

Bilans de liaison : de la 2G à la 4G

Marceau Coupechoux
Telecom ParisTech
Département Informatique et Réseaux

Introduction

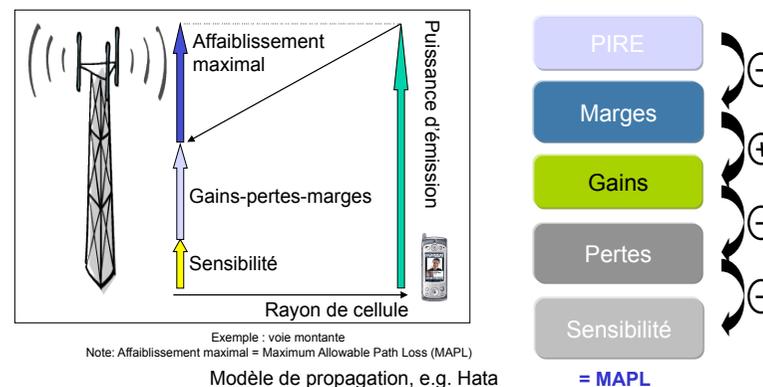
- Problématiques :
 - **Dimensionnement** d'un réseau cellulaire : combien de stations de base sont-elles nécessaires pour couvrir une région caractérisée par une certaine propagation radio et un certain trafic ?
 - **Capacité** d'un réseau cellulaire : combien d'abonnés peuvent être servis par le réseau ?
 - **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.

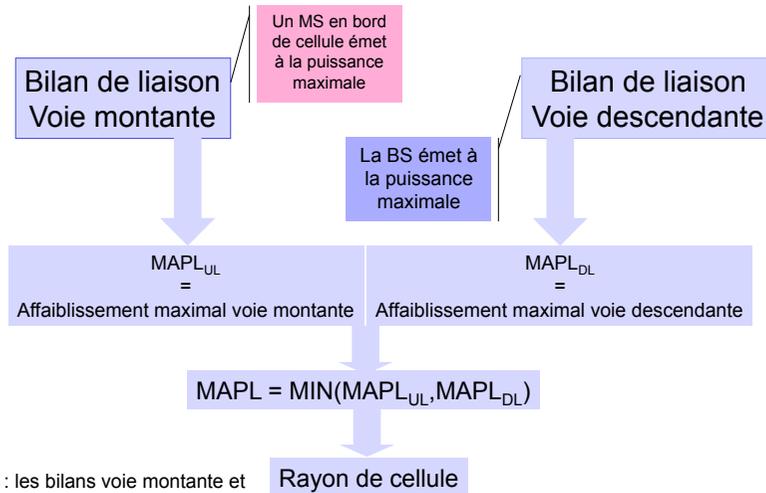
Bilans de liaison : du TDMA à l'OFDMA

- 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 GSM
 - Approche
 - Puissance du mobile
 - Sensibilité
 - Marge d'interférence
 - Rayons de cellule typiques
- Bilan de liaison UMTS
 - Approche
 - Voie montante
 - Voie descendante
 - Rayons de cellule typiques
- Bilan de liaison LTE
 - Voie descendante
 - Voie montante
 - Rayons de cellule typiques
- Conclusion
- Références

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.





NB : les bilans voie montante et voie descendante sont indépendants

- **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.

- 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.

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

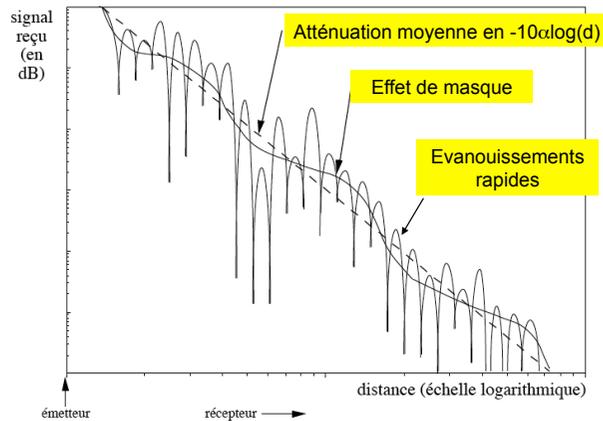
$$X_{dB} = 10 \log_{10}(X_{fois}) \Rightarrow X_{fois} = 10^{(X_{dB}/10)}$$

- $SNR_{dB} = 10 \log_{10}(SNR_{fois})$
- Le dB milliwatt ou dBm :

$$P_{dBm} = 10 \log_{10}(P_{mW})$$
- Ex : $SNR_{fois} = 2 \Leftrightarrow SNR_{dB} = 3 \text{ dB}$
- Attention : on utilise rarement les connotations (mais cela ne signifie pas que $2 = 3$ (!))

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

- Rappel : le modèle de propagation à trois étages.



9

- 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

- 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

- 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 en MHz

R en km

h_b en m

12

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

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

Avec :

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

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

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

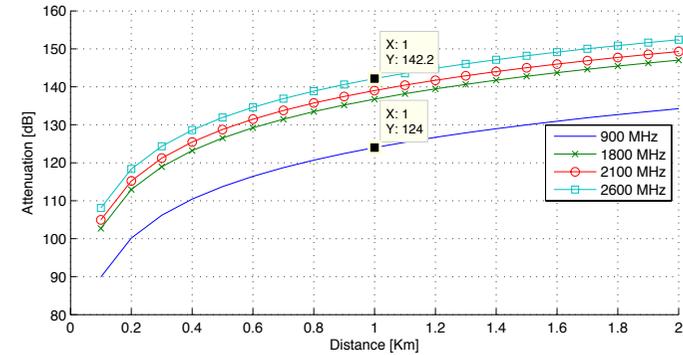
f en MHz

R en km

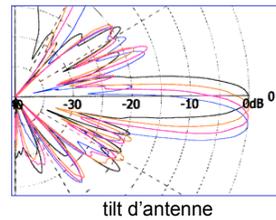
h_b en m

h_m en m

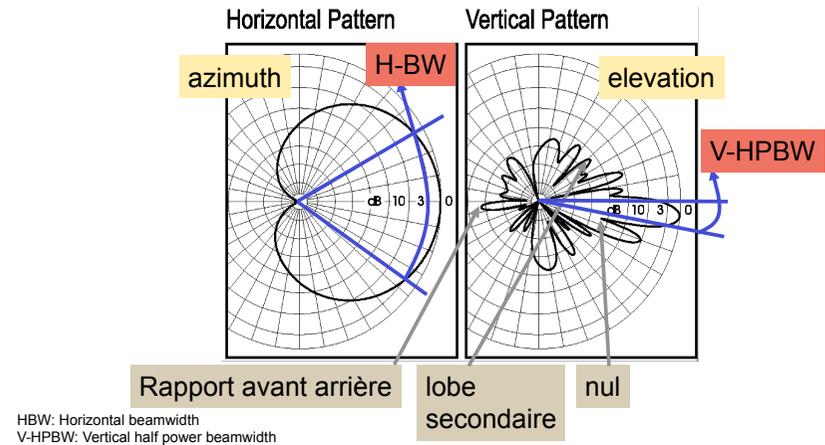
- Exemple en environnement urbain : 18 dB de différence à 1 Km entre 900 et 2600 MHz, peu de différences entre 2100 et 2600 MHz.



- 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 °).



- Diagramme d'antenne



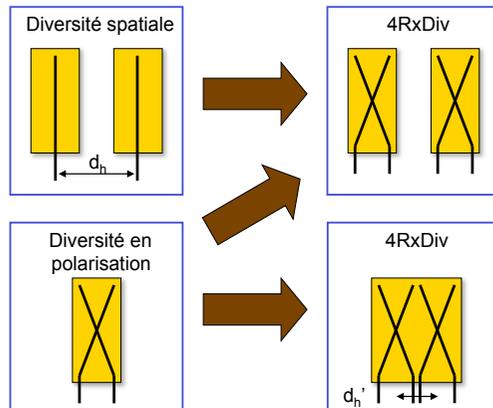
- Le gain dépend de la longueur, de la bande de fréquence et de la capacité de l'antenne à focaliser l'énergie dans une direction.
- Gains typiques d'antennes

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

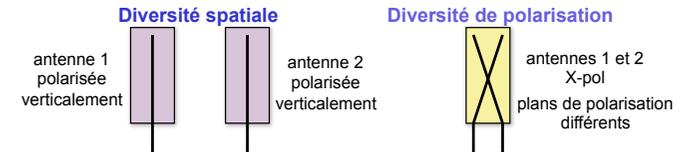


- Evolutions vers la **4RxDiv** :

- Contraintes spatiales :
 - $d_h > 20\lambda = 3m$
 - pour $f = 2GHz$
 - $\lambda = c/f = 15cm$
- [Laiho02] recommande :
 - $d_h = 1,5m$
 - $d_h' = 0,3m$



- 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)



- Sectorisation : accroître le nombre de secteurs par site
- Impact** sur le dimensionnement :
 - Le gain d'antenne est modifié (exemple à 900 MHz)
 - 1 secteur : $360^\circ/12dBi$
 - 3 secteurs : $65^\circ/16dBi$
 - 6 secteurs : $33^\circ/18dBi$

- Accroissement de la capacité (densification)
- Plus de modules **hardware** sont nécessaires par site
 - Antennes
 - Amplificateurs
 - Capacités de traitement

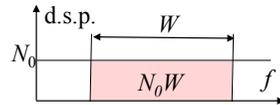
- On observe généralement une légère dégradation du SINR quand on augmente le nombre de secteurs



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: $N_0 W = -174 + 10 \text{ Log}(W)$
- **Facteur de bruit** de la BS
 - Bruit introduit par les composants de la chaîne de réception
 - Valeur typique: $NF = 5 \text{ dB}$

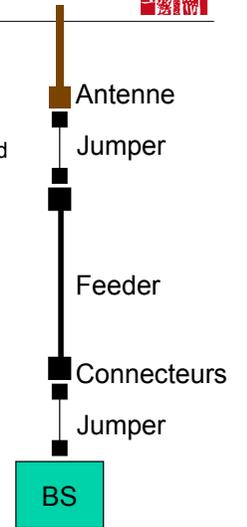


$$N = N_0 W \cdot NF$$

Concepts de base
Pertes câble



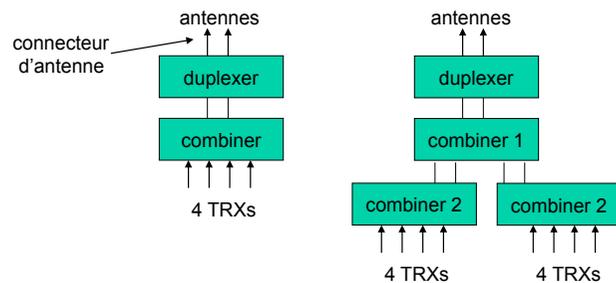
- **Pertes câbles** : feeder, jumper, connecteur
- Le système feeder est l'interface entre l'antenne et la BS.
- Le **feeder** est un gros câble rigide dont l'atténuation dépend du type, de la longueur et de la bande de fréquence.
Exemple : LCF 7/8" 900 MHz 3.7dB/100m
- Le **jumper** est un câble souple 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).



