérisée par une certaine propagation radio et un certain trafic ?
 - Capacité d'un réseau cellulaire : combien d'abonnés peuvent être servis par le réseau ?
 - Couverture : quelle est le rayon des cellules ?
 - Déploiement : quelles techniques radio utiliser pour augmenter la couverture et/ou la capacité ?
- Dans ce cours, on s'intéresse à la couverture en utilisant un outil approximatif : **le bilan de liaison.**

Concepts de base

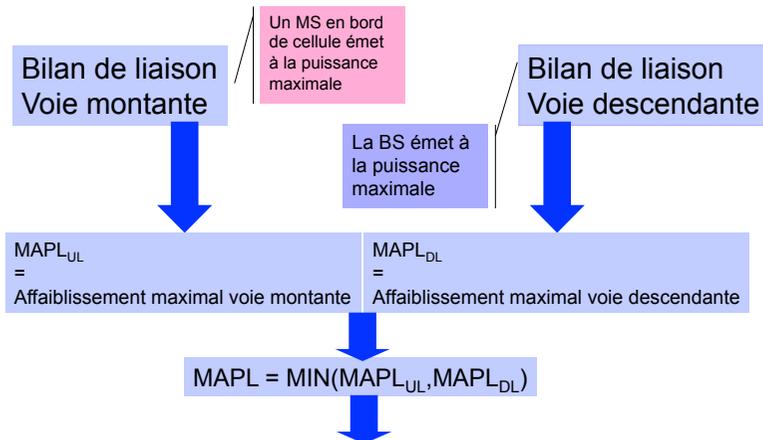
Principes du bilan de liaison

- **Principe :** on dispose d'un budget de puissance auquel on retranche les pertes et les marges ; la puissance reçue doit être supérieure à la sensibilité du récepteur.



Affaiblissement maximal [dB] → Rayon de cellule [Km]

Concepts de base Principes du bilan de liaison



NB : les bilans voie montante et voie descendante sont indépendants

Rayon de cellule

5

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Principes du bilan de liaison

- L'affaiblissement maximal (MAPL) est le minimum de l'affaiblissement sur la voie montante et sur la voie descendante.
- Pour améliorer la couverture, il faut identifier le lien limitant :
 - Lien limité par la voie montante (*UL limited*) : $MAPL_{UL} < MAPL_{DL}$
 - Lien limité par la voie descendante (*DL limited*) : $MAPL_{DL} < MAPL_{UL}$
- L'extension de la couverture se fait par un choix approprié de fonctionnalités radio :
 - Lien limité par la voie montante :
 - Diversité en réception (2 ou 4 antennes),
 - Tower Mounted Amplifier (TMA).
 - Lien limité par la voie descendante :
 - Amplificateur de haute puissance,
 - Diversité en transmission,
 - Configuration BTS à faibles pertes.

6

Institut Mines-Télécom



Concepts de base SINR et sensibilité

- **Sensibilité** = puissance minimale nécessaire pour garantir une certaine qualité de service ou un certain débit en présence de bruit seul
- Technologies à « canal dédié » (UMTS R99, GSM) : on vise un SNR ou SINR cible γ^* . En dessous de ce seuil, la qualité de service n'est pas acceptable.
- Technologies à « canal partagé » (HSDPA, LTE) : le débit est une fonction croissante du SNR/SINR. On déduit du débit minimum visé, le seuil de SNR ou SINR γ^* à obtenir.
- A partir de la puissance du bruit et du SNR seuil, on déduit la sensibilité :

$$\gamma^* = \frac{S}{N} \Rightarrow S = N\gamma^*$$

- Les interférences sont prises en compte dans la marge d'interférence.

7

Institut Mines-Télécom



Concepts de base SINR et sensibilité

- Rappel : Échelle logarithmique, le dB, le dBm
- On utilise une échelle logarithmique pour représenter les rapports signaux à bruit (ou à interférences)

$$X_{dB} = 10 \log_{10}(X_{fois}) \Rightarrow X_{fois} = 10^{(X_{dB}/10)}$$

10 dB = 10 fois
7 dB = 5 fois
3 dB = 2 fois
0 dB = 1 fois
-3 dB = 1/2 fois
-10 dB = 1/10 fois
-13 dB = 1/20 fois
-17 dB = 1/50 fois

$$\text{SNR}_{dB} = 10 \log_{10}(\text{SNR}_{fois})$$

- Le dB milliwatt ou dBm :

$$P_{dBm} = 10 \log_{10}(P_{mW})$$

$$\text{Ex : } \text{SNR}_{fois} = 2 \Leftrightarrow \text{SNR}_{dB} = 3 \text{ dB}$$

- Attention : on utilise rarement les connotations (mais cela ne signifie pas que 2 = 3 (!))

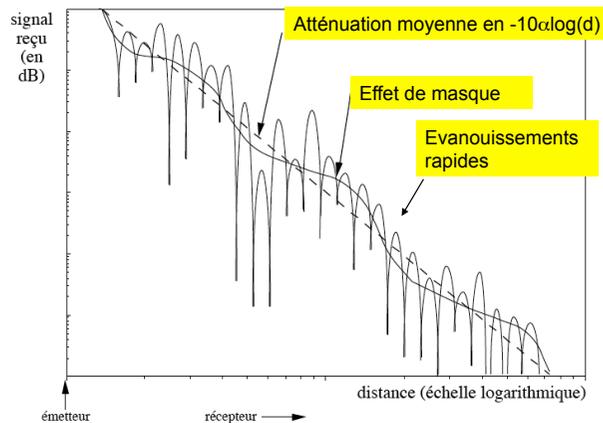
8

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Propagation

- Rappel : le modèle de propagation à trois étages.



9

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Propagation

- Dans les bilans de liaison :

- Atténuation moyenne : on utilise un modèle empirique
- Effet de masque : on prend une marge supplémentaire dans le calcul du MAPL
- Evanouissements rapides : ils sont généralement pris en compte dans la sensibilité à atteindre (sauf en UMTS R99), qui est elle-même issue de simulations de niveau lien (intégrant les évanouissements rapides).

10

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Propagation

- **Atténuation de parcours** : différence en dB entre la puissance émise et la puissance reçue.
- On utilise des modèles *empiriques* issus de campagnes de mesures et qui ne dépendent que de quelques paramètres caractérisant l'environnement.
- Quelques modèles :
 - **Okumura-Hata** : mesures faites à Tokyo en 1968, 150-1500 MHz, distances entre 1 et 10 Km, urban areas, suburban areas, open areas
 - **COST231-Hata** : 1999, étend le modèle d'Okumura-Hata à 1500-2000 MHz
 - **COST231-Walfish-Ikegami** : distances entre 20 m et 5 Km, 800-2000 MHz, LOS et NLOS
- Il existe d'autres modèles pour la propagation en intérieur, pour les micro-cellules situées en dessous des toits, etc.

