

## Notes sur le cours Modèle OSI

### DIAPO 1 :

Nous allons commencer aujourd'hui le cours d'Interconnexion de Réseaux. Ce cours est volontairement un peu tard dans la formation réseaux de façon à ce que vous ayez des compétences déjà affirmées sur les principaux types de réseau : informatique, locaux, télécoms avant de voir comment on peut les interconnecter. Historiquement, on a vécu avec des mondes relativement séparés avec même des séparations étanches à l'intérieur d'un type de réseau. Cela a largement volé en éclat et la découpe du début de la formation est un peu artificielle mais nécessaire pour comprendre le fonctionnement précis et les motivations qui ont poussé à la création des différents types de réseau.

### DIAPO 2 :

Il est difficile de dégager une vision unique et complète des problèmes d'interconnexion de réseau. Même si l'on verra qu'il y a des principes généraux pour cela, le diable sera dans les détails. Nous avons donc décidé de vous présenter plusieurs exemples détaillés de la façon avec laquelle on traite cette interconnexion.

Comme la matière est difficile, nous avons aussi voulu séparer en plusieurs morceaux avec plusieurs intervenants. Chacun d'entre nous a son expertise en la matière et cela vous permettra d'avoir un large panorama ! D'une manière générale, le problème est loin d'être définitivement réglé... cela donne du travail à nos ingénieurs !

Le découpage va donc être fait de la façon suivante. Je commencerai par vous présenter le fameux modèle de référence OSI puis l'interconnexion vu du monde des réseaux télécoms : transmission de données, téléphonie. J'en profiterai pour vous faire un cours sur les systèmes de VoIP sous l'angle de l'interconnexion de réseaux.

La deuxième partie sera consacrée à l'interconnexion vue du monde IEEE dans le contexte des réseaux locaux.

Julien Fasson fera ensuite le point sur l'interconnexion vue du monde Internet (un projet a déjà été fait au premier semestre).

Emmanuel Chaput terminera par MPLS qui permettra de bien faire le lien en particulier entre le monde IP et le monde Télécoms.

### DIAPO 3 :

Les réseaux informatiques ont commencé à voir le jour dans les années 70 quand il s'est agi de faire communiquer des équipements informatiques distants : terminaux, unité de stockage, unité de traitements, imprimantes... Les premiers à se positionner sur ce créneau ont été les constructeurs informatiques qui ont proposé des solutions de réseaux dédiées aux équipements informatiques qu'ils produisaient. Le plus puissant à l'époque était IBM qui a proposé la solution SNA. Pour mémoire, en France, le constructeur national Bull avait fait sa proposition DSA (en 1971). Toutes ces solutions étaient bien sûr incompatibles entre elles et le raccordement d'équipements d'un autre constructeur était compliqué car c'était à lui de proposer des solutions d'adaptation. Le risque fort est donc apparu de situations de monopoles incitant à l'achat de parcs homogènes de machines.

C'est pour cela que l'Organisation des Standards Internationaux qui est une institution rattachée à l'ONU et qui s'occupe de normes internationales s'est emparée du problème. L'OSI réunit les instances de normalisation des différents pays tels que l'AFNOR pour la France qui a des délégués à l'OSI. Parmi les standards OSI les plus connus, il y a par exemple les formats de compression audio-vidéo (JPEG, MPEG-2,4...).

Cette normalisation s'est étalée sur une dizaine d'années... en lien fort avec les déploiements des premiers réseaux de transmission de données à longue distance.

Il s'est agi de définir un modèle d'architecture qui soit normalisée pour l'interconnexion des systèmes ouverts (ISO). On parle alors de modèle ISO de l'OSI en Français et les acronymes anglo-saxons sont justement dans l'autre sens...

On a pris l'habitude de parler de modèle OSI.

Il s'agit d'un modèle de référence qui décrit l'ensemble des moyens matériels et logiciels pour établir des communications entre machines distantes. Ce n'est donc pas une solution unique mais la façon avec laquelle on doit construire les réseaux entre équipements hétérogènes. C'est aussi une description de référence qui ne préjuge absolument de l'implantation qui en est faite. Cela est fondamental car cela laisse la place à l'ingénierie qu'elle soit matérielle ou logicielle. Les équipementiers doivent simplement fournir des équipements conformes qui sont capables de discuter avec les autres sans préjuger de la façon avec laquelle l'architecture est implantée !