Concepts de base
Pertes câble



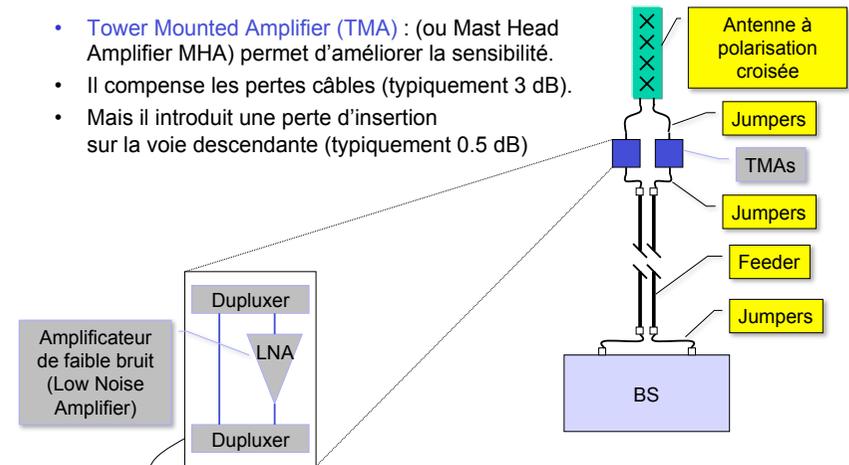
- **Duplexer** : permet de combiner/séparer émission et réception sur une même bande de fréquence.
- **Combiner** : permet de combiner/séparer plusieurs fréquences d'une même bande de fréquences.



Concepts de base
Pertes câble



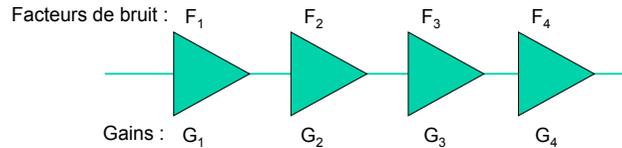
- **Tower Mounted Amplifier (TMA)** : (ou Mast Head Amplifier MHA) permet d'améliorer la sensibilité.
- Il compense les pertes câbles (typiquement 3 dB).
- Mais il introduit une perte d'insertion sur la voie descendante (typiquement 0.5 dB)



[Laiho02] alimentation

- **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

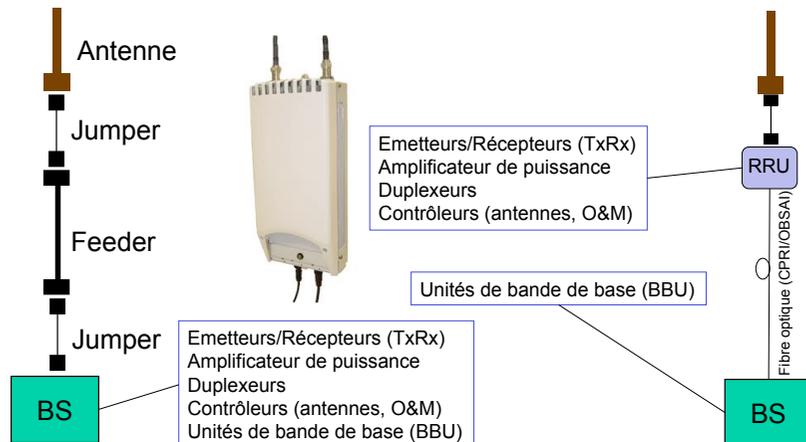
[Laiho02]

- 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

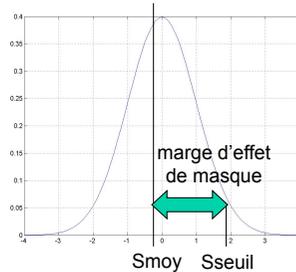
- Sans TMA : NF = 5.3dB
- Avec TMA : NF = 2.4dB
- Gain apporté par le TMA : 2.9dB

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



- **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.

- **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

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

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

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

$$\begin{aligned} P_{out}(r) &= \Pr(s + PL(r) > PL(R) + K_s) \\ &= \Pr(s > K_s - B \log(r/R)) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{K_s - B \log(r/R)}{\sigma}}^{+\infty} e^{-t^2/2} dt \\ &= Q\left(\frac{K_s - B \log(r/R)}{\sigma}\right) \end{aligned}$$

[Viterbi94]

31

- L'effet de masque (en dB) est modélisé par une loi **log 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

$$\begin{aligned} Att(r) &= PL(r) + s = A + B \log(r) + s \\ E[Att] &= A + B \log(r) \\ E[Att^2] &= \sigma^2 \end{aligned}$$

[Viterbi94]

30

- 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 ($P_{out}(R)=0.1$) et $\sigma=8\text{dB}$, la marge est de 7.8dB
- Pour éviter l'**effet ping-pong**, l'UE peut quitter la cellule au-delà du rayon R , $r=aR$:
- Exemple : avec $a=1.1$ et $B=35$, la marge doit être de 9.3dB
- En **moyenne** sur la cellule :

$$P_{out}(aR) = Q\left(\frac{K_s - B \log(a)}{\sigma}\right)$$

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

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

[Viterbi94]

32

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

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

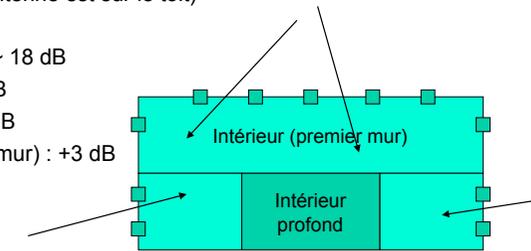
- Avec :

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

- 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.
- GSM : on prend dans ce cours une valeur typique (mais on pourrait faire des simulations système...)
- UMTS : la marge d'interférence dépend de la charge
- LTE : on se fonde sur des simulations système

- 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*



	Voie montante	Voie descendante	
Réception	Sensibilité [dBm]	PRX_BTS	PRX_MS
	Gain de diversité d'antenne [dB]	GAD	
	Pertes câbles [dB]	Lcables	
	Gain TMA [dB]	GTMA	
	Gain antenne de réception [dB]	Gr	
Puissance isotropique [dBm]	Piso = PRX_BTS-GAD+Lcables-GTMA-Gr		
Transmission	Puissance d'émission [dBm]	PTX_MS	PTX_BTS
	Pertes câbles [dB]		Lcables
	Pertes d'insertion TMA [dB]		LTMA
	Gain antenne de transmission [dB]		Ge
	PIRE [dBm]	Pireul=PTX_MS	Piredl=PTX_BTS-Lcables-LTMA+Ge
Marges	Marge d'effet de masque [dB]	Msf	Msf
	Marge d'interférence [dB]	Mif	Mif
	Pertes dues au corps [dB]	Mc	Mc
	Marge de pénétration [dB]	Mp	Mp
	Total marges [dB]	Mul=Msf+Mif+Mc+Mp	Mdl=Msf+Mif+Mc+Mp
MAPL [dB]	MAPLul=Pireul-Piso-Mul	MAPLdl=Piredl-Piso-Mdl	

Bilan de liaison GSM Approche



• Exercice :

Voie montante
Milieu urbain
900 MHz
Sensibilité = -110 dBm
2 antennes de réception
50 m de feeder LCF 7/8 "
2 jumpers de 1 m chacun
Pas de TMA
MS class 4
Sigma = 7.6dB, couverture à 95%
Couverture de l'intérieur des bâtiments
Affaiblissement de parcours = $A+B\log(d[\text{Km}])$
A=122 dB et B=34 (exposant d'affaiblissement = 3.4)

37

Bilan de liaison GSM Sensibilité



- **Sensibilité** : puissance minimale de réception en présence de bruit.
- Remarque 1 : l'interférence n'est pas prise en compte.
- Remarque 2 : la sensibilité dépend de la qualité de la chaîne de réception. Elle peut être calculée en statique (les mobiles sont statiques !) ou en dynamique (modèle de canal : TU50) [GSM05.05].
- Valeur typique BTS : -110dBm, la norme [GSM05.05] requière -104dBm.
- Valeur typique MS : -102dBm [GSM05.05]
- Les constructeurs peuvent se différencier sur cette valeur.

39

Bilan de liaison GSM Puissance du mobile



- **Puissance du mobile** : elle dépend de la classe du mobile et de la fréquence.
- Puissances typiques :
 - 850/900 MHz, Mobile power class=4 : 33dBm
 - 1800/1900 MHz, Mobile power class=1 : 30dBm
- On considère en général que le gain de l'antenne du mobile est 0dBi. Pour un kit de voiture, on peut supposer 2dBi.
- Aucune perte de câble n'est considérée pour un mobile (sauf si on considère un kit de voiture).

