

Notes sur le cours Introduction aux Réseaux de Télécommunications

DIAPLO 1 :

Comme indiqué dans la présentation générale de la matière « Introduction aux Réseaux de Télécommunications », les réseaux de communication servent à faire communiquer des machines distantes et de nombreuses classifications existent pour les caractériser en fonction de :

- Réseaux Publics/Réseaux Privés/Réseaux Privés virtuels ;
- Réseaux Longue Distance, Réseaux à longue distance ;
- Applications visées : données, télévision, téléphonie, contenus...
- Instance de standardisation :
 - Internet Engineering Task Force (IETF) : Internet
 - Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) : Réseaux Locaux
 - Union Internationale des Télécommunications (ITU) : Réseaux Télécoms

C'est cette classification que l'on a retenu dans notre découpage des cours de réseaux dans le semestre S7. Ce troisième cours de réseaux est donc dédié aux réseaux télécoms.

Les réseaux de télécommunications sont caractérisés par la présence d'opérateurs auxquels les utilisateurs vont confier leurs données à transmettre (Orange, SFR, BT, Deutsche Telecom, Verizon) et des équipementiers qui fabriquent les composants du réseau (Thales, Safran, Nokia, Ericsson, Siemens, Huawei, Cisco...)

DIAPLO 2 :

Le plan global du cours va être caractérisé de la façon suivante :

- Une introduction générale : l'objectif va être de donner des définitions et des caractérisations des réseaux (en particulier télécoms)
- Une série des cours sur les réseaux de transmission de données à longue distance
- Une série de cours sur les réseaux à commutation de circuits
- Une série de cours sur les réseaux d'accès

DIAPLO 3 :

Le principe des réseaux de communication consiste à permettre de faire communiquer des machines distantes. Comme il n'est pas envisageable de relier en point à point toutes les machines entre elles, on fait appel à un sous-réseau de communication auxquels les équipements d'extrémité vont confier leurs informations et qui se propageront de proche en proche pour atteindre le destinataire.

Les réseaux informatiques ont été inventés dans les années 60.

Le sous-réseau de communication est composé de liens ou liaisons de transmissions qui pourront être des paires de cuivre torsadées, de la fibre optique, du câble, le support hertzien. On relie ces supports de communication par des équipements qui vont permettre d'interconnecter ces supports et que l'on appelle des commutateurs.

Un commutateur est un équipement qui se caractérise par un certain nombre de liens entrants et un certain nombre de liens sortants (les liens sont le plus souvent bidirectionnels). La communication sera l'opération qui permettra de déplacer les informations reçues sur les liens entrant pour les positionner sur les liens sortants.

DIAPLO 4 :

Si maintenant, on essaye de représenter le réseau téléphonique, on se rend compte que l'on a sensiblement les mêmes caractéristiques. Les équipements d'extrémité sont les téléphones. Attention, historiquement, les réseaux téléphoniques et les réseaux de transmission de données étaient complètement distincts, cela se voit en particulier dans le vocabulaire. Le raccordement entre les téléphones et le premier commutateur (commutateur de raccordement) se fait au travers du réseau d'accès (boucle locale); l'ensemble des commutateurs constitue le réseau de transport.

Si à première vue, il y a de nombreuses similitudes, le fonctionnement en revanche de ces deux familles de réseaux est assez nettement distincte.

DIAPLO 5 :

Les différences majeures vont provenir des applications pour lesquelles ces réseaux ont été conçus. (bon, là on refait un peu l'histoire).

L'application téléphonique (en se plaçant à partir du moment où elle a été numérisée), se caractérise par un débit constant et faible – qq kbit/s. Les besoins en qualité de service se matérialisent par le fait que c'est une application conversationnelle pour laquelle, il faut avoir un délai court et constant. L'oreille humaine s'adapte mal à des délais variables (que l'on appelle la gigue). En revanche, on peut très bien perdre des échantillons de voix, ils peuvent même être altérés par des erreurs de transmission, l'oreille humaine s'en accommode très bien.