#### **DIAPO 4 :**

Ce modèle a de nombreuses qualités et en particulier la volonté qui a été édictée de proposer un modèle découpé en entités indépendantes et de façon hiérarchique. Ce modèle est en 7 couches (cf. la diapo 10 que l'on peut regarder en // sans rentrer dans le détail des blocs). Ce découpage en entités indépendantes est une règle d'ingénierie connue est simple : pour traiter un problème complexe, on le découpe en sous-problèmes qui eux sont plus simples à traiter. L'idée générale est de définir des fonctions à réaliser pour faire communiquer des machines distantes et de positionner ces fonctions dans ces entités fonctionnelles.

Le caractère hiérarchique est plus subtil, il va (cf. diapo 10) consister à limiter les interactions entre les entités. On définit des niveaux ou couche que l'on numérote. Une entité d'un niveau N dialoguera avec des entités de niveau équivalent N sur les machines distantes. Au sein d'une machine, l'entité de niveau N ne dialogue qu'avec des entités de niveau N+1 et N-1. Ce modèle hiérarchique permet de limiter les dialogues et la complexité de leur implantation. Cela permet aussi une grande évolutivité : on peut changer beaucoup plus facilement tout ou partie de ces briques élémentaires sans avoir à tout changer !

Ce sont ces propriétés d'indépendances, de modularité et de hiérarchie qui ont conféré une grande partie des qualités de ce modèle de référence.

Une architecture de réseaux sera la spécification de l'ensemble de ces niveaux hiérarchiques ou couches. Encore une fois, ces spécifications ne sont pas l'implantation directe du code. Selon l'instance qui s'occupe de la standardisation des réseaux, ces spécifications pourront être extrêmement précises et formelles – c'est par exemple le cas des réseaux télécoms ; vous avez vu dans certains cours, des automates... Mais cela peut être simplement des textes écrits en anglais et donc sans beaucoup de formalisme. C'est cela qui donne à la fois de la latitude à l'implantation mais est aussi source de bugs ou de mauvaises interprétations.

Dans le modèle de référence aussi, une couche de niveau N gère le dialogue avec une couche N d'autres machines ; elle propose des services au niveau immédiatement supérieur au travers d'une interface de service. Encore une fois, ce n'est qu'un modèle et pas une instantiation.

#### **DIAPOS 5 et 6 :**

Une entité de niveau N propose des services au niveau (N+1), ces services sont constitués d'un ensemble de primitives de service qui seront utilisées entre les entités correspondante.

Une primitive est une fonction précise demandée par un niveau à un autre.

Parmi les exemples de services, il y a le service de connexion, le service de déconnexion, le service d'envoi de données. Une entité va traiter un ensemble de primitives.

La force du modèle de référence a été de ne définir que 4 primitives de service.

Une requête est une primitive utilisée par le niveau (N+1) pour demander l'activation d'un service de niveau N.

L'indication permet au l'entité de niveau N de signaler l'activation du service de niveau N à une entité de niveau (N+1).

Le service peut demander une validation par l'entité destinataire. Cela se traduira par une primitive de services de Réponse entre le niveau (N+1) et le niveau (N). On trouve enfin une requête de confirmation du niveau (N) vers le niveau (N+1) pour remonter la réponse au niveau (N+1).

Par exemple, si l'on prend l'exemple du téléphone : une personne (niveau N+1) compose un numéro de téléphone, elle demande donc la mise en place de la communication (Requête). L'appel se propage et chez le destinataire le téléphone sonne (Indication). Il décroche (Réponse), l'appel est établi (Confirmation). Bon c'est un exemple téléphonique mais qui permet de bien illustrer ces principes qui ont été retenus pour le modèle de référence OSI.

Les services sont bâtis au travers du choix de deux primitives de service (service non confirmé) ou de quatre primitive de service (service confirmé). (Il existe des services (on a reparlera dans d'autres cours) avec simplement une primitive de service : remontée d'information du niveau inférieur)

Une primitive de service sera de la forme :

N-CONNECT.request : N le niveau, CONNECT le service, request : la primitive.

Services usuels : CONNECT, DATA, DISCONNECT

## **DIAPO 7 : PROTOCOLES**

Les services se déroulent donc entre les entités d'une même machine. Les protocoles en revanche se déroulent entre entités distantes. Un protocole est un ensemble de règles décrivant les échanges valides entre pairs. On va décrire les messages, leur composition, l'ordre dans lesquels on peut les recevoir... Attention, ce n'est toujours pas la description de l'implantation mais bien sa spécification.

