

Réseaux informatiques : télécoms & réseaux architectures et concepts fondamentaux

Notes de cours de réseaux : Partie I

(Novembre 1999, maj : 01/ 2001, 01/2002, 01/2004)

Christian Attiogbé

Faculté des sciences et des techniques de Nantes

Christian.Attiogbe@univ-nantes.fr

www.sciences.univ-nantes.fr/info/perso/permanents/attiogbe/

Réseaux Informatiques

– Equipe pédagogique - 2007/2008

C. ATTIOGBÉ,

Pierrick PASSARD,

Anthony PRZYBILSKY, Anthony VENTRESQUE.

Réseaux Informatiques (2007/2008)

- **Objectifs** : architectures de réseaux
 - Bases nécessaires pour la mise en place de systèmes informatiques en réseau
 - éléments de télécoms (supports et transmission)
 - Compréhension des normes, protocoles, fonctionnement des équipements, interconnexion
- **Cours(S6I04)** : 15h (~ 11 séances de 1h20)
- **Travaux dirigés** : 20h (15 séances de 1h20 soit 8 sem.)
- **Travaux pratiques** : 8h (~ 6 séances de 1h20)
(Salle 46, Salle Systèmes et Réseaux)

Contenu prévisionnel

- Système de communication
- Concepts fondamentaux
- Transmission de données
- Modèle de référence OSI de l'ISO, Modèle IEEE
- Détection des erreurs
- Réseaux locaux : Ethernet, Token Ring
- Modèle Internet et le modèle IEEE
- Interconnexion de réseaux : équipements, protocoles
- Réseaux mobiles : équipements et architectures

Bibliographie

- A. Tanenbaum. *Réseaux : Architectures Protocoles Applications*. InterEditions, 1995.
- L. Toutain. *Réseaux Locaux et Internet*. Hermès, 1996
- K-L. Thai, V. Vèque, S. Znaty. *Architecture des réseaux haut débit*. Hermès, 1995
- D. Comer. *TCP/IP : Architecture, Protocoles, Applications*. InterEditions, 1992
- G. Pujolle. *Les réseaux*. Eyrolles 1995
- M. Maiman. *Télécoms et réseaux*. Masson ,1994.

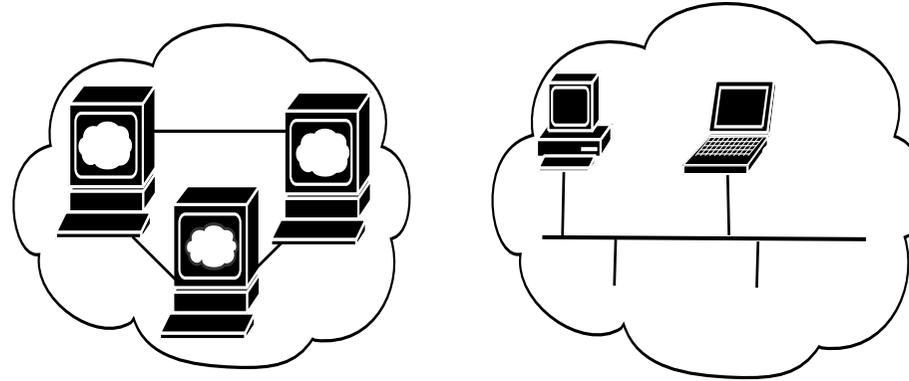
Bibliographie (suite)

- R. Dapoigny, *Les transmissions dans les réseaux*, gaétan morin éditeur, 1999
- R. Dapoigny, *Les protocoles dans les réseaux informatiques*, gaétan morin éditeur, 1999
- D. Dromard, F. Ouzzani et D. Seret, *Réseaux informatiques, cours et exos. 2 tomes*, Eyrolles, 1994

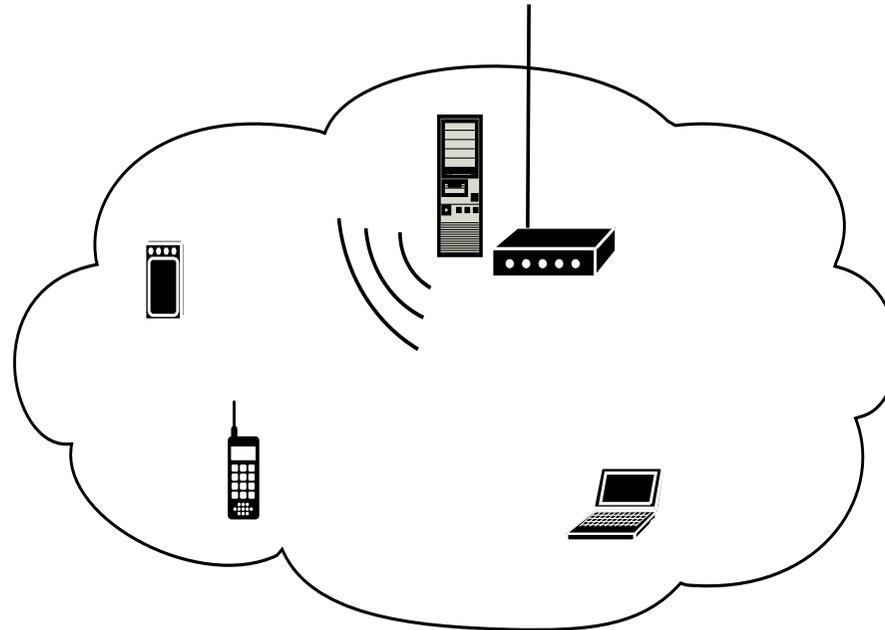
Première partie : Plan

1. Généralités
2. Caractéristiques : support, topologie, accès
3. Transmission de données
4. Equipement et circuit de données, nature des liaisons
5. Codage, Modulation
6. Commutation
7. Multiplexage

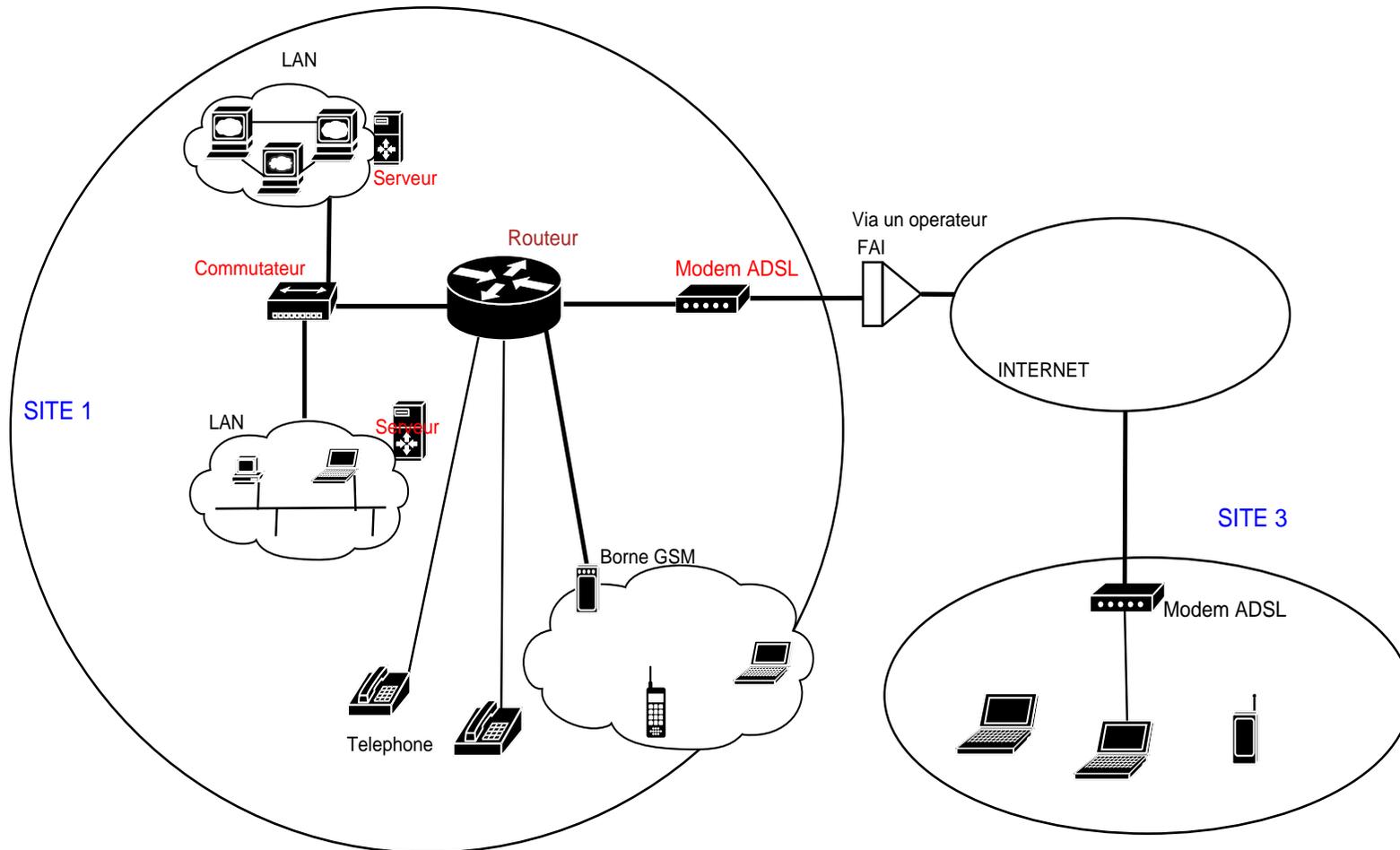
Exemple de réseaux



Exemple de réseaux



Exemple de réseaux



Exemple de réseaux (Renater)

Partie métropolitaine :

RENATER composé de liaisons à 2,5 Gbps qui relient des noeuds régionaux RENATER (NR).

Les sites régionaux sont reliés à ces NR

- soit directement
- soit via des réseaux des collectivités (réseaux régionaux et métropolitains)

RENATER assure la continuité territoriale avec les DOM-TOM

RENATER est relié

– au réseau paneuropéen GEANT (multi gigabit), recherche

– au réseau américain via sfinx

...figure venant de RENATER

Rapide aperçu historique

1968

Mise en place de **ARPANET**

(Advanced Research Project Agency NETwork)

Etude de la connexion de machines hétérogènes.

Quarantaine de nœuds (IMP) reliés par des **lignes téléphoniques**

1971

Mise en place de **ALOHA** à l'Université de Hawaï.

(7 campus, 4 îles)

Liaisons radio, émission libre pour les terminaux,

possibilité d'émission simultanée, **collision, réémission**

1972	CADUCEE en France, ystème à commutation de circuits(un circuit établi pendant une transmission) , 2 autocommutateurs (Paris, Lyon), une quinzaine de concentrateurs en province.
1972	Expérimentations avec CYCLADES(ordinateurs hétérogènes) par l'IRIA ; avec la participation de : PTT, CII/HB, CERT, Universités, Ecoles, Instituts

1974	Mise en place et diffusion des premières versions de SNA (System Network Architecture) par IBM.
1975	Ouverture du réseau TRANSPAC en France. Réseau composé de nœuds assurant les fonctions de concentration et de commutation de données. Les noeuds sont reliés entre eux par un réseau fortement maillé. Utilisation du circuit virtuel.

1980	Création de MAP Task force à l'initiative de General Motors pour développer un réseau industriel universel capable de satisfaire tous les besoins au niveau des réseaux d'atelier et des réseaux d'usine.
1984	Lancement en août du satellite TELECOM 1-A par la fusée Ariane. Le service correspondant TRANSDYN est ouvert au public 4 mois après.
1984	Normalisation d'un service de courrier électronique (série X400) compatible OSI par le CCITT (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique)

1984	5 ans après la plupart des pays industrialisés ont mis en œuvre un service public de courrier électronique conforme à X400.
1987	Installation de NUMERIS (Réseau numérique à Intégration de Services) en France.
1992	Expérimentation du téléphone mobile, Interconnexion du réseau national de la recherche (RENATER) avec les USA (NSF Net), la Grande Bretagne (Janet) et la suisse (CERN). Ouverture commerciale de ITINERIS

Systeme de communication

C'est l'ensemble des **moyens matériels et logiciels** permettant la communication entre des utilisateurs (des terminaux ou des applications).

Le rôle d'un système de communication est de :

- **transmettre des informations de tous types**
données, textes, messages, voix, images, graphiques
- * à des utilisateurs nombreux et de tous genres
humains, terminaux, applications
- * avec des soucis de
prix de revient, qualité, sécurité, simplicité, efficacité

Classification des réseaux

Les réseaux peuvent être classés selon plusieurs critères :

- **caractéristiques physiques** : support, débit, délai, etc
- **caractéristiques logiques** : protocoles, synchronisme, qualité de service, etc
- **portée géographique** : locale, nationale, internationale, etc
- **nature** : public, privatif, privé
- **caractéristiques économiques** : coût de connexion, coût de communication, coût et délai d'installation, disponibilité, procédure d'établissement de communication

Classification en fonction de la distance

	Réseau public (WAN)	Réseau fédérateur (MAN)	Réseau local (LAN)
Taille géographique	quelques milliers de kilomètres	de 1m à 100 km	1m à 2 km
Nombre d'abonnés	plusieurs milliers	de 2 à 1000	2 à 200
Opérateur	différent des utilisateurs	regroupement d'utilisateurs	l'utilisateur lui-même
Facturation	volume et durée	forfait	gratuit
Débit	de 50b/s à 2Mb/s	de 1 à 100Mb/s	1 à 100Mb/s
Taux d'erreur	de 10^{-3} à 10^{-6}	inférieur à 10^{-9}	inf. à 10^{-9}
Délai	inférieur à 0,5s	de 10ms à 100ms	1 à 100ms

Distances et type de réseaux

Distance entre les processeurs	Localisation processeurs	Type de réseau
0,1 m	circuit imprimé	machine flot de données
1 m	un ordinateur	multiprocesseur
10 m	une salle	réseau local
100 m	un immeuble	réseau local

1 km	un campus	réseau métropolitain
10 km	une ville	réseau métropolitain
100 km	une région	réseau grande distance
1000 km	un continent	réseau grande distance
10000 km	la planète	WAN, satellite et câbles sous-marins

Quelques exemples d'applications des réseaux

1. La **saisie de données**. On relie les appareils de saisie de données (écran-clavier, **terminal bancaire, scanner, lecteur**, etc) à un ordinateur. Ces appareils peuvent être **géographiquement distants**.
2. L'**interrogation transactionnelle**. C'est le type d'application où un utilisateur interroge/modifie **une base de données gérée par un ordinateur distant**. (Le temps de réponse à une question doit être court).

