

2. La couche Physique

Ce niveau détermine comment les éléments binaires sont transportés sur un support physique (câbles, ondes, lumière).

Les informations sont tout d'abord transformées en une suite de 0 et de 1. Ensuite, pour être transmises, ces informations sont introduites sur le support selon une technique reconnaissable par le récepteur (tension, fréquence, amplitude, sinusoïde, ...)

Bien que n'étant pas du domaine direct de l'informatique, ce niveau est le seul où s'établit la connexion réelle, physique.

- TCP sert de base aux protocoles applicatifs supérieurs : FTP, NEWS, WEB, ...

Le codage et la transmission

- Première étape de la transmission :
 - **coder** les informations sous forme binaire :
 - pour se faire :
 - utilisation de code : pour chaque caractère → suite d'éléments binaires
 - le nombre de bits utilisés correspond au **moment** du code
 - en ASCII simple, le moment vaut 7. En effet, nous pouvons représenter 128 caractères distincts = 2^7
 - en EBCDIC à 8 moments, nous pouvons coder $256 = 2^8$ caractères
 - en UNICODE, nous avons 16 moments = 2^{16}

Le codage et la transmission

- Seconde étape de la transmission :
 - ... la **transmission** par l'accès au hardware :
 - c'est l'envoi des suites binaires de caractères :
 - soit en **série** :

dans ce mode, les bits sont envoyés les uns derrière les autres.
La succession de caractères peut se faire soit :

 - en mode *synchrone*
 - en mode *asynchrone*
 - soit en **parallèle** :

dans ce mode, les bits d'un même caractère sont envoyés simultanément sur un nombre de fils parallèles (distincts) égal au moment du code.

Le codage et la transmission

- Particularités :
 - mode **parallèle** :

cette technique est délicate au niveau de la synchronisation. En effet, tous les bits d'un même caractère doivent impérativement arriver en même temps. On ne l'utilise que sur courte distance (peu de perturb.)
 - mode **asynchrone** :

aucune relation préétablie n'existe entre les deux parties. Les bits d'un même caractère doivent donc être encadrés de signaux (délimiteurs). Le début d'une transmission est donc indifférente au temps



Le codage et la transmission

- mode **synchrone** :

l'émetteur **et** le récepteur doivent se mettre d'accord sur un intervalle constant de temps, qui se répète sans arrêt dans le temps

Les bits d'un caractère sont envoyés les uns derrière les autres et sont synchronisés avec le début des intervalles.

Il n'y a donc aucune séparation (délimiteur). Les bits sont émis en séquence.

Ce mode est utilisé pour les très forts débits

Le signal

- Désigne la forme prise par l'information élémentaire :

- signal analogique

- Fourier

- signal numérique

- forme du signal dans le matériel

- Caractéristiques physiques ou mécaniques de ces signaux :

- bande passante

- débit binaire

- perturbation

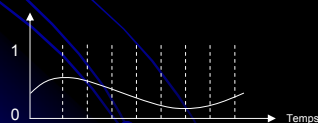
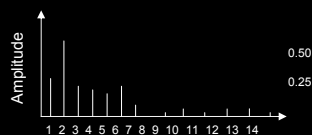
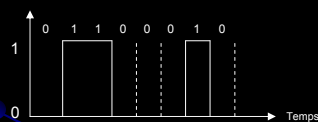
Signal analogique

- Composition d'un signal analogique :
 - représenter une onde électromagnétique comme une fonction du temps
 - chaque fonction périodique peut être décomposée en une suite infinie de fonctions périodiques sinusoïdales : les **composantes harmoniques**
 - chaque composante a une fréquence propre
 - les harmoniques de fréquence supérieure à la BP ne sont pas transmises → perte de qualité (déformation) du signal

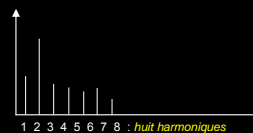
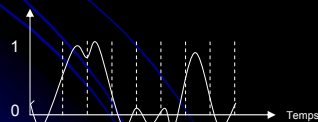
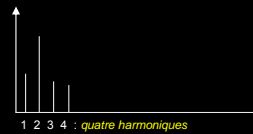
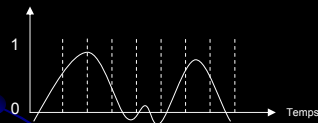
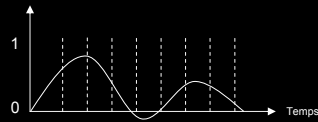
Signal analogique

- Décomposition d'un signal selon ses harmoniques :

● <http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/divers/fourier.html>



Signal analogique



Signal numérique

- Format de l'information dans les équipements terminaux :
 - les ordinateurs, ... manipulent l'information sous cette forme (0 ou 1)
 - à la sortie d'un équipement, la forme de l'information doit donc être changée :
 - en fonction du support
 - en fonction de la technologie :
 - réseau téléphonique : modem
 - réseau numérique : OK, sauf à adapter aux caractéristiques du support (ISDN, ...)
- Contraintes à ce changement ... \ ...

Bande passante

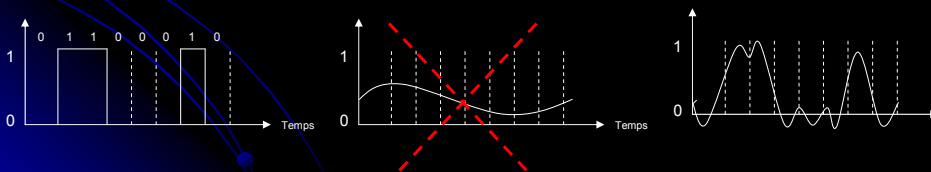
- Qu'est la bande passante ?

- bande de fréquence dans laquelle les signaux sont correctement reçus (non ou très peu déformés) : fréquence de coupure max. et min.
- caractérise tout support de transmission
- exprimée en Hertz (Hz)
- influence directement le débit binaire



Bande passante et harmoniques

- plus la bande passante est élevée, plus le nombre de composantes harmoniques transmises est grand et donc mieux le signal est transmis
- la qualité de restitution du signal sera donc meilleure



Débit binaire

- Pour un signal synchronisé :
 - la vitesse d'horloge donne le débit de la ligne en **bauds**, c'est-à-dire le nombre de 'top' par seconde (// modem)
 - *exemple* : une ligne à 50 bauds signifie que, chaque seconde, 50 intervalles de temps se présentent. On émet, en général, un seul bit par intervalle élémentaire (1 ou 0)
 - toutefois, rien n'empêche cependant d'utiliser 4 types de **signaux distincts** (qui signifieraient 0, 1, 2 ou 3). Dans ce cas le signal est réputé avoir une **valence** de 2 (2^2)

Débit binaire

- en d'autres termes, un signal a une valence de n si le nombre de niveaux transportés dans un intervalle de temps élémentaire est de 2^n
- la **capacité de transmission** de la ligne vaut alors n multiplié par la vitesse exprimée en bauds
- *exemple* :
 - une ligne ayant une vitesse de 100 bauds et une valence de 4 a une capacité de transmission de 400 bits par seconde (bps)

Débit binaire : perturbations

- Dans la réalité :
 - toute liaison subit des perturbations :
 - atténuation :
 - consiste en l'affaiblissement homogène des différentes harmoniques du signal (pompage de l'énergie par le support dû à l'échauffement par le mouvement des électrons)
 - bruit :
 - perturbations extérieures modifiant la forme initiale du signal (électromagnétisme, courant induit, ...)
 - diaphonie :
 - dégradation du signal suite à la vitesse de propagation non homogène des différentes harmoniques (fréquences)

Petit rappel de mathématiques

$$Y = a^X \Leftrightarrow X = \text{Log}_a(Y)$$

Exemple :

- **en base 10 :**
 - si Y vaut 1000, on a : $1000 = 10^X$ ou X vaut 3.
- **en base 2 :**
 - si Y vaut 1024, on a : $1024 = 2^X$ ou X vaut 10.

