

1. Généralités:

Depuis l'aube des temps, l'être humain a toujours voulu communiquer avec ses semblables rapidement et sur des distances de plus en plus éloignées. Ainsi, il a utilisé différents types de signaux ; comme par exemple :

- Les signaux lumineux (réflexion de la lumière sur des miroirs),
- Les signaux sonores (tambours ou autres),
- Des signaux de fumées,
- ...etc.

Avec, l'avancée technologique il a pu inventer d'autres moyens de communications plus souples, plus sûres et surtout plus rapides sur des distances importantes. L'exemple, de service postale et de la téléphonie sont les plus frappants.

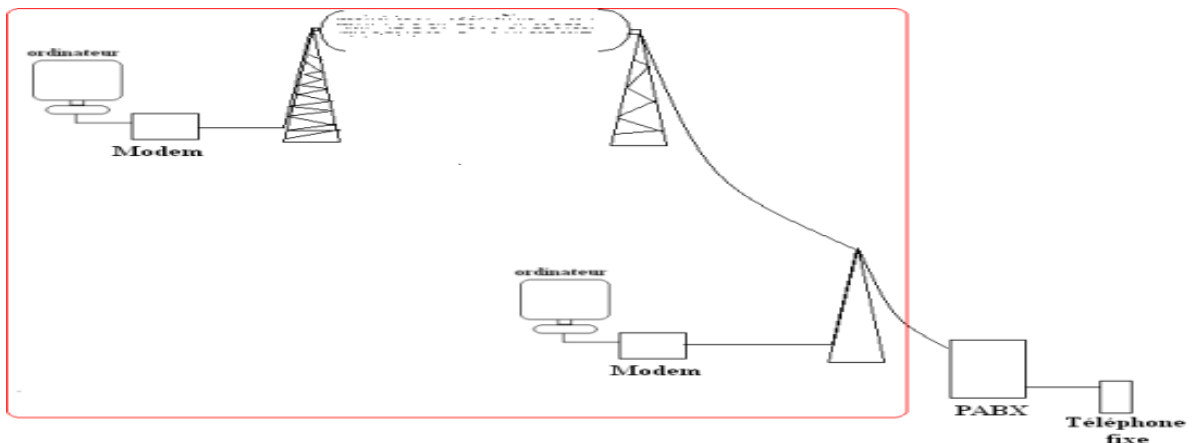
De nos jours l'utilisation des signaux numériques est devenue une nécessité incontournable aussi bien pour la communication que pour le traitement. En effet, avec la vulgarisation de l'outil informatique et de l'ordinateur pour le grand public il s'est avéré qu'il peut être utilisé facilement et sûrement comme un moyen de communication, alors qu'il est à l'origine un outil de traitement de l'information, entre les personnes mais aussi entre les entreprises et les états. Il peut donc assurer des liaisons, de différents types, entre les villes, les pays et les continents.

Cependant, et compte tenu que l'élément essentiel de ce type de communication est l'ordinateur l'information émise et/ou reçue est sous une forme numérique.

A. Définition historique de la téléinformatique :

La téléinformatique est le traitement et la transmission de l'information à distance. En effet, le terme TELE veut dire distance et INFORMATIQUE signifie le traitement de l'information.

Ainsi, la téléinformatique veut dire essentiellement la transmission à distance de l'information sous forme numérique. Ce type de transmission est en réalité très ancien. En effet, il est très facile de transmettre une information de nature simple, c'est à dire que la grandeur physique qui la caractérise ne peut prendre qu'un nombre fini de valeurs (ou états). Ainsi, par des procédés élémentaires, tels qu'une torche allumée ou éteinte, un trou perforé ou non, un son ou non ...etc nous pourrions prétendre à de telles transmissions numériques. Mais de nos jours il est questions d'une communication par des signaux numériques, souvent électriques, très rapide et sur des distances extrêmement élevées.



Les premiers systèmes avaient tous pour but de transmettre des messages constitués de lettres ou de chiffres codés. Parmi ces applications, on peut citer :

- le 24 mai 1844 (le télégraphe): Samuel Morse artiste et inventeur américain teste une ligne entre Washington et Baltimore avec un code de traits et de points qui porte son nom.

- En 1875 Baudot : le télégraphe à impression de Emile Baudot fut le premier à utiliser un clavier de type machine à écrire, plus important ce télégraphe n'utilisait pas le morse. Le code à cinq niveau de Baudot envoyait dans le câble cinq impulsions chaque caractère transmet.
- 14 février 1876 (le téléphone): Alexander Graham Bell (Boston) fait breveter un appareil qui reproduit la voix humaine, ce dernier résolu le problème de la transmission de la voix en changeant complètement le principe : au lieu d'utiliser des courants intermittents, Bell découvrit une manière de produire un courant électrique qui variait continûment avec les variations de la voix humaine et d'autres sons.
- 1899 : Marconi réalisa une première liaison télégraphique par Onde hertizienne
- 1930 et 1940: plusieurs procédés furent développés pour permettre la transmission de signaux télétype par l'intermédiaire de système radio employant les ondes courtes.
- 1970 : Apparition des premiers ordinateurs personnels avec une taille moyenne grande. Ces ordinateurs ont d'abord été utilisés en tant que machines autonomes.
- En 1980: apparition du fax, ou télécopieur, et les télétypes radio qui ont été supplantés par les liaisons par satellite.
- Les années 80: Informatique personnelle et mise en œuvre des réseaux locaux
- Les années 90: Applications de l'INTERNET... Mobiles

B) Premiers systèmes de téléinformatiques :

Peu après l'apparition des premières machines de traitement numériques de l'information il s'est révélé le besoin de transmettre à distance des informations de nature numérique dès l'origine. Ainsi, les premiers calculateurs (on parle de calculateurs au lieu d'ordinateurs car ils ne peuvent réaliser que des opérations arithmétiques élémentaires et ils ne possèdent pas un jeu d'instructions), qui sont apparus au milieu des années 40 (1946) permettaient de communiquer avec quelques périphériques d'entrée-sortie tels que les imprimantes, les bandes magnétiques

d'enregistrement, les lecteurs de cartes perforées ...etc. Il apparaissait utile à un utilisateur éloigné de pouvoir transmettre des cartes perforées (par exemple) par l'intermédiaire du réseau télégraphique jusqu'à la proximité du lecteur de cartes du ordinateur. Le but recherché est bien entendu d'annuler le temps de transport des informations. En 1963 apparaissait le premier système en temps partagé utilisable à distance, les ordinateurs de la troisième génération, dont la série IBM, facilitaient la mise en œuvre d'applications de télétraitement.

En résumé les intérêts de la téléinformatique sont nombreux. Nous pouvons citer à titre d'exemples :

- la rapidité de transmission,
- utilisation pour différents types d'information,
- la transmission sur de longues distances,
- la possibilité de travailler avec plusieurs groupes et de partager les informations, pratiquement en temps réel et simultanément,
- la possibilité de rendre l'information transmise secrète (confidentialité).
- D'utiliser des canaux de transmission existants (téléphonie, ou radiofréquence.. etc),

C. Organisme de Normalisation

Définition: La normalisation est nécessaire dans tout processus de fabrication à caractère répétitif. Elle fixe un cadre réglementaire indispensable à l'industrie, à la sécurité de la fabrication, aux utilisateurs ainsi qu'à la chaîne économique du produit.

Principaux organismes

- L'ISO : pour International Standard Organization en anglais, et Organisme de Normalisation International en français, se situe à un niveau international et s'occupe de normalisation dans à peu près tous les domaines.
- UIT (date de 1932, Place des Nations CH-1211 Genève): Union Internationale des Télécommunication anciennement CCITT (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique)

- L'ANSI (American National Standard Institute) est l'institut américaine (USA) de normalisation, et possède un rôle semblable à celui de l'ISO, mais au niveau national
- Il existe l'équivalent de l'ANSI en France, c'est l'AFNOR (Association Française de Normalisation). De même, en Allemagne on trouve DIN (Deutsches Institut Für Normung) bien connu pour sa normalisation des connecteurs (prises DIN), et en Angleterre le BSI (British Standards Institute).
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), c'est –à-dire l'Institut des ingénieurs en Électricité et Électronique, est une entité américaine qui gère différents projets de recherche, avec cependant une vocation internationale.
- IANOR (Institut Algérien de Normalisation) NA

2) la transmission de données

La communication est au sens large un transfert d'info d'une source vers un destinataire à travers un milieu appelé canal. Pour qu'elle ait lieu les conditions suivantes doivent être remplies :

- Source et destinataire doivent se mettre d'accord sur la réception symbolique de l'info à transmettre (le code utilisé)
- Le canal doit être parfaitement transparent c'est-à-dire ne jouer qu'un rôle neutre de convoyeur, sans interférer sur l'info transmise
- Le canal doit être adapté (techniquement et économiquement au type de source et de destinataire mise en jeu
- L'info à transmettre doit être mise sous une forme compatible avec le canal

Dans le cas des télécom le canal est tjrs un milieu physique qui exige que l'info (notion abstraite), soit au préalable concrétisée par des signaux de nature électromagnétique.

2-1) Le signal utilisé

On appelle signal, une grandeur physique variable et porteuse d'information.

Le passage de l'info (généralement codée) au signal, et réciproquement est effectué dans des traducteurs électrique tels que le microphone, l'écouteur, le haut-parleur, la camera, le modem

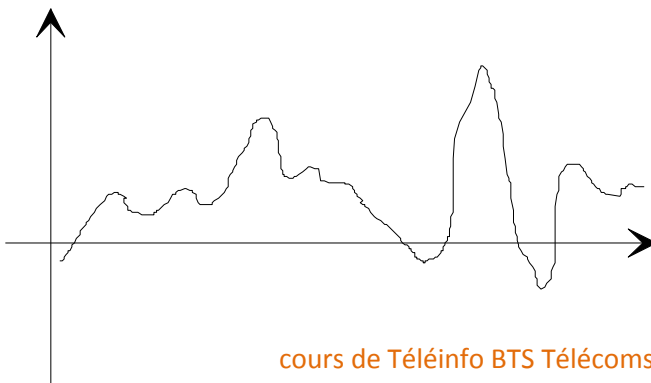
2-2) Les types de signaux

Les informations transmises peuvent être réparties en deux grandes catégories selon ce qu'elles représentent et les transformations qu'elles subissent pour être traitées dans les systèmes informatiques. On distingue:

- Les signaux analogiques ayant des variations électriques à chaque instant proportionnelles aux variations du signal dont elles sont issues.
- Les signaux numériques ayant des variations électriques discontinues et avec un nombre fini d'états. Chaque état a une durée déterminée.

A) Les signaux analogiques

Les données continues ou analogiques résultent de la variation continue d'un phénomène physique : température, voix, image... Un capteur fournit une tension électrique proportionnelle à l'amplitude du phénomène physique analysé: signal analogique (signal qui varie de manière analogue au phénomène physique). Un signal analogique peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle déterminé (bornes).



a-1) le signal vocal

Le signal dans le contexte de la téléinformatique est généralement caractérisé par trois grandeurs subjectives qui sont :

- L'intensité (amplitude)
- La hauteur (fréquences fondamentales)
- Le timbre (les harmoniques)

La bande audible pour l'homme est de 0Hz à 20 Hz

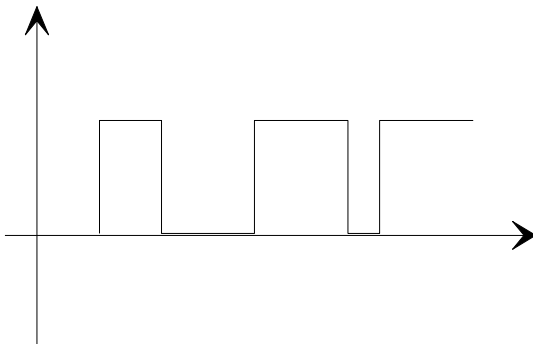
La bande passante téléphonique est limitée de 300 Hz à 3400 Hz

a-2) le signal vidéo

Le signal vidéo est plus complexe car il transporte plus d'information.

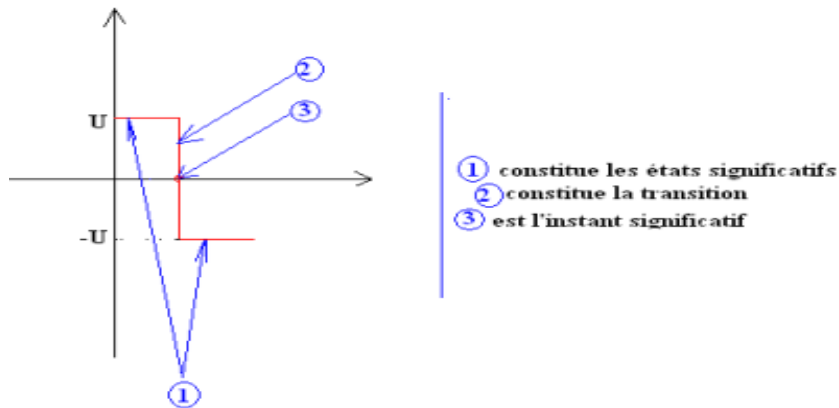
L'image de télévision par exemple est décomposée en ligne, chaque ligne est analysée, la luminosité des points de la ligne est transformée en signal électrique.