Les messages échangés entre entités paires sont intitulés Unités de Données de Protocoles (PDU). L'acronyme français n'est pas utilisé... On parlera alors de N-PDU.

Si on regarde la diapo 10, un message descendra la hiérarchie, passera de machine en machine pour arriver chez le destinataire. Le passage d'un niveau à un autre donne lieu à l'activation de primitives de service. Seul le niveau physique – Couche 1 – Couche PHY (Physique) donne lieu à l'émission d'informations sur le support de communication. Les échanges horizontaux sur les schémas ne sont pas des envois réels seul le niveau 1 émet sur le support de communication.

Chaque niveau pourra modifier le message : compression, chiffrement, fragmentation, ajout d'informations pour le bon fonctionnement du protocoles (numérotation, adressage,...).

Le protocole permettra de réaliser le service. Pour réaliser un service, on peut très bien utiliser plusieurs protocoles mais cela ne sera pas vu par les niveaux supérieurs (directement), c'est là que réside l'indépendance entre les couches.

Bien évidemment, la notion de protocoles avait largement été abordée dans les cours de réseaux précédents, la majorité des acronymes dans le domaine réseau qui se terminent par un P correspondent à des protocoles : IP, TCP, UDP, HTTP, SMTP, SNMP...

## **DIAPO 8 : Point d'accès au service**

Les points de rencontre entre les entités de niveau N+1 et de niveau N sont appelés Points d'Accès au service. Ce sont des guichets par lesquels l'information pourra circuler. Dans le modèle de référence, l'implantation ne sera pas une nouvelle fois décrite car c'est lié au système et c'est interne à la machine (zone mémoire...). Une entité de niveau N peut

dialoguer avec plusieurs entités de niveau (N+1) – par exemple plusieurs protocoles applicatifs au-dessus de TCP ou bien encore TCP et UDP au-dessus d'IP... idem dans RNIS. Sur le schéma j'ai mis la configuration inverse qui est aussi possible.

Les messages qui transitent au travers des points d'accès au service s'appellent des SDU comme Service Data Unit. La volonté a été de donner deux noms différents entre les messages échangés entre entités paires et ceux échangés entre entités de niveaux différents. L'idée est de permettre de ne pas avoir une correspondance 1 à 1 entre les deux pour permettre : la concaténation et la fragmentation. On en parlera un peu plus tard dans ce cours et en TD. Il y aura bien sûr le plus souvent une PDU pour une SDU. La SDU est préfixée par le niveau de service N-SDU pour un message envoyé par une entité de niveau (N+1) à un niveau N. Les SDU seront envoyées comme paramètres des primitives de services. Quand une N-SDU est reçue par un protocole de niveau N, il ajoutera des informations pour former les N-PDU (par exemple des numéros) et faire fonctionner le protocole de niveau N. Attention c'est bien au niveau supérieur de donner les informations pour savoir à qui les informations doivent être envoyées – c'est au niveau supérieur de s'en préoccuper et de les mettre dans les primitives de service.

## **DIAPO 9**

La volonté du modèle de référence OSI a été de recenser les fonctions qui devaient être mises en œuvre pour la transmission de données entre machines distantes et de définir une couche comme un ensemble de fonctions à remplir. Une couche par fonction aurait conduit à trop de niveaux ; c'est pour cela que l'on a regroupé les fonctions en groupes homogènes (on en a déjà parlé par exemple avec HDLC : tant qu'à faire du contrôle d'erreur avec retransmissions et accusés de réception, autant faire du contrôle de flux en même temps). L'idée d'un petit nombre de couches et de réduire les temps nécessaires pour envoyer effectivement les messages mais un nombre pas trop faible permet d'éviter d'avoir des protocoles trop complexes ou complets. C'est vrai mais une fois que l'on a dit cela, le nombre magique ne découle pas instantanément. Les instances ont mis beaucoup de temps en hésitant entre 5 et 7 et on a fini sur 7. On y reviendra dans les diapos suivantes.

## **DIAPO 10**

La diapo 10 reflète le modèle de référence en 7 couches tel que normalisé. Les couches 4 à 7 ne se déroulent qu'au niveau des machines d'extrémités : on les appelle les couches hautes. Les couches 1 à 3 se déroulent sur toutes les machines, on les appelle les couches basses. Elles sont présentes sur tous les équipements du sous-réseau de communication : les commutateurs.

Notons que cette séparation couche haute couche basse dépend de la communauté. Pour les spécialistes de communications numériques (Télécoms) : la couche basse c'est la couche physique et le reste est couche haute. Vu des informaticiens, la couche application est haute et tout le reste est dans les couches basses.