Classe	GSM 900	DCS 1800
1	-	30 dBm
2	39 dBm	24 dBm
3	37 dBm	36 dBm
4	33 dBm	-
5	29 dBm	-

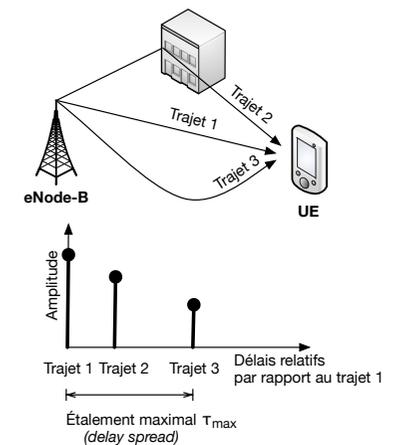
[45.005]

38

Bilan de liaison GSM Sensibilité



- **Rappel** : canaux à évanouissements rapides multi-trajets (*fast fading*)
- Un canal est caractérisé par :
 - Le nombre de chemins
 - Leurs délais respectifs
 - Leurs puissances moyennes
 - La vitesse du mobile (c.-à-d. le spectre Doppler)
- L'amplitude des chemins suit une loi de Rayleigh (NLOS) ou de Rice (LOS)



40

Bilan de liaison GSM Sensibilité



- En GSM, la norme a défini trois types de canaux :
 - TUX = Typical Urban X Km/h (par exemple TU50 est pour 50Km/h)
 - RAX = Rural Area X Km/h
 - HTX = Hilly Terrain X Km/h

- Exemple : TUX

Chemin	Délai relatif (μs)	Puissance relative (dB)
1	0	0
2	0,1	-4
3	0,2	-8
4	0,3	-12
5	0,4	-16
6	0,5	-20

- Performances requises en GSM 900 (BER) sur le canal TCH :

	Statique	TU50	RA250	HT100
[45.005]	10^{-5}	2.5%	2%	5%

41

Bilan de liaison GSM Marge d'interférence



- Marge d'interférence** : elle prend en compte l'interférence co-canal.
- 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

43

Bilan de liaison GSM Sensibilité



- En GSM, on ne prend pas généralement de marge supplémentaire pour les évanouissements rapides (*fast fading*) comme on le fait en UMTS. Les évanouissements rapides en effet pris en compte dans la valeur de la sensibilité du récepteur.

42

Bilan de liaison GSM Marge d'interférence



- 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 :

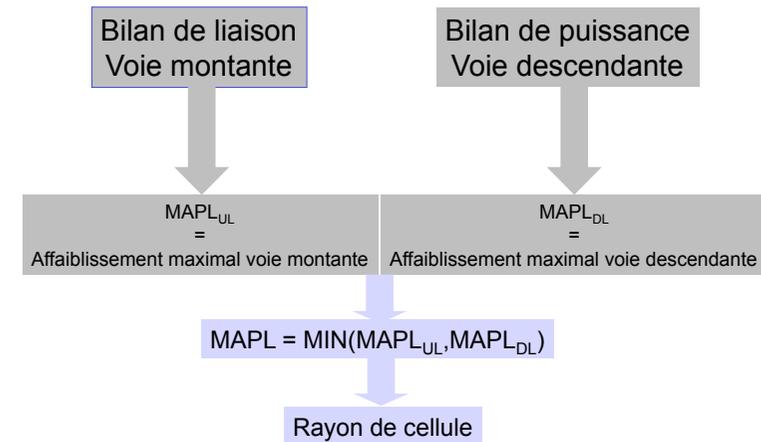
$$S_1[dB] = S_0[dB] + \underbrace{10 \log \frac{N + I}{N}}_{\text{Marge d'interférence}}$$

44

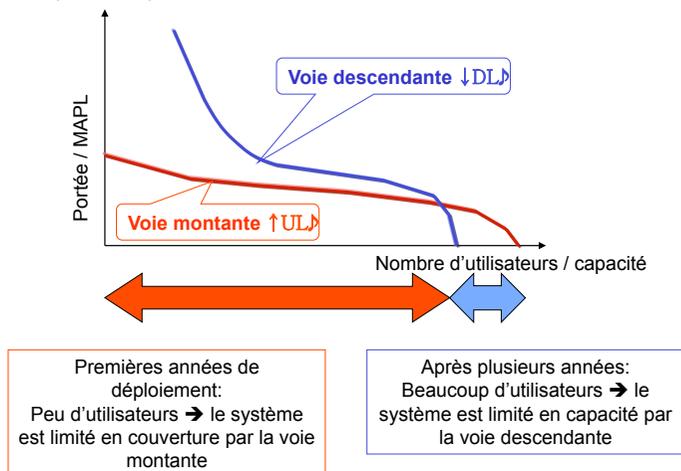
	GSM 900	GSM 1800
Urbain dense	1 Km	500 m
Urbain	1.5 Km	1 Km
Suburbain	3 Km	2 Km
Rural	9 Km	7 Km

Ordres de grandeur

NB : la norme permet un rayon de cellule de 35 Km

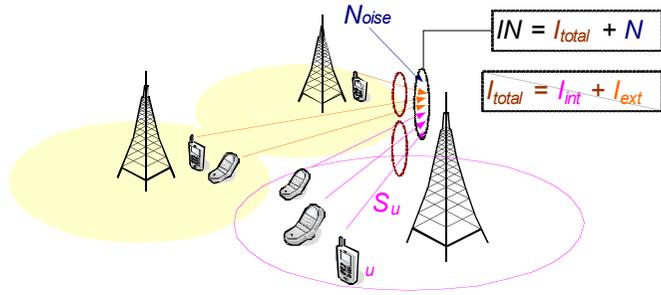


- Compromis portée/capacité



- Différences avec le GSM : les interférences intra-cellulaires, la charge sur la voie montante et la respiration des cellules
- L'analyse sur la voie montante est un bilan de liaison classique
- Principaux paramètres
 - Sensibilité
 - Eb/N0 cible
 - Facteur de bruit
 - Marge d'interférence/facteur d'augmentation du bruit
 - Charge sur la voie montante
 - Facteur d'interférence
 - Marge de *shadowing*
 - Marge de *fast fading*
 - *Soft hand-over*

Bilan de liaison UMTS Voie montante

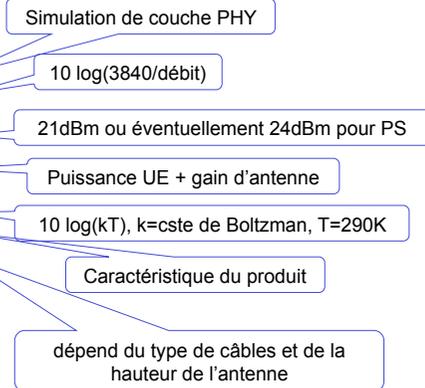


- NB : I_{int} est la somme de toutes les puissances issues des UEs de la cellule y compris la puissance reçue de l'UE de référence

49

Bilan de liaison UMTS Voie montante

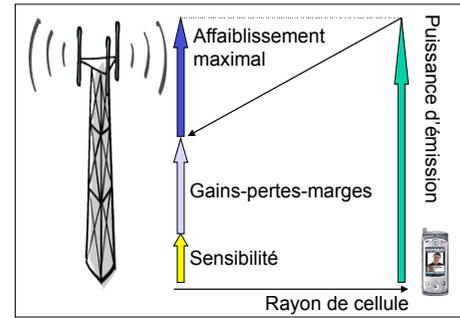
Service	Voix
Débit binaire [Kbps]	12,2
Eb/No cible [dB]	6,0
Gain d'étalement [dB]	25,0
Emission	
Puissance d'émission UE [dBm]	21,0
Gain d'antenne UE [dBi]	0,0
PIRE [dBm]	21,0
Réception	
Bruit thermique [dBm/Hz]	-174,0
Facteur de bruit Node-B [dB]	5,0
Pertes de câbles et connecteurs [dB]	2,0
Gain d'antenne Node-B [dBi]	18,0
Sensibilité [dBm]	-122,1
Marges	
Marge d'interférence [dB]	2,9
Marge de shadowing [dB]	5,0
Marge de fast fading [dB]	2,0
Perte due au corps humain [dB]	3,0
Marge de pénétration [dB]	18,0
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	128,2
Rayon de cellule [Km]	0,5
Air d'une cellule [Km2]	0,5



$$k = 1.38e-23 \text{ J/K}$$

51

Bilan de liaison UMTS Voie montante



Note: Affaiblissement maximal = Maximum Allowable Path Loss (MAPL)

Service	Voix
Débit binaire [Kbps]	12,2
Eb/No cible [dB]	6,0
Gain d'étalement [dB]	25,0
Emission	
Puissance d'émission UE [dBm]	21,0
Gain d'antenne UE [dBi]	0,0
PIRE [dBm]	21,0
Réception	
Bruit thermique [dBm/Hz]	-174,0
Facteur de bruit Node-B [dB]	5,0
Pertes de câbles et connecteurs [dB]	2,0
Gain d'antenne Node-B [dBi]	18,0
Sensibilité [dBm]	-122,1
Marges	
Marge d'interférence [dB]	2,9
Marge de shadowing [dB]	5,0
Marge de fast fading [dB]	2,0
Perte due au corps humain [dB]	3,0
Marge de pénétration [dB]	18,0
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	128,2
Rayon de cellule [Km]	0,5
Air d'une cellule [Km2]	0,5

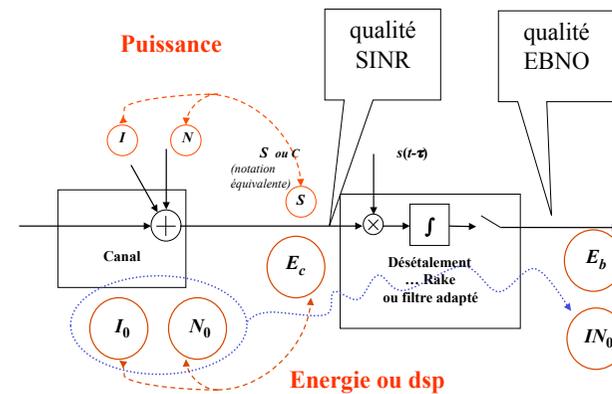
Modèle de propagation, e.g. Hata

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

[Holma04]

50

Bilan de liaison UMTS Voie montante : Qualité radio



52

- Le SINR et l'E_bN₀ cibles dépendent de nombreux paramètres :
 - le service (voix, CS64, PS64, PS128,...)
 - CS = Circuit Switched, PS = Packet Switched
 - PS64/128 = 64 Kbps sur la voie montante, 128 Kbps sur la voie descendante
 - la qualité de service (notamment en termes de BLER) [25.101, 25.102]
 - AMR : BLER = 10⁻²
 - CS64 : BLER = 10⁻⁴
 - PS : BLER = 5.10⁻² (ordres de grandeurs)
 - le nombre d'antennes de l'émetteur et du récepteur
 - Diversité en réception 2RxDiv ou 4RxDiv
 - la situation de soft hand-over (nombre de liens)

- Rappel : Gain de traitement (*processing gain*) pour un UE u :
 - PG_u = R_c / R_{b,u}
 - c'est le rapport entre le débit chip et le débit bit
 - R_c = 3,84 Mchip/s
 - par Nyquist, on peut assimiler R_c ~ W (~ 5 MHz)
 - pour la parole PG_u = 25 dB
 - PG_u = 3840 kcps / 12.2kbps = 314,75 = 25 dB