Débit binaire : perturbations

- **Nyquist** :
 - situation idéale
 - lien entre la bande passante d'un support et son débit binaire maximum
 - $D_{\max} = 2H \log_2(\# \text{ niveaux significatifs})$
 - la bande passante dépend de la distance
 - *exemple* :
 - le débit binaire maximal d'une ligne avec une BP de 3.000Hz est, pour un signal ayant une valence de 2, de :
 - $2 * 3.000 * \log_2(4) = 12.000 \text{ bit/s}$
 - si la valence est de 6 :
 - le débit max vaut alors : 36.000 bit/s

Débit binaire : perturbations

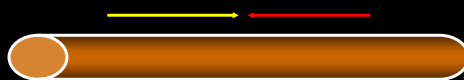
- **Shannon**
 - situation réelle
 - permet de déterminer la capacité maximale d'un support en tenant compte des perturbations
 - $C_{\max} = H \log_2(1+S/N)$
S/N : rapport signal/bruit exprimé en dB
 - *exemple* :
 - le débit binaire maximal d'une ligne avec une BP de 3.000Hz et un rapport signal/bruit de 30 DB est de :
 - $3.000 * \log_2(1.001) \cong 30.000 \text{ bits/s}$
 - *ceci est vrai* quel que soit le # de niveaux significatifs utilisés et la fréquence d'échantillonnage

Sens du Transfert

- Les sens de transfert :
 - La communication *simplex*



- La communication *semi-duplex*



- La communication *duplex*



Le support magnétique

- Permet de faire circuler un grand nombre d'informations
- Vitesse de déplacement faible
- Intéressant en terme de coûts en fonction de la distance
- Paradoxe ? :
 - à l'ère des réseaux ultramodernes, une camionnette remplie de bandes magnétiques n'est-elle pas plus performante ?

Les supports de transmission

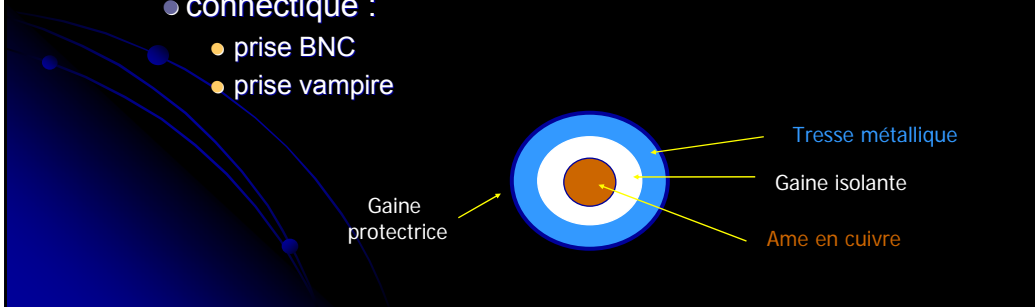
- Supports avec guide physique
 - câbles électriques
 - fibres optiques
- Supports sans guide physique
 - ondes radios
 - ondes lumineuses

Les supports de transmission

- Les paires torsadées :
 - câble électrique à 4 paires
 - paires pas toujours toutes nécessaires
 - connecteur : RJ45
 - supporte jusqu'au Gb
 - exemple : câble du pc

Les supports de transmission

- Le câble coaxial :
 - caractéristique :
 - impédance en ohm
 - nécessite une terminaison à chaque bout :
 - absorption du signal
 - connectique :
 - prise BNC
 - prise vampire



Les supports de transmission

- La fibre optique :
 - principal intérêt : largeur de la bande passante. Extrêmement bien adapté au multiplexage fréq.
 - vitesse de transmission presque égale à celle sur le support cuivre
 - connectiques : SC, ST
 - 2 types de FO :
 - monomode : 1 seul rayon de lumière
 - multi mode : plusieurs rayons de lumière

Les supports de transmission

- Distance :
 - moins sensible aux atténuations
 - liaisons possibles sur plusieurs kilomètres
- Fiabilité :
 - non perturbée par champs électromagnétiques
- Sécurité :
 - plus difficile d'insérer de nouveaux équipements

Caractéristiques des câblages

Type	Débit	Protection	Installation	Maintenance	Coût
Paire torsadée	élevé	bonne	facile	facile	faible
Câble coaxial	moyen	bonne	facile	délicate	moyen
Fibre optique	élevé	excellente	délicate	délicate	élevé

Transmission à vue directe

- Fonctionne sur des supports immatériels
 - rayons infrarouges
 - rayons laser
- Avantage :
 - pas de travaux d'infrastructure pour les mettre en place
- Inconvénient :
 - dépend des conditions météorologiques

Transmission à longue distance

- En plus des support physique et lumineux, nous pouvons citer comme autre médium les **ondes radio électromagnétiques**
- Pour les communications à grande distance :
 - on préfère la transmission par faisceau hertziens (ondes radio à très haute fréquence) :
 - véritable alternative à la transmission par câbles coaxiaux
 - des antennes paraboliques d'émission réception sont installées et un faisceau hertzien est établi entre les deux antennes situées en vue l'une de l'autre
- Toutefois, ces techniques sont également sensibles aux conditions climatiques

Transmission et Bande Passante

- Le spectre du signal à transmettre doit être compris dans la bande passante du support physique :
 - transmission d'un signal à spectre étroit sur un support à large bande passante => mauvaise utilisation du support
 - recours aux techniques de **modulation** et de **multiplexage** pour pallier à ce problème

Multiplexage

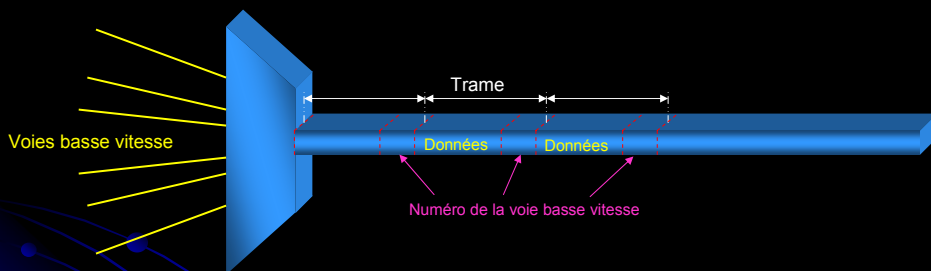
- **Multiplexage** :
 - possibilité de faire cohabiter sur le même support physique plusieurs communications indépendantes
 - souvent moins onéreux de faire transiter en même temps des données de plusieurs personnes et d'éviter ainsi qu'elles ne possèdent chacune toute l'infrastructure
 - optimise l'usage des canaux de transmission
 - une seule voie (plus importante) est utilisée, partagée

Multiplexage

- Le multiplexeur :
 - reçoit donc un ensemble de voies (lignes) individuelles, dites à *basse vitesse*
 - les transmet toutes ensemble sur une liaison unique, la voie dite à *haute vitesse*
- A l'autre extrémité :
 - un démultiplexeur effectue l'opération inverse, la séparation des voies basse vitesse
- L'équipement faisant le multiplexage/démultiplexage s'appelle un MUX

Multiplexage

- Concept :



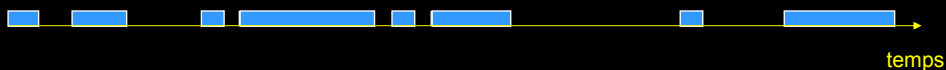
- Plusieurs types de multiplexage :
 - multiplexage temporel (TDM)
 - multiplexage fréquentiel (FDM)
 - multiplexage en longueur d'onde (WDM)

Multiplexage temporel

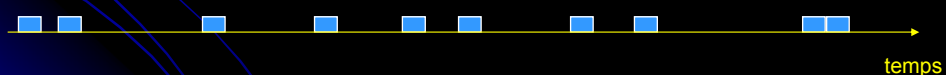
- **TDM** : Time Division Multiplexing
- Consiste à affecter à chaque utilisateur un quantum de temps pendant lequel il disposera de l'*intégralité* du débit binaire
- Différents types existent :
 - asynchrone :
 - laps de temps variable*, pas synchronisé sur un top
 - utilise mieux la BP car pas (moins) de temps mort
 - synchrone :
 - laps de temps en permanence identique

