



## Interface radio, Semaine 3

Vidéo 1 : Transmission radio

Vidéo 2 : Notion de bloc de ressources et sous-trame

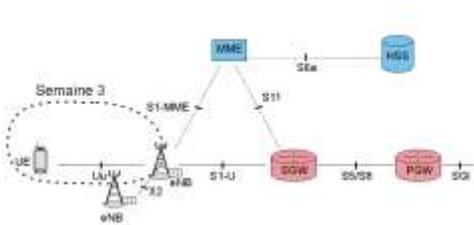
Vidéo 3 : Principe de l'allocation paquet

Vidéo 4 : Fiabilisation des transmissions sur la voie radio

Vidéo 5 : Protocole RLC

Vidéo 6 : Accès aléatoire

Vidéo 7 : PDCP et vision globale



**Comment est réalisée la communication en un eNB et les UE qui en dépendent ?**

1

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Vidéo 1 : Transmission radio

**Comment les informations sont elles physiquement transmises sur l'air?**

2

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Notion de modulation



3

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Notion de modulation



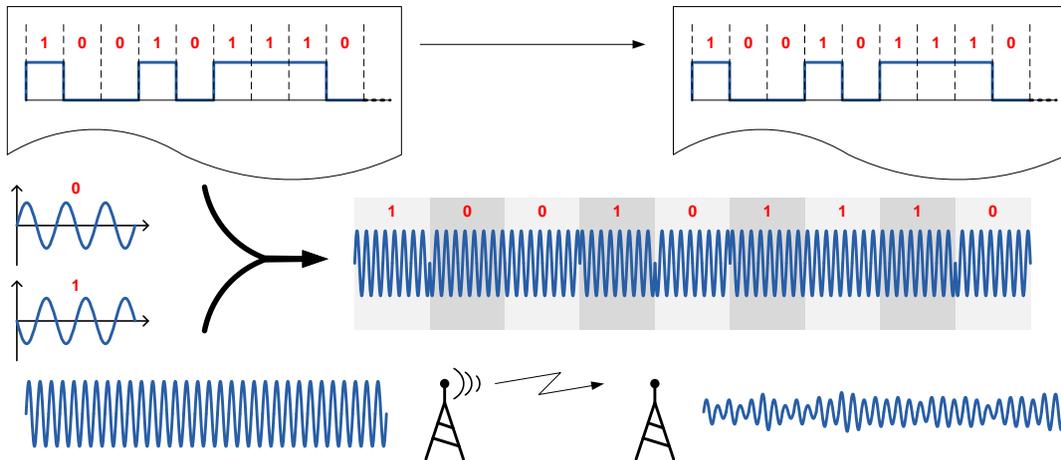
4

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Notion de modulation



5

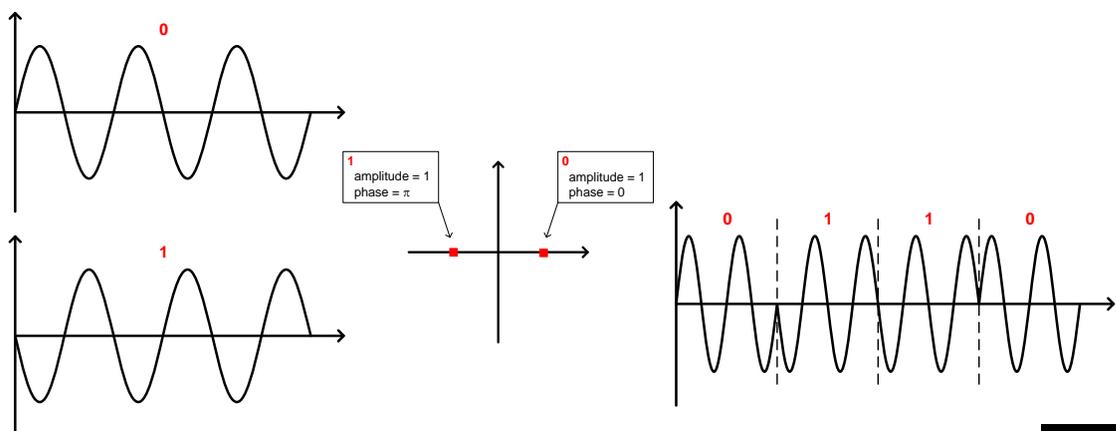
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Quelques techniques de modulation

### ■ Modulation de phase 2 états (BPSK: Binary Phase Shift Keying)



6

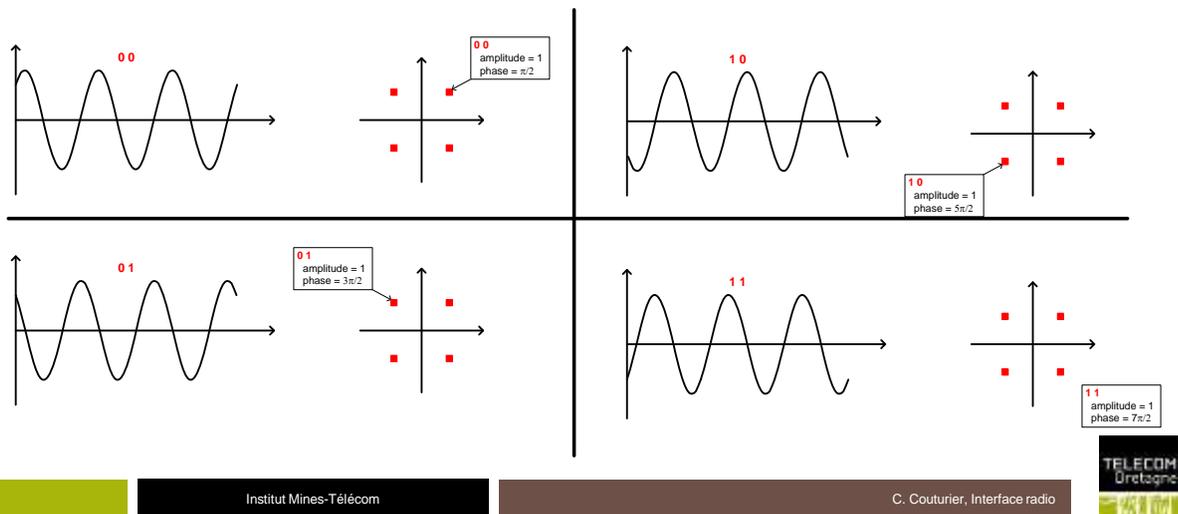
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



