

# (Tutorial 1)

## TD<sub>1</sub> of CELL

TD Guy Pujolle

### TD 1 du cours Cell

We want to calculate the data rates of different Wi-Fi networks, in particular 802.11ac. On veut calculer les débits de différents réseaux WiFi, en particulier du WiFi 802.11ac. 802.11ac uses the 5 GHz band & channels of 20, 40 & 80 MHz, optional: 160 MHz. Le 802.11ac utilise la bande des 5 GHz et les canaux ont une largeur de 20, 40 et 80 MHz et optionnellement de 160 MHz.

Combien de canaux peut-on mettre sur la bande des 5 GHz si on choisit l'option 160 Hz ? Quand cette option peut-elle être utile ? How many channels do we have in the 5 GHz band if we choose the option of 160 MHz ? when is this option useful ?

Réponse : La bande des 5 GHz fait 200 MHz de largeur et on peut donc n'y mettre qu'un seul canal. S'il n'y a qu'un seul canal possible cela empêche d'avoir un plan de fréquences. Donc cette solution est bonne lorsqu'il n'y a qu'un seul point d'accès, avec une forte demande de débit, sans autre point ac dans les environs immédiats.

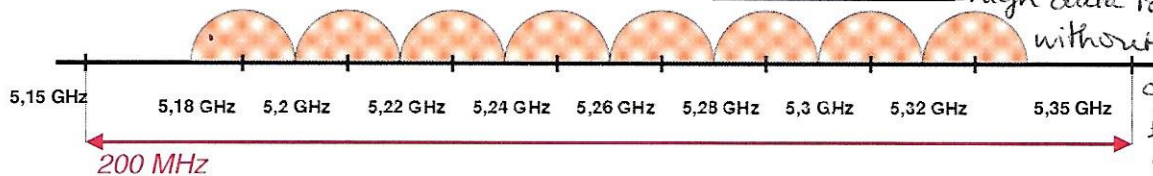
Answer: The bandwidth of the 5 GHz band is 200 MHz  $\Rightarrow$  we can only put 1 channel.

- 8 canaux de 20 MHz
- 52 sous-canaux
- Co-localisation de 8 réseaux au sein du même espace

| Canal | Fréquence (en GHz) |
|-------|--------------------|
| 36    | 5,18               |
| 40    | 5,20               |
| 44    | 5,22               |
| 48    | 5,24               |
| 52    | 5,26               |
| 56    | 5,28               |
| 60    | 5,30               |
| 64    | 5,32               |

$\Rightarrow$  That means, we cannot do frequency planning.

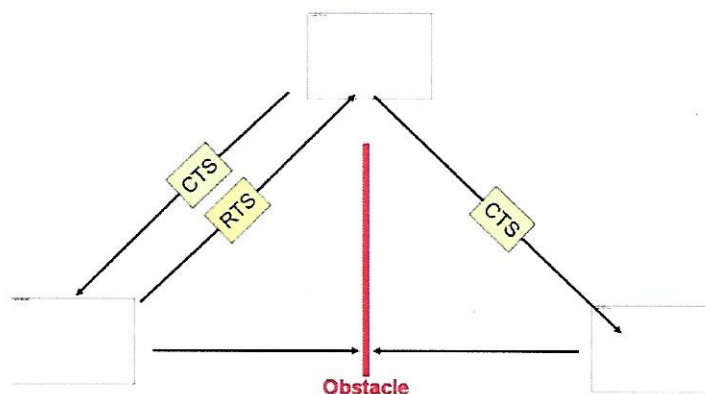
$\Rightarrow$  This solution is useful when there is only 1 access point, for a high data rate demand, without any other access point in the surrounding.