Multiplexage temporel

- Asynchrone
 - quantum de temps est *alloué sur demande*



- Synchrone
 - quantum de temps est *alloué à chaque utilisateur*

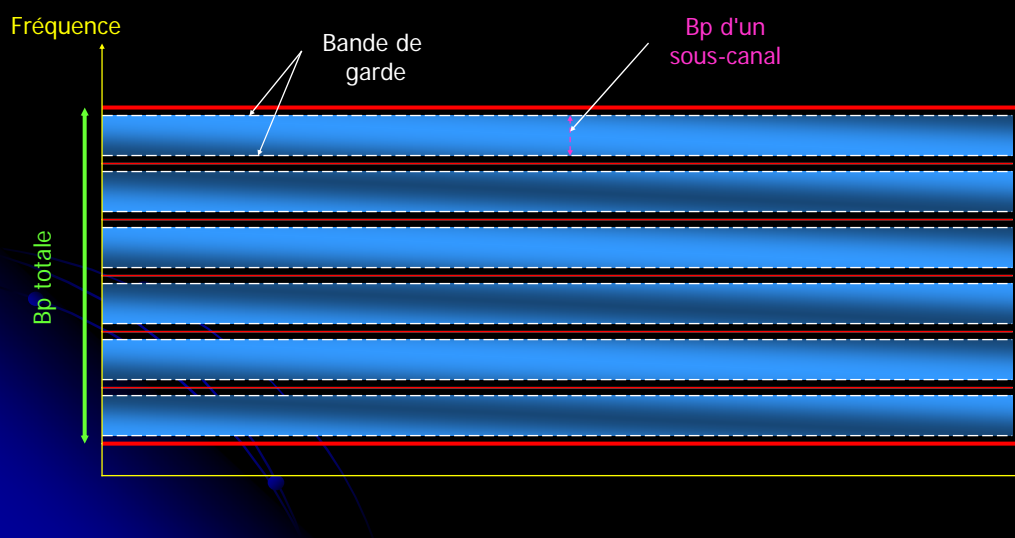


- * : variable en ce sens que deux (ou plusieurs) quantum peuvent être alloués successivement au même utilisateur

Multiplexage en fréquence

- **FDM** : Frequency Division Multiplexage
- Consiste à partager une bande passante de X Hz en n canaux de X/n Hz chacun
- Les canaux sont *non jointifs* (bande de garde)
- Tout le monde possède en *permanence* une *partie* de la bande passante
- Notion de transmission en bande large :
 - plusieurs transmissions indépendantes et simultanées
- Exemple : la radio

Multiplexage en fréquence

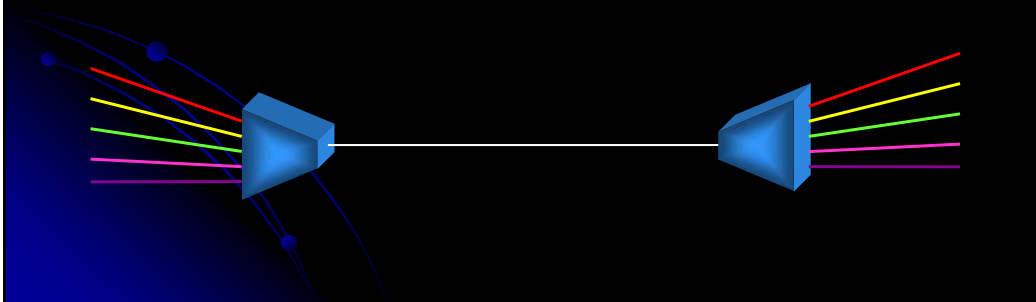


Multiplexage en longueur d'onde

- **WDM** : Wave Division Multiplexing
- Technique utilisée avec la fibre optique :
 - décomposition du spectre lumineux (ensemble de longueurs d'onde)
 - décomposition avec du matériel passif (prisme) qui n'engendre donc pas d'interférence (\neq du matériel actif de la FDM)
 - recombinaison selon principe identique

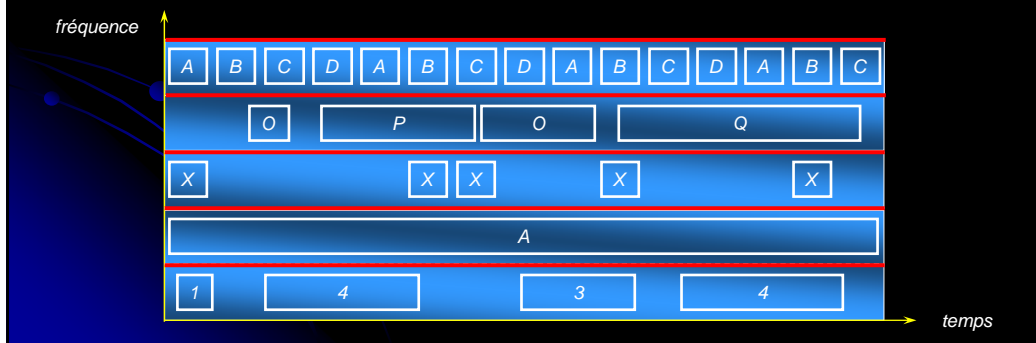
Multiplexage en longueur d'onde

- Utilisation de prismes pour multiplexer les flux lumineux en un seul, puis utilisation d'un second prisme pour décomposer ce même flux lumineux



Combinaison des multiplexages

- Multiplexage fréquentiel avec multiplexage temporel intégré
- Transmissions asynchrones, synchrones possibles en parallèle

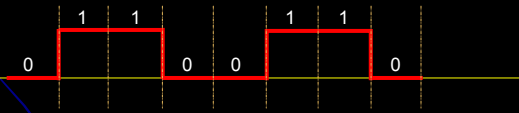


Transmission en bande de base

- Technique la plus simple :
 - une seule communication à la fois sur le support
 - info transmise par des changements discrets dans les signaux représentant l'information binaire
 - pas de multiplexage
 - ex. : LAN Ethernet
- Question :
 - comment un émetteur peut-il envoyer un signal que le récepteur pourra interpréter comme étant un 1 ou un 0 ?

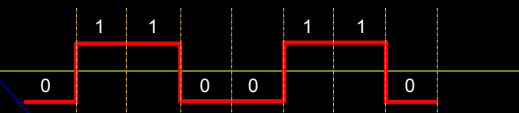
Transmission en bande de base

- Différentes méthodes :
 - émission de courant qui reflète les caractères sous forme de créneaux :
 - *code tout ou rien* :
 - courant positif pour un bit à 1
 - courant nul (absence de tension) pour un bit à 0
 - difficultés :
 - courant en continu ... composants électroniques
 - pas de synchronisation possible



Transmission en bande de base

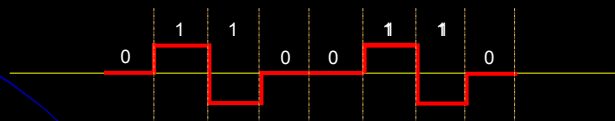
- *Non Return to Zero (NRZ)* :
 - absence de courant nul (pas de tension). Mais : absence de tension = ?
 - absence de communication
 - bits à 0
 - une tension positive = bit à 1
 - une tension négative = bit à 0
 - difficultés :
 - courant en continu ...
 - pas de synchronisation possible



Transmission en bande de base

- *code bipolaire* :

- un bit à 1 est représenté alternativement par une tension positive ou négative. Ceci permet, pour ces bits, d'éviter les courants continus
- une tension nulle = bit à 0



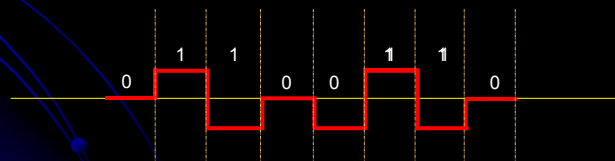
- difficultés :

- courant en continu pour des suites de 0
- pas de synchronisation possible en permanence

Transmission en bande de base

- *code bipolaire à haute densité* :

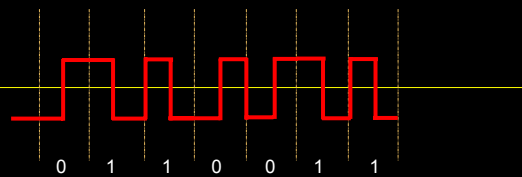
- un bit à 1 est représenté alternativement par une tension positive ou négative. Un nouveau bit à 1 suivant des bits à 0 est figuré par un courant positif ou négatif en rupture avec la suite figurant les bits à 0
- des suites spéciales de remplissage (courant négatif, nul ou positif) sont utilisées à la place des bits à 0



