



HAL
open science

TÉLÉMATIQUE ET PROTOCOLES DE COMMUNICATION

Raphael Grevisse Yende

► **To cite this version:**

Raphael Grevisse Yende. TÉLÉMATIQUE ET PROTOCOLES DE COMMUNICATION. Master. Congo-Kinshasa. 2018. cel-01965883

HAL Id: cel-01965883

<https://hal.science/cel-01965883v1>

Submitted on 26 Dec 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

2018

SUPPORT DE COURS DE TELEMATIQUE ET PROTOCOLES DE COMMUNICATION

Grevisse YENDE RAPHAEL
Docteur en Télécommunication et Réseaux
Maitre en Psychologie Clinique & DP

**Cours dispensé à l'Institut Supérieur
Emmanuel d'Alzon de Butembo en
Première Licence de RI.**

©YENDE Y.R., 2018

BIBLIOGRAPHIE

- * **D. GROTH, D. MCBEE, J. MCBEE, D. BARNETT**, *Cabling: The Complete Guide to Network Wiring*, Sybex, 2001;
- * **G. C. KESSLER, A. KRISHNA**, *Metropolitan Area Networks: Concepts, Standards and Services*, McGraw-Hill, 1992;
- * **HALSALL, Fred**; *Data Communications, Computer Networks and Open Systems*, 4th edition; Addison-Wesley, 1996, 907 pages, ISBN 0-201-42293-X;
- * **J. L. HARRINGTON**, *Ethernet Networking Clearly Explained*, Morgan Kaufmann; Publishers, 1999;
- * **James F. KUROSE, et Keith W. ROSS**; *Computer Networking: A Top-Down Approach*, 5th Edition, Addison-Wesley, 2008, ISBN 013-607967-9;
- * **Prof. Stella Marc-Swecker**, *Téléinformatique et protocoles de communication*, Université Louis Pasteur Strasbourg, 2012 ;
- * **STALLINGS, et William**; *Data and Computer Communications*; Prentice Hall, 1997, 798 pages, ISBN 0-12-415425-3;
- * **ST-PIERRE, Armand et STÉPHANOS**; *Réseaux locaux : Une introduction à la communication des données et à Internet* ; Édition Vermette inc., 1996, 378 pages, ISBN 2-89416-097-6 ;
- * **TANENBAUM et al**, *les Réseaux*, 5e édition ; Pearson Éducation France, 2011, 970 pages, ISBN : 978-2-7440-7521-6,
- * **Pascal Nicolas**, *cours des réseaux Informatiques*, université d'Angers. www.info.univ-angers.fr/pub/pn
- * **Radi Nouredine et al**. *Programmation réseau sur TCP/IP*, l'interface des SOCKETS.

« Le plus indispensable dans l'apprentissage des sciences appliquées, c'est l'appréhension des bases conceptuelles ...»

Grevisse YENDE R., (1985 -)

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENTS.....	0
BIBLIOGRAPHIE.....	1
TABLE DES MATIERES	3
INTRODUCTION	6
OBJECTIFS DU COURS	7
CONCEPTS CLES	8
CHAPITRE I. GENERALITES SUR LES RESEAUX INFORMATIQUES.....	10
I.1. HISTORIQUE ET REVOLUTION DES RESEAUX INFORMATIQUES	14
A ₁ . LA COMMUNICATION VISUELLE.....	14
A ₂ . TELEGRAPHE.....	16
A ₃ . TELEPHONE	21
A ₅ . LA RADIO	26
A ₆ . LA TELEVISION.....	27
A ₇ . LES SATELLITES	32
A ₈ . INTERNET.....	36
I.2. REVOLUTION DES RESEAUX INFORMATIQUES.....	41
I.3. FINALITES DES RESEAUX INFORMATIQUES	42
I.4. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES RESEAUX INFORMATIQUES.....	43
I.4.1. AVANTAGES DES RESEAUX INFORMATIQUES	43
I.4.2. INCONVENIENTS DES RESEAUX INFORMATIQUES.....	45
I.5. COMPOSANTS DES RESEAUX INFORMATIQUES.....	46
I.5.1. Constituants logiciels d'un réseau.....	46
1. Un Client	47
2. Un Serveur.....	48
3. Le système d'exploitation réseau	52
I.5.2. Constituants matériels d'un réseau.....	55

1. Ordinateur (PC).....	55
2. Les câbles	55
3. La carte réseau.....	56
4. Repeater (Répéteur)	57
5. Hub (Concentrateur).....	58
6. Bridge (Pont).....	59
7. Switch (Commutateur)	59
8. Gateway (Passerelle).....	60
9. Router (Routeur)	61
10. B-routeur (Pont-routeur).....	62
11. Proxy	62
12. Le modem	63
13. Le MAU.....	63
14. Vsat	63
I.6. CLASSEMENT DES RESEAUX INFORMATIQUES	64
I.6.1. Classement des réseaux informatiques selon les domaines d'application.....	64
I.6.2. Classification des réseaux selon les distances couvertes et la taille.....	66
I.6.3. Classification des réseaux selon les débits	67
I.6.4. Classement des réseaux selon la mobilité (Ou le Mode de transmission).....	68
CHAPITRE II. TOPOLOGIES ET COMMUNICATIONS DES RESEAUX INFORMATIQUES	69
II.1. TOPOLOGIES DES RESEAUX.....	69
II.1.1. Topologie physique.....	69
A. Les réseaux en bus.....	70
B. Les réseaux en étoile.....	70
C. Les réseaux en anneau	72
D. Le réseau maillé	73
E. Le réseau hiérarchique	74

F. Les réseaux mixtes.....	74
II.1.2. Topologie logique.....	75
A. La Topologie Par Contention.....	75
B. La Topologie Par Interrogation	76
C. La Topologie de passage de jeton	77
II.2. COMMUTATION DES RESEAUX	78
II.2.1. Réseaux à commutation	80
II.2.2. Différents types de commutation.....	82
A. la commutation de circuits.....	82
B. Commutation de Messages	83
C. Commutation par Paquets	84
D. commutation de trames	86
E. Commutation de cellules.....	87
CHAPITRE III. LES SUPPORTS DE TRANSMISSION.....	88
III.1. LA QUALITE DU CIRCUIT DE DONNEES	89
III.2. CARACTERISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION	90
III.2.1. Bande passante	90
III.2.2. Bruits	91
III.2.3. Déphasage ou Distorsion	93
III.2.4. Affaiblissement	94
III.2.5. Capacité limitée.....	94
III.3. LES PRINCIPAUX SUPPORTS DE TRANSMISSION	95
III.3.1. LES PAIRES TORSADEES.....	95
III.3.2. LES CABLES COAXIAUX.....	97
III.3.3. LA FIBRE OPTIQUE	97
III.3.4. LES TRANSMISSIONS SANS FIL.....	99
A. LES FAISCEAUX HERTZIENS	99

B. ONDES RADIOELECTRIQUES	100
III.3.5. LES AUTRES TRANSMISSIONS.....	100
CHAPITRE IV. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE DES RESEAUX INFORMATIQUES	101
IV.1. LES ORGANISMES DE NORMALISATION.....	101
IV.2. LES PROTOCOLES RESEAUX	106
IV.2.1. LE MODELE OSI ET LA PILE DE PROTOCOLES	108
IV.2.2. LES LIAISONS DE PROTOCOLES.....	109
IV.2.3. LES AVANTAGES DES LIAISONS DE PROTOCOLES	111
IV.2.4. LES PILES STANDARDS	111
IV.2.5. LES TROIS CATEGORIES DES PROTOCOLES RESEAUX.....	113
A. LES PROTOCOLES DE LA CATEGORIE APPLICATION	113
B. LES PROTOCOLES DE LA CATEGORIE TRANSPORT	114
C. LES PROTOCOLES DE LA CATEGORIE RESEAU.....	115
C ₁ . LES PROTOCOLES ROUTABLES	116
C ₂ . LE PROTOCOLE SPX/IPX.....	116
C ₃ . Le protocole TCP/IP.....	117
C ₄ . LE PROTOCOLE NetBEUI.....	119
IV.2.6. L'INSTALLATION DES PROTOCOLES.....	120
IV.3. LE MODELE DE REFERENCE OSI.....	121
IV.4. LE MODELE TCP/IP	123

INTRODUCTION

De nos jours, Toute entreprise détient un ou plusieurs systèmes de télécommunication qui transportent les distinctes informations essentielles à sa vie et à son extension. Ces systèmes sont structurés en réseaux, que nous décrirons comme des ensembles d'équipements et de supports de transmission dont une des fonctions est de permettre le transfert d'informations, nous permettant ainsi d'entrer dans l'ère de la correspondance où le volume et la diversité de ces informations se font de plus en plus grands.

Dans les années 80, cette diversité conduisait à l'adoption de solutions de communication distinctes et différentes suivant la nature des informations à transmettre : « *réseau téléphonique pour la transmission de la voix, réseau spécialisé dans la transmission de données sur longue distance ou sur courte distance comme les réseaux locaux d'entreprise, réseau hertzien ou câblé pour la télévision* ». C'est précisément à ce titre que Plusieurs objectifs motivent cette avenue. Nous retrouvons, par exemple, la sécurité des édifices, le confort des personnes, la gestion intelligente de l'énergie et la gestion intelligente des ressources. Cette nouvelle ère de système repose sur une panoplie de nouveaux protocoles de communication permettant la transmission de messages entre nœuds.

Aujourd'hui les progrès de l'informatique rendent possible le traitement d'informations de natures différentes sur le même ordinateur : séquences vidéos et sonores, présentation de documents. C'est le domaine du **multimédia**. De plus, les progrès des techniques de transmission permettent de transférer sur un même support (*une fibre optique par exemple*) ces informations variées. Les frontières entre les différents réseaux tendent à s'estomper. Par exemple, le réseau mondial Internet, initialement destiné exclusivement à la transmission de données, transmet dorénavant des communications téléphoniques sur les supports mobiles. Les solutions à un besoin de communication sont multiples et les progrès techniques rendent foisonnant le domaine des réseaux.

Ce cours Télématique et Protocoles de communication traite des transmissions de messages dans les systèmes informatiques et préconise que l'étudiant s'y familiarise avec les différentes terminologies et les techniques de communication. Il est donc appelé à comprendre puis à maîtriser différents nouveaux protocoles de communication de tous niveaux, ainsi que développer les capacités d'organisation, de conception, d'analyse et de gestion des différents types de réseaux.

Dr. Grevisse YENDE RAPHAEL, Ph.D.

OBJECTIFS DU COURS

L'objectif principal de ce cours est de maîtriser les principes de la télématique et de la réseautique, en mettant l'accent sur les méthodes, les architectures, les protocoles et les standards de communication. Plus spécifiquement, ce cours vise à :

- ✘ Dégager les capacités de l'étudiant, en ce qui concerne l'organisation, la conception, l'analyse et la gestion des différents types de réseaux ;
- ✘ Redonner à l'étudiant, l'aptitude à analyser les fonctions d'un réseau téléinformatique par rapport au modèle de référence OSI et par rapport aux protocoles de la famille TCP/IP ;
- ✘ Procurer à l'étudiant, les éléments techniques indispensables permettant d'effectuer des choix éclairés d'architectures et de protocoles en fonction des besoins à satisfaire et les problèmes à résoudre ;
- ✘ Répartir les fonctions réseautiques selon les différentes couches d'une architecture d'un réseau donnée ;
- ✘ Comprendre les enjeux de sécurité liés aux applications télématiques.

CONCEPTS CLES

- ▶ **Clients** : est une architecture logicielle dans laquelle les programmes d'application dits « *clients* » sollicitent les services génériques des autres programmes pour exécuter une tâche. *Autrement dit*, les clients sont des ordinateurs ou des postes à partir desquels les utilisateurs accèdent aux ressources partagées fournies par un serveur de réseau distant.
- ▶ **Communication** : En informatique, le terme « communiquer », fait référence à un ensemble d'infrastructures mise en relation (en *liaison*, en *contact*) permettant d'assurer les transmissions et les transports des données informatiques.
- ▶ **Nœud**: est une station de travail (*tel que une imprimante, un serveur*) ou toute entité pouvant être adressée par un numéro unique. outre, un nœud est l'extrémité d'une connexion, qui peut être une intersection de plusieurs connexions ou équipements (*un ordinateur, un routeur, un concentrateur, un commutateur*).
- ▶ **Paquet** :est un ensemble des données numériques organisés selon une disposition déterminée par le procédé de transmission (*commutation par paquet*) et acheminé comme un tout (*message*) ; Autrement dit, C'est la plus petite unité d'information d'un message pouvant être envoyé sur le réseau contenant en général l'adresse de l'émetteur, l'adresse du récepteur et les données à transmettre.
- ▶ **Protocole** : est un ensemble de règles et des instructions autorisées définissant le mode de communication entre deux ou plusieurs équipements informatiques (*Ordinateurs, imprimantes, etc.*)ou alors, c'est un ensemble des dispositions adoptées et destinées à une tâche de communication particulière.
- ▶ **Réseau informatique** : est un ensemble *d'équipements homogènes* (*Tous les ordinateurs sont de même constructeurs : AppleTalk*) et *hétérogènes* (*Les ordinateurs reliés au réseau sont de constructeurs divers : Ethernet.*) reliés entre eux permettant la circulation, la distribution et l'échange des informations.
- ▶ **Réseaux de communications** : fait référence aux différents types de réseaux qui permettent de communiquer, c'est par exemple, les réseaux de télécommunications, les réseaux informatiques, les réseaux de diffusion, ...
- ▶ **Ressources partagées** : c'est une partie ou un ensemble d'un système informatique (*tels que fichiers, imprimantes ou autres éléments*) pouvant être utilisés par différents usagers (*Users*) du réseau.

- ▶ **Serveur** : est un dépositaire centrale d'une fonction spécifique (service de base de donnée, de calcul, de fichier, mail, ...) ou un ensemble matériel et logiciel branché sur un réseau télématique et mettant à la disposition des utilisateurs de ce réseau des banques des données, des programmes spécialisés ou des ressources partagées aux utilisateurs qui font une demande.
- ▶ **Station de travail** : On appelle station de travail toute machine capable d'envoyer des données vers les réseaux (PC, MAC, SUN Terminal X, ...).
- ▶ **Système d'information (SI)** : est un ensemble organisé de ressources qui permet de collecter, stocker, traiter et distribuer de l'information, en général grâce à un ordinateur.
- ▶ **Télécommunication** : les télécommunications (*au pluriel*), c'est un ensemble des procédés de communication et de transmission à distance de l'information (*télégraphe, téléphone, télévision, etc.*).
- ▶ **Téléinformatique** : exploitation à distance de systèmes informatiques grâce à l'utilisation de dispositifs de télécommunication.
- ▶ **Télématique** : est un ensemble des techniques associant les télécommunications et les matériels informatiques (*télé (communication), et (infor)matique*) en vue de réaliser à distance l'échange des données informatiques et de la commande des traitements automatiques.
- ▶ **Topologie** : est une organisation physique et logique d'un réseau. L'organisation physique concerne la façon dont les machines sont connectées (*Bus, Anneau, Étoile ...*). La topologie logique montre comment les informations circulent sur les réseaux (diffusion ou point à point).

CHAPITRE I. GENERALITES SUR LES RESEAUX INFORMATIQUES

L'histoire des réseaux informatiques remonte au déploiement des premiers réseaux de télétransmission (*télégraphe, télévision, téléphone, etc.*), qui débuta avec la révolution de l'informatique¹. Depuis la fin des années 1960, les réseaux informatiques n'ont cessé de se développer. Ils sont d'abord nés du besoin de faire communiquer des terminaux distants avec un ordinateur central. Dans un premier temps, les réseaux informatiques étaient réservés à l'interconnexion d'ordinateurs et terminaux des grands laboratoires et universités ainsi que des centres de commandement militaire. Ensuite, L'idée était de permettre aux utilisateurs du grand « *public* » de différents équipements de communiquer entre eux. C'est ainsi, le réseau que se développa par de nombreuses étapes résultantes. Irrémédiablement, tous ces développements conduisirent au « *réseau des réseaux* » (*network of networks*²) que nous expérimentons en ce jour comme « *Internet* », qui regroupe à la fois de développements technologiques et du regroupement d'infrastructures réseau existantes et de systèmes de télécommunications.

Le terme « *Un réseau* », est un concept utilisé dans plusieurs propriétés de la vie. Et peut-être défini comme une organisation de voies de communication entre différentes ou alors, comme un ensemble d'entités (*objets, personnes, ordinateurs, etc.*) interconnectées les unes avec les autres en vue de partager des informations et des services³. Cette définition est générale et peut s'appliquer par exemple aux réseaux routiers, ferroviaires, réseau de télécommunications, réseau d'amis, réseau de neurones, etc. ... Par contre, « *Un réseau informatique* » est un ensemble *d'équipements homogènes* (c'est lorsque tous les équipements d'interconnexion sont de même constructeurs : *Apple-Talk* par exemple) et *hétérogènes* (c'est lorsque tous les équipements d'interconnexion reliés au réseau sont de constructeurs divers : c'est par exemple *l'Ethernet*.) reliés entre eux permettant la circulation, la distribution et l'échange des informations... Et au-delà de son apparente complexité, les réseaux informatiques constituent une nouvelle étape du développement de la civilisation et ses avantages demeurent clairs pour tout le monde notamment « *la rapidité, et la précision, fiabilité* ».

¹Le terme « **informatique** » provient « **d'information** » et « **d'automatique** », l'informatique étant le traitement automatique de l'information.

²Ronda Hauben publia *The Internet: On its International Origins and Collaborative Vision* en 2004.

³**Saint-Jean A.O. Djungu**, *Réseaux par la pratique*, Ed. CRIA2014

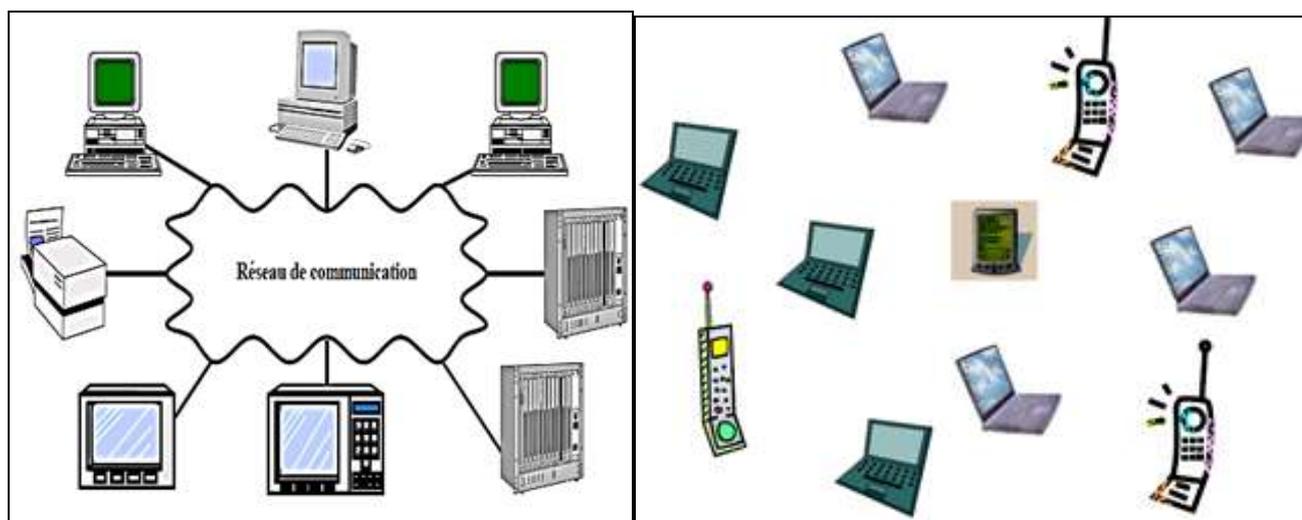


Figure 1. Réseau informatique filaire et Sans fil

Comme la figure ci-dessus l'illustre, Un réseau est composé d'un ensemble de « *nœuds*⁴ » aussi appelés « *station ou site* ». Un nœud est composé d'un équipement de traitement de données et d'un équipement dédié à la communication. Ce dernier assure des fonctionnalités plus au moins complexes selon le type de réseau utilisé. Dans le cas des réseaux locaux en général, cet équipement est appelé *contrôleur de communication*. Un contrôleur de communication peut être intégré ou non à l'équipement qu'il relie au réseau. De nos jours, le contrôleur de communication est à l'intérieur du boîtier de l'ordinateur, donc le réseau est de plus en plus invisible. Chaque équipement est relié au support physique par l'intermédiaire d'une unité de raccordement au support appelée MAU (*Medium Access Unit*). Dans certains réseaux comme Ethernet, la MAU est aussi appelée « *transceiver (transmitter-receiver)* ».

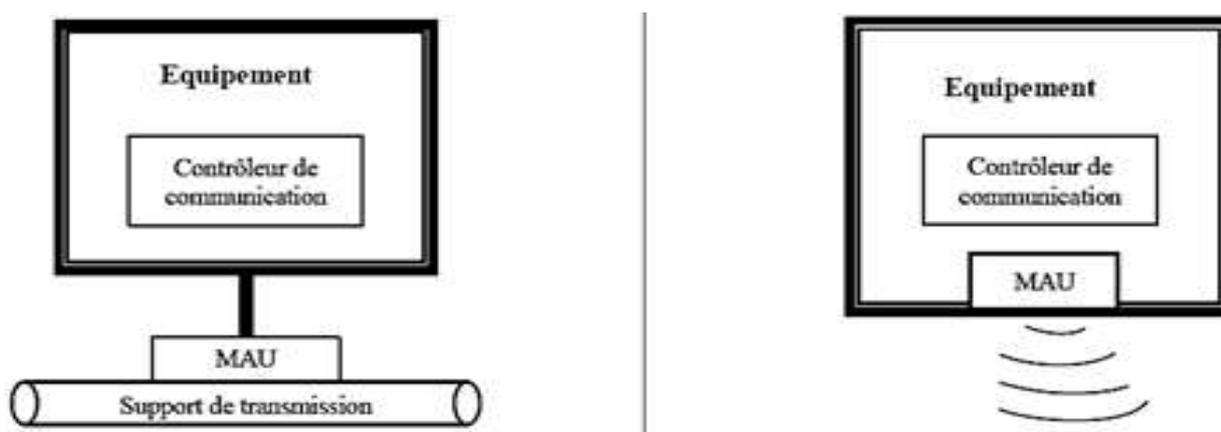


Figure 2. Connexion physique réseau filaire et Sans fil

⁴ un nœud est l'extrémité d'une connexion, qui peut être une intersection de plusieurs connexions ou équipements (un ordinateur, un routeur, un concentrateur, un commutateur).

Outre ces moyens informatiques, la mise en œuvre d'un réseau informatique suppose des infrastructures telles que : *des liaisons physiques* (câbles, ondes hertziennes...) et, *des équipements de transmission et d'interconnexion* (carte réseau, routeur, Switch...), ainsi que *les protocoles de communication* permettant de définir de façon rationalisée la manière dont les informations seront échangées entre les équipements du réseau.

Bien qu'un **réseau** soit un ensemble de plusieurs ordinateurs reliés entre eux par un système de communication permanent. Et même s'il arrivait que nous reliions momentanément deux ordinateurs pour, par exemple, copier des données de l'un sur l'autre, nous ne pouvons pas vraiment parler de réseau. Puisque un réseau informatique doit nécessairement comporter trois caractéristiques fondamentales : *les machines d'un réseau doivent fonctionner comme un tout ; cet interfonctionnement doit être automatique ; et disponible et actif 24 heures sur 24...* Tout de même, les réseaux informatiques comprennent généralement les points communs ci-après : *les Serveurs, les Clients, le Support de connexion, et les Ressources partagées.*

De nos jours, les réseaux demeurent un outil indispensable et concurrentiel à tous les domaines applicable à la vie. Et avec le développement d'Internet, les réseaux informatiques sont partout. En effet, les réseaux informatiques se retrouvent dans les installations industrielles, les véhicules, les bâtiments, les hôpitaux, les administrations, les campus universitaires, etc. ... De ce fait, les besoins de communication de données informatiques entre les différents systèmes deviennent alors multiples notamment : « *la transmission de messages, partage de ressources, transfert de fichiers, consultation de bases de données, gestion de transaction, télécopie* »... c'est ainsi que nous distinguerons deux grandes familles de réseaux :

1. les réseaux informatiques

Les réseaux informatiques (*dont font partie les réseaux locaux*) est un ensemble de ressources matérielles et logicielles permettant à des utilisateurs distants de coopérer, d'utiliser des informations communes ou des logiciels communs, de partager des imprimantes, etc. Les lignes de transmission et les équipements de raccordement sont le plus souvent la propriété de l'utilisateur tels que :

- ▶ *L'informatique centralisée (Concentrée ou Canalisée : c'est un ensemble de réseau interconnectée des ordinateurs autonomes) ;*
- ▶ *L'informatique répartie (distribuée ou partagée : c'est un réseau où les ordinateurs sont rendus transparents à l'utilisateur à l'aide d'un système logiciel) ;*
- ▶ *L'informatique synergique (coopérative ou parallèle : c'est un réseau permettent de communiquer, d'échanger les informations, de partager des ressources, afin de coopérer pour réalisation des applications en commun)...*

Et leur mises en œuvre a été pour faciliter et organiser la communication et autres avantages tels que *La diminution des coûts grâce aux partages des données et des périphériques ; La régularisation ou standardisation des applications ; L'accès direct et en temps réel aux données automatisées...* ces réseaux sont constitués des moyens à la fois matériels et logiciels mis en œuvre pour assurer les communications entre des ressources informatiques. Les entités qui communiquent au sein d'un réseau informatique sont des ressources informatiques dont on distingue deux types :

- ▶ **les ressources matérielles** : C'est une partie informatique pouvant être employée par différents utilisateurs comme les **équipements de traitement** (*c'est par exemple : les ordinateurs, les imprimantes, les scanners, qui sont les équipements de traitement des données automatisées*) et les **techniques de transmission de données automatisées** (*c'est par exemple : les modems, les cartes réseaux, les commutateurs, les routeurs, les câbles, qui sont des composants de transmission*).
- ▶ **les ressources logicielles**: C'est un ensemble des Règles de communications entre les composantes et systèmes interconnectés, outre, ce sont les **protocoles** de communication. C'est par exemple : applications informatiques, jeux, bases de données.

2. les réseaux de télécommunication

Les réseaux de télécommunication aussi appelés « **les réseaux de transmission des données** » peuvent être définis comme un ensemble de ressources (*lignes de transmission, prises de raccordement, modems, etc.*) permettant l'échange de données entre équipements distants. Cette catégorie de réseaux est particulièrement réservée pour des liaisons longues distances et dont les systèmes communicants ne sont pas nécessairement informatiques (*c'est par exemple : le traitement du signal, transmission analogique, etc. ...*).

Ces réseaux sont la propriété d'opérateurs ou FAI « *Fournisseur d'Accès Internet* » (*c'est par exemple : France Télécom, ATT, Arabsat ...*) qui louent leur utilisation et des services aux clients ... Les réseaux téléphoniques forment une génération des réseaux de télécommunication qui a précédé celle de l'informatique. Depuis quelques années maintenant, ces deux réseaux convergent l'un vers l'autre. En effet, les nouvelles technologies permettent le transport de la voix et des données sur les mêmes supports.

I.1. HISTORIQUE ET REVOLUTION DES RESEAUX INFORMATIQUES

Dans le cadre de ce cours de télématique ; il est plutôt question de la science des méthodes, des techniques, des équipements permettant l'échange d'informations numériques entre plusieurs systèmes informatiques. Autrement dit, c'est un ensemble des techniques associant les télécommunications et les matériels informatiques. Ainsi, le terme « *télécommunications* » fut inventé en 1904 par **E. Estaunié** et signifie « **communiquer à distance** ». Le but des télécommunications est donc de transmettre un signal, porteur d'une information (*voix, musique, images, données...*), d'un lieu à un autre lieu situé à distance ... cependant, l'invention des réseaux informatiques fut selon les différentes époques suivantes :

A₁. LA COMMUNICATION VISUELLE

La communication est l'échange d'informations entre un émetteur et un receveur. *Dawkins et Krebs (1978)* définissent la communication comme étant l'action d'un émetteur qui influence le système sensoriel d'un récepteur, ce qui change le comportement du récepteur au bénéfice du premier, le bénéfice se manifestant par une augmentation de la fitness de l'émetteur. Les signaux sont les véhicules convoyant l'information lors de la communication. Ils sont définis par *Otte (1974)* comme des caractéristiques morphologiques, physiologiques et comportementales des organismes maintenus par la sélection naturelle parce qu'ils convoient de l'information. On notera cependant que ces traits peuvent transmettre de l'information sans avoir été originellement sélectionnés pour cette fonction.

La **communication visuelle** est une spécialité liée aux domaines de l'image, du design graphique et de la publicité. Elle désigne l'ensemble des techniques d'information par l'image, l'illustration, le graphisme destinées au public. Elle concerne surtout l'ensemble des interactions s'accordant avec le mode de transmission de l'information ou des signaux visuels, c'est-à-dire, le sens associé à ce moyen de communication est la vue. Autrement, elle est une communication au moyen d'aides visuelles. C'est le moyen de transporter des idées et des informations dans des formulaires qui peuvent être lu ou regardé. Elle comprend: *des signes, la typographie, le dessin des ressources, la conception graphique, illustration, couleur et électroniques.*

L'homme a toujours cherché à transmettre des messages. Dès la préhistoire, il a laissé sa marque avec des images et des symboles ainsi que la naissance des divers dispositifs de communication (*c'est par exemple, Tous les dessins sur les murs des grottes, tels que ceux dans la grotte de Lascaux en France, ou le système de signaux militaires qui permettait de faire circuler assez vite, de poste en poste, les ordres et les nouvelles d'importance étaient une forme de communication visuelle basée sur l'échange de quelques signes conventionnels qui codaient une signification globale du message*).

D'une façon succincte, La **communication visuelle** est un langage de communication primitif qui fait appel au sens de la vue pour être décodé, mais qui fait également appel à l'interprétation. D'où l'importance d'être précis et clair dans les visuels créés pour illustrer un message. Pour préciser davantage le message qu'il voulait communiquer, l'homme a développé divers langages symboliques, par exemple les hiéroglyphes chez les Égyptiens. Au fil du temps ceux-ci ont pris la forme de lettres d'alphabet telles qu'on les connaît aujourd'hui. Le premier procédé de reproduction des écrits fut **la transcription manuelle** (*par exemple, Les livres étaient écrits à la main par des moines-copistes, un travail très laborieux qui demandait une patience d'or. C'est probablement de là que vient l'expression « un travail de moine »*). Ensuite **les caractères mobiles furent inventés**. Il s'agissait de petits cubes de terre dans lesquels on sculptait une lettre en renversé. Les cubes étaient placés côte à côte afin de former du texte, on les recouvrait d'encre que l'on transposait ensuite sur du papier. Cette technique fut perfectionnée par **Gutenberg** avec l'invention des caractères métalliques mobiles, ce qui lui a valu le nom de « **Père de l'imprimerie** ». Ce procédé n'a pas cessé d'évoluer jusqu'à aujourd'hui.

Avec l'arrivée de l'ordinateur et d'Internet, nous avons pu être en mesure de réaliser des documents infographiques et des pages Web, mais les établissements d'enseignement n'étaient pas encore branchés et les ordinateurs étaient équipés seulement de lecteurs de disquettes. Ensuite, les ordinateurs et les appareils de reproduction se sont améliorés à une vitesse folle, ce qui se poursuit aujourd'hui. L'affluence de supports, de procédés d'impression et de modes de diffusion disponibles pour communiquer visuellement un message ne cesse d'évoluer avec l'optimisation constante des fonctionnalités des logiciels et des procédés d'impression qui sont directement reliées à l'évolution des technologies. Aujourd'hui encore, devant cette multitude de possibilités, il est important d'en revenir à la base de la communication visuelle et de ne pas se laisser submerger par l'évolution technologique.

A₂. TELEGRAPHE

Le **télégraphe**(*du grec ancien télè : loin et graphein : écrire*) est un système destiné à transmettre des messages, appelés télégrammes, d'un point à un autre sur de grandes distances, à l'aide de codes pour une transmission rapide et fiable. Cependant, Le télégraphe n'est pas le premier système permettant de transmettre des informations à distance. Plusieurs peuples ont mis au point des procédés de communication permettant de répercuter une information sur de longues distances *à l'aide de signaux de fumée ou de torches placées sur des points élevés*. Ces systèmes étaient toutefois limités dans leurs possibilités d'expression ; le télégraphe s'en distingue par l'utilisation d'un alphabet ou code linguistique permettant de transmettre n'importe quel type de message, sans se limiter à un ensemble de messages prédéfinis.

La Chronologie du télégraphe nous exposera l'apparition et le développement des technologies des lignes de télégraphe à travers le monde. Les principales avancées se déroulèrent au cours du XIXe siècle. Elles modèlent en profondeur l'histoire de la presse écrite sur cette période. À cette époque furent inventées les principales technologies qui sont les fondations des moyens de télécommunications modernes (*duplex, multiplexages, système binaire, débit, commutateur, etc.*):

1. Télégraphe aérien (ou optique) :

1672 : L'histoire du télégraphe commence par **Robert Hooke (1635-1703)** propose et expérimente en 1672 un système composé de trois mâts reliés par une poutre transversale. En partie gauche un cache derrière lequel sont placés les symboles en attente (*24 symboles différents*), puis chaque symbole est amené successivement en partie droite grâce à un palan⁵.

1695 : Ultérieurement, **Guillaume Amontons (1663-1705)** mène en 1690 au Jardin du Luxembourg⁶, puis en 1695 entre Meudon et Paris une expérience qui consiste à transmettre un message entre deux points par le biais de signaux optiques émis par un poste, et intercepté par le poste suivant grâce à une longue-vue, qui lui-même le transmet au poste suivant, jusqu'au point d'arrivée. Chaque lettre de l'alphabet a son signal dont la signification n'est connue que des postes extrêmes.

⁵La télégraphie Chappe », ouvrage collectif sous la direction de Guy DE SAINT DENIS, Strasbourg, Éditions de l'Est, 1993, 441 pages (FNARH : 19, rue Émile Bertin, BP 4020, NANCY CEDEX.)

⁶Catherine Bertho, Télégraphes et téléphones, de Valmy au microprocesseur, Éditions Le Livre de Poche, Paris, 1981, numéro 5581, (ISBN 2-253-02832-0)

L'écrivain FONTENELLE décrit ainsi le dispositif de Guillaume Amontons en ces termes : « Le secret consistait à disposer, dans plusieurs postes consécutifs, des gens qui par des lunettes de longue-vue, ayant aperçu certains signaux du poste précédent, les transmettaient au suivant, et toujours ainsi de suite⁷. »

1786 : C'est maintenant le tour de **Johann Andreas Benignus Bergsträsser (1732-1812)**, qui effectue un essai de son *Synthematographe* entre le Feldberg, Homberg et Philippsruhe, le 11 juin 1786 (*pour leur anniversaire de mariage*). Ils proposent l'utilisation d'un mât et de deux barres pivotant sur des axes pour former des symboles.

1790 ou 1794 : **Claude Chappe (1763 - 1805)** est un ingénieur français. Il a créé la première ligne de télégraphe optique communément reconnu sous le nom du « *télégraphe visuel mécanique* », qui a relié Paris à Lille. Vers 1790, il expérimente différents modèles de télégraphie et met finalement en place un système à base de sémaphores. Les 2 et 3 mars 1791, il procède à une première expérience à Parcé puis la réitère à Paris. Le 26 juillet 1793, son invention est adoptée par la Convention Nationale et il est nommé ingénieur télégraphe. En 1794, il achève l'installation de la première ligne entre Paris et Lille. Peu à peu, sa santé, surtout mentale, décline et il met fin à ses jours le 23 janvier 1805.



Le principe du télégraphe optique est simple. Il repose sur un mécanisme visible de loin, à l'aide d'une lunette et par l'utilisation d'un code de transmission. Il n'y a pas de modèle unique et les systèmes ont évolué, principalement en matière de solidité et de lisibilité. Comme il doit être visible de loin, le télégraphe est souvent placé en haut d'une colline, d'une montagne, voir sur des monuments existants. L'appareil s'appelle une station et comprend deux parties principales. La partie visible et une autre divisée en deux pièces. La première sert à la manipulation des bras, l'autre de salle de repas aux employés. Généralement toutes les parties du mécanisme sont en bois et en persiennes pour ce qui est exposé au vent. Enfin, deux stations sont généralement séparées par une distance moyenne de 10 kilomètres. Cependant, Le premier Télégraphe Chappe exploité est optique et totalement manuel. Il s'agit, au monde, du premier réseau de télécommunications d'envergure nationale. Et ce n'est que vers la fin du 18e siècle, que les premiers usages du télégraphe de Chappe sont dédiés à la communication militaire.

⁷Fontenelle, « *Éloge d'Amontons* », in *Éloges*, cité par Luke Flichy, *Une histoire de la communication moderne : Espace public et vie privée*, La Découverte, 1997, p. 17-18.