Quelques exemples d'applications des réseaux

3. Le **traitement en temps partagé (timesharing)**. C'est le type d'application où un grand nombre d'utilisateurs est connecté simultanément à un même ordinateur qui leur alloue à des intervalles rapprochés des tranches de temps.
4. Services de **partage de fichiers et de périphériques**,
5. Services de **transfert de fichiers**,
6. **Systemes d'exploitation répartis (distribués)**,

Quelques exemples d'applications des réseaux

7. La **messagerie électronique**.
8. Soumission de **travaux à distance (Remote Batch Processing)**.
9. Les **systèmes industriels (Sensor Based Systems)**. Un ou plusieurs ordinateurs reliés à des **capteurs, détecteurs, actionneurs, robots**, permettant la commande en ligne de processus industriels.

Quelques exemples d'applications des réseaux

10. **Télé médecine,**
11. **Internet et ses applications** (autoroutes de l'information, commerce électronique, etc),
12. **Multimédia.**

Création d'un système de communication intersite sans ligne louée

Source : 01 Réseaux N. 134, décembre 2003

Description de l'existant : Dans le temps, des sites se sont trouvés répartis géographiquement ; des applications entre les sites fonctionnent avec des liaisons hétéroclites. La structure de chaque site a évolué indépendamment des autres.

Besoin exprimés : On veut interconnecter 4 sites pour les accès réseaux de données et voix.

un système de communication intersite

On veut

- un **PABX** autonome sur chaque site
- un **accès internet** autonome sur chaque site
- une **interconnexion voix-données** des quatre sites
- une numérotation à trois chiffres
- une boîte vocale sur chaque site
- l’affichage du numéro de l’appelant interne
- la **suppression des abonnements particuliers**
(lignes spécialisées auparavant louées à FT pour relier 2 sites, accès internet sur les sites, Numeris, etc)

un système de communication intersite

1 Solution :

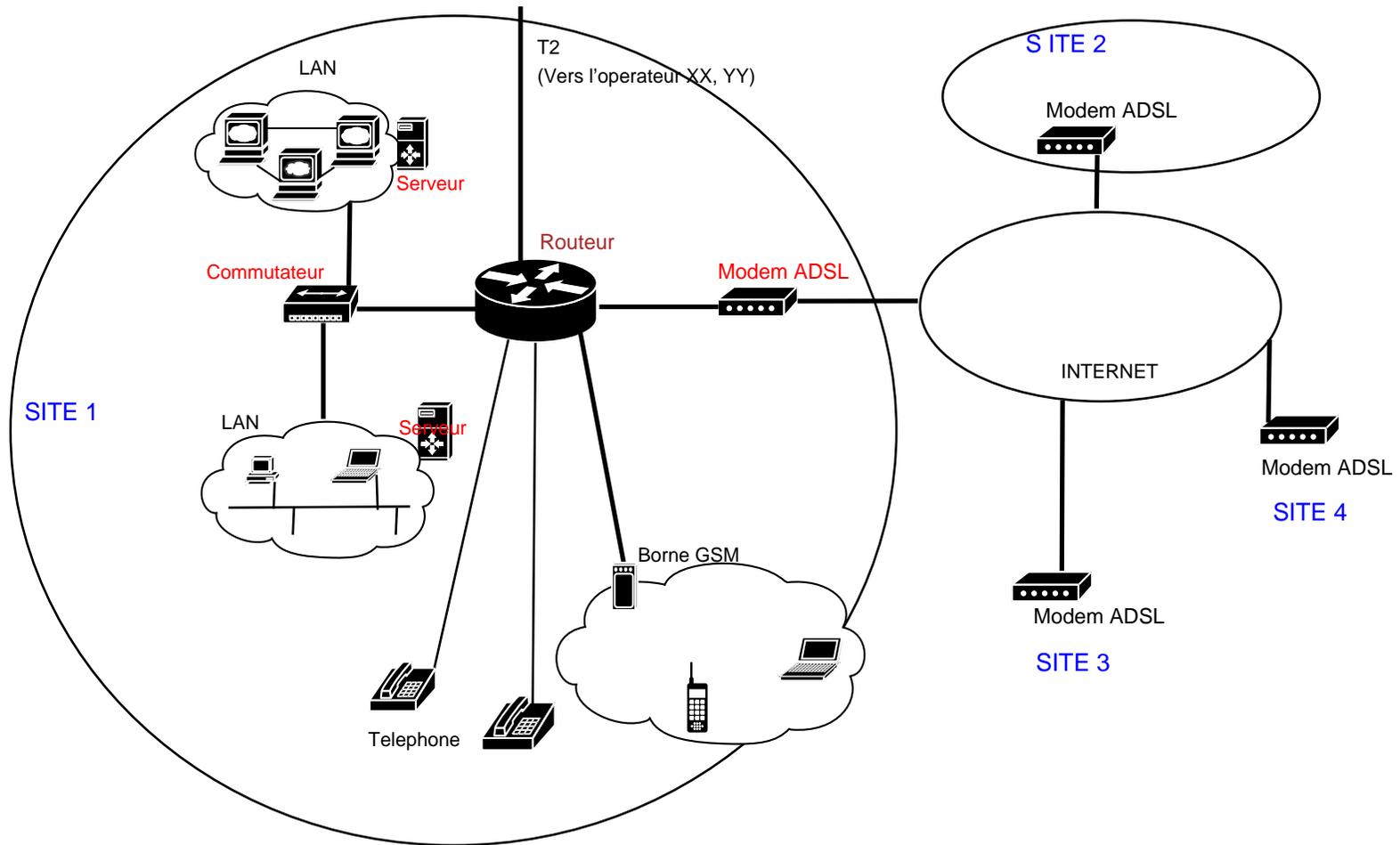
- 1 **commutateur** ALCATEL OmniPCX Office sur chaque site,
- Téléphonie traditionnelle pour les lignes sortants et *intrasites*
- Voix sur **IP** par le biais des **connexions ADSL** pour les communications *intersites*

(les connexions ADSL intègrent également l'accès à internet et aux applications informatiques partagées par les sites).

Avantages :

- On garde tout le **cablage existant**
- On se passe des **appareils RNIS**, on n'achète pas de postes téléphoniques IP (coûteux)
- On supprime les **lignes louées**

un système de communication intersite



Concepts généraux

Les bases,
le vocabulaire,
les notions indispensables,
les caractéristiques générales des réseaux locaux,
et plus, ...

Généralités

- Un **réseau** est constitué par un certain nombre de **nœuds** interconnectés par des **lignes de transmission**
- Les **nœuds** sont des *centres de commutation de données* **CCD (ou DSE = Data Switching Exchange)**
- L'ordinateur est déchargé de la gestion du réseau et donc des communications (qui se font dans les couches bases du réseau),

- Les **contrôleurs de communications**, qui sont des nœuds du réseau, peuvent assurer 3 fonctions :
 - Concentrateur de terminaux,
 - Commutateur de données,
 - Frontal d'un ordinateur.
- Les **contrôleurs de grappes (Cluster controller)** peuvent regrouper certaines fonctionnalités de plusieurs terminaux de même type localisés dans le même endroit.

Généralités : Supports, topologie

Différentes approches pour les cours : **positionnement dans le modèle des 7 couches**, positionnement par rapport aux types de réseaux (LAN, WAN, etc)

- Quels supports choisir ?, quelles sont les caractéristiques des supports ?, quelles topologies pour quel support ? , etc
- **Etude par rapport aux types de réseaux**

N'ayant pas encore vu le **modèle des couches**, **nous allons faire l'étude par rapport aux réseaux locaux** (vus dans la classification).

Caractéristiques générales des réseaux (locaux)

Dans la **classification** des réseaux, une catégorie de réseaux présentant certaines **caractéristiques particulières** est distinguée : **les réseaux locaux (LAN)**.

Elle peut nous servir de repère pour la présentation des caractéristiques des réseaux.

De manière générale, **on caractérise un réseau local** par :

- son **support de transmission**,
- sa **topologie**,
- sa **méthode de contrôle d'accès** au support.

Ces caractéristiques (**support, topologie, accès**) sont détaillées dans la suite.

Dans la mise en place des réseaux, ces caractéristiques sont **étroitement dépendantes les unes des autres**.

Par exemple il est **impossible d'utiliser un type de support** (ex. fibre optique) **avec une certaine topologie** (ex. bus) **et un type d'accès** (ex. aléatoire).

Chapitre : Généralités - Supports

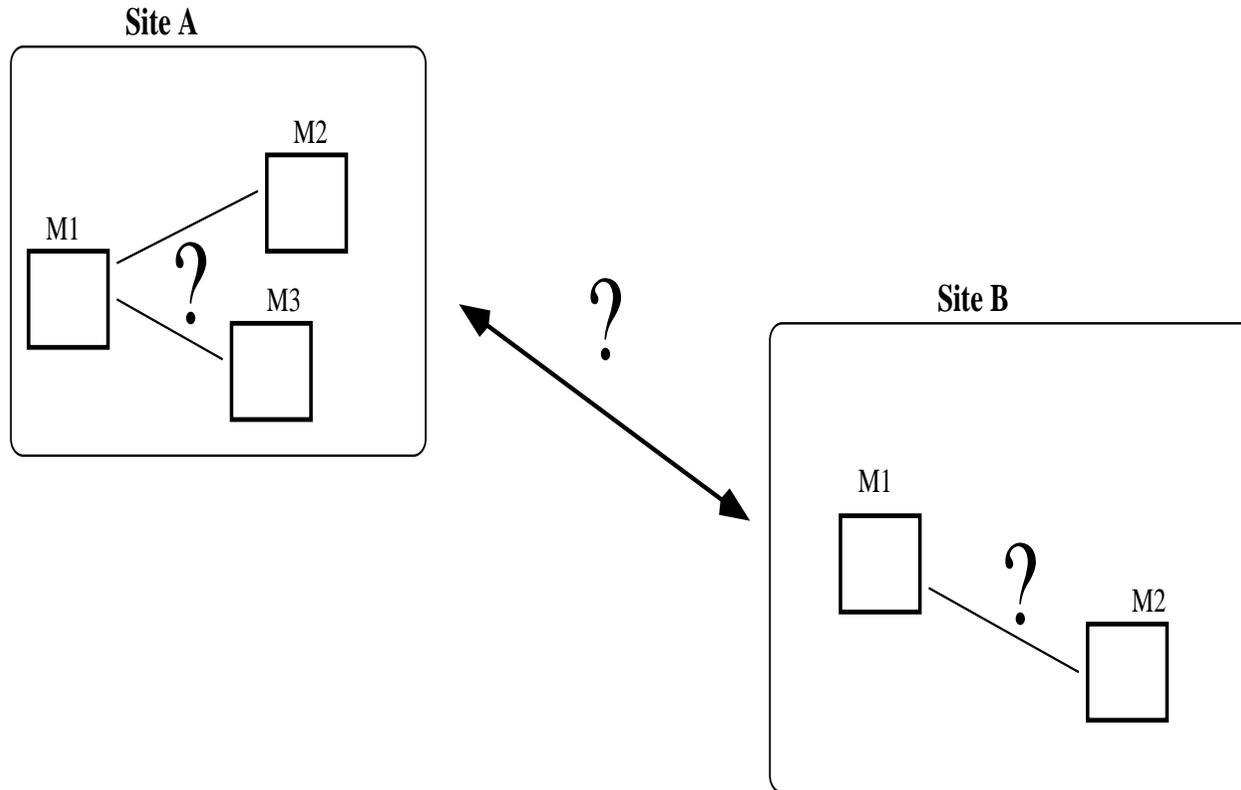
Caractéristiques des réseaux locaux (base des réseaux)