B) Le signal numérique



b-1) Définitions

b-1-1) Etat significatif



Un état significatif correspond à l'une des différentes valeurs significatives que peut prendre le signal numérique

b-1-2) Transition

Une transition est le passage d'un état significatif à un autre significatif différent

b-1-3) Instant significatif

Un instant significatif correspond à l'instant où se produit une transition

b-1-4) La valence

La valence (V) d'un signal est le nombre d'état significatifs distincts utilisés pour véhiculer le signal.

$$V=2^n$$

b-1-5) Élément de signal

Un élément de signal est le plus petit élément transmis en ligne, il dure une période T , c'est une information élémentaire vis-à-vis de la ligne.

b-1-6) la rapidité de modulation

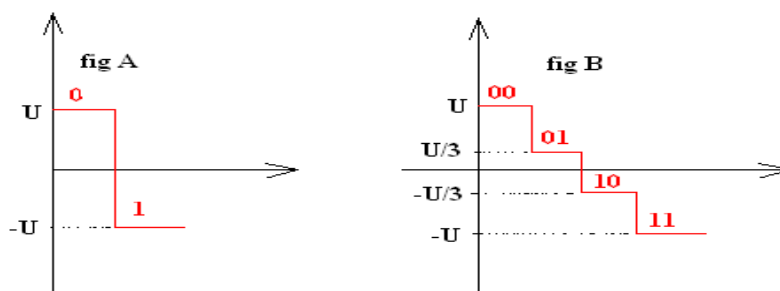
Un message est constitué d'une succession des signaux de durée égale T . T est appelé intervalle élémentaire ou moment élémentaire. Toute transmission est caractérisée par sa rapidité de modulation, une grandeur qui nous permet de déterminer la bande de la largeur de fréquence à transmettre. On appelle rapidité de modulation l'inverse de l'intervalle élémentaire T . $R=1/T$ (R en baud (bd), T en seconde (s))

b-1-7) Élément binaire

- En théorie de l'information, c'est l'unité de quantité d'information.
- En pratique, c'est le signal élémentaire utilisé en représentation numérique de l'information. Il peut avoir 2 états «0 » ou « 1 »

b-1-8) le débit binaire

Le débit binaire (D) :c'est le nombre d'élément binaires transmis par unité de temps et exprimé en bit/ s.



Remarque

Le débit binaire (D) intéresse l'utilisateur

La rapidité de modulation (R) intéresse le transmetteur, car elle est fonction de la bande passante (B) du support de transmission.

C) Relation entre le débit et la rapidité de modulation

La relation entre le débit binaire (D) et la rapidité de modulation (R) est fonction de la valence (V)

$$D = R \cdot \log_2 V$$

$$V = 2^n \implies n = \log_2 V$$

n est le nombre de bit par état significatif

la relation entre le Débit (D) et la rapidité de modulation (R) est donc immédiate

$$D = n \cdot R$$

Cette relation entre D et R est plus souvent déterminée par le codage utilisé.

3) CLASSIFICATION DE TRANSMISSION

1) Type de transmission

A) Transmission Parallèle et Transmission Série

L'information élémentaire à transmettre est le mot (4, 8, 16, n bits). En interne, les calculateurs transfèrent les données via un bus : un fil par bit. Le bus transmet simultanément tous les bits d'un même mot machine, la transmission est dite transmission parallèle, la communication entre machines peut se réaliser de même. La transmission parallèle soulève de nombreux problèmes techniques. Pour des distances importantes,

on

lui préfère la transmission série : les bits sont transmis successivement sur un support unique.

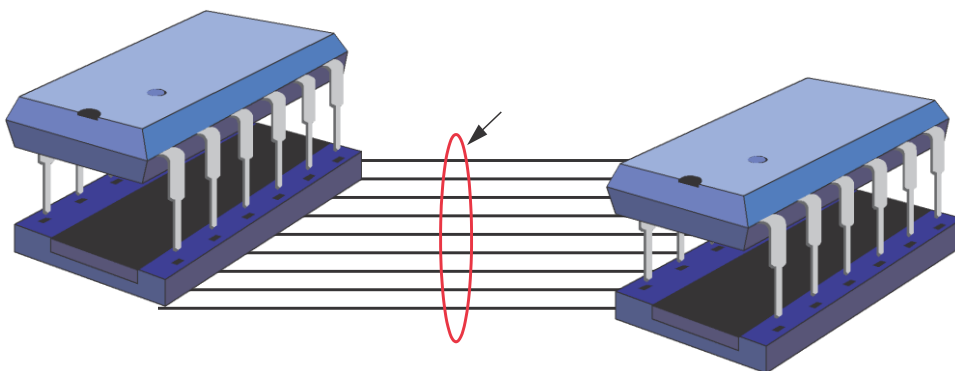
A-1) Transmission parallèle

La transmission parallèle est caractérisée par un transfert simultané de tous les bits d'un même mot. Elle nécessite autant de conducteurs qu'il y a de bits à transmettre et un conducteur commun (liaison asymétrique) ou autant de paires de fils si la masse n'est pas commune (liaison symétrique).

La transmission parallèle est très performante en termes de débit. Elle est utilisée pour des liaisons entre un ordinateur, ses périphériques et ses unités de calcul esclaves.

La transmission parallèle pose de nombreuses difficultés dont les principales sont le rayonnement des conducteurs l'un sur l'autre (diaphonie⁵) et la différence de vitesse de propagation entre les différents conducteurs (*Delay Skew*) qui nécessitent la réalisation d'une électronique coûteuse.

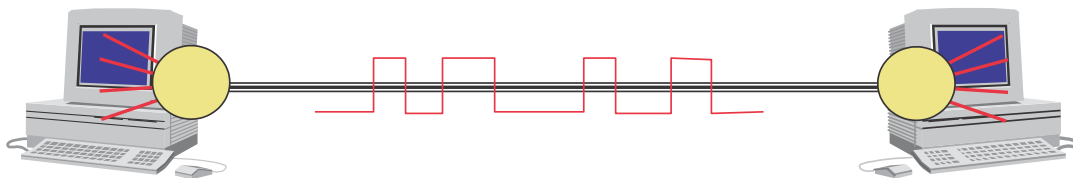
Un coût élevé (nombre de conducteurs) et une distance franchissable limitée par la désynchronisation du train de bits (*Delay Skew*) réservent la transmission parallèle aux liaisons de processeur à processeur ou d'hôte à hôte (ordinateur central). Des techniques apparentées sont mises en œuvre dans les réseaux locaux.



A-2) Transmission Série

En transmission série, tous les bits d'un mot ou d'un message sont transmis successivement sur une même ligne.

Dans les calculateurs, les données (bits) sont traitées en parallèle (bus). La transmission série nécessite une interface de conversion pour sérialiser les bits en émission (conversion parallèle/série) et les désérialiser en réception (conversion série/parallèle). La transmission série n'utilise, pour la transmission des données, que deux conducteurs. D'un coût moins élevé, elle est adaptée aux transmissions sur des distances importantes.



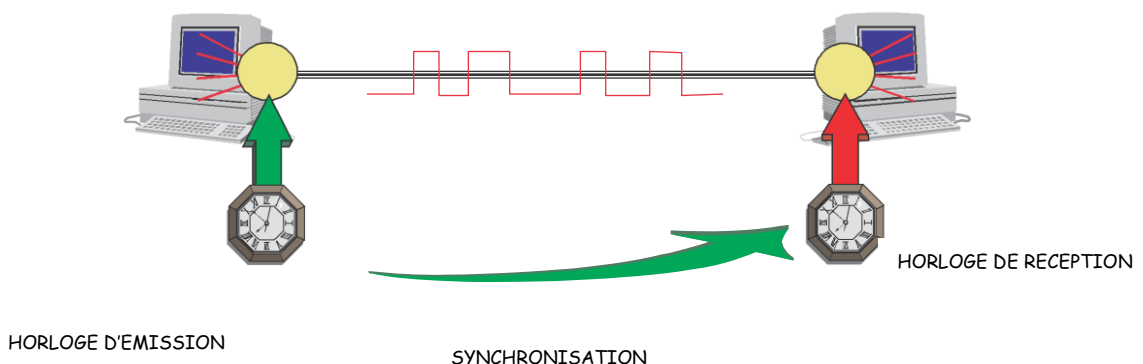
B) Transmission asynchrone, transmission synchrone

Les bits sont émis sur la ligne à une certaine cadence. Cette cadence est définie par une horloge dite horloge émission. Pour décoder correctement la suite de bits reçue, le récepteur doit examiner ce qui lui arrive à une cadence identique à celle de l'émission des bits sur le support. Les horloges récepteurs et émetteur doivent «battre» en harmonie.

Il ne suffit pas que les horloges battent au même rythme, encore faut-il que les instants d'analyse des niveaux électriques de la ligne soient les mêmes pour

les deux éléments, ils sont dits en phase. L'opération qui consiste à asservir l'horloge de réception sur celle d'émission s'appelle la synchronisation. Selon le mode désynchronisation de l'horloge du récepteur sur celle de l'émetteur, on distingue deux types de transmission: les transmissions asynchrones et les transmissions synchrones.

Dans les transmissions asynchrones les horloges sont indépendantes; au contraire, dans les transmissions synchrones on maintient en permanence une relation de phase stricte entre les horloges émission et réception.

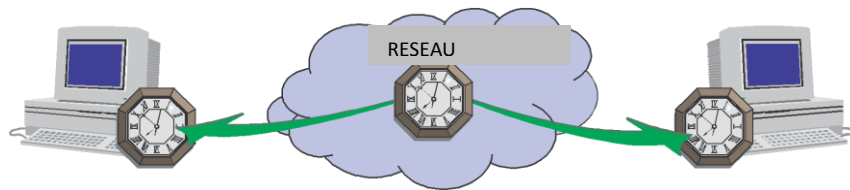


B-1) Notion d'horloge

La synchronisation des différentes horloges mises en œuvre dans les systèmes de transmission est l'une des préoccupations principales des concepteurs de systèmes de transmission. Les dérives d'horloge et, par conséquent, les pertes de synchronisation sont, aujourd'hui, les principales causes des pertes de données et des erreurs de transmission dans les réseaux.

Les bits sont émis au rythme de l'horloge locale de l'émetteur que nous supposons stable. L'horloge du récepteur est supposée fonctionner à la même cadence ou fréquence (nombre d'instants significatifs par seconde identique). Cependant, rien ne permet de garantir sa stabilité. La fréquence varie, on dit que l'horloge dérive. En admettant que lors de la réception du premier bit,

l'horloge du récepteur soit parfaitement calée sur l'horloge d'émission (synchronisée), la dérive de l'oscillateur local du récepteur fait que quelques bits plus tard, l'instant significatif de lecture est sur le bit suivant ou précédent selon le sens de la dérive. En admettant (hypothèses simplificatrice), que l'instant d'interprétation du signal reçu corresponde au front descendant de l'horloge de réception, la dérive illustrée figure 3.11 (dérive positive) montre que, du fait de cette dernière, le cinquième bit est omis. Une erreur de transmission est apparue.



B-2) Transmission Asynchrone

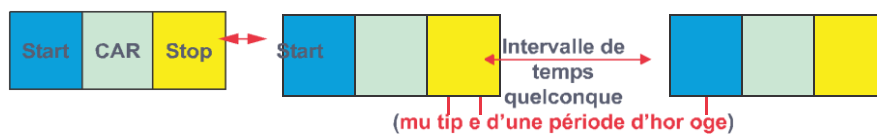
En transmission asynchrone les caractères sont émis de façon irrégulière comme par exemple des caractères tapés sur un clavier. L'intervalle de temps entre deux caractères est aléatoire, le début d'un message peut survenir à n'importe quel moment. Il n'y a synchronisation entre l'émetteur et le récepteur que pendant la transmission de chaque caractère, les bits composant les caractères sont transmis de manière régulière. Mais il faut reconnaître le début et la fin de ces caractères, pour permettre la synchronisation-bit, ce qui est réalisé en ajoutant un bit au début (start-bit) et un ou deux bits à la fin du caractère (stop-bit). On peut ajouter aussi un bit de parité avant les stop-bits. Ce mode de transmission est relativement simple et peu coûteux, mais la redondance due aux bits ajoutés ne permet pas d'atteindre une grande

capacité de transmission, et son utilisation est limitée aux terminaux lents, comme un clavier ou une petite imprimante.

Le bit de Start et celui ou ceux de stop servent de délimiteur de caractères. Les transmissions asynchrones s'effectuent selon un ensemble de règles régissant les échanges (protocole). On distingue deux types de protocoles asynchrones (figure 3.15):

- Le mode caractères: la transmission a lieu caractère par caractère. L'intervalle de temps qui sépare chaque caractère peut être quelconque (multiple de la fréquence d'horloge).
- Le mode blocs: les caractères sont rassemblés en blocs. L'intervalle de temps entre l'émission de 2 blocs successifs peut être quelconque (multiple de la fréquence d'horloge).