2. Télégraphe électrique

Le développement de l'électricité et de l'électrodynamique fait naître l'ère du télégraphe électrique. Ce dernier est un appareil qui envoie un code électrique. Ce télégraphe fonctionne tout comme une sonnette. En appuyant sur le bouton, on ferme un circuit électrique ; l'électricité passe alors par ce circuit et fait tinter un signal à l'autre bout du fil. On pouvait envoyer de cette façon environ 30 mots par minute. Chaque lettre a eu un code de sons long et court ; c'est ce qu'on *appelle l'alphabet morse ou simplement le morse*. Un point représente un son court et un tiret un son long. La lettre A est donnée d'abord par un son court, puis un long. La chronologie ci-dessous nous expose succinctement l'évolution du télégraphe électrique :

A	·--	N	--·	0	-----
B	----·	O	---·	1	·-----
C	----·	P	·----	2	··-----
D	---·	Q	---·-	3	····-
E	·	R	·--·	4	····-
F	·····	S	···	5	·····
G	---·	T	-	6	-----
H	·····	U	···	7	-----
I	··	V	····-	8	-----
J	·---·	W	·--·	9	-----
K	---·	X	---·	.	·-----
L	·---·	Y	---·-	,	-----
M	--	Z	---·	?	·····

erreur	······
début de transmission	-----
fin de transmission	·····

L'alphabet Morse

1753 : l'histoire du télégraphe électrique commence avec un projet théorique proposé par un auteur écossais anonyme qui entend relier un générateur d'électricité statique via 26 fils isolés et dédiés chacun à une lettre de l'alphabet et à un éclateur ;

1774 : *Georges-Louis Le Sage* construit et fit fonctionner à Genève un télégraphe électrique, constitué de vingt-quatre conducteurs, dont chacun aboutissait à un électromètre correspondant à une lettre de l'alphabet. Une machine électrostatique mise en contact avec l'autre extrémité du fil déplaçait les boules de l'électromètre ;

1816 : *Francis Ronalds* développe un télégraphe électrique primitif. Il l'expérimente en envoyant des messages le long d'un fil de 13 km de longueur encastré dans un tube de verre et enterré dans son jardin à Kelm scott House (*extrémité ouest de Londres*). Ronalds propose son appareil à l'Amirauté britannique qui ne montre aucun intérêt et il renonce à pousser plus loin sans même faire breveter son travail ;

1820 : *Ampère* propose en ces termes devant l'Académie des Sciences un télégraphe fondé sur les principes de l'électromagnétisme :

1832 : À partir de cette année, plusieurs inventeurs contribuent par leurs travaux à la conception du télégraphe électrique dont le diplomate russe *Pavel Schilling*, l'Anglais *William Fothergill Cooke*, *Samuel Morse*, et *Charles Wheatstone*, un physicien.

1832 : L'américain *Samuel (Finlay Breese) Morse* (1791 - 1872) est peintre, inventeur et physicien américain. Il crée en 1826 à New York une société des Beaux-Arts qui deviendra plus tard la National Academy of Design. Morse s'inspire des travaux de ses prédécesseurs (notamment André-Marie Ampère, François Arago) pour inventer un système simple et robuste. Après un voyage en Europe, c'est en 1832, sur le Sully navire qui le ramène aux États-Unis, qu'il conçoit l'idée d'un télégraphe électrique après une conversation sur l'utilisation de l'électro-aimant et les travaux d'Ampère avec le géologue Charles Thomas Jackson. Le 20 juin 1840, un brevet est accordé pour l'invention du télégraphe électrique pour lequel son *assistant Alfred Vail* invente un code original de transmission, le code Morse, via la transcription en une série de points et de traits des lettres de l'alphabet, des chiffres et de la ponctuation courante. Le point est une impulsion brève et le trait une impulsion longue.



Le système est simple : des piles, un interrupteur, un électro-aimant et des fils sont suffisants pour transmettre les deux seuls signes possibles : un court ou un long (*appelés un point ou un trait*). Le premier appareil de Morse était équipé d'un crayon contrôlé électro-magnétiquement. Ce crayon imprimait des marques sur une bande de papier fixée sur un cylindre animé par un mouvement d'horlogerie. Samuel Morse découvre que les signaux sont transmis avec force sur une distance de 30 kilomètres environ. Il procède donc à l'installation de relais tous les 30 Km.

Les opérateurs ont donc rapidement appris à comprendre ce nouveau langage par impulsion électrique plus ou moins longue. Le plus célèbre des premiers usages du morse en mer eu lieu dans la nuit du 14 avril 1912, lorsque le **Titanic** heurta un iceberg et coula. Les deux officiers radio restèrent à leur poste jusqu'au dernier moment, envoyant des messages de détresse. Ce fût d'ailleurs l'apparition du célèbre « **SOS** = **...-----** ». On connaît la suite de l'histoire...

La télégraphie en morse fut utilisée par les forces armées pendant les guerres de Crimée, de Sécession ainsi que dans les tranchées de la première guerre mondiale. Au même instant apparurent les premiers postes TSF. Malgré tout, la radiotélégraphie joua encore un grand rôle pendant la seconde guerre mondiale car ce fut le seul moyen de communication entre la Résistance en France et le quartier général allié en Angleterre. C'est ce principe qui servira plus tard pour réaliser les premières liaisons radio.

1838 : le premier télégraphe électrique est construit par *Charles Wheatstone et William Cooke*, et mis en service entre Londres et Birmingham. Il fonctionne selon les principes suivant. Une ligne électrique relie deux points. À chaque extrémité est placée une machine constituée d'un émetteur et d'un récepteur. L'émetteur est un manipulateur manuel ; un simple interrupteur alimente avec une batterie plus ou moins brièvement la ligne. Le récepteur est un électro-aimant connecté directement sur la ligne qui actionne un mécanisme chargé de transcrire le code par le marquage d'une bande de papier, qui avance au rythme des impulsions émises sur la ligne. Lorsqu'un opérateur appuie sur le manipulateur de son émetteur, le récepteur distant, tout comme le sien entrent en action, laissant une marque sur la bande de papier en émettant un bruit. Voilà pourquoi la bande de papier permet de garder une trace du message et de pallier une éventuelle absence de l'opérateur en réception.

3. Télégraphe sans fil

La télégraphie sans fil (*appelée aussi TSF*) permet d'émettre des messages à distance en utilisant des ondes radio. Dès les premières expériences de transmission par radioélectricité faites par Guglielmo Marconi en 1895, les principes du télégraphe électrique Morse et le code Morse furent employés pour assurer les transmissions de messages par radio. La transmission de l'information venait de s'affranchir des obstacles physiques, il ne restait plus qu'à perfectionner le système pour arriver aux systèmes de transmissions (radiotéléphonie et aux réseaux mobiles) du XX^e siècle et du XXI^e siècle.

Le code Morse, bien que tombé en désuétude pour les télécommunications privées, est encore utilisé comme système de transmission de secours dans l'armée et comme passe-temps chez les radioamateurs. Son mérite est d'être facilement décodable « à l'oreille » par un opérateur radiotélégraphiste spécialement formé et un émetteur-récepteur peu sophistiqué. La grande efficacité de la transmission radio en morse est la possibilité de décoder un signal « tout-ou-rien » avec un rapport signal/bruit très faible. La modulation utilisée pour transmettre du code morse par radio est la « *modulation partout ou rien* » (*en anglais OOK = on-off-keying*) encore appelée abusivement CW pour des raisons historiques. Pour la transmission de messages, le télégraphe a ensuite été détrôné par le télécopieur puis par le fax et enfin par Internet.

A₃. TELEPHONE

L'**histoire du téléphone** présente les chroniques lors du développement du téléphone dit électrique et inclut un résumé de ses prédécesseurs :

1. Téléphone mécanique et Optique

Avant l'invention du téléphone électromagnétique, des objets mécaniques et acoustiques afin d'envoyer la voix et de la musique à de bien plus grandes distances que celles que la voix ordinaire pouvaient accomplir. Les premiers téléphones mécaniques étaient basés sur la transmission du son à travers des tuyaux ou d'autres objets physiques creux et longs. Parmi les premières expériences, figurent celles entreprises par le physicien anglais Robert Hooke de 1664 à 1685. Un brevet de téléphone acoustique à câble tendu lui a été attribué en 1665, la version avec une corde tendue lui étant attribuée dès 1667⁸.



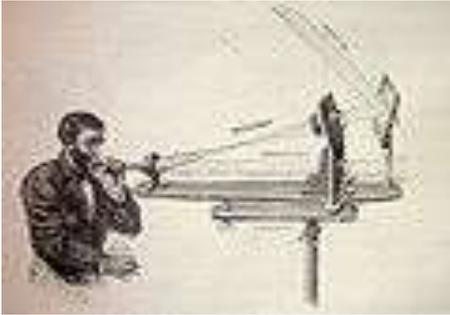
Un téléphone « **tin-can** », dit *boîte de conserve*, ou *téléphone de l'amant*, datant du **XIX^e siècle**.

Le « **téléphone de l'amant** », aussi appelé « **boîte de conserve** » (*tin-can* en anglais), est également connu depuis des siècles. Il permet de relier deux diaphragmes avec du fil, en coton, en fer, etc., en utilisant les vibrations mécaniques afin de transmettre les ondes sonores d'un bout du fil à l'autre. L'exemple classique est le jouet pour enfants constitué de deux verres en plastique percés reliés par un fil. Au cours du **XX^e siècle**, de nombreuses écoles maternelles et primaires se servent de ces téléphones pour éveiller les enfants aux rudiments de la vibration sonore.

Au cours du **XVIII^e siècle**, que le tube acoustique fut mis au point. Pendant une période de temps, au **XIX^e siècle**, les téléphones acoustiques basés sur le tube furent commercialisés comme une alternative au téléphone filaire électrique d'Alexander Graham Bell en 1876, comme ils ne tombaient pas sous la protection de son brevet. Cependant dès que le brevet de Bell expira, l'industrie et le commerce du téléphone électrique montèrent en flèche, laissant son prédécesseur tomber dans l'oubli et poussant à la faillite un grand nombre de commerçants vendant ces appareils.

En **1880**, **Alexander Graham Bell** met au point un photophone, transmettant le signal par ondes lumineuses, sur une distance d'environ 200 m.

⁸ Richard Waller, édité par R.T. Gunther. *The Posthumous Works of Robert Hooke*, M.D., S.R.S. 1705 Réimprimédans "Early Science In Oxford", R.T. Gunther, Vol. 6, p. 185, 25



Photophone émetteur



Photophone récepteur

La portée de ces téléphones optiques était très limitée au départ, mais des centaines d'inventions (on estime leur nombre à 300) les améliorèrent, augmentant leur portée jusqu'à plus de 800 m sous de bonnes conditions. La société « *Pulsion Telephone Supply Company* », créée par *Lemuel Mellett* dans le Massachusetts aurait même fabriqué une première version d'un téléphone en 1888 dont on annonçait une portée de 3 km et le déploya immédiatement dans le domaine ferroviaire⁹. Parallèlement, les tubes acoustiques ont longtemps été utilisés à bord des navires et bâtiments et on en retrouve encore aujourd'hui dans le monde militaire.

2. Téléphone électrique

L'histoire du téléphone électrique commence *avec Alexander Graham Bell dans l'année 1876*, l'année où il a utilisé le téléphone électromagnétique qu'il a inventé pour la première fois sur une distance test de *8,5 km à l'extérieur de son laboratoire à Boston*. Mais il n'était pas vraiment le premier, car avant lui, déjà en 1860, *Philipp Reiss* à communiqué la parole par moyen de signaux électriques. Ce n'était qu'avec le téléphone de Bell et sa simplicité que cette technologie a réussi à atteindre une importance pratique. Bien sûr, il ne faut pas aussi oublier tous les collègues de recherche de Bell, qui se sont penchés sur la question de la communication des messages et l'électricité avant lui et dont les découvertes Bell n'aurait pu se passer en tant que base pour ses recherches, notamment *Samuel Finley Morse avec son appareil de Morse, Benjamin Franklin avec son paratonnerre, Georg Simon Ohm avec sa loi d'Ohm et bien d'autres*.

⁹*The Pulsion Telephone*, Nouvelle-Zélande, *Hawke's Bay Herald*, Vol. XXV, Iss 8583, 30 janvier 1890, p. 3

Alexander Graham Bell (1847 - 1922), comme son grand-père, se lance dans les méthodes d'enseignement pour les sourds et muets et dans l'étude des mécanismes de la parole. En 1870, il se rend au Canada et en 1871, à Boston, où il donne des conférences. En 1876, après avoir découvert que seul un courant régulier pouvait servir à transmettre la voix, Graham Bell produit le premier téléphone capable de transmettre et de recevoir la voix humaine, en respectant la qualité et le timbre. Ayant fait cette merveilleuse invention très tôt dans sa vie, Graham Bell est vite financièrement indépendant et le 9 juillet 1877, il fonde la « *Bell Telephone Company* ».

Dans les premiers postes téléphoniques, la voix fait vibrer une plaquette en bois solidaire de crayons en graphite. Les vibrations de ces derniers établissent un contact électrique imparfait et donc, une résistance variable. Des batteries envoient dans la ligne un courant électrique rendu variable (« *modulé* ») en traversant cette résistance. Le signal acoustique est ainsi transformé en un signal électrique analogique (*car leurs variations sont analogues*). Dans le récepteur, le courant électrique venant de la ligne téléphonique est envoyé dans un électro-aimant qui agit sur une plaque souple dont les vibrations reconstituent la voix.



Téléphone de Bell

Dans les années 1870, un service d'appel télégraphique est créé à New York. Les utilisateurs, à l'aide d'une manivelle, peuvent envoyer un signal au Central. Le nombre de tours indique d'ailleurs le service demandé (*Pompiers, police, médecin, ...*). En 1877, ce dispositif est basculé en réseau téléphonique. Dans les centraux, l'établissement des communications se fait manuellement par des opératrices appelées les « *Demoiselles du téléphone* ». En 1889, un certain **Almon B. Strowger**, entrepreneur de pompes funèbres à Kansas City, invente le premier autocommutateur électromagnétique parce que l'opératrice du téléphone, épouse de son concurrent, dirigeait les clients éventuels vers le bureau de son mari ...

L'invention de la *lampe triode*, en 1906, par l'américain **Lee de Forest** rend enfin possible l'amplification du signal téléphonique qui devenait trop faible au bout d'une quinzaine de kilomètres. On raccorde les centraux entre eux et on constitue un réseau national. Le premier câble français, de Paris à Strasbourg, est mis en service en 1924 puis celui de Paris Lyon, en 1925. Jusqu'en 1950, l'établissement des communications téléphoniques internationales est réalisé manuellement par une opératrice. Il faut attendre 1971 pour que soit ouverte la liaison complètement automatisée entre la France et les Etats Unis.

En 1970, les liaisons entre les centraux électroniques sont numérisées en adoptant le dispositif de modulation par impulsions codées (*MIC*). Le signal vocal est représenté par des échantillons mesurés 8.000 fois par seconde et chaque échantillon est codé avec 8 éléments binaires (*les bits*). Ce dispositif fabriqué en grande série dans les puces électroniques permet aujourd'hui l'accès direct des abonnés à des liaisons numériques à 64 Kbit/s. Dans l'organisation actuelle du réseau, les communications avec le monde entier sont établies par les centres spécialisés qui ont accès à tous les circuits internationaux (*câbles coaxiaux, faisceaux hertziens, fibres optiques, satellites, etc...*). C'est ainsi qu'aujourd'hui, un abonné du téléphone peut obtenir automatiquement un des 32 millions d'abonnés pour son pays ou encore l'un des 650 millions d'abonnés dans le monde... Et c'est Ainsi, que le téléphone s'est rapidement développé d'un article de luxe réservé à la haute société à ses débuts, vers un appareil banal dont nous ne pourrons plus se passer dans le monde d'aujourd'hui.

3. Téléphone Portable

Presque un siècle après l'invention du premier téléphone fixe, le téléphone portable fut inventé durant la fin des années 60 par un américain du nom de Martin Cooper... En 1876 le scientifique britannique Alexander Graham Bell, scientifique, ingénieur et inventeur dépose le brevet de l'invention du téléphone fixe, c'est une véritable révolution technologique qui jouera un rôle très important dans le développement de la société ... Grâce aux nouvelles technologies du début du siècle, en particulier la technologie radio développée à partir des années 40 et celle des « *cellules hexagonales* » permettant d'envoyer et de recevoir des signaux dans trois directions différentes. Le premier téléphone mobile fut inventé en 1973, par l'Américain Martin Cooper, directeur général de la division de la communication chez Motorola, et passe le premier appel de l'histoire depuis un téléphone portable en 1973. Il faudra attendre 1983 pour la validation du premier téléphone à être commercialisé, le *Motorola Dyna TAC 8000X par la FCC (Federal Communications Commission)*.

La commercialisation de ce téléphone a nécessité 15 ans de développement avec l'aide du Dr. Martin Cooper, et plus de 100 millions de dollars en coûts de recherche. L'appareil reste tout de même très imposant, mesurant **25cm** sans compter l'antenne et pesant **783 grammes**. A ce stade, le monde est encore loin du téléphone portable d'aujourd'hui que nous pouvons glisser dans sa poche. ***La batterie intégrée proposait une autonomie de 60 minutes en communication***, mais présentait le défaut majeur de nécessiter ***10 heures pour être rechargée grâce au chargeur d'origine (une heure avec un nouveau modèle de chargeur sorti plus tard)***. Ce téléphone était vendu sur le marché au prix de 3995\$ et était disponible en trois coloris: gris sombre, gris et blanc, et blanc clair ... Le téléphone évoluera ensuite vers des modèles plus petit, avec de nouvelles caractéristiques.

Depuis la fin des années 80 du dernier siècle, le réseau de téléphone est de plus en plus numérisé, surtout avec le trafic de données et de conversations téléphoniques entre les centres de commutation, mais aussi, avec l'apparition du RNIS en 1989, en partie déjà sur les derniers miles. Depuis ce temps-là, les signaux de parole analogues sont transformés en données numériques au premier centre de commutation au plus tard, et ils sont transférés dans cette forme vers le centre de commutation cible et, si nécessaire, sont retransformés à la fin en signal de parole analogue. Et cette tendance continuera, puisque les informations numériques en combinaison avec les réseaux à commutation de paquets offrent des avantages imbattables où, contrairement aux réseaux classiques de commutation de circuits, la ligne n'est occupée que lorsqu'il y a aussi vraiment des données à transmettre, sans compter que dans ce cas, les données par paquets individuels peuvent prendre différents chemins en route vers leurs destinataires, dépendamment des charges sur les lignes, permettant aux entreprises de télécommunication d'utiliser leur infrastructure beaucoup plus flexiblement.

C'est en conséquence que plus tard, l'Internet fut utilisé pour le transfert des données de parole « Voice over IP (*VoIP*) ». On pouvait ainsi téléphoner partout au monde a un tarif local ou même gratuitement, vu que la communication doit être transmise de l'Internet vers le réseau téléphonique classique, et cela, dans la boucle locale de l'interlocuteur si possible. Ainsi, pour la première fois, les fournisseurs d'accès Internet pouvaient faire concurrence aux opérateurs de ligne fixe ... C'est seulement vers **1987** que La **RDC, alors Zaïre**, ne disposait que d'un réseau de téléphonie et de télégraphe de ***l'OCPT (Office de Contrôle de Poste et Télécommunication)*** ; c'est à cette même année que parut les premières téléphones cellulaires analogique en RDC. Il est à noter également que Vers la fin des 70 - 80, la RDC était un des pays le plus informatisé en Afrique, rivalisant ainsi avec l'Afrique du Sud, l'Algérie, le Nigeria et la Côte d'Ivoire, pour devenir aujourd'hui le plus pauvre en infrastructure de télécommunications.

A5. LA RADIO

Un **signal radio** est une onde électromagnétique qui se déplace à la vitesse de la lumière. Correctement codé, ce signal peut transporter de l'information. C'est **James Clerk Maxwell** qui découvrit le premier que la variation d'un champ magnétique induit un champ électrique qui induit à son tour un changement de champ magnétique et que la transition produit une onde électromagnétique. Cette découverte fut mise en pratique par **Heinrich Hertz** et surtout par **Édouard Branly** qui découvrit comment les détecter. Hertz avait fait l'émetteur, Branly le récepteur. Il ne restait qu'à inventer l'antenne, ce dont se chargea un dénommé **Popov**. C'est **Marconi** qui assembla les pièces du puzzle pour réaliser la première communication radio. L'invention de Branly se limitant à la détection d'une onde en tout ou rien, les premières communications étaient en morse sur le mode transmission. Un peu plus tard, on découvrit la modulation qui permit alors de transporter un signal audio sur la radio, donc de la phonie, puis de la vidéo.

La découverte des ondes hertziennes allait ouvrir l'ère du « **sans fil** » et métamorphoser les lourds, fragiles et coûteux câbles de cuivre en liaisons invisibles que constituent les ondes électromagnétiques ... L'invention de la radio est une œuvre collective, qui part de la découverte des ondes électromagnétiques, de l'invention du télégraphe et aboutit aux premiers matériels utilisables pour communiquer sans fil. **Le physicien italien Guglielmo Marconi** est considéré comme le père des transmissions par radio ou TSF, bien que ses inventions se soient inspirées des découvertes de nombreux prédécesseurs (Hertz, Popov, Branly et Lodge).

En 1894, **Le physicien italien Guglielmo Marconi**, âgé de 20ans, amorce des expériences dans le grenier de ses parents après avoir entendu parler des ondes hertziennes. Il profite de plusieurs inventions et découvertes pour réaliser la première installation de la radio, il utilisa alors *l'éclateur d'Hertz comme émetteur, l'antenne de Popov et le cohéreur de Branly comme récepteur*. A force de ténacité, il augmente progressivement la portée des signaux qu'il émet jusqu'à atteindre une portée de plus de 3km en 1895. C'est en 1954 qu'apparu le premier poste à transistor. Il permit à plusieurs stations d'émettre simultanément, et sans interférence, sur des longueurs d'ondes différentes.

Entre les années 60 et 70, la radio était en forme rectangulaire et possédait environ 4 postes de radio. Elle pesait entre 5 et 10 livres. Elle mesurait 60 cm de longueur, 30 cm de largeur et 25 cm de hauteur. À cette époque, il n'y avait que la station AM. Quelques années plus tard, le poste FM a fait son apparition. Ensuite, il y eu les grosses radios non portatives. Elle possédait les postes AM et FM avec 10 postes de radio.

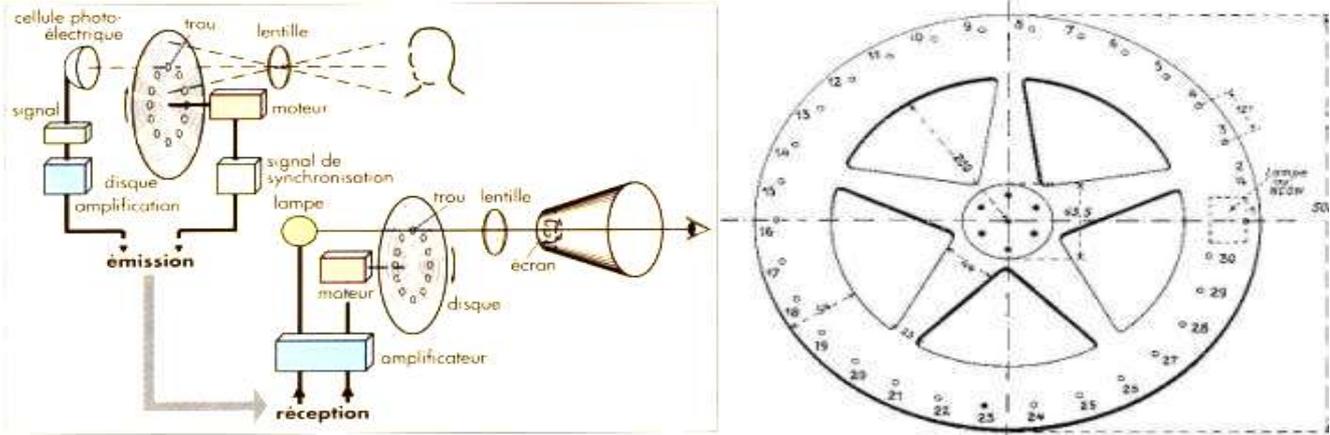
A₆. LA TELEVISION

La **télévision** est un ensemble de techniques destinées à émettre et recevoir des séquences audiovisuelles, appelées programme télévisé (émissions, films et séquences publicitaires). Le contenu de ces programmes peut être décrit selon des procédés analogiques ou numériques tandis que leur transmission peut se faire par ondes radioélectriques ou par réseau câblé. L'appareil permettant d'afficher des images d'un programme est dénommé « *Téléviseur* », ou, par métonymie, « *Télévision* », ou par apocope « *Télé* », ou par siglaison « *TV* ». le 25 août 1900, le mot « *télévision* » est entendu pour la 1^{ère} fois au congrès international de Paris pour la transmission d'images fixes, mot prononcé par le *Capitaine Constantin Perskyi*.

C'est vers les années 20 que les premiers prototypes de télévision apparaissent. *Tout de même, il est nécessaire d'admettre qu'il n'y a pas d'inventeur unique de la télévision*. La première télévision fonctionna ainsi : On explora l'image ligne par ligne en utilisant un disque mobile percé de trous en spirales. La lumière qui traversa ces trous tomba sur une cellule photo-électrique et produisit un courant variable. La transmission se fit par radio et à la réception, on recréa l'image par un mécanisme inverse. Ce procédé fut appelé « *système mécanique* ».

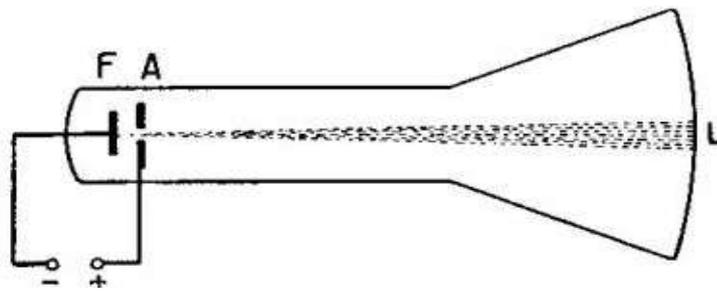
L'histoire de la télévision remonte de 1856, avec *L'Abbé Giovanni Caselli* mettant au point un dispositif appelé le « *Pantélégraphe* » qui permet de transmettre par câble un texte ou un dessin. L'analyse du document se fait grâce à un stylet électrisé balayant horizontalement la feuille posée sur un cylindre métallique. En 1873, *Joseph May* (télégraphiste irlandais) découvre la photosensibilité du sélénium ce qui va permettre de convertir la lumière en électricité. En 1875, *John Kerr* (physicien écossais) fait varier l'intensité d'un rayon lumineux en appliquant un courant électrique (cellule de Kerr).

Le 16 janvier 1879, Constantin Senlecq publie la théorie d'un système de transmission d'images animées appelé le « *Télectroscope* » utilisant le sélénium comme cellule photo sensible qui balaie la surface dépolie d'une chambre photographique. En 1881, Senlecq améliore son Télectroscope en utilisant des écrans multicellulaires avec contacteurs rotatifs synchrones en phase reprenant l'idée de 1879 de George R. Carey qui préconise l'emploi de cellules au sélénium sous forme de mosaïques comme l'œil de la mouche. *Le 6 janvier 1884, Paul Nipkow* dépose le brevet de son disque analyseur d'images.

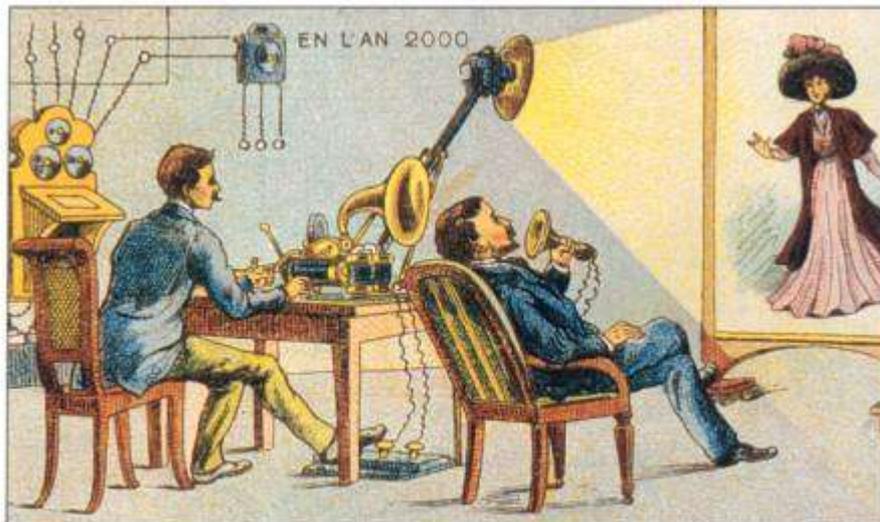


Principe de la télévision mécanique avec le disque analyseur de Paul Nipkow.

En 1897, *Karl Ferdinand Braun* invente le principe du tube à rayon cathodique. Ce tube cathodique de Braun a cathode froide, les électrons étaient arrachés à la cathode à l'aide d'une tension très élevée de l'ordre de 100 000V ;



Le 22 janvier 1908, *Edouard Belin* présente son appareil de transmission de photographies par le téléphone, le Béliographe.



Correspondance « Cinéma-Phono-Télégraphique » imaginée au début du siècle.

En 1923, l'ingénieur Ecossais **John Logie Baird** réussit à reproduire sur un écran des formes géométriques simples. Il a autant été le premier à produire une image télévisée d'objets en mouvement et dépose un brevet de télévision mécanique utilisant le disque de Nipkow, l'image ne comporte que 8 lignes. Le 25 mars 1925, Baird fait une démonstration publique de télévision mécanique « *au London département store Selfridges on Oxford Street à Londres* », mais n'arrive pas à régler correctement l'image et ne fait apparaître qu'une vague silhouette. **Le 26 janvier 1926**, ce dernier présente à la Royal Institution de Londres la télévision mécanique comportant 16 lignes, c'est la naissance officielle de la télévision.



Téléviseur mécanique (1932)

En 1930, il commercialise le premier récepteur de télé grand public et crée la première société de télévision au monde. Quelques mois plus tard, il fit sa première démonstration publique. En 1929, la BBC émet des programmes expérimentaux de mauvaise qualité. Seules quelques centaines de privilégiés pourront regarder ces images. Il faut savoir que le système Baird était un système à 30 lignes. La BBC se reposera dessus jusqu'en 1936 où elle adoptera le système EMI (*haute résolution*) à 405 lignes. Le système Baird présentait l'avantage d'être économique et facile à mettre en œuvre. La BBC avait pu utiliser ses émetteurs radio existants à faible bande passante pour diffuser les programmes. La première pièce avec diffusion simultanée de l'image et du son a eu lieu en juillet 1930.

De son côté, **Vladimir Kosma Zworykin** émigre aux Etats Unis après la première guerre. Il sait que l'avenir de la télévision passe par l'électronique. En 1923, il prouve l'efficacité de son système avec un poste et une caméra, et le 29 décembre 1923, il dépose le brevet d'un tube analyseur d'image, connu sous le nom de « *l'iconoscope* ». En 1928, il s'intéresse aux travaux des Ets Belin (*France*) sur les tubes cathodiques de réception. Il en débauche l'ingénieur en chef. A la même époque, la société EMI est créée à la suite d'une restructuration de l'industrie du disque et de la radio britannique. Les chercheurs d'EMI s'orientent vers une solution toute électronique. En 1933, la société fait une démonstration de son dispositif à la BBC. La qualité est largement supérieure au système Baird (*3 fois plus de lignes et 2 fois plus d'images par seconde*).



L'iconoscope de Zworykin

Le 7 avril 1927, première démonstration publique de la télévision aux Etats Unis par les laboratoires Bells, utilisant une transmission hertzienne (station AM de Whippany, 3XN) et utilisant comme écran une dalle comportant 50 tubes néon avec 50 anodes chacun soit 2500 pixels, qui donnent une image de 50 lignes et 18 images par seconde. L'analyse de l'image se fait par disque de Nipkow. Ainsi que, les premiers essais d'enregistrement vidéo sur disque 78tr en 30 lignes et 12,5 images par seconde, c'est « *la Phonovision* ».



En 1988, arrivée de la télévision analogique avec le D2Mac Paquet (son en numérique et vidéo en analogique avec une compression temporelle), le format change aussi et passe pour la première fois en 16/9. Ce système n'aura pas le succès commercial escompté et sera définitivement abandonné en 2000 dû à l'avènement du numérique. *En 1991*, c'est la commercialisation par Philips du *Compact Disc Interactif (CDI)* sorte de *CD-Rom sans ordinateur et du Vidéo Compact Disc (VCD)*, image et son numérique au format MPEG 1, ancêtre du DVD, les 2 formats furent des échecs commerciaux... *En 1995*, c'est le lancement de la 1^{ère} télévision à écran plasma. Et en décembre de cette même année intervient le lancement du nouveau format de disque vidéo numérique, le Digital Versatile Disc (DVD) traduit en français par disque numérique polyvalent.

En 2003, lancement des premières « Box » permettant de regarder la télévision par l'ADSL. Et *le 31 mars 2005*, la télévision numérique terrestre (TNT) en MPEG 2 et MPEG 4 (payante) fait également son apparition un peu partout dans le monde... *le 31 octobre 2008*, début officiel de la télévision numérique en HD gratuite sur la TNT au standard MPEG 4 H264 avec une définition maximale de 1920 x 1080 pixels entrelacé... *le 25 novembre 2009*, début du retrait de Canal + de la bande III VHF qui sera affectée pour la radio numérique DAB+/DMB. Et en décembre de cette même année interviendra le lancement des premiers téléviseurs en 3D.

A partir de 2010, le monde assiste à des arrêts définitifs des émissions de Canal analogique et de la bande VHF 1 et 3 (*canaux historiques*) pour la télévision. *Et à partir de 2012*, c'est le début de la création des nouvelles chaînes sur la TNT gratuite en HD (6ter, L'équipe HD, Chérie HD, Numéro 23, HD1 et RMC Découverte). *L'année 2013*, annoncera le lancement des premiers téléviseurs 4K soit 7680 x 4320 pixels ; enfin *l'année 2016*, couronnera l'abandon de la norme de compression MPG2 au profit de la norme MPG4 H264 pour les émissions haute définition de télévision numérique.

A7. LES SATELLITES

Un satellite est un corps qui gravite en orbite autour d'un autre corps plus important. Il existe deux types de satellites: *les satellites naturels* (ce sont des corps solides qui gravitent autour d'une planète de masse plus importante. Ex : la Lune autour de la Terre, etc.), *les satellites artificiels* (ce sont, tout comme les satellites naturels des corps solides qui gravitent autour d'une planète de masse plus importante, mais ces corps sont créés et lancés dans l'espace par l'homme).

La guerre froide entre les Etats-Unis et l'Union Soviétique est au départ de l'histoire des satellites. Chacune des deux grandes puissances mondiales veut espionner l'autre et conquérir l'espace le premier. Mais Il a fallu attendre 1945 pour que le concept de satellite puisse voir le jour. C'est en effet, **le britannique Arthur Charles Clarke** qui introduit le premier, le concept de communication par satellite.

Au début des années 1960, les communications téléphoniques internationales restent très difficiles car les câbles sous-marins ont une capacité réduite. De même la télévision ne permet pas encore de réaliser des émissions en « directs » sur de très longues distances. Un projet est alors avancé : construire un satellite de télécommunications. L'Union Soviétique invente le premier satellite artificiel : **SPOUTNIK 1**. Il est mis en orbite le 4 octobre 1957. Le 3 novembre 1957, les russes lancent **SPOUTNIK 2** avec à son bord, « la chienne *Laïka* » et enfin le 15 mai 1958, c'est le tour de **SPOUTNIK 3**. C'est que plus tard, le 18 décembre 1958, que La réplique américaine se fait attendre. Les Etats Unis placent afin sur orbite le satellite **SCORE**. Il sera opérationnel pendant 34 jours en activité, période durant laquelle sept messages lui furent transmis par télex.

En 1961, un accord est signé entre la *Grande Bretagne, la France* et **les Etats-Unis** pour la réalisation du satellite (*Telstar*), qui est construit par « *Bell Telephone Laboratories* » et sera lancé de Cap Canaveral le 10 juillet 1962. Pour l'occasion la France construit en Bretagne (*Pleumeur-Bodou*) une antenne réceptrice composée entre autres, d'une portion de sphère de 64 mètres de diamètre. Le 11 juillet 1962, l'antenne capte dans d'excellentes conditions des images émises des Etats-Unis. En cette même année, les satellites **TELSTAR 1** et **RELAY** révèlent au grand public l'importance des télécommunications transatlantiques en diffusant des Etats Unis vers l'Europe quelques transmissions de télévision. **TELSTAR 1** a également été chargé de relayer des communications téléphoniques entre Andover (*Etats Unis*), Goonhilly Downs (*Grande Bretagne*) et Pleumeur Bodou (*France*). Les domaines d'utilisation des satellites sont divisés en deux catégories :

1. les satellites d'application: (ces satellites¹⁰ sont occasionnellement mis en œuvre pour prendre en charge les télécommunications sur de vastes territoires et observer la Terre comme par exemple : l'observation, le géo-positionnement, la télédétection, la reconnaissance militaire, etc.) :

- ▶ **Les satellites de télécommunications** sont utilisés pour transmettre des informations d'un point à l'autre de la Terre, notamment les communications téléphoniques, la transmission de données (*par exemple Thuraya*), les communications par satellite et les programmes télévisés. C'est le seul domaine qui génère des revenus très supérieurs aux dépenses. Les clients sont des sociétés privées ou d'anciens organismes internationaux privatisés qui disposent généralement d'une flotte de satellites en orbite. Ce domaine d'application est le plus grand utilisateur de l'orbite géostationnaire. Les principales flottes de satellites de télécommunications sont celles : **Intelsat**(*couvrant tous les pays du monde pour les communications générales*); **Inmarsat** (*pour les communications maritimes*); **Eutelsat** (*Hot-Bird, Atlantic Bird 3, W1,2,3, ... et de la Société européenne de satellites, (Astra 1 et 2), pour l'Europe*) ; **Arabsat**(*couvrant depuis les années 1980 l'ensemble des pays de la Ligue arabe*).