Certains noms sont déjà familiers dans votre vocabulaire : couche physique, liaison de données, réseaux, transport et application qui ont déjà été évoqués dans les cours précédents de réseaux. On voit aussi apparaître les couches présentation et session dont on parlera rapidement dans les diapos suivantes. Tant qu'on n'est pas au niveau physique, on n'émet pas les informations ; la couche application est la plus élevée, elle n'a de service à rendre à personne !

## **DIAPO 11**

Un certain de fonctions peuvent être remplies à l'un ou l'autre des niveaux et on l'a déjà évoqué dans les cours précédents. Par exemple l'utilisation d'un service de communication

avec ou sans connexion. Cette question peut se poser à tous les niveaux protocolaires (sauf application). Les services en mode connecté sont souvent plus fiables et ceux sans connexion moins. En revanche, cette notion de connexion ne revêt pas la même complexité selon le niveau auquel on se situe : une connexion de niveau liaison de données ne concerne que les deux machines qui se trouvent de part et d'autre du lien. Une connexion de transport concerne les deux machines d'extrémité. Une connexion de réseau concerne les machines d'extrémités et tous les commutateurs intermédiaires. La connexion de niveau liaison est demandée par la couche réseau d'une machine à destination de la couche réseau de la machine suivante. On peut très bien avoir un lien avec une connexion de liaison et le suivant sans.

Les protocoles associés aux mises en place de connexion peuvent être soit avec deux messages mais pourquoi pas 3.

Le multiplexage au sens OSI consiste à permettre de véhiculer des informations qui appartiennent à plusieurs connexions de niveau (N+1) sur une connexion de niveau (N). Attention, le modèle OSI ne fait référence qu'à ce type de fonctionnement. D'une manière moins formelle, on a déjà largement parlé de multiplexage sans faire référence au modèle connecté – cela fait plutôt référence au fait de véhiculer plusieurs flux de niveau (N+1) sur le même flux de niveau (N). L'opération inverse au niveau du récepteur s'appelle le démultiplexage. On peut aussi permettre à la même connexion de niveau (N+1) d'être véhiculée sur plusieurs connexions de niveau (N). Cela s'appelle l'éclatement. L'idée est de se servir de plusieurs moyens de communications en parallèle. Historiquement c'était peu utilisé car complexe à gérer. Par exemple, si l'on a un mode connecté, on garantira (facilement) l'ordre des messages. Si on éclate et même si sur chaque connexion la garantie de l'ordre partiel est assurée, il n'en va plus de même de l'ordre total. Je n'irai pas plus loin dans les discussions sur ces mécanismes qui seront repris dans des cours de réseaux plus avancés en 3A.

L'adressage est également un problème commun à plusieurs niveaux. On a déjà évoqué ces différents niveaux d'adressage dans les cours précédents. Les différents niveaux protocolaires pourront donner lieu à des adresses qui permettent d'identifier les entités qui communiquent. Il faudra potentiellement adjoindre l'identifiant de point d'accès au service, explicitement ou implicitement pour savoir précisément l'entité visée (exemple du port TCP ou du numéro de protocole IP ; ou plus près de l'entité au-dessus du LAP-D). Cela peut-être implicite quand il n'y a qu'une seule entité potentielle (exemple de X.25 sur LAP-B). Parfois il faut utiliser un subterfuge : exemple ATM. En fonction du PTI, on a les points d'accès au service dans le plan de gestion (1<sup>er</sup> bit à 1) pour les autres, il faut garder la correspondance entre le numéro de connexion et le point d'accès au service pour savoir quel est la variante d'AAL-5 à laquelle on doit remettre le contenu de la cellule (qui est donc une ATM-SDU).

Selon le niveau protocolaire, l'adresse aura besoin d'être plus ou moins longue ou compliquée/structurée. Par exemple au niveau liaison de données c'est le plus souvent simple. Au niveau réseau, il vaut mieux avoir des adresses structurées qui permettent de trouver plus facilement le destinataire (routage).