Décrivez l'utilisation du RTS/CTS

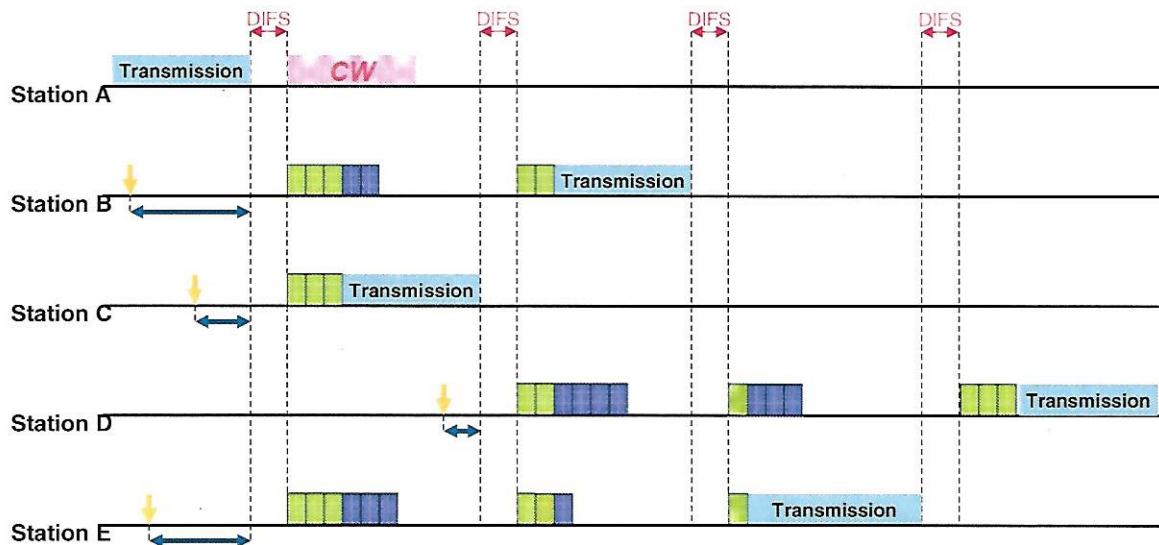
Describe the use of RTS/CTS

Réponse :



The access technique is CSMA/CA. Give a diagram of CSMA/CA. La technique d'accès est CSMA/CA. Faites un diagramme du CSMA/CA.

Réponse :



**Légende :**

- Timeslot expiré
- Timeslot restant
- La station accède au support et l'écoute
- Temps d'attente du à l'occupation du support par une autre station
- Taille de la fenêtre de contention

Is it possible to have a collision between 2 clients of the same access point when they listen to the free medium at the same time? (we suppose that there is no hidden terminal).

Peut-il y avoir une collision entre deux clients sur le même point d'accès lorsque les deux clients entendent le support libre au moment de l'écoute? (on suppose qu'il n'y a pas de terminaux cachés).

at the same time? (we suppose that there is no hidden terminal).

This probability is negligible because the propagation delay to access the access point is negligible (few tens of meters of propagation at the light speed).

Réponse : La probabilité est complètement négligeable puisque le délai de propagation pour accéder au point d'accès est négligeable (quelques dizaines de mètres de propagation à la vitesse de la lumière). Il faudrait pour qu'il y ait une collision que les deux machines émettent dans moins que la même  $\mu s$ . A collision could happen only when 2 machines send within the same  $\mu s$ .

The Backoff algorithm when a collision risk to happen is as follows:

L'algorithme de Backoff lorsqu'une collision risque de se produire est le suivant :

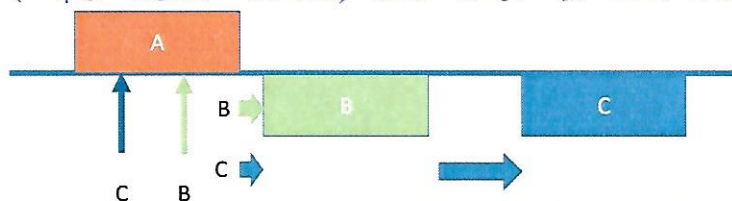
We take an integer value  $M$  where  $0 \leq M < 2^N$ , where  $N$  is the number of successive launches of the back-off algorithm for the transmission of the same frame. Demonstrate what happens when 2 frames risk to have a collision for the first time due to the listening when another frame is being sent.

