

NOTES SUR LE COURS LTE – André-Luc Beylot

Diapo 1 :

La dernière partie du cours de réseaux mobiles de deuxième année se termine par la description du standard LTE – Long Term Evolution. La dénomination est assez cocasse dans la mesure où le long terme indiqué dans la terminologie est sensiblement du même ordre de grandeur que les générations précédentes : la durée entre deux générations est de 10 ans. En toute rigueur LTE n'aurait pas dû prétendre à la terminologie 4G qui selon l'ITU devait consacrer l'apparition des débits maximaux à 1 Gbit/s en voie descendante, ce qui n'est pas le cas et aurait dû s'appeler 3,9G... ce qui n'était pas commercialement très porteur.

C'est le 3GPP qui a poursuivi son travail de standardisation allant donc au-delà de ce que le nom du projet laisse à penser.

DIAPO 2 :

On commencera par décrire les motivations qui ont poussé à la création de cette nouvelle génération de réseaux mobiles.

L'évolution majeure de la 3G provenait de la fusion du réseau d'accès pour atteindre le Réseau Téléphonique Commuté et le Réseaux de Transmission de données, en une solution unique fonctionnant en mode paquet et garantissant une qualité de service différenciée. En revanche, il y avait eu un impact marginal sur les cœurs de réseaux (les opérateurs cherchant à rentabiliser leur réseau de collecte déployé pour le GPRS).

Les évolutions pour la 4G sont beaucoup plus radicales car on va à la fois repenser et simplifier énormément le réseau d'accès en supprimant le raccordement vers le réseau téléphonique commuté d'une part et d'autre part, reprendre aussi la conception du réseau de collecte.

L'interconnexion avec les autres types de réseaux a aussi été formalisée de façon plus précise que ce soit avec les générations antérieures mais aussi avec les autres types de réseaux. Attention, ici le débat n'est pas clos et il est encore complètement d'actualité dans le contexte de la 5G.

On terminera par quelques évolutions apparues après la création des premiers standards 4G. Les évolutions de la 4G et la 5G seront présentées dans les cours de 3^{ème} année, parcours TSFOC et IBDIOT (tout n'est pas encore stabilisé). Les travaux commencent pour la 6G (avec des retards probables en raison par exemple des problèmes de souveraineté).

DIAPO 3 :

Alors que le démarrage de la 3G a été un peu lent, son succès a été largement au rendez-vous à partir de la 3G+. Mais, alors qu'en 3G, la partie radio avait du mal à monter en puissance en raison des canaux dédiés dans le sens descendant, avec l'apparition de la 3G+, l'accès a été assez rapidement saturé, mais c'est même l'intégralité du réseau d'accès qui a commencé à saturer. Il s'agit à la fois d'un problème de débit des liens mais aussi de complexité des architectures protocolaires. La solution ATM/AAL2 est extrêmement brillante pour traiter la qualité de service différenciée, par exemple, mais elle est lourde en signalisation et en complexité des équipements. Son pendant dans le monde IP conduit à une réduction des coûts des équipements mais elle est globalement moins satisfaisante (en restant lourde).

La menace WIMAX ayant toutefois été écartée, le monde télécoms a pu réfléchir plus sereinement à de vraies évolutions pour permettre l'augmentation des nombres de terminaux et des débits associés.

Attention, chaque génération promet des augmentations des débits mais il faut comparer l'évolution des capacités offertes et des débits demandés ! La meilleure solution consiste tout de même à augmenter le nombre de stations de base et à réduire la puissance d'émission pour augmenter la capacité !

Les caractéristiques essentielles vont être tout de même une réelle simplification des architectures « systèmes » (les équipements) et protocolaires. Là le résultat est impressionnant. La volonté a aussi été de s'intéresser de plus près à l'interconnexion des réseaux – une façon d'avaler la concurrence (accès 3GPP et non 3GPP) !

