

# Les réseaux informatiques

---

Semestre 3



---

# Table des matières

---

<b>I</b>	<b>Introduction aux réseaux informatiques</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Histoire de la communication</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Évolution des réseaux</b>	<b>8</b>
2.1	Les équipements créés . . . . .	8
2.2	Démocratisation de l'Informatique . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Classification</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Topologie</b>	<b>11</b>
4.1	Topologie point à point . . . . .	11
4.1.1	Topologie en étoile . . . . .	11
4.1.2	Topologie en boucle . . . . .	12
4.1.3	Topologie maillée . . . . .	12
4.2	Topologie à diffusion . . . . .	13
4.3	Choix d'une topologie . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Normalisation</b>	<b>15</b>
5.1	Définition et utilité de la normalisation . . . . .	15
5.2	Les principaux organismes de normalisation . . . . .	15
<b>6</b>	<b>Architecture de communication</b>	<b>18</b>
6.1	Définition d'une architecture de communication . . . . .	18
6.2	Les services offerts par une architecture de communication . . . . .	18
6.3	Pourquoi normaliser l'architecture ? . . . . .	19
6.4	Le modèle OSI . . . . .	19
6.4.1	Utilité et objectifs . . . . .	19
6.4.2	Les couches . . . . .	21
6.4.3	Interaction entre entités . . . . .	22

6.4.4	Transfert des données utilisateurs . . . . .	24
6.4.5	Interactions entre entités . . . . .	25
<b>II</b>	<b>Transmission des données</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Codage de l'information</b>	<b>27</b>
7.1	Pourquoi coder ? . . . . .	27
7.2	Comment coder ? . . . . .	27
7.3	Différents codes . . . . .	28
7.3.1	Le code morse . . . . .	28
7.3.2	Le code Baudot . . . . .	28
7.3.3	Le code ASCII . . . . .	28
<b>8</b>	<b>Communication entre deux terminaux</b>	<b>29</b>
8.1	Quels sont les éléments constitutifs d'un système de communication ? . . . . .	29
8.2	Qu'appelle-t-on transmission parallèle et transmission série ? . . . . .	29
8.3	Quelles sont les différences entre une transmission asynchrone et une transmission synchrone ? . . . . .	30
8.4	Comment résout-on le problème de synchronisation des horloges Emission et Réception ? . . . . .	31
8.5	Qu'appelle-t-on transmission simplex et transmission duplex ? . . . . .	31
8.6	Combien de fils sont nécessaires pour la transmission ? . . . . .	32
8.7	Quelle est la différence entre débit binaire et rapidité de modulation ? . . . . .	32
<b>9</b>	<b>Analyse spectrale</b>	<b>33</b>
9.1	Quelles sont les différentes formes physiques utilisées pour le transport de l'information ? . . . . .	33
9.2	Quelles sont les caractéristiques d'un signal analogique élémentaire ? . . . . .	33
9.3	Comment peut-on caractériser un signal quelconque ? . . . . .	34
9.4	Quelles sont les déformations affectant un signal ? . . . . .	34
9.5	Quelle est la capacité d'un support de transmission ? . . . . .	35
<b>10</b>	<b>Techniques de transmission</b>	<b>36</b>
<b>11</b>	<b>Multiplexage</b>	<b>37</b>
<b>A</b>	<b>TD 1</b>	<b>38</b>



## Première partie

# Introduction aux réseaux informatiques

# Histoire de la communication

Les humains ont toujours voulu **communiquer plus vite et plus loin**, ceci en utilisant des codes, alphabets, langages, ...

**Ex** Les Gaulois, écrit Jules César dans “La guerre des Gaules”, avec la voix de champ en champ pouvaient transmettre une nouvelle à 240km de distance en une journée.  
Les Grecs, en utilisant des flambeaux disposés de façon à indiquer les lettres de l’alphabet communiquaient, au temps d’Alexandre, de l’Inde à la Grèce en 5 jours.

Le concept de la communication n’a pas changé de nos jours, nous avons toujours un système de codage afin que l’émetteur et le destinataire puisse communiquer. Cependant les supports de la communication ont changé afin de gagner en rapidité (ondes radio, fibre optique. . . )<sup>1</sup>

**1464** Poste Royale (Louis XI)

L’inconvénient principal était le temps de transmission.

**1794** Télégraphe optique (Chappe)

Les inconvénients du télégraphe optique sont la visibilité et l’atténuation. . .Cependant, nous procédons de la même façon, nous utilisons un système de relais : c’est un fondamental.

**1832** Télégraphe Électrique (Shilling)

**1837** Code Télégraphique (Morse) et création de l’administration du Télégraphe

**1854** 1<sup>er</sup> projet de téléphone (Bourseul)

**1860** Lois de l’électromagnétisme (Maxwell)

**1876** Brevet du Téléphone (Bell)

**1887** Étude sur les ondes Radioélectriques (Hertz)

**1889** Nationalisation de la société Français de Téléphone

**1892** Étude sur la Radiodiffusion (Crooker)

**1896** Liaison de TSF (Marconi)

**1897** Émission Radio au Panthéon

**1901** Monopole d’état sur la radiodiffusion

**1915** Téléphone automatique

**1917** Télégraphe de Baudot

**1943** Premier calculateur électronique. Début de l’ère du traitement électronique de l’information : **Informatique**, suivit de la volonté d’obtenir un moyen de télécommunications entre les équipements Informatique : **Réseaux Informatiques**.

Ainsi, un support de communication, nécessitait un réseau différent (Son ⇒ Radio, Image ⇒ TV, Texte ⇒ Télégraphe, . . .). Une fusion va se produire.

Composants ⇒ Signal ⇒ Équipements ⇒ Protocoles ⇒ Architectures ⇒ Services.

1. Les supports de communication présentent tous des caractéristiques techniques.

# Évolution des réseaux

De la même manière que la téléphonie et le télégraphe, nous sommes passé d'une phase expérimentale à une phase d'utilisation. Ainsi l'Informatique a beaucoup évolué. Cette évolution a été progressive, il y a eu plusieurs étapes qui ont marqués les réseaux de communication.

**Coûts des équipements Informatiques / Coûts de la Communication** À l'origine seul les grands comptes étaient capable d'avoir des équipements informatiques. Ainsi les SSI<sup>1</sup> sont nées.

**Système de Télértraitement** Ces systèmes ont été destinés aux entreprises, afin qu'à distance elles puissent utiliser la puissance d'un ordinateur qui était géographiquement loin. Une première structure de réseau informatique fut créée.

**R** Nous sommes en train de revenir à cette solution créée 40 ans auparavant : Le cloud computing

## 2.1 Les équipements créés

Afin de construire ces structures de réseaux de communication nous avons mis en place des équipements :

**Processeur Frontal de Communication**<sup>2</sup>

**Multiplexeurs et concentrateurs** Équipement de partage du support de communication, permettent d'avoir des nœuds de communication.

**Liaisons Spécialisées** Nous avons besoin d'un réseau spécialisé afin d'interconnecter les appareils, pour les connexions point à point.

**Modem** Pour les trafics de grande ligne, il fut choisi d'utiliser un réseau déjà existant, le téléphone. Cependant, le signal à transmettre doit être adapté au support de transmission, on va donc utiliser un adaptateur qui permettra de faire passer le signal sur le réseau téléphonique : le modem.

**Commutateurs** Pour avoir une connexion la plus rapide possible, nous avons besoin d'un algorithme de routage afin de passer par un chemin en fonction du trafic présent sur la ligne : le routeur.

**Protocole de communication** Permet de faire dialoguer deux machines entre elles, elles doivent utiliser le même protocole afin de se comprendre syntaxiquement et sémantiquement.

## 2.2 Démocratisation de l'Informatique

**1970** La genèse des protocoles de communication date des années 1970. En réseau, rien n'a été inventé de nouveau, cela a surtout été des progrès technologiques : rapidité, miniaturisation, coûts et donc démocratisation. Les premiers mini-ordinateurs.

**1980** Début de l'informatique personnelle et mise en œuvre des réseaux locaux.

**1990** Applications de l'Internet, premiers mobiles et satellites.

1. Société de Service en Informatiques



# Classification

Pour effectuer une classification, il faut préciser le critère de classification. Le critère le plus utilisé est celui de la distance entre entités communicantes.

1. Architectures des calculateurs / Architecture de communication
2. LAN<sup>1</sup> ou RLE<sup>2</sup>
3. WAN<sup>3</sup> ou RLD<sup>4</sup>
4. DAN<sup>5</sup>, MAN<sup>6</sup>...

Distance		Exemple
1m	Square meter	PAN
10m	Room	LAN
100m	Building	LAN
1km	Campus	LAN, DAN
100 km	City	WAN
1000km	Continent	WAN
10 000km	Planet	WAN, The Internet

Prenons un ordinateur et considérons son architecture. Nous

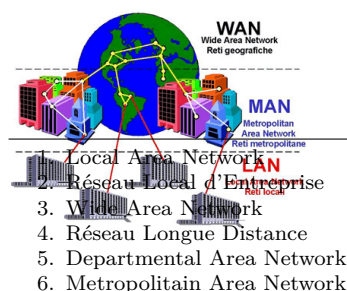
remarquons que des données sont acheminées entre entités sur des bus de communication. Il existe même une coopération entre processeur de traitement et co-processeurs (mathématique, graphique...). Dans certaines architectures différents processeurs de traitement coopèrent selon des schémas bien établis (pipeline, SIMD, MIMD...). Bien que certains problèmes rencontrés dans l'architecture d'un ordinateur se rapprochent de ceux d'un réseau informatique, la discipline " Architecture des calculateurs " est à distinguer de la discipline " Architecture de Communication ". En effet, la première s'intéresse essentiellement à ce qui se passe à l'intérieur d'un ordinateur, tandis que la seconde s'intéresse à la communication dans sa globalité. C'est pourquoi nous commençons à parler de Réseau lorsque des systèmes autonomes (ex. le calculateur) sont reliés entre eux.

Si la distance est inférieure à 1 m, nous parlons de PAN (Personal Area Network) pour intrconnecter les équipements personnels tels que GSM, portables, organiseurs...

Si l'environnement est local, nous parlons de RLE (Réseau Local d'Entreprise) ou LAN (Local Area Network).

Si la distance est plus grande, nous parlons de RLD (Réseau Longue Distance) ou WAN (Wide Area Network).

En réalité, cette séparation entre LAN et WAN couvre d'autres aspects. En effet, pour être opérateur de télécommunications sur un WAN, il faut être autorisé par l'état qui délivre une licence. De ce fait, ce sont les opérateurs nationaux qui se sont intéressés fortement à la normalisation des protocoles dans cet environnement. Par contre les LAN étaient mis en oeuvre à l'intérieur d'une entreprise qui désirait raccorder ses équipements informatiques par ex. C'est pourquoi, les architectures de communication au niveau des LAN ont été issues essentiellement du monde informatique. D'autre part, certains protocoles développés dans des LAN tiennent compte d'une distance maximale entre entités pour fonctionner. Cela veut dire que les protocoles conçus pour des LAN ne sont pas adaptés aux WAN. Le contraire est possible mais la complexité de certains protocoles WAN est inutile au niveau des LAN.



La séparation LAN/WAN va être plus affinée par l'introduction de DAN (Departmental Area Network), département au sens de département d'une université, laboratoire, centre, institut ; de CAN (Campus Area Network) pour les

campus universitaires et de MAN (Metropolitan Area Network), par exemple un réseau de ville. Mais le LAN, MAN et WAN restent les termes les plus utilisés.

Le choix du critère de distance n'est pas le seul possible. En effet, il est possible d'effectuer les choix suivants :

- le débit : Réseau bas débit, moyen débit, haut débit, très haut débit ;
- le modèle d'architecture : Réseau OSI, X.25, SNA, DNA, DSA...
- la gestion : Réseau public, privé
- ...

Des classifications plus fines peuvent être effectuées. Par exemple pour un LAN on distingue :

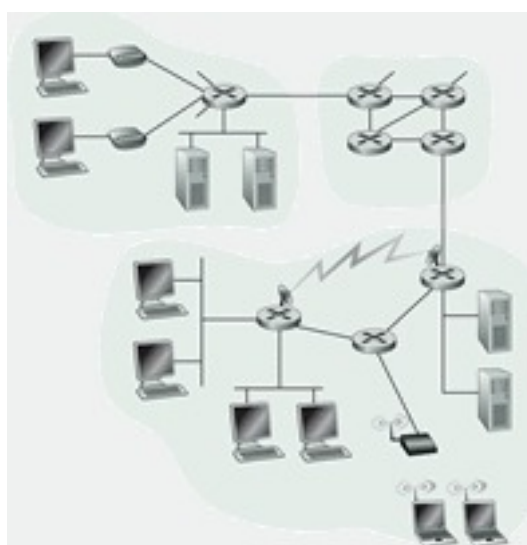
- le réseau autour d'un PABX (Private Automatic Branch eXchange) ou PBX (réseau téléphonique d'une entreprise) ;
- le réseau bureautique (partage d'imprimantes, de logiciels...) ;
- le réseau local industriel (composé de capteurs et d'actionneurs) ;
- le réseau large bande ou intégré ( pour véhiculer le texte, son, image, vidéo) ;
- ...

---

# Topologie

---

Schématiquement, un réseau de communication est composé de terminaux, de noeuds et de liens. Le terme de noeud a été aussi désigné par le nom d'IMP (Interface Message Processor). L'IMP était le noeud de commutation de paquets utilisé pour connecter les ordinateurs à l'ARPANET à la fin des années 60 et pendant les années 70. C'était la première génération de ce qui s'appelle aujourd'hui routeur.



## 4.1 Topologie point à point

L'information est émise d'un terminal à un autre après avoir traversé un ou plusieurs noeuds. Les réseaux à commutation ont cette topologie.

### 4.1.1 Topologie en étoile

Dans la topologie en étoile, le noeud central reçoit et envoie tous les messages. L'architecture est simple mais la panne du noeud central paralyse tous les noeuds. D'autre part ce noeud doit avoir les capacités suffisantes pour supporter tout le trafic et le coût en liaisons à déployer peut être conséquent

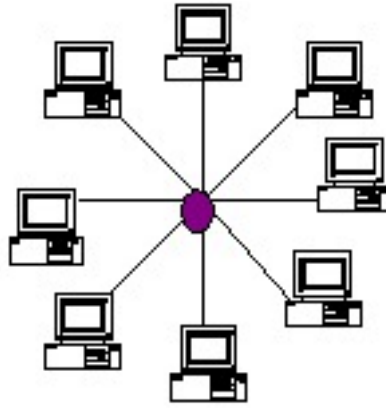


FIGURE 4.1 – Topologie en étoile

### 4.1.2 Topologie en boucle

Dans la topologie en boucle, chaque nœud reçoit un message de son voisin en amont et le retransmet au nœud en aval. Il faut veiller dans certains cas à ce que le nœud émetteur retire le message qui risque de tourner indéfiniment dans le réseau. D'autre part, si un nœud tombe en panne, la boucle est coupée. On peut résoudre cela par une double boucle avec reconfiguration en cas de panne.

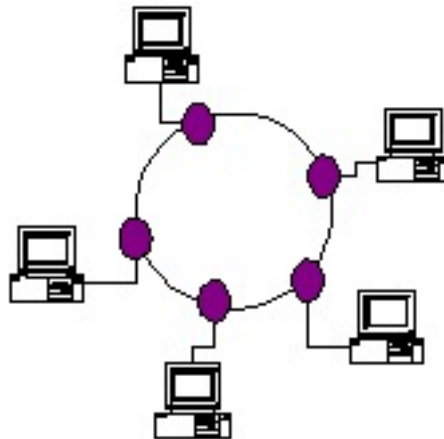


FIGURE 4.2 – Topologie en boucle

### 4.1.3 Topologie maillée

Dans la topologie maillée, on peut avoir une interconnexion complète (maillage régulier) mais cela peut coûter cher en câblage. C'est pourquoi, une étude du trafic permet d'établir une infrastructure de maillage irrégulière. Dans ce cas, il faut prévoir au moins deux routes pour aller d'un point à un autre et un algorithme de routage efficient qui diminue le temps de traversée du réseau.