Cela a une importance fondamentale car si l'on regarde le délai d'acheminement de bout en bout du signal de voix dans le réseau, on voit qu'il y a des sommes de temps de propagation et de temps d'émission sur les différents liens entre la source et la destinations qui seront incompressibles ; puis des temps de passage successifs sur les différents commutateurs et là pour minimiser le délai, il faudra mettre en place très peu de contrôle (d'intégrité) et le minimum de traitements. Il faudra aussi que ces temps de traitements successifs aient la même durée. On constate aussi par conséquent que le choix du chemin doit forcément se faire à l'avance et être valable pour toute la durée de la communication de façon à minimiser la variation du temps de traversée.

Les réseaux informatiques sont plus récents et les applications cibles pour lesquelles ils ont été inventés ce sont les transmissions de données informatiques : transmission de fichiers, connexion à distance et envoi de courriers électroniques ont par exemple été les premières applications visées. Ces applications se caractérisent par un débit variable et potentiellement élevé. Les contraintes portent majoritairement sur l'intégrité des données (traitement des pertes et des erreurs de transmissions). Les contraintes sur le délai sont faibles ou inexistantes et il en est de même sur la gigue. On peut aussi bien envisager que les messages d'une même communication passent par le chemin ou par des chemins distincts.

DIAPLO 6 et 7 : CONNEXION

Vous avez déjà entendu parlé de cette notion de connexion dans les cours de réseau précédent. Une connexion est un principe de fonctionnement qui va se traduire par le fait que l'on prévient le destinataire que l'on veut rentrer en communication avec lui avant de pouvoir dialoguer avec lui. Il peut ne pas accepter la communication, ne pas répondre, ne pas exister... A la suite de cette phase initiale au cours de laquelle, on pourra décrire les échanges auxquels on va procéder, les dialogues s'instaurent et ensuite, on refermera la connexion.

Les intérêts sont multiples, en particulier si l'on regarde le fonctionnement des réseaux précédents avec la vision des communications au travers d'un sous-réseau de communication, non seulement le destinataire va recevoir la demande de connexion mais les commutateurs

successifs verront aussi passer cette demande. Tout le monde étant prévenu, il est alors possible de prévoir les mécanismes à mettre en œuvre pour s'assurer que la communication se passera bien et garantir ainsi la qualité de service. L'inconvénient majeur sera cette lenteur initiale.

Dans le cas du monde non-connecté, il n'y a qu'une seule phase, on envoie les données.

Le lien avec le routage n'est bien sûr pas anodin : dans le cas du mode connecté, on profite de la mise en place de la connexion pour marquer le chemin entre la source et la destination. Toute l'information passera par le même chemin.

C'est la technique qui est retenue dans le cas des réseaux téléphoniques (pour garantir les délais) ;

Cette technique est possible dans les réseaux informatique : on parle alors de mode **circuit virtuel**.

La solution sans connexion est prédominante dans les réseaux informatiques car elle est plus légère. On parle de mode **Datagramme. IP, Ethernet (et Wifi) ont fait le choix du mode datagramme.**

Il n'y a pas une solution meilleure que l'autre dans l'absolu pour les réseaux informatiques.

On voit donc qu'il y a un lien entre ce mode connecté/non-connecté et le routage car il va conditionner le moment où la route sera choisie (à l'échelle de la communication ou des données à transmettre).

L'intérêt du mode non-connecté sera par exemple de permettre d'exploiter plusieurs routes en fonction de l'état d'encombrement instantané ; cela permet de mieux réagir vis-à-vis des pannes ou des phénomènes d'engorgement.

En revanche, le traitement des pertes est plus facile dans le cas connecté. On numérote les messages et n'importe quel nœud (commutateur ou extrémité) pour vérifier la séquence des messages. Dans le cas sans connexion, impossible de vérifier quoi que ce soit sur les nœuds intermédiaires et même chez le destinataire, il est difficile de se prononcer : recevoir le message 1 puis le message 3 n'implique pas forcément que le paquet 2 est perdu ! Vous avez vu cela longuement dans le cours de TCP/IP.