DIAPO 4 :

Les travaux préparatoires ont commencé dès 2004 avec une première réunion du 3GPP à Toronto. La localisation géographique n'est pas du tout anodine. Cela manifeste l'ouverture du 3GPP au continent nord-américain. Peu de temps après, le 3GPP2 a commencé des travaux similaires pour les évolutions du CDMA-2000 (et de ses évolutions). Assez rapidement, le 3GPP2 a jeté l'éponge.

Enfin, le LTE est un standard réellement mondial.

Ces premiers travaux ont porté sur l'accès radio et sur l'architecture du réseau d'accès radio. La terminologie est assez inspirée de celle de la 3G en ajoutant la lettre E comme Evolved. La deuxième partie des travaux a porté sur les services et sur l'évolution du cœur de réseau.

Après cette phase de travaux de standardisation, les équipementiers et les opérateurs ont fait les tests pour un déploiement à partir de 2010.

DIAPO 5 :

Les évolutions sont assez sensibles. En premier lieu, on enlève le raccordement vers le réseau téléphonique commuté. La voix ne sera plus envoyée vers le réseau téléphonique commuté et sera prise en charge uniquement au travers d'un service de voix sur IP. Dans les systèmes 3G, deux services de voix étaient proposés : la voix classique et la signalisation associée, qui était envoyées vers le réseau téléphonique commuté (3G-MSC), et la voix sur IP et la signalisation associée à envoyer vers le réseau Internet (3G-GGSN). Attention, cela ne préjugait pas de la façon avec laquelle ces flux (strate applicative) étaient pris en charge sur les différentes interfaces du réseau d'accès. Ils pouvaient aussi bien passer par une pile ATM/AAL2 que par une pile UDP/IP.

Attention, les standards de Voix sur LTE (VoLTE) ne sont apparus que plus tard, en particulier en termes d'équipements, de terminaux, de protocoles et de mécanismes et donc dans un premier temps, la voix a été rebasculée automatiquement sur les réseaux 2G/3G sous-jacents (en particulier les réseaux 2G moins chargés). On y reviendra en TD. Les débits crêtes sont largement améliorés par rapport à la 3G (100 Mbit/s dans le sens descendant et 50 Mbit/s dans le sens montant) avec des débits qui augmentent encore avec les évolutions (cf. fin du cours).

Les délais sont également réduits à la fois dans le plan de contrôle pour établir/rétablir les « tuyaux » radio et dans le plan de données. Pour réduire ces délais, il était absolument nécessaire de simplifier les architectures protocolaires !

Sur la partie couche physique de l'interface radio, on a considéré des systèmes avec des largeurs de canaux flexibles et une amélioration de l'efficacité spectrale (ordres de modulation supérieurs, nouvelle façon de partager le support).

L'autre amélioration majeure a été une rationalisation/simplification de la conception des interfaces. La généralisation de l'IP se matérialise à la fois dans le plan de données avec une pile de protocoles unifiée mais aussi dans la définition de ces interfaces qui sont sur IP (attention, on aura bien encore des tunnels IP et de l'encapsulation d'IP dans IP cf. TD 2). Il n'y a plus qu'un « réseau cœur » en IP qui transporte des paquets IP entre une passerelle d'entrée et une passerelle vers l'Internet.

L'interopérabilité a été prévue dès la conception que ce soit la compatibilité avec les autres réseaux 3GPP mais aussi avec tous les autres types de réseaux d'accès. ATTENTION, si tout le reste est effectivement beaucoup plus simple qu'en 3G. Là, il y a de la complexité !

DIAPO 6 :

Comme pour l'UMTS (et ATM par exemple) et la 5G, le premier travail produit par le 3GPP a été de se poser la question des services à proposer sur ces réseaux LTE. Les applications visées ne sont pas foncièrement nouvelles par rapport à la 3G, mais à chaque fois, les débits étant supérieurs, on peut envisager des versions améliorées (en débit en particulier).