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_u^* = SINR_u^* \frac{W}{R_u}$$

$$\text{ou } \epsilon_u^* = \gamma_u^* \frac{W}{R_u}$$

- Le SINR cible est évalué grâce à des simulations de niveau lien
- Types de canaux généralement utilisés :
 - ITU Vehicular A 3 km/h (VA3) : 6 chemins
 - ITU Vehicular A 50 km/h (VA50)
 - ITU Pedestrian A 3 km/h (PA3) : 4 chemins
- Valeurs typiques d'E_bN₀ cible avec diversité en réception :

	AMR 12.2	CS64	PS64	PS128	PS384
Vehicular A3	6dB	3,4dB	3dB	2,3dB	2dB
Vehicular A50	6,4dB	3,7dB	3,4dB	2,7dB	2,4dB
Pedestrian A3	5,3dB	2,9dB	2,9dB	1,6dB	1,6dB

- → Plus on va vite, meilleure doit être la qualité
- → Les services conversationnelles demandent une qualité plus importante
- → Les BLER cibles sont plus importants quand le débit augmente

- Contrôle de puissance :
 - On suppose un contrôle parfait, c.a.d. chaque utilisateur émet exactement la puissance nécessaire pour atteindre l'E_bN₀ cible (ε^{*}_u)
 - P^{*}_u est solution du problème de contrôle de puissance :

$$\gamma_u^* = \frac{P_u^* g_{u,b(u)}}{N + \sum_{v \neq u} P_v^* g_{v,b(u)}}$$

- Le problème du contrôle de puissance a une solution ssi
 - Le rayon spectrale de la matrice F est < 1
 - F_{u,v} = δ(u,v) γ_u g_{v,b(u)} / g_{u,b(u)}
 - 0 < P_u^{*} ≤ P_{max}
- NB : en pratique, la résolution se fait par un algorithme itératif (pas à pas)

Bilan de liaison UMTS
Voie montante : Contrôle de puissance



- Dans le bilan de liaison UMTS voie montante, on suppose que l'UE est en bordure de cellule et émet à puissance maximale. Il n'est pas en mesure d'effectuer le contrôle de puissance.
- Puissances maximales des UE en UMTS :

Classe	UMTS
1	33 dBm
2	27 dBm
3	24 dBm
3bis	23 dBm
4	21 dBm

[25.101]

Bilan de liaison UMTS
Voie montante



Service	Voix
Débit binaire [Kbps]	12,2
Eb/No cible [dB]	6,0
Gain d'étalement [dB]	25,0
Emission	
Puissance d'émission UE [dBm]	21,0
Gain d'antenne UE [dBi]	0,0
PIRE [dBm]	21,0
Réception	
Bruit thermique [dBm/Hz]	-174,0
Facteur de bruit Node-B [dB]	5,0
Pertes de câbles et connecteurs [dB]	2,0
Gain d'antenne Node-B [dBi]	18,0
Sensibilité [dBm]	-122,1
Marges	
Marge d'interférence [dB]	2,9
Marge de shadowing [dB]	5,0
Marge de fast fading [dB]	2,0
Perte due au corps humain [dB]	3,0
Marge de pénétration [dB]	18,0
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	128,2
Rayon de cellule [Km]	0,5
Air d'une cellule [Km ²]	0,5

dépend du type d'antenne
Antenne OMNI(directionnelle) ~ 11dBi
Site TRI(sectorisé) ~ entre 16 et 20dBi

Sensibilité =
Eb/No cible - Gain d'étalement +
Bruit thermique + facteur de bruit + 10log(3840000)

Marge pour les interférences

Bilan de liaison UMTS
Voie montante : Interférences



- On définit la charge sur la voix montante x_{UL} :

$$\frac{I+N}{N} = \frac{IN}{N} = \frac{1}{1-x_{UL}}$$

$$x_{UL} = \frac{I}{IN}$$

$$\left(\frac{I+N}{N}\right)_{dB} = -10\log(1-x_{UL})$$

- x_{UL} est compris entre 0 et 1 et est a priori fixé par l'opérateur, par exemple $x_{UL}=0.5$.
- Remarque : la charge est liée au nombre d'UEs dans la cellule.

Bilan de liaison UMTS
Voie montante : Interférences



- Marge d'interférence et facteur d'augmentation du bruit (noise rise)

$$\gamma_u^* = \frac{S_u^*}{IN - S_u^*}$$

$$S_u^* = \frac{\gamma_u^*}{1 + \gamma_u^*} IN$$

$$M_i = \frac{IN - S_u^*}{N}$$

$$= \left(1 - \frac{\gamma_u^*}{1 + \gamma_u^*}\right) \frac{IN}{N}$$

$$\frac{IN}{N} = \frac{1}{1 - x_{UL}}$$

Charge
voix montante

$$M_i = \frac{1}{1 - x_{UL}} \frac{1}{1 + \gamma_u^*}$$

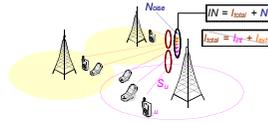
$$M_i [dB] = -10\log(1 - x_{UL}) - 10\log(1 + \gamma_u^*)$$

Facteur d'augmentation du bruit
(noise rise)

Bilan de liaison UMTS
Voie montante : Interférences



- Interférence = interférence intra-cellulaire + interférence extra-cellulaire
- **Interférence intra :**
 - C'est la somme des puissances reçues des UEs de la cellule à la station de base



Somme sur l'ensemble des utilisateurs simultanément actifs dans la cellule

$$I_{int} = \sum_u S_u^* = \sum_u \frac{\gamma_u^*}{1 + \gamma_u^*} IN$$

- **Interférence extra :**
 - Elle est calculée grâce au facteur d'interférence f
 - f est aussi appelé OCIF pour Other Cell Interference Factor

$$I_{ext} = f \cdot I_{int}$$

Bilan de liaison UMTS
Voie montante : Interférences



- Que vaut f ?
- L'interférence intra-cellulaire dans la cellule i s'écrit :

$$I_{int} = \sum_{u \in b_0} S_u^*$$

- L'interférence extra-cellulaire dans la cellule i s'écrit :

$$I_{ext} = \sum_{b \neq b_0} \sum_{v \in b} \frac{S_v^* g_{v,b_0}}{g_{v,b(v)}}$$

- Donc f vaut :

$$f = \frac{\sum_{b \neq b_0} \sum_{v \in b} \frac{S_v^* g_{v,b_0}}{g_{v,b(v)}}}{\sum_{u \in b_0} S_u^*}$$

Bilan de liaison UMTS
Voie montante : Interférences



- Facteur d'interférence (ou OCIF): $f = I_{ext} / I_{int}$
- f dépend :
 - du modèle de propagation
 - Coefficient d'affaiblissement: $\alpha \uparrow \rightarrow f \downarrow$, e.g. $f(\text{urbain dense}) < f(\text{rural})$
 - Écart type du shadowing: $\sigma \uparrow \rightarrow f \uparrow$
 - des conditions de *soft hand-over*
 - dans le bilan de liaison, l'UE est supposé en bordure de cellule et en *soft hand-over*
 - de la topologie du réseau, e.g. de la sectorisation
- f peut être obtenu grâce à des simulations système
- Valeurs typiques pour f :

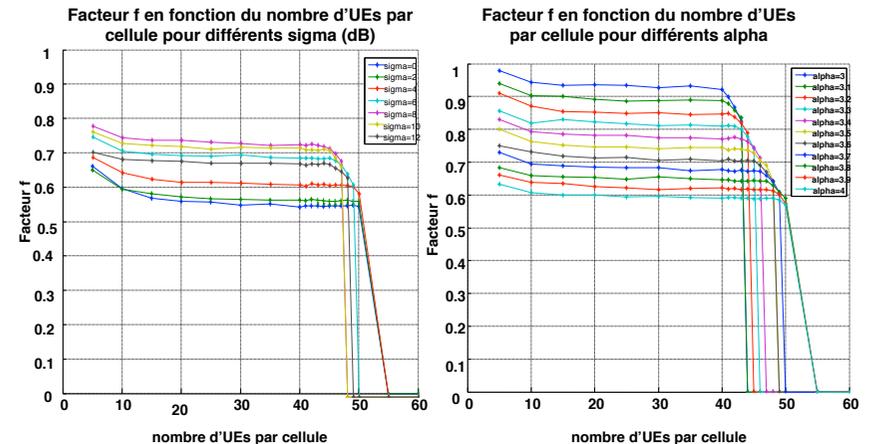
Environnement/ écart-type du shadowing	$\sigma=4$ dB	$\sigma=8$ dB	$\sigma=10$ dB
Urbain dense	0.69	0.84	0.87
Rural	0.70	0.89	0.93

source: Alcatel

Bilan de liaison UMTS
Voie montante : Interférences



- Le facteur f dépend peu du nombre d'UEs dans la cellule.