Transmission en bande de base

- *code Manchester* : (Ethernet)

- un bit à 1 est représenté par une transition
 - positif → négatif au milieu de l'intervalle
- un bit à 0 est représenté par une transition
 - négatif → positif au milieu de l'intervalle



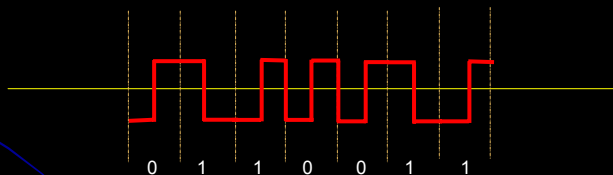
- avantages :

- synchronisation effective
- pas de tension continue
- pas d'absence de tension

Transmission en bande de base

- *code Manchester différentiel* :

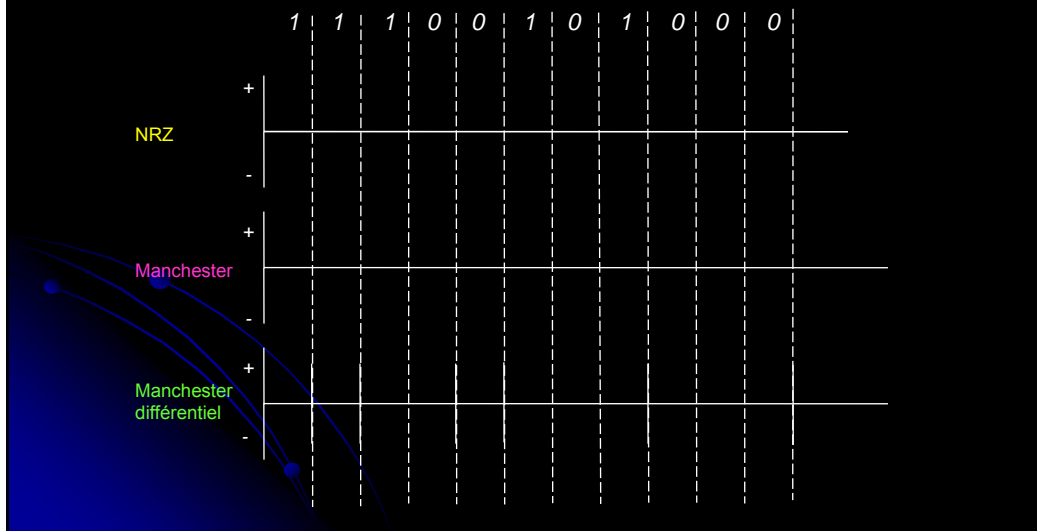
- un bit à 1 est représenté par une inversion du signal précédent
- un bit à 0 est représenté par une reprise du signal précédent



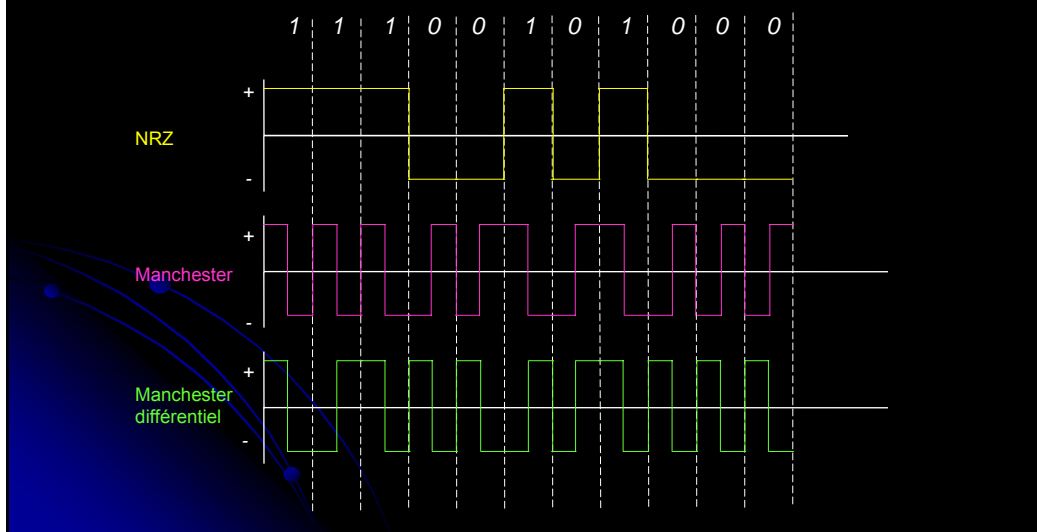
- avantages :

- synchronisation effective
- pas de tension continue
- pas d'absence de tension

Transmission en bande de base

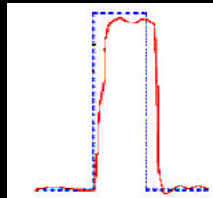


Transmission en bande de base



Dégradation en bande de base

- Dégradation très rapide du signal :
 - en fonction de la distance (max 5 Km.)
 - principal problème de la bande de base
 - nécessité de le régénérer
 - détérioration des fronts :
 - montants
 - descendants



Dégradation en bande de base

- Pour des distances plus longues, on utilise un signal sinusoïdal, moins sensible :
 - même affaibli, il peut être plus facilement décodé

Transmission analogique

- Ou transmission par modulation d'une onde porteuse
 - le spectre des signaux modulés est **centré** sur la fréquence de la **porteuse**
 - la porteuse transporte les signaux dans la bande passante du support
 - seule la **modulation** a une **signification**
 - l'opération de modulation/démodulation est effectuée par un modem.

Transmission analogique

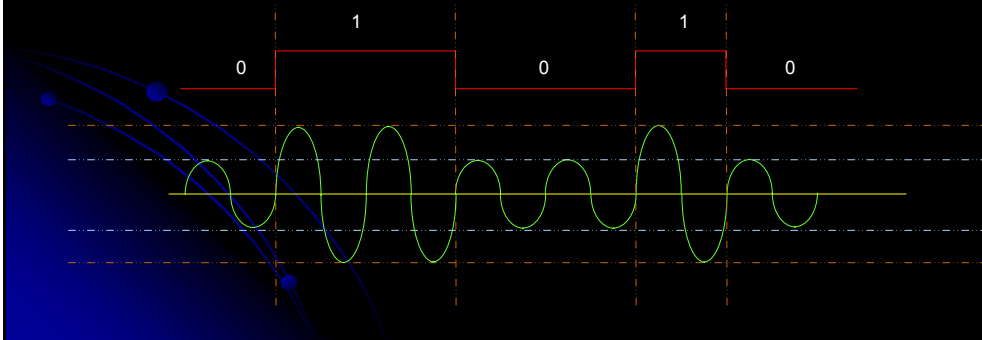
- Trois grandes caractéristiques :
 - amplitude, fréquence, phase
- C'est selon ces caractéristiques que nous pouvons adapter (*moduler*) le signal afin de lui faire porter l'information numérique :
 - modulation d'amplitude : ASK
 - modulation de phase : PSK
 - modulation de fréquence : FSK

Modulation

- Afin d'effectuer la modulation :
 - un nouveau type de matériel :
 - modem = MOdulateur/DEModulateur
 - reçoit le signal en bande de base
 - le module (donne une forme sinusoïdale)
- Meilleure protection aux interférences :
 - s'explique par l'absence des fronts montants et descendants qui sont typiques des 'créneaux' des signaux en bande de base
 - ces créneaux, étant facilement perturbés dès l'affaiblissement du signal, rendent ce dernier plus difficile à interpréter par le récepteur