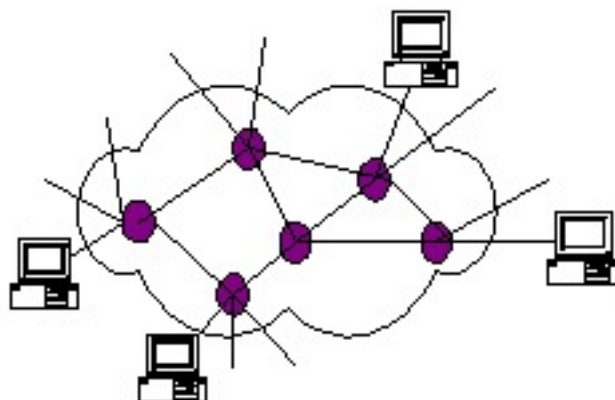


FIGURE 4.3 – Topologie maillée

## 4.2 Topologie à diffusion

Également appelé broadcast, l'information émise d'un terminal peut être reçue par différents terminaux et même tous les terminaux (message diffusé). Cette possibilité est due au fait que les différents terminaux se partagent un même support. Un des problèmes majeurs dans cette topologie est l'accès au média. Comment peut s'effectuer le contrôle et comment gérer les collisions? Dans ce paragraphe, nous nous intéressons aux différentes topologies indépendamment de la méthode de partage du support.

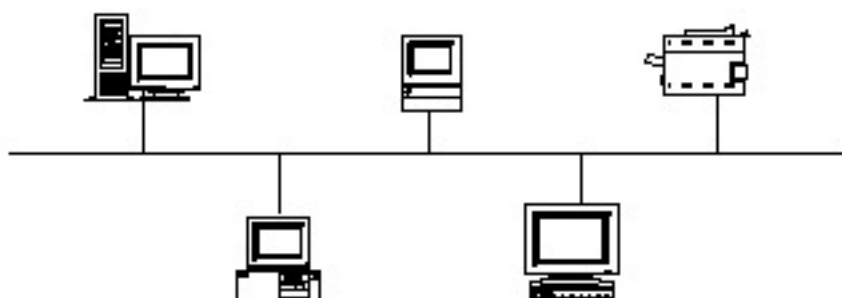


FIGURE 4.4 – Topologie en bus

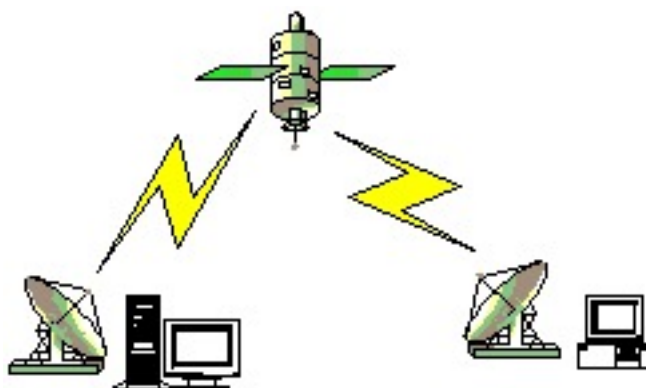


FIGURE 4.5 – Topologie Satellite

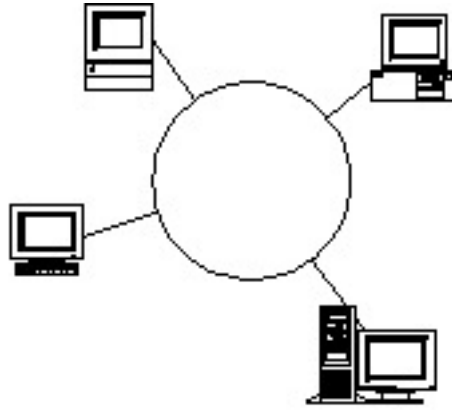


FIGURE 4.6 – Topologie en anneau

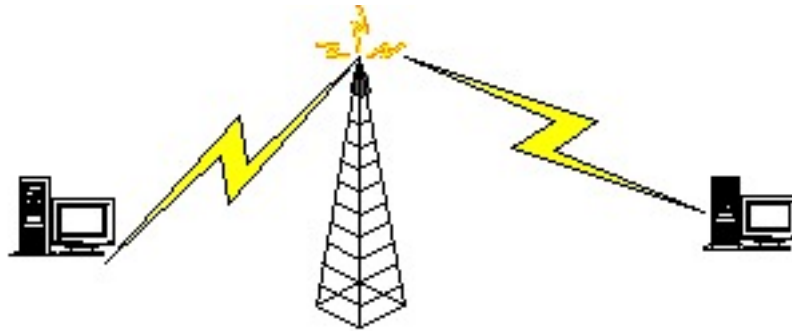


FIGURE 4.7 – Topologie radio

Les topologies en bus et en anneau sont essentiellement utilisées dans les réseaux locaux. Dans ces configurations, si le support est coupé, alors le réseau s'arrête. C'est pourquoi, tout en utilisant le mode de diffusion bus ou anneau, l'architecture physique est une architecture en étoile (utilisation de Hub).

### 4.3 Choix d'une topologie

Toute topologie adoptée doit faire au préalable l'objet d'une étude prenant en compte plusieurs facteurs :

- nombre de stations à connecter ;
- flux des données ;
- coût ;
- distance entre entités communicantes ;
- évolution possible ;
- résistance aux pannes et lignes de secours ;
- administration ;
- ...

---

# Normalisation

---

Une des difficultés de la discipline des “réseaux informatiques ” réside dans la quantité, que certains trouveront abusive, des sigles, normes, organismes de normalisation. . Il est toutefois nécessaire d’intégrer cette terminologie, d’apprendre ce langage, pour mieux appréhender ce “ nouveau monde ”. Le meilleur conseil que nous pouvons donner à l’étudiant est de se procurer un dictionnaire de téléinformatique/télécommunications.

## 5.1 Définition et utilité de la normalisation

Pour comprendre la normalisation, essayez de lire le mot suivant : yfgtke

Impossible si vous ne connaissez pas les règles de représentation des mots. En effet, si des normes d’écriture n’avaient pas été établies, il aurait été difficile de communiquer par ce moyen. Donc, la normalisation n’est rien d’autre que des règles établies qui doivent être suivies par les entités désirant communiquer.

Au fait, le mot était rectangle.

Evidemment, si chacun établit et suit sa propre norme, la normalisation ne sert à rien. C’est pourquoi la normalisation n’a d’intérêt que si elle est appliquée par une grande communauté.

Le dictionnaire donne la signification suivante :

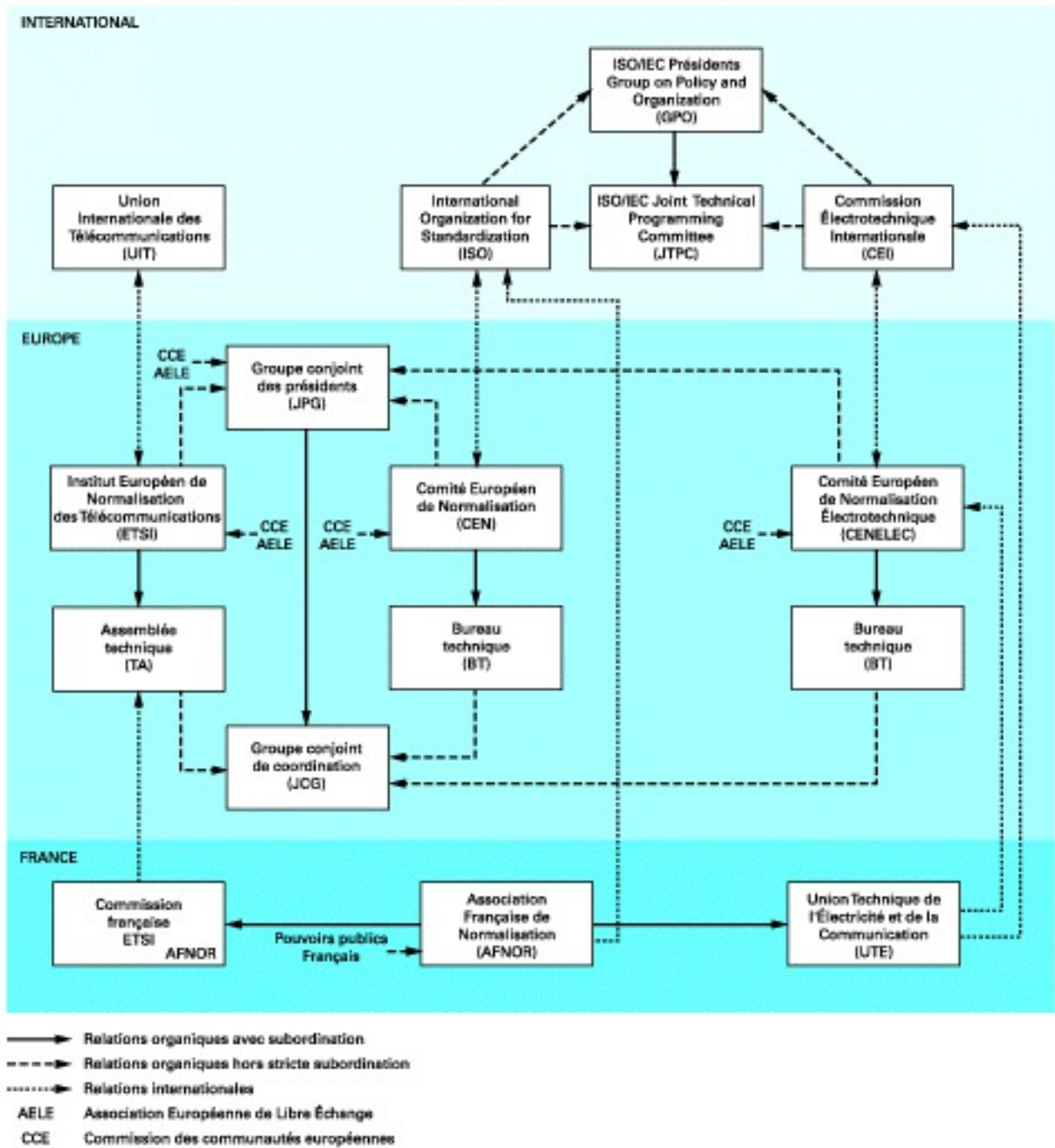
- normalisation : assujettissement à des normes, des types, des règles techniques ;
- norme : principe, règle, type, modèle.

Les constructeurs informatiques et les opérateurs de télécommunications ont été les premiers à établir des normes dans ce domaine. Des normes multiples et incompatibles coexistent. Des passerelles sont établies entre certaines normes.

## 5.2 Les principaux organismes de normalisation

Dans ce paragraphe, nous allons présenter quelques organismes de normalisation parmi les plus importants. Certains de ces organismes s’intéressent à la normalisation dans différents domaines, dont celui des télécommunications ; d’autres organismes (indiqués avec une astérisque) sont issus des opérateurs de télécommunications. Pour bien les positionner, nous utiliserons le critère de portée administratif et légal. Ainsi, nous distinguons :

- les organismes internationaux : ISO, ITU (ex-CCITT) ;
- les organismes multi-nationaux (Europe) : CEN/CENELEC, ETSI ;
- les organismes nationaux : AFNOR (FR), ANSI (USA), DIN (GER), BSI (UK), Telecoms ;

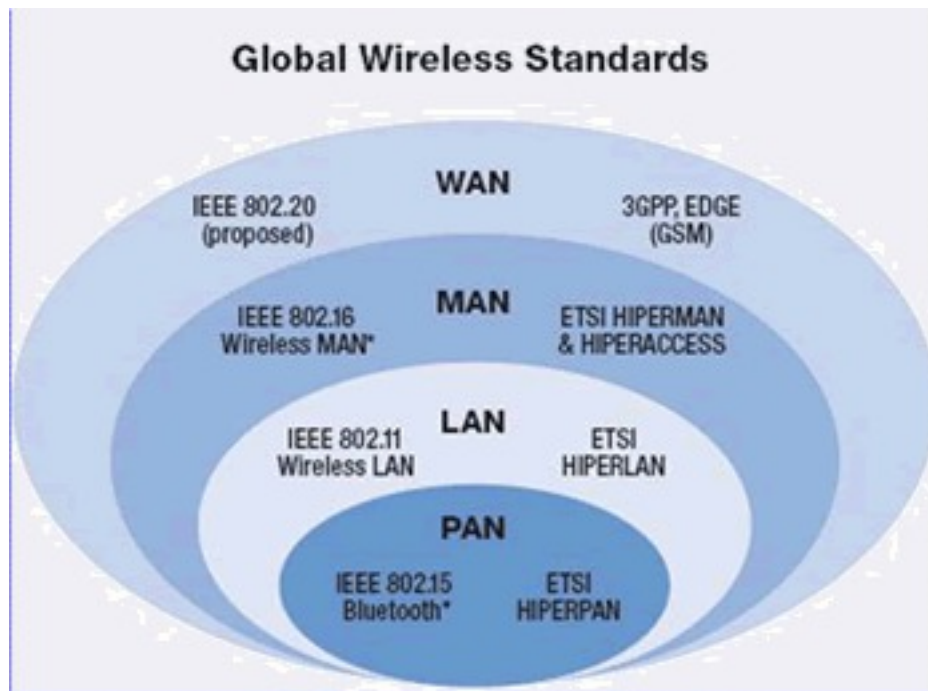


Certains organismes privés essentiellement américains ont un très grand poids :

- DARPA du DoD ;
- IEEE ;
- EIA ;
- NBS ;
- ECMA ;
- ...

Voilà un exemple de standards pour le sans-fil :





---

# Architecture de communication

---

## 6.1 Définition d'une architecture de communication

Quand on parle d'Architecture, on se réfère à une structure d'éléments définissant un système complexe. Dans le langage courant, l'architecture est "l'art de concevoir et de construire un bâtiment selon des règles techniques" (Le Petit Larousse). Pour un informaticien, il est fait souvent référence à l'architecture du ordinateur, ensemble structuré d'éléments électroniques et logiques.

L'Architecture de Communication définit l'ensemble des entités nécessaires à la Communication ainsi que les règles régissant les échanges entre elles. On parle aussi d'Architecture de Réseau.

Pour bien comprendre les notions sous-jacentes à l'architecture de communication, prenons un exemple d'une communication entre individus par l'intermédiaire du réseau postal :

Le responsable d'une entreprise française (FR) négocie un marché avec le responsable d'une entreprise brésilienne (BR). Pour cela, un échange de documents en langue anglaise (langue commune) entre les deux responsables est réalisé. Le processus d'échange peut-être décrit de la façon suivante (on supposera que pour chaque fonction bien identifiée, un service est requis) :

1. FR rédige le document explicitant les conditions du marché ; FR confie ce document au service de traduction pour effectuer la traduction et se charger de l'envoi ;
2. Le traducteur effectue la traduction et confie le document au service secrétariat pour envoi ;
3. Le secrétaire référence le document et demande au service courrier de s'occuper de l'envoi ;
4. Le service courrier en fonction de la qualité de service requise pour cet envoi choisit le mode d'acheminement (courrier postal, fax, messenger, ...) le plus approprié, précise l'adresse complète du destinataire final et expédie le document ;
5. L'acheminement se fera à travers différents réseaux des différents pays en utilisant l'adresse du site destination ainsi que les informations de trafic ;
6. Sur chaque liaison traversée, des mécanismes de contrôle sont mises en oeuvre pour s'assurer de la non altération du document transporté ;
7. Selon le service support utilisé, une interface spécifique et une représentation physique de l'information est mise en oeuvre ;

Des fonctions similaires seront mises en oeuvre du côté destinataire en remontant les différentes couches.

## 6.2 Les services offerts par une architecture de communication

Les services offerts par une architecture de communication couvrent tous les aspects de la transmission physique jusqu'à la synchronisation des processus applicatifs :

**Transmission physique** Correspond aux supports, au type d'encodage, aux liaisons, toute l'architecture physique.

**Contrôle d'erreurs** Vérifier que les paquets sont bien arrivés.

**Contrôle de flux** S'assurer que l'émetteur n'aille pas trop vite par rapport au récepteur

**ROUTAGE** en cas de nœud de communication, choisir le chemin le plus rapide ceci en fonction du trafic.

**Régulation de flux (congestion)** Réguler le flux pour éviter la congestion <sup>1</sup>, il préfère la prévention afin d'éviter les bouchons.