Bilan de liaison UMTS

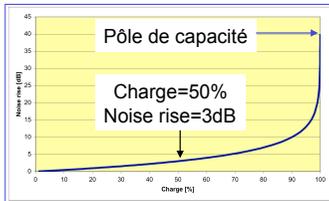
Voie montante : Charge



- $x_{UL}=I/IN$ (uplink load) est un facteur dimensionnant
- Valeurs typiques: 50%, 65%
- La charge a un lien direct avec le nombre d'utilisateurs

$$x_{UL} = \frac{I}{IN} = \frac{I_{int} + I_{ext}}{IN} = \frac{(1+f)I_{int}}{IN}$$

$$x_{UL} = (1+f) \sum_u \frac{\gamma_u^*}{1+\gamma_u^*}$$



$$Mi_u [dB] = -10\log(1 - x_{UL}) - 10\log(1 + \gamma_u^*)$$

Application numérique: $x_{UL}=50\%$, $E_b/N_0=3.5dB$, $PG=17.8dB \rightarrow Mi_u = 3 - 0.16 = 2.84dB$

Remarque : le terme additionnel est négligeable pour les services à faible débit

65

Bilan de liaison UMTS

Voie montante : Sensibilité



- Sensibilité = puissance minimale nécessaire pour garantir une certaine qualité de service en présence de bruit seul
- Sensibilité = S_u^*

$$S_u^* = N \cdot \gamma_u^* = N \cdot \frac{R_u}{W} \epsilon_u^*$$

- En dB :

$$\text{Sensibilité [dBm]} = E_b/N_{\text{cible}} [\text{dB}] - PG [\text{dB}] + N [\text{dBm}]$$

67

Bilan de liaison UMTS

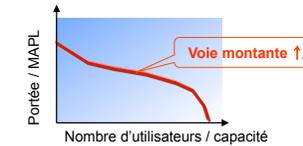
Voie montante : Charge



- Quelle est la capacité de la cellule sur la voie montante ?
- **Cas mono-service:**
 - tous les utilisateurs sont supposés utiliser le même service
 - ϵ_u^* et R_u sont indépendants de u
 - Le nombre d'utilisateurs simultanément actifs s'écrit:

$$x_{UL} = N_{UE} (1+f) \frac{\gamma^*}{1+\gamma^*} \approx N_{UE} (1+f) \gamma^* \Rightarrow N_{UE} \approx \frac{x_{UL}}{(1+f) \gamma^*}$$

- Respiration de cellule : $N_{UE} \uparrow$ entraîne $x_{UL} \uparrow$ entraîne Marge d'interférence \uparrow entraîne Rayon de cellule \downarrow



- **Cas multi-service:**
 - Un modèle de trafic, e.g. multi-Erlang B, détermine le pic de charge

66

Bilan de liaison UMTS

Voie montante



Service	Voix
Débit binaire [Kbps]	12,2
Eb/No cible [dB]	6,0
Gain d'étalement [dB]	25,0
Emission	
Puissance d'émission UE [dBm]	21,0
Gain d'antenne UE [dBi]	0,0
PIRE [dBm]	21,0
Réception	
Bruit thermique [dBm/Hz]	-174,0
Facteur de bruit Node-B [dB]	5,0
Pertes de câbles et connecteurs [dB]	2,0
Gain d'antenne Node-B [dBi]	18,0
Sensibilité [dBm]	-122,1
Marges	
Marge d'interférence [dB]	2,9
Marge de shadowing [dB]	5,0
Marge de fast fading [dB]	2,0
Perte due au corps humain [dB]	3,0
Marge de pénétration [dB]	18,0
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	128,2
Rayon de cellule [Km]	0,5
Air d'une cellule [Km2]	0,5

Assure un niveau de signal dans 90 ou 95% des cas sur la cellule (le SHO est pris en compte)

Marge pour le contrôle de puissance
UE lents ~ 2dB
UE rapides ~ 0dB
Le gain de macro diversité est pris en compte

3dB pour la voix
0dB pour la visio ou les données

Pénétration à l'intérieur des bâtiments

68

- En UMTS, le *soft-handover* apporte un gain en présence de shadowing.
 - L'UE reçoit le signal de n Nodes-B
 - Les masques sont en partie corrélés ($0 \leq \rho \leq 1$ est le facteur de corrélation)

$$\begin{aligned} s_i &= x\sqrt{\rho} + x_i\sqrt{1-\rho} \\ x, x_i &\approx N(0, \sigma^2) \\ E[s_i s_j] &= \rho\sigma^2, i \neq j \quad E[s_i^2] = \sigma^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{out}^{SHO}(r, n) &= \Pr[\text{Min}_{i \in n}(s_i + PL(r_i)) > PL(R) + K_{SHO}] \\ &= \prod_i \Pr[x_i\sqrt{1-\rho} > K_{SHO} - B \log(r_i/R) - x\sqrt{\rho}] \end{aligned}$$

$$P_{out}^{SHO}(r, n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} \prod_i Q\left(\frac{K_{SHO} - B \log(r_i/R) - t\sigma\sqrt{\rho}}{\sigma\sqrt{1-\rho}}\right) \cdot dt$$

[Viterbi94]

69

- Cas du *soft hand-over* (suite)
 - Le pire cas correspond à n=2
 - En **bordure** de cellule : $r_1=r_2=R$

$$P_{out}^{SHO}(R, 2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} Q\left(\frac{K_{SHO} - t\sigma\sqrt{\rho}}{\sigma\sqrt{1-\rho}}\right)^2 \cdot dt$$

– Exemple : $P_{out}=0.1$, $\sigma=8\text{dB}$, $\rho=1/2$, $K_{SHO}=6.2\text{dB}$

– Le gain dû au SHO est :

$$G_{SHO} = K_s - K_{SHO}$$

[Viterbi94]

70

- **Contrôle de puissance** :
 - Indispensable en UMTS
 - Utilisé pour lutter contre les évanouissements rapides (fast fading)
 - Sur la voie montante, le Node-B mesure le SINR_u de l'UE :
 - $\text{SINR}_u < \text{SINR}_{\text{cible}} \rightarrow$ Commande « Up »
 - $\text{SINR}_u > \text{SINR}_{\text{cible}} \rightarrow$ Commande « Down »
 - Mesure réalisée toutes les 0.625 ms
 - Efficace pour les UE lents, car l'entrelacement ne fournit pas assez de diversité
- **Marge pour les évanouissements rapides** (*fast fading margin* ou *power control headroom*) :
 - Pour maintenir le contrôle de puissance même en bordure de cellule, un **headroom** est nécessaire pour la puissance de transmission du mobile

$$\text{Marge de fast fading sans macro diversité} = (E_b/N_0)_{\text{cible/sans PC/sans SHO}} - (E_b/N_0)_{\text{cible/avec PC/sans SHO}}$$

[Sipilä99a]

71

- Le *soft hand-over* apporte deux types de gain :
 - Un gain sur la marge de *shadowing* (cf. partie précédente)
 - Un gain sur l' E_b/N_0 cible dû à la macro diversité : les variations du canal sont réduites
- **Macro diversité** :
 - Le gain dû à la macro diversité s'écrit :

$$\text{Gain macro diversité} = (E_b/N_0)_{\text{cible/sans PC/avec SHO}} - (E_b/N_0)_{\text{cible/sans PC/sans SHO}}$$

– Et la marge de *fast fading* résultante (à prendre en compte dans le bilan de liaison) :

$$\text{Marge de fast fading avec macro diversité} = (E_b/N_0)_{\text{cible/sans PC/avec SHO}} - (E_b/N_0)_{\text{cible/avec PC/sans SHO}}$$

– Valeurs typiques : 0dB en Vehicular A50 et Vehicular A120

	AMR	CS64	PS64	PS128	PS384
Vehicular A3	2dB	3dB	1dB	1dB	1dB

[Sipilä99b]

72

Bilan de liaison UMTS Voie montante

Service	Voix
Débit binaire [Kbps]	12,2
Eb/No cible [dB]	6,0
Gain d'étalement [dB]	25,0
Emission	
Puissance d'émission UE [dBm]	21,0
Gain d'antenne UE [dBi]	0,0
PIRE [dBm]	21,0
Réception	
Bruit thermique [dBm/Hz]	-174,0
Facteur de bruit Node-B [dB]	5,0
Pertes de câbles et connecteurs [dB]	2,0
Gain d'antenne Node-B [dBi]	18,0
Sensibilité [dBm]	-122,1
Marges	
Marge d'interférence [dB]	2,9
Marge de shadowing [dB]	5,0
Marge de fast fading [dB]	2,0
Perte due au corps humain [dB]	3,0
Marge de pénétration [dB]	18,0
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	128,2
Rayon de cellule [Km]	0,5
Air d'une cellule [Km2]	0,5

Affaiblissement maximal =
PIRE – Sensibilité +
Gain d'antenne Node-B –
Pertes de câbles et connecteurs –
Marges

Modèle de propagation :
 $PL(d) = A + B \log(d)$
A et B dépendent de l'environnement
e.g. en urbain dense :
A=138.5 B=35.2

73

Bilan de liaison UMTS Voie montante

- On veut assurer la continuité de tous les services proposés

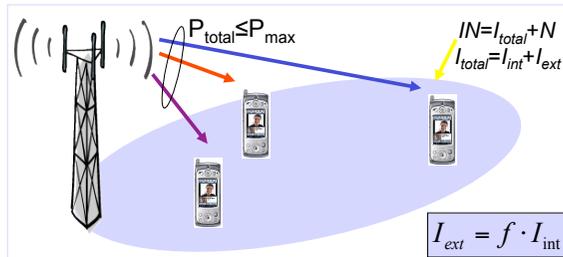
Service	Voix	CS64	PS64	PS128	PS384
Débit binaire [Kbps]	12,2	64,0	64,0	128,0	384,0
Eb/No cible [dB]	6,0	3,5	3,0	2,5	2,0
Gain d'étalement [dB]	25,0	17,8	17,8	14,8	10,0
Emission					
Puissance d'émission UE [dBm]	21,0	21,0	21,0	21,0	24,0
Gain d'antenne UE [dBi]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PIRE [dBm]	21,0	21,0	21,0	21,0	24,0
Réception					
Bruit thermique [dBm/Hz]	-174,0	-174,0	-174,0	-174,0	-174,0
Facteur de bruit Node-B [dB]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Pertes de câbles et connecteurs [dB]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Gain d'antenne Node-B [dBi]	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Sensibilité [dBm]	-122,1	-117,4	-117,9	-115,4	-111,2
Marges					
Marge d'interférence [dB]	2,9	2,8	2,9	2,7	2,4
Marge de shadowing [dB]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Marge de fast fading [dB]	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Perte due au corps humain [dB]	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Marge de pénétration [dB]	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Rayon de cellule					
Affaiblissement maximal [dB]	128,2	126,6	127,1	124,7	123,8
Rayon de cellule [Km]	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4
Air d'une cellule [Km2]	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3

On choisit le rayon de cellule minimal c.a.d. assurant la continuité de tous les services

74

Bilan de liaison UMTS Voie descendante

- L'analyse de la voie descendante est un **bilan de puissance**
- La puissance émise par le Node-B est partagée, elle doit :
 - servir l'ensemble des utilisateurs actifs,
 - y compris les utilisateurs en situation de soft hand-over
 - compenser l'affaiblissement dû à la distance
 - compenser l'ensemble des interférences ainsi que le bruit
 - But → atteindre le SINR cible pour chaque service/utilisateur