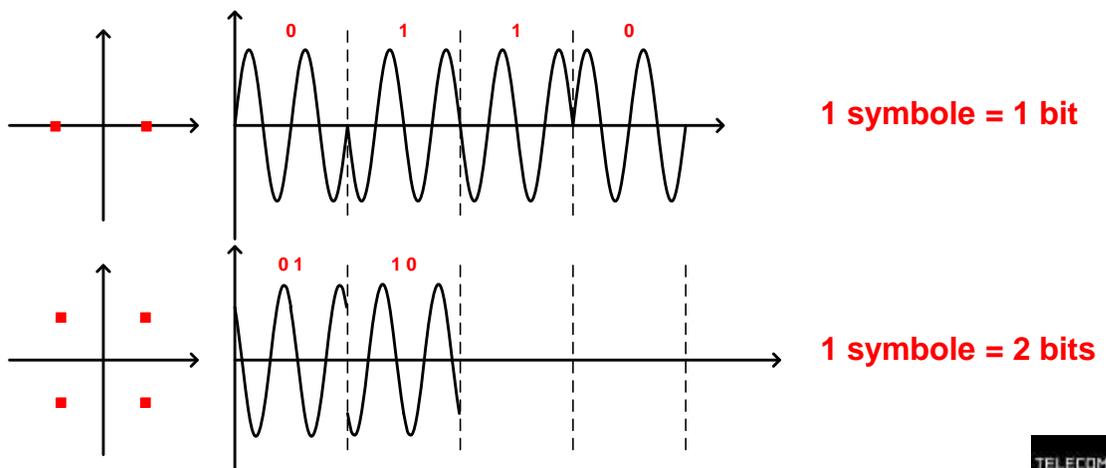
## Quelques techniques de modulation

### ■ Modulation de phase à 4 états (QPSK : Quaternary Phase Shift Keying) :



## Quelques techniques de modulation

### ■ Comparaison BPSK / QPSK :



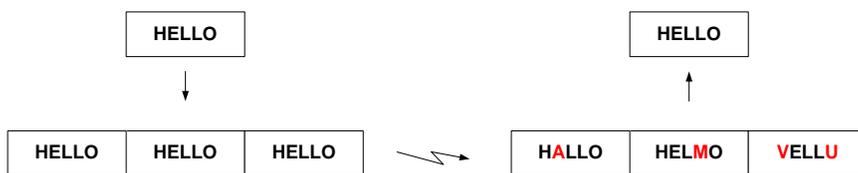
## Comment fiabiliser la transmission

### ■ Des « perturbations » peuvent se produire et engendrer des erreurs

- On mesure la qualité en taux d'erreur bit (BER : Bit Error Rate)

### ■ Correction d'erreur

- Par codes correcteurs dits **FEC** (Forward Error Correction)
- Ajoutent de la redondance (ie. Répétition) et permettent de **détecter** et de **corriger** certaines de ces erreurs.
- Le **taux de codage** indique le rapport (information utile) / (information transmise)



9

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Compromis Débit / Immunité

### ■ Un débit élevé nécessite de bonnes conditions de propagation

### ■ LTE adapte son débit en fonction des conditions de propagation

- En temps réel
- Indépendamment pour **chaque utilisateur**

### ■ L'association d'une modulation et d'un taux de codage définit le MCS

- MCS: Modulation Coding Scheme
- La norme prévoit 29 MCS utilisables

10

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Transmission multi porteuses

### ■ Transmission de type OFDM

- OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- Assimilable à **plusieurs transmissions en parallèle** sur des porteuses différentes  
=> «sous-porteuses » espacées de 15kHz
- Format large bande (1,4 à 20MHz)

### ■ Avantages

- Simplicité d'implémentation (transformée de Fourier rapide: FFT)
- Indépendance de chaque sous porteuse
- Meilleure résistance aux trajets multiples (symboles plus longs)

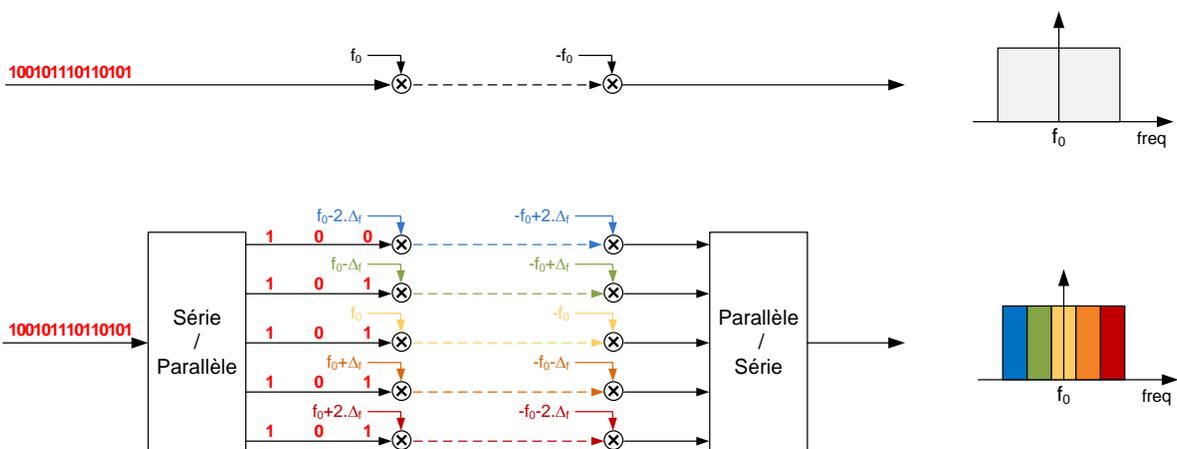
11

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Transmission multi porteuses



12

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Résumé

### ■ Compromis débit / conditions de propagation

- Mauvaises conditions => modulation robuste mais bas débit
- Bonnes conditions => modulation rapide

### ■ Modulation adaptative

- Plusieurs modulations
- Taux de codage variable
- Compromis débit / qualité de transmission

### ■ Modulation à large bande (OFDM)

- Multi-porteuses
- Adapté aux multi-trajets

13

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Vidéo 2 : Notion de bloc de ressources et de sous-trame

**Comment LTE organise-t-il la ressource spectrale pour la distribuer efficacement entre les utilisateurs?**

14

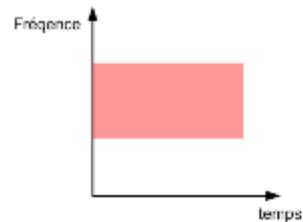
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Principe

