

# Les débits en 5G: mythes et réalité

*ARCEP*

Marceau Coupechoux

Professeur, Telecom Paris et École Polytechnique  
Institut Polytechnique de Paris

16 septembre 2020

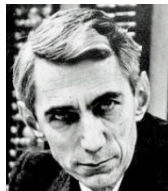
# Sommaire

- ▶ Introduction
- ▶ Quels sont les débits théorique crêtes en 5G ?
- ▶ Quels sont les facteurs qui influencent le débit réel ?
- ▶ Étude de cas : déploiement en zones rurales et urbaines

# Introduction

- ▶ Claude Shannon et Warren Weaver publient en 1949 *The Mathematical Theory of Communication* dans lequel est énoncé le deuxième théorème de Shannon sur le débit maximum atteignable sur un canal bruité :

$$C = W \log \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$



- ▶ Avec MIMO :

$$C_{MIMO} = \sum_{i=1}^r W \log \left( 1 + \frac{1}{N_t} \cdot \frac{S_i}{N} \right)$$

- ▶ En pratique : (1) la capacité n'est pas tout-à-fait atteinte, (2) elle est bornée, (3) il faut partager entre les utilisateurs, (4) surcharge protocolaire

# Glossaire

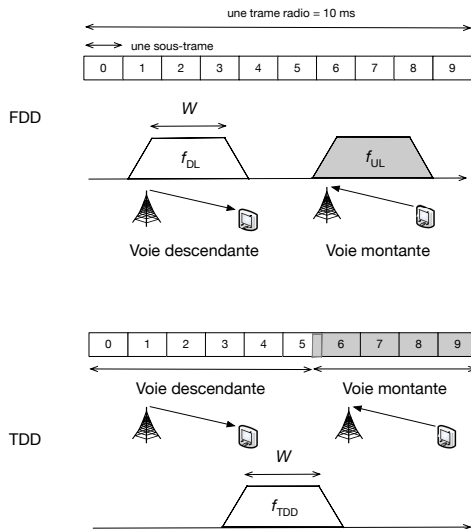
- ▶ **Cellule radio** : zone couverte par une antenne radio. Un site radio (pylône, terrasse) est généralement constitué par 2 ou 3 antennes qui « couvrent » dans des directions différentes (ce sont des « secteurs »).
- ▶ **Capacité** : Maximum atteignable par la somme des débits des différents utilisateurs présents dans une même cellule radio.
- ▶ **Resource radio** : quantité élémentaire de temps et de fréquence permettant de transmettre des données (« tuyau » élémentaire). Chaque cellule dispose d'un certain nombre de ressources radio qu'elle partage entre les utilisateurs actifs présents dans la cellule.
- ▶ **Charge de la cellule** : proportion des ressources radio d'une cellule allouées à la transmission des données vers les utilisateurs.
- ▶ **Surcharge protocolaire** : ressources radio qui ne transportent pas des données d'utilisateurs mais des signaux nécessaires à la communication.

Quels sont les débits théoriques crêtes en 5G ?

# Méthodologie

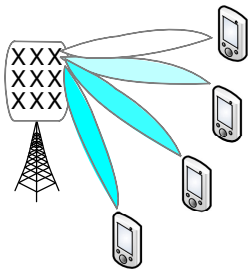
- 1 On compte le nombre total de ressources radio
- 2 On compte le nombre de bits par ressource radio
- 3 On multiplie par le nombre de flux MIMO
- 4 On retranche la surcharge protocolaire, c-a-d tous les signaux dont ont besoin les équipements pour pouvoir communiquer entre eux

# Frequency et Time Division Duplexing

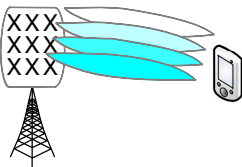


- ▶ FDD : chaque voie utilise une fréquence propre
- ▶ TDD : il n'y a qu'une seule fréquence, les voies se partagent en temps

# Débits crêtes théoriques : Antennes multiples (MIMO)



Massive MIMO



Multiplexage spatial

- ▶ En massive MIMO, plusieurs utilisateurs sont servis simultanément pendant un élément de ressource radio. Il y a un gain en capacité en 5G NR par rapport à un système 4G sans massive MIMO.
- ▶ Un système MIMO  $N \times N$  est capable de transporter  $N$  flux simultanés au maximum dans les meilleures conditions radio.