Dans cette même catégorie, nous retrouvons « **les satellites dits de diffusion directe** », qui sont en forte progression depuis une dizaine d'années : ils émettent des bouquets de chaînes payants et cryptés, ainsi que des centaines de chaînes TV&Radio en clair et gratuites, qui peuvent être reçues sur une antenne, de type parabole, domestique de petite dimension (<60 cm) et de faible prix, grâce à la forte puissance d'émission des satellites de diffusion.

- ▶ **Les satellites d'observation** : Les satellites de télédétection observent la Terre, dans **un but scientifique** (*température de la mer, manteau neigeux, sécheresse...*), **un but économique** (*ressources naturelles, agriculture...*) ou dans **un but militaire** (*rôle majeur dans les guerres contemporaines ; ils sont plus couramment désignés sous le nom de satellites-espion*). Le spectre d'observation est vaste, *optique, radar, infrarouge, ultraviolet, écoute de signaux radioélectriques*. La résolution atteint actuellement moins d'un mètre pour certaines gammes de fréquence.

¹⁰Leur service ne devant pas s'interrompre, ils nécessitent des redondances en orbite et des remplacements par de nouvelles générations.

Celle-ci dépend de la technologie employée mais aussi de l'altitude du satellite (une *bonne résolution exige une orbite basse en général héliosynchrone utilisée par exemple par les satellites d'observation de la Terre de la famille SPOT. L'orbite géostationnaire fixe, est préférée pour la surveillance permanente en temps réel comme dans le cas du programme de veille météorologique mondiale et ses familles de satellites météorologiques, dont l'europpéen METEOSAT...*). Par contre, **Les satellites radar** peuvent analyser, par des techniques interférométriques, des variations de quelques millimètres de certaines structures. Ils sont utiles pour examiner les mouvements des plaques continentales, particulièrement avant ou après un séisme, ou les variations d'épaisseur de la banquise.

- ▶ **Les satellites de localisation et de navigation** : Ces satellites permettent de connaître la position d'objets à la surface *de la Terre*, dans les *airs* (*exemples : avions, missiles*) et même dans *l'espace* (Exemples : **DORIS**, le système américain GPS, le futur système européen **Galileo**, le système russe **GLONASS** ou encore le chinois **COMPASS**)... Dans cette catégorie, se situe également le « **système Argos de positionnement d'objets mobiles** », datant de 1978 et emportés par les satellites météorologiques américains et « **l'europpéen MetOp** ».
- ▶ **Les satellites militaires** : Les besoins des militaires sont à l'origine des premiers satellites d'observation : dès 1959, dans le cadre de la guerre froide, les États-Unis et l'URSS ont développé des satellites militaires d'observation, que l'on appelle couramment et abusivement « **satellites-espions**¹¹ ». Ils permettaient d'observer les ressources militaires de l'ennemi dans des zones peu accessibles. Aujourd'hui les conflits modernes y font largement appel et ne pourraient certainement plus s'en passer, employant différents types de satellites militaires : **les satellites de reconnaissance** (par exemple **Hélios**, qui utilisent les techniques optiques, infrarouges, radars pour obtenir des images des installations stratégiques) ; **les satellites de télécommunications** utilisés pour les liaisons militaires généralement chiffrées (par exemple satellites **Syracuse**) ; **les satellites d'écoute et des signaux radars** qui déploient des antennes dont le diamètre pourrait atteindre plus de 100 mètres (satellites américains **Mentor**) ; **les satellites de suivi des flottes marines (RORSAT)** qui repèrent les navires de guerre grâce aux émissions radar ; **les satellites de navigation** utilisés dans le cadre des opérations militaires pour le guidage précis des missiles de croisière, des obus et le positionnement des unités de tous types;

¹¹Les premiers d'entre eux furent la série des *Discoverer*

2. les satellites scientifiques (*ces satellites ont un éventail très vaste de missions allant de l'étude du milieu spatial à celle de l'espace lointain grâce à des télescopes spatiaux*). Les satellites scientifiques regroupent les satellites affectés aux études scientifiques depuis l'espace. On retrouve dans cette catégorie les premiers satellites comme Spoutnik 1 dont les émissions radio ont permis d'étudier les couches atmosphériques supérieures. Les premières briques de l'Europe spatiale ont été posées à la demande des scientifiques qui sont à l'origine des organismes européens de l'ELDO et de l'ESRO :

- ▶ **Les satellites d'étude de la Terre et de l'espace proche** : Dans cette catégorie, nous retrouvons les satellites dont les missions portent sur **la géodésie** (*niveau des océans : TOPEX/Poséidon*), **la géodynamique** (*étude de la tectonique des plaques*), **la modélisation du fonctionnement de la biosphère** (*devenue un enjeu vital dans le cadre de la théorie du réchauffement climatique*).
- ▶ **Les satellites de recherche en physique fondamentale** : L'espace est également un lieu idéal pour vérifier certaines théories physiques dans lesquelles la gravité est en jeu : nous pouvons citer la vérification du principe d'équivalence avec les satellites (*Microscope*) et STEP ou la recherche d'ondes gravitationnelles avec (*Lisa*).
- ▶ **Les satellites d'astronomie** : Les satellites d'astronomie, sont des *télescopes* en orbite, qui permettent d'observer l'espace lointain avec une résolution qui dépasse celles des observatoires terrestres les plus puissants (*Hubble*). Tout le spectre électromagnétique est aujourd'hui étudié par des télescopes spatiaux : rayonnement **X** (*XMM-Newton*), **gamma** (*INTEGRAL*), **infrarouge** (*télescope ISO*). La fin de la décennie 2000 est fertile en nouveaux instruments (*pour l'Europe Herschel, Planck*). L'absence d'atmosphère permet la détection d'exo-planètes situées dans des systèmes stellaires extérieurs (*Corot*).

En résumé, retenons que les agences spatiales les plus avancées n'ont cessé de lancer dès le début de l'ère spatiale des engins spatiaux pour explorer le système solaire à l'aide d'instruments scientifiques. Le progrès des techniques spatiales et la puissance croissante des lanceurs ont permis de placer certains de ces engins en orbite d'abord autour de la Lune et des planètes proches (**Mars, Vénus**) puis de corps célestes plus lointains (**Jupiter, Saturne, Vesta, Cérès**) ou difficilement accessibles comme Mercure profondément enfoncé dans le puits gravitationnel du Soleil ou les comètes et astéroïdes au champ gravitationnel irrégulier. Ces recherches sont suivies d'une mission de dépose d'un engin spatial de type atterrisseur (*statique*) ou rover (*mobile*) à la surface du corps céleste pour une étude in situ.

A8. INTERNET

L'histoire d'Internet remonte au développement des premiers réseaux de télécommunication. L'idée d'un réseau informatique, permettant aux utilisateurs de différents ordinateurs de communiquer, se développa par de nombreuses étapes successives. La somme de tous ces développements conduisit au « réseau des réseaux » (*network of networks*¹²) que nous connaissons aujourd'hui en tant que « *qu'Internet* ». Il est le fruit à la fois de développements technologiques et du regroupement d'infrastructures réseau existantes et de systèmes de télécommunications.

Le réseau Internet est composé de plus de plus de 65 millions d'ordinateurs dans plus de 100 pays. Né aux Etats-Unis dans les années 1970 sous l'impulsion du **DoD** (*Department of Defence*), Internet (*Interconnected Networks*) est un réseau international en pleine expansion, mettant en relation des millions de réseaux de tous types et des millions d'ordinateurs à travers le monde. Internet permet d'accéder à divers services dont les plus utilisés sont **la messagerie (E-mail)** et **la recherche de documents en ligne (le Web)**. Il est devenu le moyen de communication privilégié de la recherche scientifique, avant de séduire dans la deuxième moitié des années 1990 le monde des entreprises, et est constitué de milliers de réseaux interconnectés, chacun financé et géré par des organismes aussi divers que des universités, des fondations publiques, des entreprises privées, des laboratoires de recherche.... Internet est donc l'ensemble des ordinateurs du monde entier reliés entre eux. Chacun de ces ordinateurs peut offrir des informations aux autres: des textes, des images, des films, de la musique, ...

Le terme « **Internet** » est d'origine américaine et dérivée du concept « **d'internetting** » (en français : « **interconnecter les réseaux** ») dont Toutefois les origines exactes du terme « **Internet** » restent à déterminer. Bien que, ce fut le **1^{er} janvier 1983** que le nom « **Internet** », déjà en usage pour désigner l'ensemble **d'ARPANET** et plusieurs réseaux informatiques, est devenu officiel ... En anglais, on utilise un article défini et une majuscule, ce qui donne « **the Internet** ». Cet usage vient du fait que « **Internet** » est de loin le réseau le plus étendu, le plus grand « **internet** » du monde, et donc, en tant qu'objet unique, désigné par un nom propre. Un *internet* (un nom commun avec « *i* » minuscule) est un terme d'origine anglaise utilisé pour désigner un réseau constitué de l'interconnexion de plusieurs réseaux informatiques au moyen de routeurs¹³ ...

¹²Ronda Hauben publiâ The Internet: On its International Origins and Collaborative Vision en 2004.

¹³TCP/IP Illustrated Volume 1, the Protocols, W. Richard Stevens, chap. 1.13.

En français, il existe une controverse sur l'usage ou non d'une majuscule (« **Internet** » ou « **internet** ») et l'usage d'un article défini (« *l'Internet* » ou « *Internet* »). Dans l'usage courant, l'article est très peu employé. Une publication au « *Journal officiel* » de la République française indique qu'il faut utiliser le mot « internet » comme un nom commun, c'est-à-dire sans majuscule. L'OQLF recommande d'utiliser une majuscule car il « *est considéré comme un nom propre qui désigne une réalité unique* ». Dans son dictionnaire, l'Académie française utilise « *l'internet* » dans un exemple. Par contre, de nombreux correcteurs orthographiques intégrés aux logiciels francophones utilisent la majuscule (Microsoft Office, Firefox...) ¹⁴.

L'avènement de l'Internet poursuit *deux grandes phases* d'accélération qui se produisirent notamment « *à la fin des années 1960-1970* », lors de l'application pratique, par des scientifiques américains et français, des concepts évoqués à la fin des années 1950 et ensuite, dans « *les années 1990* », lorsque la popularisation des fondements de l'Internet moderne passa par l'apparition du « *World Wide Web* » :

1. Les années 1960 – 1970 :

En 1961, **Leonard Kleinrock** du MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) publia le premier texte théorique sur la commutation de paquets. En juillet 1962, **Licklider** du MIT écrivit des mémos qui sont les plus anciens textes décrivant les interactions sociales possibles avec un réseau d'ordinateurs. Cela devait notamment faciliter les communications entre chercheurs de la *Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)*. Et Licklider fut le premier chef du programme de recherche en informatique de la DARPA. Il persuada ses successeurs Ivan Sutherland, Bob Taylor et le chercheur du MIT Lawrence G. Roberts de l'intérêt des réseaux informatiques.

En 1965, **Roberts** testa avec **Thomas Merrill** la première connexion informatique à longue distance, entre le Massachusetts et la Californie. Le résultat montra que des ordinateurs pouvaient travailler ensemble à distance, mais que le mode de communication par commutation de circuit du système téléphonique était inadapté. Le concept de communication par commutation de paquets de **Kleinrock** s'imposa. **En 1966, Roberts** fut engagé par **Taylor** à la DARPA pour concevoir **ARPANET**. Il publia les plans en 1967. En présentant ce texte, il découvrit deux autres groupes de chercheurs travaillant indépendamment sur le même sujet : **un groupe du National Physical Laboratory (NPL)** du Royaume-Uni avec **Donald Davies et Roger Scantlebury**, **et un groupe de la RAND Corporation avec Paul Baran**.

¹⁴Dans la 9^e édition de son Dictionnaire, l'Académie écrit « Un ordinateur connecté à l'internet. »

Entre 1962 et 1965, le groupe de la RAND avait étudié *la transmission par paquets pour l'armée américaine*. Le but était de pouvoir maintenir les télécommunications en cas d'attaque (*éventuellement nucléaire*), ce que permet une transmission par paquets dans un réseau non centralisé. Il s'agissait d'un développement indépendant de « *ARPANET* » : bien que probablement robuste face à une telle attaque, ARPANET n'a pourtant été conçu que pour faciliter les télécommunications entre chercheurs. Le rapport de *Paul Baran* est resté purement théorique, et est rapidement tombé dans l'oubli. Mais le mythe de « *ARPANET* » comme dernier rempart à une attaque atomique » trouve là son origine.

Pendant ce temps, *au British National Physical Laboratory*, l'équipe de Donald Davies avait progressé : NPL Network, le premier réseau maillé fondé sur la transmission de datagrammes (*packets*) qui était fonctionnel. Mais l'histoire d'internet n'a pas été écrite par les Européens : ARPANET sera désormais l'origine officielle d'internet. *En août 1968, la DARPA* accepta de financer le développement du matériel de routage des paquets d'ARPANET. Ce développement fut confié en décembre à un groupe de la firme *Bolt, Beranek and Newman (BBN)* de Boston. Ce dernier travailla avec *Bob Kahn* sur l'architecture du réseau. *Roberts* améliorait les aspects topologiques et économiques du réseau. *Kleinrock* préparait des systèmes de mesures du réseau.

Le 20 septembre 1969, BBN installa le premier équipement à l'UCLA où travaillait Kleinrock. Le second nœud du réseau fut installé au *Stanford Research Institute (SRI)* où travaillait *Douglas Engelbart* sur un projet d'hypertexte. Deux nœuds supplémentaires furent ajoutés avec l'université de Santa Barbara et l'université d'Utah. Fin 1969, ARPANET comptait donc quatre nœuds.

En décembre 1970, Le Network Working Group (NWG) conduit par *Steve Crocker* finit le protocole de communication poste-à-poste NCP. Ce protocole fut adopté entre 1971 et 1972 par les sites branchés à ARPANET. Ceci permit le développement d'applications par les utilisateurs du réseau. La perspective d'une informatique plus décentralisée commence à intéresser les constructeurs souhaitant rivaliser avec le géant IBM ... *En 1972, Ray Tomlinson* mit au point la première application importante : « le *courrier électronique* ». En octobre 1972, Kahn organisa la première démonstration à grande échelle d'ARPANET à *l'International Computer Communication Conference (ICCC)*. C'était la première démonstration publique. Le concept d'Internet est né d'ARPANET. L'idée était de permettre la connexion entre des réseaux divers : ARPANET, des communications avec les satellites, des communications par radio.

Cette idée fut introduite par **Kahn en 1972** sous le nom « *d'Internetting* ». Le protocole NCP d'ARPANET ne permettait pas d'adresser des hôtes hors d'ARPANET ni de corriger d'éventuelles erreurs de transmission. **Kahn** décida donc de développer un nouveau protocole, qui devint finalement TCP/IP... En parallèle, un projet inspiré par ARPANET était dirigé en France par **Louis Pouzin** : le projet Cyclades. De nombreuses propriétés de TCP/IP ont ainsi été développées, plus tôt, pour Cyclades. Pouzin et Kahn indiquent que TCP/IP a été inspiré par le réseau Cyclades français, poussé par la CII et sa Distributed System Architecture: on commence à parler de Calcul distribué. Aux États-Unis, IBM et DEC créent les architectures SNA et DECnet, en profitant de la numérisation du réseau d'AT&T (*Réseau téléphonique commuté*)¹⁵.

En 1973, Kahn demanda à **Vint Cerf** (*parfois appelé le père d'internet*) de travailler avec lui, car Cerf connaissait les détails de mise en œuvre de NCP. Le premier document faisant référence à TCP est écrit en 1973 par Cerf : *A Partial Specification of an International Transmission Protocol*. La première spécification formelle de TCP date de décembre 1974, c'est le RFC 675. La version initiale de TCP ne permettait que la communication en établissant un circuit virtuel. Cela fonctionnait bien pour le transfert de fichiers ou le travail à distance, mais n'était pas adapté à des applications comme la téléphonie par Internet. TCP fut donc séparé de « *IPet UDP* » proposé pour les transmissions sans établissement d'un circuit. Vers cette même année (1974), les laboratoires Bell mettent au point un programme, qui permet d'échanger des données par modem via le réseau téléphonique. Grâce à cette innovation, débute le premier véritable réseau planétaire, UUNET.

2. Les années 1980 – 1990 :

À la fin des années 1980, la **NSF (National Science Foundation)** qui dépend de l'administration américaine, met en place cinq centres informatiques surpuissants, auxquels les utilisateurs pouvaient se connecter, quel que soit le lieu où ils se trouvaient aux États-Unis : ARPANET devenait ainsi accessible sur une plus grande échelle. Le système rencontra un franc succès et, après la mise à niveau importante (*matériels et lignes*) à la fin des années 1980, s'ouvrit au trafic commercial au début des années 1990. En 1981, les Français découvrent l'univers de la télématique avec le Minitel ...

¹⁵Otlet Paul, *Traité de documentation : le livre sur le livre, théorie et pratique*, Bruxelles, Editions Mundaneum, 1934, 431 p. (lire en ligne), p. 428

En janvier 1992, l'Internet Society (ISOC) voit le jour avec pour objectif de promouvoir et de coordonner les développements sur Internet. L'année 1993 voit l'apparition du premier navigateur web (browser), mêlant texte et image. Cette même année, la National Science Foundation (NSF) mandate une compagnie pour enregistrer les noms de domaine. À la fin des années 1990, des sociétés pionnières comme Yahoo, Amazon, eBay, Netscape, et AOL, sont devenues célèbres grâce à un attrait pour les capitalisations boursières des jeunes sociétés sans équivalent dans l'histoire, qui finit en krach.

En 1994, avec l'introduction de Netscape, doté d'une interface graphique spectaculaire, qui intègre les ressources multimédias, l'Internet connaît une explosion phénoménale. L'expression « Internet » sert à désigner un ensemble de réseaux connectés entre eux. La collectivité y a maintenant accès, par l'intermédiaire des fournisseurs de services (Wanadoo, free...). Le début des années 1990 marque la naissance de l'aspect le plus connu d'Internet aujourd'hui : le web, un ensemble de pages en HTML mélangeant du texte, des liens, des images, adressables via une URL et accessibles via le protocole HTTP. Ces standards, développés au CERN par Tim Berners-Lee et Robert Cailliau devinrent rapidement populaires grâce au développement au NCSA par Marc Andreessen et Eric Bina du premier « navigateur multimédia Mosaic¹⁶ ».

En septembre 2014, internet dépasse un milliard de sites en ligne, pour près de trois milliards d'internautes. Le nombre de sites, d'internautes, de courriels envoyés, de recherches effectuées sur le moteur de recherche Google, est en augmentation permanente. L'influence environnementale est grandissante¹⁷...L'infrastructure d'Internet se répandit autour du monde pour créer le large réseau mondial d'ordinateurs que nous connaissons aujourd'hui. Il se répandit au travers des pays occidentaux puis frappa à la porte des pays en voie de développement, créant ainsi un accès mondial à l'information et aux communications sans précédent ainsi qu'une fracture numérique. Internet contribua à modifier fondamentalement l'économie mondiale, y compris avec les retombées de la bulle Internet. C'est seulement vers 1995 que l'Internet est ouvert au public congolais à travers quelques cybercafés de la capitale Congolaise.

¹⁶ C'est en mars 1993 qu'est inventé Mosaic, le premier des navigateurs grand public, doté d'une interface graphique. Son auteur est Marc Andreessen, étudiant à l'Université de l'Illinois, et assistant au NCSA (National Center for Supercomputing Applications).

¹⁷Nicolas Ochoa, « Le principe de libre-circulation de l'information - Recherche sur les fondements juridiques d'Internet », HALSHS, 2016

I.2. REVOLUTION DES RESEAUX INFORMATIQUES

La révolution technologique qu'apportent Les réseaux informatiques est une transformation du système productif comparable à celle de la révolution industrielle (*L'imprimerie, l'électricité, l'automobile*). Ils ouvrent une nouvelle dimension avantageux et bouleversent le système d'information et l'organisation des entreprises, révolutionnent les relations que l'entreprise entretient avec ses partenaires et les consommateurs.

Nous sommes sans ignoré que Les réseaux informatiques abolissent les distances, écrasent les durées, nous introduisent dans le monde de l'instantané et offrent une flexibilité longtemps recherchée. Ils présentent donc un substantiel avantage aux activités humaines qui sauront s'accommodera ses nouveaux outils, et même face à une compétition rendue plus âpre par la mondialisation... D'une façon simpliste, nous pouvons résumer cette révolution en trois grandes étapes :

- ▶ **Étape1 – La période de l'automatisation de la transmission des données au début du XIX^{ème} siècle** : ce sont des Réseaux à intégration de service (RIS) : capables de véhiculer données multimédia. (*c'est par exemple : la différence entre ftp au débit « discontinu », et la transmission de la voix, du son et de l'image.*) Exemple : NUMERIS débit de 64kbps (insuffisant actuellement, car c'est un RNIS à bande étroite)
- ▶ **Étape2:** numérisation, i.e. information a été transformée en une suite de 0 et de 1. RNIS : Réseaux Numériques à Intégration de Services. On passe donc au RNIS à large bande implémenté par la technologie ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). C'est une commutation de cellules.
- ▶ **Étape3:** multimédia, i.e., utilisation simultanée de plusieurs modes de représentation de l'information. Depuis l'apparition du haut débit de nouveaux protocoles se sont développés : FDDI (*Fibre Distributed Data Interface*) ;

I.3. FINALITES DES RESEAUX INFORMATIQUES

Rappelons qu'un réseau informatique est une infrastructure de communication permettant le travail collaboratif et/ou les échanges entre personnes géographiquement séparées. Ceci étant posé, les objectifs d'un réseau sont généralement les suivants :

- ▶ **La connectivité** : c'est une technique qui permet à plusieurs types d'équipements informatiques utilisant des logiciels différents de communiquer entre eux,
- ▶ **Le partage des ressources** : c'est un procédé qui permet la segmentation d'un système informatique pouvant être employée par différents utilisateurs. Autrement dit, c'est rendre accessible à une communauté d'utilisateurs des programmes, des données et des équipements informatiques (i.e. un ensemble de ressources) indépendamment de leur localisation.
- ▶ **La modularité** : (*Ajout graduel des performances*), elle consiste à utiliser un ensemble restreint d'appareils généraux pour tester leurs performances.
- ▶ **L'implantation simple** : c'est une solution générale qui permet d'installer aisément et sans aucune difficulté les équipements informatiques selon leurs différentes configurations.
- ▶ **L'utilisation facile** : c'est une disponibilité d'outils de communication libérant les utilisateurs de la connaissance de la structure du réseau ;
- ▶ **La fiabilité**¹⁸ : c'est la capacité de détection et correction d'un dispositif à fonctionner sans défaillance (*sauvegardes, duplication*). Autrement dit, C'est une disposition du fonctionnement même en cas de problèmes matériels (*c'est par exemple, les applications militaires, bancaires, le contrôle des centrales nucléaires ou aérien...*).
- ▶ **Une mise à jour aisée** : c'est un procédé qui permet aux réseaux informatiques d'évoluer et d'être modifiée selon les besoins des utilisateurs et des nouveaux équipements.
- ▶ **La réduction des coûts** : l'accès à distance des matériels informatiques a considérablement réduit les coûts de ces derniers, en permettant ainsi aux différents utilisateurs de s'en procurer au prix standard (le PC, par exemple).

¹⁸En informatique par exemple, la fiabilité s'exprime par une durée qui correspond au temps moyen de bon fonctionnement d'un équipement

I.4. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES RESEAUX INFORMATIQUES

Un réseau informatique est essentiellement constitué de plusieurs machines et de matériels ayant besoin d'être reliés entre eux pour remplir leur fonction primaire. Il n'y a cependant pas que des avantages à s'en servir, mais aussi des inconvénients.

I.4.1. AVANTAGES DES RESEAUX INFORMATIQUES

Les avantages offerts par les réseaux informatiques sont multiples et vont, en fait bien au-delà des privilèges quotidiens de l'informatique. Le problème de la communication entre les personnes et les services sont capital pour les entreprises depuis toujours, désormais l'adoption du travail en réseau est capable de lui apporter une réponse définitive. Ainsi, parmi les principaux avantages des réseaux informatiques :

1. Une meilleure communication (Facile et rapide) :

Grâce aux réseaux informatiques, La communication entre les personnes est dorénavant plus aisée et l'information circule plus librement pour tout le monde y compris les différentes collaborations entre les entreprises et pour ne citer que cela. Mêmes les personnes travaillant dans des distincts endroits, en voyage ou chez eux, peuvent aussitôt se connecter au réseau et communiquer plus facilement en utilisant les supports et matériels de communication (*tels que, les e-mails, la messagerie instantanée, les lignes téléphoniques, la vidéoconférence ou le Skype,...*) pour pleinement en profiter.

2. Une Optimisation et gain du temps :

Un réseau informatique permet identiquement d'améliorer et de gagner du temps sur le partage des fichiers et des données informatiques. Dorénavant, les utilisateurs arrivent à trouver et partager les données dont ils ont besoin. Depuis des années, cette fonctionnalité du réseau informatique est devenue la plus utilisée par les grandes organisations afin de maintenir leurs données d'une manière organisée facilitant les accès à distance pour les personnes souhaitées.

3. Une productivité accrue :

Un réseau permet de donner à toute activité humaine, une vitesse d'exécution assez importante de la tâche ; l'exactitude et la fiabilité des outils informatiques entraînent des économies du temps et d'argent à tous les niveaux de l'activité humaine, particulièrement l'allègement des tâches à effectuer. Tout de même, il implique une communication permettant aux équipes professionnelles de se consacrer foncièrement à leurs missions. Beaucoup d'obstacles qui entravaient jusqu'alors la productivité tombent d'eux-mêmes, et les énergies de l'entreprise peuvent alors se concentrer sur les véritables objectifs. Succinct, Les réseaux informatiques créent une chaîne de collaboration entre les équipes.

4. L'accès et la connexion à distance :

Avec un réseau, le téléphone n'est plus le seul moyen de contact avec les autres de partout dans le monde. Il permet sitôt de faire des partages de fichiers et des ressources et y avoir accès même à distance. Il est tout aussi possible, pour qui le veut, de faire des mises à jour de tous ces fichiers conservés. Cela ouvre par exemple, un accès aux différentes sociétés et clients qui souhaitent avoir des renseignements concernant leurs activités. Désormais un professionnel peut se connecter et trouver les informations ou les contacts dont il a besoin.

5. Une prise sur l'avenir :

Les économies mondiales sont de plus en plus dépendantes de l'informatique. Nous ne pouvons ignorer que le réseau est devenu aujourd'hui le moteur de la croissance de l'activiste mondiale. Les réseaux informatiques deviennent de plus en plus la figure parfaite qui intègre les nouvelles technologies au fur et à mesure de leur apparition, ils évoluent et s'adaptent aux réalités de toute activité humaine, y compris celle de l'entreprise.

6. Un investissement efficace :

La mise en réseau d'un plus grand nombre de nos équipements (*tels que ordinateurs, imprimantes, scanners, systèmes de stockage et de sauvegarde des données, télécopieurs et système téléphonique*), nous ouvre l'accès à l'ère numérique en nous permettant de connecter à d'autres utilisateurs ainsi qu'à maintes convenances. Elle permet aussi de profiter des versions réseaux des logiciels, toujours moins coûteuses que leurs équivalents poste à poste.

I.4.2. INCONVENIENTS DES RESEAUX INFORMATIQUES

Les conséquences fâcheuse et les nombreux risques que comportent les réseaux informatiques peuvent désavantageusement contribuer au mauvais fonctionnement de ces derniers et par conséquent altérer la qualité de son service ainsi son perfectionnement. Voici quelques-uns des inconvénients majeurs des réseaux :

1. Problèmes de sécurité :

L'un des inconvénients majeurs des réseaux informatiques est les problèmes de sécurité impliqués. Si un ordinateur est connecté sur un réseau, il serait plus vulnérable à toutes sortes d'attaques. De même, un pirate informatique peut obtenir tous les renseignements qu'il désire ou alors un accès non autorisé à l'aide de différents outils. En cas de grandes organisations, divers logiciels de sécurité réseau sont utilisés pour empêcher le vol de données confidentielles et les classifiées.

2. La propagation rapide de virus informatiques:

Si tout système informatique dans un réseau est affecté par un virus informatique, il y a une menace possible d'autres systèmes obtenant aussi affectés. Les virus se répandent sur un réseau facilement en raison de l'interconnexion des postes de travail. Un tel écart peut être dangereux si les ordinateurs ont importante base de données qui peut être corrompues par le virus.

3. Coût élevé des « Set-Up »:

La mise en place initiale des coûts d'un réseau informatique peut être importante selon le nombre d'ordinateurs à connecter. Appareils coûteux comme les routeurs, commutateurs, concentrateurs, etc., peuvent s'additionner aux projets de loi d'une personne qui tente d'installer un réseau informatique. Il aura également besoin de se procurer des cartes d'interface réseau (*Network Interface Cards*) pour chacun des postes de travail, au cas où ils ne sont pas intégrés.

4. Dépendance sur le serveur de fichiers principal:

Dans le cas où le serveur de fichiers principal d'un réseau informatique tombe en panne, le système devient inutile. Dans le cas de grands réseaux, le serveur de fichiers doit être un puissant ordinateur, ce qui rend souvent coûteux la conception et la configuration d'un système informatique.

I.5. COMPOSANTS DES RESEAUX INFORMATIQUES

En abordant cette partie, nous tenterons d'être autant possible clairs pour pouvoir dégager les différents éléments standards utilisés dans la construction d'un réseau informatique. De ce fait, nous subdiviserons les constituants d'un réseau informatique en deux grandes parties particulièrement : *les constituants logiciels* et les *constituants matériels* :

I.5.1. Constituants logiciels d'un réseau

En architecture logicielle, un **composant logiciel** est un élément constitutif d'un logiciel destiné à être incorporé en tant que pièce détachée dans des applications. *Les paquets, les bibliothèques logicielles, les exécutables, les fichiers, les bases de données ou encore des éléments de configuration (paramètres, scripts, fichiers de commandes)* sont des composants logiciels¹⁹... Les composants logiciels peuvent être classifiés en fonction de trois axes : la **granularité**, l'**activité** et le **domaine** :

- L'**activité** : c'est la phase du processus logiciel (*analyse, conception ou codage*) où se retrouve l'artefact (*structure d'origine artificielle*). Les composants produits à l'interne sont habituellement exclusivement au niveau du codage puisqu'ils représentent des objets achevés alors que les composants externes ou déjà conçus peuvent se retrouver au niveau de la conception et même de l'analyse.
- La **granularité** : détermine le nombre d'éléments rudimentaires (*classes, objets, tables*) compris dans le composant ; habituellement un composant possède une faible granularité. Une collection de composants est plutôt baptisée une bibliothèque.
- Le **domaine** : détermine le degré de dépendance vis-à-vis d'un domaine d'expertise particulier. Les composants verticaux ou métiers encapsulent l'expertise d'un domaine particulier (*finance, commerce...*). Les composants horizontaux ou d'applications encapsulent l'expertise applicable à toute sorte d'applications (*base de données, communication réseau, affichage...*). Du point de vue logiciel, les ordinateurs reliés à un réseau sont repartis en deux grandes catégories, en fonction des actions qu'ils effectuent sur celui-ci :

¹⁹Pierre-Alain Muller, Nathalie Gaertner, *Modélisation objet avec UML*, Eyrolles, deuxième édition 2000, p.231

1. Un Client

Un client est une architecture logicielle dans laquelle les programmes d'application dits « *clients* » sollicitent les services génériques des autres programmes pour exécuter une tâche. C'est par exemple : demandeur de services d'applications, des fichiers, d'impression, etc. ... Ainsi, nous distinguerons deux grandes catégories des logiciels clients selon la tâche à exécuter :

- **les logiciels clients par usage** : ce sont des logiciels clients que nous manipulons selon leurs fonctions ; c'est par exemple : *Client de messagerie*, *Client HTTP (web)*, *Client IRC (chat)*, *Client FTP (transfert de fichiers)*, *Client Jabber/XMPP (messagerie instantanée)*, *Client SSH (connexion sécurisée)*, etc.
- **les logiciels clients par ressources** : sont subdivisés en trois grandes sous-catégories : *Un client léger* (c'est un client qui ne fait que formuler des demandes et présenter les résultats à l'utilisateur) ; *un client lourd* (c'est un client qui effectue une partie des traitements sans faire intervenir le serveur) ; *Un client riche*²⁰ (ce sont les premiers navigateurs web qui possédaient une maniabilité inférieure aux clients lourds) ;

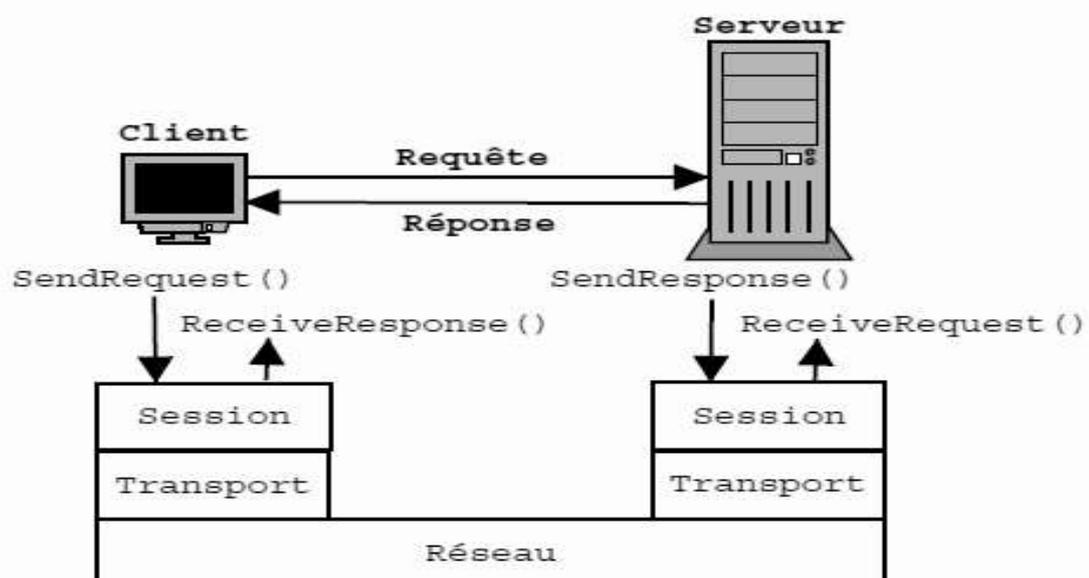


Figure 1. Modèle du logiciel Client-serveur

²⁰Apparue en 2002, l'évolution appelée **client riche** consiste en un ensemble de technologies telles que Adobe Flash ou Ajax, destinées à donner au navigateur web une maniabilité équivalente voire supérieure aux clients lourds.

2. Un Serveur²¹

Un **serveur informatique** est un dispositif informatique matériel ou logiciel qui offre des services, à différents clients. Outre, c'est un dépositaire centrale d'une fonction spécifique (*service de base de données, de calcul, de fichier, mail, etc.*) ... Les services les plus courants d'un serveur sont : *l'accès aux informations du WorldWide Web ; le courrier électronique personnalisé ; le partage d'imprimantes ; le commerce électronique ; le stockage en base de données ; la gestion de l'authentification et du contrôle d'accès ; le jeu et la mise à disposition de logiciels applicatifs (optique Logiciel en tant que service).*

Un serveur fonctionne en permanence, répondant automatiquement à des requêtes provenant d'autres dispositifs informatiques (*les clients*), selon le principe dit client-serveur. Le format des requêtes et des résultats est normalisé, se conforme à des protocoles réseaux et chaque service peut être exploité par tout client qui met en œuvre le protocole propre à ce service. Les serveurs sont utilisés par les entreprises, les institutions et les opérateurs de télécommunication. Ils sont courants dans les centres de traitement de données et le réseau Internet. Nous distinguerons deux types des serveurs :

- **Un serveur dédié** : est un dispositif informatique mis à disposition par un hébergeur de sites Web, à un seul client avec la possibilité de gérer, non seulement les fichiers sur le serveur, mais également les applications ainsi que leurs configurations . Un serveur dédié²² est prévu pour délivrer des services Web (*HTTP, FTP, BDD ...*) sans interruption de service.
- **Un serveur partagé ou non-dédié** : (*encore appelé le serveur mutualisé*), est un dispositif informatique qui permet le partage de l'espace avec d'autres utilisateurs. De plus, le serveur partagé n'autorise uniquement que ce que l'hébergeur de sites Web a autorisé à faire lors de l'inscription. Autrement dit, cette typologie de serveurs n'autorise pas la modification et la configuration de base ; le changement les langages présents, et même les installations de nouvelles fonctionnalités.