- **La ressource radio peut être partagée entre**
  - Plusieurs utilisateurs
  - Plusieurs usages (signalisation / données)
  - Uplink / Downlink (FDD uniquement dans le MOOC)
- **L'allocation de ces ressources doit être dynamique**



15

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Principe

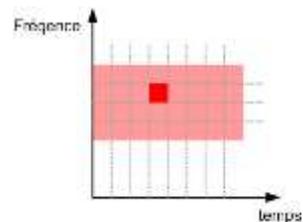
- **La ressource radio peut être partagée entre**
  - Plusieurs utilisateurs
  - Plusieurs usages (signalisation / données)
  - Uplink / Downlink (FDD uniquement dans le MOOC)
- **L'allocation de ces ressources doit être dynamique**

### ■ Bandes de fréquences LTE

- Différentes fréquences centrales (ex.: 700MHz, 1.8GHz, 2.6GHz...)
- Différentes largeurs (de 1.4 à 20 MHz)

### ■ LTE découpe la ressource

- En fréquence
- Et dans le temps



16

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Élément de ressource / Bloc de ressource

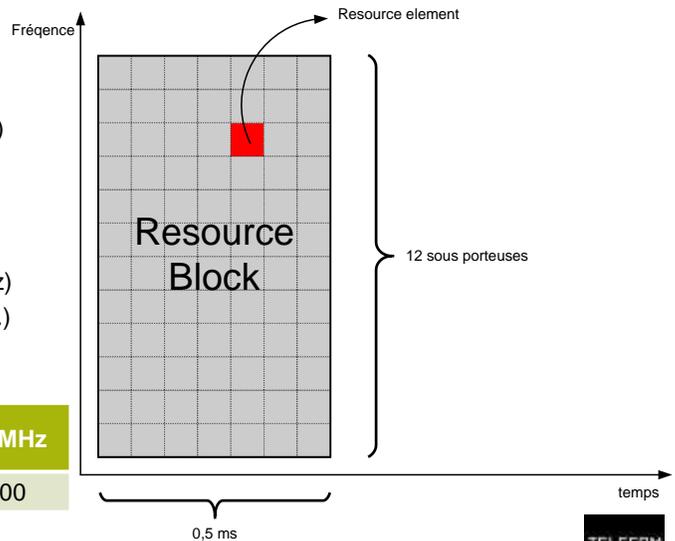
### ■ Resource Element (RE)

- Ressource élémentaire
- Une sous porteuse (15 kHz)
- **Un symbole**

### ■ Resource Block (RB)

- 12 sous porteuses (180 kHz)
- 0,5ms, soit 7 symboles (typ.)

Bande disponible	1.4 MHz	5 MHz	10 MHz	20 MHz
Nb RB	6	25	50	100



17

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

## Élément de ressource / Bloc de ressource / Sous trame

### ■ Resource Element (RE)

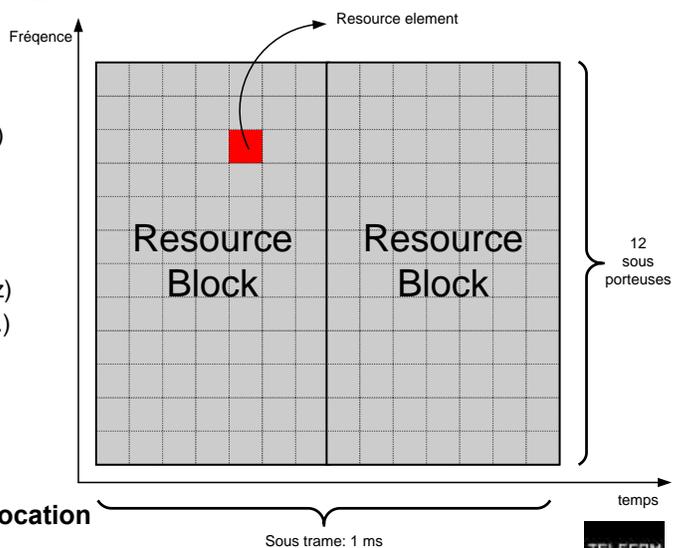
- Ressource élémentaire
- Une sous porteuse (15 kHz)
- **Un symbole**

### ■ Resource Block (RB)

- 12 sous porteuses (180 kHz)
- 0,5ms, soit 7 symboles (typ.)

### ■ Sous trame

- Une paire de RB
- Durée = 1ms
- **Unité de base pour l'allocation**

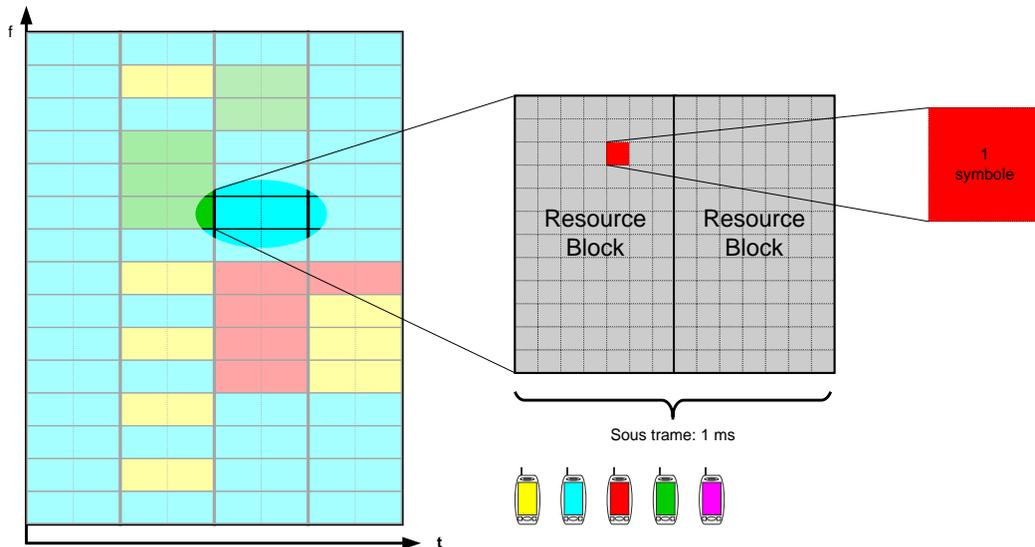


18

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

## Élément de ressource / Bloc de ressource / Sous trame



19

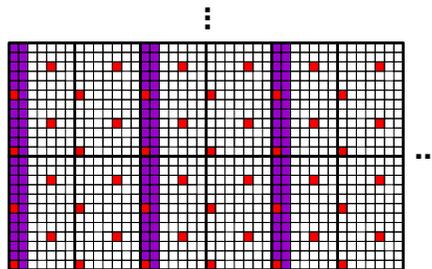
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Éléments de ressources réservés