On tire une valeur entière  $M$  avec  $0 \leq M < 2^N$  ou  $N$  est le nombre de fois successive où un tirage du backoff a été effectué pour l'émission d'une même trame. Montrer ce qui se passe lorsque deux trames risquent pour la première fois de rentrer en collision suite à l'écoute pendant qu'une trame est en train d'être émise.

Réponse : deux cas de figure (2 cases):

- 1- les deux temporisateurs sont 0 ou bien 1 et il y a une collision
- 2- les deux temporisateurs sont différents (0 et 1 ou bien 1 et 0)

1- Both timers are 0 or 1 and there is a collision



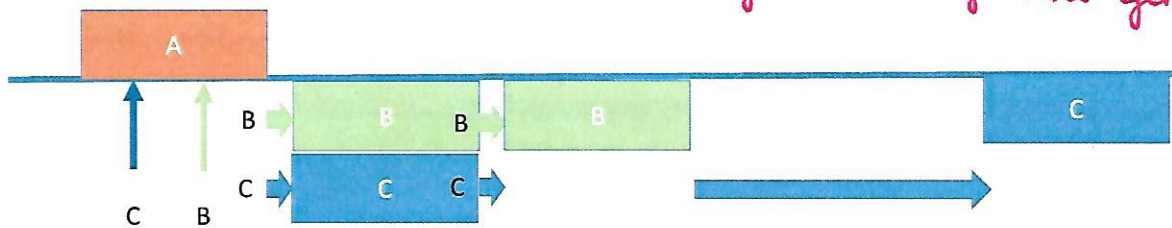
2- Two timers are different (0 and 1 or 1 and 0)

Montrer ce qui se passe ensuite si une collision s'est produite.

Show what happens after that in case of collision.



Answer: The case where there are 2 frames in collision after having gotten 0, then Réponse : cas par exemple où les deux trames entre en collision après avoir tiré 0 puis la trame B tire encore 0 alors que la trame C tire 2. 0 again while frame 2 gets 2.



We suppose that the WiFi network uses the mimo technique. Suppose that On suppose que le réseau WiFi utilise la technique MIMO. Supposons un MIMO de type 3x3 (3 antennes vers 3 antennes). Utilise-t-on des fréquences différentes ? of type 3x3 (3 antennes towards 3 antennas). Do we use different frequencies ?

Réponse : Non c'est la même fréquence qui est utilisée.

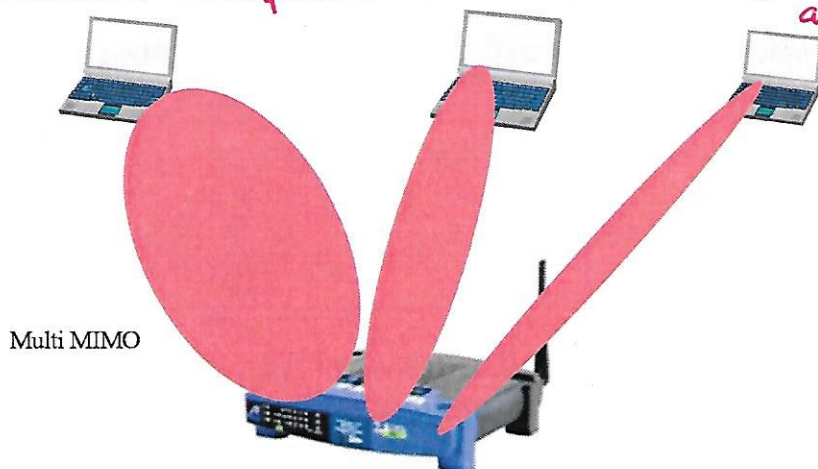
Answer: No, we use the same frequency.