²¹Soulignons que le mot « *serveur* » ne désigne pas une catégorie d'ordinateur, mais un rôle joué par un appareil sur un réseau informatique. Il peut être par ex, une petite boîte, un micro-ordinateur, etc.

²² Le serveur dédié est souvent placé dans un Datacenter (*centre de données*) qui est un bâtiment sécurisé (*systèmes anti-incendie, groupes électrogènes, climatisation redondante, sécurité des accès...*). La possibilité de changer certaines pièces à chaud sans interruption de service est également prévue. Le client peut parfois administrer son serveur à distance en utilisant divers protocoles selon le système d'exploitation du serveur (*SSH pour GNU/Linux et bureau à distance ou Terminal Services pour Windows*).

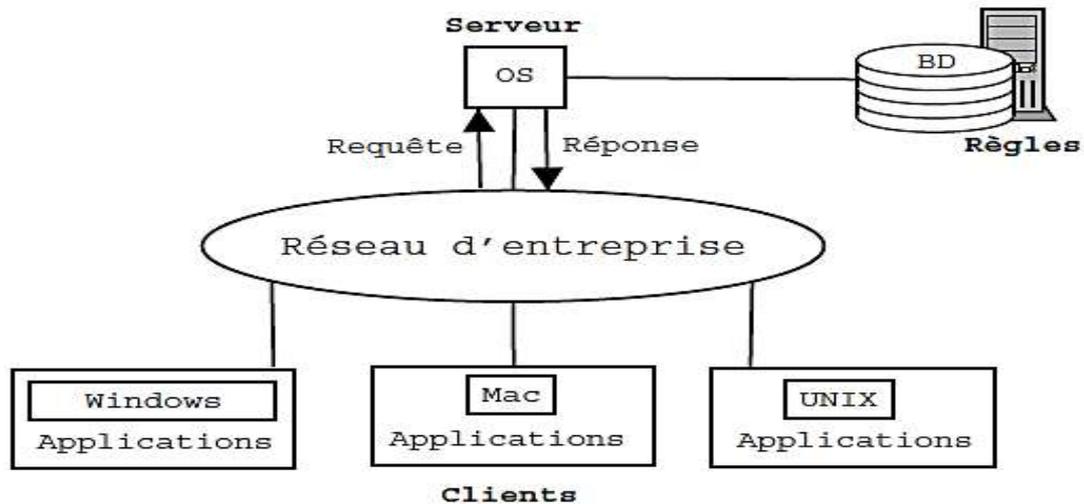


Figure 2. Modèle Client-serveur

D'une façon générale, tous les serveurs ont les caractéristiques suivantes : **Ils attendent** en permanence les requêtes de clients ; **Ils reçoivent** des requêtes d'un ou plusieurs clients ; **Ils traitent** les requêtes et ; **Ils émettent** les réponses aux clients correspondants.

Les principaux serveurs sont :

- **Le serveur Web** : Aussi appelé « **serveur http** » par analogie avec le protocole du même nom... Désigne un dispositif informatique (*soit l'ordinateur, soit le logiciel en lui-même*) qui gère l'accès aux données (*les pages web des sites hébergés + contenu*) dont les navigateurs web (*Internet Explorer, Mozilla Firefox*) jouent le rôle de clients²³... Les serveurs HTTP les plus utilisés sont : **Apache HTTP Server** de *Apache Software Foundation* ; **Internet Information Services (IIS)** de *Microsoft* ; et **Java System Web Server** de *Sun Microsystems*.
- **Le serveur DNS** : (**Domain Name System** ou *système de nom de domaines*), est un serveur qui permet d'établir la correspondance entre **numéro IP** (*Internet Protocol* ou *adresse d'un ordinateur sur le réseau*) et un nom de site Internet²⁴. Cela fonctionne dans les deux sens (**résolution inverse**) et chaque serveur possède une information partielle.

²³D'après l'adresse (par ex. www.google.fr) que vous indiquez, le client se connecte au serveur, demande le code **HTML** de la page, et le reçoit en retour. Le client (navigateur web) interprète ce code et affiche la page.

²⁴Par exemple, vous souhaitez accéder à www.google.fr Votre client se connecte au serveur DNS et envoie l'adresse comme **requête**, Il reçoit comme **réponse** l'adresse IP **209.85.135.47**

→ **Le serveur d'impression** : c'est un serveur qui permet de **partager** une imprimante entre plusieurs (*dizaines / centaines*) d'ordinateurs en satisfaisant toutes les requêtes en temps réel. Le plus courant sous Unix/Linux est **CUPS** (*Common Unix Printing System*)



Figure 3. Modèle Client-serveur d'impression

→ **Le serveur de fichiers** : c'est un serveur qui permet le partage des données à travers un réseau et avoir accès à ses données quel que soit l'ordinateur sur lequel on se connecte. L'accès aux données dans ces genres de serveurs se fait par différents protocoles : Web DAV, SMB, NFS, AppleTalk, CIFS, ...

→ **Le serveur mail** : c'est un serveur qui permet la gestion de la messagerie électronique ou des E-mails (*envoi/réception + stockage*). Plusieurs protocoles sont utilisés dans cette technique de transmission : Emission (*SMTP*) ; Réception : (*IMAP, POP*)... on distinguera alors 2 catégories de clients : **Clients de messagerie**, qui sont des logiciels tels que (*Microsoft Outlook, Mozilla, etc.*) et **les clients Webmail**, qui sont autant des interfaces web tels que (*IMP/Horde, Gmail, Yahoo Mail*).

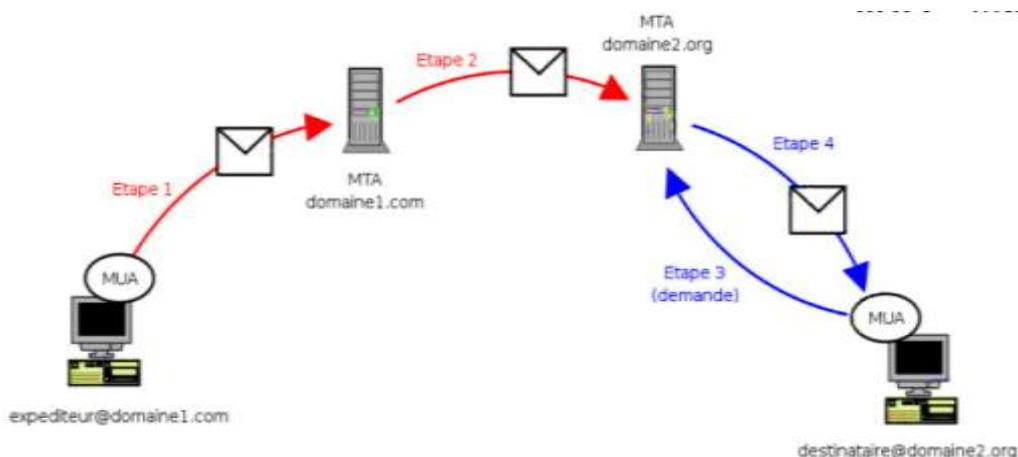


Figure 4. Modèle du serveur mail

→ **Le serveur d'applications** : (Par extension, ce serveur désigne également les applications basées sur le web) est un serveur qui permet de centraliser les applications sur un poste de travail. Ici, Les **utilisateurs** accèdent aux applications via le réseau et les **clients** sont les ordinateurs des utilisateurs : des ordinateurs normaux ou des **clients légers** (ressources matérielles limitées : processeur peu rapide, pas de disque dur).

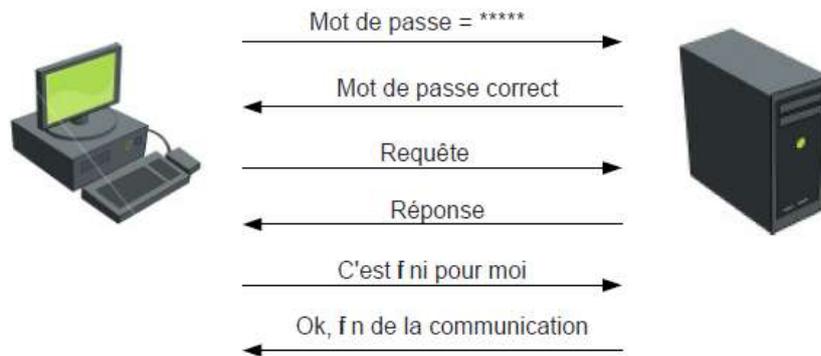


Figure 5. Modèle du serveur d'application

→ **Le serveur de base de données** : est un serveur qui permet la centralisation et l'administration des données (c'est-à-dire, l'ensemble DONNEES + LOGICIEL + MATERIEL). Ainsi **Les données** sont regroupées dans des **tables**, **Le Logiciel**, quant à lui, permet d'accéder à la base de données (interrogation, ajout, mise à jour de données) et enfin, **Le matériel** permet un accès rapide aux données (disque dur rapide) ; Un accès multiple (évidemment), et un accès fiable et sécurisé (comme les autres types de serveurs). Et les langages normalisés de manipulation de Base de Données sont par exemple : **SQL** (Structured Query Language), Microsoft **Access** (bureautique) et **SQL Server** (grands systèmes), **MySQL** (logiciel libre), **Oracle** par Oracle Corporation et **IBM DB2**

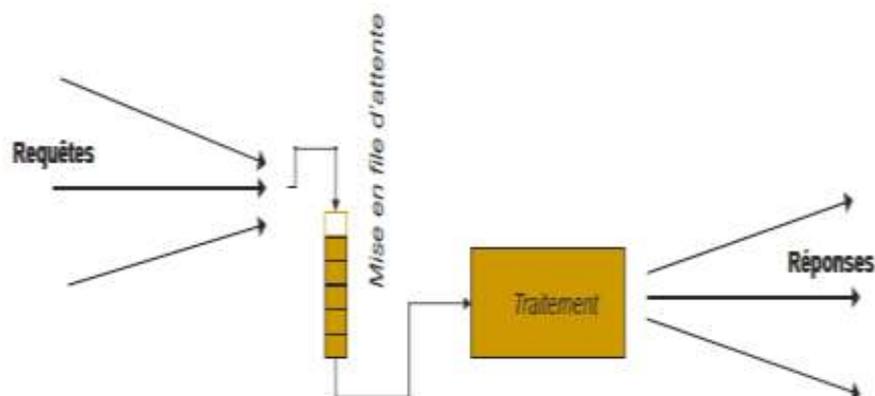


Figure 6. Modèle du serveur de base de données

3. Le système d'exploitation réseau

Il y a encore quelque temps, il fallait ajouter un logiciel réseau au système d'exploitation d'un ordinateur afin que celui-ci puisse être connecté à un réseau. Le logiciel réseau et le système d'exploitation devait être compatible, et il y avait en quelque sorte deux systèmes d'exploitation qui fonctionnaient en même temps sur la même machine, l'un pour gérer les ressources internes de l'ordinateur (*en mode autonome*) et l'autre pour accéder aux ressources externes (*en mode réseau*²⁵). Ainsi, les systèmes d'exploitation se classent en deux catégories :

- ▶ **Les systèmes d'exploitations conçus pour fonctionner sur une machine isolée** (comme par exemple, une station cliente), et alors ils sont construit pour offrir les meilleures performances pour l'application qui tourne en premier plan (*l'application en cours*). Son rôle est de gérer l'allocation et l'utilisation de toutes les ressources de l'ordinateur (*Le temps processeur (CPU), La mémoire de travail, L'exécution des applications, L'espace disque (mémoire de stockage, mémoire de masse ou mémoire morte ROM), La lecture et l'écriture de fichiers, Les ports et les périphériques, Les IRQ*), et coordonne les interactions entre l'utilisateur et les programmes qui sont exécutés sur l'ordinateur.

- ▶ **Les systèmes d'exploitations conçus pour fonctionner en réseau** (comme par exemple un serveur), et alors ils sont construit pour satisfaire toutes les demandes de service qui leur sont adressée en même temps par des clients différents. Leur capacité doit être répartie équitablement selon le nombre d'utilisateurs connectés. Le système d'exploitation réseau est le chef de gare du réseau. Le rôle du système d'exploitation réseau est multiple notamment **administré l'accès des utilisateurs au réseau** : (*créer et gérer les comptes des utilisateurs qui ont accès au réseau, et définir les permissions des utilisateurs et des groupes telles que lire, enregistrer, supprimer, exécuter, ...*) ; **Le partage des ressources** : (*définir le degré de partage des ressources tels que les documents et les périphériques*) ; **La surveillance du réseau** : (*Les performances, QoS, et La sécurité*).

²⁵ Unix est le premier né des systèmes d'exploitation réseaux, il a été conçu à la fin des années 1960, sous le nom de **Multix** (*pour multi utilisateurs*), dans les laboratoires de la société américaine Bell AT et T. NetWare de Novell (*son fondateur Ray Noorda*) est le premier système d'exploitation réseau « grand public » (1980). Par exemple, MICROSOFT LAN MANAGER ajoutait des fonctionnalités réseaux à des systèmes d'exploitation comme MS-DOS, UNIX, OS/2. Depuis 1995, les systèmes d'exploitation modernes de Microsoft intègrent les fonctionnalités réseaux.

Il existe plusieurs éditeurs de systèmes d'exploitation réseaux (*NOS pour Network Operating system en anglais*) : **Les systèmes UNIX propriétaires** : (*Unix/SCO de Santa Cruz Operation, SCO Open Server, SCO Open Desktop, SOLARIS de SUN...*) ; **Les systèmes LINUX libres, ouverts, accessibles et disponibles de Linus Torvalds et de la grande communauté Internet:**(*Mandriva, RedHat, Suse, Corel, Debian, Caldera, Slackware...*) ; **Les systèmes BSD libres, ouverts et gratuits** :(*Net BSD, FreeBSD, OpenBSD...*) ; **Le système de Novell** : (*NetWare...*) ; **Les systèmes de Microsoft** :(*Windows 3.11, Windows 95 et 98, Windows NT, Windows NT Server, Windows NT Workstation, Windows 2000, Windows XP, Windows serveur 2003, 2008, ...*) ; **Les systèmes APPLE** :(*MACINTOSH d'Apple, MAC OS 7, 8, 9, 10...*) ; **Les autres systèmes** : (*OS/2 d'IBM, LANtastic d'Artisoft, Banyan VINES, LAN Manager d'IBM*)...

3.1. Les composants d'un système d'exploitation réseau

Un réseau est composé d'au moins deux ordinateurs, un serveur et un client (*dans une organisation de type Client/serveur*). Les deux ordinateurs peuvent être à la fois client et serveur (*dans une organisation de type postes à postes*). Quoi qu'il en soit, des fonctionnalités réseaux doivent être installées à la fois sur les postes clients et sur les postes serveurs. Le système d'exploitation réseau peut être en quelque sorte divisé en deux parties, la partie pour le client, et la partie pour le serveur. Le « **logiciel client** » est appelé le « **redirectionneur (REDIRECTOR)**²⁶ » et permet à un ordinateur d'accéder au réseau. Le « **logiciel serveur** » est appelé un « **SERVICE** » et permet à un serveur d'accepter les demandes (*ou les requêtes*) des clients :

²⁶Le redirectionneur (*REDIRECTOR*) redirige les requêtes réseaux vers le réseau. Selon le système d'exploitation réseau, le redirectionneur est appelé par d'autres noms : « **L'interpréteur de commande (SHELL)** » ou « **Le requêteur (REQUESTER)** ». Le redirectionneur intercepte les commandes effectuées par l'utilisateur et détermine si elles sont locales ou réseau. Quand une commande est une requête réseau, le redirectionneur la redirige vers le réseau. Le redirectionneur doit connaître les désignations associées aux ressources du réseau. Par exemple, avec WINDOWS NT, un répertoire partagé sur un serveur est identifié chez le client par une lettre de l'alphabet. La lettre est attribuée par le gestionnaire de fichier quand le client y accède pour la première fois, et la lettre figure dans l'arborescence du client jusqu'à ce que celui-ci décide d'interrompre l'association entre ce disque virtuel et la ressource partagée. Lors de l'ouverture d'une session réseau, le gestionnaire de fichier vérifie les associations réseaux qui sont en cours. Le redirectionneur peut envoyer une requête à un périphérique réseau. Par exemple, si le port LPT1 est associé à une imprimante réseau, alors, le redirectionneur intercepte les commandes d'impression et les redirige vers le périphérique d'impression réseau. Ainsi, le redirectionneur permet aux utilisateurs de ne pas s'occuper de l'emplacement des ressources du réseau (*que se soient un fichier, un répertoire ou un périphérique*).

Les composants d'un système d'exploitation réseau		
	LE CLIENT	LE SERVEUR
Partie du SER	Le logiciel client	Le logiciel serveur
Fonctionnalités	L'accès au réseau	Accepte les requêtes des clients
Nom	Le redirecteur	Le service

Tableau 1. Composants d'un SER.

Remarquez tout de même que Le système d'exploitation réseau WINDOWS NT WORKSTATION intègre à la fois le logiciel client et le logiciel serveur. Les ordinateurs qui en sont équipés bénéficient des fonctionnalités réseaux des clients et des serveurs.

3.2. Le processus d'une requête d'un client vers un serveur

Le processus d'une requête d'un client vers un serveur se décompose en plusieurs étapes :

- L'utilisateur travail en mode autonome sur son ordinateur et exécute une commande pour demander à l'ordinateur d'effectuer une tâche réseau. La commande est interceptée par le redirecteur avant d'emprunter le bus local de l'ordinateur pour aller vers le processeur. Le redirecteur interprète cette commande comme une requête réseau et la redirige vers le réseau. La requête circule sur le réseau jusqu'au serveur.
- Le service réseau du serveur accepte la requête du client, la traite et renvoi la réponse sur le réseau. La réponse du serveur circule sur le réseau jusqu'au client. L'ordinateur client reçoit la réponse et la transmet au bus local pour l'afficher sur le moniteur. L'utilisateur médite la réponse du serveur...

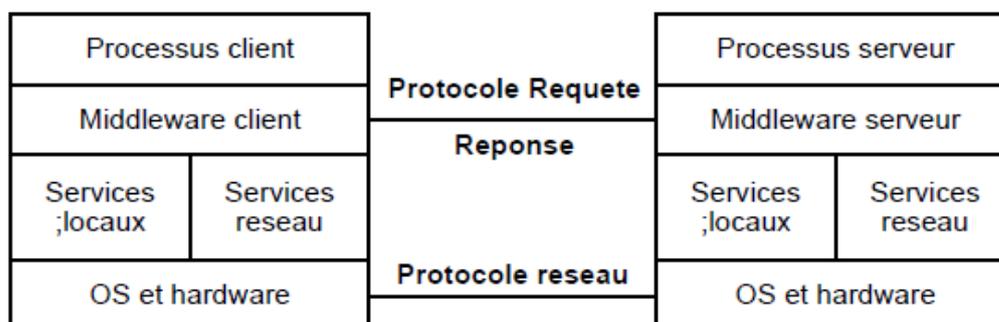


Figure 7. Processus d'une requête d'un Client vers un serveur

I.5.2. Constituants matériels d'un réseau

Pour mettre en place un réseau informatique, plusieurs équipements informatiques « *aussi appelé équipements d'interconnexion*²⁷ » sont mis en jeux. La plupart de ces équipements sont des équipements d'interconnexion. Chacun de ces équipement joue un rôle spécifique, par exemple prendre un message qui ne lui est pas destiné pour l'acheminer correctement, prendre un message pour l'amplifier et le remettre... Les principaux types de composants d'interconnexion sont :

1. Ordinateur (PC)

Un ordinateur est un équipement d'interconnexion informatique comprenant les organes nécessaires à son fonctionnement autonome, qui assure, en exécutant les instructions d'un ensemble structuré de programmes, le traitement rapide de données codées sous forme numérique qui peuvent être conservées et transmises.



Schéma d'un ordinateur

2. Les câbles

C'est un ensemble de fils conducteurs isolés les uns des autres que servent à transporter des données ou de l'électricité.

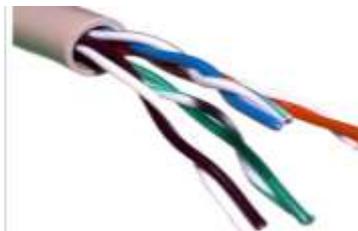


Schéma d'un câble réseau

²⁷Les équipements d'interconnexion d'un réseau informatique sont les briques constitutives des réseaux informatiques physiques. Alors que, L'interconnexion des réseaux c'est la possibilité de faire dialoguer plusieurs sous réseaux initialement isolés, par l'intermédiaire de périphériques spécifiques (*récepteur, concentrateur, pont, routeur, modem*), ils servent aussi à interconnecter les ordinateurs d'une organisation, d'un campus, d'un établissement scolaire, d'une entreprise. Il est parfois indispensable de les relier.

3. La carte réseau

Une **carte réseau** (*en anglais Network Interface Card « NIC »*) est un ensemble de composants électroniques soudés sur un circuit imprimé appelé « *une carte électronique* », d'où le nom de « *carte réseau* ». La carte réseau assure l'interface entre l'équipement ou la machine dans lequel elle est montée et connectés sur le même réseau. La carte réseau, c'est aussi une carte d'extension à insérer dans un slot libre de l'ordinateur. Elle permet de relier un **Ordinateur** à d'autres ressources connectées sur le même réseau. Les ordinateurs communiquent sur le réseau au moyen de signaux qui respectent certaines normes.

La carte réseau constitue l'interface physique entre l'ordinateur et le support de communication (*câble réseau*). Pour qu'un ordinateur soit mis en réseau, il doit être muni d'une carte réseau. Les données transférés du câble à la carte réseau sont regroupés en paquet composé d'une entête qui contient les informations d'emplacement et des données d'utilisateurs. Souvent la carte réseau est intégrée dans la carte mère. ***Elle a pour fonction de préparer, d'envoyer et de contrôler le flux de données sur le réseau.*** Elle sert aussi à traduire les données venant du câble en octets afin que l'Unité Centrale de l'ordinateur les comprenne. Par ailleurs, chaque carte dispose d'une adresse unique, appelée **adresse MAC**, qui permet de l'identifier parmi toutes les autres cartes réseau. Cette adresse lui est attribuée par son fabricant et est inscrite sur la puce de la carte. Lorsqu'elle fonctionne, la carte **indique son adresse au reste du réseau** pour pouvoir être identifiée. (***Il faut bien noter que la carte réseau ne fait pas partie des équipements d'interconnexion des réseaux a proprement parlé.***)



Schéma d'une carte réseau

4. Repeater (Répéteur)

Un **répéteur** est un dispositif électronique et informatique combinant un récepteur et un émetteur, qui compense les pertes de transmission d'un média (*ligne, fibre, radio*) en amplifiant la limite de distance d'un réseau, limitée à 100 m, entre deux interfaces réseaux sans modifier son contenu. Le signal reçu est amplifié mais perd en qualité. Dans le domaine des télécommunications, un **répéteur** (*En anglais **Repeater***) désigne un canal de modulation exploité dans les transmissions radio, de télévision et de données numériques qui véhicule des signaux exploités dans d'autres fréquences d'émission.

Etant donné que, Les câbles ont une distance maximale de fonctionnement due à l'affaiblissement du signal, le répéteur a pour rôle de régénérer ce signal entre deux nœud du réseau, afin d'étendre la distance du câblage. Le répéteur est un équipement électronique simple permettant d'amplifier un signal et d'augmenter la taille d'un réseau. Ce n'est pas un organe intelligent capable d'apporter des fonctionnalités supplémentaires, il ne fait qu'augmenter la longueur du support physique. Il travaille uniquement au niveau 1 du modèle OSI (*couche physique*), et qui ne nécessite aucune administration. On distingue deux catégories du répéteur :

- ✘ **Le répéteur Stand-Alone:** Les débits sur les deux câbles doivent être les même.
- ✘ **Le répéteur Store and Forward:** Avec mémoire, il supporte les vitesses différentes sur les différents tronçons.



Schéma d'un répéteur filaire & non filaire

5. Hub (Concentrateur)

Le concentrateur appelé « **Hub** en anglais » est un équipement physique à plusieurs ports qui opère au niveau 1 du modèle OSI (*couche physique*), il a pour but de **concentrer le trafic réseau provenant de plusieurs hôtes, de régénérer le signal et de récupérer les données binaires provenant d'un port et de les diffuser sur l'ensemble des ports** ». En général, les concentrateurs possèdent 4 ports, 8 ports, 16 ports, 32 ports et le choix de port dépend du nombre de réseau et ils sont dotés d'un **port spécial** appelé « **uplink** » ; On distingue deux catégories du concentrateur: **Le Hub Actif « régénérateur »**: (*Il est alimenté électriquement, permettant de régénérer « corriger » le signal sur les différents ports.*) ; **Le Hub Passif « concentrateur »**: (*Diffuser le signal à tous les hôtes sans amplification*).

En utilisant un hub, chaque équipement attaché à celui-ci partage le même domaine de diffusion ainsi que le même domaine de collision (*Une collision est détectée quand le paquet n'est plus compréhensible par les interfaces réseau*). Comme dans tout segment de réseau Ethernet, une seule des machines connectées peut y transmettre à la fois. Dans le cas contraire, une collision se produit, les machines concernées doivent retransmettre leurs trames après avoir attendu un temps calculé aléatoirement par chaque émetteur. Dans un réseau, nous ne pouvons qu'interconnecter au maximum que 4 hubs Ethernet séparés par un câble de 100 mètres (*distance maximale entre deux hubs*), soit 500 mètres de câble. L'interface réseau envoie d'abord un préambule de synchronisation avant d'envoyer le paquet afin de limiter le nombre de collisions. Le concentrateur possède deux types de ports ou connecteurs physiques :

- ▶ les ports pour la connexion des machines ;
- ▶ le port pour extension du réseau auquel se connecte un autre concentrateur (*il n'y en a généralement qu'un seul par concentrateur*). Ce type de port est identique au précédent à l'exception du câblage qui est inversé (*on peut aussi utiliser un câble à connecteur RJ45 croisé pour y connecter un ordinateur supplémentaire*).

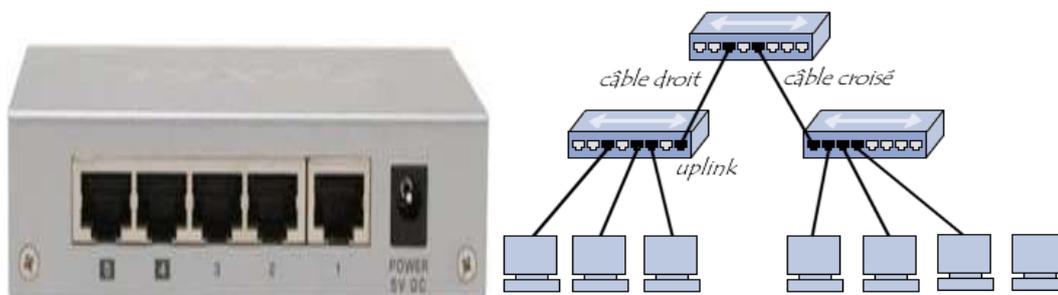


Schéma d'un concentrateur

6. Bridge (Pont)

Les ponts sont des équipements d'interconnexion permettant de relier des réseaux travaillant avec le même protocole. Quand il reçoit la trame, il est en mesure d'identifier l'émetteur et le récepteur ; comme ça il dirige la trame directement vers la machine destinataire. Ils travaillent au niveau logique c'est-à-dire au niveau de la couche 2 du modèle OSI (*couche liaison des données*). Sa fonction est d'interconnecter deux segments de réseaux distincts, soit de technologies différentes, soit de même technologie, mais physiquement séparés à la conception pour diverses raisons (*géographique, extension de site etc.*), pour cela il filtre les informations en circulation dans un réseau en empêchant celles destinées aux LAN de se retrouver au dehors.



Schéma d'un pont

7. Switch (Commutateur)

Le commutateur appelé « *Switch en anglais* », est un équipement multiport comme le concentrateur. Il sert à relier plusieurs équipements informatiques entre eux. Sa seule différence avec le hub, c'est sa capacité de connaître l'adresse physique des machines qui lui sont connectés et d'analyser les trames reçues pour les diriger vers la machine de destination, et les filtre pour aiguiller sur les ports adéquats. Il dispose d'une table d'adresses MAC des machines connectés, et qui opère au niveau 2 du **modèle OSI** (*couche liaison de données*)

Le commutateur est une variante du pont (*bridge*). On appelle parfois « *pont multiport* ». Il possède des *acheminements sélectifs des informations* vers certaines machines du réseau en utilisant les adressages correspondants. Par contre le hub réalise *un acheminement non sélectif des informations sur le réseau*. Toutes les machines reçoivent les mêmes informations, seules celles qui reconnaissent leur adresse effectuent la tâche qui leur incombe. Cette technique s'appelle aussi « *diffusion des données dans un réseau* ». C'est une technique facile à mettre en œuvre mais elle devient inadaptée, lorsque le nombre de machine devient important et supérieur à 10. On distingue deux grandes catégories de commutateurs :

- ✘ **Les commutateurs store and Forward** : ce sont des commutateurs qui stockent toutes les trames avant de les envoyer vers le port adéquat. Avant de stocker un paquet, un commutateur exécute diverses opérations, allant de la détection des erreurs (*la construction de table d'adresses*), jusqu'aux fonctions applicables au niveau 3 du modèle OSI (*couche de réseau*) tel que le filtrage au sein d'un protocole. Ces genres de commutateurs sont utilisés dans les environnements mixtes (*du type client-serveur*) puisqu'ils ne propagent pas d'erreurs et acceptent le mélange de différents medias (*cuivres, fibres, ...*) et les mélanges de débits (*Ethernet 10 & 100megabits/s*).
- ✘ **Les commutateurs Cut Through** : ce sont des commutateurs qui analysent l'adresse MAC de destination (*placer au début de chaque trame*) puis redirigent le flot des données sans autre forme de procès. Ici, l'adresse source est préalablement stockée dans une table avant que le commutateur prenne la décision de transférer le paquet d'information vers un autre port.



Schéma d'un commutateur

8. Gateway (Passerelle)

La passerelle est un système matériel et logiciel qui sert à relier deux réseaux utilisant deux protocoles ou architectures différentes (*tel que un LAN et internet*). Il joue le rôle de traducteur « *une interprète* » dans un autre langage (*c'est un traducteur de protocoles du Niveau 7 et 3 du modèle OSI (couche d'application) et des couches moyennes (TCP/IP)*). C'est par exemple, Lorsque un utilisateur distant contact un réseau Internet, celui-ci examine sa requête, et si celle-ci correspond aux règles que l'administrateur réseaux a défini, la passerelle crée un pont entre les deux réseaux. Les informations ne sont pas directement transmises, elles sont plutôt traduites pour assurer la transmission tout en respectant les deux protocoles.

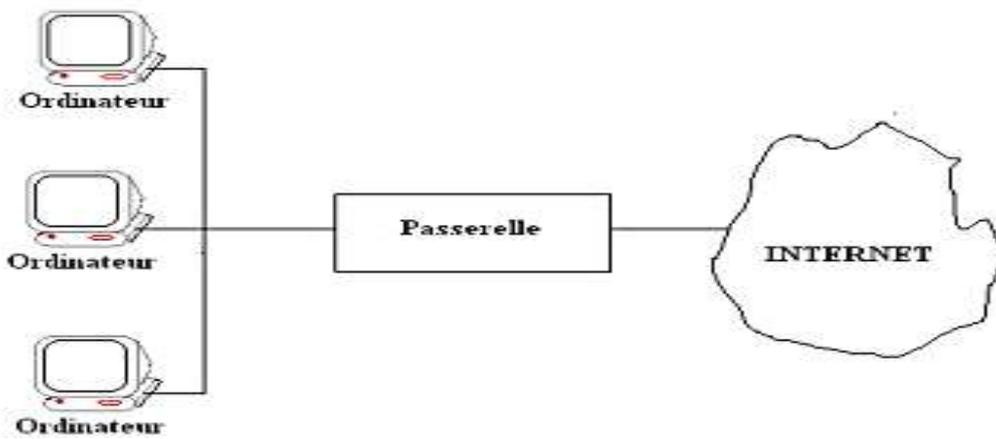


Schéma d'une passerelle dans un LAN & Internet

9. Router (Routeur)

Le routeur est un dispositif d'interconnexion de réseaux informatiques permettant d'assurer le routage ou l'acheminement des paquets, le filtrage et le control du trafic entre deux réseaux ou plus, afin de déterminer le chemin qu'un paquet de données va emprunter. Le terme « *router* » signifie emprunter une route. Le « *routage* » est la fonction qui consiste à trouver le chemin optimal que va emprunter le message depuis l'émetteur vers le récepteur.

Il opère au niveau 3 du **modèle OSI** (couche réseau), et il intervient surtout dans *la régulation du trafic dans les grands réseaux*. Il analyse et peut prendre des décisions (*c'est un équipement intelligent*). Son rôle principal consiste à examiner les paquets entrants, à choisir le meilleur chemin pour le transporter vers la machine destinataire. On peut relier un routeur à un ordinateur afin de permettre sa configuration (mot de passe, type de réseau). Le routeur est intelligent parce qu'il est doté: *d'une mémoire, d'un programme (algorithme), et d'un Logiciel d'exploitation*.



Schéma d'un Routeur filaire et Wi-Fi

10. B-routeur (Pont-routeur)

Le B-routeur(en anglais *b-routeur*, pour *bridge-routeur*), est un routeur hybride multi-protocoles associant les fonctionnalités d'un pont (*pour les protocoles non routables*) et d'un routeur (*pour les protocoles routables*)... Ainsi, ce type de matériel permet de transférer d'un réseau à un autre les protocoles non routables et de router les autres. Plus exactement, le B-routeur agit en priorité comme un pont et route les paquets si cela n'est pas possible.



Schéma d'un B-routeur

11. Proxy

En réseau informatique, un proxy appelé « *serveur proxy ou serveur mandataire* » est souvent une machine et/ou logiciel servant de liaison entre une machine cliente et le serveur. La plupart des cas, le serveur proxy est utilisé entre un réseau local et internet. Le rôle principal d'un proxy est d'assurer l'accélération de la navigation, la journalisation des requêtes, la sécurité du réseau local, le filtrage et l'anonymat. La plupart du temps le serveur proxy est utilisé pour le web, il s'agit alors d'un proxy HTTP. Toutefois il peut exister des serveurs proxy pour chaque protocole applicatif (*FTP, ...*).

Le principe de fonctionnement basique d'un serveur proxy est assez simple : il s'agit d'un serveur « *mandaté* » par une application pour effectuer une requête sur Internet à sa place. Ainsi, lorsqu'un utilisateur se connecte à internet à l'aide d'une application cliente configurée pour utiliser un serveur proxy, celle-ci va se connecter en premier lieu au serveur proxy et lui donner sa requête. Le serveur proxy va alors se connecter au serveur que l'application cliente cherche à joindre et lui transmettre la requête. Le serveur va ensuite donner sa réponse au proxy, qui va à son tour la transmettre à l'application cliente.

12. Le modem

Le modem (*Modulateur - DEModulateur*) est un équipement électrique qui effectue une double conversion des signaux (*analogique-numérique*) dans le sens de la ligne téléphonique vers l'ordinateur et (*numérique-analogique*) dans le sens de l'ordinateur vers la ligne téléphonique. Il est à noter que la plupart des ordinateurs sont munis des modems intégrés. Il est surtout caractérisé par son débit binaire qui peut être de 512Kbits/s, 256Kbits/s, 56Kbits/s. Il permet à un ordinateur d'accéder au réseau Internet à partir d'une ligne téléphonique classique.

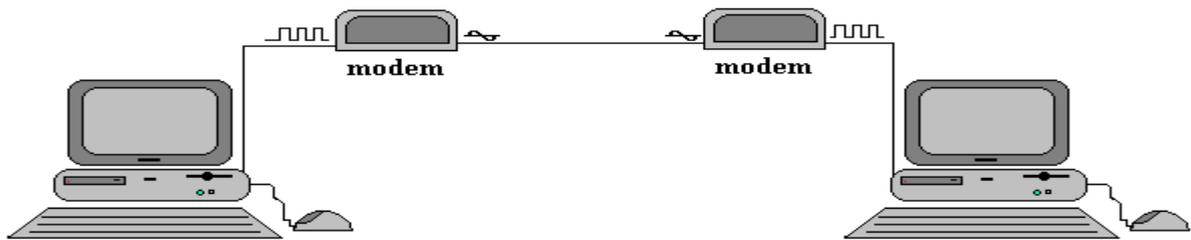


Schéma d'une transmission via un Modem

13. Le MAU

Le MAU (*Medium Access Unit*), est un équivalent de Hub utilisé en « Token ring ». Sa seule différence avec le Hub, c'est sa capacité d'isoler le circuit non utilisé. Il travaille au niveau physique du modèle OSI.