- Certains RE sont réservés
  - synchronisation,
  - symboles de références (estimation du canal)
  - fonctions de contrôle (allocations, acquittements...)
- Un ensemble de ressources réservées forme un « canal physique »



20

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Bloc de transport

- **Bloc de transport**
  - Bloc de données à transmettre en une **sous trame**
  - Sur **1 ou plusieurs blocs de ressources**
  
- **L'eNB évalue l'offre et la demande**
  - À chaque sous trame (1 ms)
  - Alloue un volume de donnée pour chaque terminal
  
- **La taille des blocs est variable**
  - Conditions de propagation (modulation, codage)
  - Offre et demande des autres utilisateurs (nombre de RB alloués)
  - cf. tableau page suivante

21

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Bloc de transport

- **Taille des blocs de transport (en bits)**
  - Taille <-> débit
  - Débit Max: 75 Mb/s
  - Débit min: 16 kb/s
  - 2 à 9422 octets
  - Tailles identiques pour différents MCS

Index de MCS	Nombre de paires de blocs de ressources											
	1	2	3	4	5	6	...	25	...	50	...	100
0	16	32	56	88	120	152	..	680	...	1384	...	2792
1	24	56	88	144	176	208		904		1800		3624
2	32	72	144	176	208	256		1096		2216		4584
3	40	104	176	208	256	328		1416		2856		5736
4	56	120	208	256	328	408		1800		3624		7224
5	72	144	224	328	424	504		2216		4392		8760
6	328	176	256	392	504	600		2600		5160		10296
7	104	224	328	472	584	712		3112		6200		12216
8	120	256	392	536	680	808		3496		6968		14112
9,10	136	296	456	616	776	936		4008		7992		15840
...												
16,17	280	600	904	1224	1544	1800		7736		15264		30576
...												
23	488	1000	1480	1992	2472	2984		12576		25456		51024
24	520	1064	1608	2152	2664	3240		13536		27376		55056
25	552	1128	1736	2280	2856	3496		14112		28336		57336
26	584	1192	1800	2408	2984	3624		15264		30576		61664
27	616	1256	1864	2536	3112	3752		15840		31704		63776
28	712	1480	2216	2984	3752	4392		18336		36696		75376

Source : 3GPP Technical Specification 36.213 "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA)", [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)

22

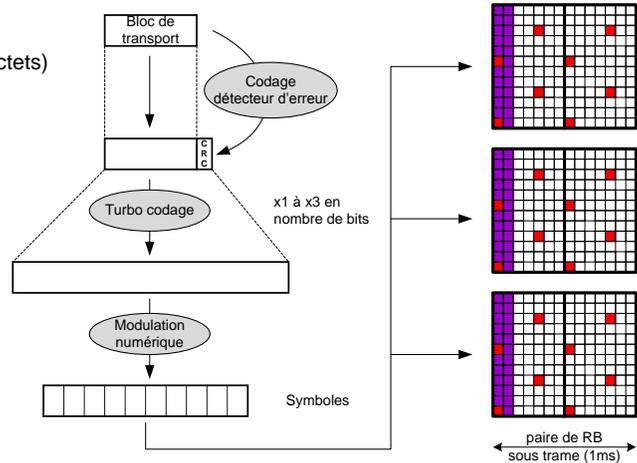
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Chaîne de transmission (simplifiée)

- **Bloc de transport**
  - De 16 à 75376 bits / sous trame (2 à 9422 octets)
- **Ajout de CRC**
  - Détection d'erreur
- **Codage**
  - Correction d'erreur
- **Modulation**
  - Symboles
- **Transmission sur une sous trame (1ms)**
  - Sur une ou plusieurs paires de RB



## Résumé

- **Partage de la ressource**
  - Dans le **temps** et en **fréquence**
  - RE: 1 symbole
  - RB:  $7 \times 12 = 84$  RE
  - Sous trame: paire de RB => dure 1ms
- **Allocation**
  - À chaque **sous trame (1ms)**
  - **Blocs de transport** de taille variable
  - Principes similaires en uplink et downlink
  - Détaillé dans une autre leçon

## Vidéo 3 : Principe de l'allocation paquet

Comment attribue-t-on dynamiquement les ressources en fonction des besoins des UE?

25

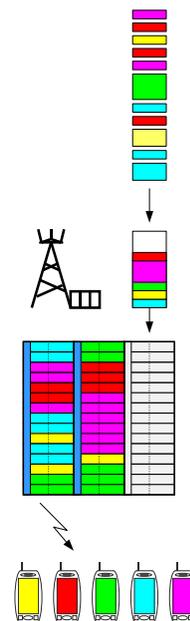
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Principes généraux de l'allocation

- **Ressources allouées s'il y a un besoin**
  - Assuré **sur l'eNB** par l'**ordonnanceur** (scheduler)
  - Arbitrage si demande > capacité
  - Algorithmes non spécifiés par la norme
- **Voie descendante (DL: downlink)**
  - Allocation dès que besoin de transmission
- **Voie montante (UL: uplink)**
  - Demande du mobile sur un canal dédié
  - Allocation d'une ressource
  - Transmission
- **L'eNB publie des tables d'allocation pour le DL et le UL**



26

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Adressage des mobiles sur la voie radio / RNTI

### ■ Besoin d'adressage

- Identification des terminaux destinataires
- Adresse courte car fréquemment utilisée

### ■ RNTI: Radio Network Temporary Identifier

- Permet d'identifier chaque mobile au sein d'une cellule donnée
- Alloué par l'eNB dès qu'un nouveau terminal arrive
- Unicité limitée à la cellule

### ■ Taille de 16 bits

- Codage entre 0x3D et 0xFFF3 (61 à 65523)
- Valeurs réservées pour broadcast, paging, accès aléatoire...