Donner un exemple de MU-MIMO Multi-user MIMO

Give an example of MU-MIMO (Multi-user MIMO)

Réponse : exemple avec trois transmissions simultanées (une 1x1, une deuxième 2x2 et une troisième 3x3)

Answer: Example with 3 simultaneous transmissions (one 1x1, the second 2x2, and the third 3x3)



unique

What's the bitrate of the 802.11ac network with an antenna and the use of a 256 QAM 5/6 with a bandwidth of 80 MHz. There is a time period between 2 frames, the SGI (Short Guard Time), which is 400 ns

Quel est le débit du réseau WiFi 802.11ac avec une antenne unique et l'utilisation d'un codage 256QAM 5/6 avec une largeur de bande de 80 MHz. Il y a un temps incompressible entre deux trames, le SGI (Short Guard Time), qui est de 400ns dans IEEE 802.11ac. Avec les overheads la capacité perdue représentent 100Mbit/s.

Réponse : Il y a transmission de 8 bits par Hz et donc 640 Mbit/s avec un taux de 5/6 : 533 Mbit/s. Il faut enlever les overheads, ce qui donne un débit de 433 Mbit/s.

in 802.11ac. With the overheads, the capacity lost is 100 Mbit/s.

Answer: There is a transmission of 8 bits per Hz and then 640 Mbit/s with a 5/6 ratio : 533 Mbit/s. We must remove the overhead, that means we get 433 Mbit/s



Classify the technologies in function of the transmission range, ~~from~~ in the increasing order, suppose that the transmissions uses the same transmission power and the antennas (which sends in all the directions) - omnidirectional. a, b, g, n, ac, ah, af, ad.

Classer les technologies en fonction de la portée, du moins loin au plus loin en supposant que les émissions utilisent la même puissance et des antennes omnidirectionnelles (qui émettent dans toutes les directions) - a, b, g, n, ac, ah, af, ad

Answer: ad; <sup>then</sup> ac and a and n, then b, g then ah, then af.  
Réponse : ad, puis ac et a et n, puis b, g puis ah, puis af

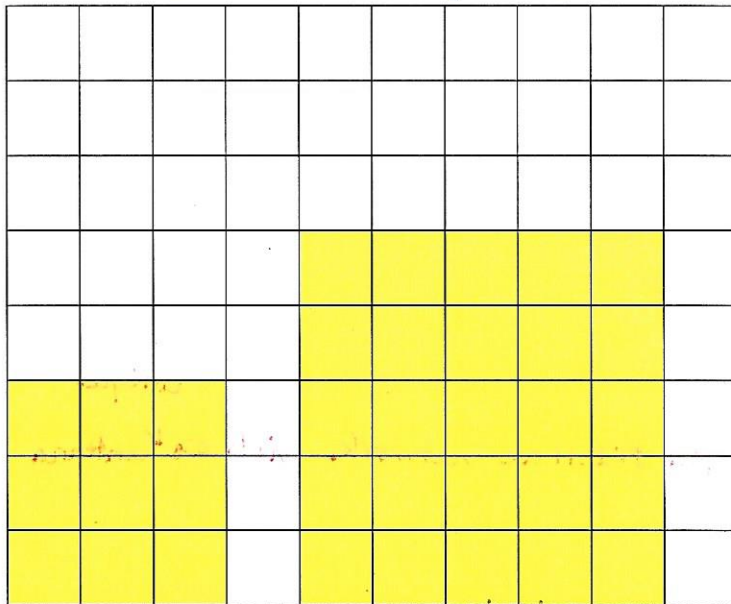
## TD 2 du cours Cell

## TD2 (Tutorial 2 - CELL)

We want to compare 2 solutions LTE and Wi-Fi in a stadium. The stadium has 80 000 seats. On veut comparer les deux solutions LTE et WiFi dans un stade. Le stade comprend 80 000 places qui couvrent chacune 1 m<sup>2</sup>. On souhaite que chaque client ait un débit d'au moins 1 Mbit/s en permanence. We want that each client has a minimum data rate of 1 Mbit/s permanently.