La gestion de très nombreuses connexions impose aussi de très nombreux traitements en particulier si l'on a un nombre très important de connexion ; ce problème est connu sous la dénomination de passage à l'échelle « scalability ».

Attention, ici on a bien parlé du mode de fonctionnement qui concerne les communications qui intéressent l'ensemble des nœuds du réseau. Vous avez vu par exemple qu'IP était sans connexion (mode datagramme) mais que TCP était avec connexion et UDP sans connexion mais ces protocoles de communication ne concerne pas (directement) les nœuds du réseau qui ne traitent que les paquets IP.

Au-delà de comparaisons purement techniques entre les modes de fonctionnement, il y aussi des enjeux économiques qui ont eu des conséquences importantes. Si l'on regarde le mode connecté, on se rend compte que l'ensemble des commutateurs doit traiter les demandes de connexion et que le réseau mettra en place des mécanismes de qualité de service adaptés. Dans le cas du mode non connecté, le service rendu est le plus souvent de type « best effort ». Le mode connecté qui se traduit par une meilleure prise en charge de la qualité de service se traduira par un coût d'utilisation plus élevé dans le cas des réseaux publics. Les opérateurs poussent donc dès qu'ils le peuvent pour des services avec connexion.

Attention, le débat n'est jamais complètement clos... et il est important que vous ayez en tête cette dichotomie et les enjeux associés !

DIAPO 8 et 9 :

Le débat suivi va porter sur la caractérisation du fonctionnement des réseaux : partage des liens et fonctionnement des commutateurs pour tenir compte des besoins des deux familles d'applications. Le partage d'un support entre plusieurs communications, avec un émetteur et un récepteur porte le nom de multiplexage. Par extension la notion de multiplexage pourra aussi s'entendre dès qu'il s'agira du mélange d'informations appartenant à plusieurs flux.

Attention, vous avez vu dans le cours de réseaux locaux (S6 et S7), la notion de méthode d'accès, il s'agit alors du partage d'un support entre plusieurs utilisateurs qui concourent pour partager ce support.

Pour les réseaux téléphoniques, au-delà du mode connecté, on a choisi une technique de partage du support qui soit figée. On va attribuer des ressources (sur les liens de communications) constantes pour toute la durée de la communication. C'est la technique la plus simple pour assurer le débit constant.

La méthode la plus ancienne a consisté en un partage (multiplexage) fréquentiel. On découpe le support de communication dans le domaine fréquentiel avec des plages de fréquences de même largeur. Une transposition en fréquence permettra de mettre le signal téléphonique d'une communication dans la plage de fréquences qui lui a été réservée. En sortie, on filtre et l'on retrouve les différents signaux (démultiplexage). Cette technique fonctionne aussi bien avec des signaux de voix analogiques que numériques. Elle est appelée **FDM (Frequency Division Multiplexing)**.

La seconde méthode qui a vu le jour a consisté à faire le découpage dans le domaine temporel. On prend un système périodique de période T que l'on découpe en tranche de temps appelé slots. **Pour un lien**, le nombre de slots par période est constant ; la durée des slots est constante. Pour le réseau téléphonique, cette durée permet d'envoyer un échantillon de voix d'une taille constante (un octet, on y reviendra plus tard). Le multiplexage va consister à positionner chaque échantillon de voix dans le slot qui lui est dédié. L'écart temporel entre deux slots de la même communication est constant. Cette technique est appelée multiplexage temporel **TDM (Time Division Multiplexing)**.

Dans les deux cas de figure, on fait apparaître la notion de ressources temporelles ou fréquentielles. Une communication se voit attribuer un nombre de ressources constantes pour toute la durée de la communication.