27

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

## Allocation sur voie DL

### ■ Allocation des ressources par l'eNB

- Pas forcément adjacentes

### ■ Identification courte des UE

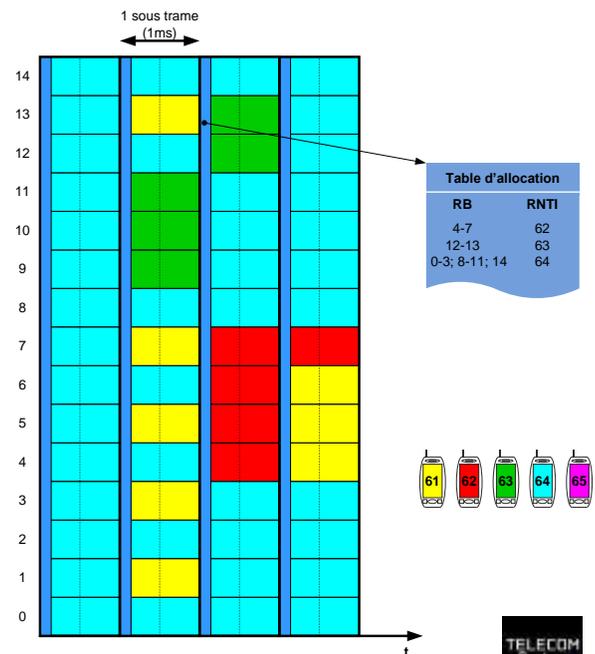
- RNTI: Radio Network Temporary Identifier
- Le RNTI ne fait pas partie du bloc de transport

### ■ Transmission de la table d'allocation

- Indique le destinataire de chaque RB de la sous trame
- Transmis au début de la sous trame (1 à 3 RE)
- DCI : Downlink Control Information
- Compromis: volume de signalisation / flexibilité

### ■ Décodage par les UE

- L'UE ne décode que ce qui le concerne
- => économie d'énergie (veille)



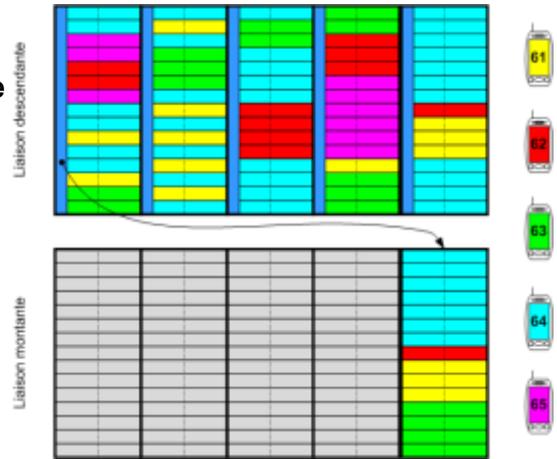
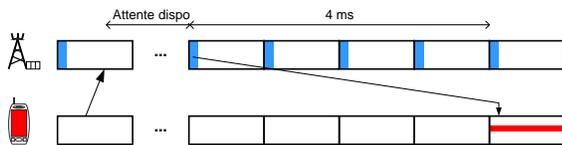
28

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

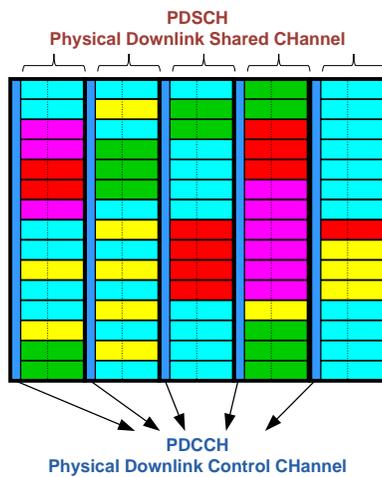
## Allocation en voie montante

- Principe identique mais...
- L'UE doit d'abord faire une demande
  - Problème de l'œuf et de la poule
- L'eNB alloue une ressource
  - Publication via la table d'allocation
- Temps de réaction du terminal
  - Allocation 4 sous-trames à l'avance (4ms)
- Allocation de RB contigus
  - Car FC-TDMA en UL (simplicité du terminal)

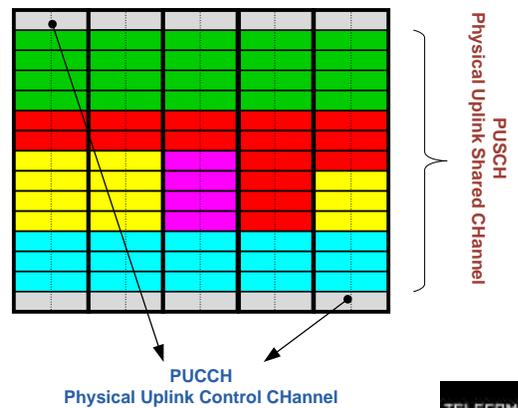


## Canal de données / canal de contrôle

Liaison descendante



Liaison montante



## Résumé

### ■ L'allocation

- Est réalisée par l'eNB (en UL comme en DL)
- Quand un besoin de transmission se présente
- Des « canaux contrôle » sont réservés pour les échanges liés à l'allocation: par ex.: tables d'allocation (DL et UL), demandes d'émission...

### ■ En voie montante

- Le terminal doit d'abord faire une demande sur le canal de contrôle
- Et se voir allouer une ressource qui sera active 4 sous trames plus tard



31

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

## Vidéo 4 : Fiabilisation des transmissions sur la voie radio

**Comment augmenter le niveau de fiabilité de la transmission ?**



32

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

## Principes de base: Automatic Repeat reQuest (ARQ)

### ■ Détection des erreurs à la réception

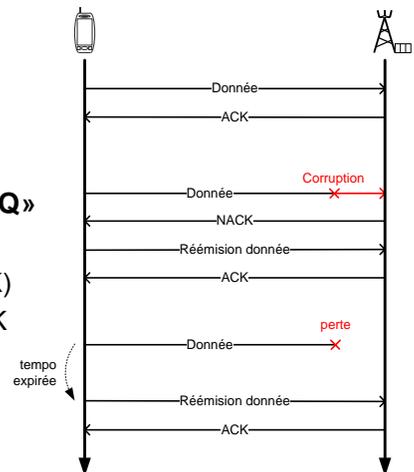
- Couche MAC (Media Access Control)
- Codes détecteurs d'erreur (CRC: Cyclic Redundancy Check)

### ■ Acquittement de type « Send and Wait ARQ »

- ARQ: Automatic Repeat reQuest
- Si donnée OK: retour d'un acquittement (ACK)
- Si donnée corrompue: émission d'un NonACK
- Si donnée perdue: pas d'ACK (info implicite)

### ■ Si problème de transmission

- Réémission
- Si trop de réémissions => abandon (aux couches supérieures)