14. Vsat

Les réseaux de communications par satellite utilisent une station relais dans l'espace (*le satellite*) servant à relier (*au moins*) deux émetteurs/récepteurs hertziens au sol, communément appelés stations terrestres ou stations au sol. Les petites stations terrestres équipées d'antennes dont la taille est comprise en général entre 0,96 m et 2,4 m de diamètre sont appelées « *terminaux à très petite ouverture* » ou VSAT.

I.6. CLASSEMENT DES RESEAUX INFORMATIQUES

Apparentes classes de réseaux peuvent être dénombrées et les critères de classification de réseaux abondent. Généralement, Il n'est Pas facile de classer ou de catégoriser les réseaux car les critères sont variés ; néanmoins les réseaux peuvent être classés selon :

- ▶ *les domaines d'application,*
- ▶ *les distances couvertes,*
- ▶ *les débits,*
- ▶ *la mobilité (Mode de transmission)*

I.6.1. Classement des réseaux informatiques selon les domaines d'application

La considération de champ d'activités et d'Operations qui fait correspondre les grands domaines d'utilisation des réseaux, permet de distinguer plusieurs les catégories distinctes. Ainsi, En général, les critères de choix pour tenir compte du domaine d'applications sont :

- ▶ *la fiabilité et la disponibilité (exigées en particulier par les applications critiques),*
- ▶ *la possibilité de fonctionner dans des environnements difficiles (exigée particulièrement par les applications industrielles et embarquées),*
- ▶ *la mobilité, et l'autonomie (en énergie),*
- ▶ *le débit et le coût de connexion (exigé surtout pour les applications grand public).*

Dans ce classement, nous retrouvons les sous catégories des réseaux suivants :

- ✘ *Les Réseaux bureautiques* : utilisés pour la communication de données au sein d'une entreprise, d'une université ou d'une administration pour l'échange d'informations, de documents, etc.
- ✘ *Les Réseaux industriels* : utilisés pour l'échange de données entre systèmes de commande d'une installation industrielle (un complexe pétrochimique, un laminoir ou une usine de montage de véhicules par exemple).

- ✘ **les Réseaux embarqués** : utilisés dans les robots, les voitures, les trains, les avions, les engins spatiaux, etc.
- ✘ **les Réseaux militaires** : utilisés par les systèmes de commandement militaire.
- ✘ **les Réseaux de télécommunications** : utilisés pour la communication de la voix (réseaux téléphoniques).
- ✘ **les Réseaux domestiques** : utilisés pour la communication dans les maisons et appartements (*pour raccorder, par exemple, des appareils électroménagers, la centrale d'alarme, le système de chauffage, la télévision et le système d'éclairage*).
- ✘ **les Réseaux pour le bâtiment** : utilisés essentiellement pour la vidéosurveillance de bâtiments, la distribution de chaînes de télévision ou de radio, le relevé à distance des compteurs d'électricité et du gaz, etc.
- ✘ **les Réseaux personnels** : utilisés par une personne pour le raccordement de plusieurs appareils appartenant à un même individu, famille ou groupe.
- ✘ **les Réseaux de corps/vêtement (body/wear)** : réseaux portés par des personnes (*raccordement d'appareils téléphoniques, de musique, RFID « Radio frequency Identification », implants...*)

I.6.2. Classification des réseaux selon les distances couvertes et la taille

Les réseaux peuvent interconnecter des équipements distants de quelques centimètres (*ou moins*) à quelques milliers de kilomètres (*voire plus*). Ainsi, on distingue les cinq classes de réseaux suivantes :

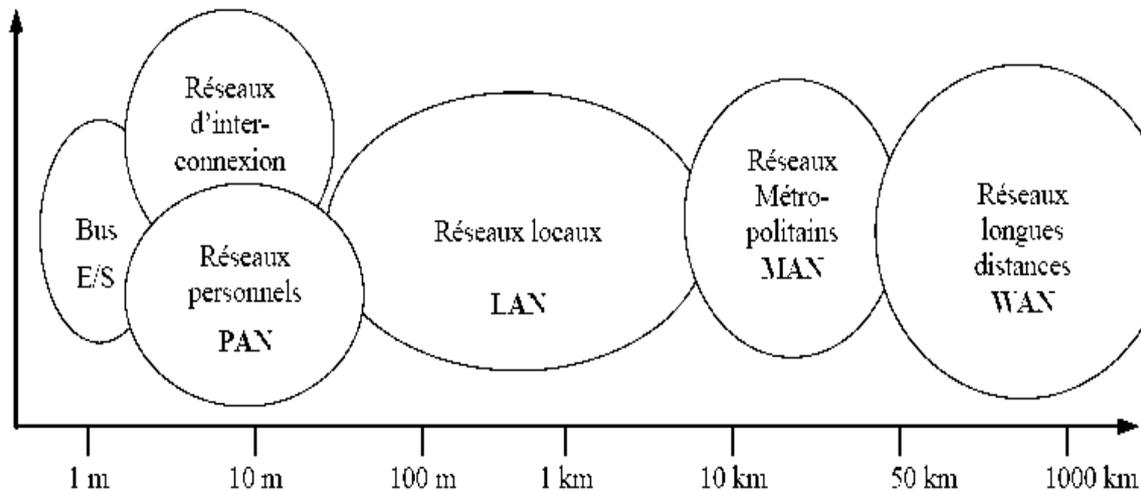


Figure 8. Différentes Catégories des réseaux selon la distance et la taille

- ✘ **Les Bus de ordinateur** : la communication entre l'unité centrale d'un ordinateur et ses différents organes (*clavier, imprimante, etc.*) se fait via un bus. Même si le bus d'un ordinateur n'est pas un réseau au sens communément utilisé pour parler de réseaux, c'est un moyen de communication avec ses propres protocoles.
- ✘ **Les Réseaux d'interconnexion dans les multiprocesseurs** : dans une architecture multiprocesseur, les différents processeurs (dont le nombre peut dépasser le millier) sont reliés les uns aux autres et aux blocs de mémoire par un réseau d'interconnexion. Même si leur longueur est relativement faible, les réseaux d'interconnexion s'apparentent (par leurs structures et leurs protocoles) aux autres réseaux.
- ✘ **Les Réseaux personnels (appelés aussi PAN : « Personal Area Networks »)** : ils permettent l'interconnexion d'un nombre réduit d'équipements appartenant à un même utilisateur. Un PAN (comme Bluetooth, HomeRF ...), Ils permettent le raccordement d'imprimante, unité de stockage... sur une distance de quelques mètres et permet ainsi d'éviter d'avoir des câbles partout (10 à 100m).

- ✘ **Les Réseaux locaux (appelés aussi LAN ou RLE (« Local Area Networks »)) :** ils permettent d'assurer l'interconnexion d'équipements au sein d'un site géographiquement limité à quelques kilomètres (100 à 1000m ou soit 1km), c'est par exemple : un campus universitaire, un hôpital, une usine ou un laboratoire... ces genres des réseaux utilisent **Ethernet, Token Ring, Wi-Fi, HipperLan**
- ✘ **Les Réseaux métropolitains (appelés aussi MAN (« Metropolitan Area Networks »)) :** ils sont utilisés pour l'interconnexion au sein d'une agglomération urbaine (interconnexion de sites universitaires ou d'une entreprise par exemple) ...ces genres des réseaux utilisent **FDDI, DQDB, ATM, Wi-Max...**
- ✘ **Les Réseaux longue distance (appelés aussi WAN ou RLD (« Wide Area Networks »)) :** comme leur nom l'indique, ces réseaux permettent de transporter des données sur de longues distances, entre pays ou entre continents. Ces réseaux utilisent des infrastructures au niveau du sol et des satellites... Pour permettre à un équipement raccordé physiquement à un réseau d'accéder à des équipements raccordés à d'autres réseaux, on utilise des équipements d'interconnexion (*que l'on appelle des ponts, des routeurs ou des passerelles selon le type de service qu'ils offrent*).

Ainsi, aux yeux de l'utilisateur, un réseau peut avoir des limites qui dépassent de très loin le contexte de son réseau physique. L'exemple typique aujourd'hui est le réseau Internet où l'on peut accéder de n'importe où à un nombre quasi-infini d'informations. En réalité, Internet est un réseau de réseaux... ces genres des réseaux utilisent **RNIS, IP, ATM, WATM, GSM,...**

I.6.3. Classification des réseaux selon les débits

Le débit d'un réseau désigne le nombre de bits qu'un équipement peut transmettre au maximum par seconde. Il est exprimé *kb/s (kilo bits par seconde)*, *Mb/s* (méga bits par seconde) ou *Gb/s* (giga bits par seconde). Comme pour la vitesse des processeurs, le débit des réseaux ne cesse d'augmenter. Il était de quelques centaines de bits/s fin des années 1960. Aujourd'hui, le débit de certains réseaux se chiffre en Gb/s. Pour tenir compte du débit offert, les réseaux sont regroupés en trois catégories :

- ▶ **Réseaux à faible débit (ou basse vitesse) :** leur débit est de quelques dizaines ou centaines de kb/s. De tels réseaux tendent à disparaître, étant donné les exigences de plus en plus fortes en termes de débit dans tous les domaines.

- ▶ **Réseaux haut débit** : leur débit varie de quelques Mb/s à 100 Mb/s. Des réseaux comme FDDI, DQBD, Fast Ethernet font partie de cette classe.
- ▶ **Réseaux très haut débit** : leur débit dépasse la centaine de Mb/s et peut atteindre aujourd'hui des Gb/s.

Ces réseaux sont essentiellement destinés à l'interconnexion d'agglomérations, à la distribution de chaînes de télévision et radio, à l'accès rapide à Internet. Des réseaux comme ATM entrent dans cette catégorie. On notera que les applications les plus « gourmandes » en débit sont généralement celles où il y a des échanges d'images fixes ou animées.

I.6.4. Classement des réseaux selon la mobilité (Ou le Mode de transmission)

La technologie du mobile a envahi le domaine des télécommunications et s'impose comme moyen performant pour la téléphonie. Elle s'installe petit à petit pour remplacer le câblage filaire dans les systèmes informatiques. Ce qui conduit à distinguer aujourd'hui deux classes de technologie de réseaux :

- ▶ **Réseaux filaires** : ils utilisent des câbles pour raccorder les équipements au réseau. La mobilité des équipements est extrêmement limitée, voire impossible.
- ▶ **Réseaux sans fil** : les équipements émettent et reçoivent en utilisant des antennes, ce qui leur permet de se déplacer (*ou d'être déplacés*), sans interruption de la communication. L'étendue de la mobilité dépend de l'infrastructure utilisée (*types d'ondes utilisées, nombre de relais, puissance des relais, etc.*). Dans les réseaux sans fil on distingue deux classes :

⇒ Les réseaux avec infrastructure (*ceux sont les réseaux utilisant des points d'accès*).

⇒ Les réseaux ad hoc ou sans infrastructure.

CHAPITRE II. TOPOLOGIES ET COMMUNICATIONS DES RESEAUX INFORMATIQUES

II.1. TOPOLOGIES DES RESEAUX

Une **topologie**²⁸ **de réseau** informatique correspond à l'architecture (*physique ou logique*) de celui-ci, définissant les liaisons entre les équipements du réseau et une hiérarchie éventuelle entre eux. Autrement, Elle définit la façon dont les équipements sont interconnectés et la représentation spatiale du réseau c'est-à-dire du point de vue de l'emplacement des matériels : câbles, postes, dispositifs de connectivité (*topologie physique*) ; Ou la façon dont les données transitent dans les lignes de communication c'est-à-dire du point de vue du parcours de l'information entre les différents matériels, (*topologies logiques*). Bref, *La topologie* est tout simplement une représentation d'un réseau.

II.1.1. Topologie physique

Une topologie physique est en fait la structure physique de votre réseau. C'est donc la forme, ou l'apparence du réseau. La topologie d'un réseau peut avoir une extrême importance sur l'évolution du réseau, sur son administration, et sur les compétences des personnels qui seront amenés à s'en servir. Les différentes topologies de réseaux sont les suivantes : **En bus**, **En étoile**, **En arbre (hiérarchique)**, **Maillé**, **En anneau**, **Les réseaux mixtes** : (*En bus-étoile, En anneau-étoile*).

Physiquement, les réseaux en bus, en étoile et en anneau peuvent se ressembler beaucoup parce qu'ils peuvent être tous organisés autour d'un **boîtier**. Selon la topologie, le boîtier contient un bus, un concentrateur ou un anneau. D'une manière plus générale, la représentation d'un réseau peut s'établir en fonction de la circulation de l'information. D'un point de vue Client-serveur, les rôles sont bien définis et bien séparés. Ainsi, un réseau peut être « *centralisé* », « *répartis* » ou « *distribués* » bien que ces notions soient relatives et souples.

²⁸ En général, la topologie représente la disposition physique de l'ensemble des composants d'un réseau. La topologie d'un réseau est aussi appelée le **schéma** de base, l'**architecture** ou le **plan**... La topologie d'un réseau se représente souvent par un **dessin** qui réuni l'ensemble des postes, des périphériques, du câblage, des routeurs, des systèmes d'exploitation réseaux, des protocoles, etc....

A. Les réseaux en bus

Les réseaux en bus sont aussi appelés (*réseaux en bus linéaire, épine dorsale ou backbone*). Les différents postes ou périphériques du réseau sont reliés à un seul et même câble (*tronçon « trunk », segment*). A toutes les extrémités du câble est fixé un bouchon, un terminateur. La topologie en bus est dite « **topologie passive** » parce que le signal électrique qui circule le long du câble n'est pas régénéré quand il passe devant une station.

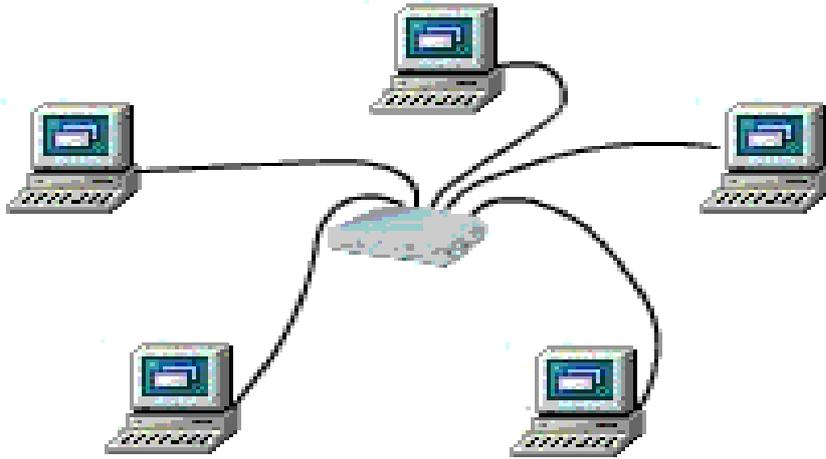


Les réseaux en bus sont **simples**, peu coûteux, facile à mettre en place et à maintenir. Si une machine tombe en panne sur un réseau en bus, alors le réseau fonctionne toujours, mais si le câble est défectueux alors le réseau tout entier ne fonctionne plus. Le bus constitue un seul segment que les stations doivent se partager pour communiquer entre elles.

B. Les réseaux en étoile

Dans un réseau en étoile chaque poste est relié au réseau par l'intermédiaire de son propre câble à un concentrateur (*un hub*). **Les concentrateurs** s'appellent différemment selon la topologie à laquelle ils appartiennent (*les switches, les commutateurs, les MAU ne concernent que les réseaux en anneau de type Token Ring*), et les termes employés par les spécialistes peuvent également être utilisés indifféremment. Les concentrateurs sont dénommés différemment selon leurs fonctionnalités :

- ▶ **Les HUB** sont de simples concentrateurs qui régénèrent le signal et le transmettent à tous les ports (*ceux sont des répéteurs*).
- ▶ **Les SWITCH** sont des HUB améliorés qui peuvent transmettre des données simultanément entre plusieurs couples de stations (*des répéteurs plus efficaces*).
- ▶ **Les commutateurs** segmentent le réseau et filtrent les paquets.



Quand un des ports d'un concentrateur est inoccupé, alors le concentrateur le court-circuite automatiquement afin que le réseau ne soit pas coupé (*à contrario d'un réseau en bus qui ne fonctionne plus si une station est déconnectée*). Il existe des « **HUB administrables** » qui permettent de segmenter le réseau.

Les concentrateurs sont essentiellement un segment à l'intérieur d'une boîte. Il existe de vieux concentrateurs à « **média partagé** » qui sont « mono segment » (*le réseau est constitué d'un seul segment logique*), et les nouveaux concentrateurs (*on parle plus facilement de commutateurs*) qui segmentent le trafic (le réseau est constitué de plusieurs segments logiques). Le concentrateur centralise tous les échanges (le trafic), et toutes les communications passent au travers du concentrateur. **Le concentrateur régénère le signal électrique** (*comme un répéteur multiport*). Un concentrateur peut posséder 8 ou 10 ports, les ports peuvent être de différents types (*concentrateurs hybrides*).

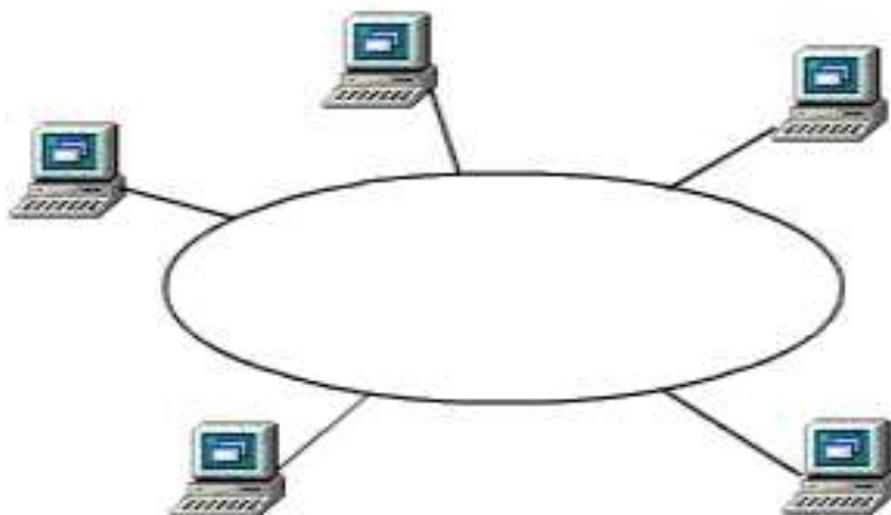
Les commutateurs permettent de **créer des segments logiques** pour chacune des stations qui sont reliées à l'un de ses ports, et indépendamment des autres segments des autres stations. Le trafic est ainsi segmenté, et chacune des stations peut émettre n'importe quand, c'est alors au commutateur de répartir les communications qui lui parviennent. Il existe des commutateurs qui disposent d'une fonction d'auto découverte (*auto-discovery en anglais*) et qui en 10 minutes enregistrent les adresses MAC des nœuds du réseau.

Un commutateur peut être relié à plusieurs concentrateurs, **en cascade** (à l'aide d'un câble **UPLINK**, le port juste à côté ne fonctionne plus), ce qui permet d'étendre un réseau en longueur et en nombre de stations. L'utilisation du commutateur permet de compartimenter le trafic de tout le réseau, les concentrateurs sont tous reliés au commutateur, les stations reliées à un même concentrateur (**HUB**) constituent un segment logique, et il y a autant de segment logique qu'il y a de HUB. L'incorporation d'un commutateur au milieu de concentrateurs permet d'augmenter la bande passante relative des stations appartenant au même segment logique. 3 HUB de 4 ports chacun en cascade équivalent à un seul HUB de 10 ports.

Les réseaux en étoile sont plus faciles à administrer et à planifier. Si une machine ou un câble tombe en panne, alors le réseau fonctionne toujours pour les autres machines ; mais si le concentrateur tombe en panne, alors c'est tout le réseau qui ne fonctionne plus. Les réseaux en étoile sont plus faciles à gérer car très facile à déplacer.

C. Les réseaux en anneau

Les réseaux en anneau sont constitués d'un seul câble qui forme une boucle logique. Les réseaux en anneau sont des réseaux qui gèrent particulièrement le trafic. Le droit de parler sur le réseau est matérialisée par un jeton qui passe de poste en poste. Chaque poste reçoit le jeton chacun son tour, et chaque station ne peut conserver le jeton qu'un certain temps, ainsi **le temps de communication est équilibré entre toutes les stations**. Le trafic est ainsi très réglementé, il n'y a pas de collisions de « paquets », le signal électrique circule seul sur le câble, depuis la station émettrice jusqu'à la station réceptrice, et cette dernière renvoi un accusé de réception.

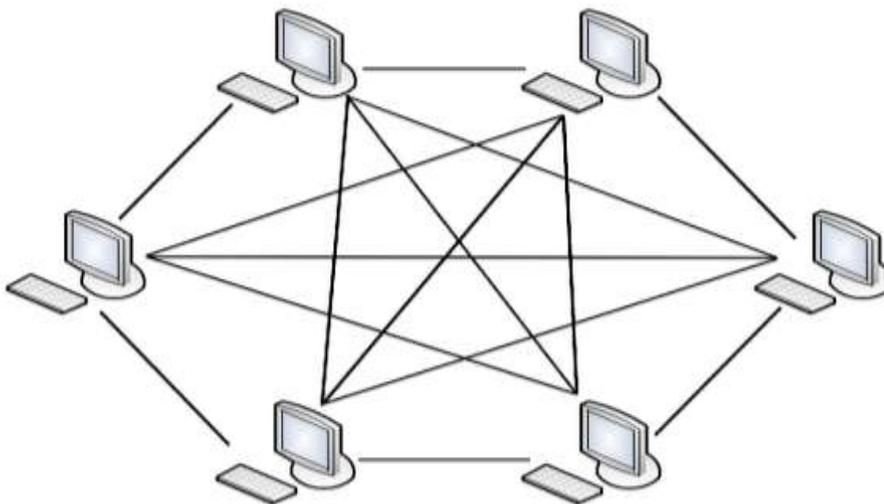


La méthode d'accès au réseau s'appelle **le passage du jeton**. La topologie en anneau est dite « **topologie active** » parce que le signal électrique est intercepté et régénéré par chaque machine. Il existe un mécanisme qui permet de contourner une station qui est tombée en panne, c'est le « **by-pass** ». Quand une station n'a pas reçu le jeton au bout d'un certain temps, une procédure permet d'en créer un autre.

En général, l'anneau se trouve à l'intérieur d'un boîtier qui s'appelle un **MAU** (*Multistation Access Unit*)²⁹. Toutes les stations sont reliées au MAU. Il existe des **anneaux doubles**, où chaque station est reliée à deux anneaux différents. Cette redondance permet d'assurer une certaine sécurité. C'est généralement le cas de figure des réseaux étendus de type FDDI.

D. Le réseau maillé

Une topologie maillée correspond à plusieurs liaisons point à point (*Une unité réseau peut avoir (1, N) connexions point à point vers plusieurs autres unités.*) Chaque terminal est relié à tous les autres. L'inconvénient est le nombre de liaisons nécessaires qui devient très élevé lorsque le nombre de terminaux l'est.

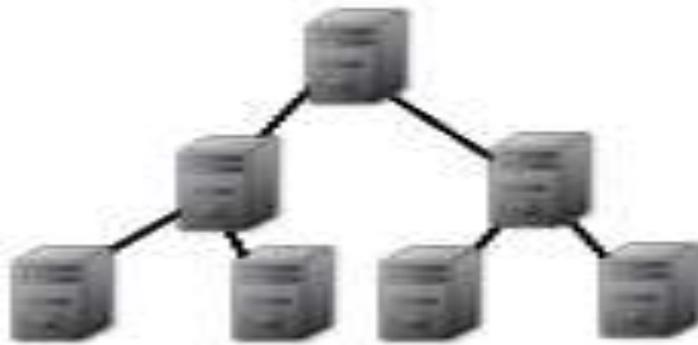


Cette topologie se rencontre dans les grands réseaux de distribution (*Exemple : Internet*). L'information peut parcourir le réseau suivant des itinéraires divers, sous le contrôle de puissants superviseurs de réseau, ou grâce à des méthodes de routage réparties. Elle existe aussi dans le cas de couverture Wi-Fi. On parle alors bien souvent « *de topologie mesh* » mais ne concerne que les routeurs Wi-Fi. Ceux-ci se relaient les paquets grâce au protocole OLSR.

²⁹ En réalité, dans une topologie anneau, les ordinateurs ne sont pas reliés en boucle, mais sont reliés à un **répartiteur** (appelé MAU, *Multistation Access Unit*) qui va gérer la communication entre les ordinateurs qui lui sont reliés en impartissant à chacun d'entre eux un temps de parole.

E. Le réseau hiérarchique

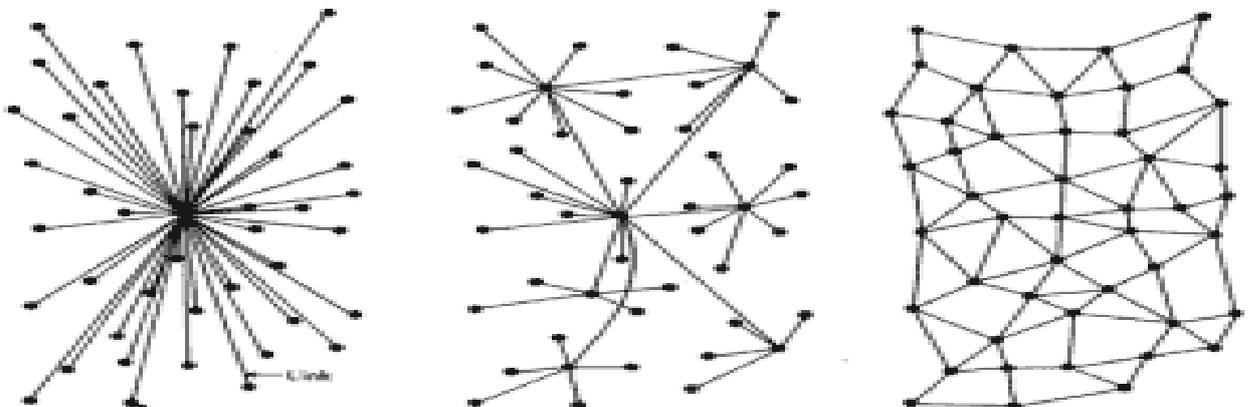
Aussi connu sous le nom de « Réseau en arbre », il est divisé en niveaux. Le sommet, de haut niveau, est connecté à plusieurs nœuds de niveau inférieur, dans la hiérarchie. Ces nœuds peuvent être eux-mêmes connectés à plusieurs nœuds de niveau inférieur. Le tout dessine alors un arbre, ou une arborescence. Le point faible de ce type de topologie réside dans l'ordinateur « père » de la hiérarchie qui, s'il tombe en panne, interdit alors toute communication entre les deux moitiés du réseau.



F. Les réseaux mixtes

Les réseaux mixtes sont des réseaux qui mélangent deux topologies :

- ▶ **Les bus en étoile**
- ▶ **Les réseaux 10VG-Any LAN (ETHERNET à 100 Mb/s)** de la spécification IEEE 802.12 qui fonctionnent avec la méthode d'accès de la priorité de la demande
- ▶ **Les anneaux en étoile**



II.1.2. Topologie logique

Une topologie logique³⁰ est la structure logique d'une topologie physique, c'est-à-dire qu'elle détermine la manière dont les stations se partagent le support et dépend de la méthode d'accès au réseau. Par exemple, un réseau peut être considéré comme appartenant à une topologie en étoile, du point de vue physique, alors qu'en réalité il appartient à une topologie en anneau, du point de vue logique.

Selon la méthode d'accès³¹ au réseau, dans ce critérium de topologie, nous distinguerons 3 types de méthodes d'accès :

- ▶ La méthode par contention (topologie d'initiative d'appel) ;
- ▶ La méthode interrogatoire (topologie par interrogation) ;
- ▶ La méthode de jeton passant (la topologie de passage de jeton).

A. La Topologie Par Contention

La topologie par contention, aussi appelée « *topologie d'initiative d'appel*³² » est un mode de fonctionnement d'un canal dans un réseau sur lequel plusieurs entités (station) peuvent émettre en même temps. Dans la topologie par contention, chaque station émet quand elle en a besoin, après écoute du canal ou de la porteuse, qui doit être disponible. La trame émise est écoutée, pour vérifier qu'aucun signal ne vient perturber l'émission. Il n'existe, dans ce cas, aucun arbitrage du canal.

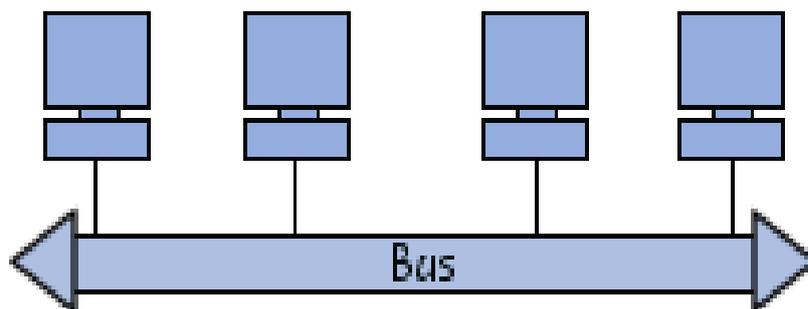


Schéma de la Topologie par contention

³⁰ La topologie logique définit *comment* se passe la communication dans la topologie physique.

³¹ Tout d'abord rappelons qu'une méthode d'accès décrit les règles qui régissent, pour chaque matériel, l'accès, la transmission et la libération du canal partagé.

³² En général, la topologie dite « l'initiative d'appel » est utilisée dans la configuration de la topologie en Bus.

C'est ainsi, dans cette technique, il y a possibilité que deux stations émettent simultanément, ce qui peut conduire à une surtension dans le cas d'un câble coaxial, ou à une réception d'informations sur la paire réceptrice, alors que des données sont émises sur l'autre paire torsadée. Cet état est qualifié « *de collision* »³³ et il peut être nécessaire qu'elle soit détectée et lorsqu'il se produit une collision, la première station, qui la détecte prolonge son émission par un signal spécial (*trame de brouillage ou JAM*), afin de prévenir les autres stations qu'une collision a eu lieu.

Dans ce cas, un temps d'attente est défini aléatoirement, pour chaque machine qui émettait au moment de la collision. Ainsi, elles n'essaieront pas de reprendre le contrôle du canal au même moment.

C'est alors pour pallier à la problématique cette configuration logique, il existe deux implémentations (ou protocoles) les plus répandues de contention notamment : le **CSMA/CD**³⁴ (*Carrier sense multiple access / Collision Detection* ou *Détection de signal avec accès multiple et détection de collision* : utilisé le plus souvent dans les réseaux Ethernet) et le **CSMA/CA** (*Carrier sense multiple access / Collision Avoidance* ou *Détection de signal avec accès multiple et résolution* : utilisé le plus souvent dans les réseaux Macintosh)... bref, les 2 mises en œuvre, se distinguent par le fait que l'une détecte les collisions (*Collision Detection*) et l'autre tente de les éviter (*Collision Avoidance*).

Le principal avantage de cette gestion du support est sa simplicité. Cependant, la méthode n'est pas déterministe, car le temps d'accès au canal n'est pas prévisible. De plus, aucune gestion de priorité n'est possible pour les matériels qui ont des besoins d'accéder rapidement au support partagé.

B. La Topologie Par Interrogation

À ce niveau, un équipement du réseau est désigné comme « *administrateur de l'accès au canal* ». Ce matériel, aussi appelé « *maitre* » interroge dans un ordre prédéterminé chacun des autres nœuds et leur demande s'ils ont des informations à transmettre. Souvent le maitre est un concentrateur et les matériels secondaires sont les nœuds de l'étoile.

³³ La collision est tout événement se produisant quand plusieurs émetteurs émettent en même temps sur un même canal et qu'il se produise surcharge ou surtension du support de transmission.

³⁴ Les protocoles CSMA/CD sont assez répandus et représentés entre autres par Ethernet version 2 et IEEE 802.3 ...

L'avantage de cette méthode ou topologie par interrogation³⁵ est que les accès au canal sont centralisés. De plus, le temps d'accès et le volume des données manipulées sur le support sont prévisibles et fixés. Cependant, elle présente comme inconvénient, celui d'utiliser une partie de la bande passante du réseau pour émettre des messages de gestion (*interrogations, avertissements, acquittements, ...*) ; ce qui est couteux en bande passante.

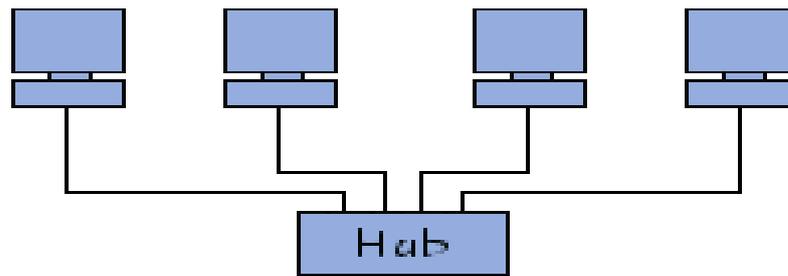


Schéma de la Topologie par interrogation

C. La Topologie de passage de jeton

Dans cette topologie du jeton passant, les trames circulent de poste en poste, chacun se comportant comme répartiteur (*aussi bien, répéteur*). Initialement, une petite trame, le jeton (*ou token en anglais*), est répétée de poste en poste jusqu'à ce qu'une machine qui désire émettre le conserve pendant un temps fixée. Cette méthode d'accès est généralement utilisée sur une architecture en anneau.

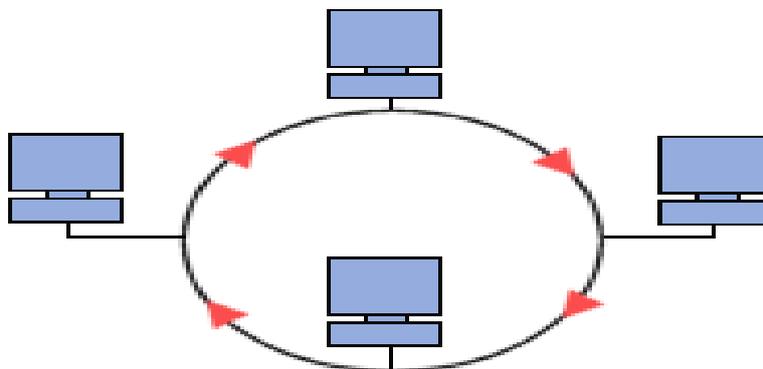
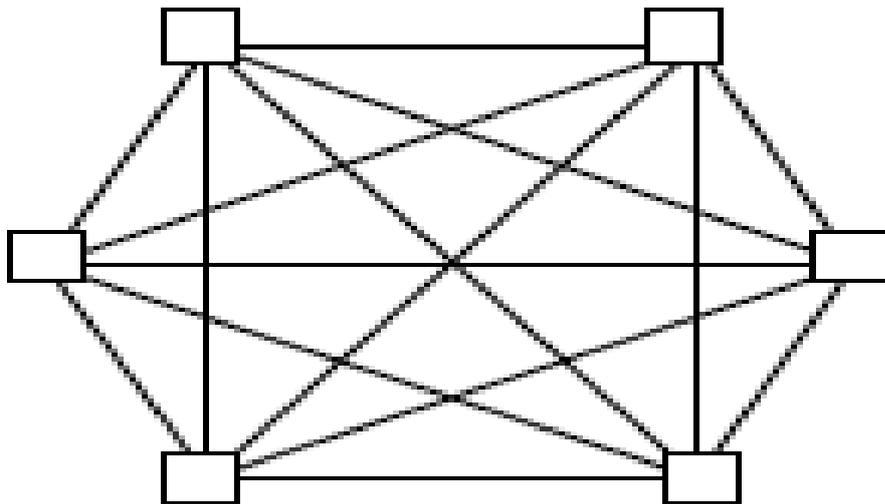


Schéma de la Topologie du jeton passant

³⁵ Généralement, La topologie par interrogation est utilisée pour la topologie en étoile

II.2. COMMUTATION DES RESEAUX

Dans cette partie du cours, nous généralisons l'échange entre deux équipements à un ensemble de N équipements. Il s'agit d'examiner spécifiquement les matériels réseaux et les procédures à mettre en place pour permettre un dialogue entre deux équipements quelconques de cet ensemble. Les équipements considérés ici peuvent être des ordinateurs ou bien tout équipement susceptible de communiquer comme un simple téléphone, désignés par le terme générique « *d'équipements terminaux* ». en effet, la communication informatique dans ce cadre, examinera le nombre de liaisons point à point à mettre en place pour permettre tous les dialogues au sein d'un ensemble de N équipements terminaux, soient $N(N-1)/2$ liaisons nécessaires. C'est alors que chaque équipement devrait ainsi gérer $N-1$ liaisons. C'est par exemple, Pour 100 stations, il faudrait environ 5000 liaisons. Ceci montre l'impossibilité d'envisager des liaisons exclusives entre équipements terminaux.