Les ressources sont allouées à une communication mais peuvent être vides pour pouvoir traiter de nouvelles communications. Dans le cas des ressources fréquentielles, on ne partage pas la bande passante entre les seules communications en cours (elles n'en ont pas besoin) ; on ne change pas non plus la période dans le cas du multiplexage temporelle en fonction du nombre de communications en cours car sinon cela donnerait un délai variable entre deux échantillons d'une même communication.

Pour finir, on peut faire un mélange des deux (temporel et fréquentiel), c'est par exemple le cas quand l'on fera du multiplexage en longueur d'ondes sur une fibre optique (Wavelength Division Multiplexing) et où chaque longueur d'onde pourra être exploitée avec un multiplexage temporel.

On peut dans le TDM envisager que les « slots » n'aient pas tous la même taille pour multiplexer des flux à débit constant mais qui n'aient pas tous le même débit.

DIAPO 10 :

Ces principes de partage du support vont être liés à la technique de commutation. Les commutateurs téléphoniques retiennent la technique de **commutation de circuits**. En effet, les ressources qui sont attribuées aux communications sont constantes (qu'elles soient

temporelles ou fréquentielles). Ce sera donc comme si l'on avait un tuyau entre le premier commutateur et le dernier commutateur. Dans le cas du multiplexage fréquentiel, on commence par effectuer le démultiplexage, on récupère les signaux sur chacune des fréquences, le signal est commuté à l'aide d'une matrice de commutation, vers le bon lien de sortie où l'on effectuera une transposition en fréquence pour l'envoyer sur la fréquence qui aura été choisie lors de l'établissement de la connexion. On termine par multiplexer sur chacun des liens de sortie.

Dans le cas du multiplexage temporel, c'est un peu similaire, on récupère les échantillons de voix sur les différents slots temporels. On les déplace de la mémoire d'entrée vers la mémoire de sortie (matrice de commutation électronique, mémoire partagée...) où l'attend un intervalle de temps qui lui est dédié. Le système est parfaitement périodique : la durée entre deux échantillons de voix est constant sur tous les liens entrants et sortants.

Ces techniques de commutation sont extrêmement mécaniques : pas de traitement variable, pas d'attente. Le délai de traversée est parfaitement constant.

Attention tous les liens n'ont pas forcément le même débit (total). Le volume d'information par slot et la période du système est constante, c'est donc la durée du slot qui varie !

DIAPO 11 :

Ces techniques de multiplexage et de commutation sont parfaitement adaptées aux flux à débit constant (elles ont été inventées pour !). Cette dynamique n'a pas de sens pour des réseaux informatiques où les flux vont être de nature variables : des schémas requêtes-réponses où il y a de longs délais où l'on ne dit rien, des transferts de fichiers où l'on utilise tout ce que le réseau peut écouler... Sur plusieurs échelles de temps, il y a de la variabilité. Une technique de partage statique se traduit soit par des ressources non utilisées et/ou par des ressources trop faibles ! On a donc inventé d'autres techniques.

Prenons un transfert de fichier. Une façon de procéder pour l'envoyer sur une autre machine serait de l'envoyer sur le premier lien. Le premier commutateur vérifie son intégrité, l'envoie vers le commutateur suivant et de proche en proche vers le destinataire. Cette technique présente de nombreux défauts : il y a de fortes chances que des erreurs de transmission surviennent auquel cas on est obligé de tout retransmettre ; la mémoire des commutateurs doit être gigantesque pour stocker les fichiers ; rien n'est parallélisé : un seul lien est utilisé. La technique retenue a consisté à découper le fichier (et toutes les données à transmettre) en entités de taille homogène appelées **paquets**. Des en-têtes sont ajoutés et on les envoie chacun les uns à la suite des autres. Cela fonctionnera aussi bien dans le cas du mode datagramme que dans le cas du mode circuit virtuel. On évite alors une partie des problèmes suscités par la technique qui consiste à envoyer le fichier dans son intégralité auquel cas on parle de technique de commutation de messages (c'est quand même la même famille).