Il y a ensuite le traitement des messages : on peut les concaténer (plusieurs => un) ou les fragmenter (un => plusieurs) avec l'opération similaire au niveau du récepteur. Le terme groupage et surtout dégroupage ayant une autre signification dans le monde Télécoms, on l'a un peu abandonné. On peut utiliser segmentation à la place de fragmentation. Plusieurs niveaux peuvent s'en emparer en fonction des tailles maximales des messages que l'on peut envoyer. On peut faire les deux dans un même protocole pour remplir au mieux (on l'a évoqué en FTTH et on le reverra de façon très régulière pour les réseaux mobiles. Cela peut

être fait par le protocole ou par le service : 1 N-SDU scindée en plusieurs N-PDU ou 1 N-PDU en plusieurs N-PDU. La concaténation est encore plus variée. Plusieurs (N+1)-PDU dans la même N-SDU ; plusieurs N-SDU dans la même N-PDU.

Il y a ensuite les mécanismes réseaux classiques : contrôle de flux, de congestion, d'erreur et le routage. Ces mécanismes ont été déjà largement vus ; je n'en parle pas plus.

On va maintenant décrire les fonctions prévues pour les différents niveaux protocolaires.

### **DIAPO 12 : Couche Physique – PHY**

La couche physique a pour objectif de transmettre les informations binaires sur le support de communication. Il faut donc spécifier les caractéristiques physiques des supports de communications utilisées : bande de fréquence, nature du support, caractéristiques physiques... ainsi que des émetteurs, récepteurs. Il faut préciser pour les réseaux filaires par exemple les prises utilisées... Au-delà de la « quincaillerie », il faudra aussi préciser la technique de codage (canal) utilisée, égalisation, synchronisation, durée des symboles... C'est l'objet des cours de télécommunications. On parle de PHY-PDU quand la couche structure ses transmissions mais parfois c'est une simple succession de bits. Pas de termes qui se soit dégage... Mais dans le monde télécoms, on les appelle des trames ☺.

### **DIAPO 13 : Couche liaison de données – L**

La couche liaison de données est la couche 2. La couche liaison de données sert à surveiller la transmission effective des informations sur le support. En gros sa complexité est inversement proportionnelle à la qualité de la couche physique. Ici on a toujours structuré les transmissions et les L-PDU ont été appelées trames avant même que le modèle OSI soit construit. Ce vocabulaire a perduré. Parmi les fonctions classiques, il y a le contrôle d'erreur. Il s'agira de protéger les données contre les erreurs de transmission. On peut alors associer à ce contrôle des mécanismes de retransmissions (ARQ) et d'accusés de réception. La présence d'accusés de réception incite alors à s'en resservir pour faire du contrôle de flux. On retombe sur des discussions menées autour d'HDLC. Ces mécanismes se traduisent par le traitement des duplications, la numérotation... L'adressage est souvent simple.

### **DIAPO 14 : Couche Réseau – N**

La couche réseau a pour objectif d'acheminer les messages entre les extrémités du réseau. Comme pour la couche Liaison de données, le terme de paquet pre-existait par rapport au modèle. On appelle donc les N-PDU paquets.

On voit donc qu'elle est en charge du routage. Dans le modèle OSI elle est en charge du multiplexage. Là on entendait un fonctionnement avec connexion au niveau réseau et avec connexion au niveau liaison. Les liens étaient forts avec les réseaux X.25 et les protocoles qui sont du coup conformes. D'une manière générale, c'est bien là que l'on fera le multiplexage statistique.

Notons par exemple que le modèle OSI a vu que le monde IP commençait à lui échapper et à essayer d'intégrer IP dans le modèle OSI au travers du protocole CLNP (Connection Less Network Protocol). La différence majeure, l'adresse était sur 20 octets... (cf. adresses ATM). Je pensais ce protocole disparu, il existe encore dans les réseaux aéronautiques pour les communications bord/sol critiques... et même X.25 d'ailleurs ! Le protocole de routage est d'ailleurs IS-IS (cousin de OSPF et très utilisé par les opérateurs) – attention, pour mémoire le protocole de routage ne route pas et c'est le plus souvent un protocole applicatif.

Il était classiquement entendu que c'était aussi la couche réseau qui devait faire la fragmentation pour s'adapter aux niveaux inférieurs et faire passer aux paquets les différents liens.

La congestion caractérise l'engorgement des commutateurs. Cela semble donc naturel que ce soit la couche réseau qui s'en occupe. Le monde de l'Internet a une autre vision et a renvoyé cette fonction majoritairement au niveau supérieur. On a déjà cité un grand nombre de solutions dans les cours précédents et on n'a pas fait le tour du problème (par contrôle de flux, par notification, par auto-régulation, en perdant des paquets...).

La couche réseau est aussi celle chargée de la comptabilité. Pour les réseaux télécoms, la facturation se faisait à la durée, pour les réseaux informatiques au volume... Cela se traduira par des contrats...