---

1. Peut être assimilé aux bouchons

**Séquencement** Les fichiers sont découpés en plusieurs paquets, en effet un paquet à une taille maximum, le séquencement réassemble les paquets afin de reconstituer le fichier grâce à une numérotation des paquets..

**Contrôle de bout en bout** Vérifier que le fichier à bien été reconstitué.

**Gestion du dialogue**

**Reprise sur incidents** Cela permet aussi de gérer un arrêt de la connexion réseau afin de reprendre le transfert à l'endroit où il s'était arrêté

**Transformation de l'information** Codage de l'information (avec le code ASCII par exemple), compression (codecs), sécurité de l'information (cryptage)

**Synchronisation des processus** Sémantique de l'application, c'est-à-dire quelle opération au niveau applicatifs (Renommer un fichier, créer un répertoire, ...)

## 6.3 Pourquoi normaliser l'architecture ?

Les opérateurs de Télécommunications, réunis au sein du CCITT (ITU actuellement), ont défini des architectures de communications permettant l'échange d'informations. Ainsi, leurs réseaux étaient interopérables ce qui a permis la constitution de réseaux internationaux.

Le monde Informatique n'a pas réagi de la même façon. Les intérêts n'étaient pas les mêmes. Au début de l'ère informatique, les constructeurs ont défini des Architectures de Communication permettant l'échange de données entre leurs équipements informatiques. Ainsi, IBM a défini SNA (Systems Network Architecture), DEC a défini DNA (Digital Network Architecture)... Ces Architectures avaient l'inconvénient majeur d'être trop souvent liées à des équipements spécifiques : ce sont des Architectures Constructeurs ou des Architectures Propriétaires. L'aberration de cette situation se répercuta sur les utilisateurs : par exemple une agence de voyages devait se munir d'autant de terminaux que de Systèmes Informatiques différents auxquels elle devait accéder. Des îlots de réseaux de constructeurs s'étaient formés.

Face à cette situation, en 1977, l'organisation ISO a constitué des comités pour le développement d'une architecture commune permettant la connexion des équipements et l'échange de données entre eux. Ainsi, au sein du Comité Technique (TC : Technical Committee) TC97, deux Sous Comités (SC : SubCommittee) SC6 et SC21 s'occupèrent de la normalisation dans le domaine des Télécommunications et de l'Interconnexion de Systèmes. Le premier modèle a été achevé en 1979. En 1984, ISO publia le document ISO 7498 relatif au modèle de référence pour l'Interconnexion de Systèmes Ouverts OSI (Open Systems Interconnection). Le modèle OSI est référencé au CCITT sous la norme X.200.

Des **architectures normalisées** ont été mis en place par les opérateurs de Télécommunications (X21, X25, ISDN,...).

Des **architectures propriétaires** ont également été mise en place par les constructeurs informatiques (SNA, DNA, DSA).

**1977 ISO** constitue un comité pour la normalisation dans le domaine des télécommunications et de l'interconnexion des systèmes.

**1984 ISO 7498** référence CCITT X.200 (ITU)

**OSI** Cadre fonctionnel – Le modèle de référence. Les objectifs du modèle OSI sont les suivants :

- Décomposer (décomposition fonctionnelle)
- Structurer
- Assurer l'indépendance vis à vis du matériel et du logiciel.

## 6.4 Le modèle OSI

### 6.4.1 Utilité et objectifs

On appelle Système Ouvert Réel un système réel dont la communication avec un autre système réel se fait conformément au modèle OSI.

Le modèle OSI définit un cadre fonctionnel pour l'élaboration de normes d'interconnexion de systèmes. En aucun cas, OSI ne décrit comment ces systèmes fonctionnent en interne ou comment les normes doivent être implantées. OSI est un modèle et non une pile de protocoles.

Les objectifs du modèle OSI sont :

- Décomposer et structurer le système de communication en éléments directement réalisables (Décomposition fonctionnelle) ;
- Assurer le maximum d'indépendance vis à vis du matériel et du logiciel ;

SI regroupe les entités en 7 couches. Chaque couche correspond à un niveau logique de fonctions. On distingue :

- Les couches basses (1-4) relatives au transfert de l'information ;
- Les couches hautes (5-7) relatives au traitement réparti de l'information ;

## 6.4.2 Les couches

		Exemple
7 N+4	Application	HTTP
6 N+3	Présentation	HTML, MPEG
5 N+2	Session	
4 N+1	Transport	TCP
3 N	Réseau	IP
2 N-1	Liaison	Wifi
1 N-2	Physique	RJ45

SERVICES APPLICATIFS (Couches hautes)

---

SERVICES TRANSPORTS (Couches basses)

### 6.4.2.1 Couche 1

1. Couche Physique : Elle s'occupe de la transmission des bits de façon brute sur un canal de communication. Cette couche doit garantir la parfaite transmission des données (un bit 1 envoyé doit bien être reçu comme bit valant 1). Concrètement, cette couche doit normaliser les caractéristiques électriques (un bit 1 doit être représenté par une tension de 5 V, par exemple), les caractéristiques mécaniques (forme des connecteurs, de la topologie...), les caractéristiques fonctionnelles des circuits de données et les procédures d'établissement, de maintien et de libération du circuit de données. ;

### 6.4.2.2 Couche 2

2. Couche Liaison de Données : Son rôle est un rôle de "liant" : elle va transformer la couche physique en une liaison a priori exempte d'erreurs de transmission pour la couche réseau. Elle fractionne les données d'entrée de l'émetteur en trames, transmet ces trames en séquence et gère les trames d'acquiescement renvoyées par le récepteur. La couche liaison de données doit être capable de renvoyer une trame lorsqu'il y a eu un problème sur la ligne de transmission. De manière générale, un rôle important de cette couche est la détection et la correction d'erreurs intervenues sur la couche physique. Cette couche intègre également une fonction de contrôle de flux pour éviter l'engorgement du récepteur.

### 6.4.2.3 Couche 3

3. Couche Réseau : C'est la couche qui permet de gérer le sous-réseau, i.e. le routage des paquets sur ce sous-réseau et l'interconnexion des différents sous-réseaux entre eux. Au moment de sa conception, il faut bien déterminer le mécanisme de routage et de calcul des tables de routage (tables statiques ou dynamiques...). La couche réseau contrôle également l'engorgement du sous-réseau. On peut également y intégrer des fonctions de comptabilité pour la facturation au volume, mais cela peut être délicat. L'unité d'information de la couche réseau est le paquet.

### 6.4.2.4 Couche 4

4. Couche Transport : Si la couche réseau rend le service de transfert d'informations de terminal réseau à terminal réseau, la couche transport contrôle le transfert de bout en bout (d'utilisateur final à utilisateur final). Le rôle principal de la couche transport est de prendre les messages de la couche session, de les découper s'il le faut en unités plus petites et de les passer à la couche réseau, tout en s'assurant que les morceaux arrivent correctement de l'autre côté. Cette couche effectue donc aussi le réassemblage du message à la réception des morceaux. Cette couche est également responsable du type de service à fournir à la couche session, et finalement aux utilisateurs

du réseau : service en mode connecté ou non, avec ou sans garantie d'ordre de délivrance, diffusion du message à plusieurs destinataires à la fois... Cette couche est donc également responsable de l'établissement et du relâchement des connexions sur le réseau. Un des tous derniers rôles à évoquer est le contrôle de flux.

#### 6.4.2.5 Couche 5

5. Couche Session : La session de transfert d'informations peut subir divers incidents. Un service de reprise sur incidents peut être nécessaire. D'autre part, des outils nécessaires à la gestion du dialogue peuvent être utilisés. Cette couche organise et synchronise les échanges entre tâches distantes.

#### 6.4.2.6 Couche 6

6. Couche Présentation : Il ne suffit pas de transférer les données. Il faut aussi les interpréter en vue d'une bonne coopération. La syntaxe des données échangées entre entités applicatives est définie à ce niveau. Typiquement, cette couche peut convertir les données, les reformater, les crypter et les compresser.

#### 6.4.2.7 Couche 7

7. Couche Application : Elle comprend les programmes d'applications ainsi que des fonctions applicatives génériques permettant le développement d'applications distribuées.

### 6.4.3 Interaction entre entités

Nous utilisons la notation '(N)' pour signifier " de rang N".

La technique de structuration de base du Modèle OSI est la structure en couches : chaque système est logiquement composé d'un ensemble ordonné de sous-systèmes représentés verticalement. Voilà quelques définitions.

#### 6.4.3.1 Définitions

**Sous-système (N)** Élément de rang N d'une division hiérarchique d'un système n'ayant d'interactions qu'avec les éléments des niveaux immédiatement supérieur et inférieur de cette division.

**Couche (N)** Subdivision de l'architecture OSI, constituée de sous-systèmes de rang N. On dit qu'une couche fournit un service ou qu'elle est prestataire de services.

**Entité (N)** Élément actif d'un sous-système (N).

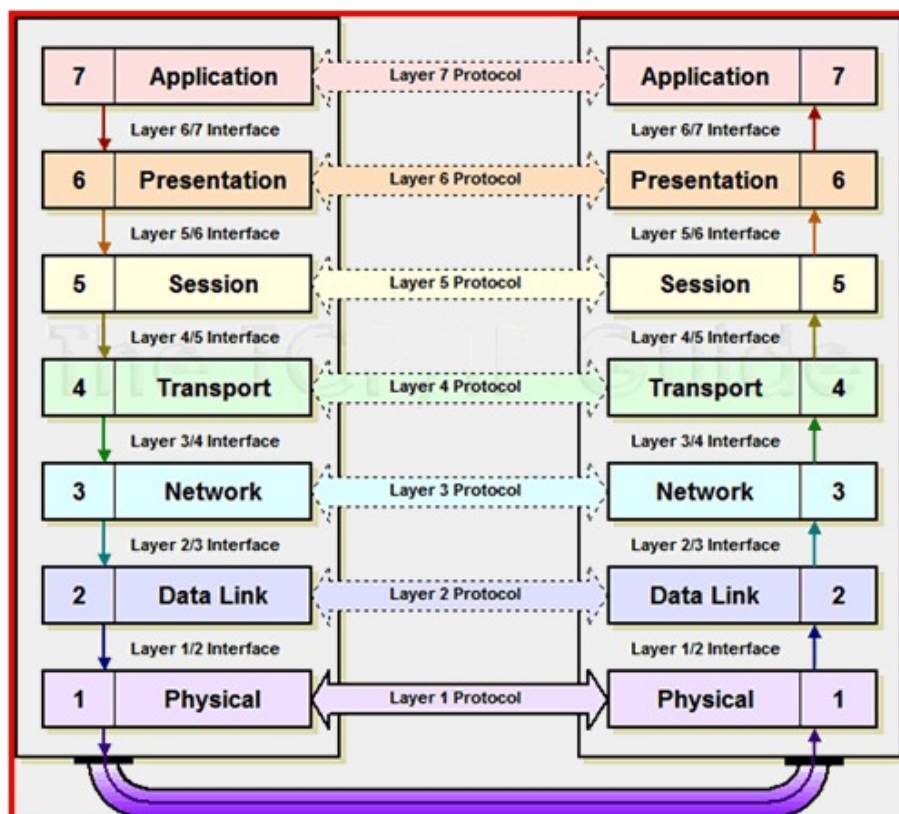
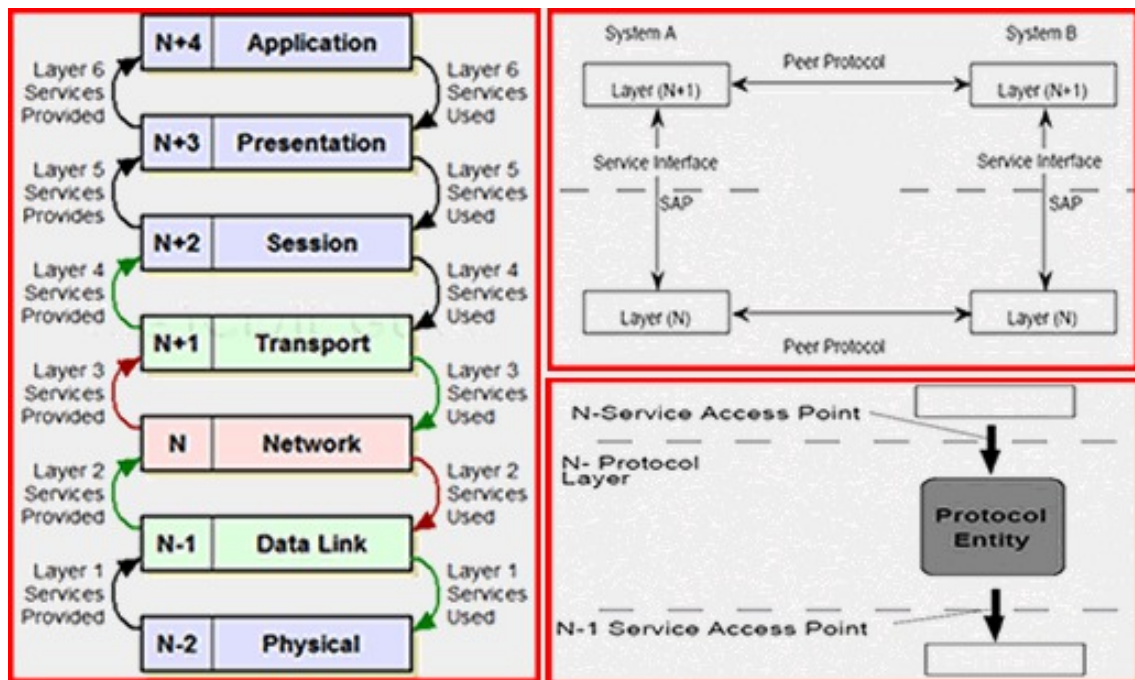
**Service** Capacité que possède la couche (N) -et les couches inférieures à celle-ci, fournie aux entités (N+1), à la frontière entre la couche (N) et la couche (N+1). Ces services sont invoqués par des primitives, spécifiques du service.

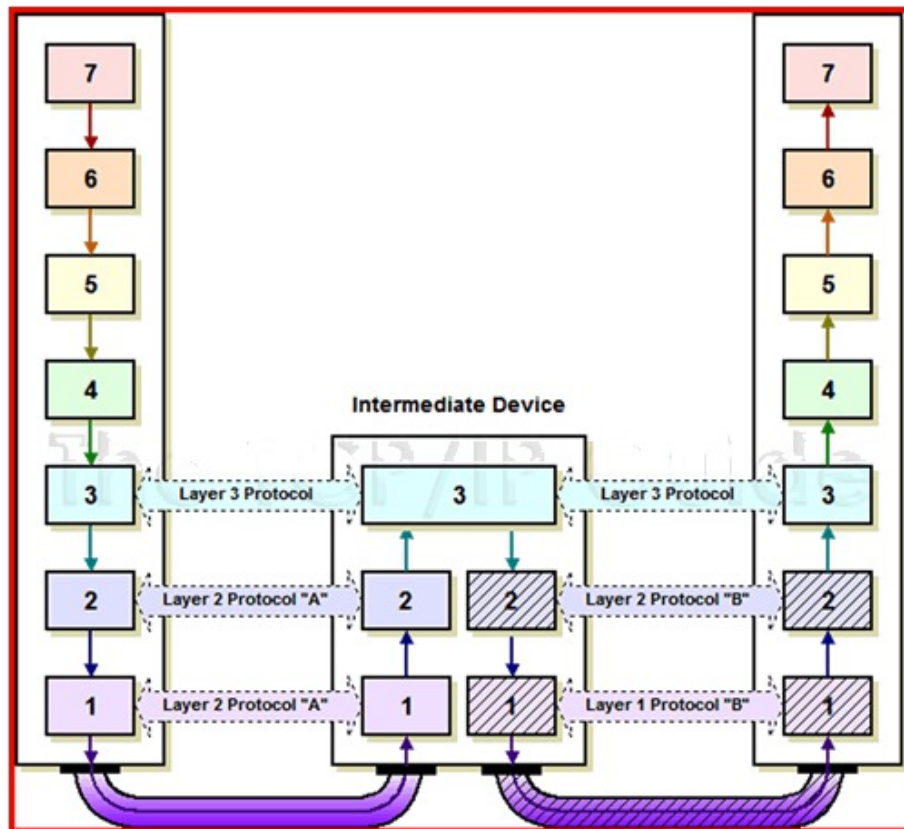
**Facilité (N)** Élément d'un service (N).