DIAPO 7 :

Si l'on regarde l'architecture système, cette fois-ci il y a de réelles évolutions ! Le schéma de gauche correspond aux solutions GPRS/UMTS/CDMA2000. Ces dernières n'ont pas été détaillées en cours. Les équipements ont des noms différents mais fonctionnellement, on trouve un peu la même chose.

Si l'on regarde la figure de droite, on se rend compte en premier lieu que la station de base et le contrôleur de station de base ont été fusionnés en un seul équipement intitulé e-NodeB (attention, c'est donc la version améliorée de la station de base UMTS). Cet apport est majeur parce qu'une très grande majorité de la complexité de l'UMTS provenait justement de l'interface entre les deux équipements, du découpage fonctionnelle et des délais induits par les traitements et le passage de l'interface.

La deuxième information majeure est la rationalisation des passerelles vers le réseau de collecte de l'opérateur mobile : Serving Gateway en entrée et Packet Data Network gateway (PDN Gateway) en sortie. Pas de distinction fondamentale entre passerelle d'entrée et de sortie. Attention, ces deux équipements existent bien (tout petit nombre de passerelles vers l'Internet).

Enfin, on voit apparaître une passerelle dans le plan de contrôle intitulée MME (Mobile Management Entity) située fonctionnellement entre la station de base et la Serving Gateway. Elle s'occupera de la gestion de la mobilité.

DIAPO 8 :

Sur ce schéma apparaît le réseau vu d'un terminal. Il peut se raccorder au réseau d'accès LTE, UTRAN ou GERAN ; l'UTRAN et le GERAN aboutissent au même réseau de collecte alors que le réseau d'accès LTE aboutit à un nouveau réseau de collecte intitulé Evolved Packet Core. IMS qui est apparu avec la 3G (avec de nombreuses volte-face des opérateurs quant à son déploiement) est devenu nécessaire avec la 4G. C'est une vision unifiée des services, on propose à l'utilisateur les mêmes services quel que soit son

abonnement et son réseau d'accès (mobile ou sans fil) -> cours de Julien Fasson en 3^{ème} année.

Les interfaces du réseau LTE ont toutes changé de nom : LTE-Uu, interface S1 (en remplacement des Iu-PS). Les équipements du réseau de collecte ont également changé de nom : HSS (Home Subscriber Server) en remplacement de HLR – (incluant Diameter pour l'authentification, IMS pour les services). On note aussi l'interface entre la MME et le SGSN pour gérer la mobilité entre les différents mondes.

Les accès au réseau EPC peuvent se faire aussi au travers d'interfaces radio différentes que l'on classe en Trusted et Untrusted. Les solutions Trusted recouvriront les réseaux d'accès non-3GPP opérés – 3GPP2 (CDMA2000) ou IEEE (WiMax) ; les Untrusted correspondent essentiellement au WiFi. Pour ces derniers, une passerelle spécifique doit être mise en place en particulier pour des raisons de sécurité.

DIAPO 9 :

Et voilà le diable est dans les détails. Autant les architectures fonctionnelles, système et protocolaires sont beaucoup plus simples si l'on regarde uniquement le réseau LTE mais si l'on regarde maintenant toute la diversité des accès à l'EPC, on a une grande diversité et pour chacun de très nombreuses entités à gérer : pour la mobilité, cela devient plus compliqué par exemple car les entités qui donnent les adresses IP par exemple ne sont pas les mêmes ; il faut alors prévoir des solutions. Elles reposent (enfin) sur la mobilité du monde IP au travers des solutions de type Mobile IP (avec des proxy, PMIPv6 est un des candidats). Cela sera vu en 3A. Ces solutions ressemblent dans leur principe à la gestion du nomadisme que l'on a vu dans ce cours : adresse temporaire, redirection, tunneling (quelques améliorations dans les redirections avec IPv6).