C'est aussi celle qui doit traverser plusieurs liens ; historiquement c'est elle qui doit s'adapter à l'hétérogénéité.

### **DIAPO 15 : Couche Transport T**

A partir de là, il n'y a pas de vocabulaire qui s'impose pour les messages : segments TCP, datagrammes UDP. C'est le premier protocole à n'être présent qu'au niveau des extrémités. Il surveille le bon fonctionnement du réseau. Comme pour la couche liaison, il est d'autant plus léger que le réseau est fiable.

Il va donc mettre en place la surveillance de la réception des messages, le traitement des retransmissions au niveau des extrémités si le réseau n'est pas fiable et du coup du contrôle de flux ; cf. cours sur TCP. On surveille les pertes.

Au niveau de la couche transport, le modèle OSI s'était montré ambitieux avec 5 protocoles orientés connexion et un protocole sans connexion. C'est beaucoup ! L'idée est aussi que c'est lui qui doit s'occuper de garantir la qualité de service au niveau supérieur.

Par exemple, au niveau transport on avait envisagé l'éclatement mais aussi le multiplexage.

Le monde TCP/IP est plus pragmatique et s'est contenté de deux protocoles principalement TCP pour une transmission fiable et UDP pour une transmission non fiable. Du coup des rustines apparaissent partout – cf. plus loin dans ce cours et dans d'autres.

### **DIAPO 16 : Couche Session S**

Jusqu'à ces 4 couches, la plupart des architectures de réseaux sont assez proches fonctionnellement du modèle de référence. La couche Session a très largement débattue. L'idée était de structurer les échanges entre machines pour traiter en particulier les problèmes de pannes (au niveau des extrémités en particulier). Quand les communications s'interrompent, on voulait ne pas reprendre à zéro. Pour cela, la couche session proposait des jalons dans la communication validés de part et d'autre qui permettait de ne reprendre qu'en ces points dits de synchronisation. Bon c'est peu pour une couche ! En effet, on rappelle que le passage par une couche nécessite deux primitives de service et un traitement protocolaire. Cette couche a été peu implantée (on en reparlera juste dans les cours de voix sur IP et de réseaux mobiles où des fonctionnalités de ce type réapparaissent. C'est un peu ce que fait TCAP que l'on a vu dans le réseau sémaphore.

La fonctionnalité n'est pas inintéressante mais du coup si on en a besoin on l'intègre au niveau application.

### **DIAPO 17 : Couche Présentation P**

Voici la deuxième couche très discutée. La fonction de base de la couche présentation provenait de l'hétérogénéité de la représentation des données dans les différents ordinateurs : entiers codés sur 2 ou 4 octets, nombres négatifs codés en complément à 1 ou à 2... Bref, si on veut transférer des données d'une machine à une autre, on peut : faire une conversion au

niveau de l'émetteur au format de représentation des données du destinataire OU faire la conversion en réception – problème il faut connaître tous les formats. On peut aussi faire une conversion au niveau de l'émetteur en un format international et faire l'opération inverse au niveau du destinataire. Cela donne lieu à deux opérations mais pas besoin de savoir comment les données sont codées sur les machines.

Bon c'est peu... on s'est dit qu'on allait y ajouter tout ce qui était lié à la représentation des données. On a envisagé par exemple la compression (sans perte) des données et le chiffrement. C'est une bonne idée mais les algorithmes de compression prennent du temps et ne sont pas toujours très utiles. C'est très utile pour les gros fichiers mais cela prend tellement de temps que l'on ne le fait pas à la volée au moment de transférer des données... l'autre cas de figure, c'est pour les supports hertziens et dans ce cas, c'est beaucoup plus bas dans les couches – pas besoin de le faire tout le temps.

Pour le chiffrement, c'est encore plus compliqué car cela peut être envisagé à plein d'endroits et le niveau dépend du type de support d'application. Encore une fois, cela peut être fait pratiquement sur tous les niveaux protocolaires et pas sûr qu'un niveau protocolaire s'impose plutôt qu'un autre => voir les cours de sécurité.

Bref, cette couche n'était pas très bien positionnée.