**Point d'accès à des services**<sup>2</sup> Point où les services (N) sont fournis par une entité (N) à une entité (N+1).

**Protocole (N)** Ensemble de règles et de formats (sémantiques et syntaxiques) déterminant les caractéristiques de communication des entités (N) lorsqu'elle effectuent les fonctions (N).

Chaque couche (N) fournit des services (N) aux entités (N+1) de la couche (N+1). Les services d'une couche (N) sont fournis à la couche (N+1) grâce aux fonctions effectuées à l'intérieur de la couche (N) et, au besoin, avec l'aide des services offerts par la couche (N-1). La coopération entre entités (N) est régie par un ou plusieurs protocoles (N).





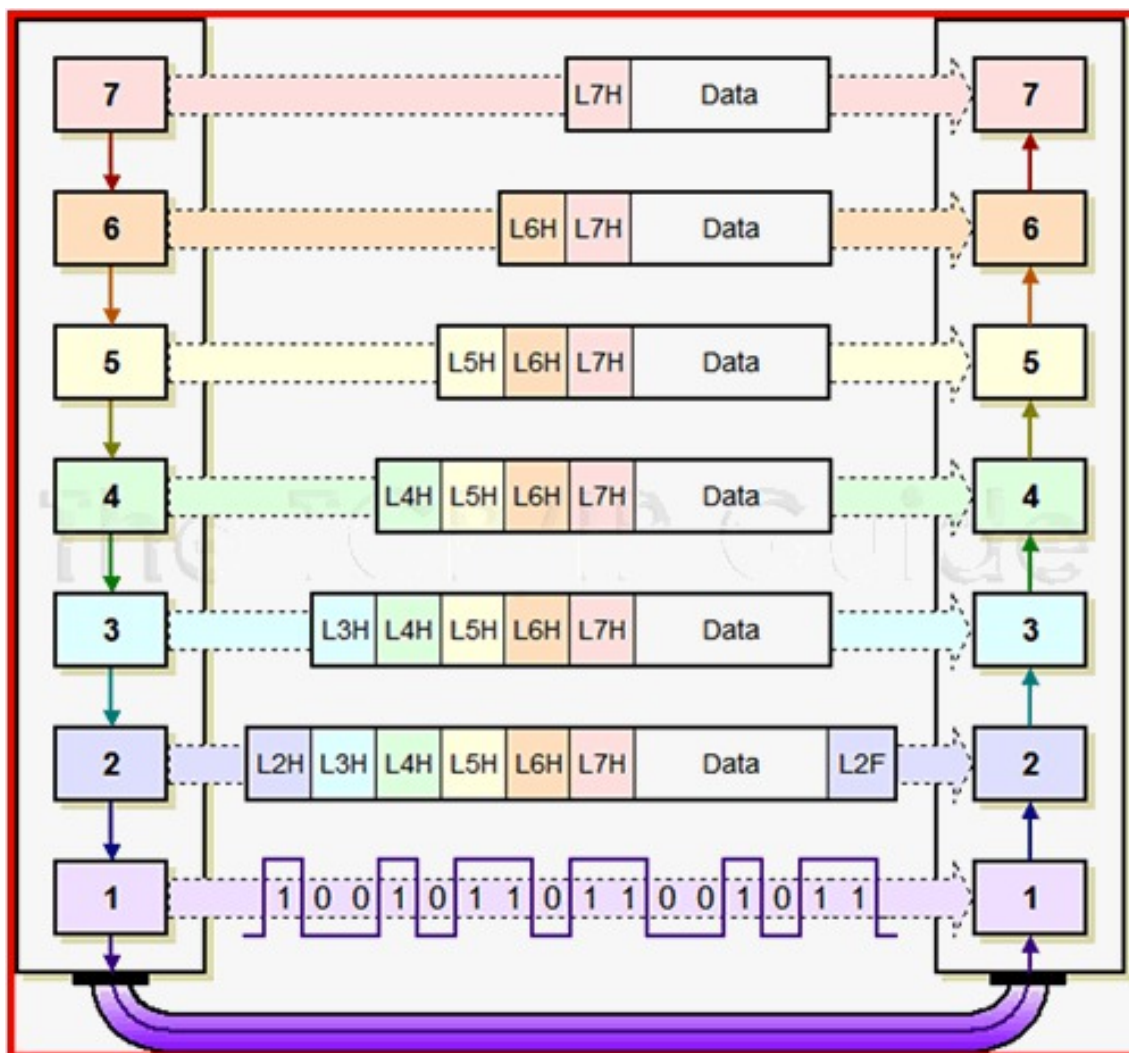
#### 6.4.4 Transfert des données utilisateurs

Les données des utilisateurs traversent toutes les couches du modèle OSI jusqu'au niveau physique qui génère le signal transmis sur le média. Chaque couche rajoute des informations de contrôle du protocole (PCI : Protocole Control Information) aux données qui lui sont passées par l'entité supérieure qui demande le service (SDU : Service Data Unit). C'est l'encapsulation des données. Cet ajout détériore les performances de débit mais sont nécessaires pour assurer les services des différentes couches : adressage, contrôle d'erreurs, contrôle de flux...

Cette structure est aussi appelée aussi "structure en pelure d'oignon".

Les données sont échangées entre les entités de même niveau qui savent les interpréter. C'est le protocole de communication qui définit le format des unités de données échangées (PDU : Protocol Data Unit) et les règles de communication.





**Segmentation/Réassemblage** Lorsque le service fourni par la couche ( $N$ ) fixe une limite de taille sur les données trop petites par rapport au service de la couche ( $N + 1$ ), la couche ( $N + 1$ ) découpe les  $(N + 1) - SDU$  en plusieurs fragments correspondant chacun à un  $(N + 1) - PDU$  avant envoi. À la réception, la couche ( $N + 1$ ) concatène les fragments pour retrouver le  $(N + 1) - SDU$  initial.

### 6.4.5 Interactions entre entités

Une couche donnée fournit un ensemble de services au niveau supérieur, les services sont invoqués par des primitives. Dans le Modèle OSI, les primitives sont désignées par un nom précédé de la première lettre du nom anglais de la couche. Par exemple,  $T\_CONNECT$  est une primitive de la couche Transport,  $N\_DATA$  une primitive de la couche Réseau.

Il y a 4 types de primitives de service :

- Requête : une entité sollicite un service pour faire une activité ;
- Indication : Informe d'un évènement ;
- Réponse : réponse à l'évènement ;
- Confirmation : informe de la demande de service ;

## Deuxième partie

# Transmission des données

---

# Codage de l'information

---

## 7.1 Pourquoi coder ?

La communication nécessite la **compréhension** entre les deux entités communicantes. L'émetteur envoie de l'information au récepteur qui doit savoir l'**interpréter** pour la comprendre. Ainsi, le codage de l'information est la première étape de toute communication.

## 7.2 Comment coder ?

L'être humain mit en place des langages et créa l'écrit. Au début, l'écrit consistait essentiellement dans des dessins puis vint un alphabet plus simple à utiliser qui offrait de multiples combinaisons pour une plus grande richesse de l'expression. En réalité, les caractères de l'écrit ne sont que des symboles interprétables. L'écrit se développa et la communication par la voie écrite fut institutionnalisée en France par la création de la poste royale en 1464 par Louis XI.

L'invention du télégraphe électrique (1832) par P. Shilling va révolutionner le monde de la communication qui allait s'effectuer par la voie des ondes. Le "fil qui chante" et qui va plus vite que le messager était si important que le ministère de l'intérieur allait créer l'Administration du Télégraphe en 1837. Mais, il était nécessaire de codifier les caractères à transmettre. Ce fut l'oeuvre de S. Morse qui, en 1837, développa l'alphabet télégraphique. Le "Morse" codait chaque caractère en une suite de signaux électriques de courte (point) ou de longue (trait) durée.

L'autorisation d'accès privé au télégraphe ne fut donnée qu'en 1851 par Napoléon III. En 1879, le premier ministère des postes et du télégraphe (P et T) fut créé. Le téléphone allait apparaître à cette époque.

En 1917, E. Baudot mit au point un code qui allait être utilisé sur le réseau télégraphique commuté (Télex). Des machines spéciales munies d'un clavier permettait de générer le signal correspondant au texte tapé. Ainsi, si dans le "Morse", il fallait que la personne connaisse le codage pour le générer, ceci n'était pas nécessaire avec le télex. Les premiers terminaux "numériques" apparaissaient.

Lorsque l'Informatique se développa, il était nécessaire de constituer un codage adapté. En effet, la machine ne comprend que des éléments binaires (bits) : 0 et 1. Le codage consistera à combiner plusieurs bits. Ainsi, une dissociation allait se faire entre l'information et le signal généré.

Le codage de l'information s'effectue en deux étapes :

- codage sous forme binaire (ASCII, EBCDIC, DCB...);
- codage de l'élément binaire par un état physique (tension, fréquence...);

Dans le cas où deux équipements veulent communiquer en utilisant des codes différents, il est nécessaire de disposer alors de fonctions de transcodage.

Nous nous intéressons dans ce paragraphe à la première étape, la seconde étant traitée dans le paragraphe «Techniques de transmission».

## 7.3 Différents codes

### 7.3.1 Le code morse

Le code Morse est un des premiers codes développés. Chaque caractère est codé par une combinaison de points et de traits. Le code est un code statistique : les caractères les plus fréquemment utilisés sont codés avec peu d'éléments tandis que les caractères les moins fréquemment utilisés auront une longueur plus importante.

A   .-   B   -...   C   -.-.   D   -...   E   .

L'inconvénient technique de ce code est que DE peut être confondu avec B (-...). C'est pourquoi, un silence (pause) entre deux caractères était nécessaire.

### 7.3.2 Le code Baudot

Le code Baudot est un des premiers codes utilisés avec une machine. Chaque caractère est codé par une combinaison de 0 et de 1. Le code est un code à 5 bits. Il est aussi appelé code télégraphique ou Alphabet International (AI) n° 2 ou code CCITT n° 2.

Avec 5 bits, nous ne pouvons avoir que 32 combinaisons. Or si on désire coder les lettres et les chiffres, nous ne disposons pas d'assez de combinaisons. C'est pourquoi le code Baudot contient deux jeux de caractères appelés "Lettres" ("Lower Case") et "Chiffres" ("Upper Case"). En fait, l'ensemble "Chiffres" contient aussi d'autres symboles (ponctuation, &, #, ...). Deux caractères "Inversion Lettres" (code 29) et "Inversion Chiffres" (code 30) permettent de commuter entre les deux ensembles. Evidemment, l'inconvénient réside dans des commutations fréquentes. D'autre part, ce code bien qu'il soit plus riche que le code Morse ne traite pas les minuscules et certains symboles.

### 7.3.3 Le code ASCII

L'apparition de l'informatique et la nécessité de disposer de codes plus riches et plus fonctionnels va mettre en évidence les limitations des codes précédents et va donner naissance à des codes contenant plus de bits. En 1963, un code à 7 bits va être développé aux Etats-Unis par l'ANSI. Ce code est connu sous le nom d'ASCII<sup>1</sup> ou Alphabet International n° 5 ou Code CCITT n° 5 ou ISO 646.

Avec 7 bits, le code ASCII permet la représentation des lettres (majuscules et minuscules), des chiffres, de différents symboles (nationaux, ...) et des caractères de commandes (de terminal et de communication). C'est un code réellement conçu pour l'échange de données et la gestion de la communication.

Le codage des lettres et des chiffres facilite le tri et le passage de majuscule aux minuscules (et vice versa).

Des caractères ont été prévus pour :

- les commandes de mise en page (Retour Chariot, Nouvelle Ligne...);
- les commandes de périphériques (Device Control 1 à 4);
- les commandes de communication et de gestion de la liaison (ACK, NAK...);
- ...

Enfin, pour munir ce code de mécanisme de détection d'erreur, un bit a été rajouté permettant ce contrôle. Ce bit est appelé bit de parité en raison du mécanisme mis en oeuvre. C'est donc un code sur 8 bits (7+1).

Le jeu de caractères ASCII a trouvé ses limites lorsqu'on a voulu coder des symboles graphiques supplémentaires. C'est pourquoi, il fut étendu avec la norme ISO 4873.

L'usage du code ASCII (7+1) dans des protocoles de transmission pose un problème lors des transmissions de données codées ASCII 8 bits ou lors des transmissions de données non ASCII (Images, voix, exécutables...).

---

1. American Standard Code for Information Interchange

## Communication entre deux terminaux

### 8.1 Quels sont les éléments constitutifs d'un système de communication ?

Considérons deux terminaux qui veulent communiquer. Chaque terminal contient, en plus de l'unité émettrice/réceptrice des données, une unité de contrôle de la communication. Le signal généré par le terminal peut ne pas être adapté au support de communication. On rajoute alors un équipement d'adaptation du signal au support (par ex. un modem pour la connexion de l'ordinateur au réseau téléphonique). Ces équipements d'adaptation forment les extrémités du Circuit de Données.



Le terminal est appelé ETTD<sup>1</sup> ou DTE<sup>2</sup>. L'équipement d'adaptation est appelé ETCD (Equipement de Terminaison du Circuit de Données) ou DCE<sup>3</sup>.



L'interface ETTD/ETCD (DTE/DCE) a été normalisée ainsi que la communication entre ETCD. La normalisation permet de concevoir des ETCD indépendamment des ETTD et de faire communiquer des ETCD entre eux même s'ils ne proviennent pas du même constructeur.

### 8.2 Qu'appelle-t-on transmission parallèle et transmission série ?

au début, la communication a été développée pour mettre en relation les hommes et leur permettre de dialoguer. Lorsque les caractères ont été codifiés, on a pensé à émettre caractère par caractère. Si l'usage du morse en utilisant une ligne pour la propagation du signal électrique transmettait les éléments significatifs d'un caractère l'un à la suite de l'autre (en série), l'apparition des équipements avec un clavier favorisera la transmission des éléments significatifs en parallèle (propagation de plusieurs signaux électriques sur plusieurs lignes en parallèle).

En informatique, la transmission parallèle consiste à envoyer les différents bits d'un caractère en parallèle, tandis que dans la transmission série, les bits sont envoyés l'un après l'autre (bit de poids faible en tête par convention).

1. Equipement Terminal de Traitement de Données

2. Data Terminal Equipment

3. Data Circuit terminating Equipment ou Data Communication Equipment

L'avantage principal de la transmission parallèle est d'envoyer plus de bits. En réalité, cet avantage est atténué par des inconvénients majeurs, principalement sur des distances importantes et à des débits élevés :

- coût plus important dû à l'utilisation de plus de fils pour la propagation ;
- encombrement plus important ;
- synchronisation entre signaux délicate due au fait que la vitesse de propagation d'un signal

est dépendant de facteurs inhérents au support et au signal ; le déphasage introduit (aussi minime soit il) augmente avec la distance. En plus, en augmentant le débit, la durée d'un bit diminue et le déphasage induit un décalage de bits. Ainsi, les bits représentant un caractère n'arrivent pas en même temps.

C'est pourquoi, la transmission parallèle est réservée pour des distances assez courtes et on utilise la transmission série pour les réseaux.

Comme la transmission est effectuée en parallèle au sein du calculateur, une conversion parallèle/série (et vice versa) est nécessaire pour émettre/recevoir en série. Cette opération est réalisée au moyen de registre à décalage.