On voit apparaître de nombreuses interfaces dans le plan de données et dans le plan de contrôle ; cela permet de gérer la mobilité, le nomadisme, l'authentification...

DIAPO 10 :

Voici l'architecture protocolaire du LTE. Comme on le voit l'architecture est nettement plus simple car elle tient sur une seule diapo. Comme on peut le constater, la rationalisation apparaît nettement. Les applications passent toutes par IP (plus de raccordement sur la couche RLC pour la parole téléphonique) ; il n'y a plus qu'une interface entre stations de base (e-NodeB) et Serving GW : elle passe sur IP dans des tunnels GTP (sur UDP).

Là où il y a le moins de modifications, c'est justement sur cette interface (dans le plan de données qui s'apparente à ce que l'on a vu dans l'UMTS).

Ce qui ne change pas, ce sont les deux tunnels GTP : l'un entre la Serving Gateway et la PDN Gateway et de la même façon entre l'e-NodeB et la Serving Gateway. Cela permet de gérer la mobilité (pas de changement d'adresse en cours de route tant qu'on reste dans un réseau 3GPP et en particulier LTE ; faire suivre les données dans ces périodes).

Sur l'interface radio, on constate que les (noms des) protocoles n'ont pas changé. D'un point de vue pile de protocole, on retrouve la couche RLC (contrôle de la liaison radio) et la couche MAC (Medium Access Control) et la couche PHY. Ces couches sont communes au plan de données et au plan de contrôle. La couche PDCP qui sert à faire de la compression est présente dans le plan de données. Elle est aussi adoptée dans le plan de contrôle. La couche RRC gérera l'ensemble du réseau d'accès dans le plan de contrôle. La localisation des fonctions ne pose plus de problème car on a fusionné la station de base et le contrôleur de station de base.

Le débat semblait donc clos pour la localisation des fonctions avec le LTE... Cela n'a duré que quelques courtes années car, comme on le verra l'an prochain, la mise en place des techniques de virtualisation dans le domaine des réseaux va reposer complètement le problème (pour toutes les couches y compris les plus basses – attention pour les étudiants du parcours T, la couche physique peut elle-même être délocalisée enfin une partie de ses fonctions !).

Pour le plan de contrôle enfin, on voit apparaître la couche NAS (Non Access Stratum) qui gère la mobilité, la sécurité et les sessions (rattachement, détachement, mise à jour de la localisation, établissement des tuyaux radio). La couche S1AP sert à la fois à transporter les messages NAS mais aussi à échanger des messages de gestion, les contextes utilisateurs, des fonctions liées à la mobilité. Le protocole de transport utilisé est SCTP (Streaming Control Transport Protocol). Ce protocole a été créé par le groupe de travail de l'IETF SigTran pour s'occuper de la signalisation. La philosophie générale est liée aux spécificités de la signalisation telles qu'on les a déjà décrites lors de la présentation du réseau sémaphore. Pour gérer une communication, on a besoin d'un petit nombre de messages de signalisation. On avait choisi un réseau orienté messages. C'est donc le cas ici encore. Il est fiable et met en place du contrôle de congestion (à la mode TCP) mais orienté message comme UDP (pas flot d'octets comme TCP).

DIAPO 11 : COUCHE PHY

Les modifications de la couche PHY sont extrêmement sensibles.

La bande passante est adaptable.

Cela peut se faire en mode TDD (on alterne sens montant et descendant) et FDD (où l'on sépare les fréquences montantes et descendantes). Ordres de modulation plus élevés qu'en 3G.

DIAPO 12 : COUCHE PHY

Ordres de modulation plus élevés.

Abandon du CDMA et retour du découpage temporel/fréquentiel. Dans le sens descendant OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) et dans le sens montant SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) cf. cours de Benoît Escrig pour les mérites comparés.

DIAPO 13 :

Si on regarde maintenant la pile protocolaire dans son intégralité.