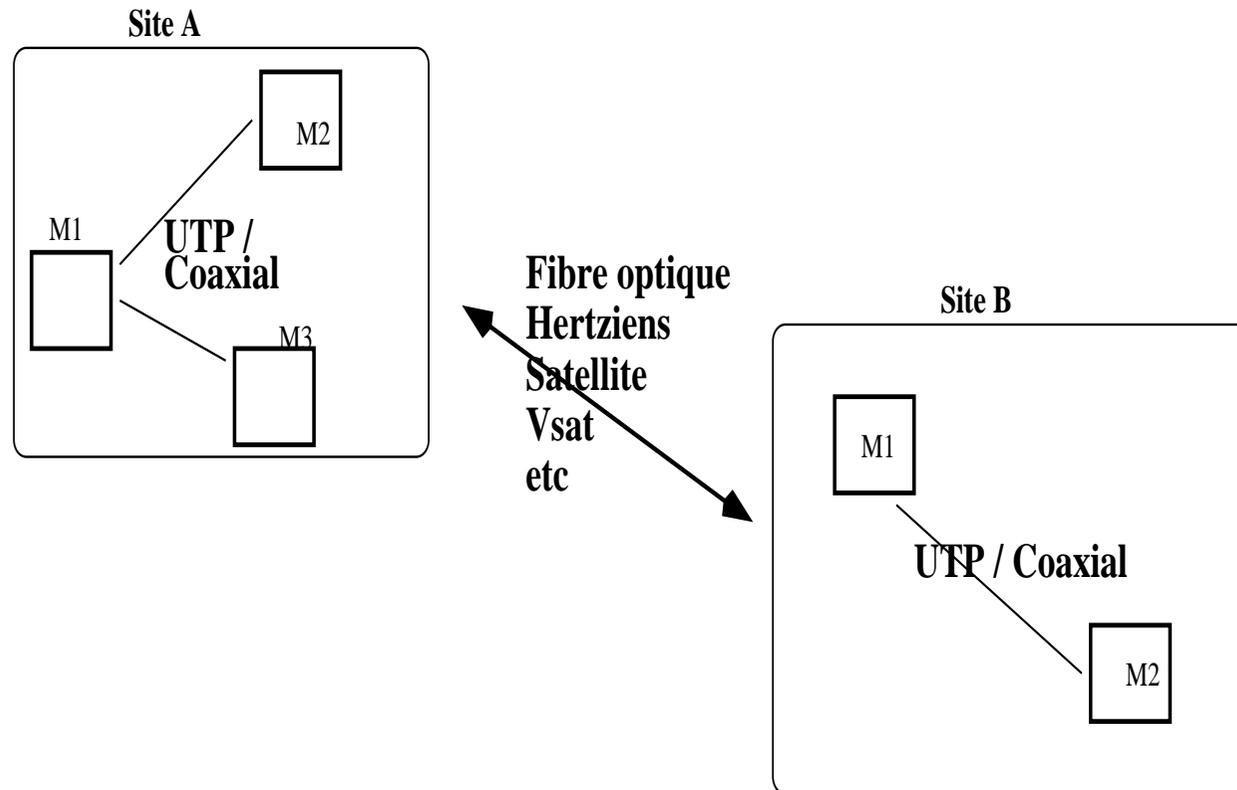
- Support
- Topologie
- Méthode d'accès

Les supports de transmission

Motivations :

- Mise en place d'une infrastructure réseau-télécom,
- choix de câblage pour un réseau local et pour l'interconnexion de réseaux,
- Intégration d'une solution informatique dans une infrastructure télécom,
- Rédaction/analyse de cahier de charges réseaux





UTP (Unshielded Twisted Pair) : Paire torsadée non blindée

La paire torsadée

La **paire torsadée** ou **téléphonique** est le média le plus utilisé/répandu.

La paire peut être **blindée** (*shielded*) pour **améliorer ses performances** (bande passante en fréquence).

Les signaux véhiculés sur la paire torsadée peuvent parcourir des dizaines de kilomètres sans *amplification* ou **régénération**.

Les paires torsadées peuvent être utilisées pour **transmettre des signaux binaires** (numériques, digitaux) ou des signaux **analogiques**.

Le câble coaxial

Le **câble coaxial**, comme celui des antennes de TV, est constitué

- d'un brin conducteur central, isolé par une gaine, et
- d'une **tresse métallique conductrice**, entourant cette dernière de façon concentrique.

Le tout est protégé par une gaine externe **parfois blindée**.

Il en existe 2 types.

Les deux types de câble coaxial :

- **câble d'impédance 50 ohms** utilisé pour la transmission de signaux numériques (en bande de base)
- **câble d'impédance 75 ohms** utilisé pour la transmission de signaux analogiques.

☞ Les caractéristiques électriques sont meilleures que la paire torsadée et le débit binaire dépasse 10 Mbit/s sur 1km pour la transmission en bande de base.

Les "Cabling System"

1. IBM Cabling System.

Système de câblage de IBM. Il se caractérise à la fois par sa simplicité, sa robustesse et une grande variété de formules de câbles.

3 types de câbles sont très utilisés :

- le type 1 (deux paires torsadées blindées),
- le type 2 (deux paires torsadées blindées plus quatre paires téléphoniques),
- le câble coaxial.

2. Bull Cabling System.

Une paire proche de la paire téléphonique.

La connectique est compacte et souple (connecteur RJ45).

Moins cher que les concurrents.

La fibre optique

Le principe est la transmission de signaux binaires sous forme d'impulsions lumineuses.

1 = lumière, 0 = absence de lumière.

On utilise du fil de verre très fin comprenant le cœur de propagation et une gaine externe maintenant la lumière à l'intérieur du cœur.

L'émission de la lumière se fait par LED (diode électroluminescente) ou par diode laser.

Avantages par rapport aux lignes métalliques : débits plus importants, insensibilisé au bruit.

Ondes en transmission à vue directe

- Transmission par faisceaux hertziens,
- rayons infra-rouges,
- rayons laser et
- ondes électromagnétiques.

Les ondes radioélectriques correspondent à des fréquences comprises entre 10Khz et 500Khz.

Les faisceaux hertziens

Un **faisceau hertzien** est un faisceau d'ondes radioélectriques ($500\text{KHz} < \text{fréquence} < 20\text{GHz}$)

permet la **transmission en ligne droite**, à l'air libre, d'informations entre deux points fixes appelés *stations relais*.

Les faisceaux hertziens sont **utilisés pour la transmission de données, de programmes TV, et les communications téléphoniques multiplexés** en fréquence ou en temps.

Les débits peuvent atteindre 140Mbits/s (environ 2000 voies téléphoniques).

Les voies radioélectriques

Elles assurent la transmission d'ondes non dirigées.

La principale difficulté de transmission réside dans le fait qu'une onde pourra suivre une voie terrestre et une ou plusieurs voies ionosphériques.

Les satellites

Les satellites de communication

Les réseaux de VSAT

(Very Small Aperture Terminal ou Antenne de petit diamètre).

Réseaux de microantennes. Ils comportent typiquement une station maîtresse reliée par satellite à des microantennes d'émission/réception installées sur les sites dispersés de l'utilisateur.

Comparaison des supports

	Débits offerts	Immunité/ bruit	Coût	Affaiblissement	...
Paires torsadées (plusieurs catég.)					
Cable coaxiaux					
Fibres optiques					
...					

Support = filtre

Les supports de transmission se comportent comme des filtres.



Fig. 1 – Transmission d'un signal par un filtre

Défauts dans les transmissions d'un signal :
bruit, affaiblissement,
distorsion de phase

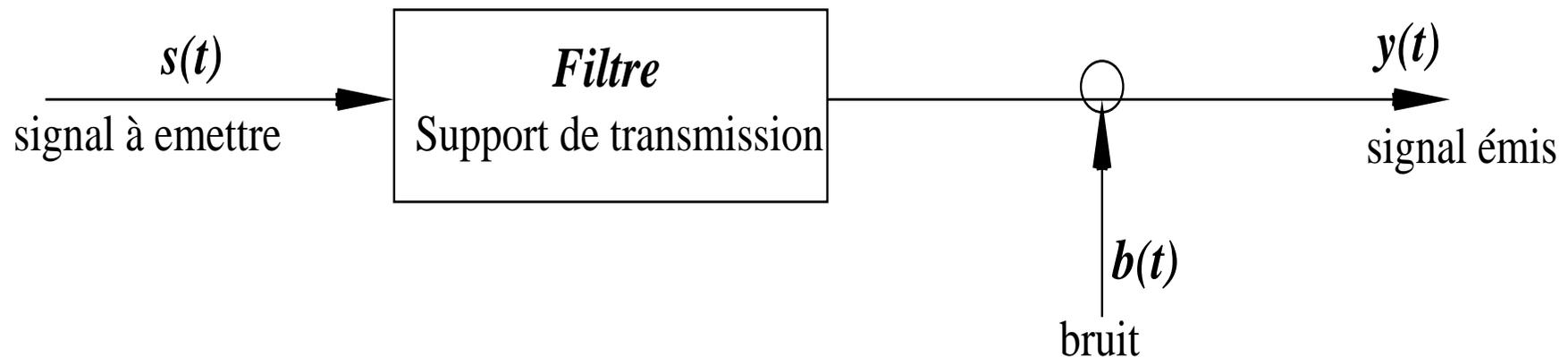


Fig. 2 – Transmission et bruit

Le support peut véhiculer une plage de fréquences assez large.

Les caractéristiques du filtre permettent d'exploiter les sous-plages voulues.

- Filtres **passé-haut**
- Filtres **passé-bas**

Nature des signaux

Représentation mathématique

$$s(t) = A \sin(\omega.t + \phi)$$

A : Amplitude maximale du signal

ω : la pulsation

($2\pi f$ ou f est la fréquence, $f = 1/T$, T la période)

t : le temps

ϕ : la phase

Pour transmettre de l'information binaire, on modifie dans le temps une ou plusieurs de ces caractéristiques, A , f , ϕ .

on parle de

- modulation d'amplitude,
- modulation de phase,
- modulation de fréquence.

Caractéristiques des supports

Bande passante

C'est la plage des fréquences que laisse passer le support physique (sans affaiblissement).

On utilise aussi la notion de **gain** pour la définir.

bande passante : plage de fréquences ou le gain est nul.

Le gain : c'est le rapport entre les densités spectrales du signal après et avant transmission.

Exemple :

Bande passante de la ligne téléphonique : 300Hz à 3400 Hz.

Tout support de transmission est caractérisé par sa bande passante.

Bande passante à N dB (décibels) :

$$N = 10 \log_{10} (P_S/P_B)$$

avec P_S : Puissance du signal et

P_B : Puissance du bruit

La **bande passante à 3db** correspond à un rapport des puissances tel que $P_S/P_B \geq 2$;

ce qui définit la **bande de fréquences** dans laquelle la puissance du signal est au pire égale à la moitié du signal émis.

Débit binaire, rapidité de modulation, etc

- Capacité théorique d'un canal de transmission :
formule de **Shannon**

$$D = W \log_2 (1 + S/B) \quad (bit/s)$$

W est la largeur de la bande passante.

La puissance du signal est inférieure ou égale à S .

B est la puissance du bruit additif. Sa valeur est constante dans la bande utile.

Caractéristiques des supports

- **Intervalle significatif**, noté T : temps pendant lequel les caractéristiques du signal à transmettre ne sont pas modifiées. C'est la durée d'un bit.
- **Instant significatif** :
instant d'échantillonnage du signal transmis.

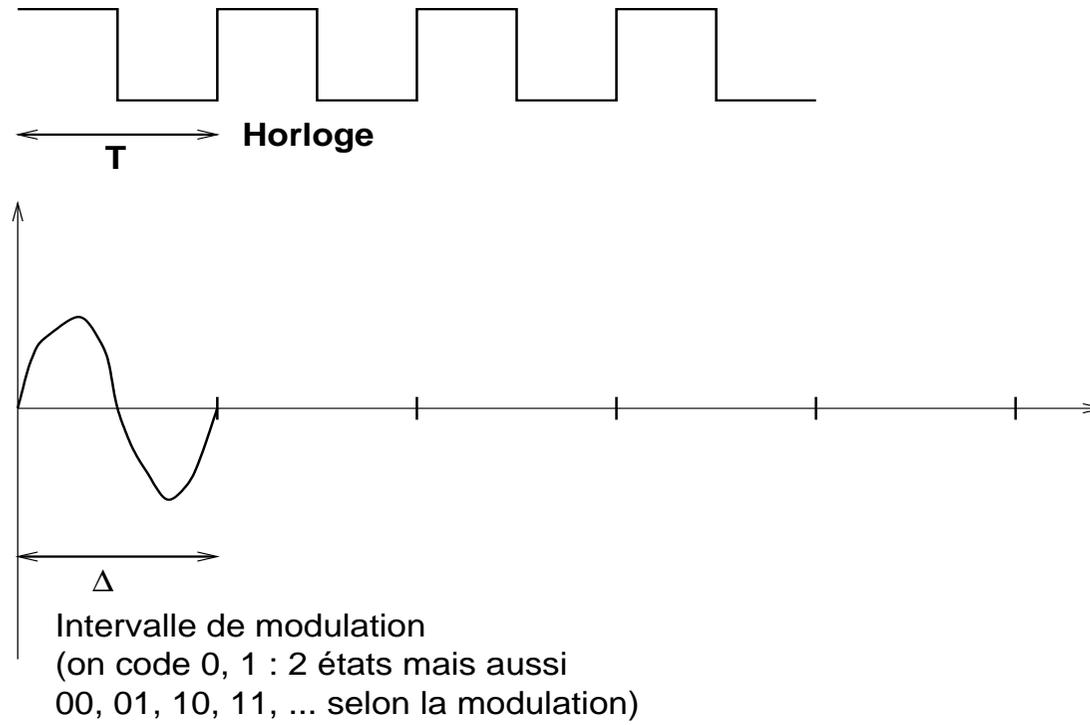


Fig. 3 – Intervalle significatif, Intervalle de modulation

Caractéristiques des supports

- **Valence**, notée V :
nombre d'états significatifs distincts employés dans une modulation pour caractériser les éléments du signal à transmettre.

Signal binaire : 2 états, $V=2$

Signal numérique : 2^n états si n bits utilisés pour coder,
 $V=2^n$

– **Rapidité de modulation**, notée R :

Nombre d'unité d'information traitée par unité de temps.