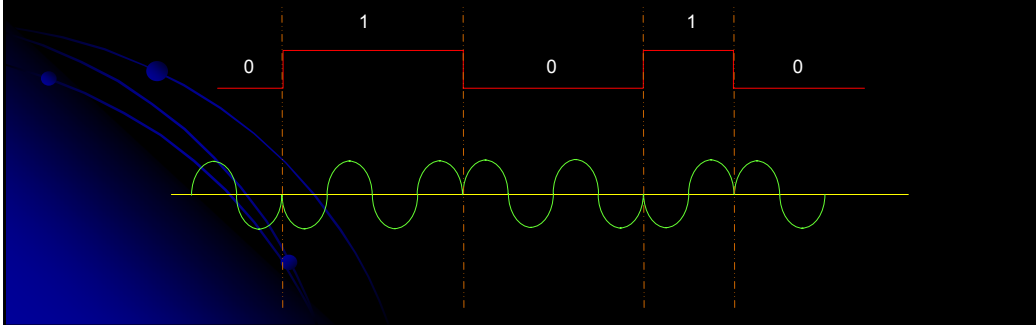
Modulation d'amplitude

- Modulation d'amplitude :
 - la différenciation des bits à 0 ou à 1 se fait par une modification de l'amplitude de la sinusoïde



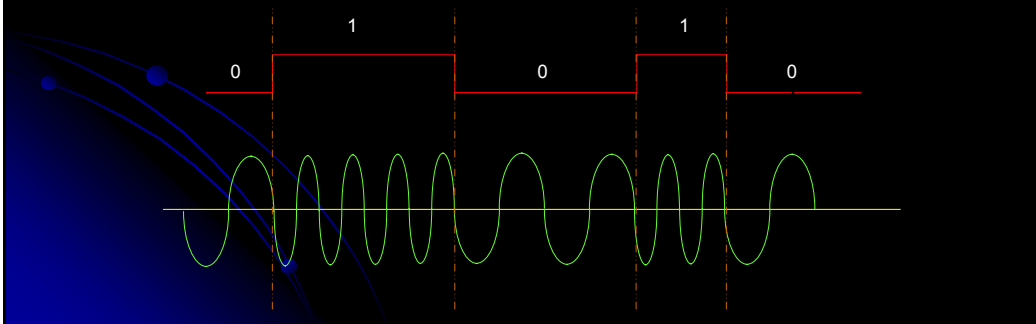
Modulation de phase

- Modulation de phase :
 - la différenciation des bits à 0 ou à 1 se fait par un signal qui commence à des emplacements différents de la sinusoïde



Modulation de fréquence

- Modulation de fréquence :
 - la différenciation des bits à 0 ou à 1 se fait par un signal qui possède une fréquence tantôt basse, tantôt élevée



Numérisation du signal

- Bien que moins sensible aux perturbations, les signaux analogiques ont tendance à *disparaître* au profit du tout numérique :
 - ISDN
 - RTC hors boucle locale
 - ...
- Le processus de transformation analogique → numérique s'appelle la **numérisation**

Numérisation du signal

- Il découle du théorème de Shannon que la valeur du débit binaire obtenue par numérisation du signal requiert un support physique dont la BP est 'parfois' supérieure à celle nécessaire pour le transport du signal analogique
- Exemple :
 - la voix téléphonique = 3.200 Hz. La numériser requiert un débit de 64.000 b/s. Ce débit ne pouvant être absorbé par une BP de 3.200 Hz !

Numérisation du signal

- Sur un support ayant une BP de 3.200 Hz, le débit binaire maximal vaut, selon Shannon :
 - $3.200 * \log_2(1+S/B)$
- en prenant un S/B de 10 (déjà élevé)
 - $3.200 * \log_2(11) = \pm 11.000 \text{ b/s !!!}$

Numérisation du signal

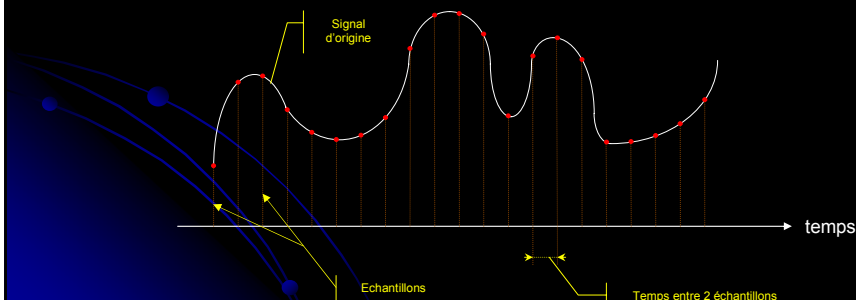
- Les 3 étapes de la numérisation :
 - l'échantillonnage
 - la quantification
 - le codage
- Ces 3 opérations sont sérialisées dans le temps

L'échantillonnage

- consiste à prendre des points du signal analogique pendant son déroulement
- dépend directement de la BP. Plus elle est grande, plus il faut prendre d'échantillons par seconde
- combien ?
 - cfr. le théorème d'échantillonnage :
 - *soit un signal $f(t)$ échantillonné à intervalle régulier. Si ce processus s'effectue à un taux supérieur au double de la fréquence significative la plus haute, alors les échantillons contiennent toutes les informations du signal original. En particulier, $f(t)$ peut être reconstitué*

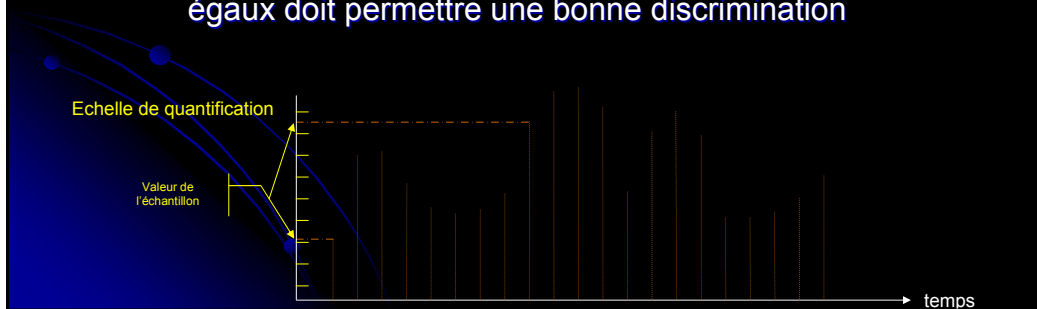
L'échantillonnage

- exemple :
 - soit un signal ayant une BP de 10.000 Hz, alors il faut l'échantillonner au moins 20.000 par seconde



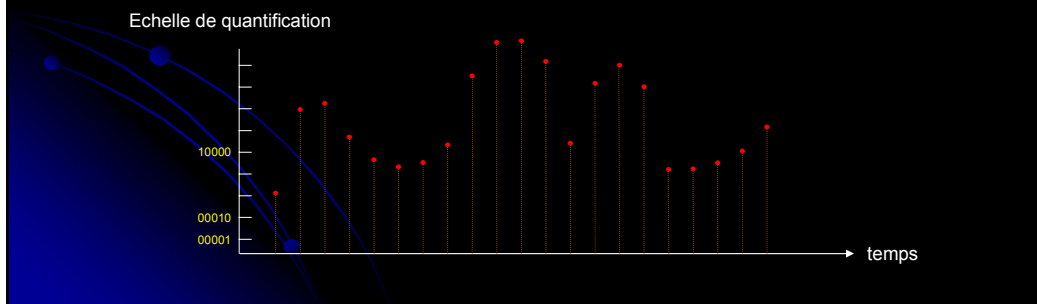
La quantification

- cette phase a pour objectif de représenter un échantillon par une valeur numérique au moyen d'une loi de correspondance. Cette loi ne doit pas être linéaire :
 - une zone regroupant un grand nombre d'échantillons \pm égaux doit permettre une bonne discrimination



Le codage

- cette phase consiste à affecter une valeur numérique sur base de la valeur déterminée via la loi de correspondance et selon le nombre de bits que l'on a prédéterminé



Application

- la voix analogique sur le support téléphonique réclame 3.200 Hz
- le théorème d'échantillonnage nous fournit une valeur de 6.400 échantillons par seconde. Cette valeur a été normalisée à 8.000
- l'Europe a opté pour une quantification en 128 valeurs positives et autant de négatives, soit 256 valeurs. Ceci réclame 8 bits (7 aux USA)
- le débit binaire en Europe doit donc être égal à $8 * 8.000 = 64.000$ b/s
 - NB : $8.000 \text{ éch./s} = 1/8.000 = 1 \text{ éch./}125 \mu\text{s}$