On suppose un réseau de mobile de type LTE, réalisé avec une grande antenne que l'on veut comparer avec une solution utilisant des petites cellules (small cells) qui recouvrent la cellule de la grande antenne. Nous voulons comparer le débit global des deux solutions. Le schéma ci-dessous donne une idée de la couverture d'une grande antenne qui pourrait être remplacée par 100 petites antennes (10 petites cellules sur 10 petites cellules). On suppose qu'une petite cellule peut connecter 40 spectateurs du stade.

We suppose that the mobile network is LTE, using a big antenna. We want to compare it with the solution using small cells covering the cell of the big antenna.



We want to compare the global data rate of the 2 solutions. The following figure gives an idea of the coverage area of a big antenna which can be replaced by 100 small cells (10 x 10 small cells). We suppose that a small cell can connect 40 clients of the stadium.

Can you give the <sup>important</sup> advantages and weakness of the 2 solutions related to the Wi-Fi?  
Pouvez-vous donner quelques avantages et inconvénients importants des deux solutions suivantes concernant le WiFi :

1- les antennes Wi-Fi sont centralisées et grâce à des antennes directives, elles mettent en place des cellules

1- the Wi-Fi antennas are centralized thanks to the directional antennas used to realize the cells.



2 - The WiFi antennas are distributed ~~not~~ uniformly in the stadium?

Answer: Don't

Centralized: ~~No~~ need many cables to connect the WiFi access points. Uplink

Uplink flows are very complex which interfere ~~for~~ one another.

2 - les antennes Wi-Fi sont distribuées régulièrement dans le stade?

Distributed: Need a lot of cables to reach each access point. Less

Réponse. interference if the access point's transmission power is controlled so that

Centralisation: Pas besoin de beaucoup de câbles pour desservir les points d'accès WiFi. Flux the cells montants très complexes et qui interfèrent. using the same frequency follow a classical

classical frequency planning.

Distribution: Besoin de beaucoup de câbles pour atteindre chaque point d'accès. Peu

d'interférences si la puissance des points d'accès est réglée pour que les cellules utilisant la

même fréquence suivent un plan de fréquence classique.

If we use the Wi-Fi access points, we have to connect them to a controller.

Si on utilise des points d'accès WiFi, il faut les relier vers un contrôleur. Le coût du The cost of cable

déploiement des câbles (fibre optique) est très cher. Il faut le minimiser. Comment peut-on deployment

faire? (optical fiber) is very expensive. We have to minimize the cost. ~~we~~ How

can we do that?

Réponse: Utiliser un réseau mesh ou ad-hoc. Answer: Use a mesh or ad-hoc network.

We suppose that to avoid an important cabling, the WiFi access points are interconnected

On suppose donc que pour éviter d'avoir un câblage trop important les points d'accès WiFi by a mesh

sont reliés en réseau mesh. Quel est le nombre de cellules pour des réseaux mesh à 1 saut et network.

à 2 sauts (cf. figure avec en jaune deux exemples)? What is the number of cells for a mesh

network of 1 hop & of 2 hops? (see the figure with the yellow color, the 2 examples)

Réponse: 9 et 25 cellules.

Answer: 9 & 25 cells.

Dans le LTE on peut utiliser du FDD (Frequency Division Duplexing) qui demande 2 bandes de

fréquences distinctes pour l'émission (upload) et la réception (download) et le TDD (Time-

Division Duplex) qui utilise une seule bande de fréquence avec des ressources

dynamiquement allouées à l'émission ou à la réception des données (multiplexage disjoint

temporel).