11

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Propagation

- Modèle Okumura-Hata pour 150-1500 MHz :

$$L = A + B \log_{10} R - C$$

Avec :

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10} h_b$$

$$C = \begin{cases} 3.2(\log_{10}(11,75f))^2 - 4.97 & \text{(Urbain)} \\ 2(\log_{10}(f/28))^2 + 5.4 & \text{(Suburbain)} \\ 4.78(\log_{10} f)^2 - 18.33 \log_{10} f + 40.94 & \text{(Rural)} \end{cases}$$

$$f \text{ en MHz}$$

$$R \text{ en km}$$

$$h_b \text{ en m}$$

12

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Propagation

- Modèle COST231-Hata pour 1500-2000 MHz (environnement Urbain) :

$$L = A + B \log_{10} R - C$$

Avec :

$$A = 46.3 + 33.9 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10} h_b$$

$$C = (1.1 \log_{10} f - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10} f - 0.8) - 3$$

f en MHz

R en km

h_b en m

h_m en m

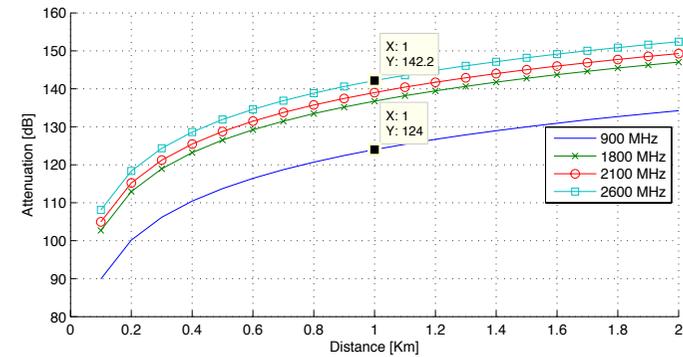
13

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Propagation

- Exemple en environnement urbain : 18 dB de différence à 1 Km entre 900 et 2600 MHz, peu de différences entre 2100 et 2600 MHz.



14

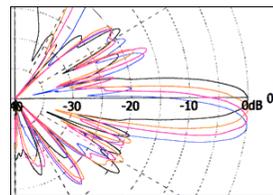
Institut Mines-Télécom



Concepts de base Antennes, diversité et sectorisation

- Principales caractéristiques d'une antenne (rappel) :

- Bande de fréquence,
- Ouverture horizontale (en °),
- Ouverture verticale (en °),
- Gain (en dBi),
- Polarisation (horizontale, verticale)
- Longueur (rarement plus de 2 m),
- Tilt électrique ou mécanique (en °).



tilt d'antenne

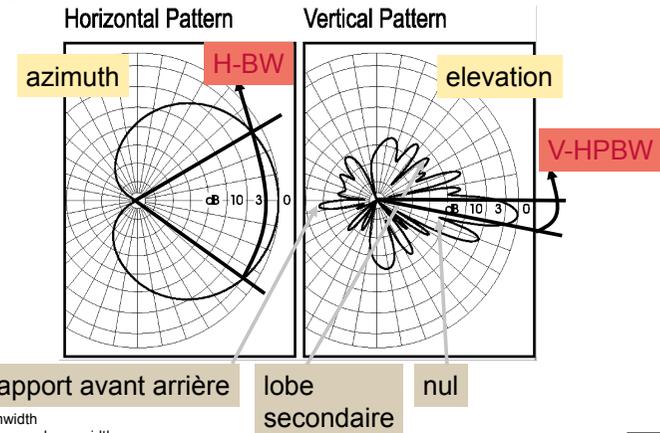
15

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Antennes, diversité et sectorisation

- Diagramme d'antenne



HBW: Horizontal beamwidth
V-HPBW: Vertical half power beamwidth

16

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Antennes, diversité et sectorisation

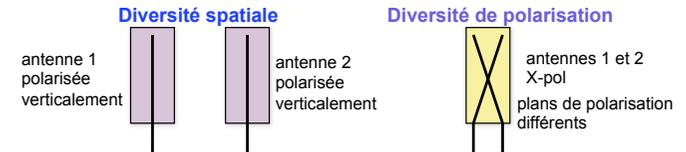
- Le gain dépend de la longueur, de la bande de fréquence et de la capacité de l'antenne à focaliser l'énergie dans une direction.
- Gains typiques d'antennes

Spectre	Omni	Tri-sectorisé
Bandes basses (700 — 900 MHz)	12 dBi	16 dBi
Bandes intermédiaires (1.3 – 2.3 GHz)	13 dBi	18 dBi
Bandes hautes (2.5 – 2.6 GHz)	14 dBi	19 dBi



Concepts de base Antennes, diversité et sectorisation

- La diversité de réception (ou d'antenne) réduit les effets des évanouissements rapides en combinant différents signaux décorrélés.
- Diversité spatiale** : deux antennes sont éloignées verticalement ou horizontalement. L'impact visuel est important. Gains importants en LOS : adaptée aux environnements ruraux.
- Diversité de polarisation** : les antennes sont dans des plans de polarisation différents. Plus adaptée aux environnements urbains.
- Gains typiques** : 3dB (2RxDiv), 6dB (4RxDiv)



Concepts de base Antennes, diversité et sectorisation

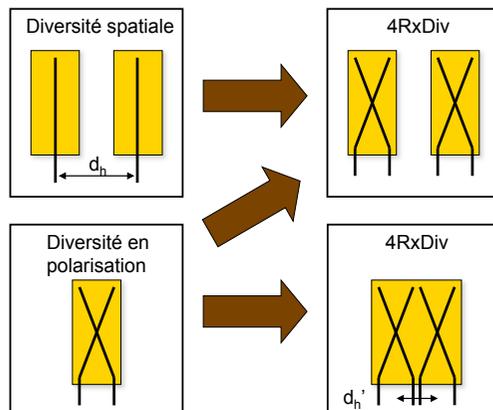
- Evolutions vers la 4RxDiv :

- Contraintes spatiales :**

- $d_h > 20\lambda = 3\text{m}$
- pour $f = 2\text{GHz}$
- $\lambda = c/f = 15\text{cm}$

- [Laiho02] recommande :**

- $d_h = 1,5\text{m}$
- $d_h' = 0,3\text{m}$



Concepts de base Antennes, diversité et sectorisation

- Sectorisation : accroître le nombre de secteurs par site**
- Impact sur le dimensionnement :**

- Le gain d'antenne est modifié (exemple à 900 MHz)
 - 1 secteur : 360°/12dBi
 - 3 secteurs : 65°/16dBi
 - 6 secteurs : 33°/18dBi

- Accroissement de la capacité (densification)

- Plus de modules hardware sont nécessaires par site**

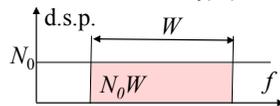
- Antennes
- Amplificateurs
- Capacités de traitement

- On observe généralement une légère dégradation du SINR quand on augmente le nombre de secteurs



Concepts de base Bruit thermique et facteur de bruit

- **Puissance du bruit (N)** = Bruit thermique (ou de fond) x Facteur de bruit de la station de base (BS)
- **Bruit de fond (background noise)**
 - $N_0 = -174 \text{ dBm/Hz} = 10 \log(kT)$, d.s.p.
 - $k = 1.38066 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ (constante de Boltzmann), $T = 290 \text{ K}$
 - Puissance du bruit dans la bande: $N_0 W = -174 + 10 \log(W)$
- **Facteur de bruit de la BS**
 - Bruit introduit par les composants de la chaîne de réception
 - Valeur typique: $NF = 5 \text{ dB}$



$$N = N_0 W \cdot NF$$

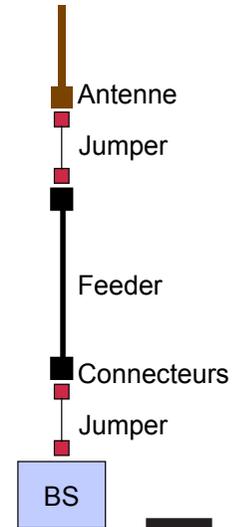
21

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Pertes câble

- **Pertes câbles** : feeder, jumper, connecteur
- Le système feeder est l'interface entre l'antenne et la BS.
- **Le feeder** est un gros câble rigide dont l'atténuation dépend du type, de la longueur et de la bande de fréquence.
Exemple : LCF 7/8" 900 MHz 3.7dB/100m
- **Le jumper** est un câble souple qui est utilisé aux extrémités du feeder. Ses pertes sont plus importantes.
Exemple : 0.15dB/1m
- **Les connecteurs** qui relient des câbles ensemble introduisent des pertes supplémentaires.
- D'autres composants peuvent intervenir en cas de partage de feeder (perte diplexer) ou de co-sitage (filtres).