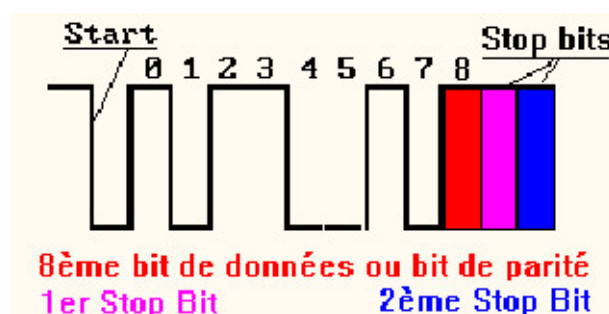
### 8.3 Quelles sont les différences entre une transmission asynchrone et une transmission synchrone ?

Comme nous l'avons vu précédemment, la transmission s'est effectuée à ses débuts caractère par caractère. En effet, l'équipement terminal utilisé permet chaque fois que l'utilisateur appuie sur une touche d'émettre un caractère. La durée séparant deux caractères est aléatoire dépendant de la frappe de l'utilisateur. La transmission se fait caractère par caractère d'une manière asynchrone.

La question qui se pose alors est la détection du début de transmission d'un caractère sans introduire d'autres fils véhiculant d'autres signaux. De plus, les horloges d'émission et de réception doivent être en phase. Or la durée entre caractères est complètement aléatoire et par conséquent n'est pas obligatoirement multiple de la fréquence de l'horloge.

La solution proposée est la suivante : On utilise deux états pour le signal (E1 et E2). La ligne au repos correspond à l'émission d'un signal dans l'état E1. Lorsqu'un caractère va être émis, l'équipement émetteur envoie un signal à l'état E2 durant la durée d'un bit (START of transmission). La transition E1-E2 permet à l'horloge récepteur de se caler pour la réception d'un caractère. Après la fin de l'émission d'un caractère (l'équipement émetteur et récepteur connaissent la longueur d'un caractère), l'émetteur remet la ligne à l'état repos (E1), c'est le signal d'arrêt de transmission (STOP of transmission) qui dure un bit, un bit et demi ou deux bits. Cet arrêt de transmission permet de détecter un nouveau caractère. La durée du STOP prévu au début d'un bit a été augmentée pour prendre en compte le temps de traitement de certains équipements avant la réception d'un nouveau caractère. Bien sûr, si cela n'est pas suffisant et l'émetteur est "trop rapide", alors des caractères de bourrage peuvent être envoyés ou le flux de l'émetteur doit être contrôlé. Mais, il faut signaler que la transmission asynchrone est prévue pour des transmissions à bas débit.

Ainsi, la transmission asynchrone est une transmission où les unités de données sont envoyées d'une manière asynchrone. Comme l'unité de donnée, au début, était le caractère, la transmission asynchrone est une transmission caractère par caractère. On l'appelle aussi transmission START/STOP.



Lorsque l'entité émettrice fournit les caractères à un niveau plus élevé. Les caractères se suivent sur le support

sans temps d'attente entre deux caractères si ce n'est le STOP-START. Or la présence de ces deux états devient inutile et gaspille l'utilisation du support. La solution est de constituer un bloc de caractères et d'effectuer une transmission par blocs. La transmission devient synchrone caractère. Une horloge caractère est nécessaire à l'arrivée pour retrouver les différents caractères. La structuration en blocs va permettre la réalisation de protocoles plus sophistiqués. Toutefois, la transmission n'étant pas continue, il faut déterminer le début d'un bloc et la fin d'un bloc (dans le cas où la taille est variable). Le préambule du bloc sert aussi à la synchronisation des horloges Emission et Réception. Nous pouvons distinguer deux types de transmission synchrones caractères : la transmission asynchrone bloc lorsque la durée séparant deux blocs est quelconque et la transmission synchrone bloc lorsque la durée séparant deux blocs n'est pas quelconque mais un multiple de la cadence de l'horloge. Ceci peut être obtenue en envoyant entre deux blocs une suite de caractères de synchronisation.

## 8.4 Comment résout-on le problème de synchronisation des horloges Emission et Réception ?

La désynchronisation des horloges d'émission et de réception est due à deux causes :

- les horloges, bien qu'ayant la même fréquence nominale, peuvent avoir une légère dérive ;
- la vitesse de propagation du signal dépend de la fréquence du signal. Cette variation bien que légère est problématique sur de longues distances et à des débits élevés.

Pour résoudre ces problèmes, il faut caler l'horloge de réception sur l'horloge d'émission. Ce verrouillage est effectué au début de la transmission de l'unité de donnée et il faut éviter qu'une dérive significative ait lieu avant la fin de la transmission. Nous remarquons donc qu'une dérive importante ne peut avoir lieu dans la transmission asynchrone. En effet, si on décale d'un bit tous les huit bits (par ex.), il y a un problème sérieux au niveau des horloges!!!

Le problème se situe donc au niveau de la transmission synchrone. Deux solutions peuvent être utilisées :

- transmettre le signal d'horloge sur un fil à part ; ceci est concevable sur des courtes distances mais sur de longues distances, un déphasage entre le signal de données et le signal d'horloge peut se produire du à la variation de vitesse de propagation ;
- recalculer l'horloge de réception en se basant sur le signal de données ; en effet les transitions (fronts) dans un signal sont des instants significatifs permettant aux horloges de se mettre en phase ; plus un signal est riche en transitions plus la synchronisation est assurée ;

Pour avoir suffisamment d'instants significatifs deux techniques sont utilisées :

- introduire régulièrement des caractères de synchronisation (riches en transitions 01 et/ou 10 se traduisant par des transitions d'états) ;
- effectuer un codage information/signal riche en transitions (ex. codage biphasé - chaque bit est codé par deux états et donc avec une transition) ;

## 8.5 Qu'appelle-t-on transmission simplex et transmission duplex ?

Considérons deux équipements A et B. Si les données sont émis dans un seul sens de A vers B, la transmission est unidirectionnelle ou simplex.

Si les données peuvent être émis dans les deux sens, la transmission est bidirectionnelle ou duplex. On distingue le Half Duplex (ou alternat) le cas où les données sont transmises dans un sens à un instant donné et change ensuite de sens ; et le Full Duplex (ou simultané) le cas où les données peuvent être transmises dans les deux sens en même temps.

## 8.6 Combien de fils sont nécessaires pour la transmission ?

Nous nous intéressons uniquement à la transmission série et aux fils nécessaires pour véhiculer les données et au signal de terre pour des raisons électriques. D'autres fils peuvent être nécessaires dans certains cas pour véhiculer les signaux d'horloge ou pour véhiculer les signaux de contrôle de la communication.

Dans le cas d'une liaison simplex, deux fils suffisent (données + terre).

Dans le cas d'une liaison half-duplex, deux fils suffisent. Ce sont les équipements d'extrémité qui se retourneront.

Dans le cas d'une liaison full-duplex, quatre fils peuvent être nécessaires (2 paires). Il est possible dans certains cas d'utiliser une terre commune.

D'autres configurations sont possibles :

- half-duplex avec quatre fils : cette configuration permet l'exploitation en half duplex la liaison utilisant des équipements sans retournement (parcequ'ils ne peuvent pas se retourner (présence d'amplis) ou pour gagner du temps) ;
- full-duplex avec deux fils : un canal fréquentiel est utilisé dans un sens et un autre canal dans un autre sens. c'est la technique du multiplexage fréquentiel ;

## 8.7 Quelle est la différence entre débit binaire et rapidité de modulation ?

Le débit binaire mesure la quantité d'informations binaires émises par unité de temps (Bits par seconde (bps)).

En terme de quantité, on distingue les bas débits (bps), les moyens débits (Kbps), les hauts débits (Mbps) et les très hauts débits (Gbps).

Le débit est relatif à l'entité émettrice/réceptrice. Ainsi, le débit ligne désigne la quantité d'information émise sur le support (information utile et de contrôle). Le débit utile (ou effectif) caractérise la quantité d'information utile envoyée. Le débit de l'application prend en compte différents facteurs dont les temps d'attente inhérents au protocole et au réseaux traversés. C'est ainsi qu'un débit de transfert de fichiers avec un équipement émetteur à 10Mbps, peut atteindre 50bps. De la même façon que le débit utile peut dépasser dans certains cas le débit support en utilisant des techniques de compression. Souvent qu'on on parle de débit sans préciser autre chose, il s'agit de débit ligne.

Nous avons vu que l'information est représentée sous forme d'un signal pour la transmission. La rapidité de modulation caractérise le nombre de changements d'états (ou nombre d'états) par unité de temps. Prenons comme unité le nombre d'états par seconde.

Nous appelons valence le nombre d'états utilisés pour représenter l'information. Ainsi, si on utilise deux états (par ex. +5 volts pour le bit 1 et 0v pour le bit 0) la valence est de 2 et les signal est bivalent. Mais un état de signal peut représenter, non pas un bit, mais plusieurs bits. C'est la multivalence (Valence >2). Ainsi, en codant les dibits (ensemble de 2 bits), la valence est de 4 ( $2^2$ ). Pour un débit donné, la multivalence permet de générer un signal plus adapté au support. Ainsi, sur le réseau téléphonique, la multivalence a permis d'augmenter les débits. Mais, l'augmentation du nombre d'états augmente la difficulté de discrimination sachant que les défauts du support introduisent des distorsions des états utilisés.

Trouvons maintenant la relation entre débit binaire et rapidité de modulation. Nous appelons  $n$  le nombre de bits représentés par un état,  $V$  la valence d'un signal,  $D$  le débit et  $R$  la rapidité de modulation. Nous avons  $D = n \times R$ . Or  $V = 2^n$  et  $n = \log_2(V)$ . D'où  $D = R \times \log_2(V)$ . Nous voyons que le débit binaire et la rapidité de modulation ne sont identiques que lorsque la valence est 2.

La rapidité de modulation est exprimée en Bauds (du nom de l'ingénieur Baudot). Elle caractérise le signal transmis.

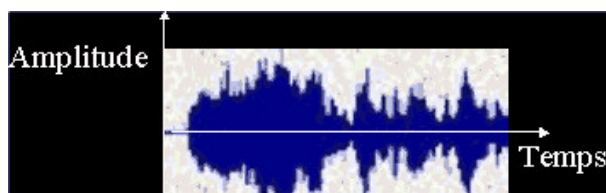


## Analyse spectrale

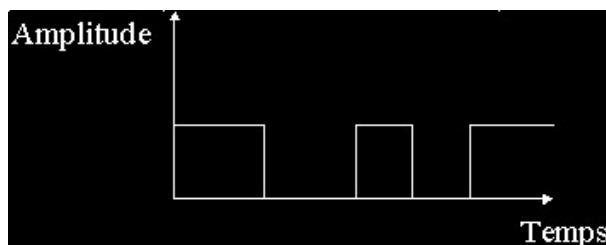
### 9.1 Quelles sont les différentes formes physiques utilisées pour le transport de l'information ?

L'information est véhiculée grâce à un signal physique. Ce signal peut être soit de nature analogique soit de nature digital (numérique).

Le signal analogique est un signal continu dans le temps. C'est à dire que son amplitude varie d'une façon continue. Les signaux de notre environnement (voix, image...) sont de nature analogiques.



Le signal numérique est un signal discret dans le temps. C'est à dire que son amplitude varie d'une façon discrète (nombre fini de valeurs). Les signaux générés par certains équipements (générateurs de tensions électriques ou pulsions) sont de nature numériques.



Il ne faut pas confondre l'information avec le signal généré. En effet, l'information utilisée élémentaire utilisée en informatique est discrète puisque l'ensemble des valeurs est fini (bit=0 ou 1) tandis que le signal physique le représentant peut être soit numérique soit analogique. De la même façon qu'on peut véhiculer l'information analogique (par ex. information vocale) par un signal de nature analogique ou de nature numérique.

### 9.2 Quelles sont les caractéristiques d'un signal analogique élémentaire ?

Le signal analogique élémentaire est le signal sinusoïdal. C'est un signal périodique caractérisé par trois paramètres :

- La fréquence
- L'amplitude
- La phase

Le signal peut être représenté dans le domaine temporel (amplitude en fonction du temps) :  $y(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$

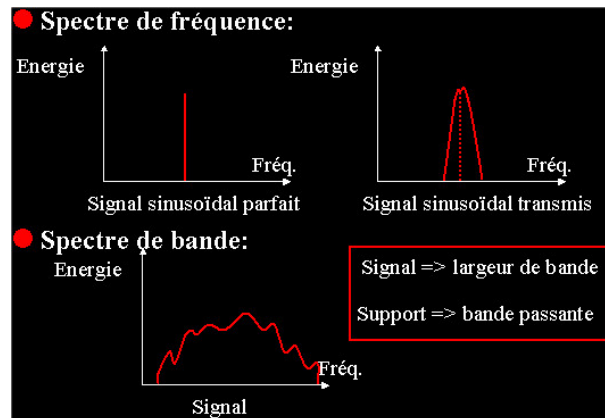
Le signal peut être représenté dans le domaine fréquentiel (spectre d'énergie en fonction de la fréquence). Dans le cas d'un signal sinusoïdal parfait, l'énergie est concentrée sur la fréquence du signal. Mais le signal durant sa propagation subit des distorsions en fréquence (comme on le verra plus tard) ce qui conduit à un étalement du spectre autour de la fréquence théorique.

### 9.3 Comment peut-on caractériser un signal quelconque ?

Un signal périodique quelconque peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux (Analyse de Fourier).



Nous avons alors un spectre de raies. Comme il y a des fluctuations autour de chaque fréquence contenue dans le signal, nous obtenons un spectre continu. Ainsi, un signal quelconque est caractérisé par sa bande de fréquences. Plus particulièrement, au niveau quantitatif, nous nous intéresserons à la largeur de la bande de fréquences.



### 9.4 Quelles sont les déformations affectant un signal ?

Un signal durant sa transmission subit différentes déformations dues aux caractéristiques du support de transmission et de l'environnement.

**L'affaiblissement** L'affaiblissement d'un signal est du à des caractéristiques du support (résistance, dispersion de l'onde hertzienne...).

Pour compenser cet affaiblissement, on utilise des amplificateurs. L'atténuation (perte) et l'amplification (gain)s'expriment en décibels (dB) :  $N = 10 \cdot \log_{10}(PS/PE)$  - le décibel est la représentation algorithmique d'un rapport de puissances mais on peut l'exprimer avec des tensions :  $N = 20 \cdot \log_{10}(TS/TE)$  avec  $P = V^2/R$  PS (resp. TS) et PE (resp. TE) représentent la puissance en sortie (resp. tension en sortie) et la puissance en entrée (resp. tension en entrée). Pour une perte N est négatif et pour un gain N est positif. Le choix de l'échelle logarithmique est du à deux raisons essentielles : la variation de l'énergie du signal est logarithmique et le fait que des gains et des pertes en cascades se calculeront par des additions et des soustractions. On exprime aussi la puissance en dBW :  $P(\text{dBW}) = 10 \cdot \log_{10}P(W)$  et la tension en dBmV :  $T(\text{dBmV}) = 20 \cdot \log_{10}T(\text{mV})$ .

**Les distorsions** Les distorsions subies par le signal affectent ses paramètres (amplitude, phase, fréquence). La distorsion en amplitude est due au fait que le support a une impédance et pas uniquement une résistance : l'affaiblissement du signal varie en fonction de la fréquence. Dans ce cas, il faut utiliser un égalisateur qui amplifie en

fonction de la fréquence. La distorsion en phase est due au fait que la vitesse de propagation varie en fonction de la fréquence du signal. Dans ce cas, le problème est un problème de synchronisation et nous avons besoin de solutions de rephasage ou de resynchronisation. La distorsion en fréquence est due au fait que le support de transmission ainsi que les équipements d'extrémité filtrent certaines fréquences. Ils sont caractérisés par la bande de fréquences qu'ils laissent passer ou Bande Passante. Si la Bande Passante n'est pas suffisante pour la Bande de Fréquences du signal alors il est nécessaire d'effectuer une transmission par transposition de fréquences.

**Les bruits** Un bruit est un signal parasite additif au signal utile. Ce parasitage peut amener à des erreurs d'interprétation du signal.

Pour limiter au maximum les bruits, différentes techniques sont utilisées agissant sur le type du support utilisé (coaxial, blindé, torsadé, optique...). L'influence du bruit est mesurée par le rapport Signal sur Bruit en dB :  $(S/B)_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(S/B)$ .