75

Bilan de liaison UMTS Voie descendante

Service	Voix
Débit binaire [Kbps]	12,2
Eb/No cible [dB]	6,0
Gain d'étalement [dB]	25,0
Système	
Facteur f (OCIF)	1,2
Orthogonalité	0,5
Rapport pic-moyenne de l'affaiblissement [dB]	6,0
Charge voie descendante [%]	85,0
Surcharge due au SHO [%]	30,0
Gain de soft hand-over moyen [dB]	1,0
Nombre d'utilisateurs	24,3
Environnement	Urbain dense
Emission	
Puissance d'émission NB [dBm]	43,0
Puissance des canaux communs [%]	20,0
Gain d'antenne NB [dBi]	18,0
Pertes câbles et connecteurs [dB]	2,0
Perte d'insertion du TMA [dB]	0,0
PIRE [dBm]	43,0
Réception	
Bruit thermique [dBm/Hz]	-174,0
Facteur de bruit UE [dB]	8,0
Gain d'antenne UE [dBi]	0,0
Sensibilité [dBm]	-119,1
Marges	
Marge d'interférence [dB]	8,2
Marge de shadowing [dB]	2,0
Marge de fast fading [dB]	0,0
Perte due au corps humain [dB]	3,0
Marge de pénétration [dB]	18,0
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	137,9
Hata A	138,5
Hata B	35,2
Rayon de cellule [Km]	0,96

Simulation de couche PHY

$10 \log(3840/\text{débit})$

Simulations système, e.g. $f=1.2, \alpha=0.5$

Charge max (typiquement jusqu'à 100%)

Valeur typique : $p=30\%$
6 secteurs : $p=40\%$

Simulations de couche PHY + système

$N_{UE} = (1-\beta)X_{DL} / [(1+p)(1-\alpha+f)\text{SINR}]$

$\text{SINR} = \text{EbNo} \cdot \text{Gain d'étalement}$

76

- Calculs de I_{int} et I_{ext} :
- **Interférence intra-cellulaire** :
 - Utilisateurs et services utilisent des codes orthogonaux
 - Mais il y a une perte d'orthogonalité due à la propagation multi-trajet

$$I_{int,u} = P_{tot} g_{u,b(u)} = g_{u,b(u)} \left(P_{CCH} + \sum_v P_v \right)$$

$$I'_{int,u} = (1 - \alpha) \left(I_{int,u} - P_u g_{u,b(u)} \right)$$

- P_{CCH} est la puissance dédiée aux canaux communs
- NB1 : $I_{int,u}$ est la puissance totale reçue de la station de base par l'UE
- NB2 : $I'_{int,u}$ est l'interférence à l'UE u
 - La structure des codes (orthogonaux) permet un gain
 - Il faut retirer la puissance dédiée à l'UE u

- Calculs de I_{int} et I_{ext} :
- **Interférence extra-cellulaire** :
 - On considère généralement qu'elle est proportionnelle à la puissance reçue de la station de base (hypothèse : réseau homogène)

$$I_{ext,u} = \sum_{b \neq b(u)} P_{tot} g_{u,b}$$

$$= P_{tot} g_{u,b(u)} \sum_{b \neq b(u)} \frac{g_{u,b}}{g_{u,b(u)}}$$

$$= I_{int,u} \sum_{b \neq b(u)} \frac{g_{u,b}}{g_{u,b(u)}}$$

$$I_{ext,u} = f_u \cdot I_{int,u}$$

Facteur d'interférence (OCIF)

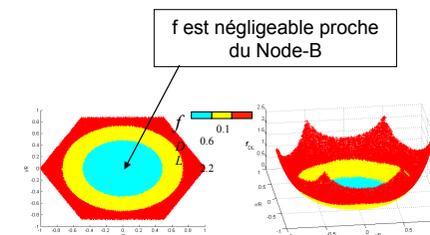
- Facteur d'orthogonalité α :
 - $\alpha=1$: orthogonalité parfaite → pas d'interférence intra-cellulaire
 - $\alpha=0$: pas d'orthogonalité → interférence intra-cellulaire maximale
 - α dépend du canal de propagation

Canal de propagation	Facteur d'orthogonalité
Pedestrian	0.9
Vehicular	Entre 0.1 et 0.6 typique:0.5

[25.942]

- Calculs de I_{int} et I_{ext} :
- **Facteur d'interférence** :
 - f dépend :
 - du modèle de propagation
 - des conditions de soft hand-over
 - de la topologie du réseau
 - de la distance au Node-B
 - la distribution de f est obtenue grâce à des simulations système

$$f_u = \sum_{b \neq b(u)} \frac{g_{u,b}}{g_{u,b(u)}}$$



- Puissance dédiée à un utilisateur u :

$$\gamma_u^* = \frac{P_u g_{u,b}}{(1-\alpha)(I_{int,u} - P_u g_{u,b}) + I_{ext,u} + N}$$

$$P_u = \frac{\gamma_u^*}{1 + (1-\alpha)\gamma_u^*} \left((1-\alpha + f_u)P_{tot} + \frac{N}{g_{u,b}} \right)$$

$$\tilde{\gamma}_u^* = \frac{\gamma_u^*}{1 + (1-\alpha)\gamma_u^*} \approx \gamma_u^*$$

$$P_u = \tilde{\gamma}_u^* \left((1-\alpha + f_u)P_{tot} + \frac{N}{g_{u,b}} \right)$$

- Cette puissance dépend du service (SINR) et de la distance, les autres paramètres étant fixés pour un réseau donné

[Sipilä00]

[Bacelli03]

81

- Prise en compte du **soft hand-over** :
 - Les utilisateurs en soft hand-over bénéficient d'un gain sur leur SINR cible
 - $SINR_u = SINR_{u, \text{ sans soft hand-over}}$ - Gain de soft hand-over
 - Typiquement : Gain de soft hand-over = 2.5dB
 - Le Node-B doit également dédier des ressources aux UE d'autres cellules en soft hand-over
 - Cela se traduit par un accroissement du nombre de liens de environ p~30%

82

- De la puissance est dédiée aux **canaux communs** (CCH) :

$$P_{CCH} = \beta \cdot P_{\max}$$

- Environ 20% de la puissance maximale

Canal	Puissance
CPICH	~10% P_{\max}
P-CCPCH	-2dB
S-CCPCH	-2dB
P-SCH	-5dB
S-SCH	-5dB
AICH	-5dB
PICH	-5dB

83

- Equation de puissance : $P_{tot} = P_{CCH} + \sum_u P_u$

$$P_{tot} = \frac{\beta \cdot P_{\max} + \sum_u \frac{N \tilde{\gamma}_u^*}{g_{u,b}}}{1 - \sum_u \tilde{\gamma}_u^* (1 - \alpha + f_u)}$$

SINR_u dépend du service et inclut pour les UE en soft hand-over un gain supplémentaire

84

Bilan de liaison UMTS
Voie descendante : Charge



- Au maximum de puissance utilisée : $P_{tot} = P_{MAX}$

$$P_{max} = \frac{\sum_u \frac{N\tilde{\gamma}_u^*}{(1-\beta)g_{u,b}}}{1 - \sum_u \frac{\tilde{\gamma}_u^*(1-\alpha+f_u)}{1-\beta}}$$

- Par analogie avec la voie montante, on définit la charge sur la voie descendante par :

$$x_{DL} = \sum_u \frac{\tilde{\gamma}_u^*(1-\alpha+f_u)}{1-\beta}$$

Bilan de liaison UMTS
Voie descendante : Approche simplifiée



- On obtient une expression simplifiée de la charge sur la voie descendante :

$$P_{max} = \frac{N_{UE}(1+p) \frac{N\tilde{\gamma}^*}{\bar{g} \cdot (1-\beta)}}{1 - N_{UE}(1+p)\tilde{\gamma}^* \frac{1-\alpha+f}{1-\beta}}$$

Puissance nécessaire en absence d'interférences

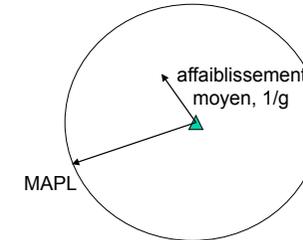
Accroissement dû aux interférences

$$x_{DL} = \frac{N_{UE}(1+p)\tilde{\gamma}^*(1-\alpha+f)}{(1-\beta)}$$

Bilan de liaison UMTS
Voie descendante : Approche simplifiée



- Approche simplifiée = « en moyenne »
- Tout le monde (N_{UE} utilisateurs) utilise le même service
- On considère une atténuation moyenne : $-g_{moy}[dB]$
 - NB : $MAPL = -g_{moy}[dB] + Pic/Moy[dB]$
 - g : gain de canal moyen (NB : $1/g$ est un affaiblissement).



- On fixe un facteur d'interférence moyen : $f \sim 1.2$
- On choisit un gain de soft hand-over moyen, e.g. 1dB
- On approxime : $SINR/(1+(1-\alpha)SINR) \sim SINR$

Bilan de liaison UMTS
Voie descendante



Service	Voix
Débit binaire [Kbps]	12,2
EbrNo cible [dB]	6,0
Gain d'étalement [dB]	25,0
Système	
Facteur f (OCIF)	1,2
Orthogonalité	0,5
Rapport pic-moyenne de l'affaiblissement [dB]	6,0
Charge voie descendante [%]	85,0
Surcharge due au SHO [%]	30,0
Gain de soft hand-over moyen [dB]	1,0
Nombre d'utilisateurs	24,3
Environnement	Urban dense
Emission	
Puissance d'émission NB [dBm]	43,0
Puissance des canaux communs [%]	20,0
Gain d'antenne NB [dBi]	18,0
Pertes câbles et connecteurs [dB]	2,0
Perte d'insertion du TMA [dB]	0,0
PIRE [dBm]	43,0
Réception	
Bruit thermique [dBm/Hz]	-174,0
Facteur de bruit UE [dB]	8,0
Gain d'antenne UE [dBi]	0,0
Sensibilité [dBm]	-119,1
Marges	
Marge d'interférence [dB]	8,2
Marge de shadowing [dB]	2,0
Marge de fast fading [dB]	0,0
Perte due au corps humain [dB]	3,0
Marge de pénétration [dB]	18,0
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	137,9
Hata A	138,5
Hata B	35,2
Rayon de cellule [Km]	0,96

Dépend du produit et du type d'amplificateur de puissance

Entre $\beta=15$ et 20% (dépend du constructeur)

Valeur typique pour 3 secteurs : 18dBi
Pour 1 secteur : 11dBi
Pour 6 secteurs : 21dBi

dépend du produit et de la chaîne de réception

$PIRE = [P_{max}(1-\beta)]_{dB} - \text{pertes câble} - \text{pertes TMA} + \text{gain antenne} - 10\log(N_{UE}(1+p))$