C'est une caractéristique physique de la ligne.

Son unité est le **baud**.

C'est l'inverse de l'intervalle de modulation noté Δ .

L'intervalle de modulation correspond à la durée d'un état de modulation (pas toujours 1 bit).

$$R = 1/\Delta$$

Caractéristiques des supports

– **Débit binaire**, noté D :

Pour un signal numérique, on appelle débit binaire, la quantité d'informations par unité de temps émise à la source.

Unité : **bit / s**.

(Il est inverse de la durée d'un élément binaire ou intervalle significatif (T)) :

$$D = 1/T$$

Exemples de débits bruts pour quelques signaux numériques

- signal de parole : 64 kb/s
- visioconférence couleur : 100 Mb/s
- télévision couleur : 204 Mb/s

On peut toujours calculer un débit quand on a la quantité d'octets (Nb) à émettre et la durée de l'émission (t_{emis}) à partir d'une source.

$$\frac{Nb \times 8}{t_{emis}}$$

Caractéristiques des supports

– Relations entre R et D

$$R = 1/\Delta$$

$$D = R \log_2 V$$

Critères de Nyquist

H. Nyquist prouve (1924) que la **rapidité de modulation maximale admissible sur un canal de largeur de bande W est égale à $2W$** (approximativement).

Pour un **canal de transmission sans bruit** qui transporte un signal analogique caractérisé par une bande passante de W Hz, **Nyquist a montré que la rapidité de modulation admet une borne supérieure** qui est liée à la bande passante.

Elle est exprimée en Hertz !

$$R = 2W$$

Donc, pour garder toutes les valeurs caractéristiques d'un signal, il faut l'échantillonner au minimum à deux fois la fréquence supérieure de sa bande passante.

Pour un canal bruité, le débit maximum admissible est

$$D_{max} = 2 * W \log_2 V$$

en utilisant le fait que $D = R \log_2 V$

Topologie des réseaux

La topologie d'un réseau décrit la configuration selon laquelle ses stations sont interconnectées via le support de transmission.

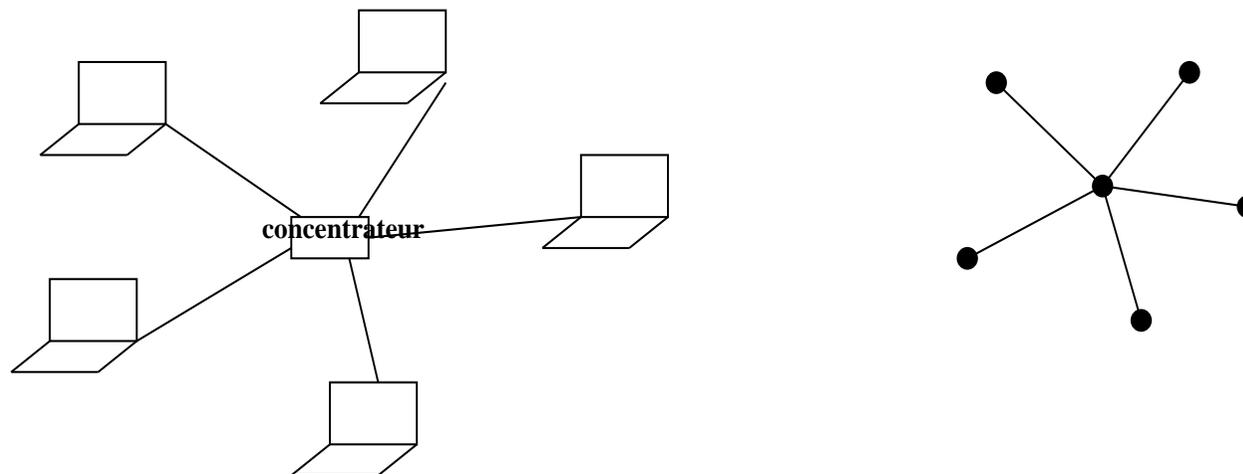


Fig. 4 – Topologie en étoile

Cablage en RJ45 (paire torsadée) + hub (commutateur)