### **DIAPO 18 – Couche Application - A**

Moins de discussions sur la couche application. C'est le niveau le plus élevé. Elle se caractérise par de nombreux protocoles. On a commencé par courrier électronique, connexion à distance et transfert de fichiers. Ces protocoles cohabitent dans les machines d'extrémité. Attention, il n'y a pas de niveau supérieur. Elle ne rend pas de service. Il n'y a pas de connexions d'application. Dans la philosophie OSI, on a vu une conception modulaire : transfert fiable, « association » d'application... L'idée était de concevoir plus simplement les applications. Cette conception modulaire réapparaît régulièrement dans des contextes en particulier contraints. Attention, ce que l'on normalise, ce sont bien les échanges de données !

On illustrera en TD les enchaînements qui correspondent à des schémas que l'on a vus ensemble dans les cours précédents.

### **DIAPO 19 – Relation Service Protocole**

L'objectif du modèle OSI était de fournir une grande indépendance entre les couches. La couche supérieure qui demande un service n'a pas besoin de savoir comment il est rendu. La couche inférieure propose ses services au travers de primitives de service qui sont normalisées (attention par exemple, les paramètres des primitives de service vont dépendre des niveaux protocolaires).

Les protocoles ne sont qu'un ensemble de règles qui s'appliquent aux messages échangés. Beaucoup de mécanismes restent en dehors de la normalisation ! Par exemple, les ordonnanceurs ne sont pas normalisés ; les variantes de TCP sont compatibles les unes avec les autres...

La principale visée était enfin l'évolutivité, en gardant les primitives de service, on peut très bien changer les protocoles ! Tout ou partie des protocoles peuvent changer sans que l'on ait tout à changer.

### **DIAPO 20 – Exemples d'architecture de réseaux**

Les instances de standardisation ont fait des propositions d'architectures protocolaires qui sont plus ou moins conformes au modèle de référence OSI.

Quelques architectures sont parfaitement conformes. Par exemple, dans le transport aérien, une pile de protocole OSI est implantée pour les communications bord/sol.



Quelques constructeurs informatiques avaient fait des annonces de piles de protocoles conformes. Beaucoup de propositions ont été faites avec des solutions conformes mais qui n'implantent pas tous les niveaux protocolaires (en particulier les couches S et P). X.25 est conforme sur ses couches basses.

Si on regarde les trois types de réseaux que l'on a vus dans les cours précédents, on va essayer de voir leurs similarités avec le modèle OSI : piles TCP/IP, des réseaux locaux, des réseaux télécoms.

Des architectures propriétaires ont pré-existé comme je l'ai indiqué en préambule. Elles ont existé longtemps (SNA, DSA, AppleTalk, Novell,...). Nous avons fait le choix pédagogique de ne pas (ou très peu) en parler dans nos cours car : c'est une philosophie qui nous ne souhaitons pas mettre en avant, les fonctionnements protocolaires ne sont pas publiés... il faut faire du reverse engineering pour savoir comment ils fonctionnent ! Il en va de même pour les protocoles propriétaires.

### **DIAPO 21 Architecture TCP/IP – standardisé par l'IETF**

Le monde de l'Internet est celui qui a été le plus hostile à la normalisation OSI. A la fin de la standardisation OSI, la victoire sur les couches hautes n'était pas encore définitivement tranché.

Il s'intéresse à la standardisation des couches 3, 4 et 7 ainsi qu'au lien nécessaire pour transporter les paquets IP sur n'importe quel support. La couche de convergence est IP, IPv4 et IPv6. Au-dessus les protocoles de transport TCP et UDP essentiellement et toutes les applications.

En termes protocolaires pas de souci, on est bien sur le même vocabulaire que le monde OSI et les fonctions sont assez proches (à part le contrôle de congestion qui est traité par la couche 4). C'est la notion de service qui n'existe pas en tant que telle. La notion de point d'accès au service se matérialise par les numéros de protocole dans IP et les ports entre la couche transport et la couche application. Pour finir on voit des bouts de protocoles qui permettent de faire le lien avec les couches plus basses. Par exemple le problème de résolution d'adresse au travers d'ARP qui se situe entre IP et Ethernet. Attention, le DNS par exemple est bien identifié comme un protocole applicatif qui passe au-dessus d'UDP. On voit pour finir les protocoles de routage pour l'essentiel au niveau applicatif.

### **DIAPO 22 Architecture des Réseaux Locaux – IEEE**

On peut voir en premier lieu que le monde des réseaux locaux est assez complémentaire de la vision IETF. Il se concentre sur les couches 1 et 2 du modèle OSI. Les relations ont été beaucoup moins conflictuelles avec l'OSI.