# Débits crêtes théoriques en LTE et NR

Bande Duplexage	Largeur de fréquences [MHz]	LTE (4G)		NR (5G)	
		MIMO 2 × 2	MIMO 4 × 4	MIMO 2 × 2	MIMO 4 × 4
<1.8 GHz FDD	5	49.0	-	53.5	-
	<b>10</b>	<b>97.9</b>	-	<b>111.3</b>	-
	15	149.8	-	169.1	-
	20	195.8	-	226.9	-
≥ 1.8 GHz FDD	5	49.0	98.0	53.5	107.0
	10	97.9	195.8	111.3	222.6
	15	149.8	299.9	169.1	338.1
	20	195.8	391.7	226.9	453.7
>3.4 GHz TDD	<b>50</b>	-	-	<b>421.3</b>	<b>842.5</b>
	<b>100</b>	-	-	<b>864.7</b>	<b>1729.4</b>

NB :

- ▶ Tous les débits sont donnés en Mbps sur la voie descendante, les hypothèses de calcul sont en annexe.
- ▶ < 1,8 GHz FDD : fréquences existantes qui ne permettent pas de déployer des antennes MIMO 4x4.
- ▶ > 1,8 GHz FDD : fréquences existantes qui permettent pas de déployer des antennes MIMO 4x4.
- ▶ 3,5 GHz : les nouvelles fréquences.

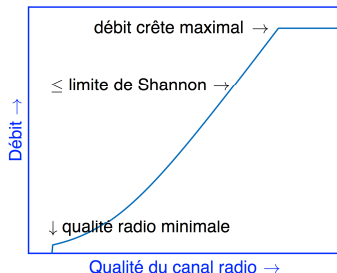
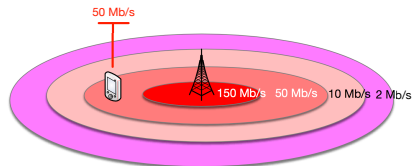
# Débits crêtes théoriques en LTE et 5G NR

Remarques :

- ▶ Il s'agit de débits théoriques *maximaux* atteignables par un utilisateur seul dans la cellule, bénéficiant de conditions radio idéales et de toutes les ressources disponibles [ITU-M2410].
- ▶ MIMO  $4 \times 4$  apporte un facteur 2 par rapport à MIMO  $2 \times 2$ .
- ▶ En 5G NR les débits crêtes sont augmentés significativement dans la bande de fréquences 3,5 GHz TDD et de manière plus réduite mais néanmoins notable avec la réutilisation des bandes de fréquences existantes en FDD.
- ▶ Le calcul de la surcharge protocolaire est approximatif pour la 5G NR ce qui introduit une marge d'erreur sur les débits crêtes.
- ▶ Il s'agit des débits sur la voie descendante.
- ▶ Les débits présentés ne concernent qu'une seule porteuse. En cas d'*agrégation de porteuses*, il faut additionner les débits sur chaque porteuse.

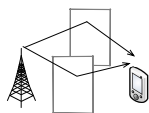
Quels sont les facteurs qui influencent le débit réel ?

# La distance du terminal à l'antenne



- ▶ Plus la qualité du canal radio se dégrade, plus le débit physique décroît.
- ▶ De manière approximative, plus le terminal s'éloigne de l'antenne plus son débit décroît.
- ▶ NB : les débits sont illustratifs sur cette figure.