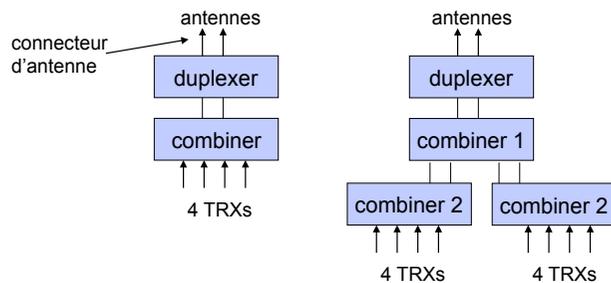
22

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Pertes câble

- Duplexer : permet de combiner/séparer émission et réception sur une même bande de fréquence.
- Combiner : permet de combiner/séparer plusieurs fréquences d'une même bande de fréquences.



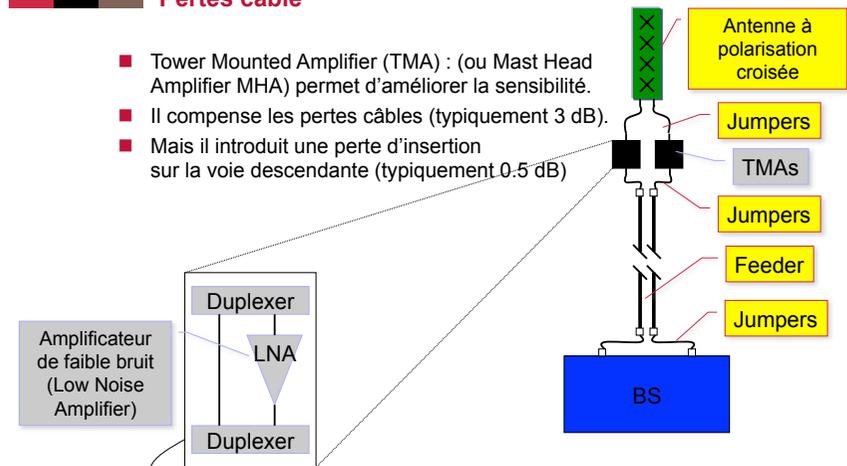
23

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Pertes câble

- Tower Mounted Amplifier (TMA) : (ou Mast Head Amplifier MHA) permet d'améliorer la sensibilité.
- Il compense les pertes câbles (typiquement 3 dB).
- Mais il introduit une perte d'insertion sur la voie descendante (typiquement 0.5 dB)



[Laiho02]

alimentation

24

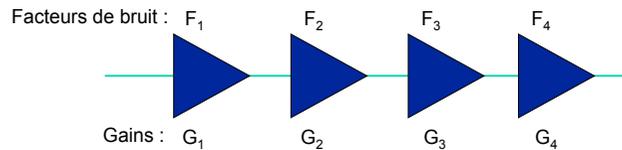
Institut Mines-Télécom



Concepts de base Pertes câble

- **Réduction du facteur de bruit** : Le facteur de bruit global d'une cascade de composants actifs ou passifs est donné par la **formule de Friis** :

$$NF = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_1} + \frac{NF_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{NF_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \dots$$



- Le nombre d'étages dépend de l'architecture du site
- Typiquement : TMA – Feeder – Connecteurs – BS si on néglige les jumpers
- L'impact du TMA est souvent modélisé par la suppression des pertes câbles et connecteurs sur la voie montante : intéressant pour les antennes hautes

[Laiho02]

25

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Pertes câble

- **Exemple de calcul du facteur de bruit** :

- NB : les composants passifs ont un facteur de bruit égal à leur perte
- Gain typique d'un TMA : 12dB
- Facteur de bruit typique d'un TMA : 2dB

Elément	Gain	Facteur de bruit
TMA	12dB	2dB
Feeder	-2dB	2dB
Connecteurs	-0.3dB	0.3dB
BS	-	3dB

- Sans TMA : NF = 5.3dB
- Avec TMA : NF = 2.4dB
- Gain apporté par le TMA : 2.9dB

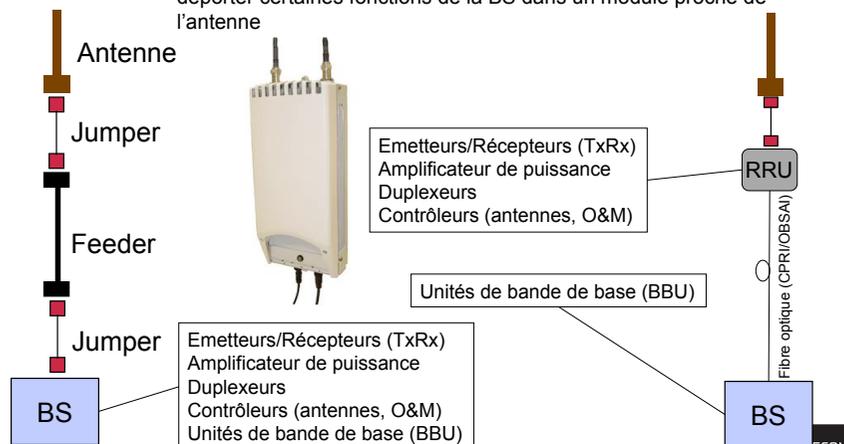
26

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Pertes câble

- **RRU (Remote Radio Unit) ou RRH (Remote Radio Head)** : permet de déporter certaines fonctions de la BS dans un module proche de l'antenne



27

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Marges

- **Principales marges** :

- Marge de l'effet de masque (*shadowing*)
- Marge des évanouissements rapides (*fast fading*, pour l'UMTS)
- Marge de pénétration dans les bâtiments
- Marge d'interférence
- Pertes dues au corps humain

- **Pertes dues au corps humain** : pertes introduites par la tête de l'utilisateur quand il téléphone. La valeur recommandée est 3 dB [GSM03.30]. 0dB pour la visiophonie ou les services de données.

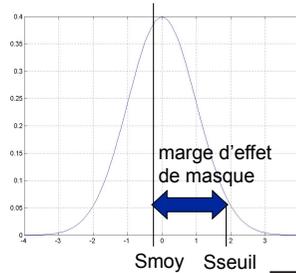
28

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Marges

- **Marge d'effet de masque** : L'effet de masque est modélisé par une loi log-normale ; la marge d'effet de masque assure un niveau de signal dans toute la cellule avec une probabilité de 90% - 95%.
- **La marge d'effet de masque dépend de l'écart-type de la loi log-normale.**
- **L'écart-type dépend de l'environnement :**
 - proche de 8 dB en milieu urbain dense,
 - proche de 6 dB en milieu rural.
- **Deux approches :**
 - sur l'ensemble de la cellule,
 - en bordure de cellule.