Tout passe par PDCP (plan de données et de contrôle) qui comprime les en-têtes et chiffre ; la couche RLC peut faire de la segmentation et de la concaténation ; la couche MAC fera le multiplexage des différents flux avec éventuellement du bourrage pour s'aligner sur la taille du bloc de transport. La couche PHY ajoute un code d'erreur, fait de l'entrelacement et le codage canal.

DIAPO 14 et 15 :

Les nombres de canaux de transport sont largement réduits par rapport à la 3G. Dans le sens descendant : Broadcast (info système), Données (partagés), Multicast, Paging. Dans le sens montant : Données (partagées) et Accès aléatoire. L'abandon du CDMA a permis de partager aussi les canaux de données dans le sens montant. Ce partage va donc plus loin que celui du GPRS (canaux partagés dans les deux sens entre un petit nombre de flux), du HSPA (partage complet dans le sens descendant pas dans le sens montant).

Attention, cela n'enlève pas bien au contraire l'algorithmique du partage des ressources ni dans le sens montant, ni dans le sens descendant.

La réduction des nombres de canaux de transport se matérialise sur la diapo 15. Les canaux logiques sont toujours aussi nombreux (peu d'évolutions depuis les systèmes 2G) mais le partage des ressources est beaucoup plus net.

DIAPO 16 :

L'allocation des ressources est bien sûr l'enjeu majeur de ces réseaux d'accès sur la partie radio. Le partage se doit d'être dynamique. Il est bien sûr nécessaire encore une fois de distinguer le sens montant du sens descendant. Le standard fait clairement apparaître la mise en place d'une technique d'ordonnancement cross-layer : il est nécessaire de prendre en compte plusieurs paramètres pour effectuer un ordonnancement efficace : qualité de service des flux, qualité du support, équité. On retombe sur les mêmes principes que ce que l'on avait évoqué dans le contexte de HSDPA mais cette fois le problème se pose à la fois dans le sens montant et descendant. Favoriser les utilisateurs dans les meilleures conditions de transmission va permettre d'optimiser l'efficacité spectrale ; favoriser l'équité entre les utilisateurs c'est le contraire. Ne pas tenir compte de la qualité de service peut compromettre certains flux. Dans le sens descendant, on déroule donc un algorithme d'ordonnancement permettant de faire le pavage OFDMA.

Dans le sens montant, les utilisateurs vont remonter l'état de leurs buffers d'émission. La station de base va de nouveau dérouler un algorithme d'ordonnancement pour définir le partage SC-FDMA du sens montant sur des critères du même type. Deux choix subsistent : effectuer l'allocation à la granularité du flux ou de l'utilisateur. A la granularité du flux, il s'agit d'une optimisation globale ; à la granularité de l'utilisateur, on alloue des ressources à l'utilisateur et ce dernier devra dérouler un algorithme d'ordonnancement pour décider les flux qu'il servira. C'est cette deuxième solution qui a été retenue car donnant lieu à des algorithmes plus simples.

DIAPO 17 et 18 : HARQ et ARQ

Les mécanismes HARQ, déjà vus en 3G sont de nouveau présents en LTE. Au niveau PHY, le codage permet la mise en œuvre de mécanisme FEC. S'ils ne suffisent pas, la couche MAC implante HARQ sous forme d'un « send and wait » avec plusieurs retransmissions possibles. En cas d'échec, on remonte le problème au niveau RLC et son mécanisme ARQ classique (fenêtre coulissante). Notons cette fois tout de même que comme la couche RLC est sur l'e-NodeB, ces retransmissions de niveau RLC sont moins lentes car on n'a pas à retraverser le lien entre station de base et contrôleur de station de base.