Débits de signaux numérisés

Type d'information	Débit signal numérisé	Débit après compression
Son	64 Kbit/s	1,2 à 9,6 Kbit/s
Images animées N/B	16 Mbit/s	64 Kbit/s à 1 Mbit/s
Images animées couleurs	100 Mbit/s	128 Kbit/s à 2 Mbit/s
Images télévision couleur	204 Mbit/s	512 Kbit/s à 4 Mbit/s
Images vidéoconférence	500 Mbit/s	2 Mbit/s à 16 Mbit/s

Détection d'erreurs

- Longtemps la détection et la correction d'erreurs relevaient du niveau trame (2)
- En effet, la qualité des lignes physiques était très insuffisante pour obtenir des taux d'erreurs acceptables
- La situation actuelle a très sensiblement changé pour deux raisons essentielles :

Détection d'erreurs

- la **fiabilité** des lignes s'est beaucoup *accrue*. Le taux d'erreur est $< 10^{-9}$ et souvent moins encore. Ceci a été rendu possible par :
 - des techniques de codages plus efficaces
 - de nouveaux supports physiques : fibre optique, ...
- la **nature des applications** (multimédia, ...). Certaines ne tolèrent pas les pertes de temps associées aux reprises sur erreurs. La *perte* de quelques bits *ne change rien* quant à la qualité que l'oeil ou l'oreille peuvent percevoir. Des délais seraient, eux, beaucoup plus détectables

Détection d'erreurs

- La détection et la correction restent toutefois indispensables :
 - sur des supports de mauvaise qualité
 - pour des applications ne tolérant pas la moindre erreur (transfert de fichier, ...)
- Pour garantir cette détection/correction, deux grandes possibilités existent :
 - envoi d'informations redondantes
 - utilisation de code détecteur

Détection d'erreurs

- Quel système choisir ?
 - la **détection/correction** exige un *accroissement* d'environ 50% de l'information transportée. Ainsi, pour envoyer 1.000 bits utiles en toute sécurité, il faut envoyer 1.500 bits
 - la **détection seule** se contente d'une augmentation de 16 à 32 *bits*. Ce n'est qu'en cas d'erreurs avérées, que la retransmission intégrale de l'information doit être faite

Détection d'erreurs

- Le **point neutre** pour des trains de bits compris entre 1.000 et 10.000 bits est donc d'environ un taux d'erreurs de 10^{-4} :
 - si le taux d'erreurs est plus faible, une détection est utilisée
 - si le taux d'erreurs est plus élevé, la correction est plus intéressante
- Or, les supports ont quasiment tous un taux d'erreurs $< 10^{-4}$. La **détection est donc majoritairement utilisée**

Correction d'erreurs

- La détection / correction d'erreurs suppose :
 - l'utilisation d'algorithmes complexes (temps de traitement non négligeable)
 - une augmentation importante de l'information à transporter (redondance)
- Tout d'abord, le système trivial :
 - bien que n'offrant que peu de garantie, une méthode consiste à envoyer 3 fois la même information et à choisir la plus probable :
 - envoi 3 bits à 1, réception 2 bits à 1 et 1 bit à 0 → 1

Correction d'erreurs

- Notion de code de Hamming :
 - pour pouvoir corriger les erreurs, il faut pouvoir distinguer les différents caractères émis, même s'ils sont erronés
 - supposons un mini alphabet de 4 caractères :
 - 00, 01, 10, 11
 - si une erreur se produit, le caractère est 'transformé' en un autre caractère (valide) de ce même alphabet et l'erreur passe inaperçue :
 - envoi de 00 et réception de 10. Le caractère reçu bien qu'erroné fait partie de l'alphabet

Correction d'erreurs

- Il nous faut donc *ajouter* de l'information :
 - 00 → 00000
 - 01 → 01111
 - 10 → 10110
 - 11 → 11001
- Si *une* erreur se produit, on compare la donnée transmise avec les caractères valides de l'alphabet. On en déduit le bon en faisant le rapprochement avec celui qui ressemble le plus :
 - si 10000 reçu, le plus proche est 00000 car l'autre possibilité 10110 (ou 11001) est plus éloignée

Correction d'erreurs

- Si **deux** erreurs se produisent sur le même caractère, il devient impossible, dans le contexte ci-dessus, de récupérer la valeur exacte. En effet :
 - émission de 10110 et réception de 01010. L'estimation du caractère correct n'est plus possible (01111 ou 11001 ?)
- Soit $d(x,y)$ la distance entre deux caractères x et y définie par :
 - $d(x,y) = \sum_{i=1}^N (x_i - y_i) \bmod 2$
 - avec N = nbre de bits du caractère

Correction d'erreurs

- **Hamming** :
 - on définit la distance de Hamming comme étant :
 - $d_H = \inf d(x,y)$ où la borne inférieure s'applique à l'ensemble des caractères de l'alphabet
 - dans l'exemple ci-dessus :
 - le calcul de d_H donne alors : **3. Comment ?**
 - pour pouvoir corriger une seule erreur, il faut que les \neq caractères du même alphabet satisfasse à $d_H = 3$, de sorte que, en cas d'erreur, la distance entre le caractère correct et le caractère erroné soit de 1

Correction d'erreurs

- pour corriger 2 erreurs à la fois, la d_H doit valoir 5 :
 - le nouvel alphabet vaut alors :
 - 00 → 00000000
 - 01 → 01111011
 - 10 → 10110101
 - 11 → 11001110
 - en recevant le caractère **10001010**, on en déduit que le caractère correct est **11001110** puisque c'est le seul caractère de notre alphabet à avoir une distance de hamming de 2 avec le caractère erroné reçu :
 - $d(10001010, 11001110) = 2$
 - *et*
 - $d(10001010, x) > 2$ si $x \neq 11001110$

Détection d'erreurs

- De nombreuses méthodes existent :
 - parmi elles, les bits de parité, que l'on peut déterminer à partir d'un caractère (souvent un octet)
 - le bit de parité est un bit supplémentaire ajouté au caractère 'protégé'
 - il est calculé en sorte que la *somme des éléments binaires modulo 2* soit égale à 0 ou à 1

Détection d'erreurs

- exemple :
 - soit le caractère 10011001
 - on pose une parité paire de 1
 - il faut donc ajouter un bit valant 0 : 10011001 0
 - si une erreur se produit lors de la transmission :
 - 10111001 0
 - alors, le nombre de bits à 1 n'étant pas pair, on détecte qu'une erreur s'est produite
 - problème :
 - il faut ajouter un bit tous les 8 bits (12,5% de charge)
 - deux erreurs sur le même octet ne sont pas détectables :
 - 01011001 0 passera inaperçu !!!!

Détection d'erreurs

- Une autre méthode, *plus efficace*, repose sur une division de polynômes :
 - les deux parties (émetteur, récepteur) se mettent d'accord sur un polynôme (ex. de degré 16 : $X^{16}+X^8+X^7+1$) : le *générateur*
 - à partir des éléments binaires de la trame notés a_i , $i = 0 \rightarrow M-1$, M étant le nombre de bits de la trame, on constitue le polynôme de degré :
 - $M - 1$: $P(x) = a_0+a_1x+\dots+a_{M-1}x^{M-1}$

Détection d'erreurs

- Fonctionnement :
 - l'émetteur divise le polynôme issu de sa trame, par le générateur
 - le reste de cette division est un polynôme dont le degré vaut au maximum 15 :
 - $R(x) = r_0 + r_1x + \dots + r_{15}x^{15}$
 - les valeurs binaires r_0, r_1, \dots, r_{15} sont placées par l'émetteur dans la partie de contrôle de la trame

Détection d'erreurs

- à l'arrivée, le récepteur effectue le même travail
- il compare le reste qu'il a calculé avec celui se trouvant dans la partie de détection
- si les deux restes sont identiques, alors la transmission s'est bien passée
- Cette méthode détecte quasiment toutes les erreurs, mais :
 - si une erreur se glisse dans la partie de détection, on conclut à une erreur sur la partie donnée même si elle est correcte