## 9.5 Quelle est la capacité d'un support de transmission ?

La capacité d'un support de transmission est la quantité maximum d'informations qu'il peut véhiculer par unité de temps. En informatique, cette capacité est exprimée en bits par seconde (ou ses multiples). Par conséquence, la capacité représente le débit maximum possible sur le support. Il ne faut pas confondre capacité d'un support et débit d'un équipement. D'après les travaux de Shannon nous avons :  $C = W \cdot \log_2(S/B+1)$  où C est la capacité en bps, W la largeur de la bande passante en Hertz et S/B le rapport puissance du signal sur puissance du bruit.

---

## Techniques de transmission

---

---

# Multiplexage

---

# Architecture de Communication (8/10/07)

---

**Attention : Il peut y avoir d'autres solutions possibles.**

---

1. Comment appelle-t-on un réseau à l'échelle d'une entreprise ?

**Réponse :**

Un réseau à l'échelle d'une entreprise s'appelle un LAN (Local Area Network) ou RLE (Réseau Local d'Entreprise). Mais souvent, nous avons une interconnexion de réseaux locaux dans une entreprise et certains parleront de DAN (Departemental Area Network) ou de CAN (Campus Area network).

---

2. Quelles sont les différences entre une topologie point à point et une topologie à diffusion ?

**Réponse :**

La topologie à diffusion est aussi appelée topologie multipoint puisque plusieurs systèmes raccordés au même support. Par exemple dans le cadre du sans fil WIFI, WIMAX ou bien dans le cadre d'un système filaire (Bus, anneau).

Dans une liaison point à point : un seul chemin entre deux systèmes (ex liaison téléphonique filaire).

Dans le cadre d'une liaison multipoint tous les équipements ont la capacité physique de recevoir le signal. Le filtrage en fonction du destinataire se fait chez le récepteur.

---

3. Quel est l'intérêt de la normalisation ? Citer 4 organismes de normalisation.

**Réponse :**

L'intérêt de la normalisation est d'offrir une solution qui constitue un compromis entre les attentes des uns et des autres. C'est fondamental dans les réseaux pour permettre aux différentes entités de communiquer.

Le principal atout de la normalisation c'est d'exister. Une norme caractérise rarement la meilleure des solutions. Sur certains points techniques on peut toujours faire mieux. L'intérêt c'est de mettre tout le monde d'accord.

Exemples d'organismes de normalisation : AFNOR, ISO, ITU, IEEE, CEN, ANSI...

Exemple de normes : ISO 15479, ISO 9000, ISO 27000.....

---

4. Qu'appelle-t-on système réel ? Comment un système réel peut devenir ouvert ?

**Réponse :**

- **système réel**: Ensemble comprenant un ou plusieurs ordinateurs, le logiciel associé, des périphériques, des terminaux, des opérateurs humains, des processus physiques, des moyens de transfert d'information, etc. et constituant un tout autonome capable d'effectuer des traitements et/ou des transferts d'information.

- **système ouvert réel**: Système réel dont les communications avec d'autres systèmes réels sont effectuées conformément aux normes OSI.

---

5. Que définit le modèle de référence OSI ?

**Réponse :**

Le modèle OSI définit un cadre fonctionnel pour l'élaboration de normes d'interconnexion de systèmes. En aucun cas, OSI ne décrit pas comment ces systèmes fonctionnent en interne ou comment les normes doivent être implantées. OSI est un modèle et non une pile de protocoles. Le modèle de référence OSI définit une architecture de communication en 7 couches dont le but est de faire communiquer des systèmes ouverts réels

---

6. Quelle est la signification de la communication horizontale dans le modèle OSI ?

**Réponse :**

Echange de données de même niveau (protocole). Les protocoles sont normalisés.

---

7. Dans quelle mesure peut-on parler de communication verticale dans le modèle OSI ?

**Réponse :**

Passage hiérarchique d'un niveau à un autre : interactions entre couches d'un même système.

---

8. Qui du modèle OSI ou de l'architecture TCP/IP est le plus récent ?

**Réponse :**

Architecture TCP/IP mise en place dans le cadre du réseau ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network) Suite aux développements d'ARPANET, le protocole TCP (Transfer Control Protocol) apparut en 1974 dans un article publié par Bob Kahn et Vint Cerf. Il sera utilisé à partir de 1977 pour interconnecter les ordinateurs en réseaux, remplaçant progressivement le protocole NCP car il était plus rapide et moins coûteux à installer que ce dernier. En 1978, la couche IP (Internet Protocol) est ajoutée au TCP, permettant d'assurer les fonctions de routage des messages

---

9. A quel niveau se situe le déplacement proprement dit des données ?

**Réponse :**

Les données sont transmises sur le support physique. Donc c'est le niveau le plus bas dans l'architecture de communication : couche physique.

---

10. Quel type d'identifiant est mis en oeuvre au niveau 1 OSI ?

**Réponse :**

Aucun. le niveau 1 s'occupe de la transmission physique et n'a pas de notion logique d'identification. Ce n'est qu'à partir du niveau 2 que les identifiants sont mis en oeuvre.

---

11. Quel niveau fait apparaître le premier identifiant ?

**Réponse :**

Ce n'est qu'à partir du niveau 2 que les identifiants sont mis en oeuvre. Par conséquent le niveau liaison.

---

12. Comment appelle-t-on le composant qui permet de prendre en charge la carte réseau au sein du système d'exploitation ?

**Réponse :**

Le composant est appelé Driver ou Pilote.

---

13. On désire réaliser une application de transfert de fichier, sous UNIX, entre deux calculateurs homogènes reliés par une liaison série. Décrivez, en se basant sur le modèle de référence OSI, les différentes fonctions à mettre en oeuvre

### Réponse :

Couche 1 : codage des bits sur la liaison série. Interface mécanique, électrique et fonctionnelle.

Ex. RS232C

Couche 2 : mise en place d'algorithmes de contrôle d'erreur et de contrôle de flux pour éviter que le calculateur le plus rapide ne sature l'autre.

Couche 3 : dans ce cas là il n'y a rien à ce niveau puisque les calculateurs sont reliés directement.

Couche 4 : ici aussi il n'y a pas grand chose à faire puisque les 2 calculateurs sont reliés directement (le bout en bout est une seule connexion). On pourrait éventuellement mettre en place une identification de service pour que plusieurs applications client/serveur fonctionnent simultanément ou même que plusieurs transferts de fichiers fonctionnent simultanément. Surtout que le Système Unix est un système multitâches, multi-utilisateurs.

Couche 5 : On peut éventuellement mettre en place une procédure de reprise sur erreur si les fichiers à transférer peuvent être très gros et qu'on risque de ne pas pouvoir les transférer en une seule fois (par exemple si les calculateurs ont une durée moyenne de fonctionnement sans erreur – MTBF – faible).

En effet, si un problème survient au niveau bas et que la session est interrompue, ce serait intéressant de pouvoir reprendre la session sur un point de synchronisation.

Couche 6 : Pas grand chose à ce niveau là puisque les calculateurs sont homogènes. Il faut toutefois indiquer si on transfère un fichier binaire ou un fichier texte (problème de codage de CR/LF). On met des fonctionnalités en place à ce niveau si on effectue de la compression et/ou du cryptage.

Couche 7 : le protocole de transfert de fichier de haut niveau est défini à ce niveau là. C'est à dire les fonctions tels que : transférer, lister un répertoire, créer un répertoire, renommer un fichier, supprimer un fichier... En effet, la majorité des applications de transfert de fichier ont des fonctionnalités qui dépassent le simple transfert.

---

14. Expliquez pourquoi deux Systèmes conformes au modèle OSI peuvent ne pas communiquer. Donner un exemple.

### Réponse :

Le modèle OSI ne décrit pas comment les systèmes fonctionnent en interne ou quels protocoles doivent implémenter les fonctionnalités décrites dans le modèle.

L'un des systèmes peut par exemple au niveau physique implanter les 1 par +5V et les 0 par 0V et l'autre choisir un code 0=+5V et 1=-5V.

---

15. Définir les concepts fondamentaux suivants de l'architecture OSI :

- sous-système (N) ;
- entité (N) et entité relai (N) ;
- service (N) ;
- protocole (N) ;
- point d'accès à des services (N) ou (N)-SAP ;
- connexion (N) et extrémité de connexion (N) ou (N)-CEP ;
- multiplexage et démultiplexage ;
- éclatement et recombinaison ;
- services orientés connexion et services sans connexion ;
- unité de données de protocole (PDU), information de contrôle de protocole (PCI) et unité de données de service (SDU) ;
- segmentation et réassemblage ;
- groupage et dégroupage ;
- concaténation et séparation.

### Réponse :

La réponse à cette question va au delà de la question elle-même en s'appuyant sur la norme d'OSI.

- **sous-système (N)**: Élément d'une division hiérarchique d'un système ouvert qui n'interagit directement qu'avec les éléments du niveau immédiatement supérieur ou inférieur de cette division.
- **couche (N)**: Subdivision de l'architecture OSI, constituée des sous-systèmes de rang (N).
- **entités (N) homologues**: Entités appartenant à la même couche (N).
- **sous-couche**: Subdivision d'une couche.
- **service (N)**: Capacité fondamentale de la couche (N) et des couches inférieures à celle-ci, offerte aux entités (N+1) à la frontière entre la couche (N) et la couche (N+1).
- **fonctionnalité (N)**: Élément d'un service (N).

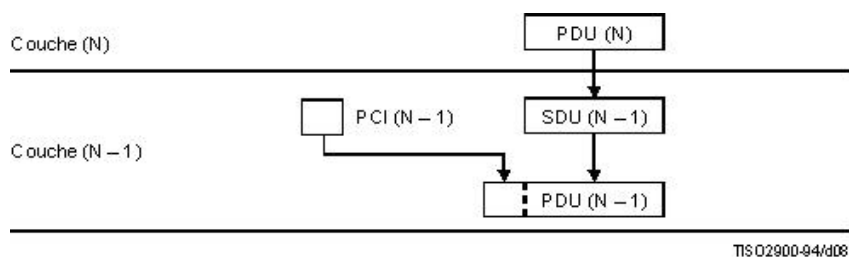


- fonction (N): Elément de l'activité d'entités (N).
- **point d'accès au service (N)** : SAP (service access point) (N): Point où les services (N) sont fournis par une entité (N) à une entité (N+1).
- **protocole (N)**: Ensemble de règles et de formats (sémantiques et syntaxiques) déterminant le comportement de communication des entités (N) lorsqu'elles exécutent les fonctions (N).
- type d'entité (N): Description d'une classe d'entités (N) en termes d'ensemble de capacités définies pour la couche (N).
- entité (N): Elément actif dans un sous-système (N) comportant un ensemble de capacités définies pour la couche (N) et correspondant à un type donné d'entité (N) (sans que soient utilisées d'autres capacités).
- invocation d'entité (N): Utilisation particulière d'une partie ou de l'ensemble des capacités d'une entité (N) donnée (sans que soient utilisées d'autres capacités).
- association (N): Relation de coopération entre invocations d'entités (N).
- **connexion (N)**: Association demandée par une entité (N+1) pour le transfert de données entre deux entités (N+1) ou plus. L'association est établie par la couche (N); elle identifie explicitement une série de transmissions de données (N) et fixe l'accord concernant les services de transmission de données (N) à fournir pour cette série.
- extrémité de connexion (N): Terminaison d'une connexion (N) en un point d'accès aux services (N).
- connexion multipoint: Connexion comportant plus de deux extrémités de connexion.
- entités (N) correspondantes: Entités (N) reliées par une connexion (N-1).
- **relais (N)**: Fonction (N) au moyen de laquelle une entité (N) retransmet à une autre entité homologue (N) les données reçues d'une entité homologue (N).
- source de données (N): Entité (N) qui envoie des unités de données de service (N-1) (voir 5.1.6.7) sur une connexion (N-1).2)
- puits de données (N): Entité (N) recevant des unités de données de service (N-1) sur une connexion (N-1).2)
- transmission de données (N): Fonctionnalité (N) transportant des unités de données de service (N) d'une entité (N+1) à une ou plusieurs entités (N+1).
- transmission duplex (N): Transmission de données (N) simultanément dans les deux sens.2)
- transmission semi-duplex (N): Transmission de données (N) dans un sens ou dans l'autre alternativement, le sens de transmission étant contrôlé par une entité (N+1).2)
- transmission simplex (N): Transmission de données (N) dans un seul sens fixé à l'avance.2)
- communication de données (N): Fonction (N) transférant des unités de données de protocole (N) (voir 5.6.1.3) conformément à un protocole (N) sur une ou plusieurs connexions (N-1).2)
- communication bilatérale simultanée (N): Communication de données (N) dans les deux sens à la fois.
- communication bilatérale à l'alternat (N): Communication de données (N) dans un sens ou dans l'autre, alternativement.
- communication unilatérale (N): Communication de données (N) dans un seul sens fixé à l'avance.
- transmission en mode connexion (N): Transmission de données (N) dans le contexte d'une connexion (N).
- transmission en mode sans connexion (N): Transmission de données (N) hors du contexte d'une connexion (N) et qui n'est pas tenue de maintenir une quelconque relation logique entre les unités de données de service (N).

L'information est transférée entre entités (N) homologues sous forme d'unités de données de divers types. Ces unités de données sont définies au 5.6, et les relations existant entre elles sont représentées aux Figures 8 et 9.

	Contrôle	Données	Combinaison
Entités homologues (N) – (N)	Informations de contrôle protocoles (N) PCI (N)	Données d'utilisateur (N)	Unités de données de protocole (N) PDU (N)

**Figure 8 – Correspondances entre les unités de données**



PCI Informations de contrôle protocolaires (*protocol-control-information*)  
PDU Unité de données de protocole (*protocol-data-unit*)  
SDU Unité de données de service (*service-data-unit*)

#### NOTES

- 1 Cette figure suppose qu'aucune opération de segmentation ou de groupage n'est appliquée aux unités de données de service (N) (voir 5.8.1.9 et 5.8.1.11).
- 2 Cette figure n'implique aucune position relative particulière des informations de contrôle protocolaires par rapport aux données d'utilisateur dans l'unité de données de protocole.
- 3 Une unité de données de protocole (N) peut être projetée telle quelle dans une unité de données de service (N-1); mais d'autres types de correspondances sont possibles.

**Figure 9 – Illustration de la mise en correspondance des unités de données dans des couches adjacentes**

multiplexage: Fonction accomplie par une entité (N) permettant à une seule connexion (N-1) de prendre en charge plusieurs connexions (N).

NOTE - Le terme multiplexage est également utilisé dans un sens plus restrictif pour désigner la fonction accomplie par l'entité (N) expéditrice, alors que le terme démultiplexage sert à désigner la fonction accomplie par l'entité (N) destinataire.

5.8.1.5 - démultiplexage: Fonction accomplie par une entité (N) qui identifie les unités de données de protocole (N) correspondant à plusieurs connexions (N) parmi les unités de données de service (N-1) reçues sur une même connexion (N-1). C'est la fonction inverse de la fonction de multiplexage accomplie par l'entité (N) qui envoie les unités de données de service (N-1).

5.8.1.6 - éclatement: Fonction de la couche (N) permettant d'utiliser plusieurs connexions (N-1) pour prendre en charge une connexion (N).

NOTE - Le terme éclatement est également utilisé dans un sens plus restrictif pour désigner la fonction accomplie par l'entité (N) expéditrice, le terme recombinaison servant à désigner la fonction accomplie par l'entité (N) destinataire.

5.8.1.7 - recombinaison: Fonction accomplie par une entité (N) identifiant des unités de données de protocole (N) correspondant à une même connexion (N) parmi des unités de données de service (N-1) reçues sur plusieurs connexions (N-1). C'est la fonction inverse de la fonction d'éclatement accomplie par l'entité (N) qui envoie les unités de données de service (N-1).

5.8.1.8 - contrôle de flux: Fonction contrôlant le flux des données au sein d'une couche ou entre couches adjacentes.

5.8.1.9 - segmentation: Fonction accomplie par une entité (N) pour projeter une unité de données de service (N) sur plusieurs unités de données de protocole (N).