DIAPO 19 : Analyse de l'overhead

Dans cette diapo, on compare les coûts en termes de surcharge protocolaire induits par le passage par la pile LTE dans les cas : segment de données TCP, segment de contrôle TCP (ACK) et datagramme UDP pour de la voix sur IP. Pour cette dernière, un Codec typique a été pris avec des tailles de messages de 33 octets. Le compression d'en-tête est très efficace – comme déjà noté depuis la 3G avec l'apparition de ROHC. Proportionnellement, ce sera plus intéressant pour les accusés de réception TCP ou les messages de voix.

RLC propose encore une fois deux modes de fonctionnement avec et sans accusés de réception. Pour TCP, on prend la variante avec et pour UDP la variante sans.

Les taux de compression globaux sont bien sûr les plus favorables pour les accusés de réception TCP (que de l'en-tête) même si le surcoût RLC est plus fort que pour la VoIP.

DIAPO 20 :

La gestion de la mobilité a été largement rationalisée dans le contexte LTE. Le handover est piloté par l'entité MME qui est dans le plan de contrôle et fonctionnellement dans l'EPC (Evolved Packet Core). L'interface S1 est divisée en 2 : dans le plan de données – dialogue entre la station de base et la serving Gateway et dans le plan de contrôle entre la station de base et la MME. Les interfaces entre MME permettent le pilotage des handovers avec changements de serving Gateway, de la même façon les interfaces S5 et S8 sont utilisées dans ce cas-là.

L'interface X2 (plan de données, plan de contrôle) permet le changement de station de base (cela correspond à un lien physique – ou au moins logique dans le réseau ; déjà présent en 3G, cela permet d'accélérer le handover). L'interface S11 permet les échanges entre MME et Serving Gateway.

DIAPO 21 :

Comme toujours dans le domaine des réseaux mobiles, le handover est piloté par le réseau. C'est l'eNode-B qui prend les décisions de handover. Le choix de la nouvelle station de base donne comme toujours lieu à des algorithmes non normalisés (des indications sont toutefois données dans le standard sur les différences entre les niveaux de puissance et les durées sur lesquelles ces différences sont observées).

On revient à du hard handover (break before make). Les principes sont ceux que l'on avait observé depuis le GPRS lors des changements de SGSN (ou UMTS avec changement de contrôleur de station de base). Il y a des tunnels GTP entre la Serving Gateway et l'eNode-B. On fait suivre le contexte, on purge les tunnels et on fait suivre ; on met en place le nouveau tunnel. Délai faible nécessaire (trafic contraint temporellement et break before make).

DIAPO 22 :

Le diagramme de séquence présenté montre les différentes phases. Remontées de mesure, prise de décision, on prévient le nouvel e-NodeB, on prévient l'utilisateur ; on fait suivre les données, on bascule. Attention, cette philosophie est celle simple des handovers à l'intérieur d'un réseau LTE. Les procédures ont été aussi définies pour le cas de handover diagonal (entre systèmes 3GPP) et vertical (entre un système 3GPP et un système non 3GPP). Attention, par exemple, ce que l'on appelle « handover » dans le WiFi n'implique pas la reprise des données échangées dans les phases de handover (il s'agit de se désassocier et de se réassocier même à l'intérieur d'un même Extended Service Set).

DIAPO 23 :

La qualité de service dans le contexte LTE a été pensée de façon plus pragmatique qu'en UMTS. La crainte absolue des opérateurs dans le contexte de la 3G était de ne pas arriver à émuler un fonctionnement circuit sur un réseau paquet pour la parole à envoyer vers le réseau à commutation de circuit (et avec une compensation/gestion de gigue entre le terminal et le 3G MSC). Dans LTE, on a arrêté le raccordement vers le RTC. Par conséquent, la voix passant sur IP, la compensation de gigue se fait directement au niveau des terminaux utilisateurs (ou au niveau d'une passerelle vers le RTC qui se

situerait au-delà de la PDN Gateway). On n'est donc plus dans les niveaux protocolaires sur lesquels le 3GPP travaille (puisqu'il s'arrête au niveau paquet sur l'UE).