Tous les équipements sont reliés 2 à 2 : il y a $N(N-1)/2$ liaisons pour N terminaux.

Il est donc nécessaire de grouper les moyens de communication et de les *partager* entre les équipements terminaux pour réaliser un réseau. Ces moyens de communication peuvent être soit « *des liaisons point à point ou multipoint, soit des équipements capables de stocker et d'aiguiller l'information* ».

Ainsi, de ces liaisons naîtra « *Un réseau de communication* » est donc un ensemble de ressources mis à la disposition d'équipements pour leur permettre d'échanger de l'information. Le terme réseau désigne suivant le contexte soit l'ensemble des ressources y compris les équipements terminaux, soit seulement le réseau de communication. On parle parfois de *réseau de transport* ou de *sous-réseau*.

La présence d'une multitude d'équipements terminaux oblige à définir un système d'identification cohérent au sein du réseau pour les différencier : c'est la technique dite « l'adressage³⁶ ». De plus, le réseau doit être capable d'acheminer une information vers tout destinataire en fonction de son adresse : c'est la fonction de « routage³⁷ ».



Schéma du Réseau de communication

Un réseau de communication est généralement la propriété d'un « opérateur³⁸ » qui met cette ressource à la disposition de tiers moyennant rétribution. Dans ce cas, l'organisation du réseau est du ressort exclusif de l'opérateur. L'accès au réseau doit être normalisé tant pour les caractéristiques mécaniques et électriques que pour les procédures de dialogue. Cet accès au réseau peut être très différent de la nature interne du réseau : (*dans le cas des réseaux radio-mobiles, l'accès se fait par transmission sur la voie hertzienne alors que toutes les transmissions au sein du réseau se font sur des liaisons filaires*). De plus, un même réseau de communication peut avoir différents types d'accès : (*un réseau radio-mobile et le réseau téléphonique peuvent être organisés comme un seul réseau avec des accès classiques par fils et des accès par voie hertzienne*).

Un réseau peut être aussi la propriété exclusive de l'utilisateur. C'est le cas des *réseaux locaux d'entreprise* dont tous les équipements et les moyens de communications sont gérés entièrement par l'entreprise utilisatrice, appelés aussi *LAN (Local Area Network)*, ils peuvent accueillir plusieurs centaines d'équipements sur une distance de quelques kilomètres. La ressource partagée dans ce cas est le support de transmission qui est de type « diffusif » c'est-à-dire tous les équipements sont reliés à ce support commun et tout message émis est reçu par l'ensemble des équipements. Cette caractéristique amène à des architectures spécifiques qui seront traitées dans le chapitre sur les réseaux locaux.

³⁶ L'adressage est un mécanisme de calcul des adresses

³⁷ Le routage est une méthode consistant à l'acheminement des informations à la bonne destination travers un réseau.

³⁸ Un opérateur est tout simplement une compagnie gérant le réseau. Ex : Orange, Vodacom...

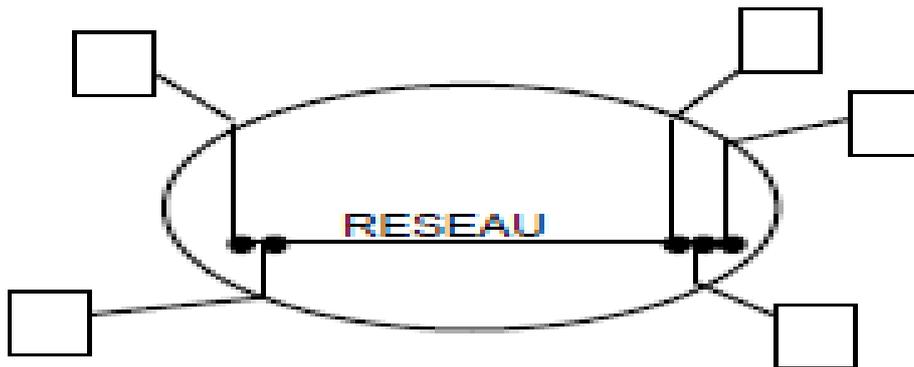


Schéma d'un réseau local

II.2.1. Réseaux à commutation

Dans le cas des réseaux grande distance, appelés aussi *WAN* (*Wide Area Network*), reliant plusieurs centaines de milliers voire millions d'équipements terminaux sur un territoire national, il n'est pas possible de partager un même support de transmission. On utilise un réseau à commutation. Les équipements terminaux sont reliés à des « *commutateurs* ». Ces derniers sont les « *carrefours* » du réseau et ont pour *fonction de concentrer, d'éclater et de rediriger les informations*. Les commutateurs sont reliés entre eux par des « *circuits point à point* » qui constituent des artères de communication. Un réseau de communication peut ainsi se définir comme un graphe ou un ensemble de nœuds, les *commutateurs*, et d'arcs, les *circuits*. Ces circuits sont quelquefois appelés « *canaux, jonctions, lignes de transmission ou même liaisons selon les cas* ».

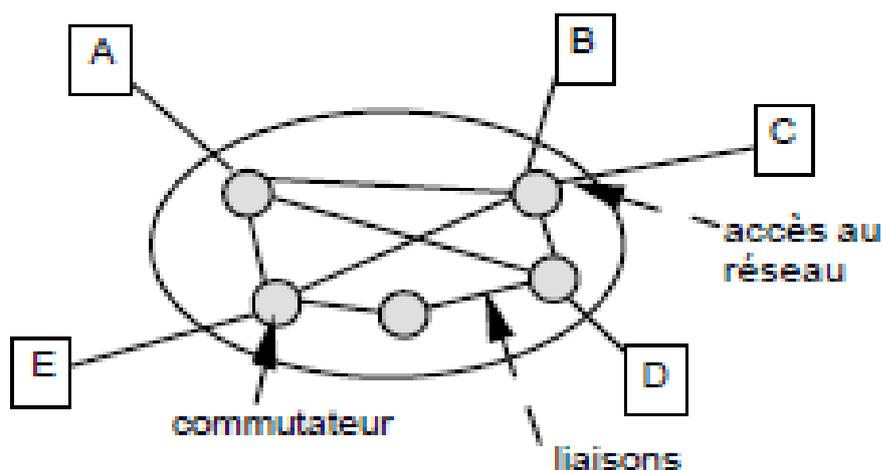
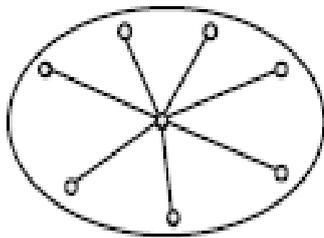


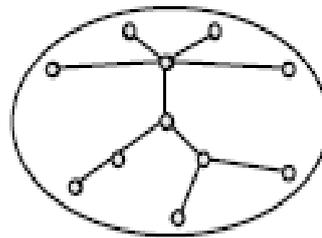
Schéma du Réseau à commutation

La *topologie* du réseau définit la façon dont sont reliés les différents commutateurs. Dans le cas d'une *topologie en étoile*, l'ensemble des commutateurs sont reliés à un même commutateur central. Certaines opérations comme le routage sont alors très simples. Cependant, un tel réseau est très fragile car tout dépend du bon fonctionnement du commutateur central.

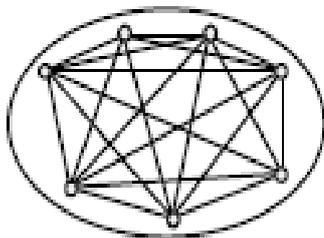
La *topologie en arbre* peut être vue comme une généralisation du cas précédent avec l'introduction d'une hiérarchie : chaque commutateur est relié à un ensemble de commutateurs de niveau inférieur. Dans les topologies en arbre ou en étoile, il n'y a toujours qu'un chemin possible entre deux commutateurs : toute rupture d'une liaison entre deux commutateurs empêche donc le dialogue entre certains équipements terminaux. Dans une topologie complètement *maillée*, chaque commutateur est relié à tous les autres. On atteint alors un haut niveau de sécurité au prix d'une augmentation considérable du nombre de liaisons et donc des coûts. Dans la plupart des réseaux, la solution choisie est un mélange des précédentes : *(le réseau est hiérarchisé suivant une topologie en arbre avec un certain degré de maillage)*.



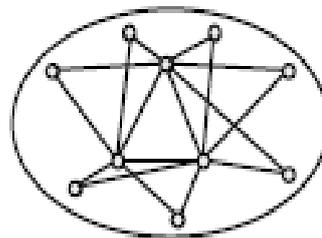
topologie en étoile



topologie en arbre



topologie complètement maillée



topologie maillée

Schéma des topologies de Réseau

L'adressage au sein d'un réseau peut être lié à la localisation, c'est-à-dire à l'équipement lui-même ou au commutateur sur lequel est connecté l'équipement. On parle quelquefois « d'*adresse physique* », C'est le cas du réseau téléphonique où les premiers chiffres d'un numéro indiquent le commutateur auquel est relié l'équipement de l'abonné. L'adresse peut être totalement décorrélée de la localisation et on peut parler « d'*adresse logique* ». Par analogie, le numéro de sécurité sociale peut être considéré comme l'adresse logique d'un individu : il est unique mais n'est pas lié au lieu de résidence de celui-ci. La fonction de *routage* prend une importance particulière dans un réseau à commutation puisqu'il n'y a pas, en général, de lien direct entre équipements terminaux mais une multitude de chemins possibles mettant en œuvre plusieurs liaisons et plusieurs commutateurs.

II.2.2. Différents types de commutation

A. la commutation de circuits

Dans les réseaux à *commutation de circuits*, de multiples supports de transmission sont installés entre les différents commutateurs. Pour échanger des informations entre deux équipements terminaux, il est nécessaire de déterminer un chemin à travers le réseau et de réserver un support de transmission entre chaque paire de commutateurs situés sur ce chemin. Chaque commutateur réémet les signaux qu'il reçoit suivant ce chemin. Le réseau fournit donc l'équivalent d'un support de transmission point à point entre les équipements terminaux. Le réseau téléphonique est un exemple classique de réseau à commutation de circuits. Dans le contexte de la téléphonie, le mot « *circuit* » désigne « *une liaison entre 2 commutateurs* ».

Tout dialogue se décompose en 3 phases : une première phase d'établissement du circuit entre les équipements terminaux par réservation de l'ensemble des circuits nécessaires à l'intérieur du réseau, la seconde phase classique de transfert des informations puis la troisième phase de libération pour permettre la réutilisation des différents circuits par d'autres équipements terminaux. La libération se fait à la demande d'un des équipements terminaux (*ou si le réseau détecte qu'un équipement est en panne*). Tant qu'elle n'a pas eu lieu, les circuits restent réservés à l'intérieur du réseau, même s'il n'y a aucun transfert d'information. Ce type de commutation présente l'inconvénient de monopoliser les circuits entre commutateurs pendant la durée entière du dialogue. Il est donc nécessaire de multiplier les circuits entre commutateurs, on parlera dans ce cas de *faisceaux* (*ou trunks*). Il nécessite, de plus, la disponibilité simultanée des deux équipements terminaux pour tout dialogue.

En revanche, il présente l'avantage d'être assez simple : (*la commutation de circuits peut s'appliquer sur un réseau analogique ou bien numérique*). Dans le cas d'un réseau numérique, la mémoire nécessaire dans les commutateurs est réduite et il n'y a aucun traitement à faire sur l'information transmise³⁹.

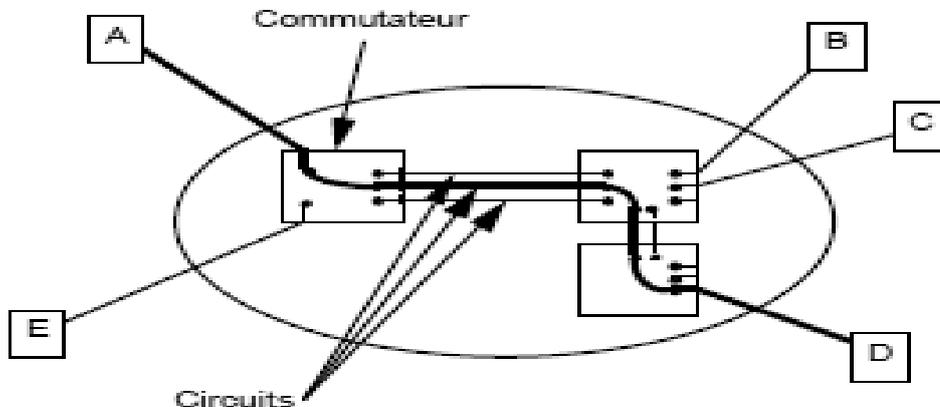


Schéma de la commutation des circuits

B. Commutation de Messages

La *commutation de messages* s'applique aux seuls réseaux numériques. Un *message* est défini comme une suite de données binaires formant un tout logique pour les équipements terminaux : (*C'est, par exemple, un fichier complet, un courrier électronique ou une page d'écran*). Lorsqu'un équipement veut transmettre un message, il lui ajoute l'adresse du destinataire et le transmet au commutateur. Celui-ci attend la réception complète du message, le stocke, analyse son adresse et le réémet alors vers le commutateur voisin adéquat. Le message transite ainsi à travers le réseau par réémissions successives entre les commutateurs⁴⁰ (*on utilise quelquefois le terme anglais store-and-forward*). Dans un tel réseau, chaque commutateur doit être capable de stocker le message en entier. Comme un commutateur supporte simultanément plusieurs dialogues et que la taille d'un message est déterminée par les équipements, la mémoire nécessaire peut être importante.

³⁹ Un faisceau peut correspondre à plusieurs supports physiques différents (*par exemple une paire torsadée par circuit*) ou bien à un seul support physique sur lequel les circuits sont multiplexés en temps ou en fréquence mais la philosophie reste la même : (*il y a toujours réservation d'une partie de la capacité de transmission pendant tout le dialogue*).

⁴⁰ Les commutateurs sont reliés deux à deux par une liaison de données. Celle-ci est occupée uniquement pendant la durée de transmission du message mais elle n'est jamais monopolisée par un équipement indépendamment de toute transmission. De plus, si un équipement terminal est temporairement indisponible, le réseau peut stocker le message jusqu'au rétablissement de l'équipement.

De plus, le délai de transmission à travers le réseau est fonction du nombre de commutateurs traversés et de la taille du message. Il peut donc être assez important. Enfin, pour un taux d'erreur donné par bit transmis, la probabilité d'une erreur sur un message augmente avec la taille du message. La transmission de longs messages dans le réseau est donc très pénalisante. Le réseau *Télex* est un réseau à commutation de messages. La commutation de messages n'étant plus l'objet de développements aujourd'hui, elle n'est pas traitée ici.

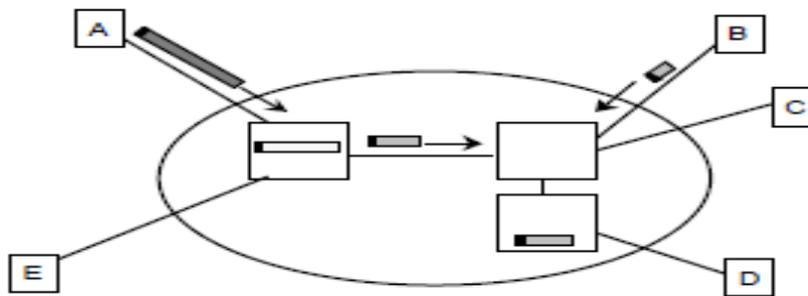


Schéma de la commutation des messages

C. Commutation par Paquets

Les inconvénients de la commutation de messages sont liés à la taille des messages. La *commutation par paquets* consiste à découper les messages en morceaux appelés segments. Ce découpage est la *segmentation*. Il est fait par l'expéditeur. A chaque segment sont ajoutées des informations permettant d'identifier l'expéditeur et le destinataire (*l'ensemble forme un paquet*). La taille maximale d'un paquet est fonction du réseau. Les paquets sont acheminés par le réseau comme dans un réseau à commutation de messages jusqu'au destinataire. Celui-ci attend la réception de tous les paquets pour reconstituer le message et le traiter. Cette opération est appelée le « *réassemblage* ». Un paquet ne forme pas un tout logique pour l'équipement terminal. Il n'a de sens que comme « *atome d'information* » acheminé par le réseau par réémissions successives entre les commutateurs. Sa petite taille permet de réduire le délai global d'acheminement des messages à travers le réseau.

Une liaison entre commutateurs n'est pas monopolisée par un équipement mais supporte la transmission de paquets de multiples utilisateurs. Si le débit de la liaison est supérieur au flux transmis par l'ensemble des utilisateurs, elle peut supporter de multiples dialogues simultanés tout en donnant l'impression à chacun d'être seul sur le réseau.

Le flux généré par un utilisateur donné et peut augmenter subitement, l'impact sera faible sur le flux global. On a donc un effet de *multiplexage statistique*⁴¹.

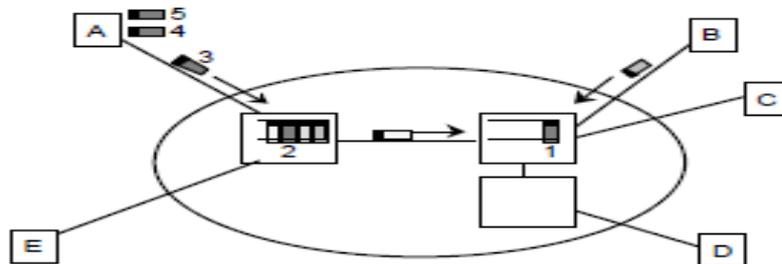


Schéma de la commutation par paquet

Comme chaque paquet doit traverser le réseau, il est nécessaire qu'il contienne un « *en-tête* » comportant des informations de contrôle. Ces informations sont utilisées par les commutateurs pour un aiguillage correct. Le format de l'en-tête est défini par l'opérateur du réseau. Chaque paquet reçu par un commutateur est stocké puis son en-tête est analysé.

En fonction des informations de contrôle, le paquet est aiguillé vers un autre commutateur ou le cas échéant vers l'équipement terminal. Si la liaison vers le commutateur concerné est occupée, le paquet est conservé en mémoire : (*chaque commutateur se comporte donc comme une mémoire tampon*). Le dimensionnement de la mémoire des commutateurs est un des éléments déterminant la capacité et les performances d'un réseau à commutation par paquets. Si la mémoire d'un commutateur est entièrement utilisée, celui-ci n'est plus en mesure de recevoir de nouveaux paquets. Il peut, dans certains cas, détruire des paquets et dégrader les performances du réseau. L'ensemble des techniques mises en œuvre pour éviter la saturation de la mémoire des commutateurs s'appelle le « *contrôle de congestion*⁴² ».

De plus, les liaisons entre les commutateurs ne sont pas d'une fiabilité totale. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre des protocoles de liaison de données entre chaque paire d'équipements. Les commutateurs gèrent donc autant de liaisons de données que le nombre d'équipements auxquels ils sont reliés. L'approche utilisée pour la structuration des équipements est une approche hiérarchique : (*pour chaque liaison dans le réseau, une entité de liaison de données s'occupe de fournir un dialogue fiable*).

⁴¹ Action de faire passer plusieurs communications à travers un seul et même canal en quantifiant les flux d'informations lors de la transmission.

⁴² On parle de contrôle de congestion, lorsqu'un réseau a des ressources insuffisantes pour faire face à toutes les demandes de transfert qui lui sont adressées.

La gestion de l'aspect réseau, c'est-à-dire l'aiguillage des paquets, est réalisée par une autre entité, *l'entité réseau* qui utilise l'entité de liaison de données comme une boîte noire fournissant un service. L'entité réseau est la seule entité à interpréter l'en-tête des paquets. En revanche, l'entité de liaison de données considère les paquets comme un tout logique à transmettre, c'est-à-dire comme de l'information à placer dans une trame, par exemple HDLC (*High level Data Link Control : le paquet constitue donc le champ Information de la trame*). Ce processus s'appelle *l'encapsulation*⁴³.

D. commutation de trames

La commutation de trames ou *relais de trames* est une évolution de la commutation par paquets avec service circuit virtuel. Le réseau offre toujours un service en mode connecté, utilisant des principes identiques à X25 pour le routage des informations, mais n'assure pas l'intégrité totale ni le contrôle de flux sur les données. Dans un réseau utilisant X25, chaque paquet (*élément vu par l'entité réseau*) est transporté dans une *trame* (élément vu par l'entité liaison de données). Le paquet possède ses informations de contrôle (référence à la connexion établie, numéros de paquet,...) et la trame qui le transporte possède elle aussi ses informations de contrôle (*adresse, numéros de trame, bloc de contrôle d'erreur...*).

Le relais de trames consiste à assurer les fonctions de routage à travers le réseau directement sur les *trames* (*il compacte les couches 2 et 3 en une seule*) et supprime les fonctions de contrôle d'erreur et de contrôle de flux entre les commutateurs du réseau : (*ces fonctions sont reportées sur les utilisateurs, qui les assureront, s'ils en ont besoin*). Typiquement, pour le contrôle d'erreur, on conserve les mécanismes de détection mais il n'y a aucune correction des erreurs dans le réseau : l'utilisateur sera obligé de commander lui-même les retransmissions. Cette simplification des procédures *dans le réseau* est d'autant plus acceptable que les transmissions utilisent des fibres optiques de très bonne qualité. Il s'agit donc d'une solution intéressante pour offrir des débits plus élevés. Le relais de trames offre ainsi un service en mode connecté avec établissement de *liaisons virtuelles rapides* (*similaires au circuit virtuel d'X25*). La taille des trames est quelconque. Transpac a fait évoluer son protocole X25 vers le relais de trames. Dans un premier temps, le relais de trame a été utilisé à l'intérieur du réseau, ce qui reste transparent pour les utilisateurs. Puis, Transpac a offert aux utilisateurs d'accéder au réseau en relais de trames.

⁴³ C'est faire en sorte que le fonctionnement interne d'un programme ou d'une procédure ne soit pas accessible par l'utilisateur.

E. Commutation de cellules

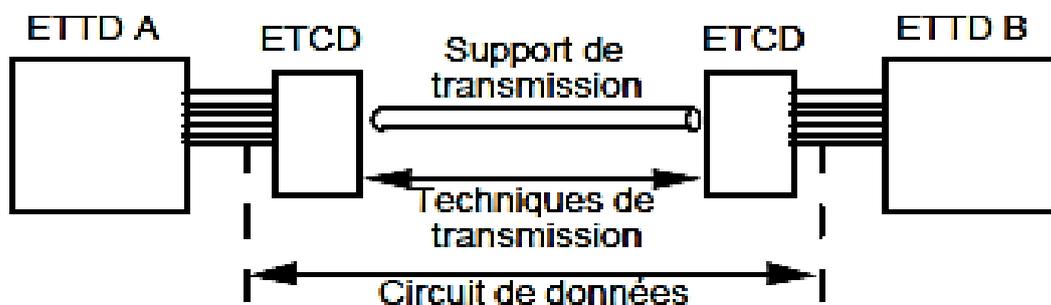
Une nouvelle technique de commutation émerge aujourd'hui, en particulier pour le réseau numérique à intégration de services large bande. Il s'agit d'une commutation hybride, qui allie commutation de circuits et commutation par paquets. Elle utilise une technique de transfert dite ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). Les informations (*voix, données, images...*) sont toutes découpées en paquets de taille fixe, baptisés *cellules* et contenant 48 octets d'informations utiles. Mode de transfert asynchrone défini par une norme l'ITU, ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) est une technologie de télécommunication basée sur le principe de la commutation par *cellules* qui sont des paquets de taille *fixe et petite (53 octets)*, ce qui lui permet d'être très rapide et efficace.

ATM a été développé à l'origine par des chercheurs français (*CNET, Centre National d'Etudes des Télécommunications*). L'objectif est de transmettre sur le même réseau des données, de la parole, des images, en temps réel. Les problèmes posés par les autres technologies sont multiples : trop faible capacité des réseaux, faibles vitesses de transmission, rigidité des services offerts, interconnexion difficile entre différents types de réseaux, coût élevé des solutions performantes, incapacité de transmettre parole et images en temps réel, qualité de service insuffisante. La commutation de cellules pousse le raisonnement précédent (*évolution d'X25 vers le relais de trames*) encore plus loin. Elle supprime la détection d'erreur sur les données et réduit les contrôles au seul en-tête des cellules. L'unique traitement dans les commutateurs du réseau est alors la commutation et le routage (*il n'y a plus de liaison de données et le niveau réseau est réduit au strict minimum*). Le fait que les liaisons soient des fibres optiques, que les cellules soient petites et de taille fixe, qu'elles passent toutes par le *même chemin virtuel* sont des atouts de la technologie ATM qui peut ainsi offrir une excellente qualité de service et apporter un confort d'utilisation tel que les qualités des liaisons commutées et des liaisons permanentes sont équivalentes. Les débits peuvent être quelconques et en particulier variables.

Ceci apporte une très grande souplesse par rapport au RNIS *bande étroite* du fait qu'il est entièrement construit sur la base de l'unique débit 64 kbit/s. Par ailleurs, les délais de traversée du réseau sont garantis très faibles (*commutateurs puissants et dimensionnés pour le traitement de cellules de taille fixe*). Ceci permet la mise en œuvre d'applications d'images avec compression en temps réel et fait d'ATM l'unique technologie pour le multimédia.

CHAPITRE III. LES SUPPORTS DE TRANSMISSION

La transmission de données entre un émetteur et un récepteur suppose que soit établie une liaison sur un *support de transmission* (appelée aussi *Ligne*⁴⁴ ou *canal transmission*) munie d'équipement de transmission à ses extrémités. Le terme « *support de transmission* » désigne le support physique qui permet de transporter les informations d'un appareil à un autre, il peut y'avoir différents types de supports de transmission de nature très divers : *ligne téléphonique, câble coaxial, fibre optique, atmosphère et autres*. Ces moyens de transmission ont des *caractéristiques* spécifiques et impliquent des *contraintes* à leur utilisation.



Constitution d'un circuit des données

- ✘ **L'ETTD « DTE »** (Équipement Terminal de Traitement des Données ou Data Terminating Equipment) : désigne l'équipement informatique qui génère les données à transmettre et traite les données reçues. (L'ETTD est, par exemple, un ordinateur personnel).
- ✘ **L'ETCD « DCE »** (Équipement de Terminaison du Circuit de Données ou Data terminating Circuit Equipment) : il reçoit en entrée la suite de données binaires et fournit en sortie un signal dont les caractéristiques sont adaptées au support de transmission. Il effectue également l'opération inverse : recevant le signal qui s'est propagé dans le support, il en extrait une suite de données binaires. L'ETCD est couramment appelé *modem* pour modulateur-démodulateur. Il est souvent intégré aux ordinateurs (le minitel, par exemple, est un terminal très simple muni d'un modem intégré)⁴⁵.

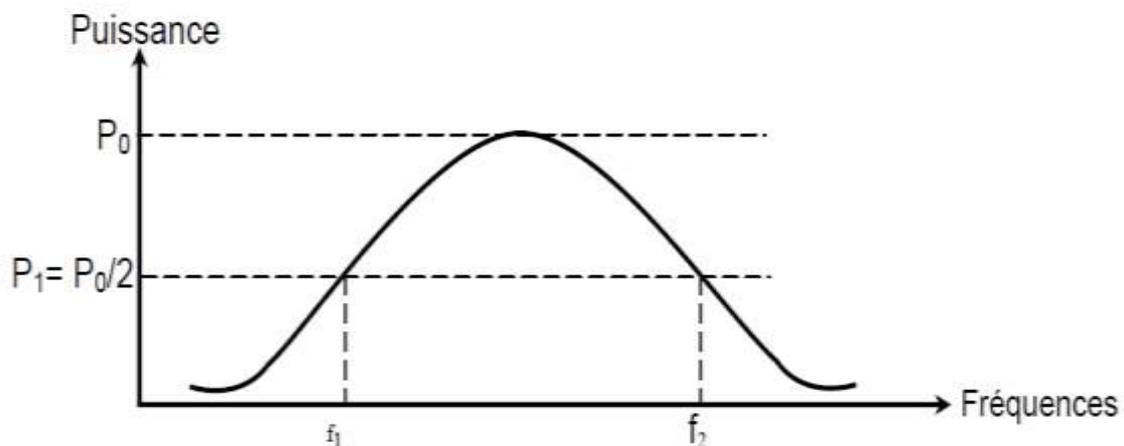
⁴⁴ Une *ligne de transmission* est un ensemble des conducteurs qui suivent le même trajet, acheminant un signal entre deux points (d'un émetteur vers un récepteur), en particulier pour assurer une propagation

⁴⁵ Pour permettre une indépendance entre les ordinateurs et les ETCD, une interface a été définie sous le nom de V24. Cette interface peu performante mais relativement simple s'est considérablement développée. La grande majorité des ordinateurs en sont pourvus.

III.1. LA QUALITE DU CIRCUIT DE DONNEES

La qualité du circuit de données est mesurée à l'aide de différents critères :

- ▶ **Le *taux d'erreurs*** : est le rapport du nombre de bits erronés reçus au cours d'une période d'observation, au nombre total de bits transmis pendant cette période.
- ▶ **La *disponibilité*** : permet d'évaluer la proportion de temps pendant lequel la transmission est possible (absence de panne ou de coupure). Dans certains cas, on s'intéresse également au nombre d'incidents et à leur durée cumulée, afin d'en déterminer la durée moyenne et, le cas échéant, le coût.
- ▶ **Le *débit binaire D*** : représente le nombre de bits transmis par seconde. On précise éventuellement si ce débit est possible en duplex intégral, en semi duplex ou en simplex.
- ▶ **La *rapidité de modulation R*** : indique le nombre de symboles transmis par unité de temps et s'exprime en *bauds*. Le mot baud vient d'Emile BAUDOT (1845-1903), ingénieur français. Si d représente la durée exprimée en secondes de l'intervalle significatif le plus court séparant deux symboles successifs, alors $R = 1/d$ bauds. La relation liant la rapidité de modulation au débit binaire est la suivante : $D = R \cdot \log_2 V$ Où V est la valence des signaux émis, c'est-à-dire le nombre de symboles utilisés. Pour des signaux de valence 2, donc pour lesquels chaque intervalle d transporte un bit, les valeurs numériques du débit et de la rapidité de modulation sont égales.



Processus de la rapidité de modulation R.

III.2. CARACTERISTIQUES DES SUPPORTS DE TRANSMISSION

L'infrastructure d'un réseau, la qualité de service offerte, les solutions logicielles à mettre en œuvre, dépendent largement des supports de transmission utilisés. Les supports de transmission exploitent les propriétés de conductibilités des métaux (*paires torsades, câble coaxial*) ou celles des ondes électromagnétiques (*faisceau hertzien, fibre optique*). Les supports de transmission, quels qu'ils soient, ne sont malheureusement pas parfaits. Ils ont une bande passante limitée, supportent divers bruits et ont de ce fait une capacité à transmettre les signaux limitée :

III.2.1. Bande passante

La largeur de la bande passante (*le débit auquel des données sont transférées à travers un réseau*) est la *caractéristique essentielle* d'un support de transmission, qui se comporte généralement comme un filtre qui ne laisse donc passer qu'une bande limitée de fréquence appelée *bande passante*. Toute fréquence en dehors de cette bande est fortement affaiblie et limitée c'est-à-dire que certains signaux se propagent correctement dans le support (*ils sont affaiblis mais encore reconnaissables à l'autre extrémité*), mais d'autres ne le traversent pas du tout (*ils sont tellement affaiblis ou déformés qu'on ne les retrouve plus du tout à la sortie*).

La bande passante d'un support est la bande de fréquences des signaux dont la puissance à la sortie, après la traversée du support, est supérieure à un seuil donné. En général, on caractérise un support par sa bande à 3 dB (*décibels*), c'est-à-dire par la plage de fréquence à l'intérieur de laquelle la puissance de sortie d'un signal sinusoïdal est au pire divisée par deux (*en notant P_s la puissance de sortie et P_e la puissance d'entrée, l'affaiblissement en dB s'exprime comme $10 \log_{10} P_e/P_s$. Pour $P_e/P_s = 2$, on trouve $10 \log_{10} P_e/P_s = 3 \text{ dB}$*). Intuitivement, plus un support a une bande passante large et plus il pourra transporter d'informations par unité de temps.

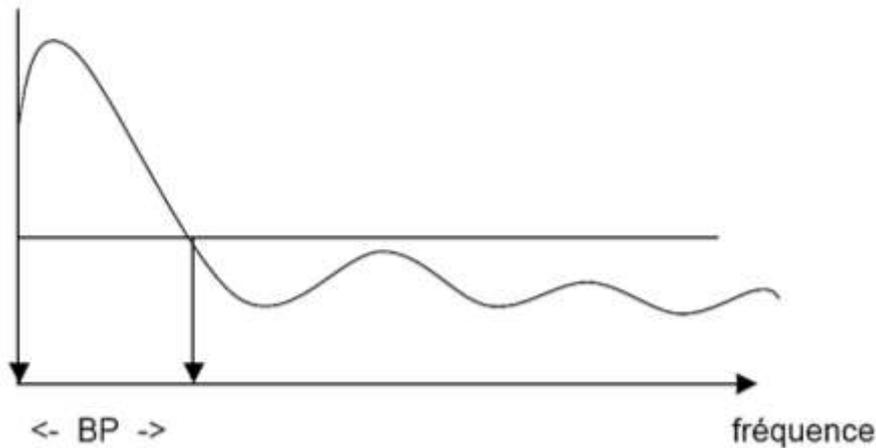
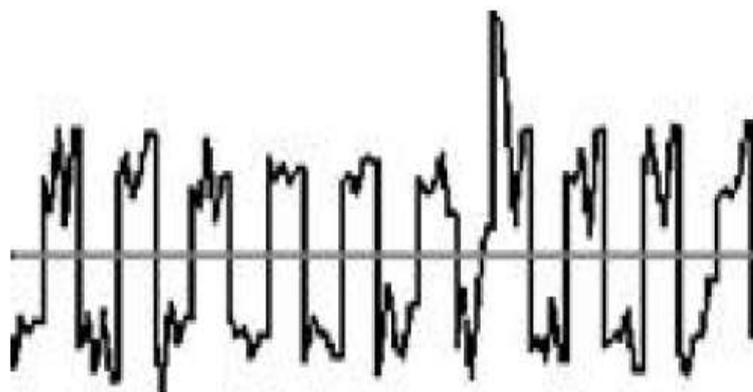


Schéma d'une Bande passante

Exemple : une ligne téléphonique ordinaire ne laisse passer que les signaux de fréquence comprise entre 300Hz et 3400Hz. Au dehors de cette bande les signaux sont fortement atténués et ne sont plus compréhensibles, on dit alors que la bande passante d'une telle ligne est de 3400–300 Hz, soit 3100Hz. Par contre un câble coaxial utilisé dans les réseaux locaux a une bande passante nettement supérieure dont la largeur est de l'ordre des centaines de MHz (300 à 400 MHz). Il est important de noter que lorsqu'on parle de bande passante W (en Hz), on indique une longueur d'intervalle sans préciser les bornes de cet intervalle.

III.2.2. Bruits

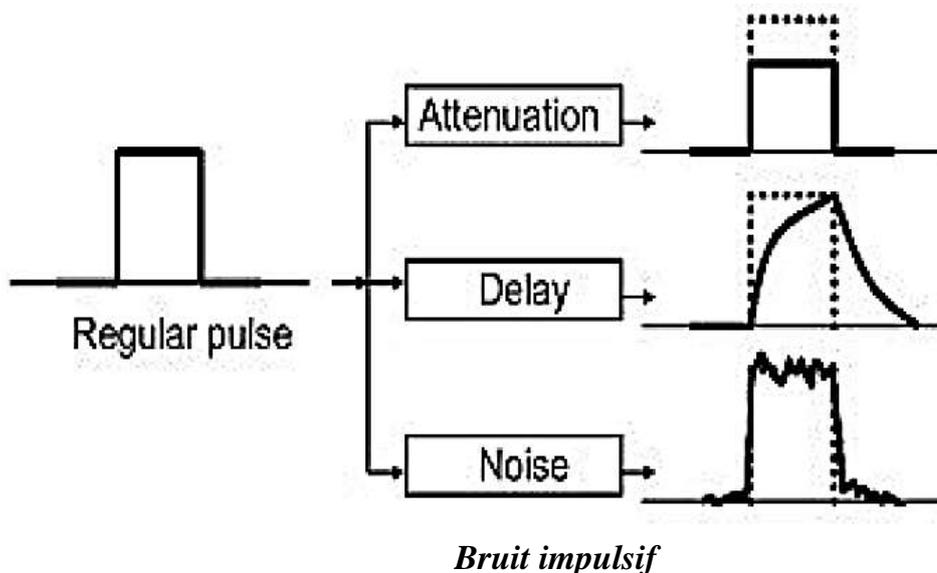
Le bruit est un *signal perturbateur* provenant du canal lui-même ou de son environnement externe. Il est de comportement aléatoire et vient *s'ajouter* au signal véhiculant les informations et provoquer ainsi les *erreurs de transmission*.