5.8.1.10 - réassemblage: Fonction accomplie par une entité (N) pour projeter plusieurs unités de données de protocole (N) sur une unité de données de service (N). C'est la fonction inverse de la fonction de segmentation.

5.8.1.11 - groupage: Fonction accomplie par une entité (N) pour projeter plusieurs unités de données de service (N) sur une unité de données de protocole (N).

5.8.1.12 - dégroupage: Fonction accomplie par une entité (N) pour identifier plusieurs unités de données de service (N) contenues dans une unité de données de protocole (N). C'est la fonction inverse de la fonction de groupage.

5.8.1.13 - concaténation: Fonction accomplie par une entité (N) pour projeter plusieurs unités de données de protocole (N) sur une unité de données de service (N-1).

NOTE - Le groupage et la concaténation, bien que similaires (ils permettent tous deux de grouper des unités de données) servent à des fins différentes. Par exemple, la concaténation permet à la couche (N) de grouper une ou plusieurs unités PDU (N) d'accusé de réception avec une ou plusieurs

unités PDU (N) contenant des données d'utilisateur, ce que la fonction de groupage ne peut pas réaliser. A noter que ces deux fonctions peuvent être combinées permettant à la couche (N) d'effectuer des groupages et des concaténations.

- sous-système (N) ;
- entité (N) et entité relai (N) ;
- service (N) ;
- protocole (N) ;
- point d'accès à des services (N) ou (N)-SAP ;
- connexion (N) et extrémité de connexion (N) ou (N)-CEP ;
- multiplexage et démultiplexage ;
- éclatement et recombinaison ;

## **Modes de communication**

Une couche (N) peut offrir à la couche (N+1) un service en mode connexion, un service en mode sans connexion, ou les deux, en utilisant le ou les services fournis par la couche (N-1). Toute instance de transmission entre entités (N+1) doit utiliser un même mode de service (N). Les services (N) en mode connexion et en mode sans connexion se caractérisent tous deux par les fonctionnalités qu'ils offrent aux entités (N+1) et par la qualité de service perçue par celles-ci. Tant en mode connexion qu'en mode sans connexion, la couche (N) peut fournir des fonctions destinées à améliorer les fonctionnalités offertes aux entités (N+1) et la qualité de service perçue par celles-ci par rapport aux fonctionnalités offertes à la couche (N) par la couche (N-1) et, si nécessaire, pour passer d'un mode de service à l'autre.

Etant donné que les concepts de transmission en mode sans connexion et en mode connexion sont complémentaires, on les comprend mieux en les juxtaposant, surtout que la transmission en mode sans connexion est plus facilement définie par référence au concept de connexion.

Afin que des entités (N+1) puissent communiquer au moyen d'un service (N) en mode connexion ou en mode sans connexion, il est essentiel qu'existe entre elles une association prédéterminée consistant en une connaissance préalable que chaque entité (N+1) doit impérativement avoir des autres afin d'être au moins en mesure d'initialiser l'utilisation du service. Cette association, qui est établie d'une manière qui n'est pas explicitée dans ce modèle de référence de base, comprend quatre éléments:

### **Mode connexion**

Une connexion est une association établie pour le transfert de données entre deux entités (N) homologues ou plus. Cette association lie les entités (N) homologues aux entités (N-1) de la couche immédiatement inférieure. La capacité d'établir et de libérer une connexion et de transférer des données sur elle est conférée aux entités (N) dans une couche (N) donnée par la couche qui lui est immédiatement inférieure en tant que service en mode connexion.

L'utilisation d'un service en mode connexion par des entités (N) homologues passe par trois phases distinctes:

- l'établissement de la connexion;
- le transfert de données;
- la libération de la connexion.

### **Mode sans connexion**

La transmission en mode sans connexion est la transmission d'une seule unité de données d'un point d'accès au service source vers un ou plusieurs points d'accès au service destination sans établir de connexion. Un service en mode sans connexion permet à une entité de déclencher une telle transmission en utilisant un seul accès au service.

Contrairement à une connexion, une instance d'utilisation d'un service en mode sans connexion n'a pas de durée de vie clairement établie. Elle possède en outre les caractéristiques fondamentales suivantes:

- elle nécessite uniquement une association prédéterminée entre les entités (N) homologues concernées qui détermine les caractéristiques des données à transmettre, et ne fait intervenir aucun accord dynamique;
- toutes les informations requises pour remettre une unité de données - adresse de destination, sélection de la qualité de service, options, etc. - sont présentées à la couche qui fournit le service en mode sans connexion, en même temps que l'unité de données à transmettre, dans un accès unique au service. La couche qui fournit le service en mode sans connexion n'est pas tenue de mettre en relation cet accès avec un quelconque autre accès

16. Quel est le nom donné aux interactions entre deux couches adjacentes ? Décrire les différents types d'interactions.

**Réponse :**

On les appelle primitives de service. Ces primitives permettent de demander la réalisation d'une action ou de rendre compte d'une action réalisée par l'entité paire. Dans le modèle OSI les primitives de service peuvent être réparties en quatre types:

Primitive	Origine et signification
Request	Demande de service (N+1)--> (N)
Indication	Le fournisseur de service informe d'un évènement (par ex. demande externe d'établissement d'une connexion) ou bien un évènement s'étant déroulé localement. (N) -> (N+1)
Response	Réponse à une demande de service (N+1) --> (N)
Confirm	Le fournisseur de service informe de l'accomplissement d'une requête faite à ce point d'accès. (N) --> (N+1)

17. Les primitives du service de niveau transport utilisées dans la phase d'établissement et de libération de connexion sont les suivantes :

T\_CONNECT.request, T\_CONNECT.indication, T\_CONNECT.response,  
T\_CONNECT.confirm,  
T\_DISCONNECT.request, T\_DISCONNECT.indication

1. Donner la signification de ces primitives.
2. Etablir les diagrammes de succession des primitives entre les entités communicantes dans les cas suivants :
  - a) Etablissement de la connexion avec succès ;
  - b) Rejet par l'entité appelée d'une demande de connexion ;
  - c) Rejet d'une demande de connexion par le fournisseur du service de transport ;
  - d) Déconnexion à l'initiative d'un utilisateur.

**Réponse :**

T\_CONNECT.request : Demande de connexion par l'entité de la couche supérieure.

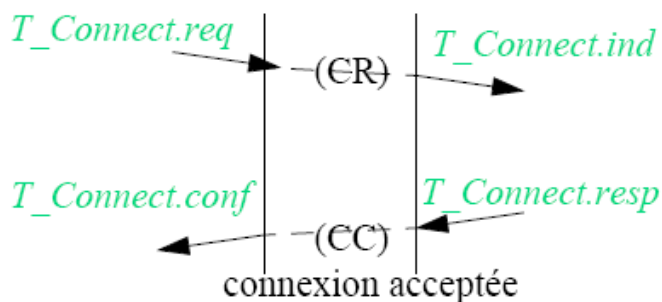
T\_CONNECT.indication : L'entité transport du côté du système appelé informe l'utilisateur du service (couche supérieure) de la demande d'un service.

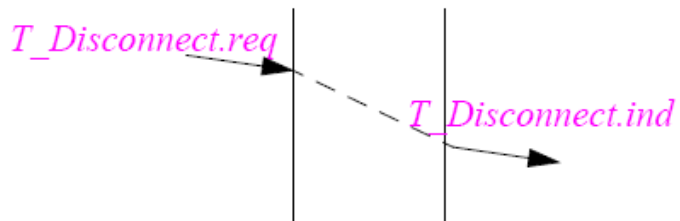
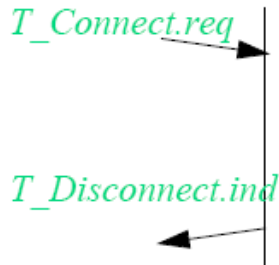
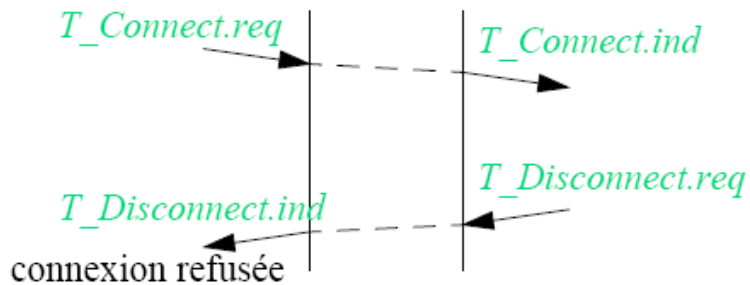
T\_CONNECT.response : L'entité appelée informe l'entité transport sur le même système de sa réponse.

T\_CONNECT.confirm : L'entité transport de l'appelant confirme à l'entité utilisatrice du service que sa demande a été prise en compte.

T\_DISCONNECT.request : Demande de déconnexion par l'entité de la couche supérieure.

T\_DISCONNECT.indication : L'entité transport informe l'utilisateur du service (couche supérieure) d'une déconnexion.





18. Match the function to the appropriate component :

>> Function

- a) An international voluntary standards organization
- b) Represents a consortium of U.S. federal agencies
- c) U.S. national clearinghouse and coordinating body
- d) Noted for local area network standards
- e) Part of the U.N. structure
- f) A prominent North American trade association; developed RS-232-C

>> Organization

- 1. The IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)
- 2. The NCS (National Communications System)
- 3. The ISO (International Standards Organization)
- 4. The CCITT (International Telegraph & Telephone Consultative Committee) / ITU (International Telecommunications Union)
- 5. The EIA (Electronic Industries Association)
- 6. The ANSI (American National Standards Institute)

Réponse :

a-3; b-2; c-6; d-1; e-4; f-5

# TRAVAUX DIRIGES - RESEAUX INFORMATIQUES

## 2. LA TRANSMISSION PHYSIQUE DES DONNEES

1. Le code Morse est le premier code développé. Le code se base sur les statistiques concernant les occurrences des caractères dans une langue déterminée. Quels sont les avantages et inconvénients du code Morse ?  
(Ex. 'A' : .- 'B' : -... 'C' : -.-. 'D' : -.. 'E' : .)

### **Solution :**

Samuel Morse (américain, 1791-1872) est l'inventeur du télégraphe électrique conçu en 1832 et breveté en 1840. L'alphabet Morse (1837) fait de traits et de points permet de représenter directement les caractères d'un alphabet sous forme électrique. L'objectif de la transmission est d'envoyer du texte.

L'avantage de ce code est de compresser le texte en se basant sur les statistiques d'occurrence des différents caractères de l'alphabet. Il appartient à la famille des codes statistiques (cf. Huffman).

Parmi les inconvénients on peut citer :

- le code de deux caractères qui se suivent donnent le code d'un autre caractère (ex. DE et B) ; c'est pourquoi une pause est nécessaire entre les caractères. Cela fait diminuer l'efficacité d'utilisation de la ligne.
- le codage statistique est lié au contenu de la transmission (langue) ; Qu'en est-il pour les langues slaves ? et les fichiers binaires ?

---

2. Le code Baudot est le premier code développé pour être utilisé par les machines. Chaque caractère est codé sur 5 bits. Ce code permet de représenter plus de 50 caractères. Comment cela est-il possible ? y-a-t-il un inconvénient à la technique utilisée ?

### **Solution :**

Emile Baudot (français, 1845-1903), inventeur de la transmission automatique, allait mettre les bases d'un nouveau télégraphe utilisant deux alphabets pour un ensemble de combinaisons.

Avec 5 bits, on ne peut représenter que 32 caractères ( $2^5$ ). Deux caractères spéciaux d'inversion permettent de basculer dans un alphabet ou dans un autre.

Son avantage est de coder plus d'informations. Son inconvénient est qu'un changement trop souvent d'alphabet fait baisser le débit.

---

3. Un terminal utilisant le code ASCII doit être connecté à un ordinateur utilisant le code EBCDIC. Quels sont les problèmes qui peuvent être rencontrés et comment les résoudre ?

### **Solution :**

Les codes ASCII et EBCDIC ne codent pas l'information de la même façon. D'où la nécessité de transcodeur.

Il est à noter que selon le modèle de référence OSI, la représentation de l'information est un des services rendus par les entités de la couche présentation (couche 6).

---

4. A quoi sert un ETCD (DCE) ? Que désigne le circuit de données ?

### **Solution :**

Un ETCD (Equipement de Terminaison du Circuit de Données) ou DCE (Data Circuit terminating Equipment) est un équipement permettant l'adaptation du signal au support de transmission. Exemple : un modem.

Le circuit de données désigne le support de transmission et les ETCD.

---

5. Quelles sont les différences entre une transmission parallèle et une transmission série ? Quelle est celle qui est la plus utilisée ?

### **Solution :**

Dans une transmission parallèle, les bits représentant l'information caractère sont transmis en parallèle sur des supports distincts. Dans une transmission série, les bits sont transmis sur le même support. La transmission série est la plus

# TRAVAUX DIRIGES - RESEAUX INFORMATIQUES

## 2. LA TRANSMISSION PHYSIQUE DES DONNEES

utilisée. En effet, la transmission parallèle, présente certains inconvénients : volume, coût, lien étroit avec la taille du caractère à transmettre et surtout problème de synchronisation entre les différents canaux du fait que les signaux ne se propagent pas à une vitesse constante mais subissent des fluctuations. Ces distorsions augmentent avec la distance et le débit.

---

6. Quelles sont les différences entre les communications simplex, half duplex et full duplex ?

**Solution :**

Les différences résident au niveau du sens de transmission : simplex (unidirectionnel), half duplex (bidirectionnel à l'alternat) et full duplex (bidirectionnel simultané). Si le nombre de fils de données nécessaires est identique pour les deux premiers : 2 fils (données + masse), dans le dernier cas, une liaison 4 fils est souvent utilisée (2 paires). Ceci n'est pas obligatoire si on utilise deux fréquences différentes (multiplexage fréquentiel).

---

7. Quelles sont les différences entre une transmission asynchrone et une transmission synchrone ?

**Solution :**

Dans une transmission asynchrone, l'unité de données de transmission est le caractère. Dans une transmission synchrone, c'est un bloc de caractères (paquet, trame).

Le début d'une transmission asynchrone est signalée par un état qui dure la durée d'un bit : Start, et à l'arrêt de la transmission le signal revient à l'état repos durant au moins un bit, un bit et demi ou deux bits : Stop. Le passage de l'état repos au Start permet la synchronisation des horloges émettrice et réceptrice pour la réception du caractère.

Dans la transmission synchrone, un caractère au début du bloc permet la synchronisation. Mais les horloges peuvent se déphaser durant le bloc. Il est alors nécessaire de resynchroniser. Différents moyens existent :

- Le pilotage des deux entités par la même horloge dont le signal est transmis sur un support distinct (cf. RS232);
- L'introduction de caractères riches en transition (SYN) pour une resynchronisation sur les instants significatifs (Transitions) (cf. le protocole BSC) ;
- Le codage électrique avec des transitions (Biphase) (cf. Ethernet) ;

D'autre part, on distingue :

- la transmission synchrone asynchronisé trame où le silence séparant deux trames est quelconque, ce qui implique une plus grande difficulté de synchronisation et par conséquent un préambule plus important ;
- la transmission synchrone synchronisé où durant l'intervalle séparant deux trames, on continue à envoyer des éléments de synchronisation.

---

8. Combien de fils sont nécessaires entre un ETTD et un ETCD pour transmettre les données à l'alternat en synchrone ?

**Solution :**

On considère que la transmission est en série. On a besoin de 2 fils pour l'alternat. Le problème que certains ETTD ne peuvent pas se retourner d'où 3 fils en considérant la masse commune. D'autre part, il est nécessaire de synchroniser. Si on utilise les signaux d'horloge, il nous faut un fil de plus.

---

9. Une source de données fournit des caractères ASCII sur 7 bits. Donner l'expression du débit maximum effectif des données pour une ligne ayant une capacité de B bps dans le cas suivants :

- a) La transmission est asynchrone, chaque caractère possède 2 bits de stop et un bit de parité.
- b) La transmission est synchrone, la trame contient 48 bits de contrôle et 128 bits d'informations. Le champ information est constitué de caractères ASCII de 8 bits (parité inclus).