In LTE, we can use FDD (Frequency Division Duplexing) which needs 2 frequency bands

Réponse: Le TDD permet d'adapter plus facilement les besoins des canaux montants et for the

descendants mais la synchronisation est beaucoup plus complexe entre les canaux montants transmission

et descendants. (uplink) and the reception (downlink) and the TDD (Time

Division Duplex) which uses only 1 frequency band with resources dynamically

allocated to the transmission or to the reception of data (temporal multiplexing)

Réponse: l'ensemble des sous-porteuses définies par la modulation OFDMA peuvent être

utilisées pour émettre et recevoir avec une répartition de la bande passante entre les débits

montants et descendants qui est définie par l'opérateur mobile

L'OFDMA du LTE se présente sous la forme suivante:

Answer: TDD allows an easier adaptation to the needs of downlink &

uplink channels but the synchronisation is much more complex between the uplink & downlink channels.

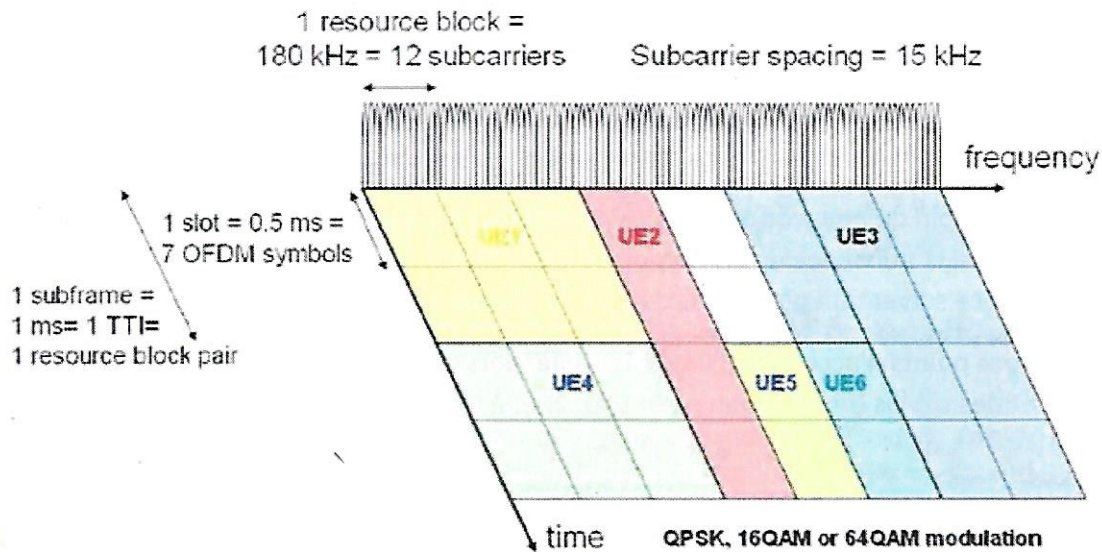
How can we do TDD over OFDMA?

Answer: The set of sub-carriers defined by the OFDMA modulation

can be used to send and receive with the division of the bandwidth between the uplink & downlink data rates which are defined by the mobile operator.

The OFDMA of LTE is presented in the following form:





elementary

- The time slots are of 66,7  $\mu$ s in LTE and we need 7 time slots to form a slot which, with the overhead, represents 0,5 ms.
- Les tranches de temps élémentaires sont de 66,7  $\mu$ s dans le LTE et il faut 7 tranches pour former un slot qui avec les overheads représente 0,5 ms. Une ressource correspond à 180 KHz (12 sous porteuses) et à un slot de 0,5 ms. L'espace entre les ressources est de 15 kHz.
- Combien y a-t-il de ressources par slot pour un canal de 5 MHz ?
- One resource corresponds to 180 KHz (12 sub-carriers) and to a slot of 0,5 ms.
- Réponse : Sur 5 MHz cela fait 25 ressources pour chaque tranche de 66,7  $\mu$ s.
- The subcarrier spacing is 15 KHz. How many resources are there per slot for a 5MHz channel ?
- 1 slot de 0,5ms fait 7 tranches.
- Answer: over 5MHz, we have 25 resources for each slot of 66,7  $\mu$ s, 1 slot of 0,5ms.
- Donc 25 clients toutes les 0,5 ms. = 7 time slots, so 25 clients every 0,5 ms.
- How many clients can be connected simultaneously at a given time ? These clients are
- Combien de clients peuvent être connectés simultanément à un instant précis, ces clients étant actifs, c'est-à-dire en émission ou en réception. means they are sending or receiving.
- Answer: If the frames are 4 ms, we can allocate 200 client totally.
- Réponse : Si les trames font 4 ms on peut donc allouer 200 clients au total.
- what is the elementary client's data rate ?
- Quel est le débit d'un client élémentaire ?
- Answer: The elementary client's data rate with N bits/Hz every 0,5 ms gives the data
- Réponse : Le débit d'un client élémentaire avec N bits par Hz toutes les 0,5ms donne le rate of
- débit  $N \times 90 = 90 N$  bit/s. Si  $N=8$  cela fait 720 bits  $N \times 90 = 90 N$  bit/s. If  $N=8 \Rightarrow 720$  bits
- what is the data rate per client with 1 resource per frame ?
- Quel est le débit par client avec 1 ressource par trame ?
- There are 250 frames per second, so the data rate per client is :  $720 \times 250 = 180\,000$  bit/s = 180 Kbit/s
- Il y a 250 trames par seconde, donc le débit par client est de :  $720 \times 250 = 180\,000$  bit/s = 180 Kbit/s
- what is the total data rate of the antenna ?
- Quel est le débit total de l'antenne ?
- Answer: Total data rate:  $180 \text{ Kbit/s} \times 200 \text{ clients} = 36 \text{ Mbit/s}$
- Réponse: Débit total :  $180 \text{ Kbit/s} \times 200 \text{ clients} = 36 \text{ Mbit/s}$
- If the antenna uses a MIMO 3x3, what is the data rate ?
- Si l'antenne utilise un MIMO 3x3 quel est le débit ?
- Answer: Data rate with a MIMO 3x3 =  $36 \times 3 = 108 \text{ Mbit/s}$ . It is worth noting that
- Réponse : Débit avec un MIMO 3x3 =  $36 \times 3 = 108 \text{ Mbit/s}$ . Il faut noter que le débit réel est certainement un peu inférieur car il y a quelques interférences entre les trois canaux. data rate is certainly smaller because there are some interference between the 3 channels.



If the antenna has 4 channels of 20 MHz each, what is the data rate?

Si l'antenne dispose de 4 canaux de 20 MHz chacun, quel serait le débit?

Answer: For a frequency of 80 MHz, the total data rate is  $108 \times 4 = 432 \text{ Mbit/s}$ .

Réponse: Pour une fréquence de 80 MHz, le débit total est de  $108 \times 4 = 432 \text{ Mbit/s}$ .

When using SDMA in addition, what is the data rate?

En utilisant une technique SDMA en plus que devient le débit?

Answer: for 4 or 8 directions  $432 \times 4 = 1732 \text{ Mbit/s}$  or  $432 \times 8 = 3456 \text{ Mbit/s}$ .

Réponse: pour 4 ou 8 directions  $432 \times 4 = 1732 \text{ Mbit/s}$  ou  $432 \times 8 = 3456 \text{ Mbit/s}$ .

To send voice call ~~over~~ using VoLTE, how to do?

Pour faire passer une parole téléphonique en VoLTE comment faut-il s'y prendre?

Answer: VoLTE is VoIP over the data part of LTE.

Réponse: Le VoLTE est de la VOIP sur la partie « données » du LTE.

Is it possible to send VoLTE over an elementary time slot?

Est-il possible de faire passer une VoLTE sur une tranche de temps élémentaire?

Answer: Yes, it is possible to send VoLTE over 1 elementary time slot which represents

Réponse: Oui il est possible de faire passer une VoLTE sur une tranche de temps à capacité of élémentaire qui représente une capacité de 25 Kbit/s. 25 Kbit/s.