33

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

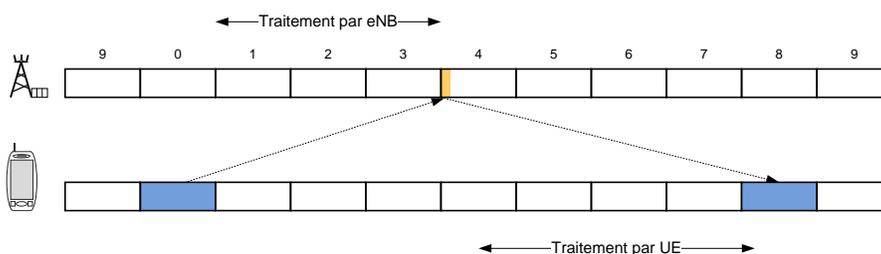
## Acquittements parallèles

### ■ Temps de traitement: 8 sous trames pour un cycle

- Donnée – ACK – Nouvelle donnée
- Donnée – NACK – Répétition

### ■ Délai fixe de 8ms (en FDD)

- 4 ms pour récepteur + 4 ms pour émetteur



34

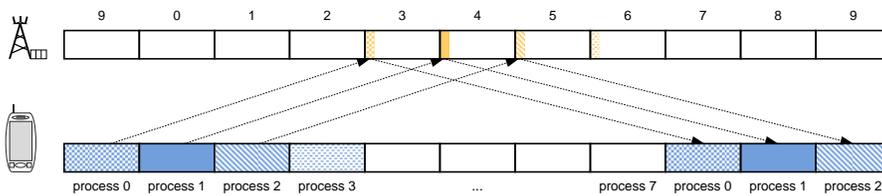
Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

## Acquittements parallèles

### ■ Optimisation: « Send And Wait » parallélisé

- 8 cycles en parallèle
- Pour chaque couple eNB-UE



35

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



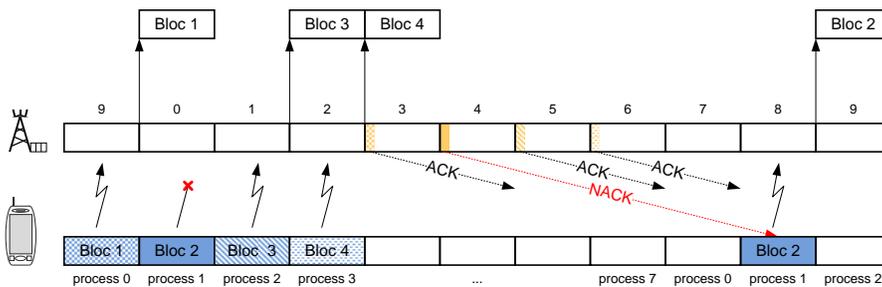
## Acquittements parallèles

### ■ Dé-séquencement

- Les pertes sont indépendantes sur chaque processus //

### ■ Numérotation des blocs de transport

- Assuré par le protocole de niveau supérieur: RLC



36

Institut Mines-Télécom

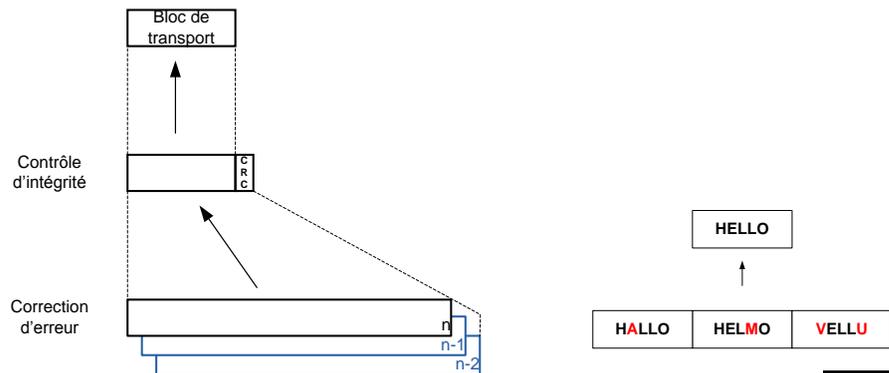
C. Couturier, Interface radio



## HARQ: Hybrid ARQ

### Retransmission = Redondance

- Redondance augmente les performances de la correction d'erreur



37

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



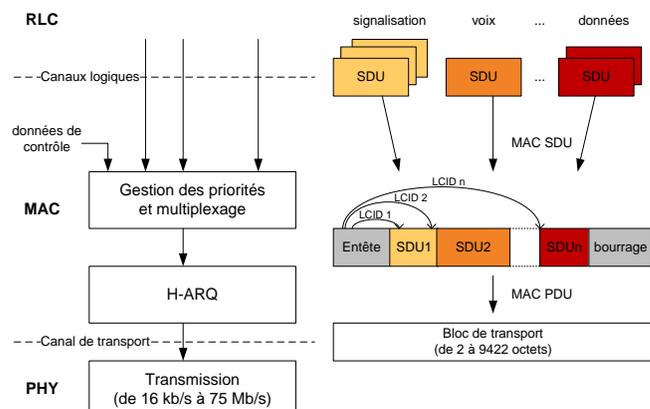
## Multiplexage

### MAC-SDU (Service Data Unit)

- Données à transmettre
- Provenant de la couche supérieure
- Plusieurs sources = « canaux logiques » (niveaux de QoS différents)

### MAC-PDU (Protocol Data Unit)

- Sortie de la couche MAC
- => Transport Bloc



38

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Résumé

### Fonctions de la couche MAC:

#### ■ Allocation des ressources

- cf. vidéo précédente

#### ■ Fiabilisation des transmissions par HARQ

- Retransmission des blocs de transport erronés
- Plusieurs processus en //

#### ■ Multiplexage

- Gestion des priorités entre les canaux logiques
- Regroupement des données pour former les blocs de transport



## Vidéo 5 : Protocole RLC

**Comment proposer aux couches supérieures différents compromis de QoS en fonction de leurs besoins ?**



## Notion de Qualité de Service (QoS)

### ■ Limites de la couche MAC

- Arrêt des retransmissions au bout d'un certain temps
- Dé-séquencement des messages
- Pas de segmentation

### ■ Qualité de service

- Les applications ont des besoins variables
- La QoS propose différents compromis en termes de latence, fiabilité et remise en séquence

### ■ Couche RLC (Radio Link Control) propose des services optionnels

- Fiabilisation par un nouvel étage de re-transmission
- Remise en séquence
- Segmentation

41

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## RLC (Radio Link Control) – Modes de fonctionnement

### ■ Mode Transparent (TM: Transparent Mode )

- Aucune intervention (à part bufferisation)
- Pas de segmentation => messages courts
- Transport de messages courts de signalisation (RRC)

### ■ Mode non acquitté (UM: Unacknowledged Mode)

- Re-séquencement des blocs reçus
- Segmentation et concaténation suivant besoins de la couche MAC
- Latence faible mais peu fiable -> VoIP, vidéo temps réel...