Bilan de liaison UMTS Voie descendante



Service	Voix
Débit binaire [Kbps]	12,2
Eb/No cible [dB]	6,0
Gain d'étalement [dB]	25,0
Système	
Facteur f (OCIF)	1,2
Orthogonalité	0,5
Rapport pic-moyenne de l'affaiblissement [dB]	6,0
Charge voie descendante [%]	85,0
Surcharge due au SHO [%]	30,0
Gain de soft hand-over moyen [dB]	1,0
Nombre d'utilisateurs	24,3
Environnement	Urbain dense
Emission	
Puissance d'émission NB [dBm]	43,0
Puissance des canaux communs [%]	20,0
Gain d'antenne NB [dBi]	18,0
Pertes câbles et connecteurs [dB]	2,0
Perte d'insertion du TMA [dB]	0,0
PIRE [dBm]	43,0
Réception	
Bruit thermique [dBm/Hz]	-174,0
Facteur de bruit UE [dB]	8,0
Gain d'antenne UE [dBi]	0,0
Sensibilité [dBm]	-119,1
Marges	
Marge d'interférence [dB]	8,2
Marge de shadowing [dB]	2,0
Marge de fast fading [dB]	0,0
Perte due au corps humain [dB]	3,0
Marge de pénétration [dB]	18,0
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	137,9
Hata A	138,5
Hata B	35,2
Rayon de cellule [Km]	0,96

$10 \log(kT)$, k =cste de Boltzman, $T=290K$

Facteur de bruit de l'UE : dépend du terminal
typiquement 7 ou 8 dB

Typiquement 0dBi, éventuellement 2dBi
avec petite antenne

$SINR+N_0+10*\log(3840000)+\text{Gain}$
d'antenne

$-10*\log(1-x_{DL})$

89

Bilan de liaison UMTS Voie descendante



Service	Voix
Débit binaire [Kbps]	12,2
Eb/No cible [dB]	6,0
Gain d'étalement [dB]	25,0
Système	
Facteur f (OCIF)	1,2
Orthogonalité	0,5
Rapport pic-moyenne de l'affaiblissement [dB]	6,0
Charge voie descendante [%]	85,0
Surcharge due au SHO [%]	30,0
Gain de soft hand-over moyen [dB]	1,0
Nombre d'utilisateurs	24,3
Environnement	Urbain dense
Emission	
Puissance d'émission NB [dBm]	43,0
Puissance des canaux communs [%]	20,0
Gain d'antenne NB [dBi]	18,0
Pertes câbles et connecteurs [dB]	2,0
Perte d'insertion du TMA [dB]	0,0
PIRE [dBm]	43,0
Réception	
Bruit thermique [dBm/Hz]	-174,0
Facteur de bruit UE [dB]	8,0
Gain d'antenne UE [dBi]	0,0
Sensibilité [dBm]	-119,1
Marges	
Marge d'interférence [dB]	8,2
Marge de shadowing [dB]	2,0
Marge de fast fading [dB]	0,0
Perte due au corps humain [dB]	3,0
Marge de pénétration [dB]	18,0
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	137,9
Hata A	138,5
Hata B	35,2
Rayon de cellule [Km]	0,96

Marge globale pour
assurer un niveau de signal dans 90
ou 95% des cas sur la cellule (le
SHO est pris en compte)

3dB pour la voix
0dB pour la visio ou les données

Pénétration à l'intérieur des bâtiments

90

Bilan de liaison UMTS Voie descendante : Marge d'interférence



- Explication de « marge d'interférence en dB = $-10\log(1-x_{DL})$ » :

- Sans interférence : $\alpha=1$, $\text{lext}=0$

$$\gamma_u \approx \frac{P_u}{N/\bar{g}}$$

$$P_u = \frac{\gamma_u N}{\bar{g}}$$

$$P_{\max} = \frac{N_{UE}(1+p)\gamma_u N}{\bar{g}(1-\beta)}$$

- Avec interférences :

$$\gamma_u \approx \frac{P_u}{(1-\alpha+f)P_{\max} + N/\bar{g}}$$

$$P_u = \frac{\gamma_u N}{\bar{g}} + \gamma_u(1-\alpha+f)P_{\max}$$

$$P_{\max} = \frac{\frac{N_{UE}(1+p)\gamma_u N}{\bar{g}(1-\beta)}}{1 - \frac{N_{UE}(1+p)\gamma_u(1-\alpha+f)}{1-\beta}}$$

Puissance nécessaire
en présence du seul
bruit

Accroissement nécessaire
de puissance dû aux
interférences

91

Bilan de liaison UMTS Voie descendante : Evanouissements



- Impact du shadowing et du fast fading :

- La marge de shadowing et de fast fading doit être **appliquée de manière globale** à la totalité de la puissance émise
- La marge est **moins importante** que pour la voie montante car les effets positifs et négatifs de la propagation se compensent en partie sur l'ensemble de la cellule
- La marge peut être obtenue par **simulations**
- Une valeur typique prenant en compte masques, évanouissements rapides et SHO est **2dB**

92

Bilan de liaison UMTS Voie descendante



Service	Voix
Débit binaire [Kbps]	12,2
Eb/No cible [dB]	6,0
Gain d'étalement [dB]	25,0
Système	
Facteur f (OCIF)	1,2
Orthogonalité	0,5
Rapport pic-moyenne de l'affaiblissement [dB]	6,0
Charge voie descendante [%]	85,0
Surcharge due au SHO [%]	30,0
Gain de soft hand-over moyen [dB]	1,0
Nombre d'utilisateurs	24,3
Environnement	Urbain dense
Emission	
Puissance d'émission NB [dBm]	43,0
Puissance des canaux communs [%]	20,0
Gain d'antenne NB [dBi]	18,0
Pertes câbles et connecteurs [dB]	2,0
Perte d'insertion du TMA [dB]	0,0
PIRE [dBm]	43,0
Réception	
Bruit thermique [dBm/Hz]	-174,0
Facteur de bruit UE [dB]	8,0
Gain d'antenne UE [dBi]	0,0
Sensibilité [dBm]	-119,1
Marges	
Marge d'interférence [dB]	8,2
Marge de shadowing [dB]	2,0
Marge de fast fading [dB]	0,0
Perte due au corps humain [dB]	3,0
Marge de pénétration [dB]	18,0
Rayon de cellule	
Affaiblissement maximal [dB]	137,9
Hata A	138,5
Hata B	35,2
Rayon de cellule [Km]	0,96

Affaiblissement maximal =
PIRE – Sensibilité +
Gain de SHO –
Pertes de câbles et connecteurs –
Marges + Rapport pic-moyenne

Modèle de propagation :
 $PL(d) = A + B \log(d)$
A et B dépendent de l'environnement
e.g. en urbain dense :
A=138.5 B=35.2

93

Bilan de liaison UMTS Voie descendante : Rayons de cellule



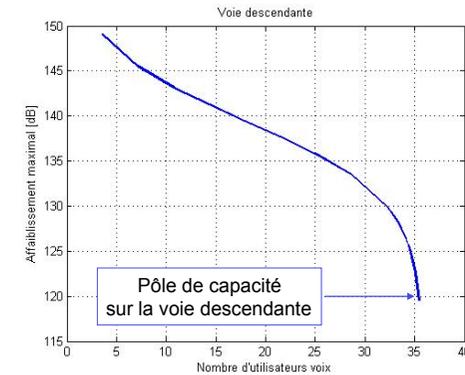
Environnement	Rayon de cellule
Urbain dense	300-400 m
Urbain	400 m-1 Km
Sub-urbain	1-2 Km
Rural	4-7 Km

95

Bilan de liaison UMTS Voie descendante



- Courbe du bilan de liaison voie descendante :



94

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 : 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

96

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.

97

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. SNR (obtenue par simulations) de la forme :

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

Ou de la forme :

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

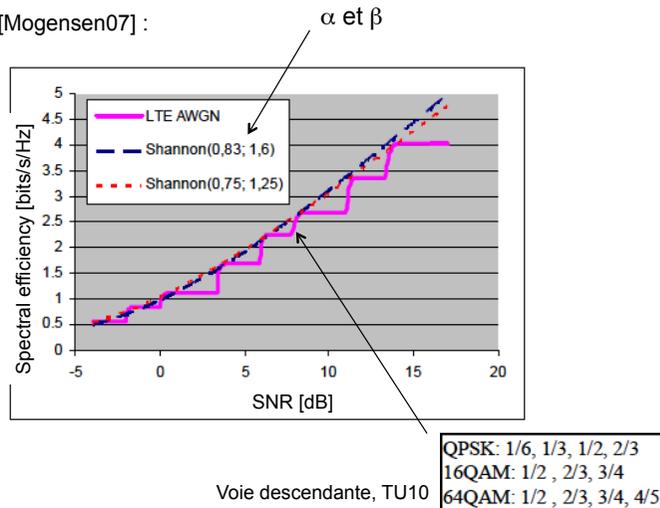
98

Bilan de liaison LTE

Paramètres généraux



- Exemple 1 [Mogensen07] :



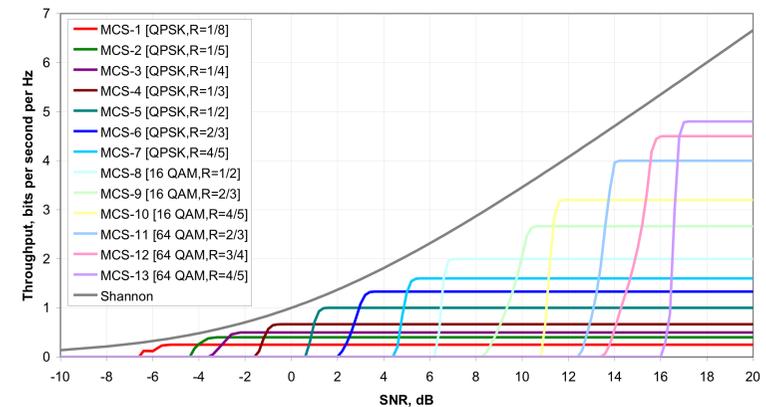
99

Bilan de liaison LTE

Paramètres généraux



- Exemple 2 [36.942] :



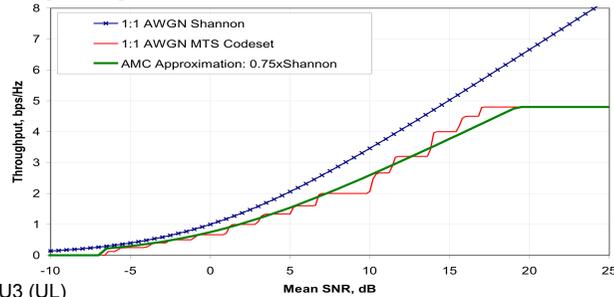
TU10 (DL)