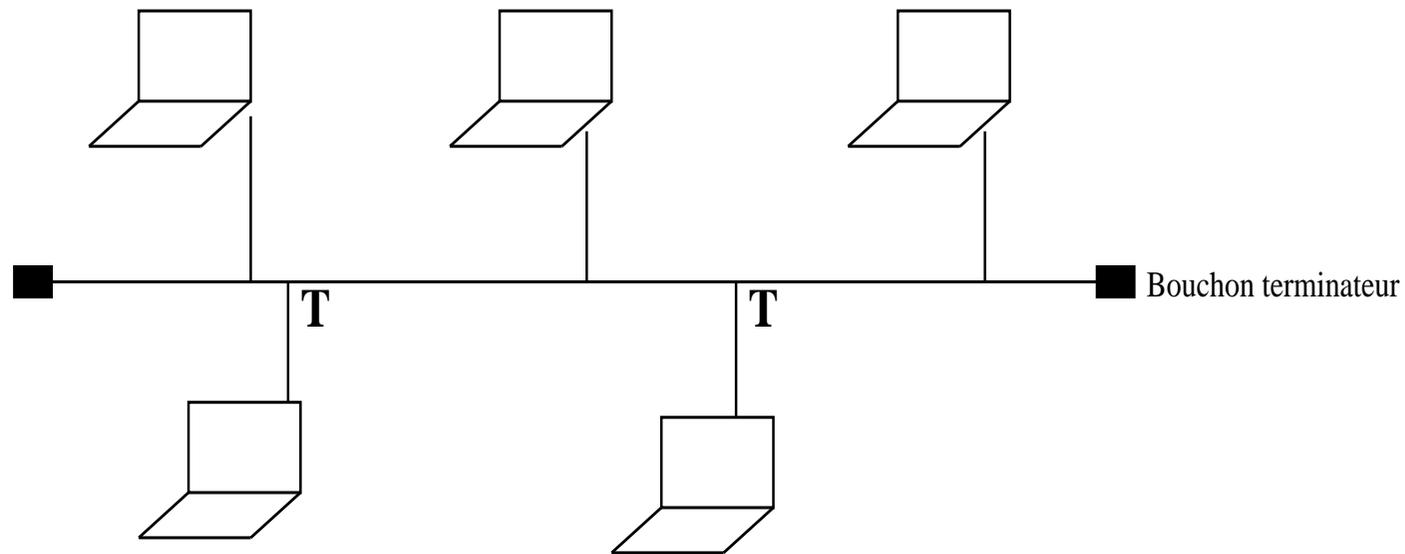


Fig. 5 – Topologie en bus

Cablage en BNC (cable coaxial), + T de connexion + Bouchons de terminaisons

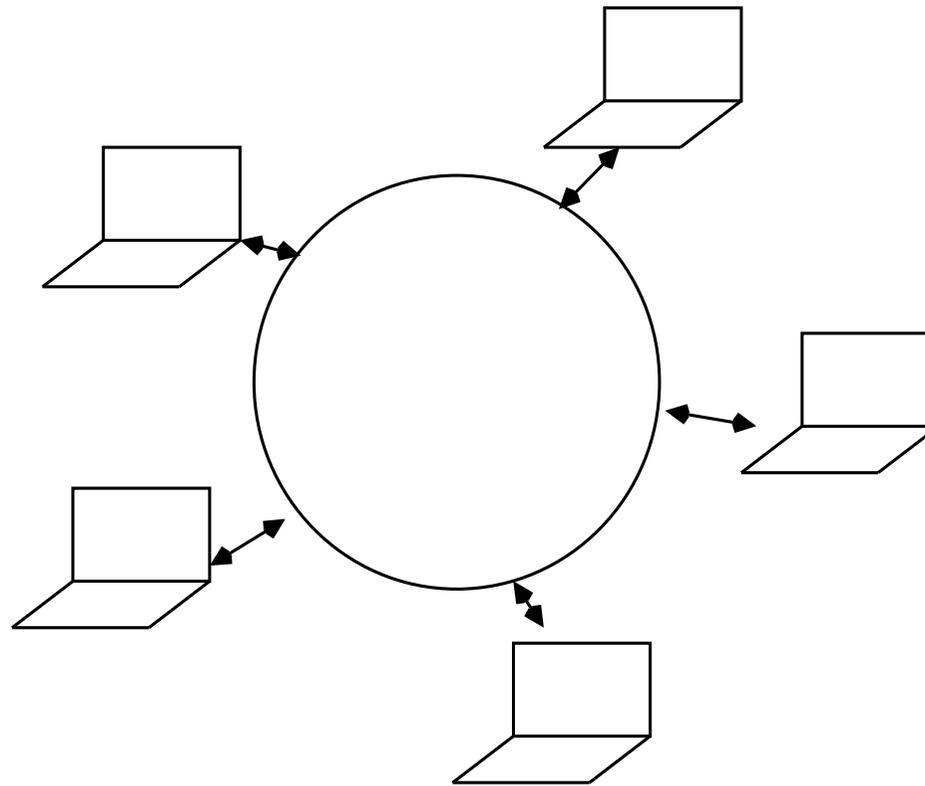


Fig. 6 – Topologie en anneau

Cablage IBM

Exemple : architectures types de réseaux Ethernet

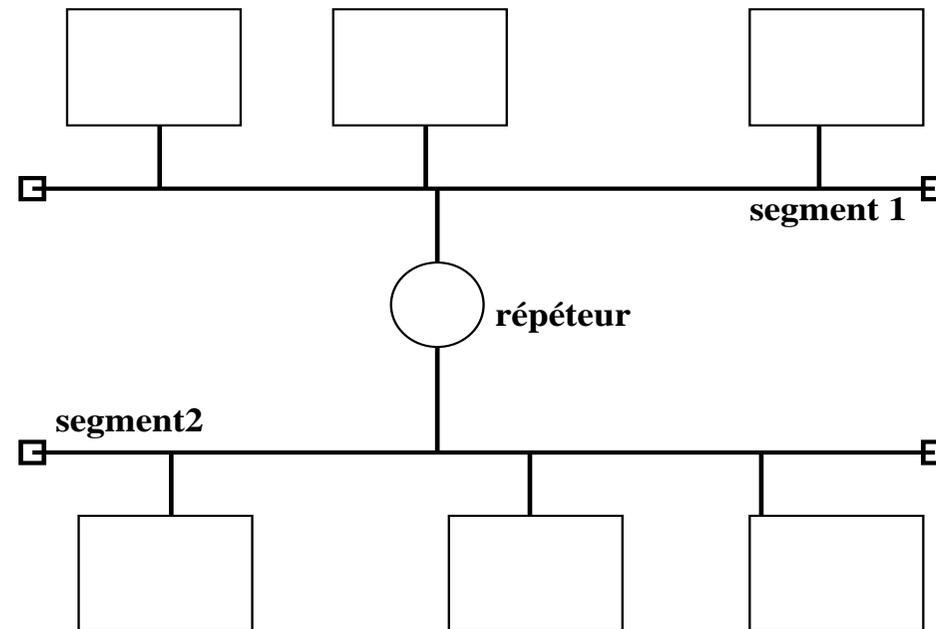


Fig. 7 – Câblage d'un réseau simple

Equipements pour câblages Ethernet : coaxial,
terminateurs, répéteurs

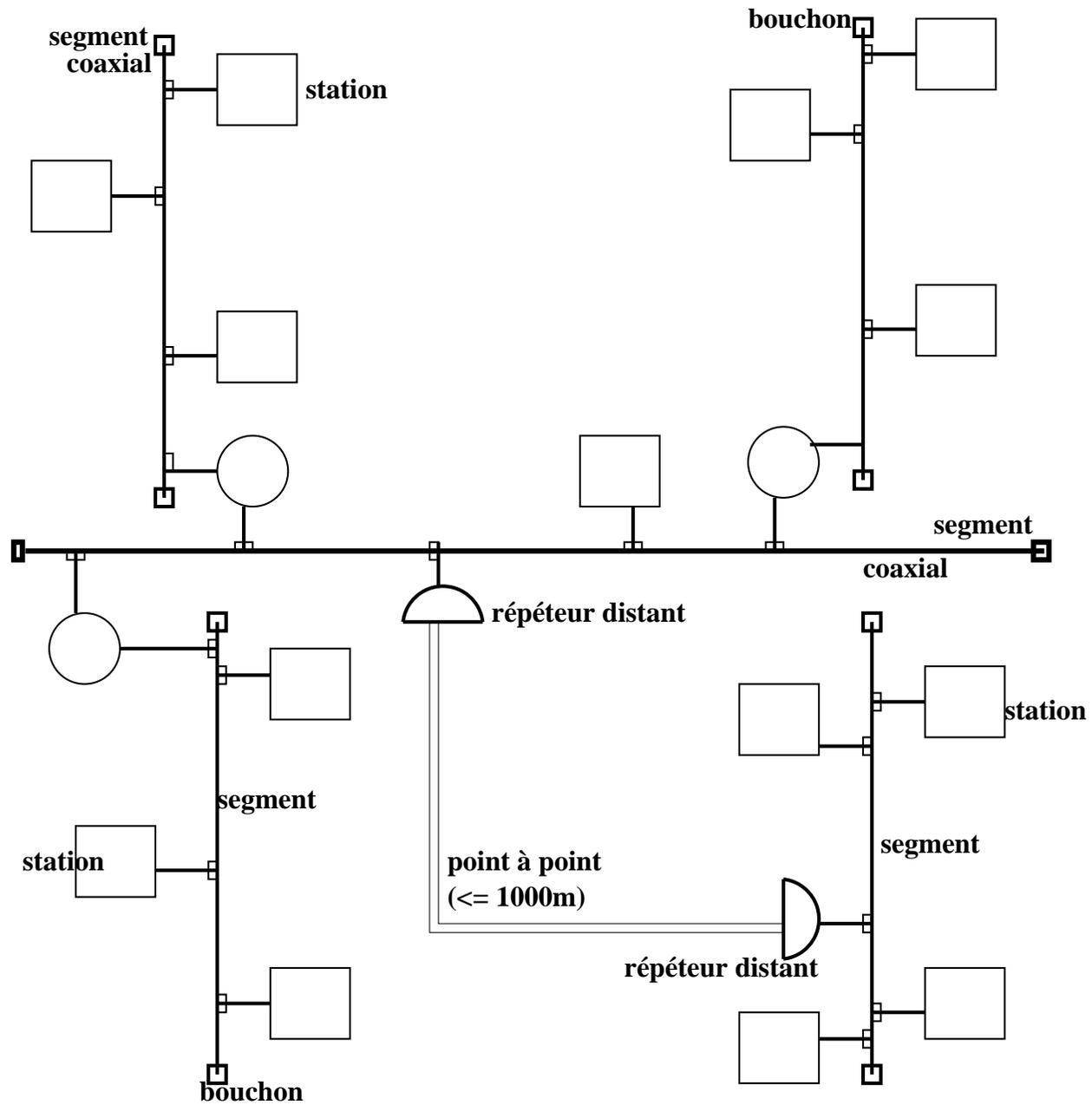


Fig. 8 – Câblage d'un réseau complexe

Exemple : architectures types de réseaux Ethernet

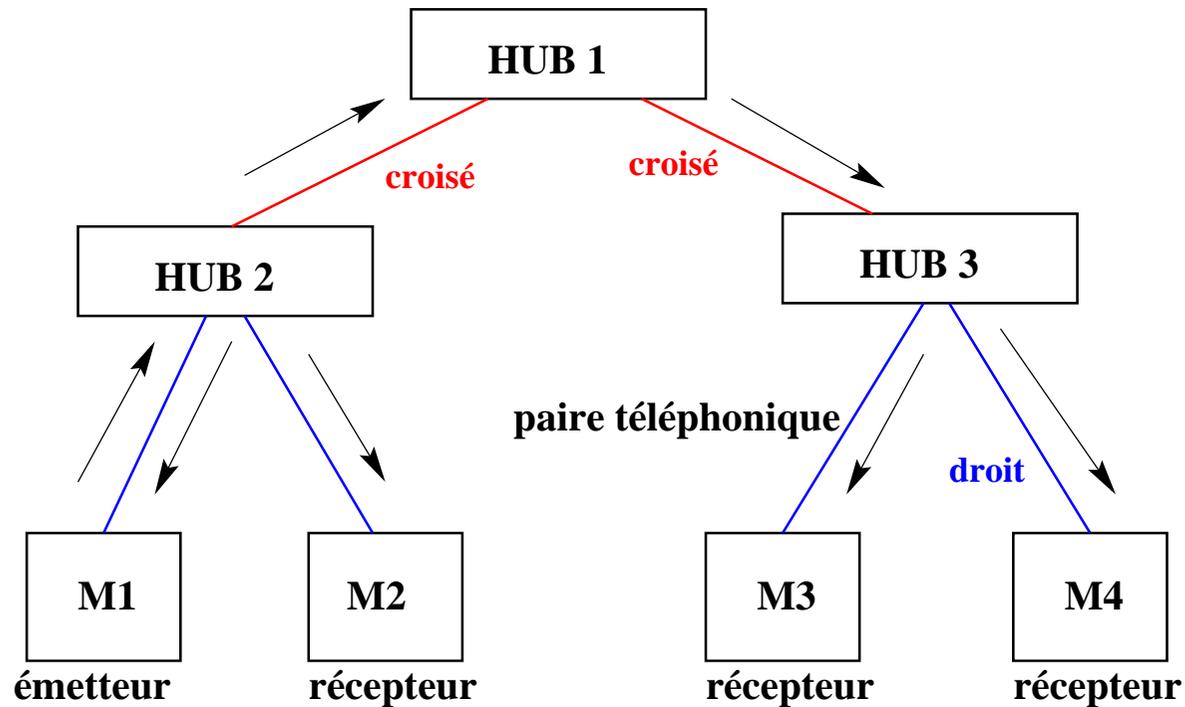


Fig. 9 – Exemple de câblage d'un réseau en 10baseT

Équipement actif : **hub** (pour le 10baseT)

Chapitre : Généralités - Méthodes d'accès

- Support
- Topologie
- Méthode d'accès

Familles de contrôle d'accès

Une des caractéristiques des réseaux locaux et métropolitains est le **partage d'un support de transmission unique** entre les différents utilisateurs.

Cela nécessite de recourir à une **gestion de l'accès au support : c'est la méthode de contrôle d'accès.**

La méthode de contrôle d'accès **décrit comment les stations raccordées au réseau contrôlent leur accès au support de transmission, afin de prévenir ou régler tout conflit possible.**

De **nombreuses techniques existent** : centralisées (avec station maître), distribuées (ensemble des stations).

Les techniques peuvent être **statiques ou dynamiques, déterministes ou non, équitables ou non, avec ou sans contention.**

La technique d'accès retenue pour un réseau a des répercussions sur les caractéristiques du niveau physique et inversement.

Inversement, une topologie particulière impose les composants d'accès et va donc plus ou moins bien s'adapter à une technique d'accès donnée.

On peut classer les différentes techniques d'accès en trois grandes familles :

- l'accès statique,
- l'accès déterministe,
- l'accès aléatoire.

Nous n'aborderons pas l'étude détaillée des trois familles, nous en présenterons essentiellement les idées et étudierons

l'accès aléatoire et l'anneau à jeton avec les réseaux locaux.

L'accès statique

Ici on procède à l'**allocation statique de la bande passante** : elle est répartie de façon définitive entre les stations,

– soit temporellement,

Accès multiple à répartition dans le temps (AMRT)

– soit fréquentiellement,

Accès multiple avec répartition en fréquence (AMRF)

L'accès statique - AMRT

Cette méthode (encore appelée **TDMA : Time Division Multiple Access**) consiste à

- **découper le temps** en périodes T ,
- elles-mêmes découpées en n **tranches de temps** IT .

Une unité spécifique est chargée de fournir la **synchronisation et de générer périodiquement des trames** de durée T .

Chaque station se voit allouer nominativement une tranche de temps à l'intérieur de chaque trame ou intervalle T .

On utilise aussi le terme de *multiplexage temporel* pour désigner cette méthode.

L'accès statique - AMRF

Cette méthode (encore appelée **Frequency Division Multiple Access : FDMA**), consiste à :

- découper la bande passante en sous-bandes,
- chaque sous bande étant affectée à une seule station qui en possède l'usage exclusif et qui ne peut en aucun cas utiliser les autres sous-bandes.

Cette technique est également connue sous le nom de *multiplexage fréquentiel*.

Accès statique

Les techniques statiques sont **bien adaptées à des environnements où les ajouts/retraits de stations sont rares** (comme dans les réseaux satellites).

Elles **ne conviennent pas à des environnements aussi vivants que les réseaux locaux** (ajouts/retraits fréquents \Rightarrow redéfinition de la trame de multiplexage ou la répartition en fréquence).

Un autre inconvénient des techniques statiques est la perte de bande passante lorsqu'une station est inactive.

L'accès déterministe (dynamique)

Cette famille se caractérise, entre autres, **par une allocation dynamique de la bande passante.**

La bande passante n'est allouée à une station que si celle-ci en a réellement besoin (elle en a fait la demande).

Un mécanisme de décision permet d'**élire**,

- parmi l'ensemble des stations,
- **la station qui aura le canal** pour son émission.

(en veillant à l'équité entre les stations)

L'accès déterministe (dynamique)

Deux approches sont possibles en utilisant ce principe de base :

- le **contrôle centralisé, par polling,**
- le **contrôle décentralisé, par jeton.**

L'accès déterministe - Le polling

C'est une méthode qui se prête particulièrement bien aux topologies en étoile ou en bus.

Une *station primaire* gère l'accès.

Elle *invite les stations secondaires* à émettre en leur envoyant un message de *poll* selon *un ordre établi dans une table de scrutation*.

Accès déterministe - par jeton

Le contrôle d'accès s'effectue de manière répartie au moyen d'une **trame particulière appelée jeton** qui matérialise le droit d'émission.

Un ordre est fixé.

Participation de toutes les stations.

Pas de monopolisation du jeton.

Détection de la perte de jeton.

Jeton adressé sur anneau (**Token ring, FDDI**)

Jeton adressé sur bus (**Token bus**).

L'accès aléatoire

Le protocole ALOHA est à l'origine des techniques d'accès aléatoires.

Principe :

Une station émet dès qu'elle a de l'information à envoyer.

Un **temporisateur est armé** avec une durée correspondant au délai de transfert aller et retour pris entre les deux stations les plus éloignées du réseau.

Si le temporisateur arrive à expiration sans qu'aucun acquittement n'ait été reçu pour la trame, cette dernière est retransmise.

Au bout de n transmissions sans réponse, la station abandonne.

L'accès aléatoire

A la réception d'une trame,

- le destinataire effectue une vérification du champ total de contrôle afin de vérifier que la trame n'a subi ni erreurs de transmission ni collision et
- renvoie un acquittement à la station émettrice si la trame est correcte.

Problème : collisions

On approfondira cette étude avec Ethernet et CSMA/CD.

Conclusion - Chapitre Généralités

Caractéristiques des réseaux locaux (base des réseaux)

- besoins d'infrastructure réseaux-télécoms
- équipements
- topologie
- supports
- méthodes d'accès

☞ Transmission sur les réseaux

Chapitre : Commutation

Commutation (Switching)

La **commutation** est la technique qui permet de recevoir de l'information d'un utilisateur quelconque pris parmi N et de la distribuer à un autre utilisateur quelconque.

Commuter c'est affecter un canal de transmission à un émetteur et à un récepteur pendant une certaine durée.

La **commutation** peut être physique ou logique (virtuelle).

Commutation

Dans la commutation physique utilisée en téléphonie, on affecte entre appelant et appelé un chemin parmi les différents canaux de transmission disponibles : **c'est le circuit.**

On a :

des **circuits virtuels (CV)** et
des **circuits permanents (CP)**.

Commutation de circuit (Circuit Switching)

On parle de **commutation de circuits** lorsque le chemin est physiquement affecté à la liaison et fixe durant toute la durée de la transmission.

Il **faut faire l'établissement de connexion (circuit)** entre la source et la destination avant la transmission.

Le circuit peut passer par plusieurs stations intermédiaires qui vont donc **réacheminer** les informations.

Une station qui reçoit émet aussitôt vers une autre station du circuit.

Commutation de circuit (Circuit Switching)

Entre 2 stations données, il y a toujours un temps de propagation.

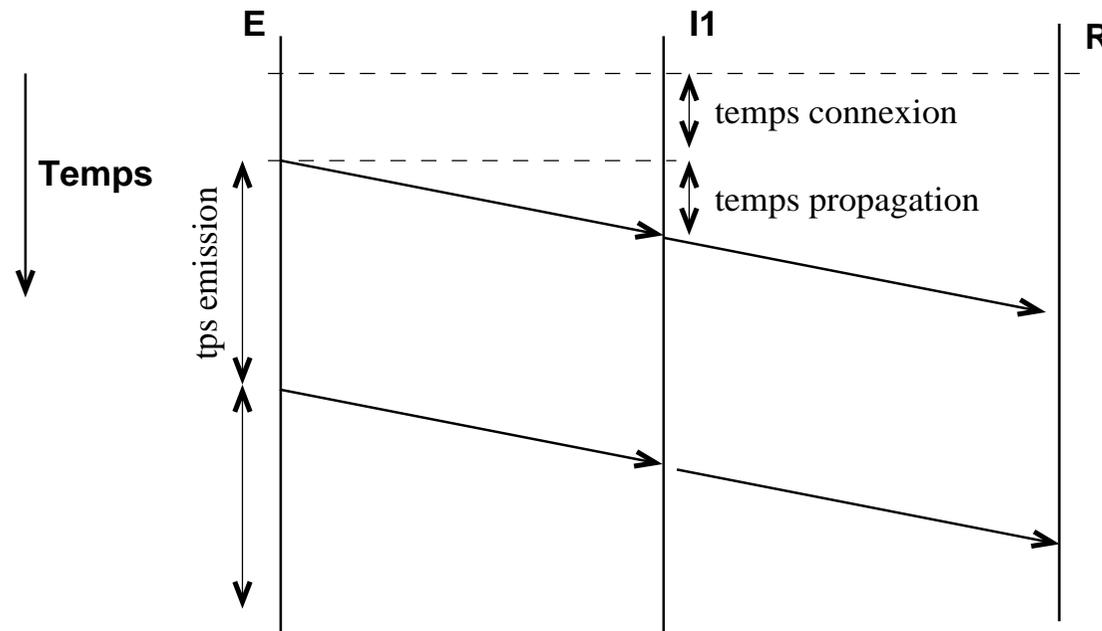


Fig. 10 – Schéma de principe - commutation circuit

Commutation de circuit (Circuit Switching)

Pour le temps on a :

$$t_{\text{transfert}} = t_{\text{connexion}} + t_{\text{émission}} + t_{\text{propagation}}$$

Commutation de messages (Message Switching)

C'est un autre mode de commutation **relevant de la commutation logique.**

Ici **on ne garantit pas le chemin entre l'émetteur (E) et le récepteur (R)** mais l'acheminement du message, indépendamment du chemin physique qu'il emprunte.