Asynchrone en mode caractères



Asynchrone en mode blocs



Les principaux protocoles asynchrones sont:

–**XON-XOFF**, protocole orienté caractères, le terminal réactive la ligne quand il est prêt à émettre, il la désactive quand il n'a plus de données disponibles;

–**X-Modem**, protocole orienté blocs, les caractères sont regroupés en blocs. Ce protocole du domaine public met en œuvre des techniques de détection

être prise sur erreur;

–**Y Modem**, protocole orienté blocs, les blocs de données sont suivis de code de détection d'erreur. Aucune reprise sur erreur n'est assurée;

–**Z-Modem**, protocole orienté blocs, il met en œuvre des mécanismes de détection et de reprise automatique sur erreur;

–**SLIP** (*Serial Line Internet Protocol*), protocole orienté blocs. Très simple, SLIP n'effectue que la délimitation des blocs;

–**PPP** (*Point to Point Protocol*) protocole orienté blocs, PPP effectue la délimitation des blocs et la détection d'erreur.

B-3) Transmission Synchrone

En transmission synchrone, la synchronisation des horloges émission et réception est maintenue durant toute la transmission par un signal particulier : le signal de synchronisation. Il est alors possible de transmettre des blocs de taille importante. Cependant, entre chaque bloc transmis, l'horloge réception n'est plus pilotée et dérive. Chaque bloc transmis est par conséquent précédé d'une séquence de synchronisation qui servira aussi à délimiter le début et la fin de bloc.

Synchronisation 8bits	Commande 8bits	Blocs de n caractères de données	Contrôle 8bits
--------------------------	-------------------	----------------------------------	-------------------

À la réception, le récepteur doit être capable de se positionner correctement pour la lecture des bits. Cette opération de synchronisation des horloges est réalisée à l'aide d'une séquence de bits contenant un grand nombre de transitions (synchronisation bit). Puis, il doit identifier les différents caractères transmis (alignement de la lecture sur des frontières de mots ou

synchronisation caractère).

Dans la procédure **BSC** (*Binary Synchronous Communication*), le caractère utilisé pour ces fonctions est le caractère ASCII SYN «0010110». En réception, la lecture du flot de bits arrivant s'effectue dans un registre à décalage contenant autant de bits que le caractère à lire en comporte. Chaque bit qui arrive est introduit dans le registre en poussant le premier bit entré; enfin, on examine le mot contenu dans le registre pour y rechercher le caractère SYN. Lorsqu'une station reconnaît ce caractère, elle positionne les frontières de caractère en se basant sur le caractère reconnu.

Les principaux protocoles synchrones sont:

- BSC**, *Binary Synchronous Communication* (IBM);
- SDLC**, *Synchronous Data Link Control*(IBM);
- HDLC**, *High Level Data Link Control* (ISO);
- PPP**, *Protocol Point to Point*, ce dernier est aussi un protocole asynchrone (IETF).

3-2) Principe d'une liaison de données

Une transmission de données met en œuvre des calculateurs d'extrémité et des éléments d'interconnexion dont les appellations et fonctions sont codifiées:

On distingue:

- Les équipements terminaux (*End System*) ou **ETTD**, Équipement Terminal de Traitement de Données, appelés aussi **DTE** (*Data Terminal Equipment*) représentant les calculateurs d'extrémité. Ces calculateurs sont dotés de circuits particuliers pour contrôler les communications. L'ETTD réalise la fonction de contrôle du dialogue.

- Des équipements d'adaptation ou **ETCD**, Équipement Terminal de Circuit de Données, ou **DCE** (*Data Communication Equipment*) réalisent l'adaptation entre les calculateurs d'extrémité et le support de transmission. Cet élément remplit essentiellement des fonctions électroniques, il assure un meilleur transport sur la ligne de transmission. Il modifie la nature du signal, mais pas sa signification.
- La jonction constitue l'interface entre ETTD (DTE) et ETCD (DCE), elle permet à l'ETTD de gérer l'ETCD pour assurer le déroulement des communications (établissement du circuit, initialisation de la transmission, échange de données et libération du circuit).
- Le support ou ligne de transmission est un élément essentiel de la liaison. Les possibilités de transmission (débit, taux d'erreur...) dépendent essentiellement des caractéristiques physiques et de l'environnement de celui-ci.

Les deux chapitres suivants sont consacrés à l'étude de ces différents éléments. Après l'étude des supports et de leur influence sur la transmission, on examinera comment est réalisée l'adaptation du signal à ces supports. Ce dernier point nous conduira à distinguer deux modes physiques de transmission: la transmission dite en bande de base (*Base band Transmission*) et la transmission par transposition de fréquence ou large bande (*Broadband Transmission*).

4) Caractéristique d'une voie de transmission

L'infrastructure d'un réseau, la qualité de service offerte, les solutions logicielles à mettre en œuvre, dépendent largement des supports de transmission utilisés. Les supports de transmission exploitent les propriétés de conductibilités des métaux (paires torsades, câble coaxial) ou celles des ondes électromagnétiques (faisceau hertzien, fibre optique). Dans cette partie,

nous allons passer en revue quelques caractéristiques essentiels des supports de transmission sachant que les possibilités de transmission (débit, taux d'erreurs, distance franchissable,.....) dépendent essentiellement des caractéristiques et de l'environnement de celui-ci.

Bon à savoir

Débit binaire : la quantité d'informations transportées en nombre de bits par unité de temps, exprimée en **bits/s**

D = 1 / T bit ; T = temps pris pour transmettre un élément binaire.

Temps de propagation : Tp temps nécessaire pour que le signal parcoure le support d'un pont à un autre de la liaison. Il dépend de plusieurs paramètres

+ Nature du support

+ La distance

+ La fréquence du signal

➤ Câble à paire torsadées (réseaux téléphoniques)

Tp = 4µs/km

➤ Câble coaxial (réseau local)

10µs < Tp < 40µs/km

➤ Satellite

Tp = 270ms

Temps de transmission : temps nécessaire pour que le message soit envoyé (totalement) sur la ligne. Il dépend du débit du canal.

$$T_t = \frac{\text{nombre de bits du message}}{\text{capacité du canal}}$$

Temps de transfert Tr : temps nécessaire pour que le message soit émis à travers le réseau soit reçu complètement par l'équipement terminal récepteur

$$T_r = T_p + T_t$$

4.1 Affaiblissement

Un canal de transmission atténue (affaiblit) l'amplitude du signal qui le traverse. Le phénomène d'atténuation correspond à une perte d'énergie du signal pendant sa propagation sur le canal, et s'accroît avec la longueur de celui-ci. La quantité d'énergie perdue dépend très étroitement de la fréquence du signal et de la bande passante du système.

On mesure l'atténuation par le rapport P_e/P_s où P_s est la puissance du signal à la sortie du canal et P_e la puissance du signal à l'entrée du canal. Il est courant d'exprimer l'atténuation en décibels (dB) sous la forme $10 \log P_s/P_e$ (elle est aussi exprimée en décibels par kilomètre).

Remarque :

Dans la plupart des cas, le taux d'atténuation d'un canal est connu et il peut être possible, en associant des amplificateurs correcteurs de compenser l'atténuation dès que celui-ci atteint une valeur trop grande.

4.2 Déphasage

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

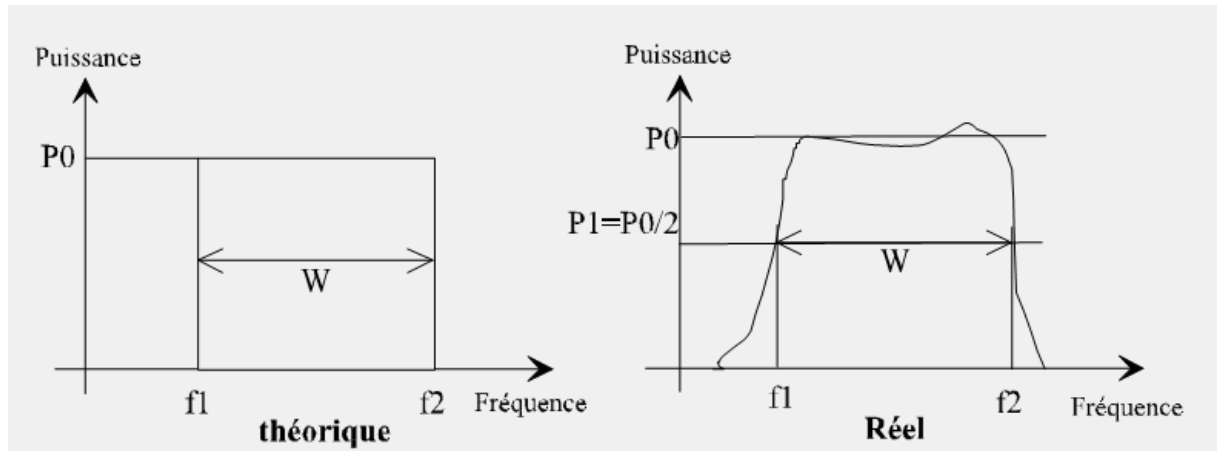
4.3 Bande passante

La largeur de la bande passante est la caractéristique essentielle d'un support de transmission, qui se comporte généralement comme un filtre qui ne laisse donc passer qu'une bande limitée de fréquence appelée bande passante. Toute fréquence en dehors de cette bande est fortement affaiblie.

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

La réponse spectrale d'un circuit parfait indique une atténuation totale de toutes les fréquences extérieures à la bande. Dans la pratique, la réponse n'est pas aussi franche, et on définit en général la bande passante (encore appelé largeur de bande du circuit par :

$$W = f_2 - f_1$$



Ces 2 fréquences f_1 et f_2 , limitant la bande passante, correspondent à une puissance transmise $P_1 = P_0/2$ avec P_0 représentant la puissance dans la bande. Cette largeur de bande est dite à 3 dB (décibel) : $10 \log_{10} P_0/P_1 = 10 \log_{10} 2 = 3 \text{ dB}$

La bande passante est très importante pour un circuit de données puisqu'elle détermine directement sa capacité de transmission.

Il est important de noter que lorsqu'on parle de bande passante W (en Hz), on indique une longueur d'intervalle sans préciser les bornes de cet intervalle.

4.4 Bruit

Le bruit est un signal perturbateur provenant du canal lui même ou de son environnement externe. Il est de comportement aléatoire et vient s'ajouter au signal véhiculant les informations et provoquer ainsi les erreurs de transmission (on va voir dans la dernière partie de ce chapitre comment protéger l'information contre ce bruit).

On distingue généralement deux types de bruit : le bruit blanc et le bruit

impulsif.

A. bruit blanc

Le bruit blanc est un bruit dont la puissance est uniformément répartie dans toute la bande passante du canal, il s'agit essentiellement d'un bruit provoqué par l'agitation thermique des électrons dans le conducteur électrique.

B. bruit impulsif

Comme son nom l'indique ce type de bruit est à caractère impulsif, il se présente sous forme de tensions perturbatrices de valeur élevée mais de durée brève. Ces bruits sont très gênants pour la transmission de données, car le signal perturbateur modifie la forme du signal reçu à des instants quelconques (aléatoires) telles qu'il se produit des erreurs à la réception. Les sources de bruit impulsif sont nombreuses. On peut citer notamment :

- la diaphonie (crosstalk) est d'une manière générale, une influence mutuelle indésirable entre signaux utiles transmis sur des conducteurs voisins l'un de l'autre dans l'espace, par exemple dans un même câble. Cela résulte principalement d'un couplage inductif dû au champ magnétique de l'une des lignes sur l'autre et réciproquement
- Les brusques variations de courant sur les lignes d'alimentations électriques.
- Phénomènes atmosphériques, solaires, ou autres.

Notion de rapport signal sur bruit la quantité de bruit présente sur un canal de transmission, est exprimé par le rapport de la puissance du signal transmis sur la puissance de bruit et prend le nom de rapport signal sur bruit, nous écrivons ce rapport S/B et on a coutume de l'exprimer sous la forme $S/B \log 10$ en décibels (dB). Ce rapport varie dans le temps, puisque le bruit n'est pas uniforme, toutefois on peut en estimer une valeur moyenne sur un intervalle de temps. Le rapport signal sur bruit est aussi une caractéristique d'un canal de transmission.

4-5 Notion de rapport signal sur bruit

La quantité de bruit présente sur un canal de transmission, est exprimée par le rapport de la puissance du signal transmis sur la puissance de bruit et prend le nom de rapport signal sur bruit, nous écrivons ce rapport B/S et on a coutume de l'exprimer sous la forme $\log_{10} (B/S)$ en décibels (dB). Ce rapport varie dans le temps, puisque le bruit n'est pas uniforme, toutefois on peut en estimer une valeur moyenne sur un intervalle de temps. Le rapport signal sur bruit est aussi une caractéristique d'un canal de transmission.

4-6 Capacité d'une voie

Dès 1924, H. Nyquist prouvait de façon expérimentale que la capacité d'un circuit de donnée est limitée par sa bande passante : $C = 2 W$

C'est C. Shannon qui en 1949 a prouvé que la capacité d'un canal de transmission n'était pas seulement limitée par la bande passante mais aussi par le rapport Signal/Bruit :

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{B} \right) \text{ en Bits/s}$$

5 TRANSMISSION EN BANDE DE BASE

6) TRANSMISSION PAR MODULATION

La transmission des symboles ne peut pas s'effectuer directement sous forme numérique. Dans le cas de symbole binaire ($M=2$) par exemple il faut donner un sens physique aux « 0 » et « 1 » logique, il faut opérer dans un sens une conversion analogique-numérique en associant à chaque symbole S_m (ou bit b_n selon le cas) un signal électrique analogique. Cette opération s'appelle MODULATION.