Par prudence, tout de même, les opérateurs ont décidé dans un premier temps que la voix ne serait pas prise en charge dans les lancements du LTE par le réseau LTE mais serait rebasculé sur les réseaux 2G/3G sous-jacents (une procédure est alors mise en œuvre). Il en est de même pour les SMS (on en reparlera en TD). Dans un deuxième temps, le système VoLTE a été développé – les équipements du réseau ont commencé à le prendre en charge puis ce fut le cas des terminaux.

La deuxième remarque est que l'on a beaucoup moins d'équipements dans le réseau d'accès et donc moins de points où prendre des décisions mais aussi de la gigue potentiellement.

La troisième remarque qui est une conséquence des deux premières est qu'en gros on peut traiter à peu de frais en termes de qualité de service tout ce qui n'est pas temps réel mais qu'il faut faire un effort particulier pour les flux qui sont très contraints temporellement. C'est plus rationnel que de vouloir avoir des garanties trop strictes et des mécanismes si compliqués que ceux vus en UMTS (et qui ralentissent l'ensemble).

La quatrième remarque, c'est que les clients LTE n'ont pas tous les mêmes abonnements : pro vs. Perso ; services d'urgence ; utilisateurs en nomadisme ; gros consommateurs...

Un premier niveau de différenciation se fera à ce niveau-là.

Le deuxième niveau porte sur la nature des flux. Par défaut, un utilisateur qui se raccorde à LTE va avoir un « tuyau » standard (sans mécanisme très sophistiqué) et c'est seulement pour les flux très contraints que l'on ouvrira des « tuyaux » avec des garanties.

DIAPO 24 :

Les « tuyaux » (ou bearers) vont agréger des flux qui ont les mêmes contraintes et seront traités de la même façon. On distingue les bearers à débit garanti de ceux qui ne le sont pas.

DIAPO 25 :

Les mécanismes de qualité de service impliquent les équipements du réseau d'accès. Parmi les problèmes qui avaient été soulevés par le passé, il y avait la difficulté pour les sources à exprimer leurs caractéristiques voire leurs besoins. Cela peut se traduire par du DPI (Deep Packet Inspection) – une requête SIP décrit le codec utilisé, on peut en déduire son débit par exemple.

DIAPO 26 :

Voici les différents équipements et les mécanismes associés. Au niveau du terminal, on filtre les paquets ; on gère les files d'attente (suite aux réponses d'allocation)

Sur l'e-Node B : contrôle d'admission, policing, ordonnancement, config. Couches basse, mise en correspondance tag DiffServ.

Sur le réseau de collecte ordo ;

Sur la passerelle, DPI, policing.

DIAPO 27 :

VoIP déjà décrit ; interopérabilité avec systèmes non 3GPP... d'une complexité forte

DIAPO 28 :

Quelques éléments de modification :

- Améliorations couche PHY :
 - MIMO : les systèmes multiantennes permettent d'améliorer sensiblement les débits (cf. cours de télécoms)
 - Agrégation de porteuses ; idem pour augmenter les débits.
- Relay Nodes : pour améliorer la couverture des sortes de répéteurs sont mis en place. Les problèmes soulevés sont la localisation des fonctions et les transmissions entre les Relais et les e-NodeB. Le principe consiste à donner le moins de pouvoir à ces relais. On est en train de réinventer les stations de base des réseaux précédents !
- Femtocells : peu de succès car les débits atteints sur le LTE sont souvent plus grands que ceux de l'ADSL
- D2D communications : l'idée est de mettre en place des dialogues directement entre les équipements. Attention, on reste dans un contexte Télécoms et donc l'allocation des ressources restent sous le pouvoir du réseau. Il s'agira donc de conserver le plan de contrôle avec des dialogues avec l'e-NodeB et les données directement entre terminaux (on n'est pas dans un mode ad-hoc). La description est dans le standard depuis 2013 mais toujours pas déployé. Quels sont les réels besoin ?