La différence fondamentale entre le modèle OSI et l'architecture IEEE est que d'un point de vue « réseau », le problème essentiel des réseaux IEEE est celui de l'accès au support de communication. La couche liaison de données du modèle OSI est surtout conçue dans un contexte point-à-point ou dans le cas de liaison multi-point dans des configurations maître esclave. Régler le partage du support si la couche 2 n'a pas une bonne vision de ce qui se passe sur la couche physique permet de faire du polling par exemple mais impose d'avoir une configuration maître esclave qui n'est pas la philosophie générale des réseaux locaux avec plutôt une vision de communications entre machines proches et jouant des rôles similaires. L'autre solution est de traiter ce partage au niveau physique avec un partage figé (TDM/TDMA, FDM/FDMA) qui est encore une vision assez centralisée. On a préféré donc des modèles plus dynamiques s'adaptant à de fortes variations de trafic.

Dans le modèle IEEE, on a donc décidé de découper la couche liaison de données : une (sous-) couche haute intitulée contrôle de la liaison logique (LLC) qui correspond sensiblement à la philosophie de la couche (plusieurs variantes, cf. cours de réseaux locaux). La deuxième

partie est dédiée au contrôle d'accès au support de communication : la couche MAC. Attention, il n'y a pas d'indépendance complète avec la couche physique. Par exemple, un protocole CSMA a besoin de savoir si le support est disponible. Cela n'était pas pensable dans le contexte OSI. Il y a enfin la couche physique et toutes les variantes que vous avez vu dans les cours précédents.

La standardisation IEEE est proche du modèle OSI pour le reste. En effet, les standards IEEE ont été estampillés par l'OSI : IEEE 802.x => OSI 8802.x. Au moins dans les premiers temps. En revanche, ce qui est plus important, c'est que les standards IEEE sont parfaitement décrits en termes de protocoles, de services, de primitives de service...

### **DIAPO 23 – Modèle des Réseaux Télécoms ITU**

Attention, comme vous l'avez vu dans le cours de réseaux Télécoms qui précèdent, les réseaux télécoms sont assez diversifiés : ils recouvrent à la fois les réseaux téléphoniques et les réseaux de transmission de données. La partie téléphonique (commutation de circuit au sens large) sortait des objectifs du modèle OSI.

A contrario, les réseaux de transmission de données rentrent bien dans ce cadre.

Les relations entre l'ITU et le monde OSI ont été très resserrées pendant quelques années. X.25 servait de base d'expérimentation pour le modèle OSI en construction. HDLC est un protocole OSI ; LAP-B y est conforme...

Par la suite, c'est moins simple !

Le monde télécoms préfère les protocoles simples mais propose des architectures protocolaires plus compliquées. Par conséquent, il y a une réflexion fonctionnelle : quels sont les services à fournir ? Quelles sont les solutions les plus adaptées ?

Le monde télécoms préfère le plus souvent les modes connectés que les modes non connectés. Les modes connectés donnent lieu à des protocoles spécifiques dits de signalisation et la question s'est rapidement posée de la qualité de service attendue d'une part pour la transmission de données et de la signalisation. C'est pour cela que l'on a le plus souvent non pas une pile de protocoles mais plutôt plusieurs piles de protocoles : une pour la signalisation appelé plan de contrôle/commande (Plan C) et une (ou plusieurs) pour la transmission de données appelée plan de données/usager (Plan U).

En téléphonie, c'est tellement différent que l'on a deux réseaux logiques séparés ; dans les réseaux suivants (FR, ATM), le niveau de convergence est dans le monde « paquet » (ATM ou FR). Seul X.25 déroge à la règle.

Pour compléter, on a aussi des protocoles spécifiques de configuration, surveillance, gestion que l'on met dans un plan spécifique appelé plan de gestion-management (Plan M) qui n'est pas complètement structuré en couche.

D'un point de vue fonctionnel, les protocoles du monde télécoms répondent sensiblement à ce qui avait été prévu dans le modèle OSI (quelques dissemblances avec fusion des couches 2 et 3 par exemple). En revanche, les notions de service, protocoles, points d'accès au service, primitives de service sont bien présentes dans les standards télécoms.

Pour conclure, le modèle OSI a permis de bien structurer la façon de construire les architectures de réseau. Les fonctions sont bien placées au même endroit dans toutes les solutions existantes. C'est un modèle très conceptuel qui est exceptionnellement bien conçu car il permet une compréhension facilitée de tout ce qui a été fait par la suite. Attention, s'arrêter aux protocoles n'est pas suffisant pour en comprendre la puissance.