Détection d'erreur

- Exemple de division polynomiale :
 - soit à transmettre 1101011011
 - ceci donne $P(x) = X^9 + X^8 + X^6 + X^4 + X^3 + X^1 + X^0$
 - soit le générateur 10011
 - ceci donne $G(x) = X^4 + X^1 + X^0$
 - le **résultat** de la division vaut donc :
 - ceci donne $D(x) = X^9 + X^8 + X^3 + X^1 + X^1, 1100001010$
 - le **reste** vaut alors :
 - ceci donne $R(x) = X^3 + X^2 + X^1, 1110$
- **Transmission de** : 11000010101110
 - Exercice

Détection d'erreurs

- La zone de détection d'erreurs est communément appelée :
 - Cyclic
 - Redundancy
 - Checksum
- Un autre nom courant est :
 - Frame
 - Check
 - Sequence

Topologie

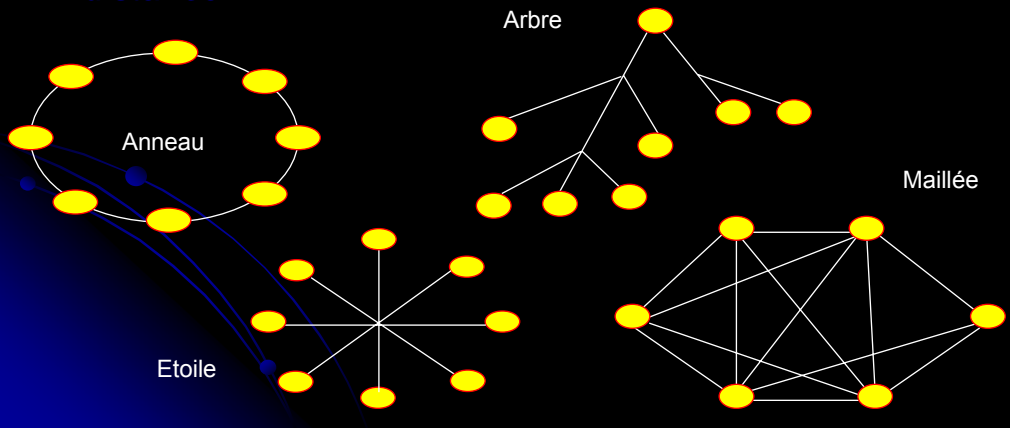
- Il existe une grande variété de topologie de réseaux. Cette topologie étant fonction du câblage posé, nous exposons ici les variantes les plus courantes
- Distinguons les topologies de type :
 - *point-à-point*
 - *diffusion*

Topologie

- Connexion *point-à-point* (point-to-point link) :
 - un certain nombre de paires d'IMP sont reliées directement entre elles par un support physique (câble, ligne téléphonique, etc.)
 - deux commutateurs qui ne sont pas connectés directement communiquent par l'intermédiaire d'un ou plusieurs autres IMP
 - chacun de ces IMP intermédiaires doit donc accepter (store) le message à transmettre et le rediriger (redirect, forward) vers le prochain IMP en direction de la destination du message

Topologie

- Cette technique de store and forward est utilisée surtout pour la mise en oeuvre des *réseaux grande distance*



Topologie

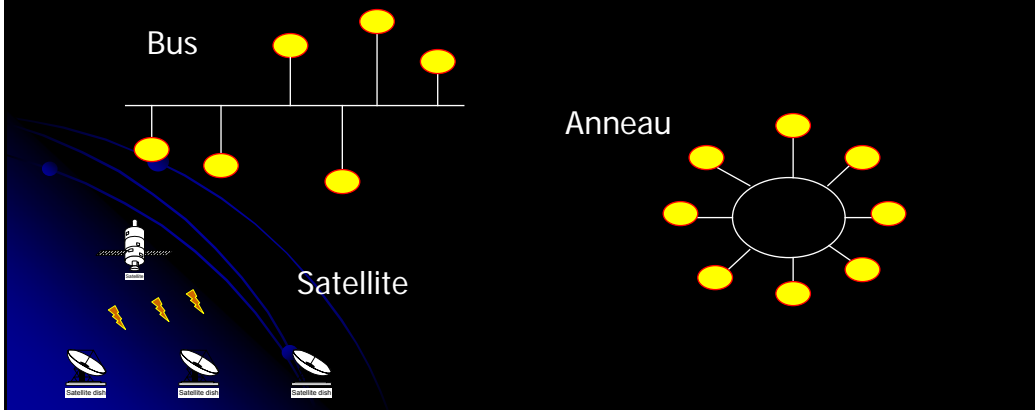
- **Diffusion :**
 - dans le cas de canaux de diffusion, le réseau de communication est partagé entre toutes les machines. Les informations (ou paquets) émises par la machine source (expéditeur) sont reçues par toutes les machines du réseau
 - pour atteindre la bonne destination, l'information concernant la machine destination (identifiée par une adresse) est stockée dans le paquet et toutes les machines non concernées ignorent simplement le paquet

Topologie

- le concept de diffusion offre aussi la possibilité d'envoyer un paquet à toutes les machines sur le réseau en utilisant une adresse destination spéciale, encore appelée adresse broadcast
- Corollaires :
 - notion d'adressage : les machines doivent avoir un identifiant sur le réseau pour savoir si elles sont le destinataire d'une communication
 - notion de partage de la ressource : qui a le droit d'émettre et quand ?

Topologie

- Technique utilisée essentiellement pour les *réseaux locaux*

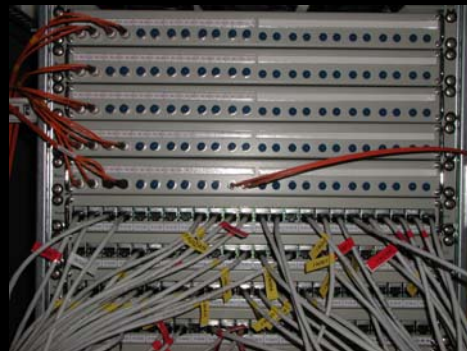


Equipement hardware de niveau 1

- A ce niveau, les équipements les plus connus sont les câbles, les **platines** (patch panel) et les **Hubs** (répéteurs)
- Leurs fonctions sont :
 - permettre l'interconnexion de plusieurs bus indépendants pour former une unité
 - transmettre directement les signaux physiques entrant dans un port sur tous les autres ports
 - amplifier, régénérer les signaux sans les modifier
 - prolongation des réseaux existants

Equipement hardware de niveau 1

- **Patch panel** :
 - il s'agit d'un équipement qui permet d'organiser une armoire réseau (rack)
 - Il reçoit les câbles de toutes les prises réseaux (ou téléphone)
 - Il est relié à d'autres équipements de niveau 1 (hub) ou à des équipements de niveau 2



Equipement hardware de niveau 1

- **Hub** (concentrateur) :

cet équipement permet de regrouper plusieurs équipements sur un point central

il est (était) à la base de (presque) tout LAN Ethernet et permet la configuration technique d'un LAN avec micro-bus tout en ayant une distribution en étoile des machines



Equipement hardware de niveau 1

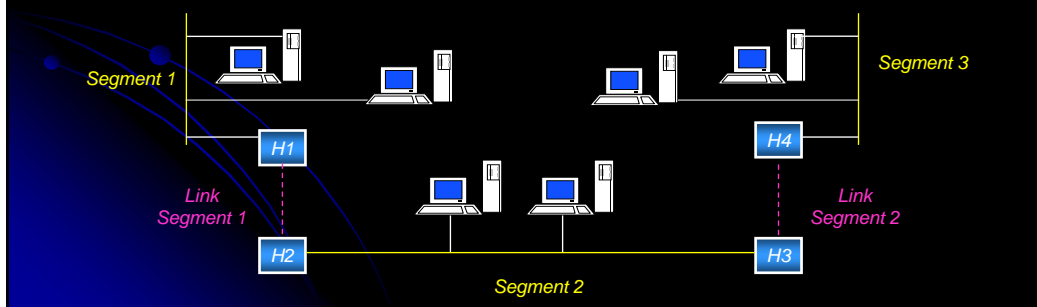
- Cet équipement ne possède qu'une intelligence locale minimale :