Différentes raisons rendent impossible la transmission en bande de base à des vitesses élevées et sur de grandes distances :

- pas de propagation pour les fréquences en dehors de la bande passante du support ;
- pertes et affaiblissements sur la ligne ;
- impossibilités de différencier plusieurs communications sur un même support ;
- bruit, diaphonie...

Pour les transmissions longues distances utilisant comme support le réseau téléphonique commuté (RTC) dont la bande passante est comprise entre 300 Hz et 3400 Hz, les débits sont limités à environ 20 kbit/s.

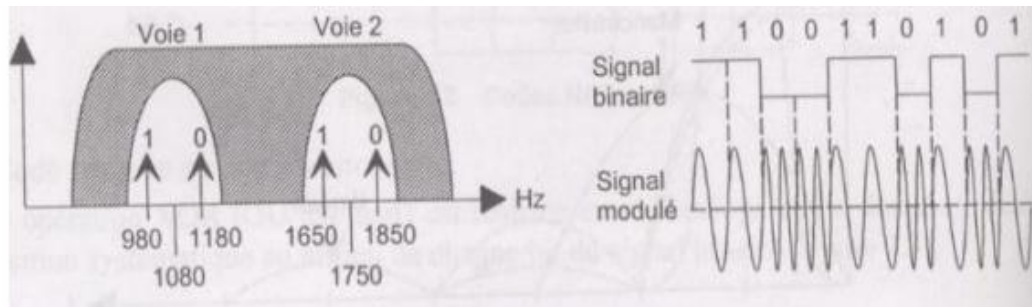
Toutes ces raisons imposent la transformation des données numériques à transmettre en un signal analogique modulant (rendre avec des inflexions variées, changements variés) une onde porteuse, signal adapté au support de transmission. Les opérations de modulation en émission et de démodulation en réception sont réalisées par l'ETCD couramment appelé modem (modulateur-démodulateur).

Les trois principaux types de modulation utilisés dans les transmissions sont les modulations par saut de fréquence, par saut de phase et par saut d'amplitude. Les modems correspondant à ces différents types et aux vitesses de transmission associées font l'objet de normalisations (recommandations UIT-T V21, V22...).

A) Modulation par saut de fréquence (FSK : Frequency Shift Keying)

Une porteuse sinusoïdale dont la fréquence F_0 est modulée par deux valeurs opposées de fréquence ($+f_1$ et $-f_1$) permet la représentation des deux niveaux logiques. Pour permettre une liaison full duplex sur un même support physique, on

utilise la technique du partage de bande : une voie correspondant à une bande de fréquence (F_0-f_1 ; F_0+f_1) servira à l'émission, une autre voie correspondant à une autre bande ($F_0'-f_2$; $F_0'+f_2$) servira à la réception.



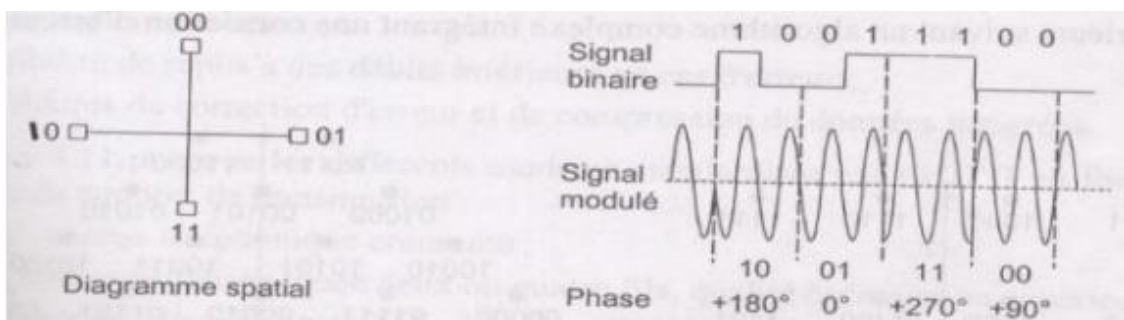
B) Modulation par saut de phase (PSK : Phase Shift Keying)

La modulation par saut de phase ou PSK associe à un code binaire une valeur de la phase Φ de la porteuse sinusoïdale $V \sin(\omega t + \Phi)$. En utilisant des codes binaires de 2, 3 bits ou plus, on peut ainsi augmenter la vitesse de transmission sans augmenter la fréquence de modulation.

La modulation PSK permet ainsi d'obtenir des vitesses de transmission plus élevées que la modulation FSK avec les mêmes limitations en bande passante du support de transmission.

La figure ci-dessous décrit la modulation PSK utilisée dans un modem V22. Chaque état de phase est codé sur 2 bits. La fréquence de la porteuse est de 1 200 Hz ou 2 400 Hz suivant la voie utilisée.

De plus, dans ce type de modulation, le saut de phase peut ne pas avoir une valeur constante et dépendre de l'état de phase précédent. Il s'agit alors d'une modulation différentielle (DPSK– Differential Phase Shift Keying)

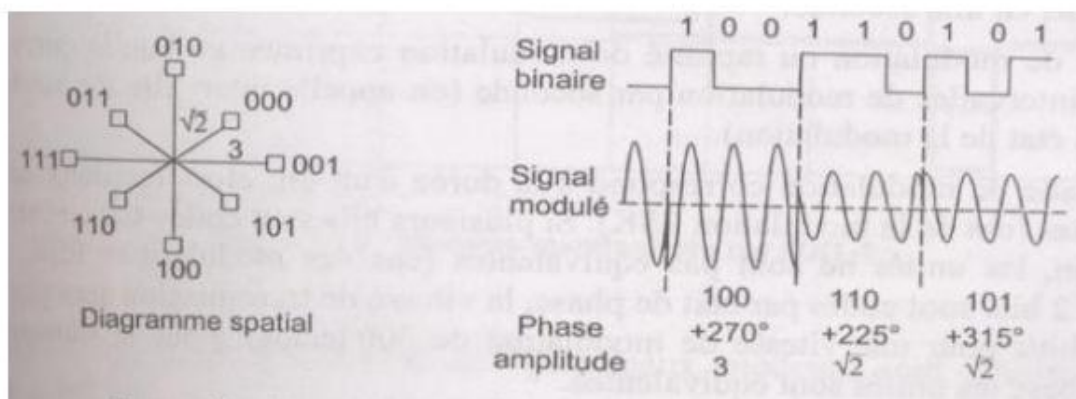


Pour obtenir des vitesses de transmission encore plus élevées dans une modulation de type PSK, il est nécessaire de multiplier le nombre d'états de phase (couramment 4, 8, 16 états ou plus). Les différences de phase entre états vont être réduites (les points correspondants du diagramme spatial vont être d'autant rapprochés) ce qui augmentera l'influence relative du bruit sur la transmission.

En combinant une modulation de phase à une modulation d'amplitude, on obtient une meilleure répartition des points sur le diagramme spatial et donc une meilleure immunité au bruit.

La figure ci-dessous décrit la modulation mise en œuvre dans un modem V29 utilisé à 7 200 bit/s. Dans cet exemple, chacun des huit états de phase sont codés sur 3 bits ; deux valeurs d'amplitude (valeurs relatives

3 et $\sqrt{2}$) sont utilisées. La fréquence de la porteuse est de 1 700 Hz.

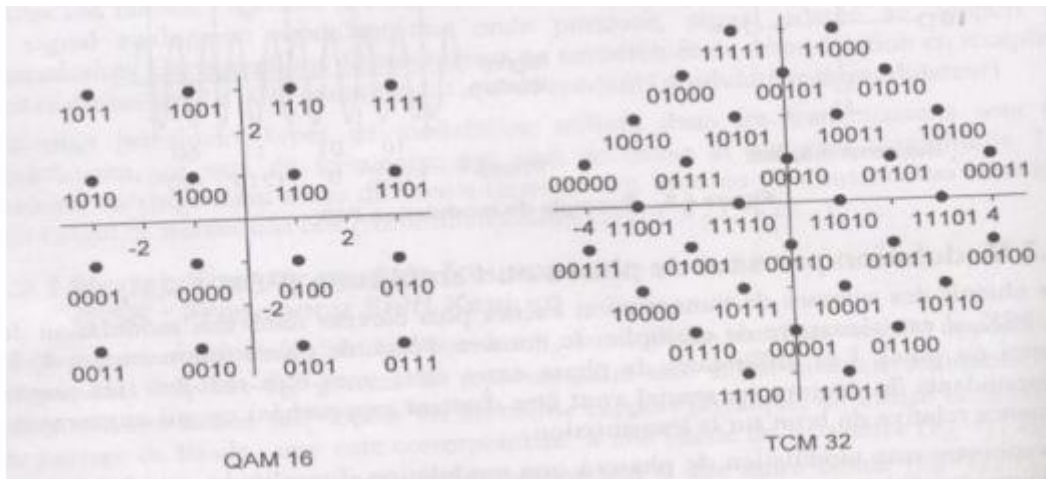


C) Modulation en amplitude

La modulation en amplitude avec porteuse en quadrature (grandeurs sinusoïdales de même période, entre lesquelles existe une différence de phase d'un quart de période) est un cas particulier. Ce type de modulation, encore appelé QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ou MAQ (Modulation d'amplitude en quadrature), permet de coder jusqu'à 4 bits par état de phase mais est fortement dépendant de la qualité des lignes utilisées.

La figure ci-dessous décrit une modulation QAM 16. Pour chacun des groupes de 4 bits, les deux bits de poids faibles sont codés de façon différentielle en fonction de la combinaison précédente.

Les modems rapides utilisent une autre variante, la modulation codée en treillis TCM (TrellisCoded Modulation). Chaque groupe de bit est également codé en fonction des états antérieurs suivant un algorithme complexe intégrant une correction d'erreurs.



D) Modulation hybride

Il est possible de combiner les différents types de modulation que nous venons de présenter à fin de transmettre un nombre important de bits par secondes. Il est ainsi fréquent d'utiliser à la fois une modulation d'amplitude et une modulation de phase

Remarque

Une autre fonction que le MODEM peut faire est d'adapter le signal au canal de transmission en décalant la largeur de bande du signal de manière à la faire coïncider avec la bande passante (éventuellement avec une sous bande) du canal, c'est pour cette raison la que la modulation est appelée aussi transmission par transposition de fréquence. Ce décalage de largeur de bande du signal peut être obtenu par les techniques de modulation que nous venons de voir.

RESUME

Les données numériques peuvent être transmises à l'aide de porteuses analogiques en modulant l'une des trois caractéristiques suivantes :

- Amplitude
- Fréquence
- Phase

Modulation d'Amplitude ASK

Elle code les données numériques en modulant l'amplitude d'une porteuse entre deux niveaux ou plus, pas de fiabilité sur les longues distances, déformation par des interférences, des atténuations et des amplifications.

Modulation de Fréquence – FSK

Elle code les données numériques en modulant la fréquence d'une porteuse entre deux valeurs ou plus, plus fiables sur les longues distances, peu utilisées sur les lignes téléphoniques au-delà de 1200 Bauds.

Modulation de Phase

Elle code les signaux numériques en décalant la phase de la porteuse d'une certaine valeur, très fiable et résistante aux erreurs, elle contient des changements d'états qui peuvent être utilisés pour synchroniser les horloges de l'émetteur et du récepteur.

Codage de données numériques en signaux numériques

La plupart des signaux transmettent des données numériques à l'aide de signaux numériques. La mesure des signaux est facilitée par des horloges qui permettent à l'émetteur et au récepteur de se mettre d'accord sur le début d'un bit.

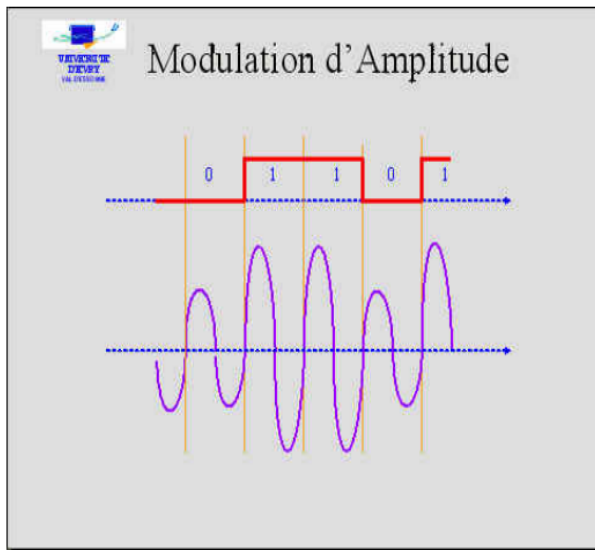
Dans tous les systèmes électroniques, le 0 représente un niveau de référence pour les signaux, une tension nulle est considérée comme le potentiel électrique de la terre, généralement mesurée à l'aide d'un bon conducteur enfoui dans la terre.