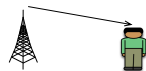
# Le rôle de l'environnement et de la fréquence



Urbain



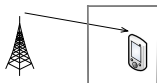
Extérieur



Lent



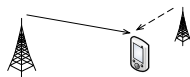
Rural



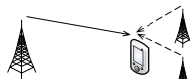
Intérieur



Rapide



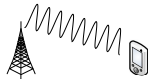
Peu d'interférences



Beaucoup d'interférences



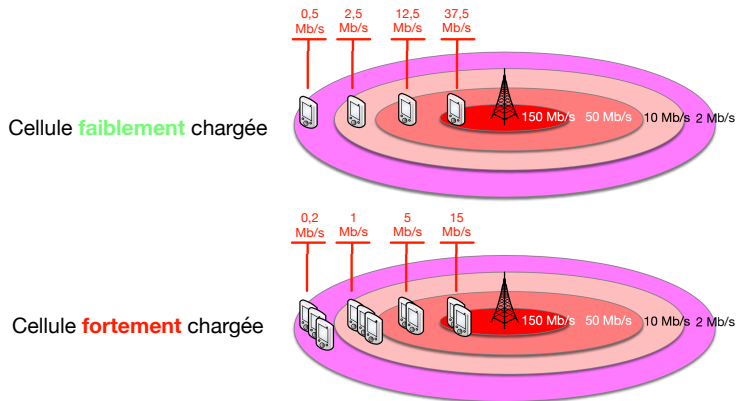
Bande basse



Bande haute

- ▶ À une distance donnée de l'antenne, le débit peut considérablement varier.

# Le partage des ressources entre les utilisateurs



- Approximativement, le débit physique est divisé par le nombre d'utilisateurs actifs dans la cellule.

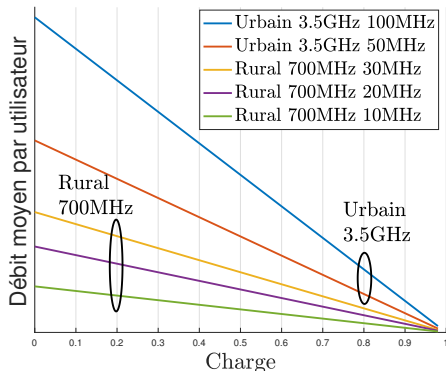
# Les capacités du terminal

- ▶ Il existe en 5G une longue liste de fonctionnalités supportées ou non par chaque terminal.
- ▶ Le débit maximum que doit supporter un terminal est calculé par fréquence porteuse en fonction des caractéristiques de la bande.
- ▶ Les principales fonctionnalités qui influencent le débit :
  - ▶ Le nombre d'antennes et de flux MIMO (par exemple 4).
  - ▶ La largeur de bande maximale (par exemple 100 MHz).
  - ▶ Le nombre maximal de porteuses agrégées.

## Étude de cas : déploiement en zones rurales et urbaines



# Influence de la charge

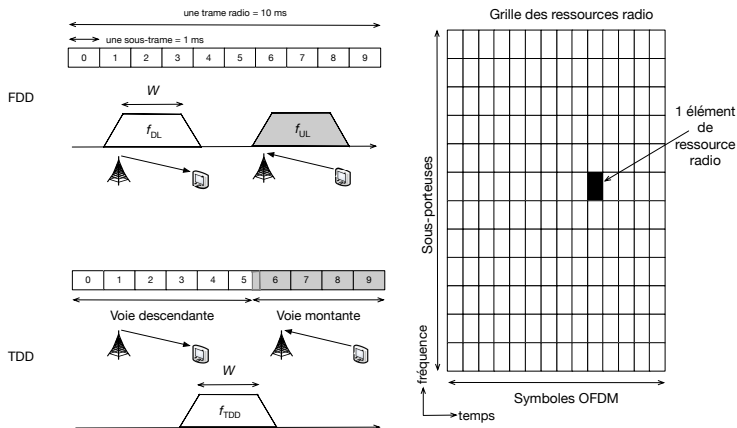


- ▶ À charge équivalente, plus la bande est large, plus le débit est important.
- ▶ Une cellule rurale très peu chargée peut offrir un débit utilisateur supérieur à celui d'une cellule urbaine très chargée.
- ▶ En bande basse, 30 MHz peuvent être obtenus par agrégation de porteuses.