Signal bruité

On distingue généralement *deux types de bruit* :

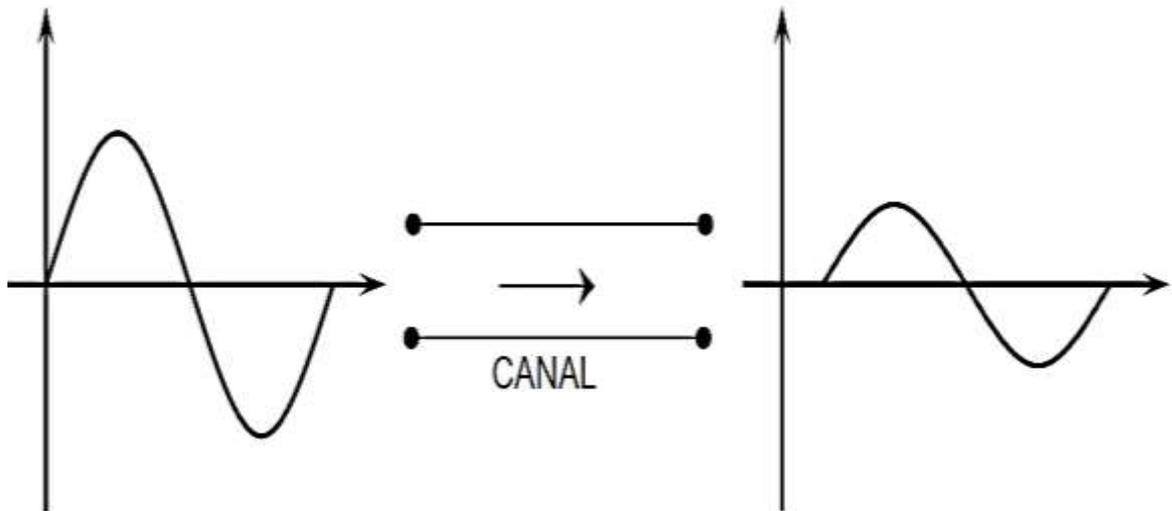
- **bruit blanc** : Le bruit blanc⁴⁶ est un bruit dont la puissance est uniformément répartie dans toute la bande passante du canal, il s'agit essentiellement d'un bruit provoqué par l'agitation thermique des électrons dans le conducteur électrique.
- **bruit impulsif** : Comme son nom l'indique ce type de bruit est à caractère impulsif, il se présente sous forme de tensions perturbatrices de valeur élevée mais de durée brève. Ces bruits sont très gênants pour la transmission de données, car le signal perturbateur modifie la *forme* du signal reçu à des instants quelconques (aléatoires) telles qu'il se produit des erreurs à la réception. Les sources de bruit impulsif sont nombreuses. On peut citer notamment :
- * *la diaphonie (crosstalk)* est d'une manière générale, *une influence mutuelle indésirable entre signaux utiles transmis sur des conducteurs voisins l'un de l'autre dans l'espace, par exemple dans un même câble.* Cela résulte principalement d'un couplage inductif dû au champ magnétique de l'une des lignes sur l'autre et réciproquement.
 - * *Les brusques variations* de courant sur les lignes d'alimentations électriques.
 - * *Les Phénomènes atmosphériques*, solaires, ou autres.



⁴⁶On l'appelle blanc par analogie à la lumière blanche qui possède une densité spectrale uniforme. Le concept de bruit blanc n'est permis qu'à travers des systèmes linéaires.

III.2.3. Déphasage ou Distorsion

Le déphasage⁴⁷, encore appelé « *distorsion de phase* », implique un retard du signal reçu par rapport au signal émis dû au temps de propagation de ce signal de l'émetteur vers le récepteur.



Atténuation et retardement subis pour un signal sinusoïdal traversant un canal

Les supports de transmission déforment les signaux qu'ils transportent même lorsque ceux-ci ont des fréquences adaptées. En effet, plusieurs sources de *bruit* perturbent les signaux et des *distorsions (d'amplitude ou de phase)* peuvent s'avérer gênantes pour la reconnaissance des signaux en sortie. Par ailleurs, la distance est un facteur d'affaiblissement, particulièrement important pour les liaisons par satellite. Enfin, certaines perturbations de l'environnement peuvent également introduire des bruits (*foudre, orages pour le milieu aérien, champs électromagnétiques dans des ateliers pour les supports métalliques...*). Même lorsque les signaux sont adaptés aux supports de transmission, on ne pourra pas garantir à 100% leur exactitude à la réception.

⁴⁷Le terme « *déphasage* » ne concerne en toute rigueur que les signaux sinusoïdaux (la phase est un angle); pour les autres signaux le terme exact est « *décalage (temps)* » ; mais on a coutume par simplification d'utiliser le terme « *déphasage* » quelle que soit la forme des signaux.

III.2.4. Affaiblissement

Un canal de transmission atténué (affaiblit) l'amplitude du signal qui le traverse. Le phénomène d'atténuation correspond à une *perte d'énergie du signal* pendant sa propagation sur le canal, et *s'accroît* avec la longueur de celui-ci. La quantité d'énergie perdue dépend très étroitement de la *fréquence du signal* et de la *bande passante du système*. On mesure l'atténuation par le rapport P_s/P_e où P_s est la puissance du signal à la sortie du canal et P_e la puissance du signal à l'entrée du canal. Il est courant d'exprimer l'atténuation en décibels (dB) sous la forme $10 \log (P_s/P_e)$ (elle est aussi exprimée en décibels par kilomètre).

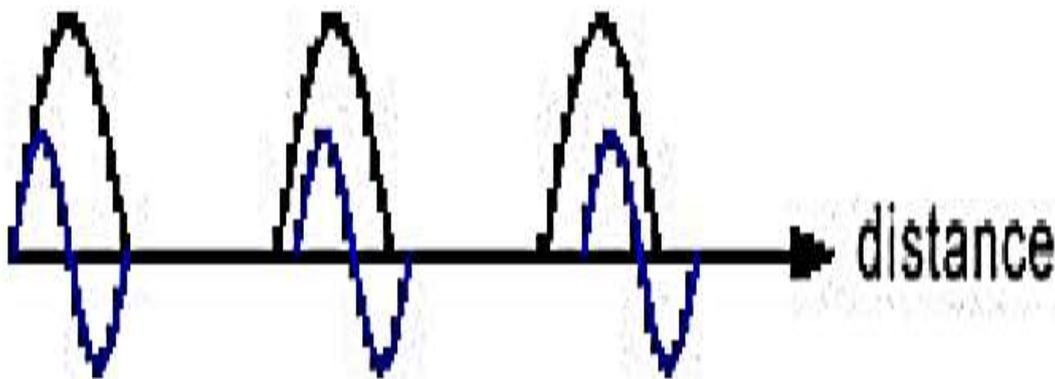


Schéma de l'affaiblissement du signal

III.2.5. Capacité limitée

L'ensemble des caractéristiques ci-haut ne fait que la capacité d'un support de transmission est limitée. Par capacité, nous entendons la quantité d'information transportée par unité de temps. Un théorème dû à *Shannon*⁴⁸ donne une borne maximale de cette capacité, notée Cap_{Max} et exprimée en bits par seconde :

$$Cap_{Max} = W \log_2 (1 + S/B)$$

Où W est la largeur de la bande passante exprimée en Hertz, S/B est la valeur du rapport puissance du signal à puissance du bruit, la base deux du logarithme servant pour exprimer l'information en bits. A titre d'exemple, sur une liaison téléphonique dont la bande passante a une largeur de 3100 Hz et avec un rapport S/B correspondant à 32 dB (valeurs courantes), on obtient : $10 \log_{10} S/B = 32$ donc $\log_{10} S/B = 3,2$ soit $S/B = 1585$ $Cap_{Max} = 3100 \log_2 (1 + 1585)$ soit avec $1586 = 210,63$ $Cap_{Max} = 3100 \times 10,63 = 33000$ bit/s.

⁴⁸Claude Shannon, mathématicien américain du XXème siècle qui a développé la théorie de l'information

III.3. LES PRINCIPAUX SUPPORTS DE TRANSMISSION

Les supports de transmission sont nombreux. Parmi ceux-ci, on distingue : *les supports métalliques, non métalliques et immatériels*. Les supports métalliques, comme les paires torsadées et les câbles coaxiaux, sont les plus anciens et les plus largement utilisés ; ils transportent des courants électriques. Les supports de verre ou de plastique, comme les fibres optiques, transmettent la lumière, tandis que les supports immatériels des *communications sans fil* propagent des ondes électromagnétiques et sont en plein essor.

III.3.1. LES PAIRES TORSADEES

Une *paire torsadée non blindée* (UTP, *Unshielded Twisted Pair*) se compose de deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe de symétrie longitudinal.

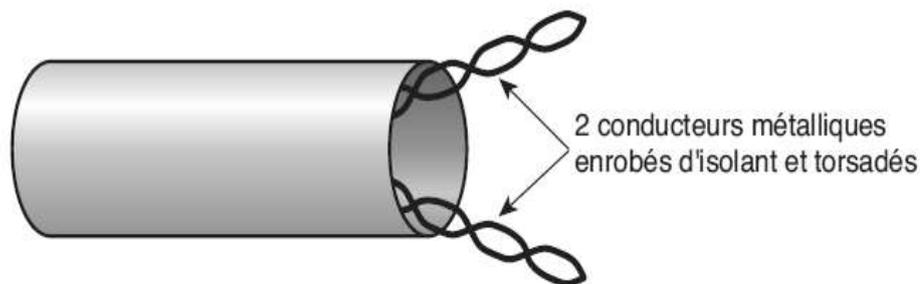


Schéma de la Paire torsadée.

L'enroulement réduit les conséquences des inductions électromagnétiques parasites dues à l'environnement. L'utilisation courante de la paire torsadée est le raccordement des usagers au central téléphonique (la *boucle locale*) ou la desserte des usagers de réseaux privés. Son principal inconvénient est l'affaiblissement des courants, d'autant plus important que le diamètre des conducteurs est faible. Les paires torsadées contiennent, à intervalles réguliers, des *répéteurs* qui régénèrent les signaux. Quand un câble dit câble multipaire rassemble plusieurs paires, les courants transportés interfèrent les uns avec les autres. Les torsades des paires présentent l'intérêt de limiter ce phénomène appelé *diaphonie* (*crosstalk*).

La paire torsadée suffit pour les réseaux locaux d'entreprise où les distances se limitent à quelques kilomètres. Ses avantages sont nombreux : technique maîtrisée, facilité de connexion et d'ajout de nouveaux équipements, faible coût. Certains constructeurs proposent des *paires torsadées blindées* (STP, *Shielded Twisted Pair*). Enrobées d'un conducteur cylindrique isolant, elles sont mieux protégées des rayonnements électromagnétiques parasites. Une meilleure protection prévoit un blindage par paire. La *catégorie* d'un câble de paires torsadées définit sa *qualité* : celle-ci correspond à des normes américaines et internationales.

À titre d'exemple, le câble de *catégorie 5* (norme EIA/TIA 568A de 1994), variété la plus couramment déployée dans le câblage des immeubles, contient quatre paires aux couleurs d'enrobage normalisées (*bleu, orange, vert et brun*) avec une impédance de 100 W d'une longueur de 100 m, supportant une fréquence maximale de 100 MHz, pour un débit inférieur à 1 Gbit/s et des caractéristiques précises de diaphonie (27 dB), de pertes en retour (8 dB) et d'affaiblissement (24 dB par tranche de 90 m). Un câble de catégorie supérieure, *5e* par exemple, supporte jusqu'à 155 MHz avec de meilleures caractéristiques de diaphonie (30 dB) et de pertes en retour (10 dB). Le connecteur de raccordement de ces câbles est la prise *RJ45*. Les normes spécifient aussi le type d'isolation et de blindage utilisé entre les différentes paires du câble. Les réseaux évoluant vers des débits toujours plus élevés, les instances de normalisation ont travaillé à la définition de standards de câblage plus performants, avec des spécifications très strictes : *catégorie 6* (fréquence maximale 250 MHz et débit inférieur à 10 Gbit/s), voire *catégorie 7*, qui utilise une connectique différente et que l'on réserve aux environnements ayant des exigences de sécurité et de performances très élevées.

Type de câble	Vitesse supportée	Type de réseau
Catégorie 1	Téléphonie	Téléphone
Catégorie 2	1 Mbps	Token-ring et téléphone
Catégorie 3	16 Mbps	Token-Ring et 10baseT
Catégorie 4	20 Mbps (<i>full duplex</i>)	10 Base T
Catégorie 5	100 Mbps	10BaseT et 100 Base TX
Catégorie 5e	1 Gbps	Giga Ethernet
Catégorie 6	250GHZ (≤ 5 Gbps)	Réseau a très haut débit
Catégorie 7	600GHZ (≤ 10 Gbps)	

Tableau récapitulatif des différentes catégories de la paire torsadée

III.3.2. LES CABLES COAXIAUX

Pour éviter les perturbations dues aux bruits externes, on utilise deux conducteurs métalliques cylindriques de même axe séparés par un isolant. Le tout forme un *câble coaxial*. Ce câble présente de meilleures performances que la paire torsadée : affaiblissement moindre, transmission de signaux de fréquences plus élevées, etc. La capacité de transmission d'un câble coaxial dépend de sa longueur et des caractéristiques physiques des conducteurs et de l'isolant. Sur 1 km, un débit de plusieurs centaines de mégabits par seconde peut être atteint. Sur des distances supérieures à 10 km, l'atténuation des signaux réduit considérablement les débits possibles. C'est la raison pour laquelle on utilise désormais les fibres optiques sur les liaisons grandes distances. Les câbles coaxiaux restent très utilisés dans les réseaux de télévision et les réseaux métropolitains (à l'échelle d'une grande ville).

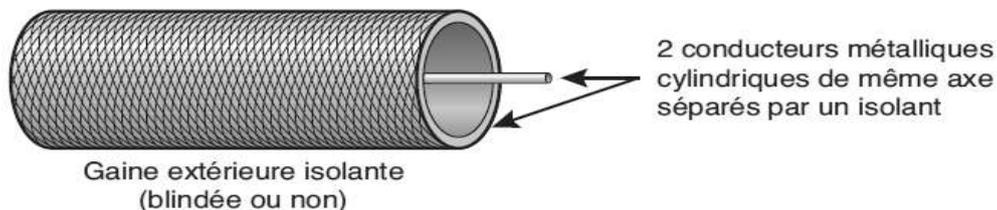


Schéma Câble coaxial

III.3.3. LA FIBRE OPTIQUE

Une *fibre optique* est constituée d'un fil de verre très fin. Elle comprend un cœur, dans lequel se propage la lumière émise par une « *diode électroluminescente* » ou « *une source laser* », et une gaine optique dont l'indice de réfraction garantit que le signal lumineux reste dans la fibre et s'y propage sur plusieurs kilomètres sans pertes. Nettement plus chère, la fibre optique permet des débits élevés. Utilisant un signal lumineux, elle est insensible aux parasites électromagnétiques. Ce support est fragile, difficile à installer et se casse facilement sous un effet de torsion.

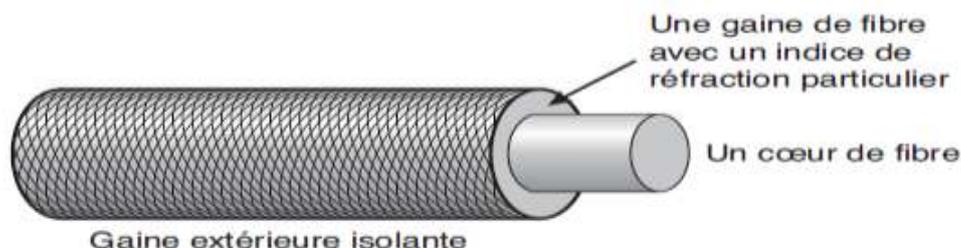


Schéma de la Fibre optique

La fibre optique possède néanmoins de plusieurs avantages :

- ▶ Légère
- ▶ Parfaite immunité aux signaux parasites électromagnétiques ;
- ▶ Faible atténuation du signal avec la distance ;
- ▶ Accepte des débits supérieurs à 10 Gb/s ;
- ▶ Largeur de bande élevée, de quelques dizaines de MHz à plusieurs GHz ;
- ▶ Elle est interconnecter dans des réseaux locaux ou sur de longues distances ;
- ▶ Elle possède un diamètre extérieur de l'ordre de 0,1 mm, poids de quelques grammes au kilomètre. Cette réduction de taille et de poids la rend facile à utiliser.

Le **câblage optique** est souvent utilisée pour les connexions entre plusieurs bâtiments (*appelé backbone*) et longues distances (*de quelques kilomètres à 60 km pour la fibre monomode*). Ce type de câble ne permet pas non plus d'écouter sur le câble, il n'émet aucun signal électromagnétique lors d'un transfert de données⁴⁹. Deux types de fibres optiques sont utilisés:

- ▶ **Le monomode (SMF)** : utilise un seul canal de transfert à l'intérieur du conducteur et permet des transferts jusque 100 Gb/s par kilomètre. Le chemin est parfaitement linéaire, il n'y a aucune dispersion du signal. Par contre, la source d'émission est une diode laser, plus chère et plus difficile à mettre en œuvre.
- ▶ **Le multimode (MMF)** : utilise une simple diode LED moins chère mais avec un signal non rectiligne. Les rayons utilisent différents trajet suivant les angles de réfraction et donc différents temps de propagations: le signal doit être reconstruit à l'arrivée. Principalement utilisées pour les réseaux internes, les performances sont de l'ordre du Gb/s.

Enfin, l'insensibilité des fibres aux parasites électromagnétiques est un avantage très apprécié, puisqu'une fibre supporte sans difficulté la proximité d'émetteurs radioélectriques. On peut l'utiliser dans des environnements perturbés (*avec de puissants champs électromagnétiques ou des corrosions chimiques agressives, par exemple*). Par ailleurs, elle résiste bien aux écarts de température. La fibre optique constitue la plupart des artères des réseaux de télécommunications et des réseaux locaux à très haut débit.

⁴⁹ En outre, sa très grande capacité autorise la transmission simultanée de nombreux canaux de télévision, de téléphone... Les points de régénération des signaux sont plus éloignés (*jusqu'à 200 km*), du fait de l'atténuation moindre de la lumière.

Les premières fibres optiques employées dans les télécommunications, apparues sur le marché à partir des années 1970, étaient *multimodes* (à saut d'indice ou à gradient d'indice, selon que l'indice de réfraction de la lumière varie de manière brutale ou progressive entre le cœur et la gaine de la fibre). Ces fibres étaient réservées (et le sont encore) aux débits inférieurs au gigabit par seconde, sur des distances de l'ordre du kilomètre. Plusieurs longueurs d'onde bien choisies se propagent simultanément en de multiples trajets dans le cœur de la fibre. Pour des débits plus élevés et des distances plus longues, la fibre *monomode*, de fabrication plus récente, plus fine, assure la propagation d'une seule longueur d'onde dans son cœur (quelques micromètres de diamètre) et offre donc de meilleures performances : on atteint le téra-bit par seconde sur plusieurs kilomètres.

Comme pour les paires métalliques, des câbles, ou faisceaux, recouverts de gaines isolantes regroupent plusieurs fibres optiques. Ces câbles sont enfouis dans le sol à un mètre de profondeur ou posés sur le fond des océans, par exemple, pour les communications transcontinentales.

III.3.4. LES TRANSMISSIONS SANS FIL

Les ondes électromagnétiques se propagent dans l'atmosphère ou dans le vide (le terme d'*éther* désigne parfois ce type de support). L'absence de support matériel apporte une certaine souplesse et convient aux applications comme la téléphonie ou les télécommunications mobiles, sans nécessiter la pose coûteuse de câbles. On utilise des transmissions directionnelles avec des faisceaux hertziens pour franchir de grandes distances ou, au contraire, des transmissions avec des ondes diffusées pour atteindre des récepteurs géographiquement dispersés.

A. LES FAISCEAUX HERTZIENS

Les *faisceaux hertziens* reposent sur l'utilisation de fréquences très élevées (de 2 GHz à 15 GHz et jusqu'à 40 GHz) et de faisceaux produits par des antennes directionnelles (émettant dans une direction donnée). La propagation des ondes est limitée à l'horizon optique ; la transmission se fait entre des stations placées en hauteur, par exemple au sommet d'une colline, pour éviter les obstacles dus aux constructions. Les faisceaux hertziens s'utilisent pour la transmission par satellite, pour celle des chaînes de télévision ou pour constituer des artères de transmission longues distances dans les réseaux téléphoniques.

La seconde moitié du xxe siècle a vu le développement de systèmes de télécommunications par satellite, avec des *satellites géostationnaires* (positionnés dans le plan de l'équateur à 36 000 km d'altitude) et des micro-stations terrestres (VSAT, *Very Small Aperture Terminal*) dotées de petites antennes et déployées dans des zones rurales par exemple. Plusieurs expériences de satellites en orbite basse (*750 km d'altitude*) furent tentées à la fin du siècle avec 66 satellites pour le projet *Iridium* et 48 satellites seulement mais des relais terrestres pour le projet *Globalstar*. Les solutions de télécommunications par satellite, malgré leur coût de déploiement, restent intéressantes pour les applications militaires et sont indispensables dans l'organisation rapide des secours lors de catastrophes naturelles comme le tsunami dans l'océan Indien en 2004 ou celui du Japon en 2011, suite à un important tremblement de terre.

B. ONDES RADIOELECTRIQUES

Les *ondes radioélectriques* correspondent à des fréquences comprises entre 10 kHz et 2 GHz. Un émetteur diffuse ces ondes que des récepteurs dispersés géographiquement captent. Contrairement aux faisceaux hertziens, il n'est pas nécessaire d'avoir une visibilité directe entre émetteur et récepteur, car celui-ci utilise l'ensemble des ondes réfléchies et diffractées. En revanche, la qualité de la transmission est moindre car les interférences sont nombreuses et la puissance d'émission est beaucoup plus faible.

III.3.5. LES AUTRES TRANSMISSIONS

Les opérateurs de télécommunications recherchent des solutions pour faire face à une demande toujours plus forte. Ils explorent ainsi la totalité du spectre des ondes, avec des fréquences de plus en plus élevées. Notons que certaines bandes de fréquences sont libres (*réservées à un usage industriel, scientifique ou médical*) pourvu que la puissance d'émission soit faible (*10 mW par exemple*) et que l'émission ne soit pas continue (*afin de limiter les interférences*).

Malgré ces contraintes, ces bandes sont plutôt encombrées et souffrent de nombreuses perturbations, sans parler des problèmes de confidentialité. Les ondes infrarouges ont fait l'objet d'expérimentation pour les communications. Elles ne sont guère utilisables qu'entre un ordinateur et son imprimante car elles ne traversent pas les obstacles. Enfin, la transmission d'ondes lumineuses en espace libre pourrait s'imaginer entre sommets d'immeubles en visibilité directe, pour raccorder les réseaux contenus dans chacun d'eux, surtout s'il s'agit d'un besoin temporaire.

CHAPITRE IV. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE DES RESEAUX INFORMATIQUES

Les normes établies par les organismes internationaux (*et particulièrement américains*) de normalisation ont contribué à l'ouverture des architectures propriétaires, à la convergence des efforts des petites sociétés, et à l'expansion de la micro-informatique dans le monde... D'une certaine façon, les organismes de normalisation sont à l'origine de la compatibilité, de l'interopérabilité et de la démocratisation des outils informatiques. Par exemple, les réseaux de l'architecture SNA d'IBM, ne pouvaient communiquer avec les réseaux DNA de DIGITAL... Les besoins croissants des entreprises en matière d'interactivité, de partage de données, et de portage des applications dans différents environnements ont accéléré le développement des normes pour les réseaux.

IV.1. LES ORGANISMES DE NORMALISATION

En général, les normes sont des spécifications techniques qui imposent certaines contraintes de fabrication aux constructeurs. Les fabricants adhèrent volontairement à ces directives, à ces recommandations, parce qu'elles leur assurent une large part de marché. Aujourd'hui, la conformité aux normes est presque un impératif. Les normes concernent tous les aspects de l'informatique : les matériels, les logiciels, et même les personnels avec les certifications. Tout doit rentrer dans l'ordre. Les normes correspondent à la publication d'une certaine technologie par des organismes, tandis que les standards correspondent à la reconnaissance des utilisateurs pour une certaine technologie. Les principaux organismes de normalisation sont soutenus par les grandes entreprises de l'industrie informatique.

L'objectif de la normalisation est de définir et promouvoir des normes pour permettre aux utilisateurs et fournisseurs de logiciels ou de matériels de travailler avec les mêmes concepts (au niveau syntaxique et sémantique). La normalisation a aussi pour objectif de stimuler la concurrence entre fournisseurs de produits, ce qui devrait conduire à la baisse des coûts pour les utilisateurs. La normalisation, dans le domaine des réseaux, s'avère de plus en plus importante vus les types d'accès existants aujourd'hui (n'importe qui peut accéder à des données se trouvant à l'autre bout de la planète, ce qui ne peut se faire que s'il y a un minimum de normes d'échange à respecter). Le processus de normalisation est souvent très lent :

- ▶ normalisation au niveau d'un pays (convaincre au niveau national) ;
- ▶ normalisation au niveau continental (*convaincre au niveau européen, par exemple*) ;
- ▶ normalisation au niveau mondial (*arriver à imposer une idée au niveau international*).

Parfois, la normalisation conduit à freiner le développement de certaines idées pour lesquelles les produits et concepts changent trop vite, comme c'est le cas des réseaux. Il y a toujours les partisans et les adversaires de la normalisation tous azimuts. Les premiers mettent en avant les avantages de la normalisation et les seconds ont pour argument la difficulté de mettre en place des organisations efficaces, rapides et surtout vraiment indépendantes (*souvent les attitudes partisans de tel ou tel pays conduisent à geler pendant des années le programme d'une norme*). Certains considèrent que les réseaux propriétaires (*c'est-à-dire non normalisés*) constituent une arme efficace pour accroître la sécurité d'un système informatique (*en effet, si on ne connaît pas les règles de communication utilisées au sein du réseau d'une organisation, il est plus difficile d'y pénétrer*).

Les organismes de normalisation peuvent être constitués de différentes manières :

- ▶ Les services d'un état
- ▶ Des instituts universitaires
- ▶ Des organismes de recherche
- ▶ Des consortiums d'entreprises privées
- ▶ Un « melting pot »

Avant la naissance des principaux organismes de normalisation, deux grandes catégories de problèmes se sont posées : d'abord, « *la diversité propriétaires* », ensuite, « *l'hétérogénéité croissante des réseaux* »... cela engendra maintenant, le besoin de protocoles ouverts normalisés et/ou standardisés. C'est la naissance des Organismes de normalisation :

- ▶ **Les Opérateurs télécoms : ITU ou UIT** (« *International Telecommunication Union ou Union Internationale de la télécommunication* » avec comme **recommandations V., X., I.**) créé en 1865, à Genève, anciennement appelée CCITT « *Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique ou Consutative Committee for International Telegraph and Telephone* » ; actuellement sous l'appellation de l'UIT-T ou ITU-T⁵⁰. cet organisme a pour rôle de publier des recommandations tous les 4 ans, qui se distinguent par la couleur de la couverture. Le CCITT se divise en 15 groupes de travail. C'est par exemples, Les normes de la série V pour les modems.

⁵⁰ UIT-T ou ITU-T : (*Union Internationale de la télécommunication – Standardisation des Télécommunications ou International Telecommunication Union – Standardisation Telecom*)

- ▶ **Les Organismes officiels de normalisation : ISO** (« *International Standard Organisation* ») : dont le siège est à Paris, avec comme **modèle de référence OSI** (« *Open System for Interconnexion* ») : qui regroupe les organismes de normalisation nationaux dont :
 - ⇒ **l'ANSI** (« *American National Standard Institute ou Organisme de Normalisation Américain* »), qui se charge « *des constructeurs, des consommateurs et des groupes d'intérêt général* », ayant mis au point le système « **AINSI.SYS** » dans MS-DOS, qui est un pilote se chargeant actuellement de l'interprétation des commandes. Cet organisme a aussi normalisé les 128 caractères du codage ASCII⁵¹, les langages de programmation tels que (*FORTRAN, COBOL, C*), ainsi que les interfaces SCSI (*Small Computer System Interface*).
 - ⇒ **COSE** (*Common Open Software Environment*) dont l'objectif est de développer une interface graphique commune à tous les environnements UNIX. Une interface (*CDE pour Common Desktop Environment*), et des API (*Application Programming Interface*).
 - ⇒ **OMG** (*Object Management Group*) qui certifie des produits. L'architecture OMA (*Object Management Architecture*) pour servir de modèle aux applications et aux environnements orientés objet.
 - ⇒ **OSF** (*Open Software foundation*) qui crée des environnements hétérogènes et multi fournisseurs en combinant des technologies provenant de différents fabricants. La plate-forme DCE (*Distributed Computing Environment*). L'outil d'administration réseau DME (*Distributed Management Environment*). OSF/1 qui est un système d'exploitation UNIX fondé sur le noyau MACH et qui intègre le multi traitement symétrique, des fonctionnalités avancées de sécurité et la configuration dynamique. OSF/MOTIF qui est une interface graphique commune à plusieurs environnements. OSF/ANDF qui permet de développer des applications portables sur n'importe quel environnement.

⁵¹ ASCII : « *American Standard Code for Information Interchange* », qui est une table de codage des caractères habituels et spécifiques présentés pendant différentes périodes, d'abord pour la première fois en 1963, puis 1965 et enfin en 1968 ;

- ⇒ **I'IEEE** (« *Institute of Electrical and Electronic Engineer* » ou « *Association américaine des ingénieurs en électronique* »), basé dans la normalisation des principaux LAN.

- ⇒ **I'EIA** (« *Electronic Industries Association* »), créé en 1924, dans le domaine de l'électronique, il se charge de la normalisation du câblage et interfaces physiques ; c'est par exemple : **la norme RS-232C (*Recommended Standard : pour la famille de standards d'interface de ports de communication série, là où, on y branche des souris, des modems et même des imprimantes avec des connecteurs a 9 ou 25 broches*)**.

- ⇒ **SAG** (*SQL Access Group*) fondé en 1989 et qui travaille avec l'ISO. L'objectif du SAG est l'interopérabilité des différentes variantes du langage de requête SQL, et de définir des normes pour les logiciels frontaux et dorsaux des différentes bases de données. La normalisation du langage SQL.RDA (Remote Database Access) pour la communication entre un serveur et un client.SQL Access CLI (Call Level Interface) qui est un ensemble d'API.

- ⇒ **I'IETF** (« *Internet Engineering Task Force* ») : c'est une organisation de normalisation dépendant de la direction des architectures d'Internet, chargé de définir les outils utilisés par l'internet. C'est grâce a cette organisation que le « *IPv6* » a été normalisé. Et cet organisme compte plus de centaine de groupes de travail, qui œuvrent dans tous les domaines concernant le réseau.

- ⇒ **AFNOR** (« *Association Française de Normalisation* »), c'est une organisation de normalisation qui représente l'ISO en France, travaillant également dans le domaine généralisé informatique.

- ⇒ **ISOC** (« *Internet Society* »), organisation de Normalisation, fondée en janvier 1992 et rattachée **I'IAB** «*Internet Architecture Board*», chargé de promulguer les standards au niveau Mondial. Actuellement, l'ISOC, reconnaît le **HTML** «*HyperText Markup Language : qui définit le format des documents web*», le **SGML** «*Standard Generalized Markup Language : Métalangage utilisé pour définir de façon générale des langages hypertextes de toutes sortes*» et le **VRML** «*Virtual Reality Modeling Language : Langage orienté objet de manipulation d'objet 3D*» comme les langages informatiques.

- ⇒ **DIN** (« *Deutsches Institut für Normung* »), organisme de standardisation Allemand, faisant aussi partie de la représentation de l'ISO en Allemagne.

- ⇒ **BSI** (“*British Standardization Institut*”), Organisme National de Standardisation Anglais, aussi membre de l’ISO, en Angleterre.
- ⇒ **IBN** (« *Institut Belge de Normalisation* ») ; en Belgique.
- ⇒ **JISC** («*Japanese Industrial Standards Committee*»), au Japon.
- ⇒ **SEV** (Schweizerischer Electrotechnischer Verein), en Suede.

- ⇒ **RFC**⁵² (“*Request For Comments*”): Dans le domaine Internet, on ne parle pas de normes mais de « *standards* ». Comme les standards Internet sont censés évoluer dans le temps suite à des améliorations – remarques - critiques émanant de tout le monde, les documents officiels qui contiennent les standards sont appelés « *RFC*⁵³ ». Ils sont publiés par un organisme appelé IETF (*Internet Engineering Task Force*). Voici quelques numéros de RFC très utilisés :

- ◆ IP (Internet Protocol) : RFC 791
- ◆ Assigned Numbers : RFC 1340
- ◆ The IP Network Address Translator (NAT) : RFC 1631
- ◆ ARP (Address Resolution Protocol) : RFC 826
- ◆ Icmp (Internet Control Message Protocol) : FRC 792
- ◆ TCP (Transmission Control Protocol) : RFC 793
- ◆ UDP (User Datagram Protocol) : RFC 768
- ◆ DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) : 2131
- ◆ Bootp (Bootstrap Protocol) : RFC 951
- ◆ Ipsec (IP Security) : RFC 2401, 2402, 2406, 2408, 2409, 3095...
- ◆ PPP (Point-to-Point Protocol) : RFC 1661
- ◆ DNS (Domain Name Server) : RFC 1033, 1034, 1035
- ◆ VoIP : RFC 3550, 2032, 3261

⁵² La liste complète des RFC se trouve à : http://www.ietf.org/iesg/1rfc_index.txt

⁵³ Il existe des milliers de RFC (*presque 4800 en janvier 2007*). Depuis avril 1969, des centaines de RFC sont rajoutés chaque année. Des RFC peuvent devenir obsolètes suite à l’apparition de nouveaux RFC. Les RFC sont classés, selon cinq classifications : **obligatoire, recommandé, facultatif, limité, non recommandé** ainsi que trois niveaux de maturité qui sont **standard proposé, standard brouillon, standard internet**.

IV.2. LES PROTOCOLES RESEAUX

Un protocole réseau est un ensemble de règles et de procédures de communication utilisées de part et d'autre par toutes les stations qui échangent des données sur le réseau. Autrement, c'est un ensemble de règles convenues entre 2 entités désirant communiquer et permettant d'instaurer un dialogue compréhensible. Cependant, dans un réseau des données, Les protocoles est Ensemble de règles convenues entre 2 équipements informatiques désirant communiquer et permettant d'instaurer un dialogue compréhensible.

Principaux problèmes à traiter pour échanger des informations :

- ▶ Codage des bits en signaux ;
- ▶ Procédure de transmission ;
- ▶ Détection des erreurs ;
- ▶ Retransmission des données perdues ;
- ▶ Contrôle de flux ;
- ▶ Contrôle et mise à jour du routage ;
- ▶ Vérification du séquençement des paquets ;
- ▶ Aiguillage locale vers une application ;
- ▶ Formatage des données.

Chacun de ces problèmes spécifiques peut être traité par une entité fonctionnelle appelée « couche », destinée à accomplir une tâche ou à rendre un service. C'est par Exemple, les 7 couches du modèle OSI : Principaux problèmes à traiter pour échanger des informations :

- ▶ Codage des bits en signaux ⇒ couche 1
- ▶ Procédure de transmission ⇒ couche 2
- ▶ Détection des erreurs ⇒ couche 2
- ▶ Retransmission des données perdues ⇒ couche 2
- ▶ Contrôle et mise à jour du routage ⇒ couche 3
- ▶ Contrôle de congestion ⇒ couche 3
- ▶ Vérification du séquençement des paquets ⇒ couche 4
- ▶ Fragmentation des données ⇒ couche 4
- ▶ Aiguillage locale vers une application ⇒ couche 5
- ▶ Formatage des données ⇒ couche 6 et 7

La mise en considération de ces problèmes donnera naissance à deux catégories d'architectures protocolaires des couches notamment :

- ▶ ***L'architecture protocolaire point à point (Peering)***: ayant pour but de réaliser un dialogue entre un système d'extrémité et un relais, ou entre deux relais ; d'assurer le transport de l'information dans le réseau ; de faire fonctionner les entités en mode connecté ou non connecté.
- ▶ ***L'architecture protocolaire bout à bout (Ending)*** : ayant pour but de réaliser un dialogue entre les systèmes d'extrémités ; de vérifier l'intégrité des informations remises aux applications ; d'organiser le dialogue applicatif ; de faire fonctionner les entités en généralement en mode connecté.

Il existe de nombreux protocoles réseaux (*NETWORK PROTOCOLS*), mais ils n'ont pas tous, ni le même rôle, ni la même façon de procéder. Certains protocoles réseaux fonctionnent au niveau de plusieurs couches du modèle OSI, d'autres peuvent être spécialisés dans la réalisation d'une tâche correspondant à une seule couche du modèle OSI. Un paquet transmis sur le réseau est constitué de plusieurs couches d'informations correspondant aux différents traitements de chacun des protocoles de la pile⁵⁴. Différentes piles de protocoles peuvent coexister sur une même station, selon les besoins de communication vers des environnements différents. Les piles sont alors ordonnées entre elles afin que le processus de transmission essaye d'abord l'une puis l'autre. Un réseau qui comporte plusieurs segments doit en général utiliser un protocole routable.