Pas d'établissement de connexion entre les stations source (E) et la destination (R).

Commutation de messages (Message Switching)

Chaque message est acheminé individuellement.

Chaque station mémorise intégralement le message avant de le retransmettre.

Il y a une en-tête contenant l'adresse du destinataire.

Diffusion possible, transfert même si le correspondant est occupé.

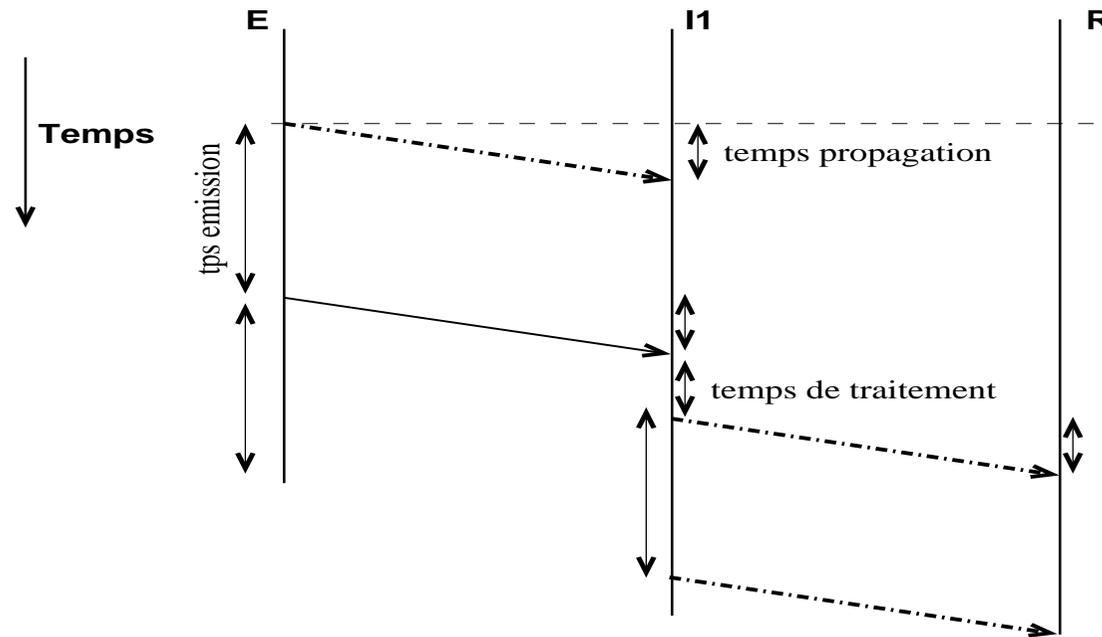


Fig. 11 – Schéma de principe - commutation messages

Commutation de paquets (Packet Switching)

La **principale technique de commutation**.

Ici l'information à transmettre est découpée en **blocs de taille fixe** : *paquets*.

Deux cas sont distingués,

- **commutation de paquets en mode connecté**
- **et commutation de paquets en mode datagramme.**

Chaque paquet est accompagné de son *en-tête* contenant notamment l'adresse du destinataire.

Commutation de paquets (Packet Switching)

Les paquets voyagent sur le réseau en fonction de la disponibilité des nœuds intermédiaires.

Technique adaptée aux transmissions de données interactives.

Elle est fiable :

car on peut inclure dans l'en-tête des systèmes de correction d'erreurs que chaque nœud peut mettre en œuvre.

Commutation de paquets (Packet Switching)

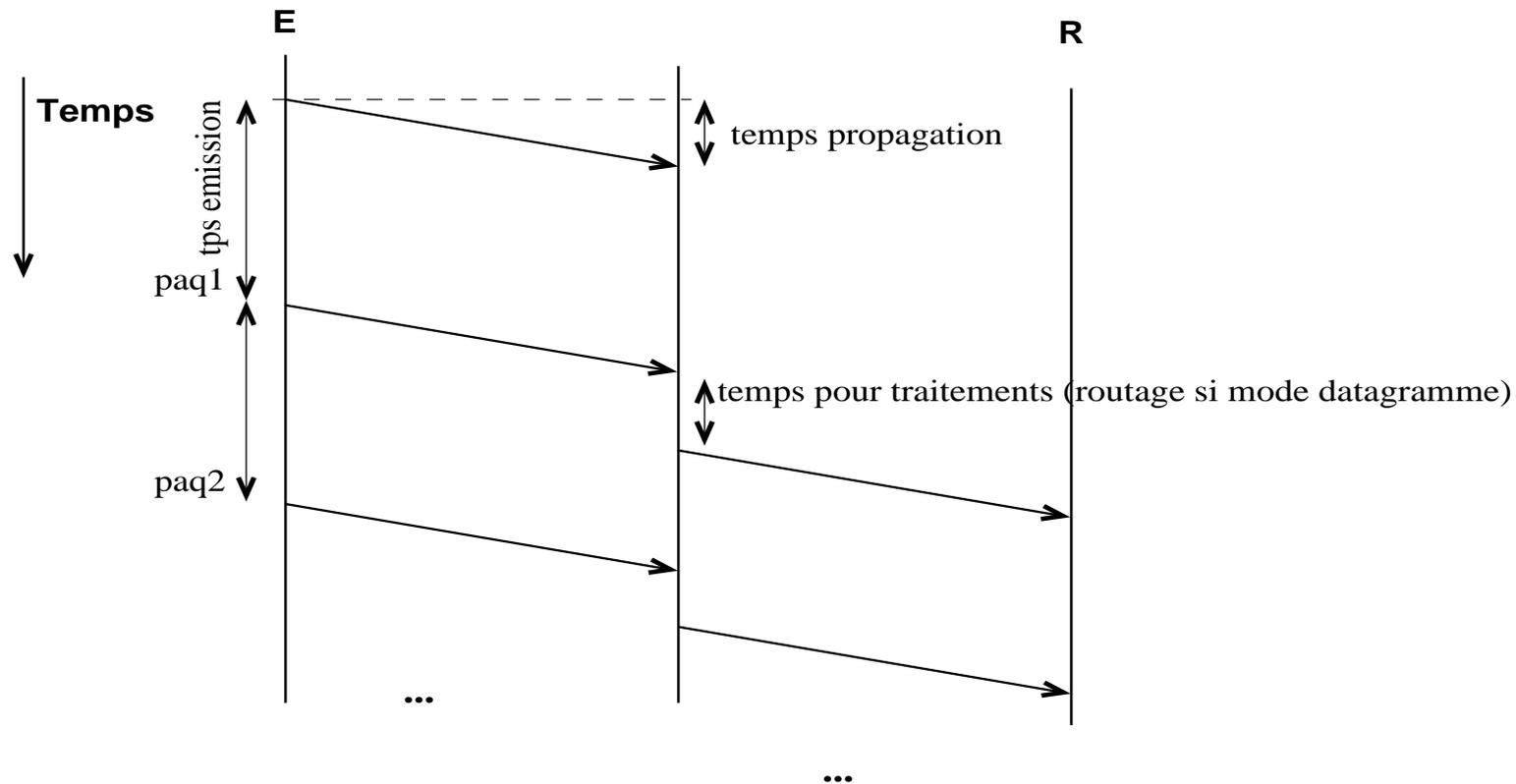


Fig. 12 – Schéma de principe - commutation paquets

Conclusion chapitre

La commutation et la transmission sont de principales fonctions en réseau (télécom. et données).

Chapitre : Transmission de données

- Série, parallèle
- Synchrone, asynchrone
- Analogique, numérique

Transmission de données

Pour transmettre des données entre un *émetteur* et un *récepteur* il est nécessaire d'établir une *liaison* sur une voie de transmission munie d'**équipements de transmission** à ses extrémités.



Fig. 13 – Principe de la transmission

Transmission de données

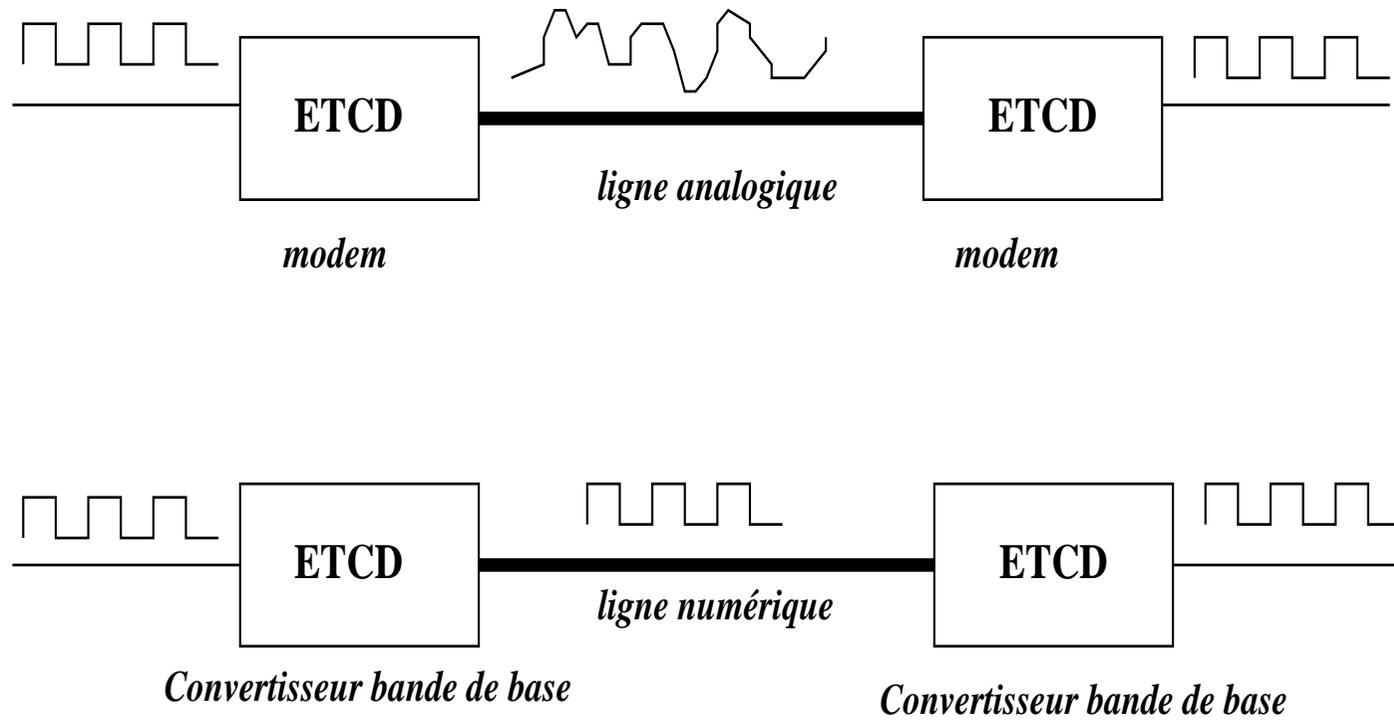


Fig. 14 – Principe de la transmission

Transmission : série ou parallèle

Série

L'information est transmise sur **un seul fil**.

Les n bits codant l'information à transmettre sont échantillonnés séquentiellement par une horloge en émission et réception.

Si τ est la durée élémentaire d'un cycle d'horloge, le temps nécessaire pour transmettre les n bits est $n \times \tau$.

L'**interface RS232C-EIA** est l'interface série la plus utilisée.

Elle peut atteindre une distance de 20m à 9600 bits.

L'**interface RS422-EIA** est utilisée au delà des 20m

On a recours au **modem** pour les distances plus grandes.

Dans les systèmes de télécommunication, la fonction transmission est toujours effectuée en mode série.

Transmission : série ou parallèle

Parallèle

L'information est transmise sur **plusieurs fils**.

Les éléments binaires sont émis simultanément sur autant de fils que le code utilisé comporte de bits. (un fil par position).

Le support de transmission ainsi constitué s'appelle un **bus**.

Les n bits codant l'information à transmettre sont échantillonnés simultanément par une horloge en émission/réception.

Si τ est la durée élémentaire d'un cycle d'horloge, le temps nécessaire pour transmettre les n bits est τ

De nombreux bus existent.

Transmission : synchrone / asynchrone

La transmission d'un signal, dans le temps, nécessite une **synchronisation** afin de permettre aux récepteurs de reconnaître, le début de l'information, l'information et la fin de l'information.

On distingue :

- la transmission synchrone,
- la transmission asynchrone.