- pas de filtrage
- pas de transformation
- pas de correction
- pas de 'routage'



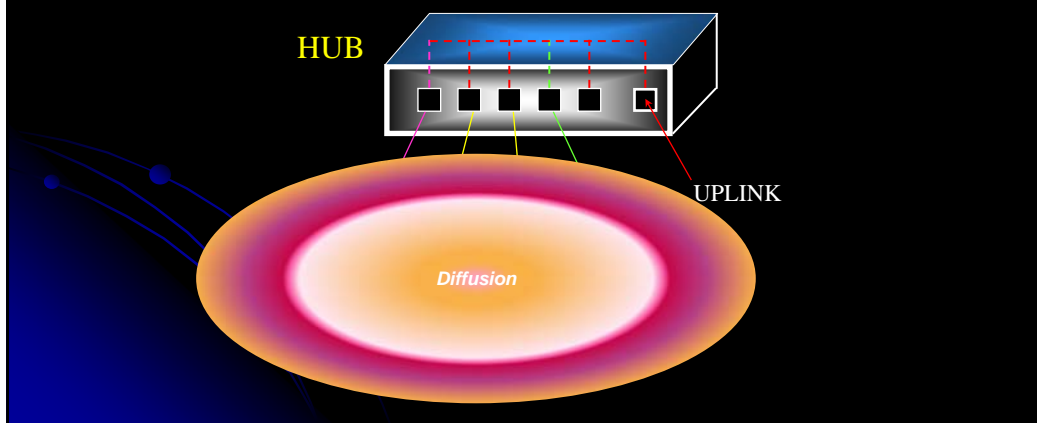
Equipement hardware de niveau 1

- La longueur maximale d'un LAN 10Base5 est de :
 - 2.500 mètres (**500+500+500+1000**)
 - le hub est (était) souvent utilisé pour y arriver



Equipement hardware de niveau 1

- Communication entre deux machines

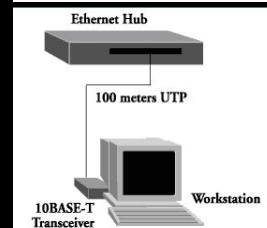


Équipement hardware de niveau 1

- **Transceiver** :
transmission/réception

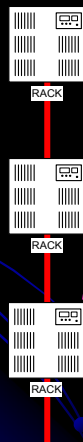
cet équipement permet d'utiliser une interface commune (AUI) quelque soit le type de support.

Exemple : conversion de signal TP/FO



Câblage

Distribution
verticale
(backbone)



Répartiteur

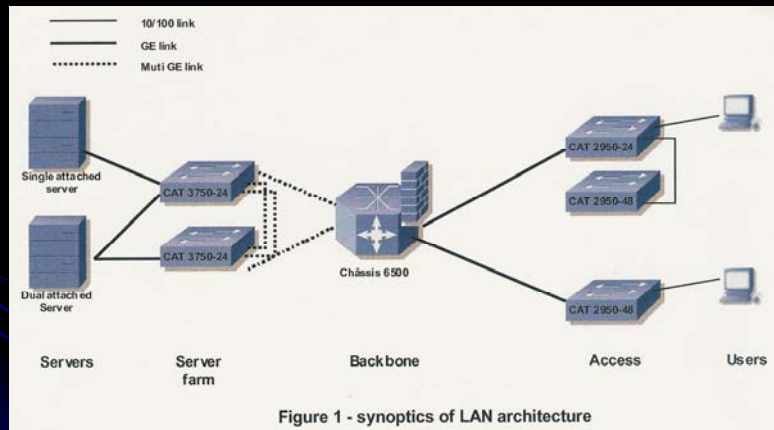
Distribution
horizontale

2ème
étage

1er
étage

RDC

Architecture d'un LAN



ADSL

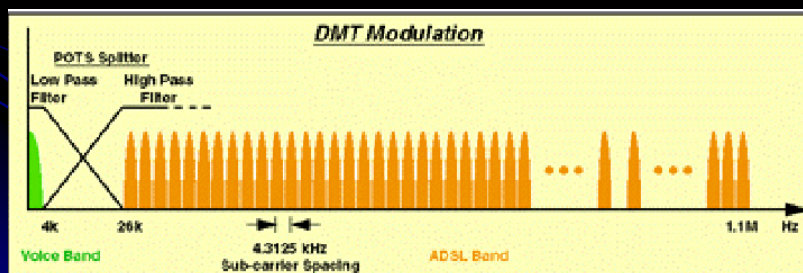
- Asymmetric Bit Rate Digital Subscriber : ligne numérique d'abonné à débits asymétriques
- Basé sur le RTC
- Origine :
 - sur les lignes téléphoniques arrivant chez l'abonné **moins de 1%** de leurs capacités sont utilisées
 - idée de transmettre la TV par ligne cuivre (concurrence)
 - la transmission de la voix se fait dans la bande des 0 à 4 kHz
 - or le fil de cuivre peut supporter une bande passante d'environ 1,1 MHz si la distance ne dépasse pas 5,5 km

ADSL

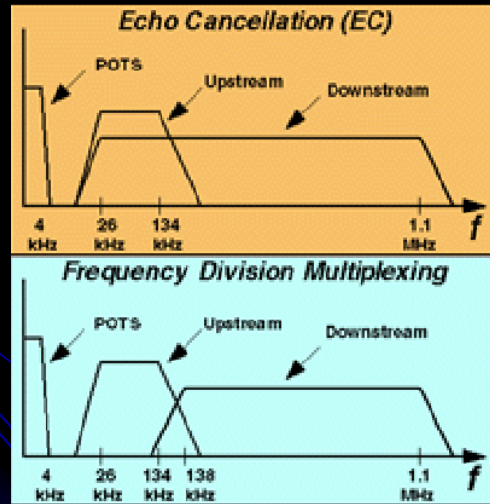
- ADSL conserve :
 - la bande des **0-4 kHz** pour la **voix**
 - et utilise celle de **25kHz à 1,1MHz** pour les **données**
- La bande de transmission de données est divisée en 2 bandes :
 - **canal montant** (abonné vers réseau) :
 - bande passante de 25 kHz à 200 kHz (débit de 16 à 640 Kbit/s)
 - **canal descendant** (réseau vers abonné) :
 - bande passante de 200kHz à 1,1 MHz (débit de 500 Kbit/s à 8,2 Mbit/s)

ADSL

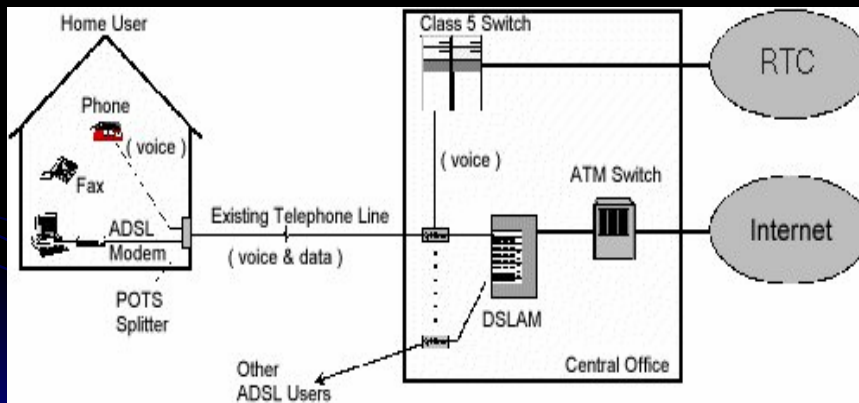
- Technique de modulation DMT (Discrete Multitone) :
 - découpage de la BP en 256 canaux de 4,3 kHz
 - négociation des débits selon la qualité de la ligne



ADSL



ADSL



ADSL little

- Version simplifiée de ADSL :
 - **diminution de 256 à 127** du nombre de sous-canaux
⇒ diminution de la bande passante totale et des débits
 - canal **montant** : 512 Kbit/s maximum
 - canal **descendant** : 1,5 Mbit/s maximum
- Rend plus facile les techniques du traitement de l'écho car pas de recouvrement