Grandeurs physiques, Modulation du signal

- Modulation d'Amplitude

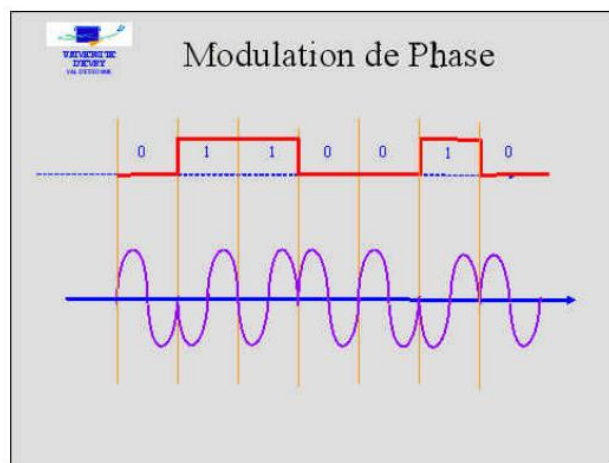
- Modulation de Phase
- Modulation de Fréquence
- Modulation de Phase à 4 moments

REPRESENTATION GRAPHIQUE



Modulation d'Amplitude

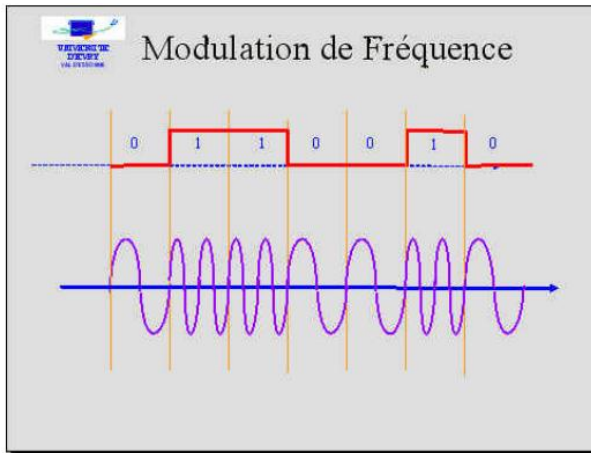
La distinction entre 0 et 1 est obtenue en faisant varier l'amplitude du signal.



Modulation de Phase

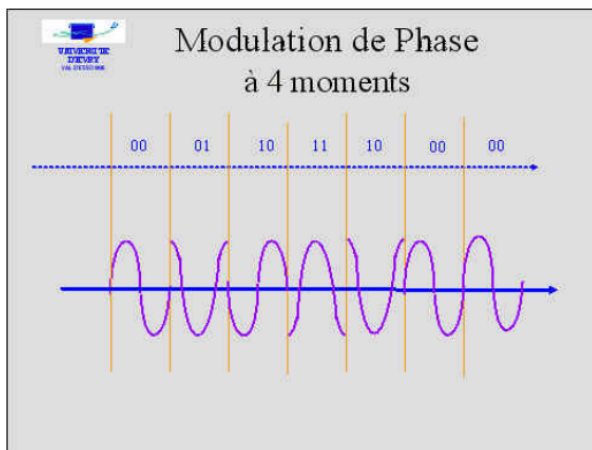
La distinction entre 0 et 1 est obtenue par un signal qui commence à des emplacements différents de la sinusoïde (Phase).

Les 0 et 1 sont représentés par des phases de 0° et 180°.



Modulation de Fréquence

L'émetteur a la possibilité de changer la fréquence d'envoi des signaux pour distinguer entre 0 et 1.



Limité à deux états

Dans les exemples précédents la grandeur physique utilisée ne représente que deux états possibles.

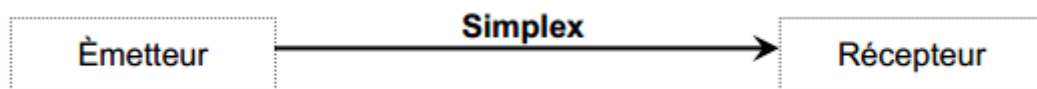
Si on émet et détecte à l'arrivée plus de deux états de la même grandeur, on peut donner à chaque état une signification permettant de coder 2 ou plusieurs bits.

7) SENS DE TRANSMISSION

L'exploitation d'un canal de transmission peut s'effectuer suivant différents modes qui sont

A) Mode simplex

Mode simplex : dans ce mode, une seule extrémité émet et l'autre reçoit (transmission unidirectionnelle). Ce type de transmission est utilisé dans la diffusion radio et TV par exemple. Ce mode présente l'inconvénient de ne pas savoir si tout a été reçu par le destinataire sans erreur.

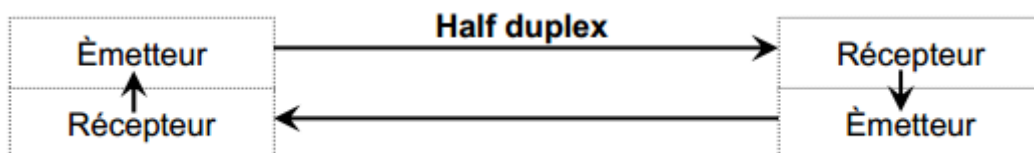


B) Mode semi duplex (half duplex)

Mode semi duplex (half duplex) : ce mode, appelé aussi bidirectionnel à l'alternat, permet une transmission dans les deux sens, mais alternativement.

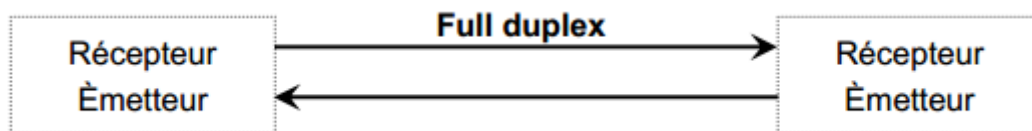
Chacune des deux extrémités reçoit et émet à tour de rôle, jamais simultanément. L'exemple le plus typique est la conversation par «talkie/walkie », l'utilisateur est à l'écoute et il doit couper l'écoute s'il désire parler. Par rapport aux transmissions simplex, il est nécessaire de disposer de transmetteur (émetteur) et récepteur aux deux extrémités: ce mode, appelé aussi bidirectionnel à l'alternat, permet une transmission dans les deux sens, mais alternativement.

Chacune des deux extrémités reçoit et émet à tour de rôle, jamais simultanément. L'exemple le plus typique est la conversation par «talkie/walkie », l'utilisateur est à l'écoute et il doit couper l'écoute s'il désire parler. Par rapport aux transmissions simplex, il est nécessaire de disposer de transmetteur (émetteur) et récepteur aux deux extrémités.



C) Mode duplex (full duplex)

Mode duplex (full duplex) : ce mode, appelé aussi bidirectionnel simultanés permet une transmission dans les deux sens en même temps, comme si deux interlocuteurs parlaient simultanément, en supposant que chacun entend et parle en même temps. Comme exemple, citons le téléphone. Cette technique nécessite l'utilisation de deux voies de transmission, une pour l'émission, l'autre pour la réception. Notons toutefois qu'une liaison full duplex peut être multiplexé.



8) SUPPORT DE TRANSMISSION

Les supports de transmission peuvent être filaires ou non filaires. Les supports filaires englobent la paire métallique, le câble coaxial et la fibre optique.

L'installation de supports filaires et leur maintenance coûte cher (creuser des tranchées en zone urbaine ou montagneuse, réparer les centaines de câbles cassés chaque année à cause chantiers ou par des chalutiers par exemple...). Après leur installation, la maintenance des fils coûte cher.

L'installation des antennes et des satellites coûte cher aussi. Les désagréments des chantiers du filaire et du non filaires ne sont pas les mêmes. Les deux types de supports sont parfois complémentaires, parfois concurrents. Le débat 'câble ou sans fil n'est pas encore tranché aujourd'hui.

A) Supports filaires

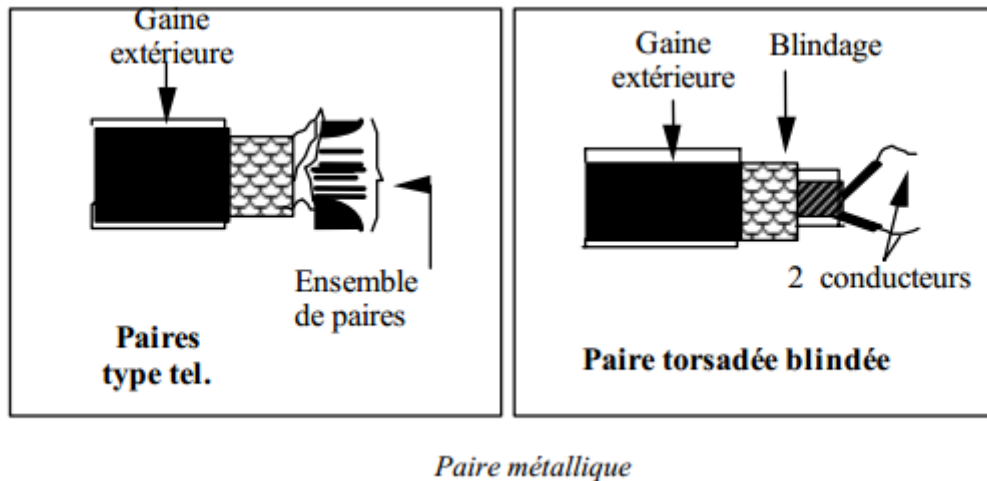
1. Paire torsadée

On distingue :

- Les paires torsadées non blindées (Unshielded Twisted Pairs) : les moins chères et les plus faciles à installer, mais les plus sensibles aux bruits. Il existe plusieurs catégorie de paires non torsadées selon la bande de fréquences : Catégorie 3

(jusqu'à 16 MHz), Catégorie 4 (jusqu'à 20 MHz), Catégorie 5 (jusqu'à 100 MHz), Catégories 5E, 6 et 7.

- Les paires torsadées blindées (Shielded Twisted Pairs) : un peu plus complexes que les premières, mais plus résistantes aux bruits.



a) Avantages :

- C'est le support le plus commun
- Le réseau téléphonique filaire est à base de paire torsadée (essentiellement pour le raccordement des abonnés)
- Très utilisé dans les réseaux locaux pour avoir des débits allant de 10 Mb/s à 100 Mb/s.
- Peu cher et facile à installer

b) Inconvénients :

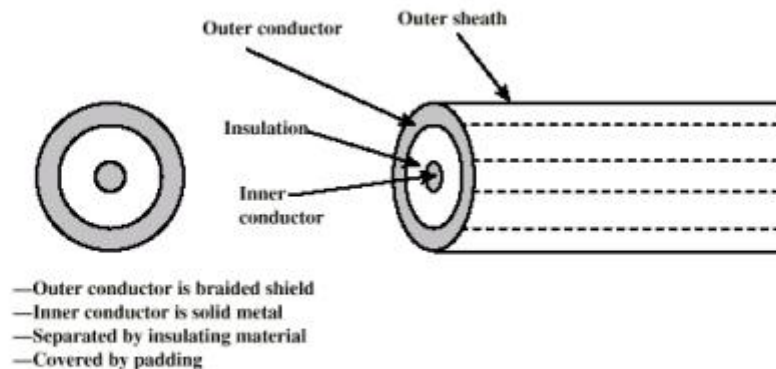
Débits et bande passante faibles comparés aux autres supports + Sensible aux bruits. + Distances limitées.

2. Câble coaxial

Parmi les caractéristiques du câble coaxial, on peut citer :

- C'est le plus versatile des supports.
- Il offre une bande passante pouvant dépasser les 500 MHz.

- Il est utilisé surtout pour la distribution de télévision.
- Un câble coaxial peut transporter jusqu'à 10000 appels téléphoniques simultanés.
- Actuellement, le câble coaxial est de plus en plus remplacé par la fibre optique.
- Il est utilisé aussi pour faire des réseaux locaux.



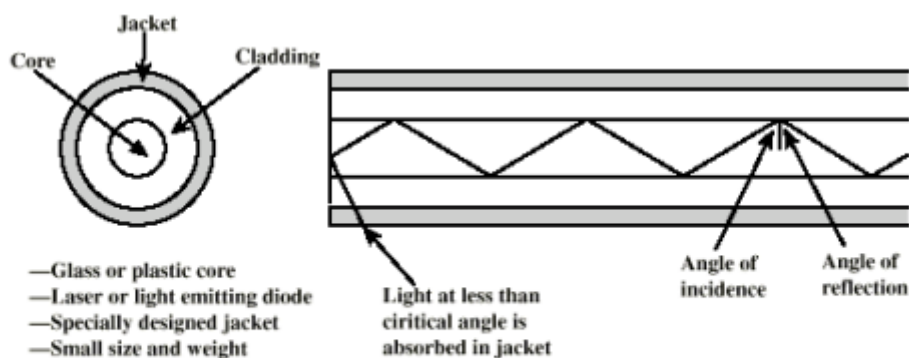
Câble coaxial

3. Fibre optique

Une fibre optique agit comme un guide d'ondes lumineuses ayant des fréquences de 10^{14} à 10^{15} Hz

Il existe deux types de fibres optiques :

- Les "Light Emitting Diode" (LED) : les moins chères, plus résistantes et qui durent longtemps
- Les "Injection Laser Diode" (ILD) : offrent les meilleurs débits, plus chères.



Fibre optique

Parmi les caractéristiques de la fibre optique, on peut citer :

- Très hauts débits pouvant atteindre plusieurs centaines de G b/s ;
- Peu encombrantes en taille et poids ;
- Résistantes aux bruits (très bonne isolation) ;
- Les distances entre répéteurs peuvent atteindre plusieurs dizaines de Km ;
- La fibre optique est surtout utilisée pour les réseaux métropolitains et l'interconnexion de réseaux locaux.