### ■ Mode acquitté (AM: Acknowledged Mode)

- Comme UM plus:
- Ré-émission des paquets perdus avec redécoupage si nécessaire
- Fiabilité -> Web, emails, transfert de fichiers...

### ■ Plusieurs instances peuvent fonctionner en //

42

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



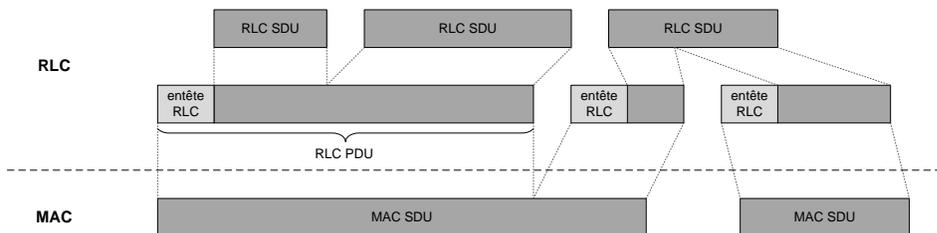
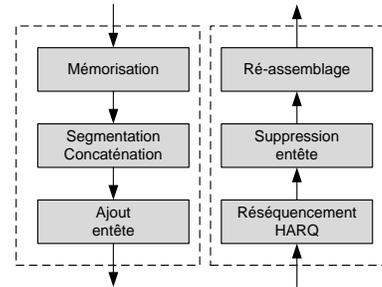
## Mode non acquitté (UM)

### ■ Segmentation / concaténation

- Ajustement à la taille du MAC-SDU

### ■ Entête

- Identification de la frontière des messages
- N° de séquence (pour re-séquencement)



43

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Mode acquitté (AM)

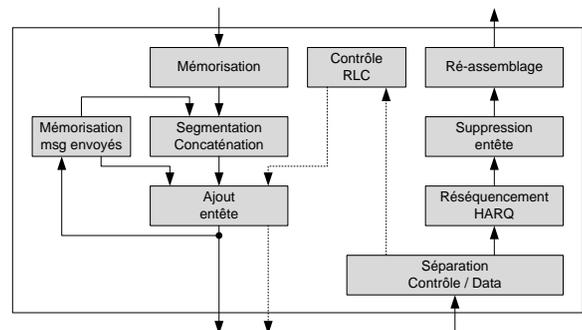
### Même fonctions que UM plus:

#### ■ Réémission des données perdues

- Mémorisation des messages émis

#### ■ Protocole

- L'émetteur demande le statut au destinataire (bit « pooling »)
- Réponse par message RLC (liste des PDU reçus/attendus)
- Libération de la mémoire (message reçu) ou réémission des messages perdus



44

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Résumé

- **La couche RLC se situe au dessus de la couche MAC**
- **Elle assure**
  - La remise en séquence des blocs retardés par HARQ
  - La concaténation et la segmentation des paquets pour les adapter à la taille demandée par la couche MAC
  - La répétition des blocs perdus
- **La QoS est un compromis**
  - Reséquencement et répétition engendrent des retards
  - 3 niveaux sont paramétrables:  
Transparent, sans acquittement, avec acquittement

45

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Vidéo 6 : Accès aléatoire

**Comment les UE s'enregistrent-ils auprès des eNB ?**

46

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Méthodes d'accès

### ■ Contention

- Pas d'allocation à priori
- Mais capacité de détecter les erreurs
- Réémission en cas d'erreur

### ■ Réserveation

- Découpage en ressources élémentaires
- Allocation statique ou dynamique

### ■ Problèmes en LTE

- Nouveaux arrivants
- Solution => introduire une dose de contention

47

Institut Mines-Télécom

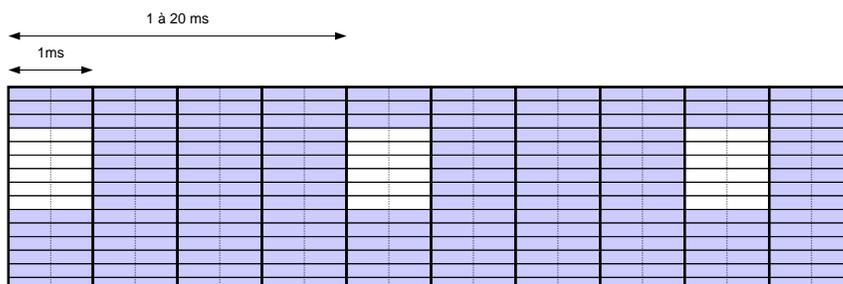
C. Couturier, Interface radio



## Canal d'accès en contention

### ■ PRACH (Physical Random Access Channel)

- Canal d'accès en contention
- 6 RB en fréquence, 1 ms (typ.) de large
- Période configurable: toutes les 1 à 20 ms
- Accès en CDMA, 64 séquences différentes



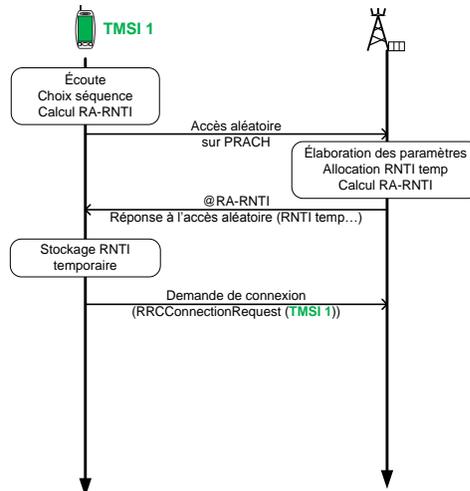
48

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Arrivée d'un nouvel UE / RNTI (1ère partie)