29

Institut Mines-Télécom

Concepts de base Marges

- **L'effet de masque (en dB)** est modélisé par une loi normale (de moyenne nulle et d'écart type σ caractéristique de l'environnement)
 - On veut s'assurer une couverture à (1-Pout)% de la cellule
 - ou alternativement une couverture à (1-Pout)% en bordure de cellule
 - Dans les zones urbaines, (1-Pout)=95% ou plus
 - Dans les zones rurales, (1-Pout)=90% ou plus
- **Modèle de propagation**
 - L'atténuation du signal en dB suit une loi Gaussienne
 - de moyenne : $A+B\log(r)$
 - de variance : σ^2

$$Att(r) = PL(r) + s = A + B \log(r) + s$$

$$E[Att] = A + B \log(r)$$

$$E[Att^2] = \sigma^2$$

[Viterbi94]

30

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Marges

- On cherche la marge de *shadowing* K_s
- On calcule la probabilité de dépasser cette marge à une distance r

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{+\infty} e^{-t^2/2} dt$$

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(x/\sqrt{2})$$

$$P_{out}(r) = \Pr(s + PL(r) > PL(R) + K_s)$$

$$= \Pr(s > K_s - B \log(r/R))$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{K_s - B \log(r/R)}{\sigma}}^{+\infty} e^{-t^2/2} dt$$

$$= Q\left(\frac{K_s - B \log(r/R)}{\sigma}\right)$$

[Viterbi94]

31

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Marges

- En **bordure** de cellule : $r=R$ $P_{out}(R) = Q\left(\frac{K_s}{\sigma}\right)$ (Formule de Jakes)
- Avec une contrainte de 90% de couverture en bordure de cellule (Pout(R)=0.1) et $\sigma=8$ dB, la marge est de 7.8dB
- Pour éviter l'**effet ping-pong**, l'UE peut quitter la cellule au-delà du rayon R , $r=aR$:

$$P_{out}(aR) = Q\left(\frac{K_s - B \log(a)}{\sigma}\right)$$
- Exemple : avec $a=1.1$ et $B=35$, la marge doit être de 9.3dB
- En **moyenne** sur la cellule :

$$\bar{P}_{out} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R P_{out}(r) 2\pi r dr$$

$$\bar{P}_{out} = 2 \int_0^1 Q\left(\frac{K_s - B \log(t)}{\sigma}\right) t dt$$

[Viterbi94]

32

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Marges

- Calcul de la marge de shadowing avec la formule de Jakes :

$$K_s = \sigma Q^{-1}(P_{out})$$

- Avec :

1-Pout	Marge [dB] / sigma [dB]	
0,9	1,28	1,28
0,95	1,64	1,64
0,99	2,33	2,33

33

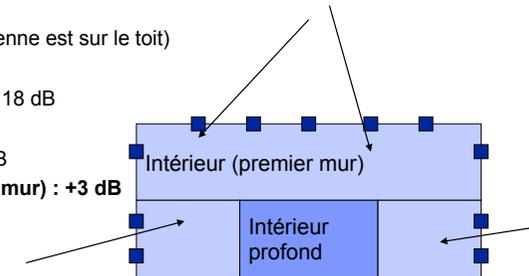
Institut Mines-Télécom



Concepts de base Marges

- **Marges de pénétration** : pertes dues à la traversée des murs, vitres ou parois ; à prendre en compte si l'on désire couvrir l'intérieur des bâtiments ou des voitures.

- Voiture sans kit : ~ 7 dB
- Voiture avec kit : 0 dB (l'antenne est sur le toit)
- **Intérieur (premier mur)** :
 - milieu urbain dense : ~ 18 dB
 - milieu urbain : ~ 15 dB
 - milieu rural : ~ 10-12 dB
- **Intérieur profond (second mur) : +3 dB**
deep indoor



34

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Marges

- **Marge d'interférence** : le bilan de liaison est fondée sur le calcul d'une sensibilité en présence de bruit. Pour prendre en compte l'interférence co-canal, on ajoute une marge d'interférence.

- Soit S_0 la sensibilité en absence d'interférences, i.e. la puissance reçue minimale pour atteindre un seuil de SNR, G_0 . C'est S_0 qui apparaît dans le bilan de liaison.

- Soit S_1 la sensibilité en présence d'interférences, i.e. la puissance reçue minimale pour atteindre le même seuil mais en considérant les interférences.

- Prendre en compte les interférences revient à augmenter la sensibilité d'une valeur égale à la marge d'interférence.

- Marge d'interférence typique : 3 dB

35

Institut Mines-Télécom



Concepts de base Marges

- En absence d'interférence : $G_0 = \frac{S_0}{N}$

- En présence d'interférence (le seuil G_0 est identique) :

$$G_0 = \frac{S_1}{N+I} = \frac{S_1}{N} \times \frac{N}{N+I}$$

- En dB : $G_0[dB] = S_1[dB] - N[dB] - 10 \log \frac{N+I}{N}$

- D'où : $S_1[dB] = S_0[dB] + 10 \log \frac{N+I}{N}$
} Marge d'interférence

36

Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE

Paramètres généraux

- **Bandes d'opération** : la norme a défini de nombreuses bandes de fréquences pour le mode FDD (autour de 700, 800, 900, 1400, 1800, 2100, 2600 MHz).
 - Bandes typiques en Europe : 800, 900, 1800, 2100, 2600 MHz
 - Bandes typiques aux Etats-Unis : 700, 1700, 2100 MHz
- **Largeurs de bande** : les ressources radio sont organisées en PRB (Physical Radio Block) constitués de 12 sous-porteuses de 15 KHz et de 7 symboles OFDM/SC-FDMA.

Largeur de bande	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Sous-porteuses	72	180	300	600	900	1200
PRB	6	15	25	50	75	100

37

Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE

Paramètres généraux

- **Modes de transmission** : il y a 7 modes de transmission
 - TM1 : SIMO (unique port d'antenne)
 - TM2 : MIMO/TxDiv (diversité en transmission)
 - TM3 : MIMO/SM-OL (multiplexage spatial en boucle ouverte)
 - TM4 : MIMO/SM-CL (multiplexage spatial en boucle fermée)
 - TM5 : MU-MIMO (MIMO multi-utilisateur)
 - TM6 : Beamforming CL (formation de faisceaux en boucle fermée)
 - TM7 : Beamforming (formation de faisceaux)
- Les modes de transmission TM3 à TM6 nécessitent de bonnes conditions radio. TM7 n'est pas toujours disponible.
- Les modes TM1 et TM2 sont les solutions de repli à considérer dans le bilan de liaison.
- La diversité en transmission apporte un gain typique de 3dB.
- Si deux amplificateurs de puissance sont utilisés, on a un gain supplémentaire de 3dB.

38

Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE

Paramètres généraux

- **Correspondance débit vs. SNR** : on cherche à atteindre un débit cible en bordure de cellule. Le lien entre débit et SNR peut être obtenu selon les deux étapes suivantes :
 - **Simulations de niveau lien** : on fixe un BLER cible (par exemple 10%), on simule les chaînes de transmission et de réception pour différentes modulations et taux de codage, on déduit le lien débit vs. SNR.
 - **Formule de Shannon approchée** : on cherche une approximation de la courbe débit vs. SINR (obtenue par simulations) de la forme :

$$C = \alpha W \log_2 \left(1 + \frac{SNR}{\beta} \right)$$

ou de la forme :

$$C = \begin{cases} 0 & \text{si } SNR < SNR_{min} \\ \alpha W \log_2(1 + SNR) & \text{si } SNR_{min} \leq SNR \leq SNR_{max} \\ C_{max} & \text{si } SNR > SNR_{max} \end{cases}$$