Résumé des caractéristiques des supports filaires

Support	Débit (M b/s)	Résistance aux bruits	Délai de propagation	Distance entre répéteurs	Remarques
Paire tél.	≤100	Faible	50 µs/km	2 km	Très répandue. Connexion facile
Paire torsadée blindée	100	Bonne	5 µs/km	2 km	Connexion facile
Câble coaxial	100 ou plus	Très bonne	4 µs/km	1 à 9 km	Répandue. Connexion facile
Fibre optique	des dizaines de milliers	Excellente	5 µs/km	40 km	Répandue. Connexion difficile

Récapitulatif des caractéristiques de supports filaires

B) Supports non filaires (monde du Wireless)

1. Principes

Il y a quelques années, on parlait très peu des supports non filaires pour l'interconnexion d'équipements informatiques. Les réseaux sans fil étaient réservés à quelques initiés et/ou à quelques applications (on trouvait les réseaux sans fil pour la communication d'urgence, pour la gestion d'entrepôts, gestion de flottes de véhicules...). De nos jours, le mode du sans-fil a tout envahi et probablement la majorité des réseaux de demain seront tous non filaires.

Le non filaire permet de s'affranchir du cordon que constitue le câble de raccordement. Sans fil, l'utilisateur est plus mobile et plus libre dans ses mouvements tout en restant connecté.

Actuellement, les bandes de fréquence en wireless sont utilisées comme suit :

- 2 GHz à 40 GHz : bandes utilisées par les micro-ondes et les liaisons point à point et les satellites.
- 30 MHz à 1 GHz : bandes utilisés pour la radio et liaisons unidirectionnelles
- 3×10^{11} Hz à 2×10^{14} Hz : bandes utilisées par l'infrarouge et les communications locales

Il y a deux manières d'implanter le non filaire : l'infrarouge et les ondes radio. Les moyens physiques de transmission et réception englobent les antennes terrestres et les satellites avec leurs antennes associées.



Exemple de Hub sans fil

2. Antennes

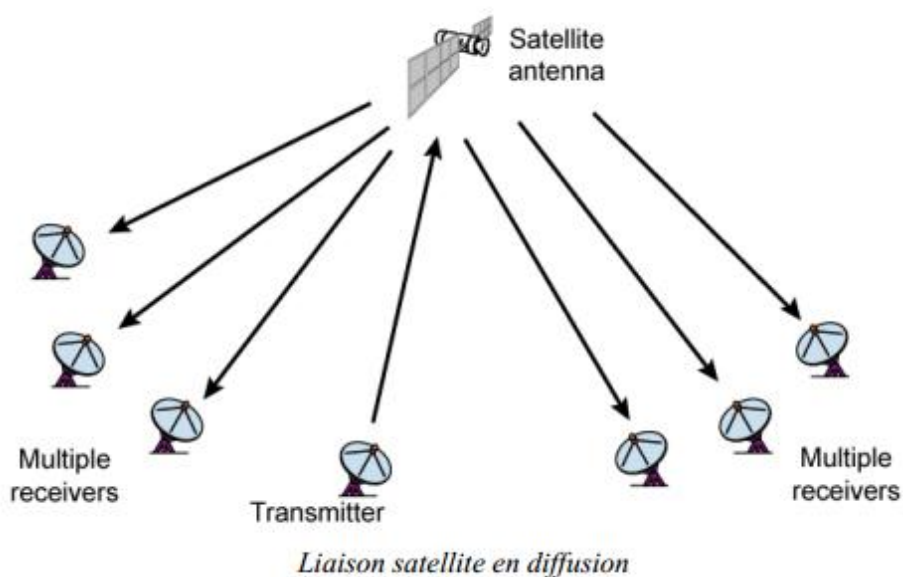
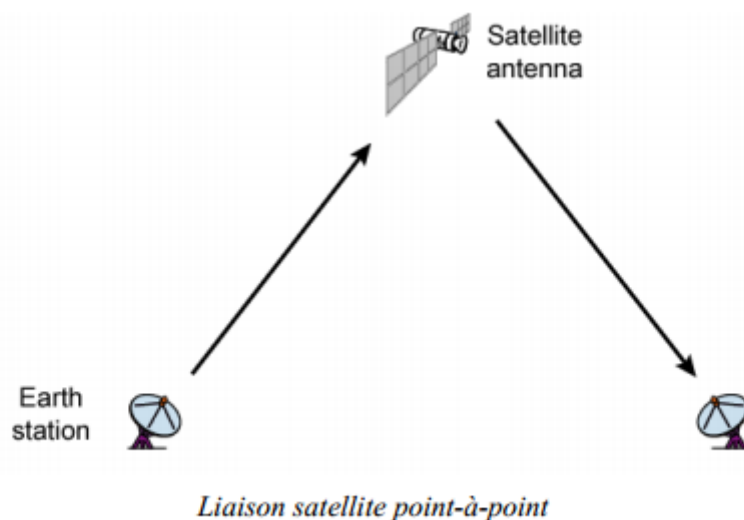
Les communications sans fil utilisent des antennes paraboliques ou non pour la transmission et réception de signaux.

Un émetteur peut diffuser soit dans toutes les directions (cas des satellites et des relais de radio) ou vers un récepteur unique localisé dans une zone bien délimitée.

Selon les systèmes de télécommunications, pour recevoir un signal, le récepteur doit se trouver dans le champ de vision de l'émetteur ou non. Dans le premier cas les communications se font en ligne directe dans l'autre les signaux se propagent sur différents chemins avant d'atteindre le récepteur.

3. Communications par satellite

Les satellites constituent des stations relais de signaux. Un satellite reçoit un signal sur une fréquence, amplifie ce signal et le retransmet sur une autre fréquence. Les satellites utilisés sont souvent géostationnaires (à 35784 Km de la terre). Les satellites sont utilisés surtout pour la télévision et la téléphonie, mais aussi de plus en plus pour les communications de données (applications Internet ou autres).



4. Communications par ondes radio terrestres

Ces communications sont :

- Unidirectionnelles ;
- Utilisées généralement pour la radio et la télévision mais aussi pour la transmission de données ;
- Sujettes aux interférences causées par le relief.
- Les ondes se propagent malgré les obstacles.

5. Communications par ondes infrarouges

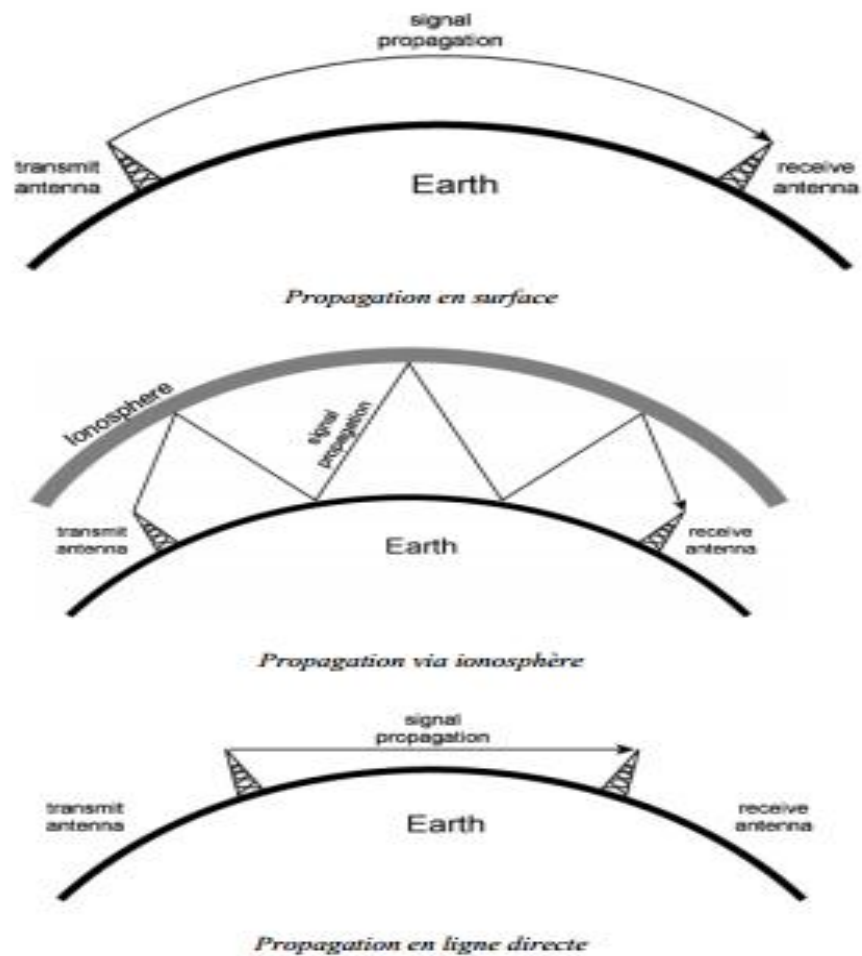
Ces communications sont caractérisées par ce qui suit :

- Elles sont utilisées pour la télécommande et par certains réseaux LAN.
- Emetteur et récepteur doivent être visibles l'un de l'autre.
- Les ondes sont bloquées par les obstacles.
- Les ondes se propagent sur de courtes distances.

6. Modes de propagation

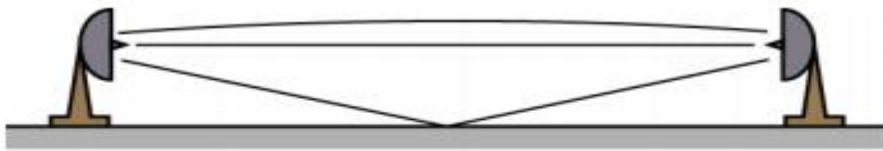
Le mode de propagation des ondes est lié aux débits fournis et à la puissance nécessaire à transmission. Les ondes se propagent selon les trois modes suivants :

- propagation en surface ('ground-wave propagation) utilisant la troposphère (0-10 Km) ;
- propagation au niveau de l'ionosphère (60-800 Km) ;
- propagation en ligne directe.

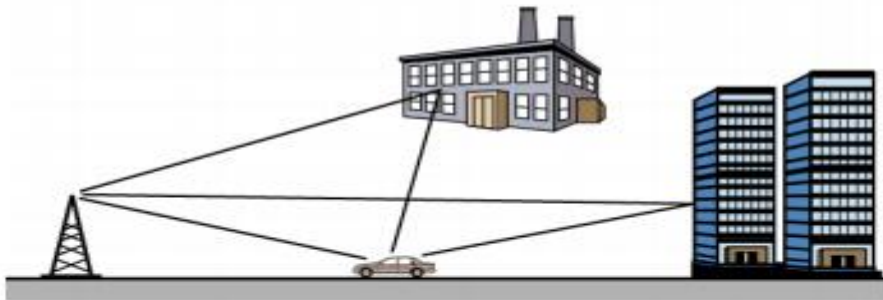


7. Réflexion de signaux

Un signal se propage en suivant éventuellement plusieurs chemins. Lorsqu'un signal est réfléchi par les obstacles qui se trouvent entre l'émetteur et le récepteur, le récepteur peut recevoir plusieurs copies du même signal (ces copies sont légèrement déphasées les unes par rapport aux autres). Les obstacles peuvent aussi conduire à la perte du signal. Les deux figures ci-dessous donnent des exemples de signaux réfléchis :



(a) Microwave line of sight



(b) Mobile radio

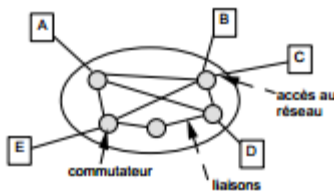
Réflexion de signaux

9) LE MULTIPLEXAGE

10) LA COMMUTATION

Dans le cas des réseaux grande distance, appelés aussi WAN (Wide Area Network), reliant plusieurs centaines de milliers voire millions d'équipements terminaux sur un territoire national, il n'est pas possible de partager un même support de transmission. On utilise un réseau à commutation. Les équipements terminaux sont reliés à des commutateurs. Ces derniers sont les " carrefours " du réseau et ont pour fonction de concentrer, d'éclater et de rediriger les informations. Les commutateurs sont reliés entre eux par des circuits point à point qui constituent des artères de communication.

Un réseau de communication peut ainsi se définir comme un graphe ou un ensemble de nœuds, les commutateurs, et d'arcs, les circuits. Ces circuits sont quelquefois appelés canaux, jonctions, lignes de transmission ou même liaisons selon les cas.



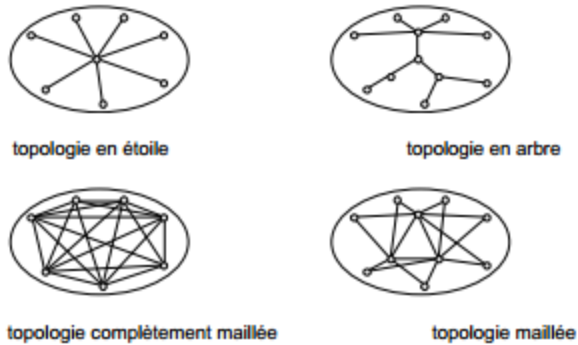
La topologie du réseau définit la façon dont sont reliés les différents commutateurs.