Merci pour votre attention

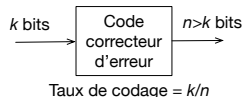
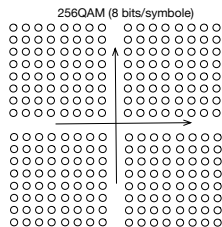
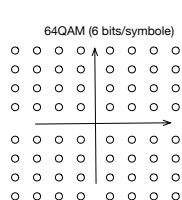
## Annexes

# Débits crêtes théoriques : Ressources radio



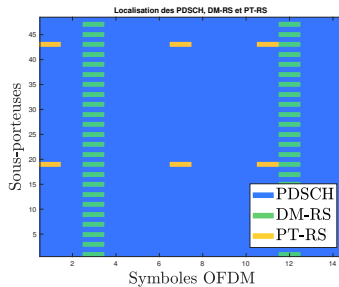
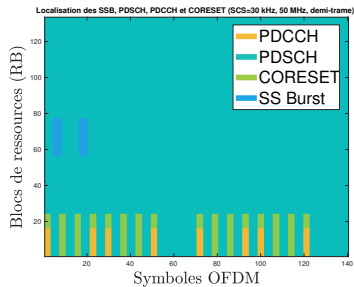
- ▶  $\#$  éléments de ressource radio =  $\#$  sous-porteuses  $\times$   $\#$  symboles.
- ▶ Le  $\#$  de sous-porteuses est proportionnel à la largeur de bande  $W$ .
- ▶ En TDD, une partie de la trame radio est dédiée à la voie montante.

# Débits crêtes théoriques : Modulation et codage



- ▶ Chaque élément de ressource radio transporte 6 (64-QAM) ou 8 bits (256-QAM), la 256-QAM apporte un gain d'environ 33% par rapport à la 64-QAM.
- ▶ Certains bits (en proportion  $1 - k/n$ ) sont redondants, on les retranche du nombre de bits d'informations transportés.

# Débits crêtes théoriques : Surcharge protocolaire



- Certains éléments de ressources ne transportent pas de bits pour l'utilisateur, ils sont dédiés à des canaux de signalisation.

# Débits crêtes théoriques en 5G NR - Voie montante

Fréquence porteuse	W [MHz]	sans MIMO	MIMO 2 × 2
< 1.8 GHz FDD	5	21.5	42.9
	10	44.6	89.3
	15	67.8	135.6
	20	91.0	182.0
≥ 1.8 GHz FDD	5	21.5	42.9
	10	44.6	89.3
	15	67.8	135.6
	20	91.0	182.0
> 3.4 GHz TDD	50	52.5	105.1
	100	107.8	215.6

Tous les débits sont donnés en Mbps, les hypothèses de calcul sont en annexe. Il s'agit de débits théoriques *maximaux* atteignables par un utilisateur seul dans la cellule, bénéficiant de conditions radio idéales et de toutes les ressources disponibles [ITU-M2410].