39

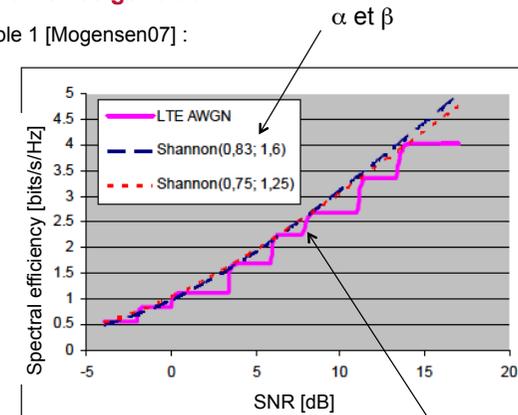
Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE

Paramètres généraux

- Exemple 1 [Mogensen07] :



Voie descendante, TU10

QPSK: 1/6, 1/3, 1/2, 2/3
 16QAM: 1/2, 2/3, 3/4
 64QAM: 1/2, 2/3, 3/4, 4/5

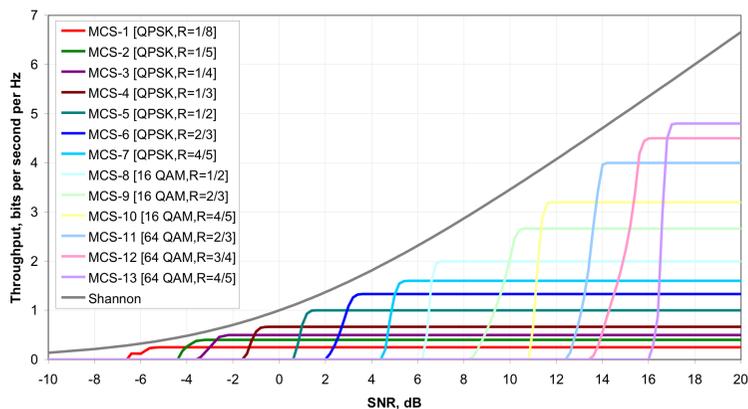
40

Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE Paramètres généraux

- Exemple 2 [36.942] :



TU10 (DL)

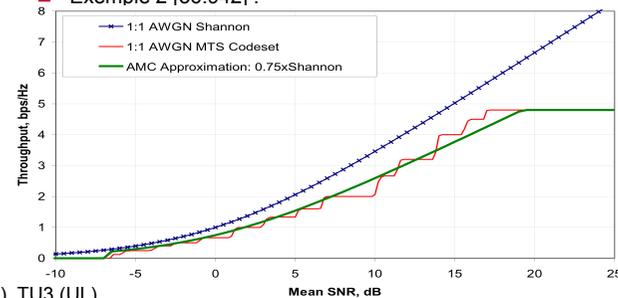


41

Institut Mines-Télécom

Bilan de liaison LTE Paramètres généraux

- Exemple 2 [36.942] :



TU10 (DL), TU3 (UL)

	DL	UL	Note
α	0,6	0,4	Perte d'implémentation
SNRmin	-10 dB	-10 dB	QPSK 1/8 (DL) 1/5 (UL)
SNRmax	22 dB	15 dB	64QAM 4/5 (DL) 16QAM 3/4 (UL)
Cmax/W	4,4 bits/s/Hz	2,0 bits/s/Hz	



42

Institut Mines-Télécom

Bilan de liaison LTE Paramètres généraux

- Modèles de canaux à évanouissement** : la norme a défini 3 nouveaux types de canaux [36.104]
 - Enhanced Typical Urban (**ETU**) : 9 chemins, étalement temporel important, environnement urbain et grandes cellules
 - Enhanced Vehicular A (**EVA**) : 9 chemins, étalement temporel intermédiaire, environnement urbain et grandes cellules
 - Enhanced Pedestrian A (**EPA**) : 7 chemins, étalement temporel faible, environnements intérieur et petites cellules

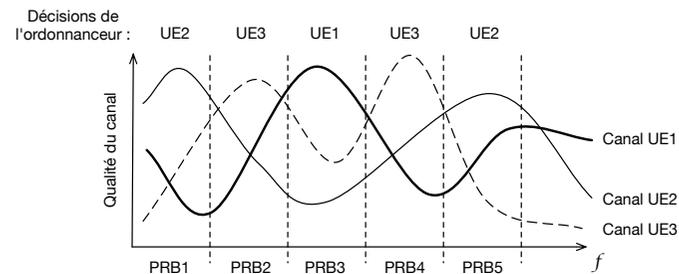


43

Institut Mines-Télécom

Bilan de liaison LTE Paramètres généraux

- Ordonnancement** : il est responsable de l'allocation dynamique des ressources radio aux UE dans les domaines fréquentiel et temporel.
- Prendre en compte l'état du canal dans ces deux domaines permet d'accroître les performances.
- Principe de l'ordonnancement dans le domaine fréquentiel :

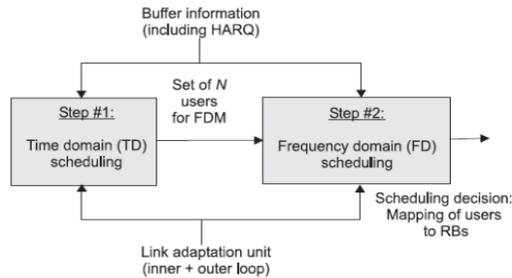


44

Institut Mines-Télécom

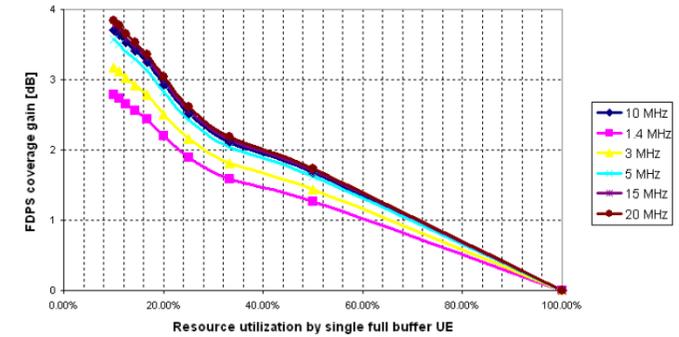
Bilan de liaison LTE Paramètres généraux

- Principe d'un ordonnanceur [NSN11] prenant en compte les variations du canal :
 - La partie TD sélectionne N utilisateurs en fonction des contraintes de délai, de la taille des mémoires, des retransmissions, etc.
 - La partie FD alloue les RBs selon un critère PF (Proportional Fairness).

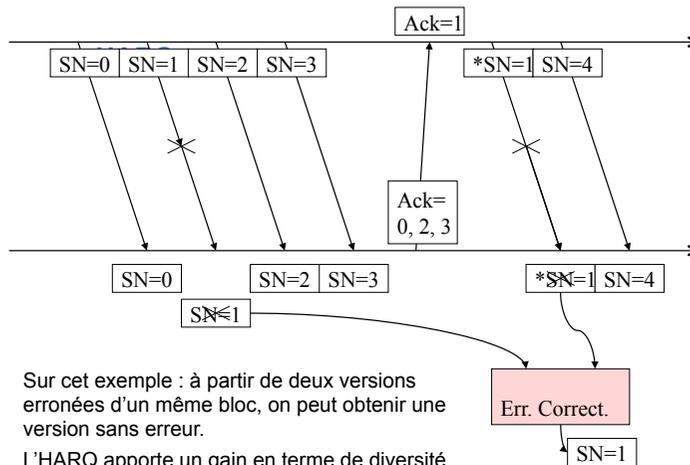


Bilan de liaison LTE Paramètres généraux

- Exemples [NSN11] de gains obtenus avec FDPS sur la méthode Round Robin (RR).
- Les gains sont plus importants quand :
 - La bande est grande
 - Le nombre d'utilisateurs est grand