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

La topologie en arbre peut être vue comme une généralisation du cas précédent avec l'introduction d'une hiérarchie : chaque commutateur est relié à un ensemble de commutateurs de niveau inférieur. Dans les topologies en arbre ou en étoile, il n'y a toujours qu'un chemin possible entre deux commutateurs : toute rupture d'une liaison entre deux commutateurs empêche donc le dialogue entre certains équipements terminaux.

Dans une topologie complètement maillée, chaque commutateur est relié à tous les autres. On atteint alors un haut niveau de sécurité au prix d'une augmentation considérable du nombre de liaisons et donc des coûts.

Dans la plupart des réseaux, la solution choisie est un mélange des précédentes : le réseau est hiérarchisé suivant une topologie en arbre avec un certain degré de maillage.



Topologie des réseaux

L'adressage au sein d'un réseau peut être lié à la localisation, c'est-à-dire à l'équipement lui-même ou au commutateur sur lequel est connecté l'équipement. On parle quelquefois d'adresse physique. C'est le cas du réseau téléphonique où les premiers chiffres d'un numéro indiquent le commutateur auquel est relié l'équipement de l'abonné. L'adresse peut être totalement décorrélée de la localisation et on peut parler d'adresse logique. Par analogie, le numéro de sécurité sociale peut être considéré comme l'adresse logique d'un individu : il est unique mais n'est pas lié au lieu de résidence de celui-ci.

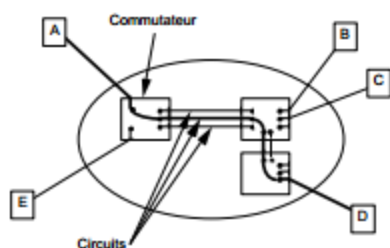
La fonction de routage prend une importance particulière dans un réseau à commutation puisqu'il n'y a pas, en général, de lien direct entre équipements terminaux mais une multitude de chemins possibles mettant en œuvre plusieurs liaisons et plusieurs commutateurs.

Différents types de commutation : la commutation de circuits

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

est un exemple classique de réseau à commutation de circuits. Dans le contexte de la téléphonie, le mot circuit désigne une liaison entre 2 commutateurs.

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



Principe de la commutation de circuits

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

Différents types de commutation : commutation de messages

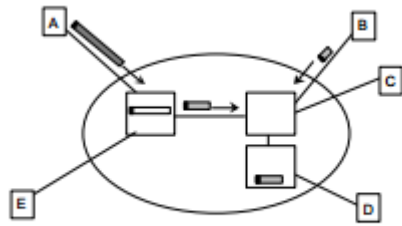
La commutation de messages s'applique aux seuls réseaux numériques. Un message est défini comme une suite de données binaires formant un tout logique pour les équipements terminaux. C'est, par exemple, un fichier complet, un courrier électronique ou une page d'écran.

Lorsqu'un équipement veut transmettre un message, il lui ajoute l'adresse du destinataire et le transmet au commutateur. Celui-ci attend la réception complète du message, le stocke, analyse son adresse et le réémet alors vers le commutateur voisin adéquat. Le message transite ainsi à travers le réseau par réémissions successives entre les commutateurs (on utilise quelquefois le terme anglais *store-and forward*).

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

Dans un tel réseau, chaque commutateur doit être capable de stocker le message en entier. Comme un commutateur supporte simultanément plusieurs dialogues et que la taille d'un message est déterminée par les équipements, la mémoire nécessaire peut être importante. De plus, le délai de transmission à travers le réseau est fonction du nombre de commutateurs traversés et de la taille du message. Il peut donc être assez important. Enfin, pour un taux d'erreur donné par bit transmis, la probabilité d'une erreur sur un message augmente avec la taille du message. La transmission de longs messages dans le réseau est donc très pénalisante.

Le réseau Télex est un réseau à commutation de messages. La commutation de messages n'étant plus l'objet de développements aujourd'hui, elle n'est pas traitée ici.



Principe de la commutation de messages

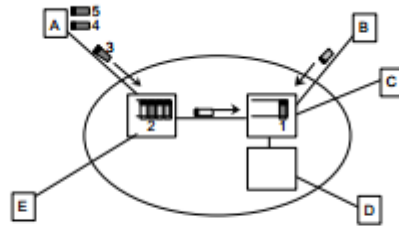
Différents types de commutation : commutation par paquets

Les inconvénients de la commutation de messages sont liés à la taille des messages.

La commutation par paquets consiste à découper les messages en morceaux appelés segments. Ce découpage est la segmentation. Il est fait par l'expéditeur. A chaque segment sont ajoutées des informations permettant d'identifier l'expéditeur et le destinataire : l'ensemble forme un paquet. La taille maximale d'un paquet est fonction du réseau. Les paquets sont acheminés par le réseau comme dans un réseau à commutation de messages jusqu'au destinataire. Celui-ci attend la réception de tous les paquets pour reconstituer le message et le traiter. Cette opération est le réassemblage.

Un paquet ne forme pas un tout logique pour l'équipement terminal. Il n'a de sens que comme " atome d'information " acheminé par le réseau par réémissions successives entre les commutateurs. Sa petite taille permet de réduire le délai global d'acheminement des messages à travers le réseau.

Une liaison entre commutateurs n'est pas monopolisée par un équipement mais supporte la transmission de paquets de multiples utilisateurs. Si le débit de la liaison est supérieur au flux transmis par l'ensemble des utilisateurs, elle peut supporter de multiples dialogues simultanés tout en donnant l'impression à chacun d'être seul sur le réseau. Le flux généré par un utilisateur donné peut augmenter subitement, l'impact sera faible sur le flux global. On a donc un effet de multiplexage statistique.



Le message émis par A est segmenté en 5 paquets, qui sont acheminés un par un par le réseau.

Principe de la commutation par paquets

Comme chaque paquet doit traverser le réseau, il est nécessaire qu'il contienne un en-tête comportant des informations de contrôle. Ces informations sont utilisées par les commutateurs pour un aiguillage correct.

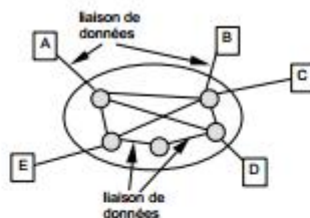
Le format de l'en-tête est défini par l'opérateur du réseau. Chaque paquet reçu par un commutateur est stocké puis son en-tête est analysé

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

De plus, les liaisons entre les commutateurs ne sont pas d'une fiabilité totale. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre des protocoles de liaison de données entre chaque paire d'équipements. Les commutateurs gèrent donc autant de liaisons de données que le nombre d'équipements auxquels ils sont reliés.

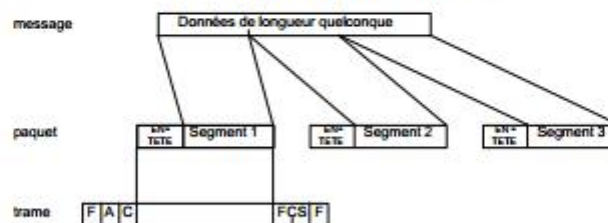
L'approche utilisée pour la structuration des équipements est une approche hiérarchique : pour chaque liaison dans le réseau, une entité de liaison de données s'occupe de fournir un dialogue fiable. La gestion de l'aspect réseau, c'est-à-dire l'aiguillage des paquets, est réalisée par une autre entité, l'entité réseau qui utilise l'entité de liaison de données comme une boîte noire fournissant un service. L'entité réseau est la seule entité à interpréter l'en-tête des paquets. En revanche, l'entité de

liaison de données considère les paquets comme un tout logique à transmettre, c'est-à-dire comme de l'information à placer dans une trame, par exemple HDLC (le paquet constitue donc le champ Information de la trame). Ce processus s'appelle l'encapsulation.



Entre toutes les paires d'équipements, sont mises en œuvre des liaisons de données.

Liaisons de données dans un réseau



Le message est coupé en trois segments dans cet exemple. A chaque segment est adjoint un en-tête pour former un paquet. Chaque paquet est transmis dans une trame (ici trame HDLC).

Message, paquets et trames

Le protocole normalisé pour le format des paquets dans l'accès à un réseau à commutation de paquets offrant le service circuit virtuel est X25. Transpac fut l'un des premiers réseaux à utiliser et promouvoir X25.

Différents types de commutation : commutation de trames

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

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

Différents types de commutation : commutation de cellules

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

le principe de la commutation par cellules qui sont des paquets de taille fixe et petite (53 octets), ce qui lui permet d'être très rapide et efficace.

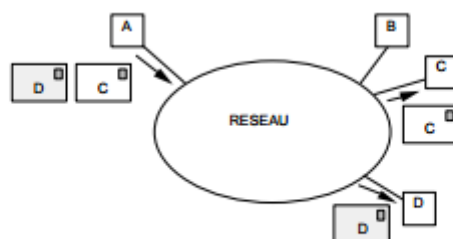
ATM a été développé à l'origine par des chercheurs français (CNET, Centre National d'Etudes des Télécommunications). L'objectif est de transmettre sur le même réseau des données, de la parole, des images, en temps réel. Les problèmes posés par les autres technologies sont multiples : trop faible capacité des réseaux, faibles vitesses de transmission, rigidité des services offerts, interconnexion difficile entre différents

types de réseaux, coût élevé des solutions performantes, incapacité de transmettre parole et images en temps réel, qualité de service insuffisante. La commutation de cellules pousse le raisonnement précédent (évolution d'X25 vers le relais de trames) encore plus loin. Elle supprime la détection d'erreur sur les données et réduit les contrôles au seul en-tête des cellules. L'unique traitement dans les commutateurs du réseau est alors la commutation et le routage (il n'y a plus de liaison de données et le niveau réseau est réduit au strict minimum). Le fait que les liaisons soient des fibres optiques, que les cellules soient petites et de taille fixe, qu'elles passent toutes par le même chemin virtuels ont des atouts de la technologie ATM qui peut ainsi offrir une excellente qualité de service et apporter un confort d'utilisation tel que les qualités des liaisons commutées et des liaisons permanentes sont équivalentes. Les débits peuvent être quelconques et en particulier variables. Ceci apporte une très grande souplesse par rapport au RNIS bande étroite du fait qu'il est entièrement construit sur la base de l'unique débit 64 kbit/s.

Par ailleurs, les délais de traversée du réseau sont garantis très faibles (commutateurs puissants et dimensionnés pour le traitement de cellules de taille fixe). Ceci permet la mise en œuvre d'applications d'images avec compression en temps réel et fait d'ATM l'unique technologie pour le multimédia.

Notion de services dans un réseau à commutation

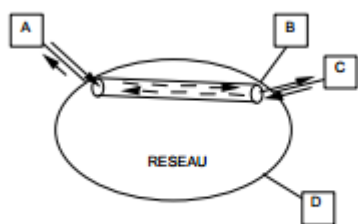
Dans un service sans connexion, chaque paquet est considéré comme totalement indépendant des précédents par l'équipement expéditeur. Il doit donc comporter l'adresse complète du destinataire et éventuellement celui de l'expéditeur. L'équipement terminal peut délivrer au réseau à tout moment un paquet à transmettre sans procédure préalable. Un tel service est par exemple fourni par le réseau postal : une lettre peut être postée à tout moment !



Service sans connexion

Dans un service avec connexion ou orienté connexion, l'équipement terminal doit d'abord indiquer le correspondant avec lequel il veut dialoguer : le réseau établit un lien logique entre les deux équipements et constitue un " tube " de dialogue. Cette procédure est appelée ouverture de la connexion. Tout paquet délivré par un équipement au réseau est alors transmis jusqu'au destinataire sans qu'il soit besoin de préciser une quelconque adresse : seule une référence au " tube " de communication suffit. Lorsque le dialogue est terminé, un des deux équipements peut indiquer au réseau qu'il souhaite fermer la connexion.

Pour dialoguer avec un autre équipement, il est nécessaire d'établir une nouvelle connexion. Un tel service est illustré par le réseau téléphonique : il est nécessaire de décrocher le téléphone et d'appeler son correspondant pour pouvoir dialoguer avec lui . Dès qu'on raccroche, il faut le rappeler pour communiquer avec lui.



Service avec connexion

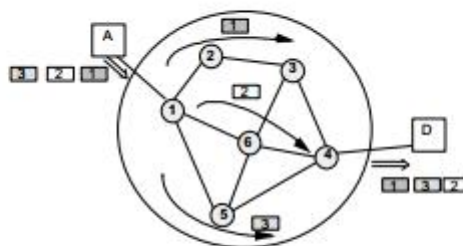
Il est possible pour un équipement terminal de gérer plusieurs connexions en parallèle. Celles-ci sont distinguées par leur référence : numéro appelé souvent numéro de voie logique. A l'établissement d'une connexion, l'équipement précise l'adresse du destinataire. Un numéro de voie logique est attribué localement à l'expéditeur. Pour envoyer un paquet vers le destinataire, l'équipement place ce numéro de voie logique dans l'en-tête et transmet ainsi le paquet au commutateur d'accès du réseau. Il est ensuite acheminé jusqu'au destinataire. Ce destinataire lors de l'établissement de la connexion s'est vu attribuer lui aussi un numéro de voie logique associé à l'adresse de l'expéditeur. Le paquet reçu porte ce numéro. Il faut remarquer que les numéros des deux extrémités de la connexion sont totalement indépendants.