Transmission synchrone

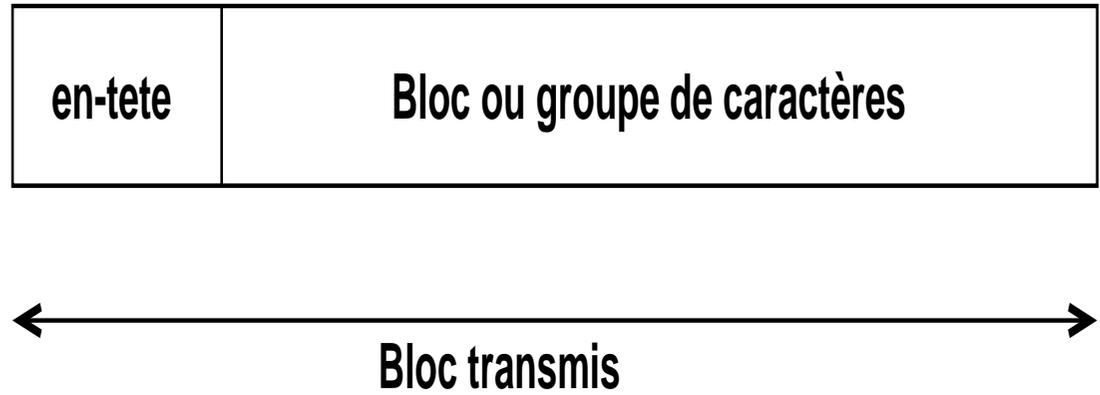


Fig. 15 – Principe de la transmission synchrone

Transmission asynchrone

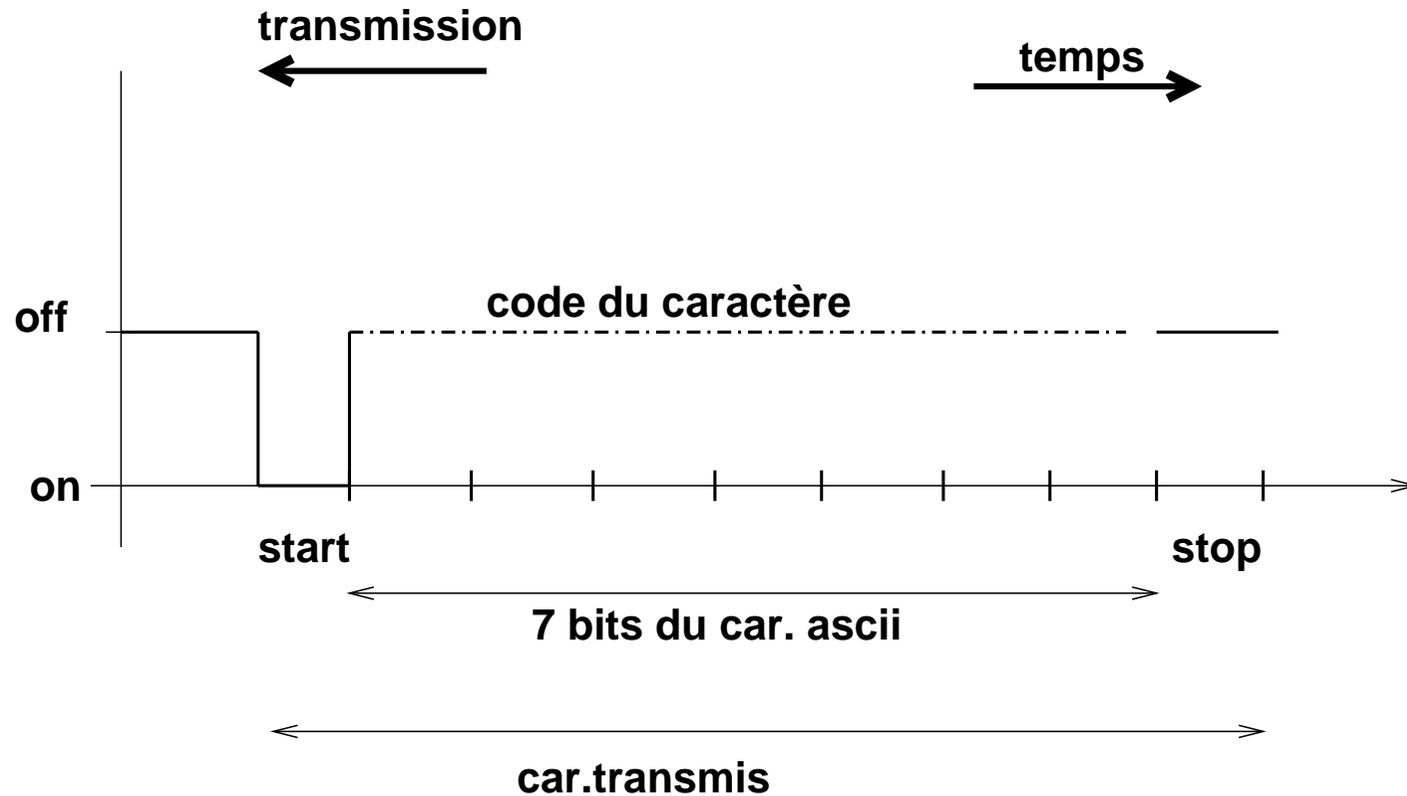


Fig. 16 – Principe de la transmission asynchrone

Transmission analogique

La transmission de données sur le support **est dite analogique** quand l'information peut être représentée à l'aide de **variations continues d'un même paramètre physique** (par ex : la tension par rapport à un niveau de référence).

L'information est véhiculée par un signal continu (pas discret).

La **transmission analogique** ou **transmission par modulation d'une onde porteuse** consiste à utiliser un signal de base

$$y(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

Transmission analogique (suite)

Le signal se propage sur le support sous la forme d'onde électromagnétique, caractérisée par

- son **amplitude** (niveau de voltage pour un support électrique, intensité du faisceau lumineux pour une fibre optique),
- sa **fréquence** et
- sa **phase**.

Transmission analogique (suite)

Les caractéristiques du signal peuvent être modifiées en fonction de signaux à transmettre.

Cette opération de **modulation** portera selon le cas sur *l'amplitude, la fréquence ou la phase.*

Transmission analogique (suite) - affaiblissement

Le **signal est atténué au cours de sa propagation** sur le support.

Pour ce faire on **utilise des amplificateurs**.

Le **rôle d'un amplificateur** est de recevoir les signaux et de les **retransmettre à leur puissance originale**.

Malheureusement, **si des bruits sont venus altérer ces signaux, ils seront amplifiés aussi**.

Transmission analogique (suite) - affaiblissement

Du fait de l'amplification possible des bruits, en transmission analogique, la qualité du signal tend à se dégrader avec la distance, même en utilisant les amplificateurs.

La transmission analogique requiert une bande passante plus importante que la transmission numérique (en bande de base).

Transmission numérique (ou en bande de base)

Elle se caractérise par le fait que les variations du paramètre physique utilisé sur le support sont discontinues et le nombre d'informations différentes (alphabet) à transmettre est fini.

On parle de **transmission binaire** dans le cas particulier ou le nombre de valeurs différentes ($\{0,1\}$) du paramètre physique à distinguer est égal à 2.

Transmission numérique (ou en bande de base)

Dans les transmissions numériques, les bits de données sont véhiculés sur le support de transmission sous forme d'impulsions discrètes électriques.

Lors de la progression sur le support, le signal perd de sa puissance et les impulsions se déforment : c'est l'atténuation.

On résout ce problème en utilisant des répéteurs.

Transmission : synthèse

Transmission/Données	Analogiques	Numériques
Analogique	Téléphone, TV	Modulation (si le support l'impose)
Numérique	Numérisation (Tél), Canal vidéo	Bande de base Données informatiques

Transmission : synthèse

La transmission numérique est plus avantageuse par rapport à l'analogique.

- facilité de stockage/traitement/restitution,
- intégration (multimédia),
- faibles taux d'erreur des liaisons,
- coût des composants, ...

⇒ numérisation des données pour les véhiculer par un signal numérique

Numérisation

3 étapes :

- **échantillonnage** : prélever périodiquement des valeurs du signal analogique (discrétisation)

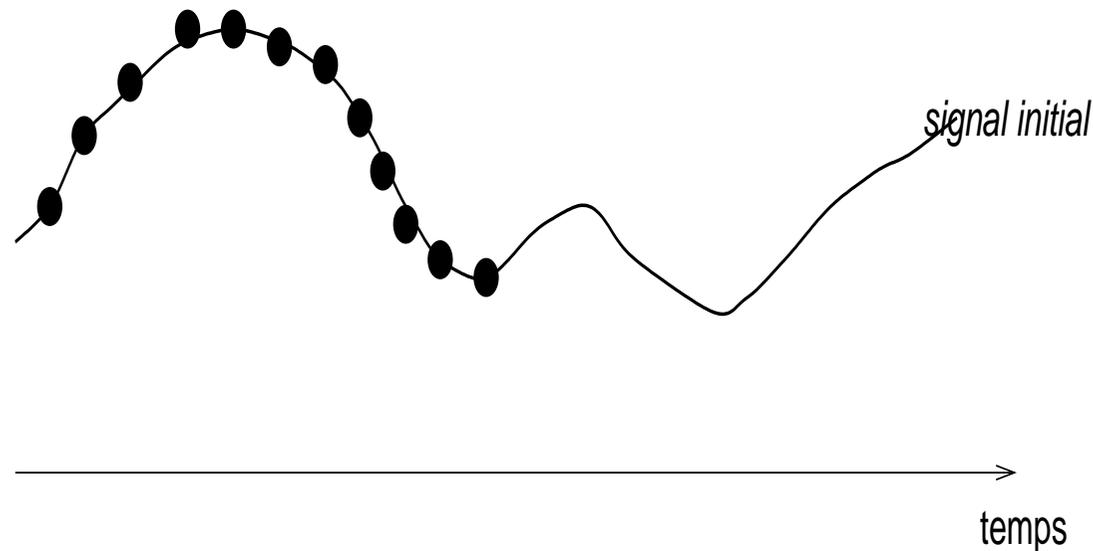


Fig. 17 – Principe de l'échantillonnage

- **Quantification** : représenter les valeurs échantillonnées par des valeurs numériques dans une échelle de quantification

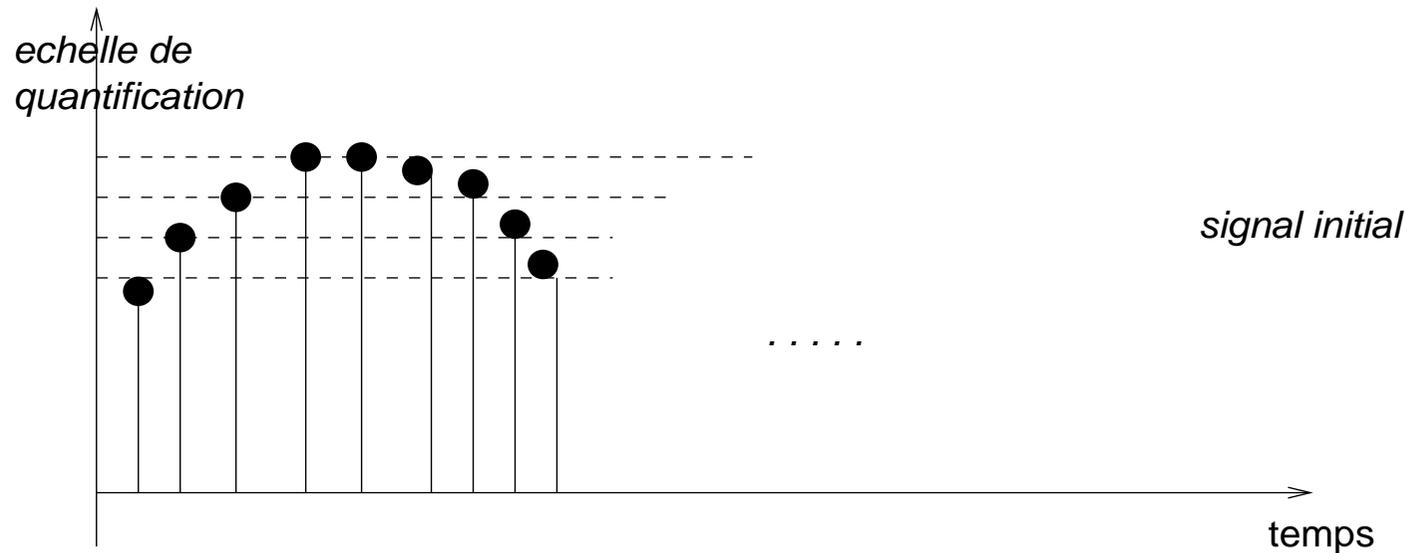


Fig. 18 – Principe de la quantification

- **Codage** : remplacer la suite de valeurs (issues de la quantification) par une suite binaire.

Si q est le nombre de valeurs, ou niveau de quantification, $q = 2^n$ avec n le nombre de bits pour coder toutes les valeurs possibles.

Le codage le plus connu est le **codage MIC** (Modulation par Impulsion et Codage).

Utilisé pour la numérisation de la voix.

Transmission : Optimisation

Plusieurs techniques sont utilisées pour optimiser les transmissions de données

- Multiplexage et concentration,
- Compression des données

Transmission : Optimisation - Compression

Temps de transmission des données :

$$t = \frac{Nb_{octets} \times 8}{D}$$

Pour **diminuer** t , on peut

- augmenter les débits,
- diminuer le volume de données : **compression**

Les types d'information de base, à compresser sont :

- textes (données informatiques),
- voix, images vidéo.

Transmission : Optimisation - Compression

Beaucoup d'intérêts pour les applications.

Mais, vaste sujet, hors cadre de ce cours.

Chapitre : Equipement de transmission Circuit de données

Equipements, liaison

Pour transmettre des données entre un *émetteur* et un *récepteur* il est nécessaire d'établir une *liaison* sur une voie de transmission munie d'équipements de transmission à ses extrémités.