Bilan de liaison LTE Paramètres généraux



- Sur cet exemple : à partir de deux versions erronées d'un même bloc, on peut obtenir une version sans erreur.
- L'HARQ apporte un gain en terme de diversité dans le temps

Bilan de liaison LTE Voie descendante

Paramètres	
Débit en bordure de cellule [Mbps]	1,0
Fréquence porteuse [MHz]	2600,00
Largeur de bande [MHz]	10,00
Paramètre efficacité spectrale 1	1,25
Paramètre efficacité spectrale 2	0,75
Hauteur d'antenne eNB [m]	30,00
Hauteur d'antenne UE [m]	1,50
Fiabilité de la couverture	0,99
Ecart type du shadowing [dB]	8,00
Charge	1,00
Nombre de transmissions HARQ	4,0
Emission	
Puissance d'émission / antenne [dBm]	46,00
Nombre d'antennes de transmission	2,00
Puissance totale eNB [dB]	49,01
Gain d'antenne eNB [dB]	19,00
Pertes câbles et connecteurs [dB]	1,50
Perte d'insertion du TMA [dB]	0,50
PIRE [dBm]	66,21
Réception	
Required SINR [dB]	-9,17
Densité du bruit thermique [dBm/Hz]	-174,00
Puissance du bruit [dBm]	-104,00
Facteur de bruit UE [dB]	8,00
Gain d'antenne UE [dB]	0,00
Gain de diversité d'antenne [dB]	3,00
Gain d'ordonnement [dB]	3,00
Gain HARQ [dB]	6,02
Surcharge protocolaire [%]	29,00
Surcharge protocolaire [dB]	1,49
Sensibilité [dBm]	-109,70
Marges	
SIRmin [dB]	-3,00
Marge d'interférence [dB]	1,20
Marge de shadowing [dB]	18,64
Perte due au corps humain [dB]	0,00
Marge de pénétration [dB]	20,00
Total marges [dB]	39,84
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	136,07
Environnement	Suburbain
Hata A	141,65
Hata B	35,22
Correction factor	0,06
Rayon de cellule [Km]	0,70

- Débit cible en bordure de cellule
- Paramètres efficacité spectrale
- Hauteurs d'antenne utilisées par le modèle de propagation
- Fiabilité : pour la marge de shadowing et le SIRmin
- Ecart-type du shadowing utilisé par la formule de Jakes pour le calcul de la marge de shadowing
- Charge = proportion des ressources radio utilisées (utilisée pour le calcul de la marge d'interférence)
- Les retransmissions HARQ induisent un gain en diversité

Bilan de liaison LTE Voie descendante

Paramètres	
Débit en bordure de cellule [Mbps]	1,0
Fréquence porteuse [MHz]	2600,00
Largeur de bande [MHz]	10,00
Paramètre efficacité spectrale 1	1,25
Paramètre efficacité spectrale 2	0,75
Hauteur d'antenne eNB [m]	30,00
Hauteur d'antenne UE [m]	1,50
Fiabilité de la couverture	0,99
Ecart type du shadowing [dB]	8,00
Charge	1,00
Nombre de transmissions HARQ	4,0
Émission	
Puissance d'émission / antenne [dBm]	46,00
Nombre d'antennes de transmission	2,00
Puissance totale eNB [dB]	49,01
Gain d'antenne eNB [dB]	19,00
Pertes câbles et connecteurs [dB]	1,30
Perte d'insertion du TMA [dB]	0,50
PIRE [dBm]	66,21
Réception	
Required SINR [dB]	-9,17
Densité du bruit thermique [dBm/Hz]	-174,00
Puissance du bruit [dBm]	-104,00
Facteur de bruit UE [dB]	8,00
Gain d'antenne UE [dB]	0,00
Gain de diversité d'antenne [dB]	3,00
Gain d'ordonnancement [dB]	3,00
Gain HARQ [dB]	6,02
Surcharge protocolaire [%]	29,00
Surcharge protocolaire [dB]	1,49
Sensibilité [dBm]	-109,70
Marges	
SIRmin [dB]	-3,00
Marge d'interférence [dB]	1,20
Marge de shadowing [dB]	18,64
Perte due au corps humain [dB]	0,00
Marge de pénétration [dB]	20,00
Total marges [dB]	39,84
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	136,07
Environnement	Suburbain
Hata A	141,65
Hata B	35,22
Correction factor	0,06
Rayon de cellule [Km]	0,70

2 antennes d'émission avec diversité en transmission

= Puissance par antenne + 10Log(#antennes)

Le gain d'antenne dépend de la bande de fréquence et du nombre de secteurs (ici sites tri-sectorisés)

PIRE = Puissance totale + Gain d'antenne - Pertes câbles - Insertion du TMA



49

Institut Mines-Télécom

Bilan de liaison LTE Voie descendante

Paramètres	
Débit en bordure de cellule [Mbps]	1,0
Fréquence porteuse [MHz]	2600,00
Largeur de bande [MHz]	10,00
Paramètre efficacité spectrale 1	1,25
Paramètre efficacité spectrale 2	0,75
Hauteur d'antenne eNB [m]	30,00
Hauteur d'antenne UE [m]	1,50
Fiabilité de la couverture	0,99
Ecart type du shadowing [dB]	8,00
Charge	1,00
Nombre de transmissions HARQ	4,0
Émission	
Puissance d'émission / antenne [dBm]	46,00
Nombre d'antennes de transmission	2,00
Puissance totale eNB [dB]	49,01
Gain d'antenne eNB [dB]	19,00
Pertes câbles et connecteurs [dB]	1,30
Perte d'insertion du TMA [dB]	0,50
PIRE [dBm]	66,21
Réception	
Required SINR [dB]	-9,17
Densité du bruit thermique [dBm/Hz]	-174,00
Puissance du bruit [dBm]	-104,00
Facteur de bruit UE [dB]	8,00
Gain d'antenne UE [dB]	0,00
Gain de diversité d'antenne [dB]	3,00
Gain d'ordonnancement [dB]	3,00
Gain HARQ [dB]	6,02
Surcharge protocolaire [%]	29,00
Surcharge protocolaire [dB]	1,49
Sensibilité [dBm]	-109,70
Marges	
SIRmin [dB]	-3,00
Marge d'interférence [dB]	1,20
Marge de shadowing [dB]	18,64
Perte due au corps humain [dB]	0,00
Marge de pénétration [dB]	20,00
Total marges [dB]	39,84
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	136,07
Environnement	Suburbain
Hata A	141,65
Hata B	35,22
Correction factor	0,06
Rayon de cellule [Km]	0,70

SINR obtenu en fonction du débit cible et de la formule de l'efficacité spectrale

En LTE, les UEs ont deux antennes de réception

Valeur typique obtenue par simulation (dépend du nombre d'UEs et de la bande)

Gain HARQ = 10LOG(#transmissions HARQ)

Surcharge due aux canaux communs

S = SINR + N + NF - Gains + Surcharge protocolaire



50

Institut Mines-Télécom

Bilan de liaison LTE Voie descendante

- **SINR cible** : on inverse la formule de Shannon approchée donnant l'efficacité spectrale en fonction du SNR.