# Hypothèses et sources : débits théoriques 5G NR (1)

Le calcul du débit théorique est tiré du document 3GPP TR 37.910 et utilise la formule :

$$DR = \frac{n_{CC} \nu \alpha Q_m f R_{max} N_{PRB}^{BW, \mu} \times 12(1 - OH)}{T_s^\mu} \quad (1)$$

Hypothèses : 5G voie descendante

Paramètre	Signification	Valeurs	Remarques
$\mu$	Espacement de sous-porteuses	0 ; 1	$\leq 1.8$ ; 3.5GHz(38.214)
$T_s^\mu$	Durée symbole OFDM [s]	$1e - 3 / (14.2^\mu)$	préfixe normal (38.214)
$n_{CC}$	Nb. de porteuses	1	
$\nu$	Flux MIMO	2 ; 4 ; 8	8 est le max. VD (37.910)
$Q_m$	Ordre de modulation	8	256-QAM (38.214)
$f$	Scaling factor	1	(37.910)
$R_{max}$	Coding rate	948/1024	valeur max. (38.214)
$N_{PRB}^{BW, \mu}$	Allocation max. de RB	11 : 273	fonction de W et $\mu$ (37.910)
$OH$	Surcharge protocolaire	0.14 ; 0.18	FR1-VD ; FR2-VD (38.306)
$\alpha$	ratio VD	1 ; 0.74	FDD ; TDD (DDDDDDDSUU)



# Hypothèses et sources : débits théoriques 5G NR (2)

## Hypothèses : 5G voie montante

Paramètre	Signification	Valeurs	Remarques
$\mu$	Espacement de sous-porteuses	0;1	$\leq 1.8$ ;3.5GHz(38.214)
$T_s^\mu$	Durée symbole OFDM [s]	$1e - 3/(14.2^\mu)$	préfixe normal (38.214)
$n_{CC}$	Nb. de porteuses	1	
$\nu$	Flux MIMO	1;2	4 est le max. VM (37.910)
$Q_m$	Ordre de modulation	6	64-QAM (38.214)
$f$	Scaling factor	1	(37.910)
$R_{max}$	Coding rate	948/1024	valeur max. (38.214)
$N_{PRB}^{BW,\mu}$	Allocation max. de RB	11 : 273	fonction de W et $\mu$ (37.910)
$OH$	Surcharge protocolaire	0.08;0.1	FR1-VM; FR2-VM (38.306)
$\alpha$	ratio VM	1;0.23	FDD;TDD (DDDDDDDSUU)

# Hypothèses et sources : débits théoriques LTE

Le calcul sur la voie descendante se fonde sur le document 3GPP TR 38.213. On détermine la taille maximale du bloc de transport (TBS) en utilisant les règles suivantes :

- ▶ Nombre de RB : 6, 15, 25, 50, 75, 100 pour resp. 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz (37.910 Table 8.1.2-2)
- ▶ MIMO 1 layer : Table 7.1.7.2.1-1 ; 2 layers : Table 7.1.7.2.2-1 ; 4 layers : Table 7.1.7.2.5-1
- ▶ Modulation : 64-QAM :  $I_{TBS} = 26$ , 256-QAM :  $I_{TBS} = 33$
- ▶ Transmission Time Interval :  $TTI = 1$  ms
- ▶  $\alpha = 1$  (FDD)

$$DR = \frac{n_{CC}\alpha TBS}{TTI} \quad (2)$$

# Étude de cas : méthodologie

On considère :

- ▶ **Une zone rurale** : fréquence porteuse : 700 MHz, largeurs de bande : 10, 20, 30 MHz (lien supplémentaire SDL de 20 MHz à 1.4 GHz).
- ▶ **Une zone urbaine** : fréquence porteuse : 3.5 GHz, largeurs de bande : 50, 100 MHz.

Procédure :

- 1) On calcule le rayon de la cellule en fonction de la fréquence.
- 2) On associe à chaque distance un débit physique.
- 3) On distribue des utilisateurs dans la cellule.
- 4) On calcule le débit de chaque utilisateur.
- 5) On fait varier la charge entre 0 (cellule quasiment vide) et 1 (cellule très chargée)

# Licence

Cette œuvre est mise à disposition sous licence Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 3.0 France. Pour voir une copie de cette licence, visitez

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/> ou écrivez à Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