⁵⁴ Pile : c'est une structure des données classique où les premières données qu'on y met sont les dernières à sortir, voir le système FILO « *First In, Last Out* ou *Premier entrant, dernier sortant* ».

IV.2.1. LE MODELE OSI ET LA PILE DE PROTOCOLES

Une pile de protocoles est une combinaison de plusieurs protocoles. Plusieurs protocoles peuvent collaborer ou coopérer au sein d'une suite ou d'une « *pile de protocoles* » (*PROTOCOL STACK*). Dans une pile de protocole, les différents protocoles sont organisés, ordonnés, hiérarchisés, les uns à la suite des autres, afin d'accomplir un ensemble de tâches correspondant à tout ou partie du modèle OSI. Le fonctionnement des différents protocoles de la pile doit être coordonné afin de prévenir les conflits et les opérations inachevées.

L'architecture en couche du modèle OSI se retrouve dans la pile de protocoles et assure la coordination de chacune des opérations du processus de transmission des données. En général, on parle de pile de protocole pour désigner l'ensemble du processus de transmission des données sur le réseau, et donc l'ensemble des couches du modèle OSI. Toutefois, le seul empilement de deux protocoles peut être également désigné par le terme de pile de protocoles.

Selon le modèle OSI, le processus de transmission des données sur un réseau est décomposé en plusieurs étapes, dans un ordre bien déterminé. Le modèle OSI distingue 7 étapes fondamentales, et décompose le processus de transmission des données en 7 couches. Chaque couche a une fonction bien précise dans le processus de transmission des données. A chacune de ces couches correspond la réalisation d'une ou de plusieurs tâches, et plusieurs cas de figure sont envisageables :

- ▶ Une tâche est réalisée par un seul protocole.
- ▶ Toutes les tâches d'une couche OSI sont réalisées par un seul protocole.
- ▶ Plusieurs tâches appartenant à différentes couches OSI sont réalisées par un seul protocole.
- ▶ Toutes les tâches de plusieurs couches OSI sont réalisées par un seul protocole.

Ainsi, les spécifications du modèle OSI sont respectées, mais la délimitation de chaque couche ne l'est pas forcément. Dans le processus de transmission, les données « *traversent* » la pile de protocoles, mais le nombre de protocoles constituant la pile n'est pas obligatoirement égale au nombre de couches du modèle OSI. La théorie ne correspond pas exactement à la réalité... Les couches du modèle OSI correspondent plus ou moins aux couches d'une pile de protocoles. Les couches basses spécifient la manière dont les matériels sont connectés, tandis que les couches hautes énoncent les règles de communication. Les opérations des couches hautes sont plus complexes que celles des couches basses.

Modèle OSI	
COUCHES	FONCTIONS
APPLICATION	Initie ou accepte une requête réseau
PRESENTATION	Ajoute des informations de formatage, d'affichage, de cryptage
SESSION	Ajoute des informations de flux pour indiquer le départ d'un paquet
TRANSPORT	Ajoute des informations pour le traitement des erreurs des paquets
RESEAU	Ajoute un numéro d'ordre et des informations d'adressage au paquet
LIAISON	Ajoute des informations de contrôle d'erreurs d'un paquet (CRC)
PHYSIQUE	Émet les paquets sur le réseau sous la forme d'un flot de bits bruts

IV.2.2. LES LIAISONS DE PROTOCOLES

Dans une pile de protocoles, il y a au moins un protocole correspondant à chacune des couches du modèle OSI. Dans un tel cas, le processus de transmission des données est unique et traverse successivement tous les protocoles de la pile jusqu'à l'émission des trames sur le réseau. Il n'y a pas de liaison parce qu'il n'y a pas de choix à faire entre plusieurs protocoles de la même couche (en fait, les liaisons sont évidentes et sous-entendues, mais on dit qu'il n'y a pas de liaison parce qu'il n'y a pas de bifurcations).

Le plus souvent, la pile de protocole est constituée, pour chacune des couches du modèle OSI, de plusieurs protocoles différents. Une pile qui comporte à chaque niveau plusieurs protocoles est capable de communiquer dans plusieurs environnements (*ce sont les avantages de l'ouverture, de la compatibilité et de la diversité*).

Le processus de transmission des données doit obligatoirement passer par l'un des protocoles de chaque couche (*sinon la fonction de la couche correspondante ne serait pas réalisée*), mais selon les besoins, il peut passer par n'importe lesquels d'entre eux. Le processus de transmission des données est guidé par des liaisons (*BINDINGS*) qui indiquent à chaque niveau le protocole à choisir et le protocole suivant. Les liaisons des protocoles de la pile indiquent les différents chemins possibles pour le processus de transmission des données. Chacun des chemins peut être (*par un raccourci conceptuel et linguistique*) considéré et appelé une pile.

Quand il existe plusieurs protocoles pour une même couche, il existe en général des liaisons en amont et en aval. Chacun des protocoles d'un même niveau est relié à l'un des protocoles précédents par une liaison, et à l'un des protocoles suivant par une autre liaison. Le processus de transmission des données doit faire un choix à chaque niveau où il y a une liaison.

Les liaisons sont hiérarchisées entre elles par un ordre de priorité. L'ordre des liaisons de la pile de protocole détermine l'ordre dans lequel le système d'exploitation réseau exécute les protocoles. Ainsi, selon le type de données à transmettre, le type de correspondant, ou le type de réseau, l'un ou l'autre des protocoles sera sélectionné ; par défaut, le protocole le plus prioritaire sera exécuté en premier, s'il n'aboutit pas, le protocole suivant sera exécuté, et ainsi de suite... Par exemple, dans un ordinateur NT, plusieurs protocoles de connexion ou d'acheminement des paquets (*par exemple TCP/IP et NWLink*) peuvent cohabiter à l'intérieur d'une même pile de protocole. Le protocole prioritaire de la pile (*par exemple TCP/IP*) sera d'abord utilisé pour établir la connexion avec l'ordinateur auquel les données doivent être transmises, si la connexion ne peut s'établir, alors le deuxième protocole (*par exemple NWLink*) effectuera à son tour une tentative de connexion ... En général, les liaisons de protocoles sont créées pendant l'installation du système d'exploitation réseau ou pendant l'installation des protocoles.

IV.2.3. LES AVANTAGES DES LIAISONS DE PROTOCOLES

- ▶ L'utilisation de plusieurs protocoles procure des avantages :
- ▶ La communication dans des environnements hétérogènes :
- ▶ La réunion d'ordinateurs différents sur le même réseau
- ▶ La coopération de systèmes d'exploitation différents sur le même réseau
- ▶ La jonction de réseaux utilisant des protocoles différents :
- ▶ L'utilisation conjointe d'un protocole routable et d'un protocole non routable

Les liaisons de protocoles permettent de combiner plusieurs protocoles réseaux sur un même ordinateur. Les liaisons de protocoles sont très utiles dans un réseau hétérogène parce qu'elles permettent de faire communiquer des ordinateurs qui fonctionnent sur différents systèmes d'exploitation (par exemple MICROSOFT et NOVELL) et des réseaux qui fonctionnent avec différents protocoles (*par exemple TCP/IP et SPX/IPX*). Plusieurs protocoles (*par exemple TCP/IP et SPX/IPX*) peuvent être « liés » à la même carte réseau, et le processus de transmission des données utilise soit l'un, soit l'autre.

Les liaisons de protocoles permettent de combiner plusieurs cartes réseaux. Plusieurs cartes réseaux peuvent être installées sur le même ordinateur, et à chacune peut correspondre une pile de protocoles différents.

IV.2.4. LES PILES STANDARDS

Certaines piles de protocoles sont reconnues par l'industrie informatique comme des standards ; ce sont soit des protocoles propriétaires, soit des protocoles issus d'organismes de normalisation (*la plupart du temps ces organismes sont américains*) qui ont initié une réflexion volontaire et concertée :

- ▶ **Le modèle OSI** ;
- ▶ **L'architecture SNA** (Systems Network Architecture) de la société IBM ;
- ▶ **L'architecture DECnet** de la société DIGITAL EQUIPMENT COMPUTER pour mettre en œuvre l'architecture DNA (*Digital Network Architecture*) dans le cadre des réseaux locaux ETHERNET ou des réseaux étendus MAN. La version actuelle s'appelle DECnet phase V ;
- ▶ **L'architecture NetWare** de la société NOVELL

- **L'architecture AppleTalk** de la société APPLE COMPUTER
- **La pile Internet TCP/IP**

Les organismes de normalisation comme l'ISO, l'IEEE, l'ANSI (*American National Standard Organisation*), le CCITT devenue le l'ITU (*International Telecommunication Union*) et bien d'autres ont développé des protocoles correspondant aux spécifications du modèle OSI (*avec ses 7 couches*) et du modèle IEEE 802 (*avec les deux sous-couches LLC et MAC*).

Tableau comparatif des piles de protocoles						
Le modèle OSI	Windows NT				La pile internet	
APPLICATION	Redirecteurs		Serveurs		NFS	
					SNMP	FTP
PRESENTATION	TDI					Telnet
SESSION	TCP/IP	NWLink	NBT	DLC	TCP	
TRANSPORT	NDIS 4.0				IP	
RESEAU	Wrapper NDIS dont les pilotes des cartes réseaux NDIS				Pilotes LAN	
LIAISON					La sous-couche MAC	
PHYSIQUE	La couche Physique				La couche Physique	

Tableau comparatif des piles des protocoles en mode Windows & TCP/IP

Tableau comparatif des piles de protocoles						
Le modèle OSI	NetWare			APPLE		
APPLICATION	NCP			AppleShare		
PRESENTATION				NCP		
SESSION	Tubes nommés	NetBIOS	ASP	ADSP	ZIP	PAP
TRANSPORT	SPX		ATP	NBP	AEP	RTMP
	IPX		DDP			
RESEAU	Pilotes LAN			Pilotes LAN		
LIAISON	ODI	NDIS	Local Talk	TokenRing	EtherTalk	
PHYSIQUE	La couche physique			La couche physique		

Tableau comparatif des piles des protocoles en mode Netware & Apple

IV.2.5. LES TROIS CATEGORIES DES PROTOCOLES RESEAUX

Les protocoles peuvent être classés par simplification en trois catégories et non plus en sept couches comme le recommande le modèle OSI. En effet, dans la réalité, les protocoles ne suivent pas strictement les frontières établies par l'organisme de normalisation ISO. Le modèle OSI est réduit à trois couches.

Le tableau de substitution des sept couches en trois catégories	
Les sept couches du modèle OSI	Les trois catégories de protocoles
APPLICATION	APPLICATION
PRESENTATION	
SESSION	
TRANSPORT	TRANSPORT
RESEAU	RESEAU
LIAISON	
PHYSIQUE	

Tableau de substitution des sept couches en 3 catégories des protocoles

A. LES PROTOCOLES DE LA CATEGORIE APPLICATION

Les protocoles de la catégorie APPLICATION garantissent l'interaction et l'échange des données :

- ▶ **APPC** (*Advanced Program to Program Communication*) est le protocole SNA poste à poste d'IBM essentiellement utilisé sur les ordinateurs AS/400.
- ▶ **FTAM** (*File Transfer Access and Management*) est un protocole OSI d'accès aux fichiers.
- ▶ **X.400** est un protocole CCITT⁵⁵ permettant la transmission internationale de messagerie électronique.
- ▶ **X.500** est un protocole CCITT offrant des services de fichiers et de répertoires répartis sur plusieurs systèmes.

⁵⁵ Comité Consultatif International de Télégraphie et de Téléphonie

- ▶ **SMTP** (*Simple Mail Transfer Protocol*) est un protocole Internet pour le transfert de messagerie électronique.
- ▶ **FTP** (*File Transfer Protocol*) est un protocole Internet pour le transfert de fichiers.
- ▶ **SNMP** (*Simple Network Management Protocol*) est un protocole Internet permettant la surveillance des réseaux et de leurs composants.
- ▶ **TELNET** est un protocole Internet pour la connexion à des hôtes distants et le traitement local de données.
- ▶ **SMB** (*Server Message Blocks*) est le redirecteur client (shell) de MICROSOFT.
- ▶ **NCP** (*Novell Netware Core Protocol*) est le redirecteur client (shell) de NOVELL.
- ▶ **APPLETALK** et **APPLESHARE** est la suite de protocole d'APPLE.
- ▶ **AFP** (*AppleTalk Filing Protocol*) est un protocole APPLE (pour les ordinateurs MACINTOSH) destiné à l'accès distant à des fichiers.
- ▶ **DAP** (*Data Access Protocol*) est un protocole DECnet pour l'accès aux fichiers.

B. LES PROTOCOLES DE LA CATEGORIE TRANSPORT

Les protocoles de la catégorie TRANSPORT assurent les connexions et le contrôle des transferts de données :

- ▶ **TCP** (*Transmission Control Protocol*) est une partie du protocole Internet TCP/IP qui garantit la remise des données en séquence.
- ▶ **SPX** (*Sequential Packet Exchange*) est une partie du protocole SPX/IPX de NOVELL qui garantit la remise des données en séquence. C'est un protocole réduit, rapide et routable. SPX/IPX est un produit dérivé du protocole XNS (Xerox Network System) qui a été développé par la société XEROX pour les réseaux locaux ETHERNET. La pile XNS est un protocole qui a largement été diffusé dans les années 1980, mais qui a été progressivement remplacé par la pile TCP/IP. La pile XNS génère de nombreux messages de diffusion général (*BROADCAST*), ce qui le rendait lent en plus d'être volumineux.

- ▶ **NWLink** est la version MICROSOFT du protocole SPX/IPX de NOVELL.
- ▶ **NetBEUI** (*NetBIOS Extended User Interface*) est un protocole qui crée des sessions NetBIOS (Network Basic Input Output System) et fournit des services de transport de données (NetBEUI). NetBEUI est basé sur le protocole de transfert SMB.
- ▶ **ATP** (*AppleTalk Transaction Protocol*) et **NBP** (*Name Binding Protocol*) sont des protocoles APPLE pour les ordinateurs MACINTOSH.
- ▶ **X.25** est un ensemble de protocoles pour les réseaux à commutation de paquets utilisés pour connecter des terminaux distants à de gros systèmes hôtes (*MAINFRAME*).

C. LES PROTOCOLES DE LA CATEGORIE RESEAU

Les protocoles de la catégorie RESEAU fournissent les services de liaisons (*adressage, routage, contrôle d'erreurs et requête de retransmission*) et définissent les règles de communication des réseaux ETHERNET, TOKEN RING,... :

- ▶ **IP** (*Internet Protocol*) est la partie du protocole Internet TCP/IP qui achemine et route les paquets
- ▶ **IPX** (*Internetworking Packet Exchange*) est la partie du protocole SPX/IPX de NOVELL qui achemine et route les paquets
- ▶ **NWLink** est la version MICROSOFT du protocole SPX/IPX de NOVELL
- ▶ **NetBEUI** est le protocole qui fournit les services de transport aux applications et sessions NetBIOS
- ▶ **DDP** (*Datagram Delivery Protocol*) est un protocole APPLE TALK pour le transport des données (*pour les ordinateurs MACINTOSH*)

C₁. LES PROTOCOLES ROUTABLES

Jusque vers le milieu des années 80, les réseaux locaux n'étaient constitués que d'un seul segment de câble, et pour la plupart étaient des réseaux isolés. L'évolution de la technologie et des besoins a conduit à une ouverture et un raccordement des réseaux. Les réseaux locaux devaient devenir des sous-ensembles de réseaux plus vastes, faisant partie intégrante d'un « *réseau étendu* ».

La complexité du maillage des réseaux s'est avec le temps de plus en plus accrue. Les chemins possibles pour qu'un paquet atteigne sa cible croissaient en fonction du nombre de nœuds du réseau. Il fallait non seulement garantir que le paquet arrive à destination, mais aussi qu'il le fasse dans un délai raisonnable. Certains protocoles permettent au paquet d'emprunter plusieurs chemins, on dit alors que ce sont des « protocoles routables ». Les protocoles routables permettent au paquet d'atteindre sa cible le plus rapidement possible :

- ▶ En utilisant le chemin le plus court ;
- ▶ En utilisant le chemin le moins encombré, en fonction du trafic du réseau

Les protocoles routables permettent aux paquets de « traverser » les routeurs.

C₂. LE PROTOCOLE SPX/IPX

Le protocole SPX/IPX a été développé au début des années 1980 par la société Novell parce que le protocole TCP/IP était encore très compliqué. Longtemps, les systèmes NetWare étaient incompatibles avec Internet qui utilise le protocole TCP/IP. Avec la version « *IntranetWare 4.11* », Novell permet aux utilisateurs de son système d'accéder à l'Internet. Toutefois, l'intégration de TCP/IP n'est pas « *native* », c'est une traduction de SPX/IPX en TCP/IP, ce qui prend un certain temps et ralentit quelque peu l'accès à Internet. En fait, SPX/IPX convient si les postes client n'ont pas besoin d'une adresse IP en interne pour pouvoir y accéder depuis l'extérieur du réseau NetWare.

Le protocole SPX/IPX est auto configurable, c'est à dire que Netware construit automatiquement une adresse réseau sous la forme d'un nombre hexadécimal à partir d'une plage d'adresses choisies par l'administrateur et de l'adresse MAC de l'ordinateur. Ainsi, l'adresse réseau IPX est unique et disponible immédiatement sans l'intervention de l'administrateur.

C3. Le protocole TCP/IP

Le protocole TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) est le plus connu des protocoles parce que c'est celui qui est employé sur le réseau des réseaux, c'est à dire Internet. Historiquement, TCP/IP présentait deux inconvénients majeurs, sa taille et sa lenteur. Le protocole TCP/IP fait partie du système d'exploitation UNIX depuis le milieu des années 1970 (*auparavant, c'est le protocole UUCP (UNIX to UNIX Copy Program) qui était employé pour copier des fichiers et des messages électroniques entre deux machines*).

Le protocole TCP/IP est une norme ouverte, c'est à dire que les protocoles qui constituent la pile de protocoles TCP/IP ont été développés par des éditeurs différents sans concertation. Le groupe de travail IETF (*Internet Engineering Task Force*) a rassemblé les différents protocoles de la pile TCP/IP pour en faire une norme. Le travail de l'IETF est régulièrement soumis à l'ensemble de la « communauté Internet » dans des documents appelés RFC (*Request For Comments*). Les RFC sont considérées comme des brouillons parce que les spécifications qu'elles contiennent peuvent à tout moment être réexaminées et remplacées. L'IETF essaye de statuer en ce moment sur une norme (*Internet Calendar, Simple Scheduling Transfert Protocol*) concernant le transport des données des agendas et des plannings.

TCP/IP est une pile de protocoles relativement volumineuse, ce qui peut causer des problèmes avec un client comme MS-DOS. Toutefois, les systèmes d'exploitation réseaux avec une interface graphique comme WINDOWS 95 ou WINDOWS NT n'ont pas de contrainte de mémoire pour charger la pile TCP/IP. Quant à la vitesse d'exécution et de transmission des paquets, celle de TCP/IP équivaut à SPX/IPX.

LES PROTOCOLES DE LA PILE TCP/IP	
Nom	Fonction
FTP	FTP (File Transfer Protocol) s'occupe des transferts de fichiers.
TELNET	TELNET permet d'établir une connexion à un hôte distant et de gérer les données locales.
TCP	TCP (Transmission Control Protocole) s'assure que les connexions entre deux ordinateurs sont établies et maintenues.
IP	IP (Internet Protocol) gère les adresses logiques des noeuds (stations,...).

ARP	ARP (Address Resolution Control) fait correspondre les adresses logiques (IP) avec les adresses physiques (MAC).
RIP	RIP (Routing Information Protocol) trouve la route la plus rapide entre deux ordinateurs.
OSPF	OSPF (Open Shortest Path First) est une amélioration de RIP, plus rapide et plus fiable.
ICMP	ICMP (Internet Control Message Protocol) gère les erreurs et envoie des messages d'erreurs.
BGP/EGP	BGP/EGP (Border Gateway Protocol / Exterior Gateway Protocol) gère la transmission des données entre les réseaux.
SNMP	SNMP (Simple Network Management Protocol) permet aux administrateurs réseaux de gérer les équipements de leur réseau.
PPP	PPP (Point to Point Protocol) permet d'établir une connexion distante par téléphone. PPP (après SLIP) est utilisé par les fournisseurs d'accès à Internet.
SMTP	SMTP (Simple Mail Transport Protocol) permet d'envoyer des courriers électroniques.
POP 3 et IMAP 4	POP 3 (Post Office Protocol version 3) et IMAP 4 (Internet Message Advertising Protocol version 4) permettent de se connecter à un serveur de messagerie et de récupérer son courrier électronique.

Le protocole TCP/IP est devenu la référence à partir de laquelle sont évalués les autres protocoles. La pile de protocole TCP/IP est la plus riche fonctionnellement. Le protocole IP dispose de fonctions standardisées, les « *API sockets* » qui se comportent de la même façon sur tous les types de matériels. TCP/IP est très répandu et très fonctionnel, mais assez compliqué et assez volumineux. En fait, l'inconvénient majeur provient de son succès, et de la diminution du nombre des adresses IP disponibles (*en attendant la version IPV6 appelé aussi IPNG*).

Les caractéristiques du protocole TCP/IP :

- ▶ Une norme industrielle
- ▶ Relativement volumineux et relativement rapide
- ▶ Tous les réseaux reconnaissent TCP/IP :
- ▶ Une interopérabilité entre ordinateurs hétérogènes
- ▶ Un standard pour la communication inter-réseaux et particulièrement entre des réseaux hétérogènes
- ▶ Un protocole routable
- ▶ D'autres protocoles ont été développés spécialement pour TCP/IP :
- ▶ SMTP pour la messagerie électronique
- ▶ FTP pour l'échange de fichiers
- ▶ SNMP pour la surveillance des réseaux

C4. LE PROTOCOLE NetBEUI

A l'origine les protocoles NetBIOS et NetBEUI constituaient une seule et même pile. Certains fournisseurs séparèrent le protocole de la couche SESSION (*NetBIOS*) afin de pouvoir l'utiliser avec des protocoles routables de la couche TRANSPORT (*le protocole de transport NetBEUI n'est pas routable*). NetBIOS est une interface pour les réseaux locaux développée par IBM. NetBIOS est relativement populaire parce que de nombreuses applications ont été programmées pour fonctionner avec cette interface.

Le protocole NetBEUI est un protocole de la couche TRANSPORT, mais n'est pas routable. Le protocole NetBEUI convient pour les réseaux « mono segment », il est très rapide si le nombre d'utilisateurs n'est pas trop grand. Pour accéder à Internet, les paquets NetBEUI doivent être « encapsulés » dans une couche TCP/IP, c'est ce qui s'appelle NBT. Le protocole NetBEUI utilise des noms alphanumériques (*les noms NetBIOS, ou les noms d'ordinateur*) pour reconnaître les différentes machines du réseau. Les paquets ne sont pas adressés avec des adresses numériques, les noms de machine ne sont pas traduits en numéros. Il est donc plus facile pour les utilisateurs de reconnaître les autres machines, et d'installer le protocole. Les noms NetBIOS doivent être résolus en adresses IP quand d'autres ordinateurs utilisent TCP/IP.

L'inconvénient du protocole NetBEUI est qu'il n'est pas routable, les communications sont toujours transmises en « *broadcast* », et les machines connectées au réseau doivent continuellement se faire connaître aux autres machines, ce qui utilise de la bande passante. Le protocole NetBEUI convient pour les petits réseaux qui utilisent les produits de Microsoft.

Les caractéristiques de NetBEUI :

- ▶ Petit, rapide et efficace
- ▶ Tous les produits MICROSOFT en sont équipés, comme OS/2 Warp et LanStatic de la société Artisoft
- ▶ Existe depuis le milieu des années 1980
- ▶ A été fourni avec MS NET, le premier produit réseau de MICROSOFT
- ▶ Fonctionne très bien avec les clients MS-DOS
- ▶ Mais c'est protocole qui n'est pas routable, et qui reste donc limité à de petits réseaux sur un seul segment de câble...

IV.2.6. L'INSTALLATION DES PROTOCOLES

L'installation des protocoles s'effectue le plus souvent en même temps que l'installation du système d'exploitation réseau. Par exemple, WINDOWS NT installe TCP/IP et le considère comme le protocole par défaut du système. Le module RESEAU du PANNEAU de CONFIGURATION de WINDOWS NT SERVER permet d'installer ou de supprimer des protocoles, et permet de modifier l'ordre des liaisons entre les différents protocoles qui sont installés.

Un réseau découpé en plusieurs segments doit utiliser un protocole routable, si les stations d'un segment sont censées communiquer avec les stations d'un autre segment. Par contre, l'utilisation d'un protocole non routable garanti que les données du segment ne seront pas détournées vers un autre segment ...

IV.3. LE MODELE DE REFERENCE OSI

Le modèle OSI (*Open System InterConnect Model*) défini en 1977 régit la communication entre 2 systèmes informatiques selon 7 niveaux. A chaque niveau, les deux systèmes doivent communiquer « compatibles ». En matériel réseau, nous n'utilisons que les couches inférieures, jusqu'au niveau 3. Ces niveaux sont également appelés couches. L'OSI est un modèle de base normalisé par ISO (*l'International Standard Organisation*).

Application	7	Couche Application	
	6	Couche Présentation	
	5	Couche Session	
Transport des données	4	Couche Transport	
	3	Couche Réseau (Network)	Paquet
	2	Couche liaison de données (Data Link)	Trames
	1	Couche Physique (Physical)	Bit
	Support de communication		

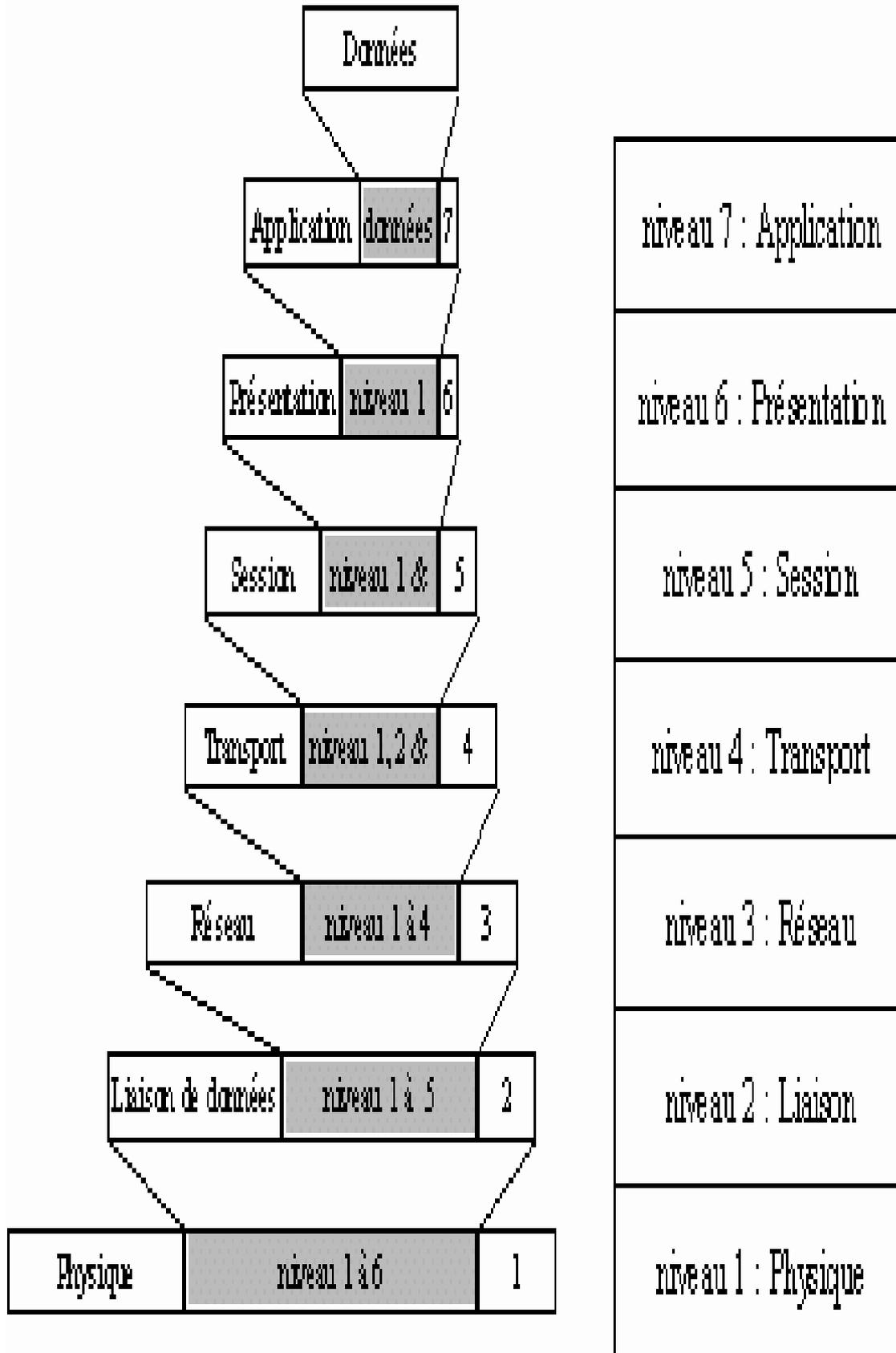
Tableau illustrant les 7 couches du modèle OSI

- ▶ **Niveau 7 (*application*)**: gère le format des données entre logiciels ;
- ▶ **Niveau 6 (*présentation*)**: met les données en forme, éventuellement du encryptage et de la compression, par exemple mise en forme des textes, images et vidéo ;
- ▶ **Niveau 5 (*session*)**: gère l'établissement, la gestion et coordination des communications ;
- ▶ **Niveau 4 (*transport*)**: s'occupe de la gestion des erreurs, notamment avec les protocoles UDP et TCP/IP ;
- ▶ **Niveau 3 (*réseau*)**: sélectionne les routes de transport (*routage*) et s'occupe du traitement et du transfert des messages: gère par exemple les protocoles IP (*adresse et le masque de sous-réseau*) et ICMP. Utilisé par les routeurs et les switchs manageables. ;

- ▶ **Niveau 2 (*liaison de données*)**: utilise les **adresses MAC**. Le message Ethernet à ce stade est la trame, il est constitué d'un en-tête et des informations. L'en-tête reprend l'adresse MAC de départ, celle d'arrivée + une indication du protocole supérieur.
- ▶ **Niveau 1 (*physique*)**: gère les connections matérielles et la transmission, définit la façon dont les données sont converties en signaux numériques: ça peut-être un câble coaxial, paires sur RJ45, onde radio, fibre optique, ...

A chacun de ces niveaux du modèle OSI⁵⁶, on encapsule un en-tête et une fin de trame (*message*) qui comporte les informations nécessaires en suivant les règles définies par le protocole réseau employé. Le protocole est le langage de communication (la mise en forme) utilisé pour le transfert des données (*actuellement TCP/IP mais d'autres ont été utilisés comme Net-Beui (antérieur à Windows 98), Novell IPX, ...*). Sur le graphique ci-dessous, la partie qui est rajoutée à chaque couche est sur fond blanc. La partie en grisée est celle obtenue après encapsulation (*intégration*) du niveau précédent. La dernière trame, celle qu'on obtient après avoir encapsulé la couche physique, est celle qui sera envoyée sur le réseau.

⁵⁶ Dans le cadre de ce cours, seules les trois premiers niveaux du modèle OSI (*jusqu'aux routeurs et switch de haut de gamme*) sont utilisés, éventuellement jusqu'au niveau 4 pour certains switchs managés et firewall. Les couches supérieures sont réservées aux autres cours de la formation technicien PC/ Réseaux, notamment base réseau et protocole TCP/IP.



IV.4. LE MODELE TCP/IP

Le modèle TCP/IP s'inspire du modèle OSI auquel il reprend l'approche modulaire mais réduit le nombre à quatre. Les trois couches supérieures du modèle OSI sont souvent utilisées par une même application. Ce n'est pas le cas du modèle TCP/IP. C'est actuellement le modèle théorique le plus utilisé.

Protocoles utilisés	Modèle TCP/IP	correspondance en OSI
	Couche application	Application
		Présentation
		Session
TCP / UDP, gestion des erreurs	Couche Transport	Transport
IP / ARP et RARP /ICMP / IGMP	Couche Internet	Réseau
	Couche Accès réseau	Liaison de donnée
		Physique

De nouveau, on ajoute à chaque niveau une en-tête, les dénominations des paquets de données changent chaque fois. Le paquet de données est appelé **message** au niveau de la couche application. Le message est ensuite encapsulé sous forme de **segment** dans la couche transport. Le message est donc découpé en morceau avant envoi pour respecter une taille maximum suivant le MTU⁵⁷.

Le segment une fois encapsulé dans la couche Internet prend le nom de **datagramme**. Enfin, on parle de **trame** envoyée sur le réseau au niveau de la couche accès réseau. Les **couches du modèle TCP/IP** sont plus générales que celles du modèle OSI :

► **La Couche application** : c'est une Couche qui reprend les applications standards en réseau informatique et Internet :

→ **SMTP**: « *Simple Mail Transport protocol* » gère le transfert de mails entre serveurs ;

→ **POP**: gère le transfert des mails entre un serveur de messagerie et un ordinateur client ;

⁵⁷ MTU : « Maximum Transmission Unit », c'est la taille maximale d'une frame physique sur le réseau. Elle se mesure en octet...

→ **TELNET**: connexion sur une machine distante (serveur) en tant qu'utilisateur ;

→ **FTP** (File Transfert Protocol), transfert des fichiers via Internet et beaucoup d'autres.

- ▶ La **Couche transport** : c'est une couche qui permet le transfert des données et les contrôles qui permettent de vérifier l'état de la transmission. Les protocoles des couches suivantes permettent d'envoyer des données issues de la couche application. On ne définit pas réellement les logiciels qui communiquent, mais des numéros de **ports** associés au type d'application (*numéro variant de 0 à 65535, 2^{16}*). Par exemple, la navigation Internet utilise le port TCP 80, l'https, le 443, le FTP utilise le 21, ... La couche transport gère 2 protocoles de transport des informations, indépendamment du type de réseau utilisé :

→ **TCP** est orienté connexion (*il vérifie la bonne transmission de données par des signaux d'accusés de réception ou « acknowledge » du destinataire*), il assure ainsi le contrôle des données.

→ **UDP**, archaïque et non orienté connexion, n'assure aucun contrôle de transmission des données, par exemple utilisé en streaming.

Ces 2 types (*orienté connexion ou pas*) sont une notion utilisée pour les firewall. Si vous fermez un port en TCP, l'envoi d'un message ne renvoie pas de signal de retour (*acknowledge*), faisant croire que l'adresse IP est libre, non utilisée. En UDP au contraire, un port fermé ne renvoi pas d'informations, faisant croire à une adresse IP utilisée. Le protocole UDP renvoie uniquement un message si le port est en erreur (*ne répond pas*).

- ▶ La **couche INTERNET** : est une couche chargée de fournir le paquet des données. Elle définit les datagrammes⁵⁸ et gère la décomposition / recombinaison des segments. La couche Internet utilise 5 protocoles, seuls les 3 premiers sont importants :

→ Le **protocole IP** (*Internet Protocol*): gère les destinations des messages, adresse du destinataire

⁵⁸ Bloc des données indépendant transitant sur un réseau, et contenant toutes les informations nécessaires à son routage.

- Le **protocole ARP** (*Adresse Resolution Protocol*): gère les adresses des cartes réseaux et la correspondance avec l'adresse IP. Chaque carte a sa propre adresse MAC d'identification codée sur 48 bits.
 - Le **protocole ICMP** (*Internet Control Message Protocol*) gère les informations relatives aux erreurs de transmission. ICMP ne les corrige pas, il signale uniquement que le message contient des erreurs, utilisé par exemple par la « *commande DOS Ping* ».
 - Le **protocole RARP** (*Reverse Address Resolution Protocol*) gère l'adresse IP pour les équipements réseaux qui ne peuvent en récupérer une automatiquement par lecture d'information dans un fichier de configuration ou via un serveur DHCP. Lorsqu'un équipement réseau démarre, le gestionnaire réseau lit l'adresse IP à utiliser, ce qui est impossible pour certains équipements qui ne possèdent pas de disques durs (*principalement les terminaux*)
 - Le protocole **IGMP** (*Internet Group Management Protocol*) permet d'envoyer le même message à des ordinateurs qui font partie d'un groupe. Il permet aussi à ces machines de s'abonner et se désabonner d'un groupe. La principale application HARDWARE de l'IGMP se retrouve dans les SWITCH manageables. Ce protocole permet de regrouper des stations.
- La **couche Accès réseau** : c'est une couche qui spécifie la forme sous laquelle les données doivent être transmises. Elle prend en charge les notions suivantes :
- Type de réseaux (*Ethernet, Token Ring*), y compris les cartes réseaux
 - Transfert des données
 - Synchronisation de la transmission de données
 - Mise en forme (format) des données
 - Conversion analogique/numérique pour les modems téléphoniques
 - Contrôle des erreurs

©Grevisse YENDE RAPHAEL. All rights reserved, 2018

grevisse29@gmail.com, drgrevisse29@yahoo.com

(+243) 975 433 414

©2018, ISEAB – BUTEMBO