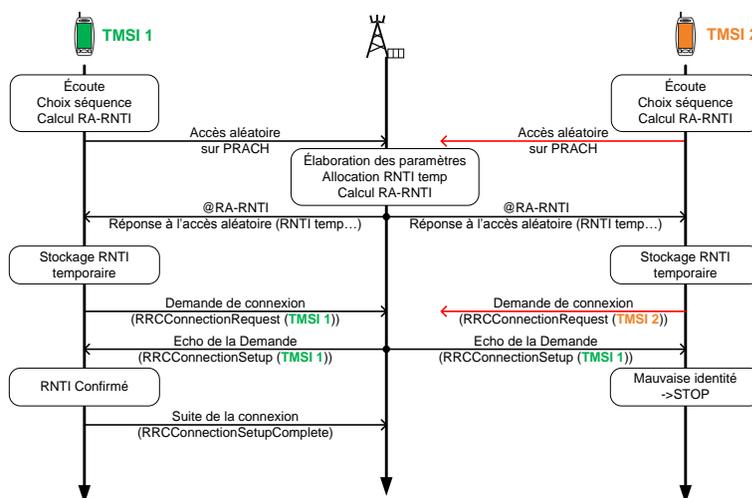


49

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

## Arrivée d'un nouvel UE - Compétition sur l'accès aléatoire



50

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio

## Résumé

### ■ LTE est un protocole à réservation

- L'allocation est gérée dynamiquement par l'eNB
- Sur la voie montante, les terminaux doivent d'abord formuler une demande

### ■ Canal à accès aléatoire en UL (PRACH)

- Pour l'annonce des nouveaux terminaux
- Accès en contention géré en CDMA
- Gestion des collisions par échange protocolaire

51

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Vidéo 7 : PDCP et vision globale

**Comment s'interface-t-on avec le reste du système LTE ?**

**Comment résumer cette semaine ?**

52

Institut Mines-Télécom

C. Couturier, Interface radio



## Fonctionnalités PDCP

### ■ PDCP: Packet Data Convergence Protocol

- Une instance de PDCP pour chaque instance de RLC (sauf TM)

### ■ Compression d'entêtes

- ROHC: RObust Header Compression (protocole de l'IETF)
- Point à point => entêtes varient peu => compression possible
- résistance aux pertes de paquets (donc adapté à radio, surtout en RLC UM)

### ■ Prévention des pertes dues aux Handovers

- Communication entre l'ancien et le nouvel eNB
- Synchronisation des paquets reçus, en attente d'ack, dé-séquencés...
- Perte / duplication de paquets (plan de données uniquement)
- Remise en séquence

### ■ Sécurisation

- Chiffrement
- Détection d'erreur

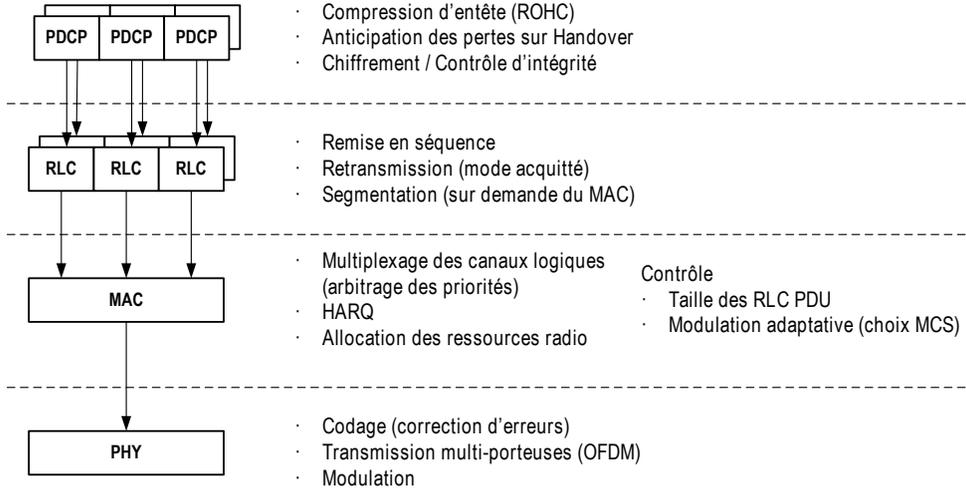


## Fonctionnalités PDCP

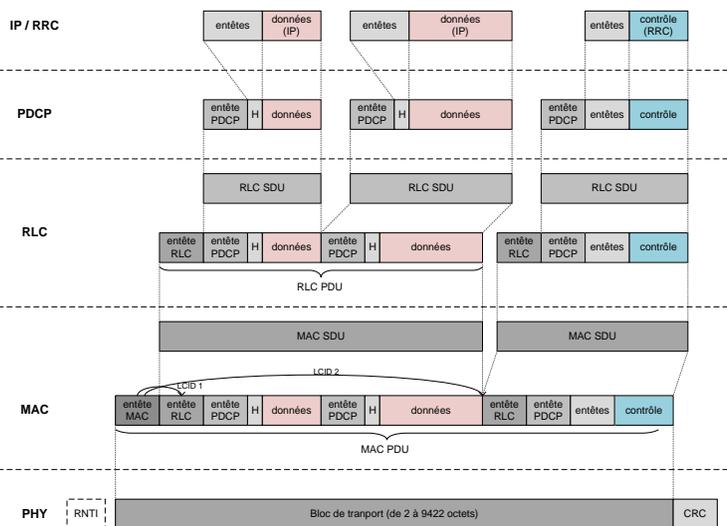
	Plan de contrôle (RRC)		Plan de données (IP)	
	UM	AM	UM	AM
Compression entête (ROHC)	<b>NON</b> (pas IP)	<b>NON</b> (pas IP)	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>
Prévention pertes (Handover)	<b>NON</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>	<b>OUI</b>
Chiffrement	<b>OUI</b> (optionnel)	<b>OUI</b> (optionnel)	<b>OUI</b> (optionnel)	<b>OUI</b> (optionnel)
Détection d'erreur	<b>OUI</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>	<b>NON</b>



## Récapitulatif



## Récapitulatif





## Index des sigles

<b>ARQ</b>	: Automatic Repeat reQuest	<b>PDU</b>	: Protocol Data Unit
<b>BPSK</b>	: Binary Phase Shift Keying	<b>QoS</b>	: Quality of Service
<b>CRC</b>	: Cyclic Redundancy Check	<b>QPSK</b>	: Quaternary Phase Shift Keying
<b>HARQ</b>	: Hybrid ARQ	<b>RB</b>	: Resource Block
<b>IETF</b>	: Internet Engineering Task Force	<b>RE</b>	: Resource Element
<b>MAC</b>	: Media Access Control	<b>RLC</b>	: Radio Link Control
<b>MCS</b>	: Modulation Coding Scheme	<b>RNTI</b>	: Radio Network Temporary Identifier
<b>OFDM</b>	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing	<b>ROHC</b>	: RObust Header Compression
<b>PDCP</b>	: Packet Data Convergence Protocol	<b>SDU</b>	: Service Data Unit