La technique de partage des liens qui a été retenue est celle de **multiplexage statistique**. Elle va consister pour l'utilisateur à envoyer les paquets quand ils sont prêts de façon asynchrone sur le support de communication. Le caractère asynchrone provient du débit variable des sources. Les paquets seront alors identifiés (et délimités) sur le support. Le partage est dynamique et il n'y a plus de relation entre le moment où un commutateur reçoit un paquet et la communication à laquelle il appartient. L'idée est alors de lisser le trafic : on profite des « blancs » de certaines communications pour faire passer les paquets des autres. Les flux sont irréguliers, l'idée est alors de lisser le trafic. Si l'on appelle sporadicité le rapport entre le débit maximal et le débit moyen de chacune des communications, le trafic ainsi multiplexé sera moins sporadique.

DIAPO 12 et 13:

En revanche, cette fois le fonctionnement du commutateur sera plus complexe. En effet, il devra effectuer des traitements d'une durée potentiellement variables. Par exemple, on va s'assurer de l'intégrité des transmissions en demandant des retransmissions en cas d'erreur de transmission et/ou de pertes. Par ailleurs, rien n'empêche plusieurs paquets qui sont arrivés sur des liens entrant différents de vouloir aller sur le même lien de sortie. Dans ce cas, le commutateur doit choisir parmi les paquets, un qui sortira et les autres resteront en file d'attente. L'idée est d'absorber la variation du début que l'on veut émettre sur un lien sortant. Le débit instantané peut être plus grand que le débit du lien (paquets qui veulent aller au même moment sur le même lien) et on espère que cet état de surchauffe sera temporaire. On parle alors de **congestion**. C'est aussi dans ces cas de figure que des paquets peuvent être perdus à cause de débordement de buffer.

En sortie, on déroulera une technique d'ordonnancement pour décider l'ordre dans lequel on émettra les paquets sur le lien (Premier Arrivé Premier Servi, Priorités...).

Pour effectuer l'opération de commutation, le fonctionnement asynchrone impose que des informations soient présentes dans les paquets pour que l'on puisse commuter. Ces informations vont dépendre du mode datagramme ou circuit virtuel.

Dans le mode datagramme, on aura forcément l'adresse du destinataire. On effectue alors de façon conjointe routage et commutation. On regarde dans la table de *forwarding* pour déterminer le lien de sortie. Dans le cas du mode circuit virtuel, le routage a été effectué à l'établissement de la connexion. Les demandes de connexion posséderont les adresses. En revanche, lors de l'établissement de la connexion, on va choisir un numéro de connexion qui permettra d'identifier le flux. Ce numéro est mémorisé. Il est impossible à tout moment de connaître tous les numéros de connexion qui ont été attribués dans le réseau. On utilisera alors un numéro de connexion relatif qui changera d'un lien à l'autre. Chaque nœud partagera ce numéro avec le nœud suivant dans le réseau. On garde alors en mémoire du commutateur dans la table de commutation la correspondance : (lien entrant, numéro cnx sur le lien entrant) ; (lien sortant ; numéro de cnx sur le lien sortant). Une fois que la connexion est établie sur le numéro de connexion est présent dans les paquets (plus besoin des adresses).

Comme on le voit le temps de traversée du commutateur est beaucoup plus grand que dans un commutateur de circuit et surtout il sera variable.

DIAPO 14 : Signalisation (Signaling)

La signalisation comprend l'ensemble des messages qui permettent de gérer les communications et en particulier, les messages d'ouverture et de fermeture de connexion.

Le plus souvent, on aura des protocoles avec des échanges de messages relativement peu nombreux (cf. SYN, SYN ACK, ACK de TCP).

La question qui se pose est de savoir si la qualité de service attendue de ces messages de signalisation est la même que celles des données que l'on transmettra par la suite.