La connexion entre A et C est référencée par la voie logique 2 pour A et 1 pour C.
La connexion entre A et D est référencée par la voie logique 1 pour A et 24 pour D.
L'équipement A dispose de deux voies logiques 1 et 2 multiplexées sur la liaison entre A et le premier commutateur.

Multiplexage de voies logiques

Dans un réseau à datagramme, les paquets (appelés datagrammes) sont considérés comme totalement indépendants les uns des autres. Chaque paquet transite à travers le réseau avec l'ensemble des informations nécessaires à son acheminement et notamment les adresses complètes de l'expéditeur et du destinataire. Le routage est effectué pour chaque paquet. Deux paquets successifs échangés entre les mêmes équipements peuvent donc suivre des chemins différents et être reçus par l'expéditeur dans un ordre différent de l'ordre d'émission. De plus, en cas de problème (rupture de liaison, manque de mémoire dans un commutateur), des paquets peuvent être perdus. L'équipement terminal doit donc réordonner les paquets pour reconstituer les messages et doit contrôler qu'aucun paquet n'est perdu.

L'avantage d'un tel réseau est sa simplicité de réalisation interne : les fonctions de contrôle sont mises en œuvre par les équipements terminaux et non pas dans le réseau lui-même..



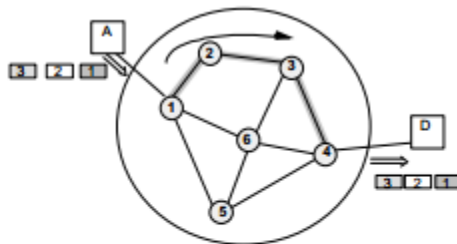
A envoie successivement les paquets 1, 2, 3.
Le paquet 1 emprunte le chemin passant par les commutateurs 1, 2, 3, 4.
Les paquets 2 et 3 empruntent respectivement 1, 6, 4 et 1, 5, 4.
C reçoit dans l'ordre 2, 3 puis 1.

Service de datagramme

Le service avec connexion est fréquemment couplé avec la notion de circuit virtuel. A l'ouverture de la connexion, le réseau détermine un chemin qu'emprunteront ensuite tous les paquets : ce chemin est appelé circuit virtuel. Circuit car on utilise les mêmes principes que pour la commutation de circuits.

Virtuel car une liaison entre commutateurs n'est pas monopolisée par un chemin mais peut être utilisée par plusieurs circuits virtuels entre des équipements totalement différents. De ce fait, l'utilisation du support de transmission est beaucoup plus efficace que dans le cas de la commutation de circuits.

L'avantage d'un réseau à circuit virtuel est sa fiabilité : comme les paquets d'un même circuit virtuel empruntent le même chemin, il suffit de conserver l'ordre des paquets sur chaque tronçon du chemin pour conserver globalement l'ordre sur un circuit virtuel. En revanche, ce type de réseau est plus compliqué à réaliser. Sur le circuit virtuel, l'opérateur de réseau peut garantir une certaine qualité de service : taux d'erreur, séquençement, contrôle de flux



Tous les paquets empruntent le chemin défini par les commutateurs 1, 2, 3, 4.

Réseau à circuit virtuel

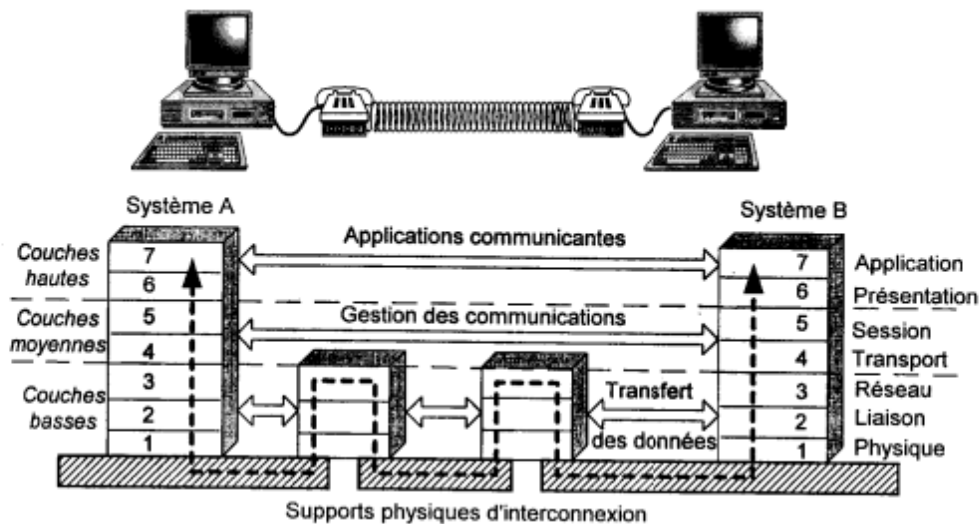
Le réseau Transpac est un réseau à commutation par paquets à circuits virtuels.

3) ETUDE DES COUCHES OSI

Ce modèle (Open System Interconnection) est utilisé pour standardiser les dialogues sur réseau .

Il se décompose en 7 couches ou fonctions superposées, chaque couche étant en dialogue avec sa couche inférieure et supérieure.

Pour ce faire, elle rajoute au fur et à mesure des données en bout de trame pour l'identifier . Les valeurs rajoutées servent au contrôle des données fournies par les autres couches et aussi au contrôle lors de la transmission.



Description des couches

Couches hautes	7	Application	Elle est chargée de l'exécution de l'application et de son dialogue avec la couche 7 du destinataire en ce qui concerne le type ou la signification des informations à échanger.
	6	Présentation	Elle met en forme les informations échangées pour les rendre compatibles avec l'application destinatrice. Elle peut fournir les moyens de traduire, compresser ou crypter.
Couches moyennes	5	Session	Elle sert d'interface entre les fonctions liées à l'application et celles liées au transport des données. Elle assure l'ouverture et la fermeture des sessions avec les applications, définit les règles de synchronisation du dialogue entre les abonnés.
	4	Transport	Elle est responsable du contrôle du transfert des informations de bout en bout au travers du réseau. Elle réalise le découpage des messages en paquets et leur réassemblage.
Couches basses	3	Réseau	Elle assure l'acheminement ou le routage (choix des chemins à partir des adresses) des données groupées en paquets au travers du réseau. Le contrôle de flux et la gestion des erreurs peuvent être réalisés dans cette couche.
	2	Liaison	Elle assure un service de transport de trames sur une ligne (établissement et libération des connexions, transfert et supervision de trames d'informations).
	1	Physique	Elle réalise la transmission des éléments binaires (constitutifs des trames) sur le support, suivant des caractéristiques physiques, électriques, optiques et mécaniques.

LE PROCOLE TCP / IP:

1) Présentation:

Un protocole de communication est un ensemble de règles de communication qui donnent un

sens aux flux d'informations binaires qui circulent entre ordinateurs.

Le protocole de communication définit le format d'envoi, de mise en paquets, et de réception

des données.

TCP (Transmission Control Protocol) / IP (Internet Protocol) fait partie des principaux

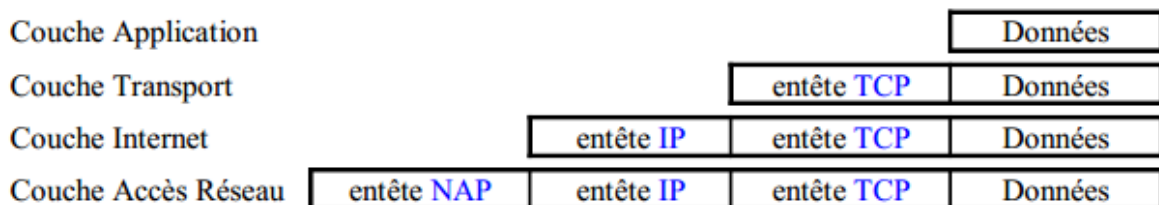
protocoles de communication, et est utilisé dans le cadre de l'internet .

2) Encapsulation des données:

Tout comme dans le modèle OSI, les données sont transférées verticalement d'une couche à

une autre en y rajoutant une entête (header). Cette entête permet de rajouter des informations

identifiant le type de données, le service demandé, le destinataire, l'adresse source, etc...



Le *datagramme (trame)* est l'unité de base (paquet) du transfert de données avec le protocole IP.

3) Le routage:

Le routage d'un paquet consiste à trouver le chemin de la station destinataire à partir de son

adresse. Si le paquet émis par une machine ne trouve pas sa destination dans le réseau local, il

doit être dirigé vers un routeur qui rapproche le paquet de son objectif.

4) Le protocole TCP:

Comme TCP fonctionne en mode connecté, il établit une connexion logique, bout à bout,

entre les deux intervenants.

Au départ, avant tout transfert de données, TCP demande l'ouverture d'une connexion à la

machine cible qui renvoie un acquittement signifiant son accord. De même, lorsque

l'ensemble des données ont été échangées, TCP demande la fermeture de la connexion et un

acquittement de fermeture est alors envoyé sur le réseau. Lors du transfert, à chaque

datagramme, un acquittement de bonne réception est émis par le destinataire. En effet, après

vérification du Checksum, s'il s'avère que la donnée est endommagée, le récepteur n'envoie

pas d'acquittement de bonne réception. Ainsi, après un certain temps, l'émetteur ré-émet le

datagramme sur le réseau.

Le protocole assure aussi la segmentation et le ré-assemblage des données, le multiplexage

des données issues de plusieurs processus hôtes, le contrôle de flux, la gestion des priorités

des données et la sécurité de la communication.

Le protocole TCP identifie les processus utilisant des ressources réseaux grâce à leur numéro

de port qui est unique. Les valeurs supérieures à 1000 correspondent à des ports clients et sont

affectées à la demande par la machine qui effectue une connexion TCP.

Numéros de port usuels :

Process	Echo	FTP	SSH	Telnet	SMTP	Time	HTTP	POP3	SNMP
n° de port	7	21	22	23	25	37	80	110	161

4) L'adressage IP:

Sur un réseau TCP/IP, chaque machine se voit attribuer une adresse IP en principe unique.

Les adresses sont codées sur 32 bits soit 4 octets représentés en décimal et séparés par des

points. Ces adresses comportent 2 parties : l'adresse du réseau (net) et l'adresse de l'hôte (host)

désignant une machine donnée.

Suivant l'importance du réseau, plusieurs classes sont possibles :

- la classe A: pour les réseaux de grande envergure (ministère de la défense, IBM,...)
- la classe B: pour les réseaux moyens (universités, centres de recherches ...)
- la classe C: pour les petits réseaux comprenant moins de 254 machines (PME/PMI)
- la classe D: les adresses ne désignent pas une machine particulière sur le réseau, mais un ensemble de machines voulant partager la même adresse (multicast).
- la classe E: classe expérimentale, exploitée de façon exceptionnelle.

Adresses IP :

	31	24	23	16	15	8	7	0
Classe A	0	Id. réseau (7 bits)		Identificateur hôte (24 bits)				
Classe B	1	0	Identificateur réseau (14 bits)			Identificateur hôte (16 bits)		
Classe C	1	1	0	Identificateur réseau (21 bits)				Id. hôte (8 bits)
Classe D	1	1	1	0	Adresse multicast (28 bits)			
Classe E	1	1	1	1	Format indéfini (28 bits)			

	Classe A	Classe B	Classe C
Premier réseau (usage public)	1.x.x.x	128.1.x.x	192.0.1.x
Dernier réseau (usage public)	126.x.x.x	191.254.x.x	223.255.254.x
Nombre de réseaux	126	16 382	2 097 150
Réseaux réservés à un usage privé	10.x.x.x	172.16.x.x à 172.31.x.x	192.168.0.x à 192.168.255.x
Adresse du réseau	x.0.0.0	x.x.0.0	x.x.x.0
Adresse de diffusion du réseau	x.255.255.255	x.x.255.255	x.x.x.255
Première machine	x.0.0.1	x.x.0.1	x.x.x.1
Dernière machine	x.255.255.254	x.x.255.254	x.x.x.254
Nombre de machines	16 777 214	65534	254
Masque de sous-réseau par défaut	255.0.0.0	255.255.0.0	255.255.255.0

5) Adresses particulières ou réservées:

- L'adresse dont la partie basse (adresse machine) est constituée de bits à 0 est l'adresse du réseau.

- L'adresse dont la partie basse (adresse machine) est constituée de bits à 1 est l'adresse de

diffusion (broadcast) et permet d'envoyer un message à l'ensemble des machines sur le

réseau.

- L'adresse 127.0.0.1 est une adresse de bouclage (localhost, loopback) et permet l'utilisation

interne de TCP/IP sans aucune interface matérielle (permet le test de la machine toute seule).

- L'adresse 0.0.0.0 est une adresse non encore connue, utilisée par les machines ne connaissant

pas leur adresse IP au démarrage.

6) Masque de sous réseau: (subnetmask)

Parfois, il convient de subdiviser un réseau en sous-réseaux afin de mieux s'adapter à l'organisation du travail et du personnel.

Quand on applique à l'adresse IP le masque de sous-réseau (« on fait » un ET logique entre

cette adresse IP codée en binaire, et le masque de sous-réseau), cela permet de garder uniquement l'adresse complète du réseau.

Exemple de masquage :

Réseau de classe B

Masque 255.255.255.0 :

Réseau								Hôte							
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Identificateur Réseau (N°)								Id. Sous-réseau				Id. Hôte			