100

Bilan de liaison LTE Paramètres généraux



- Exemple 2 [36.942] :



TU10 (DL), TU3 (UL)

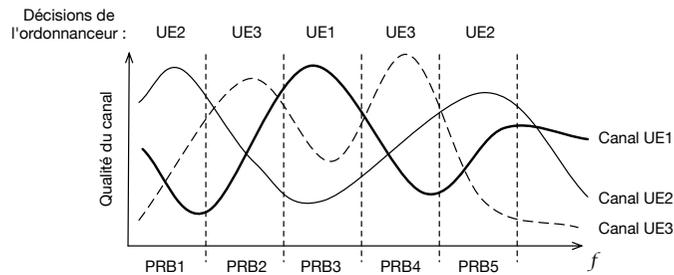
	DL	UL	Note
α	0,6	0,4	Perte d'implémentation
SNRmin	-10 dB	-10 dB	QPSK 1/8 (DL) 1/5 (UL)
SNRmax	22 dB	15 dB	64QAM 4/5 (DL) 16QAM 3/4 (UL)
Cmax/W	4,4 bits/s/Hz	2,0 bits/s/Hz	

101

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 :



103

Bilan de liaison LTE Paramètres généraux



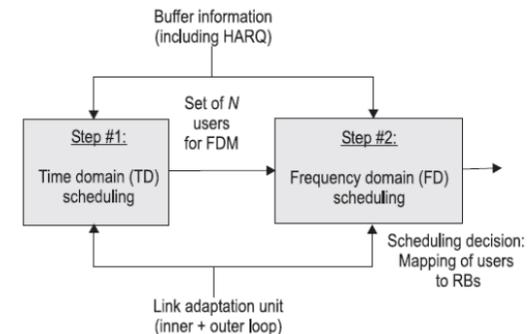
- Modèles de canaux à évanouissement : la norme a défini 3 nouveaux types de canaux [36.104]
 - Enhanced Typical Urban (**ETU**) : 9 chemins, étalement temporel important, environnement urbain et grandes cellules
 - Enhanced Vehicular A (**EVA**) : 9 chemins, étalement temporel intermédiaire, environnement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

102

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).

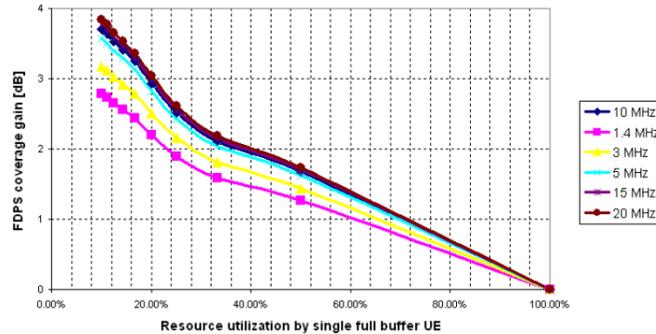


104

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

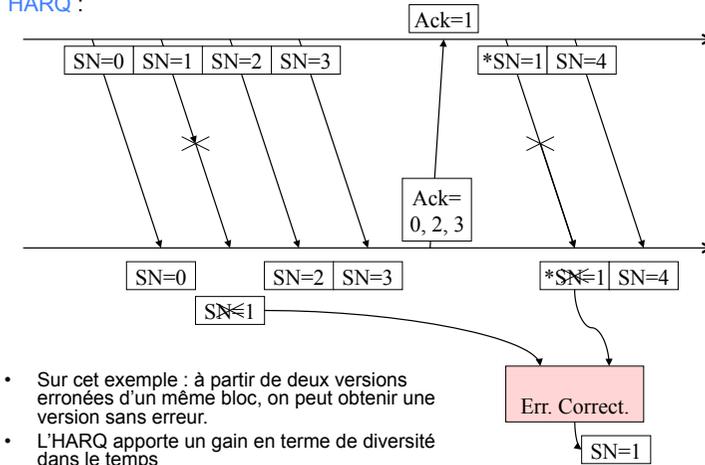


105

Bilan de liaison LTE Paramètres généraux



- HARQ :



- 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

106

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 [dBi]	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 [dBi]	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

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 ressource radio utilisées (utilisée pour le calcul de la marge d'interférence)

Les retransmissions HARQ induisent un gain en diversité

107

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 [dBi]	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 [dBi]	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

108

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 [dBi]	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 [dBi]	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

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

109

Bilan de liaison LTE Voie descendante



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

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

110

Bilan de liaison LTE Voie descendante



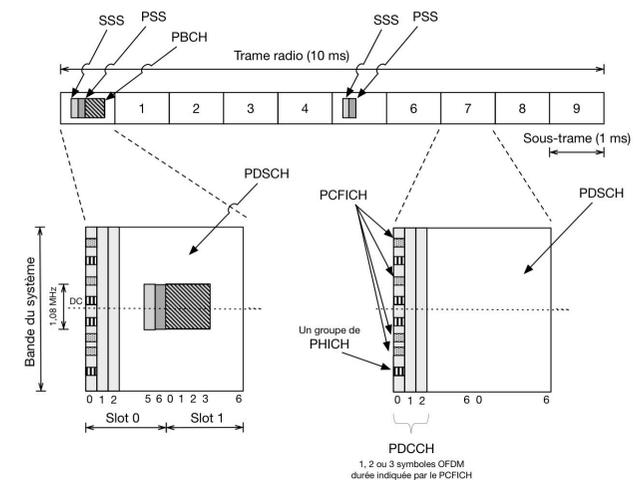
- **Surcharge protocolaire** : elle est due à la transmission des PDCCH, SSS/PSS, PBCH et à la transmission des signaux de référence (RS Reference Signals).
 - Plus la largeur de bande est faible, plus la surcharge est importante
 - Ordre de grandeur : 30%
 - Exemple : 30% induit une perte en puissance de $10\text{LOG}(1-0.3)=-1,5$ 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

111

Bilan de liaison LTE Voie descendante



- Canaux de contrôle :



112

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

113

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 [dBi]	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 [dBi]	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

114

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 :

$$SINR = \frac{S}{\eta I + N} = \frac{1}{\frac{\eta}{SIR_{min}} + \frac{1}{SNR}}$$

$$MI = \frac{SNR}{SINR}$$

$$MI = \frac{1}{1 - \eta \frac{SINR}{SIR_{min}}}$$

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

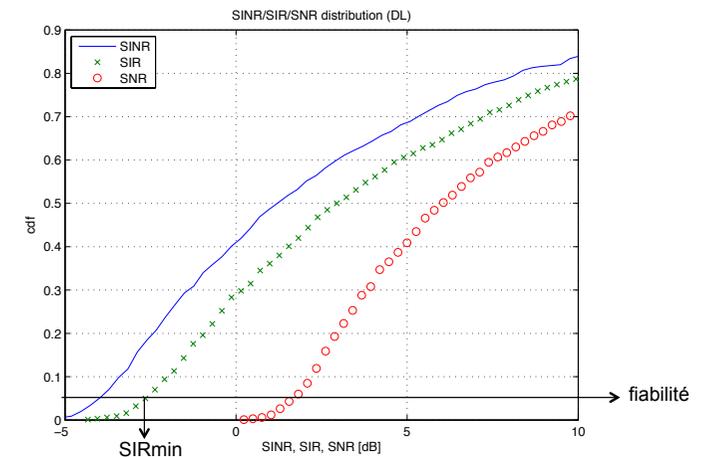
Note 2 : avec le modèle COST231-Hata, SIRmin ne dépend que de B (i.e., de hb) et de la fiabilité

115

Bilan de liaison LTE Voie descendante



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



116

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
Émission	
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]	-11,81
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 [dBi]	19,00
Pertes câbles et connecteurs [dB]	1,30
Gain de diversité d'antenne [dB]	3,00
Gain d'ordonnement [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
Marge	
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	141,65
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 :
 $N = N_0 W_{\text{alloc}}$

117

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

119

Bilan de liaison LTE Voie montante

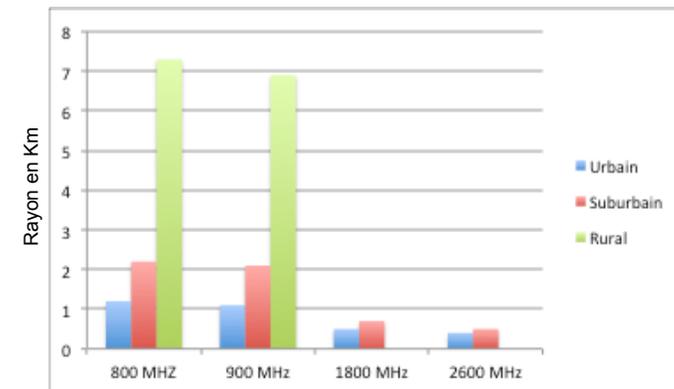


- Surcharge protocolaire :
 - Signaux de référence : 1 symbole OFDM par slot
 - PUCCH : 4 RBs par slot
 - PRACH : 6 RBs par trame (dépend de la configuration PRACH choisie)
- Ordres de grandeur sur la voie montante :

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

118

Bilan de liaison LTE Rayons de cellule typiques



120

Conclusion



- Trois technologies, trois approches :
 - **GSM** : on vise une sensibilité donnée pour le service de voix
 - **UMTS** : on fait un bilan de liaison par service. Sur la voie montante, le bilan de liaison d'un service est similaire à celui du GSM. Sur la voie descendante, il faut faire un bilan de puissance pour l'ensemble des utilisateurs. Particularités de l'UMTS : les interférences intra-cellulaires, le soft-handover, le contrôle de puissance
 - **LTE** : on vise un débit cible en bordure de cellule. Nouvelles techniques, nouveaux gains : TxDiv, ordonnancement, HARQ, etc
- 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

121

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
- [Lempinen03] « UMTS Radio Network Planning, Optimization and QoS Management », Edited by J. Lempinen 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 Dimensioning » 2011.

123

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

122

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 : silenedaqa@enst.fr

30/03/2007
Marceau Coupechoux
Licence de droits d'usage

ParisTech
GRAND COLLEGE UNIVERSITAIRE PARIS
INSTITUT DE TECHNOLOGIE

124