$$SNR_{cible} = 10 \log_{10}(\beta(2^{\frac{C_{cible}}{\alpha W}} - 1))$$

$$\gamma^* = 10 \log_{10}(\beta(2^{\frac{C^*}{\alpha W}} - 1))$$



51

Institut Mines-Télécom

Bilan de liaison LTE Voie descendante

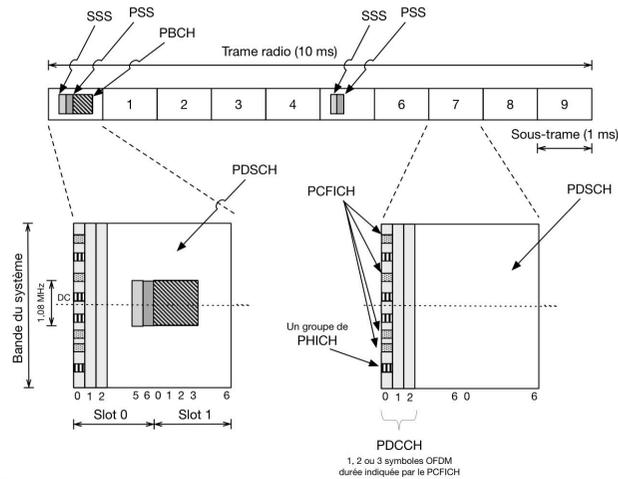
- **Surcharge protocolaire** : elle est due à la transmission des PDCCH, SSS/PSS, PBCH et à la transmission des signaux de référence (RS Reference Signals).
 - Plus la largeur de bande est faible, plus la surcharge est importante
 - Ordre de grandeur : 30%
 - Exemple : 30% induit une perte en puissance de 10LOG(1-0.3)=-1,5 dB
- PDCCH : 1, 2, ou 3 (ou 4 pour 1,4 MHz) symboles OFDM par sous-trame
- PBCH : 4 symboles OFDM x 72 sous-porteuses dans le second slot de chaque trame
- SSS/PSS : 4 symboles OFDM x 62 sous-porteuses par trame
- RS : 4 (1 antenne), 8 (2 antennes) ou 12 (4 antennes) RE par RB



52

Institut Mines-Télécom

Bilan de liaison LTE Voie descendante



53

Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE Voie descendante

- Ordres de grandeur :

BW [MHz]	Surcharge DL (%)
1,4	34
3	31
5	30
10	29
15	29
20	29

54

Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE Voie descendante

Paramètres	
Débit en bordure de cellule [Mbps]	1,0
Fréquence porteuse [MHz]	2600,00
Largeur de bande [MHz]	10,00
Paramètre efficacité spectrale 1	1,25
Paramètre efficacité spectrale 2	0,75
Hauteur d'antenne eNB [m]	30,00
Hauteur d'antenne UE [m]	1,50
Fiabilité de la couverture	0,99
Ecart type du shadowing [dB]	8,00
Charge	1,00
Nombre de transmissions HARQ	4,0
Emission	
Puissance d'émission / antenne [dBm]	46,00
Nombre d'antennes de transmission	2,00
Puissance totale eNB [dB]	49,01
Gain d'antenne eNB [dB]	19,00
Pertes câbles et connecteurs [dB]	1,30
Perte d'insertion du TMA [dB]	0,50
PIRE [dBm]	66,21
Réception	
Required SINR [dB]	-9,17
Densité du bruit thermique [dBm/Hz]	-174,00
Puissance du bruit [dBm]	-104,00
Facteur de bruit UE [dB]	8,00
Gain d'antenne UE [dB]	0,00
Gain de diversité d'antenne [dB]	3,00
Gain d'ordonnement [dB]	3,00
Gain HARQ [dB]	6,02
Surcharge protocolaire [%]	29,00
Surcharge protocolaire [dB]	1,49
Sensibilité [dBm]	-109,70
Marges	
SIRmin [dB]	-3,00
Marge d'interférence [dB]	1,20
Marge de shadowing [dB]	18,64
Perte due au corps humain [dB]	0,00
Marge de pénétration [dB]	20,00
Total marges [dB]	39,84
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	136,07
Environnement	Suburbain
Hata A	141,65
Hata B	35,22
Correction factor	0,06
Rayon de cellule [Km]	0,70

$$MI = -10 \log(1 - \text{charge} * \text{SINR} / \text{SIRmin})$$

Formule de Jakes

Marges = MI + Shadowing + Corps humain + Penetration

55

Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE Voie descendante

- Marge d'interférence** : On obtient par simulation le SIRmin en fonction de la fiabilité de couverture requise. On déduit ensuite la marge d'interférence de SIRmin et du SINR cible de la façon suivante :

$$\gamma^* = \frac{S}{\eta I + N} = \frac{1}{\frac{\eta}{\text{SIR}_{min}} + \frac{1}{\text{SNR}}} = \frac{\eta I + N}{N} = \frac{\text{SNR}}{\gamma^*} = \frac{1}{1 - \eta \frac{\gamma^*}{\text{SIR}_{min}}}$$

hb (m) / SIRmin DL (dB)	0,9	0,95	0,99
30	-1,3	-2	-3
45	-1,5	-2,1	-3,1
55	-1,6	-2,2	-3,2

Note 1 : SIRmin ne dépend que du modèle de propagation et de la fiabilité requise

Note 2 : avec le modèle COST231-Hata, SIRmin ne dépend que de B (i.e., de hb) et de la fiabilité

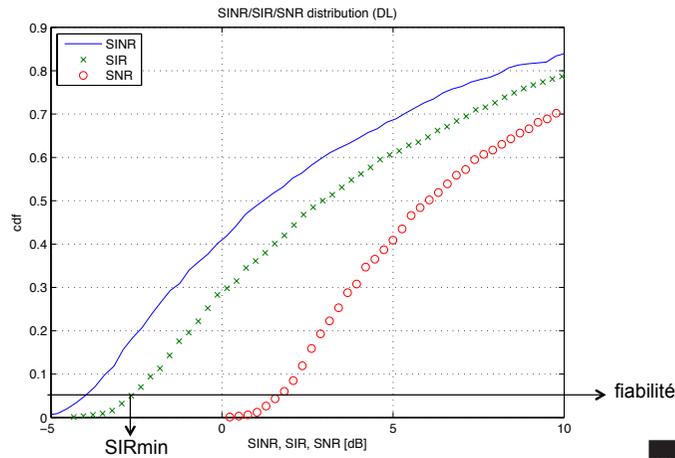
56

Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE Voie descendante

- Exemple : environnement urbain, hb=55m, fiabilité = 0,95



57

Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE Voie montante

Paramètres	
Débit en bordure de cellule [Mbps]	0,500
Nombre de PRB alloués	50,0
Fréquence porteuse [MHz]	2600,00
Largeur de bande [MHz]	10,00
Paramètre efficacité spectrale 1	1,25
Paramètre efficacité spectrale 2	0,75
Hauteur d'antenne eNB [m]	30,00
Hauteur d'antenne UE [m]	1,50
Fiabilité de la couverture	0,95
Ecart type du shadowing [dB]	8,00
Charge	1,00
Nombre de transmissions HARQ	4,0
Emission	
Puissance d'émission / antenne [dBm]	24,00
Nombre d'antennes de transmission	1,00
Puissance totale UE [dB]	24,00
Gain d'antenne UE [dBi]	0,00
PIRE [dBm]	24,00
Réception	
Required SINR [dB]	-11,61
Densité du bruit thermique [dBm/Hz]	-174,00
Puissance du bruit [dBm]	-104,46
Facteur de bruit eNB [dB]	2,00
Gain d'antenne eNB [dB]	19,00
Pertes câbles et connecteurs [dB]	1,30
Gain de diversité d'antenne [dB]	3,00
Gain d'ordonnancement [dB]	3,00
Gain HARQ [dB]	6,02
Gain TMA [dB]	1,30
Surcharge canaux communs [%]	24,00
Surcharge protocolaire [dB]	1,19
Sensibilité [dBm]	-138,10
Marges	
SIRmin [dB]	-1,30
Marge d'interférence [dB]	0,40
Marge de shadowing [dB]	13,12
Perte due au corps humain [dB]	0,00
Marge de pénétration [dB]	18,00
Total marges [dB]	31,52
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	130,58
Environnement	Suburbain
Hata A	141,55
Hata B	35,22
Correction factor	0,06
Rayon de cellule [Km]	0,49