The Wifi controllers have 2 types: low level controller and high level controller (also called application level controller). Les contrôleurs WiFi sont de deux types: contrôleur de bas niveau et contrôleur de haut niveau (que l'on appelle encore contrôleur applicatif). Pouvez-vous donner quelques services

provided by these 2 types of controllers? Can you give few services

Réponse: Pour la première catégorie, il y a des services de type « gestion des fréquences »

ou « gestion de la puissance » ou détection des points d'accès pirates par écoute. Dans la deuxième catégorie on trouve des services de gestion des utilisateurs comme

l'authentification, la correspondance avec un profil, l'utilisation d'une imprimante,

l'utilisation d'un webmail, etc. Answer: the 1st type, there are services of type "frequency

management" or "power control" or fake access point detection by listening. For the 2nd type,

Dans un stade, on peut mettre 4 fréquences LTE (20 MHz) et utiliser 8 directions ce qui donne un débit de presque 3,5 Gbit/s. S'il y a 4 opérateurs, le débit total atteint 14 Gbit/s.

services of user management such as authentication, profile mapping, printer usage, webmail usage, etc.

On veut comparer ce débit avec celui d'une solution WiFi. On suppose que chaque cellule WiFi correspond à un WiFi de capacité 100 Mbit/s par cellule en utilisant un 802.11ac. Quel

est la capacité globale du stade?

In a stadium, we can put 4 LTE frequencies (20 MHz) and use 8 directions

Réponse: il y a 2000 cellules et donc 200 Gbit/s. Il est à noter que si l'on utilisait du 802.11g, which give la capacité serait insuffisante par cellule qui doit atteindre 40 Mbit/s. a data rate about 35 Gbit/s

On revient au réseau mesh pour éviter de poser trop de câble. Quel débit arrive sur l'antenne centrale? Est-ce possible?

Réponse: dans le cas d'un seul saut, il y a 9 cellules de 40 utilisateurs donc le débit demandé est de  $40 \times 9 \text{ Mbit/s} = 360 \text{ Mbit/s}$ . Cette valeur ne peut être atteinte que par un réseau 11.ac.

Pour deux sauts, le débit serait de  $25 \times 40 = 1000 \text{ Mbit/s} = 1 \text{ Gbit/s}$ . Nous sommes à

l'extrême limite de la technologie ac et en débit réel 1 Gbit/s ne passera pas. Il faut donc éliminer cette solution et prendre une solution de réseau mesh à un saut.

On met un contrôleur derrière les points d'accès WiFi. Le contrôleur peut-il limiter le débit des clients? comment?

Réponse: Oui en jouant sur TCP (retarder les acquittements)

this data rate with the one

of a Wi-Fi solution. We suppose that each cell corresponds to a Wi-Fi

of 100 Mbit/s per cell using 802.11ac. what is the global capacity of the stadium?



Answer: There are 2000 ~~clients~~ ~~at~~ cells and then 200 Gbit/s.

It is worth noting that if we ~~use~~ use 802.11g, the capacity per cell can be ~~not~~ not sufficient, which should reach 40 Mbit/s.

\* We come back to the mesh network to avoid deploying a lot of cables. Which is the data rate over the central antenna?  
(at)  
Is it possible?

Answer: In the case of only one hop, there are 9 cells of

40 users  $\Rightarrow$  the required data rate is  $40 \times 9 \text{ Mbit/s} =$

360 Mbit/s. This value can ~~not~~ <sup>only</sup> be reached by 11ac

For the case of 2 hops, the data rate is  $25 \times 40 =$

1000 Mbit/s = 1 Gbit/s. We are at the extreme limit

of the ac technology and ~~in~~ with the real data rate, 1 Gbit/s is not possible. So, this solution is not possible. We must use the solution of mesh network at 1 hop.

\* We put a controller behind the Wifi access points. The controller limit the client's data rate? How? <sup>Can</sup>

Answer: Yes, playing with TCP (delay the acknowledgments)