L'exemple le plus flagrant est celui de la téléphonie. Pour la voix, comme on l'a expliqué précédemment, les métriques de qualité de service vont porter sur le délai et la gigue. Ce n'est absolument pas le cas de la signalisation téléphonique. La mise en place d'un appel téléphonique prend plusieurs secondes et ce n'est pas la propagation de ces messages qui a cette durée. En revanche, on tombe sur des problèmes d'intégrité des données... on ne souhaite pas téléphoner à un faux numéro suite à une erreur de transmission.

Le débat apparaît alors de savoir si ce sont les mêmes protocoles de communication qui sont utilisés pour établir les connexions et les envois de données ou si l'on a des protocoles séparés.

Dans le réseau téléphonique, on s'est clairement positionné sur la solution où l'on sépare les deux. Ce sera la même réponse qui sera attribué sur tous les réseaux télécoms (tous les réseaux mobiles par exemple) mais aussi dans les systèmes de voix sur IP.

A contrario, TCP possède sa propre signalisation car les objectifs de TCP portent sur la fiabilité qui répond donc au même cadre que ce soit pour les données ou la signalisation (attention les mécanismes ne sont pas exactement les mêmes).

DIAPO 15 : Qualité de Service

La qualité de service qui pourra être rendue est très largement liée aux choix de fonctionnement qui viennent d'être présentés. Dans les réseaux circuits, le temps de traversée est faible et constant. Il n'y a pas de traitements des erreurs de transmission (cela n'a pas été fait pour cela). Cela convient bien à la parole téléphonique. La métrique sera le taux d'appel refusé.

Dans les réseaux paquets, la métrique sera surtout l'intégrité des données et pour s'assurer de cette intégrité, on pourra mettre en œuvre des mécanismes de reprise sur erreur, sur perte, du contrôle de congestion et de flux (on y reviendra et vous en avez déjà pas mal parlé dans les cours précédents). Attention le mode circuit virtuel plus facilement à tous ces mécanismes ; dans le mode datagramme le plus simple est de rendre un service « best effort ».

Dans le cas des réseaux télécoms où l'on a favorisé le mode circuit virtuel, on s'est dans un premier temps attaché à ce que cela fonctionne en se focalisant sur l'intégrité des données. Quand la qualité des supports et des commutateurs s'est améliorée, une réflexion importante a été menée pour mettre en place de la qualité de service différenciée (ie. en fonction du flux).

DIAPO 16 : Adressage

La conception d'un système d'adressage semble un problème assez simple au premier abord... mais le poids de l'histoire est important. Les systèmes d'adresse qui sont utilisés sont en général gouvernés par des choix initiaux de conception.

Par exemple, le réseau téléphonique a été conçu dès le départ pour établir des communications locales, nationales et internationales. On a donc conçu un système qui a évolué au cours du temps mais construit autour d'un adressage structuré. Cela se traduit par des adresses longues (jusqu'à 15 chiffres). A contrario, le cas extrême est celui d'Ethernet qui a été conçu pour les réseaux locaux et donc pour faire communiquer un petit nombre de machines. On a choisi un adressage à plat où le début correspond au fabricant de la carte Ethernet. L'intérêt est que l'on est loin d'avoir épuisé l'espace d'adresse mais que la lecture de l'adresse ne donne pas beaucoup d'informations.

On peut aussi ajouter une structure hiérarchique qui va permettre de localiser très facilement le destinataire à la seule lecture de l'adresse : c'est le cas de l'adressage téléphonique qui est sans doute le mieux structuré. Entre l'adressage complètement à plat d'Ethernet et l'adresse parfaitement structuré et hiérarchique du réseau téléphonique, on trouve des adresses plus ou moins structurées (ex. adresses IPv4).

L'intérêt d'un adressage hiérarchique est de faciliter le routage. La seule lecture du numéro de téléphone permet de localiser le destinataire : pays, région, département, commutateur de raccordement. L'adressage à plat oblige à apprendre toutes les adresses que l'on peut atteindre ce qui complexifie aussi les calculs et fait croître les tables de routage. La structuration réduit ces tailles... (cf. IP, téléphone...).