Seule une sous-partie de la bande peut-être allouée à l'UE

Utilise la bande allouée à l'UE :
 $C = \alpha W_{\text{alloc}} \log_2(1 + \text{SINR}/\beta)$
 Avec $W_{\text{alloc}} = \# \text{PRB} \times 12 \times 15 \text{ KHz}$

Utilise la bande allouée à l'UE :
 $N = N_0 W_{\text{alloc}}$

58

Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE Voie montante

- Surcharge protocolaire :
 - Signaux de référence : 1 symbole OFDM par slot
 - PUCCH : 4 RBs par slot
 - PRACH : 6 RBs par trame (dépend de la configuration PRACH choisie)
- Ordres de grandeur sur la voie montante :

BW [MHz]	Surcharge UL (%)
1,4	39
3	32
5	26
10	24
15	23
20	22

59

Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE Voie montante

- Ordre de grandeur du SIRmin (COST231-Hata) sur la voie montante :

hb (m) / SIRmin UL (dB)	0,9	0,95	0,99
30	-0,1	-1,3	-2,8
45	-0,4	-1,4	-3
55	-0,6	-1,5	-3,1

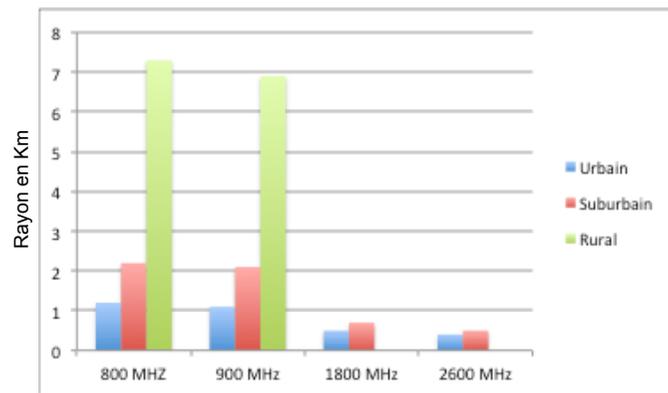
60

Institut Mines-Télécom



Bilan de liaison LTE

Rayons de cellule typiques



61

Institut Mines-Télécom



Conclusion

- **Avantages :**
 - Permet d'obtenir une première estimation du rayon de cellule
 - Simple et rapide
- **Limites de l'approche bilan de liaison :**
 - Ne prend pas en compte les interférences et la réutilisation fréquentielle de manière précise
 - Ne prend pas en compte la dynamique du système en termes de trafic utilisateur

62

Institut Mines-Télécom



Références

- [GSM05.05] Radio Transmission and Reception
- [GSM03.30] Radio Network Planning Aspects
- [Viterbi95] A. J. Viterbi, « CDMA - Principles of Spread Spectrum Communications », Addison-Wesley, 1995
- [Viterbi93] A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, « Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System », IEEE JSAC, August 1993
- [Gilhousen91] K. S. Gilhousen et al., « On the Capacity of a Cellular CDMA System », IEEE Trans. on Vehicular Technology, May 1991
- [Chan01] C. C. Chan and S. V. Hanly, « Calculating the Outage Probability in a CDMA Network with Spatial Poisson Traffic », IEEE Trans. on Vehicular Technology, Jan. 2001
- [Evans99] J. S. Evans and D. Everitt, « On the Teletraffic Capacity of CDMA Cellular Networks », IEEE Trans. on Vehicular Technology, Jan. 1999
- [Baccelli05] F. Baccelli et al., « Blocking Rates in Large CDMA Networks via a Spatial Erlang Formula », INFOCOM, 2005
- [Godlewski04] P. Godlewski, « La formule de la capacité cellulaire CDMA revisitée au second ordre », rapport ENST, 2004
- [Goldsmith05] A. Goldsmith, « Wireless Communications », Cambridge University Pres, 2005

63

Institut Mines-Télécom



Références

- [Sipilä00] Sipilä et al., « Estimation of Capacity and Required Transmission Power of WCDMA Downlink Based on a Downlink Pole Equation », Sipilä et al. VTC 2000
- [Holma04] « WCDMA for UMTS », Edited by H. Holma and A. Toskala, 3rd Edition, Wiley 2004
- [Veeravalli99] Veeravalli et al., « The Coverage-Capacity Tradeoff in Cellular CDMA Systems » Trans. on Vehicular Technology, 48, 1999
- [Viterbi94] « Soft Handoff Extends CDMA Cell Coverage and Increase Reverse Link Capacity », IEEE JSAC, Oct. 1994
- [Sipilä99a] Sipilä et al., « Modeling the Impact of the Fast Power Control on the WCDMA Uplink », IEEE VTC'99
- [Sipilä99b] Sipilä et al., « Soft Hand-over Gains in a Fast Power Controlled WCDMA Uplink », IEEE VTC'99
- [Laiho02] « Radio Network Planning and Optimisation for UMTS », Edited by J. Laiho, A. Wacker and T. Novosad, Wiley 2002
- [Lempiäinen03] « UMTS Radio Network Planning, Optimization and QoS Management », Edited by J. Lempiäinen and M. Manninen, Kluwer Academic Publisher 2003
- [25.942] 3GPP TR 25.942 « RF System Scenarios »
- [25.104] 3GPP TR 25.104 « Base Station radio transmission and reception (FDD) »
- [25.101] 3GPP TR 25.101 « User Equipment radio transmission and reception (FDD) »
- [Baccelli01] Baccelli et al., « Spatial Averages of Coverage Characteristics in Large CDMA Networks », Rapport INRIA N°4196, Juin 2001
- [Baccelli03] Baccelli et al., « Downlink Admission/Congestion Control and Maximal Load in Large CDMA Networks », Rapport INRIA N°4702, Jan. 2003
- [Mogensen07] Mogensen et al. « LTE Capacity Compared to the Shannon Bound », VTC 2007.
- [NSN11] Nokia Siemens Networks, « Air Interface Dimensionning » 2011.

64

Institut Mines-Télécom



Licence de droits d'usage



Contexte public } sans modifications

Par le téléchargement ou la consultation de ce document, l'utilisateur accepte la licence d'utilisation qui y est attachée, telle que détaillée dans les dispositions suivantes, et s'engage à la respecter intégralement.

La licence confère à l'utilisateur un droit d'usage sur le document consulté ou téléchargé, totalement ou en partie, dans les conditions définies ci-après et à l'exclusion expresse de toute utilisation commerciale.

Le droit d'usage défini par la licence autorise un usage à destination de tout public qui comprend :

- Le droit de reproduire tout ou partie du document sur support informatique ou papier,
- Le droit de diffuser tout ou partie du document au public sur support papier ou informatique, y compris par la mise à la disposition du public sur un réseau numérique.

Aucune modification du document dans son contenu, sa forme ou sa présentation n'est autorisée.

Les mentions relatives à la source du document et/ou à son auteur doivent être conservées dans leur intégralité.

Le droit d'usage défini par la licence est personnel, non exclusif et non transmissible.

Tout autre usage que ceux prévus par la licence est soumis à autorisation préalable et expresse de l'auteur : sitepedago@enst.fr

30/03/2007
Marceau Coupechoux



Licence de droits d'usage

ParisTech
UNIVERSITÉ PARIS SACLAY
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