**Solution :**

a) Un caractère = 1 bit start + 7 bits de données + 1 bit de parité + 2 bits stop = 11 bits dont 7 bits utiles.

D'où Débit efficace (utile) =  $(7/11) \cdot B$  bps

b) Une trame = 48 bits de contrôle + 128 bits d'infos (parité inclus) = 176 bits.

Le champ info contient 16 caractères (128/8) donc il y a 16 bits de parité et 112 bits utiles.

# TRAVAUX DIRIGES - RESEAUX INFORMATIQUES

## 2. LA TRANSMISSION PHYSIQUE DES DONNEES

D'où Débit efficace (utile) =  $(112/128)*B \text{ bps} = (7/11)*B \text{ bps}$

En conclusion, les deux transmissions sont équivalentes du point de vue efficacité, la transmission synchrone commençant à être intéressante à partir d'une taille de 17 caractères.

---

10. Soit une transmission asynchrone (caractères ASCII 8 bits de données - 1 bit Stop) d'un signal bivalent ayant une rapidité de modulation de 1200 bauds. La source émettant en continu, quel est son débit binaire effectif ? Quelle est sa cadence de transfert en cps ?

**Solution :**

Le signal étant bivalent ( $V=2$ ) alors le débit binaire sur le support est de 1200 bps. ( $D=R*\log_2 V$ ).

Un caractère = 1 bit de START + 8 bits de données + 1 bit de stop = 10 bits dont 8 bits utiles.

Le débit effectif (efficace ou utile) =  $(8/10)*1200 = 960 \text{ bps}$

La cadence de transfert =  $960/8 = 120 \text{ cps}$

---

11. Soit une transmission synchrone. Supposons que nous disposons de 4 tensions distinctes pour coder l'information. La rapidité de modulation étant de 1200 bauds, quel est le débit binaire ?

**Solution :**

Un état (tension) représentera un dibit (2 bits). Il y a 4 dibits : 00, 01, 10, 11 représentés par 4 tensions du signal.

La rapidité de modulation étant de 1200 bauds (états par seconde), le signal transporte  $(1200*2) 2400 \text{ bps}$ .

(On peut utiliser  $D=R*\log_2 V$ )

---

12. Considérons une liaison point à point qui consiste en une transmission sur une ligne avec un seul amplificateur. La perte sur la première portion de la ligne est de 13 dB, le gain de l'amplificateur est de 30 dB et la perte sur la seconde portion de la ligne est de 40 dB.

1. Quel sera le gain (ou la perte) du signal à l'arrivée ?

2. Quel en sera sa puissance en dBW sachant que le signal d'origine avait une puissance de 1 mW ?

**Solution :**

On rappelle que le gain ou la perte  $N = 10*\log_{10}(P_S/P_E)$  et que la  $P_{\text{dBW}} = 10*\log_{10}(P_{\text{W}})$

D'autre part, pour travailler avec les log, se rappeler que :  $\log_a(a^b) = b$

1. Le signal à l'arrivée a subi une perte de 23 dB ( $= -13+30-40$ ).

2.  $N = 10*\log_{10}(P_S/P_E) = 10*\log_{10}(P_S) - 10*\log_{10}(P_E) = P_{\text{S(dBW)}} - P_{\text{E(dBW)}}$

d'où  $P_{\text{S(dBW)}} = N + P_{\text{E(dBW)}} = -23 + 10*\log_{10}(10^{-3}) = -53 \text{ dBW}$

---

13. Un amplificateur a un gain de 30 dB. La tension de sortie est de 80 dBmV.

1. Donner la tension de sortie en Volts.

2. Donner la tension d'entrée en Volts.

**Solution :**

On rappelle que le gain ou la perte  $N = 20*\log_{10}(U_S/U_E)$  et que la  $U_{\text{(dBmV)}} = 20*\log_{10}(U_{\text{(mV)}})$

1.  $U_{\text{S(dBmV)}} = 20*\log_{10}(U_{\text{S(mV)}}) = 80$  d'où  $U_{\text{S(mV)}} = 10^4 \text{ mV} = 10 \text{ V}$

2.  $N = 20*\log_{10}(U_S/U_E) = 20*\log_{10}(U_{\text{S(mV)}}) - 20*\log_{10}(U_{\text{E(mV)}}) = 30 \text{ dB}$

$U_{\text{S(dBmV)}} - U_{\text{E(dBmV)}} = 30 \text{ dB}$  d'où  $U_{\text{E(dBmV)}} = 50 \text{ dBmV}$

d'où  $U_{\text{E(mV)}} = 10^{5/2} \text{ mV} = 10^{-1/2} \text{ V}$

---



## TRAVAUX DIRIGES - RESEAUX INFORMATIQUES

### 2. LA TRANSMISSION PHYSIQUE DES DONNEES

14. Afin de transmettre une image de télévision en utilisant une ligne de transmission numérique, on découpe l'image à transmettre en une matrice de 500x480 éléments (pixel), chaque pixel peut prendre 1 parmi 16 valeurs d'intensité. Pour obtenir une vision correcte des images, on doit transmettre 30 images par seconde.

1. Calculer le débit binaire.
2. Le canal de transmission a une bande passante de 2,5 Mhz et le rapport signal-sur-bruit est de 30 dB. Quelle est la capacité de ce canal ? Conclure.
3. Quelle devrait-être la bande passante minimum de ce canal ?
4. Pour une image couleur, chaque pixel est la combinaison de 3 couleurs élémentaires (rouge, vert, bleu), chacune prenant 1 parmi x valeurs d'intensité. On veut transmettre des images couleurs à raison de 30 images par seconde avec le débit binaire du 1. Discuter comment les valeurs des autres paramètres doivent être modifiées.

#### Solution :

1. Pour coder 16 valeurs, il faut 4 bits par pixel.

$$D = 30 \times 500 \times 480 \times 4 = 28,8 \text{ Mbps}$$

2. On rappelle que  $C = W \times \log_2((S/B)+1)$  et  $(S/B)_{(dB)} = 10 \times \log_{10}(S/B)$

$$(S/B)_{(dB)} = 10 \times \log_{10}(S/B) = 30 \text{ dB d'où } (S/B) = 1000$$

$$C = 2,5 \times \log_2(1000+1) \approx 25 \text{ Mbps}$$

Le support n'a pas une capacité suffisante pour le débit de la source.

$$3. C \leq D \text{ d'où } W \times \log_2((S/B)+1) \leq 28,8 \text{ Mbps}$$

$$\text{d'où } W \leq 2,9 \text{ MHz}$$

$$4. D = \text{nb images/s} \times R_x \times R_y \times (B_r + B_v + B_b) = 28,8 \text{ Mbps}$$

Le débit dépend de 3 paramètres : la dynamique temporelle, la résolution spatiale ( $R_x$  et  $R_y$ ) et la dynamique de l'image (nb de bits pour coder le rouge  $B_r$ , le vert  $B_v$  et le bleu  $B_b$ ).

D'après l'énoncé, on conserve la dynamique temporelle à 30 images/s.

Si on conserve la résolution spatiale, on dispose de 4 bits pour coder la couleur. Ex.  $B_r=2$ ,  $B_v=1$ ,  $B_b=1$ . Mais l'image sera plus riche en niveaux de rouge. Il est possible aussi d'utiliser un bit pour augmenter la luminance et de coder les couleurs chacune sur 1 bit.

Si on veut coder chaque composante sur 2 bits donc 6 bits au total pour coder la couleur, il faut diminuer la résolution spatiale (ex.  $R_x=R_y=400$ ) pour conserver le même débit.

En conclusion, il faut remarquer le lien entre les trois paramètres et le débit très important nécessaire pour véhiculer de la vidéo. Dans l'exercice, la dynamique de l'image n'est pas très importante. Si le codage devait être effectué avec 8 bits par composante (pour obtenir les 256 niveaux classique en traitement d'images), on aurait 24 bits par pixel et le débit serait à multiplier par 6. Des techniques de compression devraient donc être utilisées et des supports à large bande déployés. Sinon, c'est la qualité de service qui diminuera (cf. Visioconférence).

---

15. On veut transmettre un message sur une ligne téléphonique. Parmi les trois transformations suivantes et après avoir rappelé la technique utilisée, ses avantages et ses inconvénients, quelle est celle qui vous semble la plus adaptée ?

- a- NRZ (No Return to Zero)
- b- Biphase
- c- Modulation en double fréquence

#### Solution :

Dans l'exercice il s'agit d'une ligne analogique.

Par conséquence, les deux premiers codages qui sont des codages en bande de base sont à écarter et le troisième codage est le plus adapté.

Le codage NRZ (No Return To Zero) code les bits 1 et 0 avec deux tensions +V et -V. C'est un codage simple et qui évite le retour à 0 volts. Toutefois il est sensible aux désynchronisations et aux spectres de signaux contenant des fréquences extrêmes (BF ou HF). Pour régler le problème d'inversions de fils, le NRZ différentiel a été développé.

Le codage biphase (appelé aussi Manchester) code chaque bit avec deux états générant un front descendant pour le bit 1 et un front montant pour le bit 0. La synchronisation est très bonne et il est enlève toute BF du signal. Toutefois le spectre de fréquences généré est doublé ce qui est inconvénient dans le cas des supports à bande passante limitée. Pour régler le problème d'inversions de fils, le biphase différentiel existe.

La modulation en fréquence utilise deux fréquences pour représenter les bits 1 et 0. Son avantage est l'adaptation au support de transmission. Son inconvénient majeur est la discrimination entre fréquences dans le cas de fortes distorsions.

---

# TRAVAUX DIRIGES - RESEAUX INFORMATIQUES

## 2. LA TRANSMISSION PHYSIQUE DES DONNEES

16. Considérons un signal audio dont le spectre de fréquence s'étend entre 300 et 3000 Hz. Supposons qu'un échantillonnage à 7 kHz est utilisé pour générer un signal MIC.

1. Le signal est-il suréchantillonné ou sous-échantillonné ?
2. On veut transmettre le signal sur un support dont la bande passante est de 3 kHz et le rapport signal sur bruit de 30 dB. Combien de niveaux de quantification peut-on utiliser pour représenter le signal audio ?
3. Quel est le débit binaire obtenu ?

### Solution :

1. Le signal est suréchantillonné. En effet, pour générer un signal MIC, il faut échantillonner à 2 fois la fréquence maximale (Shannon) donc à 6 kHz ( $=2 \times 3000$ ).

2. La capacité du canal est  $C = W \times \log_2((S/B)+1) = 3 \times \log_2(1000+1) \approx 30$  Kbps

Le débit généré doit être inférieur à 30 Kbps. Or le débit = nb échantillons/s \* nb bits/échantillon.

On a 7000 échantillons/s, donc le nb bits/échantillon ( $< 30000/7000$ ) = 4 bits/échantillon

On peut donc utiliser  $2^4 = 16$  niveaux de quantification.

3.  $D = 7000 \times 4 = 28$  Kbps

---

17. Qu'est ce qu'un multiplexeur ? Différents types de multiplexeurs ?

### Solution :

Un multiplexeur est un équipement permettant de partager un support de transmission entre plusieurs communications.

On distingue :

- les multiplexeurs fréquentiels qui partagent la bande passante en affectant à chaque communication un canal de fréquences ;
- les multiplexeurs temporels qui partagent le temps d'utilisation de la ressource support ;

Le multiplexage temporel peut être :

- synchrone : le temps est découpé en intervalles de temps (IT) et réservés aux communications ; (ex. le RNIS).
- asynchrone : quand une entité veut émettre elle émet son paquet. Dans le cas de liaisons bipoints, des files d'attente peuvent se former si la ressource est occupée, tandis que dans les liaisons multipoints, des collisions peuvent se produire (ex. Ethernet). Des techniques de contrôle d'accès au média peuvent être développées.

Le principe majeur du multiplexage fréquentiel et du multiplexage temporel synchrone est la réservation de la ressource de transport ou d'une partie, ce qui assure l'écoulement du flux. L'inconvénient est la possibilité de gaspillage du à une non-utilisation de la ressource réservée.

Le multiplexage fréquentiel et temporel peuvent être combinés lorsque le canal de fréquences est partagé temporellement (ex. canaux satellites).

Le multiplexage fréquentiel est souvent appelé analogique et le multiplexage temporel appelé numérique.

Il faut enfin souligner que sur un réseau circule des données mais aussi de la signalisation.

---

18. Soit un multiplexeur temporel statique synchrone à 3 voies d'entrée. La voie A débite à 1200 bits/s, la voie B à 1200 bits/s et la voie C à x bits/s. Le débit sur le canal composite est de y bits/s.

On suppose que la voie A envoie des suites de 'A', la voie B des suites de 'B', la voie C des suites de 'C' et l'on constate que les suites de caractères qui passent sur la ligne sont toujours dans l'ordre 'ACBC'. Quels sont les valeurs de x et y en bits/s ? (Le multiplexeur dans ce cas ne rajoute aucun élément de contrôle supplémentaire).

### Solution :

On remarque que la voie C génère deux fois plus de caractères que la voie A ou B. Donc  $x = 2 \times 1200 = 2400$  bps

Le débit sur le canal composite doit permettre d'écouler les débits des différentes voies.

$y = \Sigma \text{débits} = 1200 + 1200 + 2400 = 4800$  bps

---

## TRAVAUX DIRIGES - RESEAUX INFORMATIQUES

### 2. LA TRANSMISSION PHYSIQUE DES DONNEES

19. Soit un multiplexeur temporel statique qui prélève des échantillons caractère sur des lignes d'entrée à 100 bauds et envoie des trames sur une ligne de sortie à 4800 bits/s :

- un intervalle de trame est constitué d'un caractère ASCII 8 bits auquel est rajouté un bit qui indique le type d'information (0 si données, 1 si signalisation)
- un caractère SYN est mis en début de trame
- la transmission sur les lignes d'entrée du multiplexeur est réalisée par une transmission asynchrone 10 bits (1 bit de start, 1 bit de stop) et un code biphase.

Quel est le nombre maximum de voies en entrée du multiplexeur ?

#### **Solution :**

Une ligne d'entrée a les caractéristiques suivantes : asynchrone (1 bit Start + 8 bits + 1 bit Stop), biphase 100 bauds donc 50 bps ou 5 cps.

Une trame temporelle transporte un caractère de chaque voie donc pour transporter 5 cps il faut 5 trames temporelles/s.

Comme 4800 bps peuvent émis sur la voie composite, une trame temporelle peut donc transporter  $4800/5 = 960$  bits.

Chaque IT comportant 9 bits, il y a donc  $960/9 = 106$  IT dans une trame et 6 bits séparent deux trames.

Dans chaque trame, il y a un IT réservé pour la synchro donc 105 IT peuvent utilisés pour transporter les caractères de 105 voies.

On peut donc multiplexer 105 voies au maximum en entrée.

---

20. On veut multiplexer 10 lignes d'entrée sur une voie à haute vitesse en utilisant un multiplexeur temporel statique par caractères.

Cinq lignes d'entrée fournissent 50 bauds et cinq lignes 100 bauds. La transmission sur ces lignes est réalisée par une transmission asynchrone 10 bits (8bits + 2 bits start et stop) et un code NRZ.

La trame temporelle est envoyée sur une ligne de sortie à «y» bps. Un intervalle de trame (IT) est constitué d'un caractère sur 8 bits auquel est rajouté un bit qui indique le type d'information. Le premier IT est réservé pour un caractère de synchronisation.

Calculer le débit sur la ligne de sortie «y» nécessaire pour multiplexer les différentes voies.

(N.B. : On pourra affecter plusieurs IT de la même trame au même canal )

#### **Solution :**

Il faut raisonner sur 15 lignes d'entrée à 50 bps (NRZ à 50 bauds) ou 5 cps. Dans une trame on aura un IT pour une voie à 50 bauds et 2 IT pour une voie à 100 bauds.

Donc il y a 16 ITs dans une trame (en comptant l'IT de la synchro). D'où  $16*9 = 144$  bits/trame.

Comme il y a 5 trames temporelles/s, on a donc  $144*5 = 720$  bps. Evidemment comme les débits sont normalisés, le plus proche est 1200 bps.

---