Le dernier souci avec l'adressage provient de l'apparition de la mobilité. Tant que l'on n'avait que des utilisateurs fixes, il y avait correspondance entre identité et localisation. Si l'on utilise les utilisateurs à bouger, plusieurs solutions apparaissent : ils changent d'adresse et/ou on leur fait suivre les communications. Cela repose les problèmes de routage (cf. cours de Réseaux Mobiles en S8 et S9).

DIAPO 17 :

On va terminer cette première leçon par le routage. Bon on ne va pas tout raconter du routage qui va vous/nous occuper pendant encore plusieurs années. L'objectif ici est simplement d'en rappeler les principes.

Le routage a pour objectif de trouver un chemin entre une source et une destination. On a déjà dit qu'il prenait une tournure différente entre le mode code connecté et le mode non-connecté. Il va répondre à des principes issus de la théorie des graphes (cf. cours en parallèle), où l'on des algorithmes (simples) qui permettent de déterminer le plus court chemin dans un graphe. La question qui se pose est celle de la définition de la distance que l'on veut minimiser. En toute rigueur on se dit que pour un réseau informatique, on va essayer de trouver le chemin qui perdra le moins de paquet. Sauf que les congestions vont fluctuer dans le réseau et d'un paquet à l'autre, on ne trouvera jamais le même état du réseau.

On peut alors prendre des métriques plus stables : kilométrique, nombre de sauts, chemin où le débit minimal est maximal. Mais cela n'évite plus (du tout) les engorgements.

Le problème essentiel est qu'il est absolument impossible d'avoir une connaissance complète de l'état d'un réseau (et plus sa taille est grande, plus c'est compliqué).

Qui plus est pour que le nœud qui fait le routage puisse prendre sa décision, il doit posséder des informations topologiques voire d'encombrement. Certaines sont très stables... et d'autres au contraire très variables (encombrement, perte). Qui plus est cela prendra du temps pour obtenir ces informations... qui du coup risquent d'être périmées !

Pour continuer, on ne peut pas envisager de dérouler un algorithme de routage à chaque fois que l'on va prendre une décision de routage (même dans les réseaux extrêmement mobiles on essaye d'éviter cf. S9). Le principe va consister à dérouler un algorithme qui sera valable pour une certaine durée.

La classification suivante porte sur l'entité qui prend la décision :

- Routage centralisé vs. Routage distribué : dans le routage centralisé, un nœud déroule l'algorithme de routage et envoie les tables de routage à tous les nœuds du réseau. Les inconvénients sont nombreux : panne du nœud qui fait les calculs, engorgement de celui-ci... Les avantages sont qu'il a une vision d'ensemble du réseau et peut prendre globalement de meilleures décisions (au bémol près de la fraîcheur des informations). Depuis la nuit des temps, les réseaux ont utilisé du routage distribué... jusqu'à fort récemment où le routage centralisé est revenu à la mode. L'idée est que le coût sera moins élevé : le nœud qui prend les décisions de routage est cher mais les autres ne sont que de simples commutateurs (S9)
- Routage bond par bond ou routage par la source : est-ce le nœud d'extrémité (la source ou le premier commutateur) qui calcule complètement la route ou bien fait-on le calcul à chaque commutateur. La première solution permet d'avoir un routage cohérent. Le souci provient quand le réseau est de grande taille et que ce qui semble être une bonne route au premier nœud, ne l'est plus du tout quand on s'en éloigne. Dans le routage bond par bond, le risque c'est l'incohérence avec des boucles qui se créent (typiquement en cas de pannes – pb récurrent dans l'internet).

Pour finir pour compléter ce que l'on a vu précédemment, il est nécessaire que les commutateurs s'échangent des informations concernant la topologie, l'état du réseau, les pannes... c'est le rôle du protocole de routage !

Il est important de ne pas confondre les nœuds : algorithme de routage vs. Protocole de routage. Attention, plus le protocole est riche et plus l'algorithme pourra être sophistiqué (cf. les cours de TCP/IP : RIP, OSPF, BGP...)