Fig. 19 – Principe de la transmission

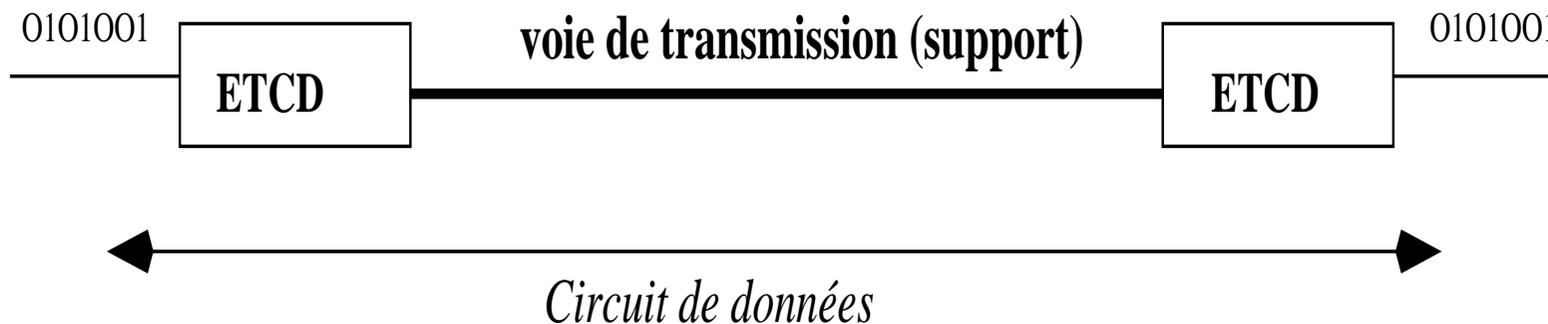
Equipements, liaison

- L'information entre et sort du système par l'intermédiaire d'équipements terminaux de traitements de données (**ETTD** ou **DTE** : Data Terminal Equipement).
- Les lignes ou voies de communication d'un réseau sont généralement équipées à leurs extrémités par des équipements de terminaison de circuits de données (**ETCD** ou **DCE** : Data Circuit-Terminating Equipement). Dans le cas des lignes téléphoniques classiques, les ETCD sont des **modems**.

Circuit et liaison de données

Une voie de communication d'un réseau de transport est appelée **circuit de données** (Data Circuit).

En général **la transmission sur un circuit de données est effectuée en série de bits** contrairement à ce qui se passe à l'intérieur d'une configuration informatique où l'on utilise la **transmission parallèle**.



Équipement - ETTD

Un **ETTD** est un **équipement susceptible de transmettre des données.**

Il peut être indifféremment un terminal ou un ordinateur.

Une **liaison de données** représente l'ensemble des matériels et des logiciels fournissant les moyens fonctionnels nécessaires pour acheminer des données avec un taux d'erreur garanti.

La **liaison de données** gère le circuit et s'occupe de la **détection et de la correction des erreurs générées sur le circuit de données.**

Equipements - ETCD

Un ETCD est un équipement placé à chaque extrémité du support de transmission.

Son rôle :

- conversion du signal à transmettre en un signal compatible avec les possibilités du support.

Equipements - Modem

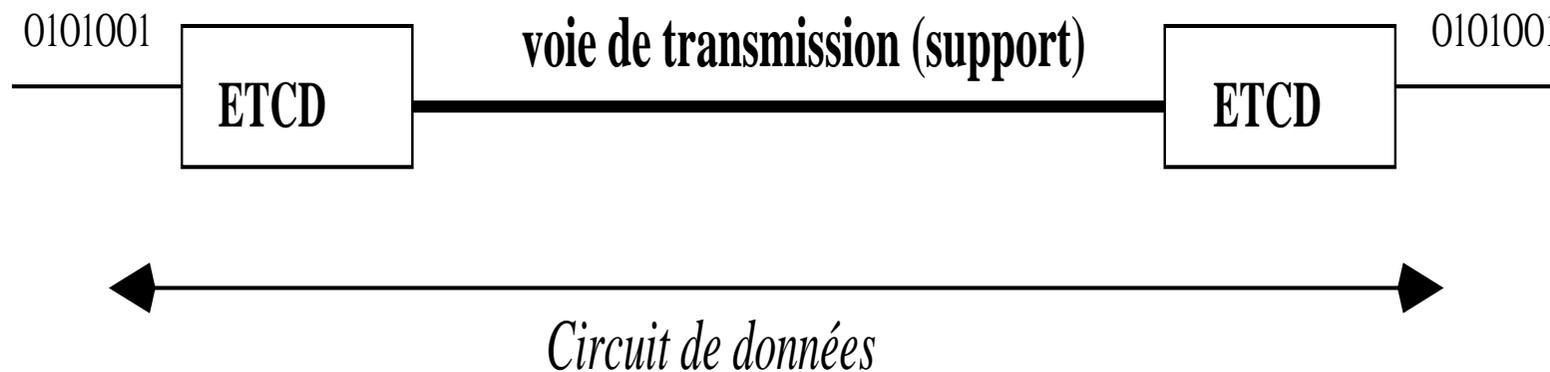
Un **modem (modulateur-démodulateur)** est un équipement convertissant les signaux numériques en signaux analogiques.

Le **modulateur** transforme les données binaires en un signal analogique compatible avec les possibilités du support.

Le **démodulateur** reçoit les signaux analogiques et les transforme en données binaires.

Circuit de données

Un **circuit de données** est l'ensemble constitué par le support de transmission et des deux ETCD extrémités.



Equipement - Modem

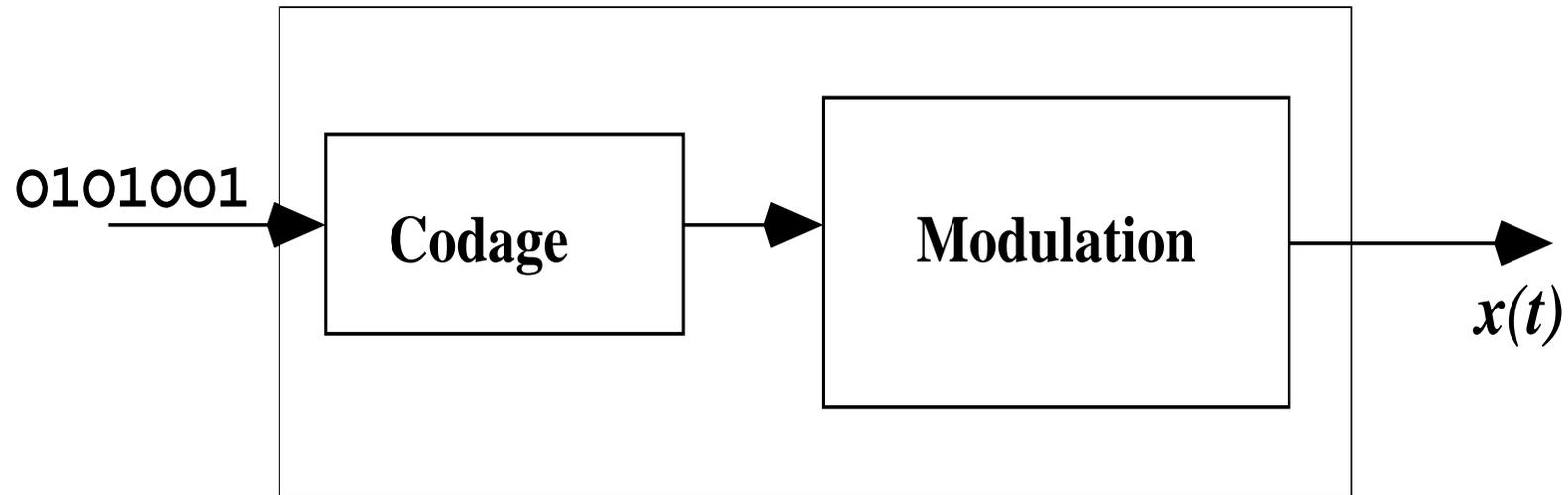


Fig. 20 – Partie émission de l'ETCD

Equipement - Modem

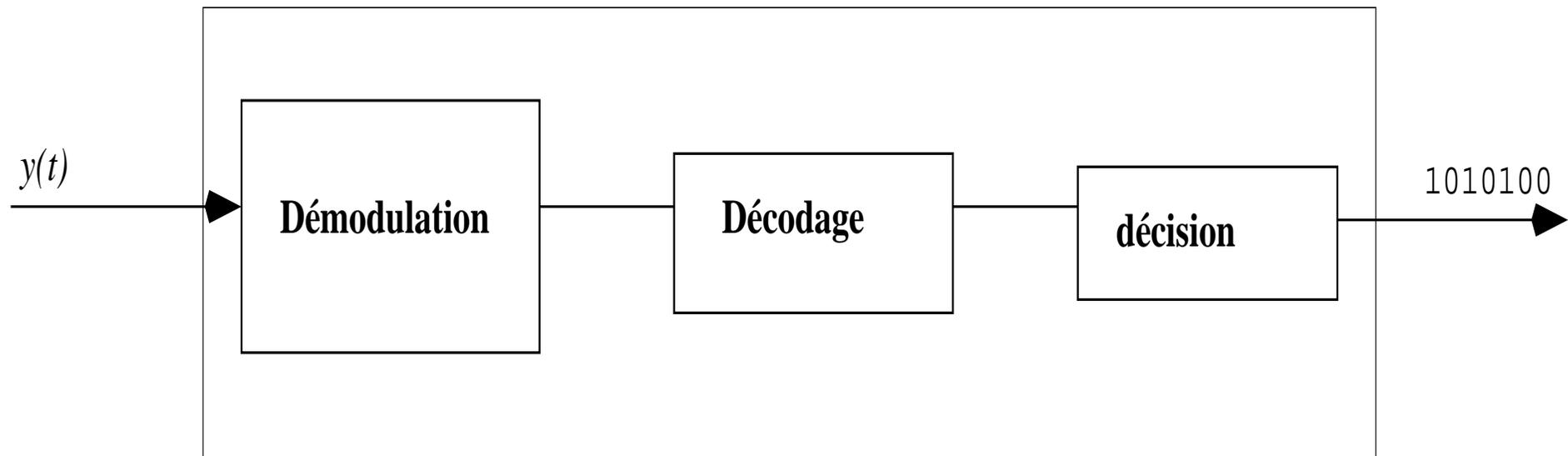
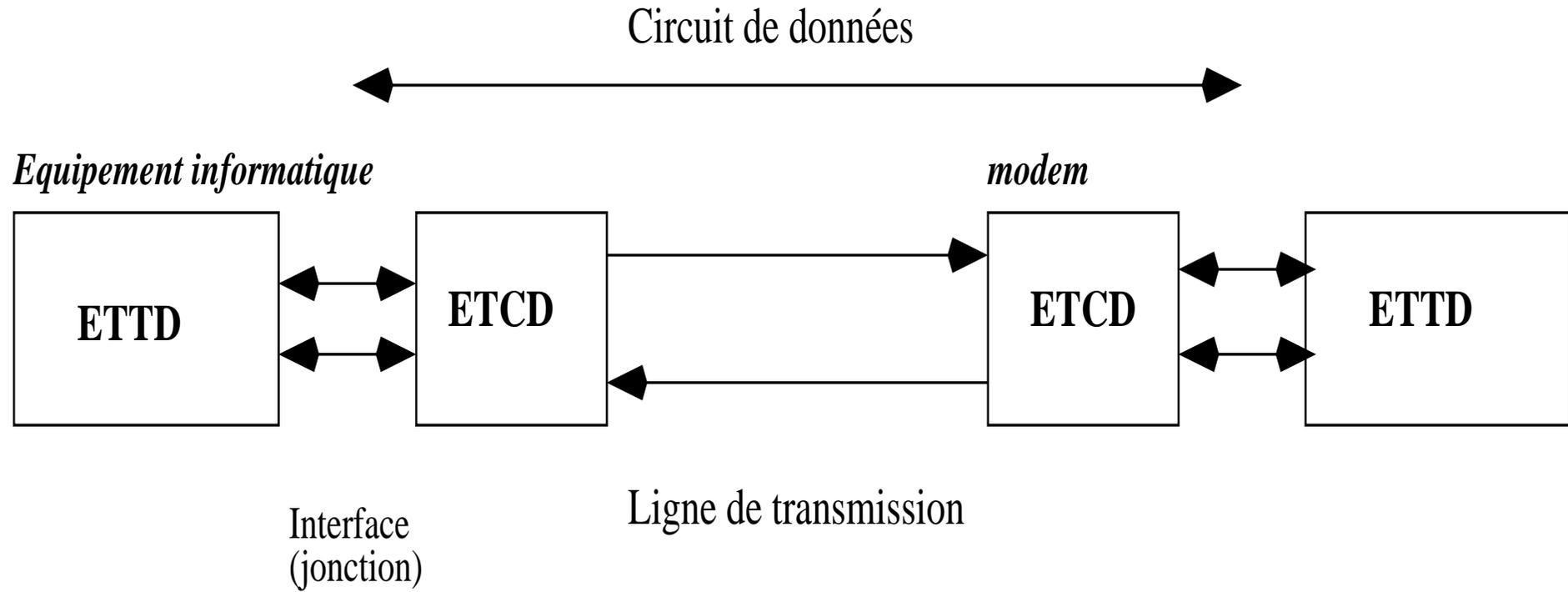


Fig. 21 – Partie réception de l'ETCD

Equipement - Relation entre ETCD et ETCD



Nature des liaisons de données

Les liaisons de données permettent **trois modes d'échanges** :

1. la transmission **unidirectionnelle (simplex)**, utilisée dans des situations spécifiques (contrôle de processus, acquisition de données de mesures, etc)
2. la transmission **bidirectionnelle à l'alternat (half-duplex)**, permet la transmission dans les deux sens mais à tour de rôle.

Nature des liaisons de données

En cas d'erreur d'initialisation, on peut avoir la **contention** : les deux stations se retrouvent en position d'émetteur ou de récepteur.

3. la transmission **bidirectionnelle simultanée (full-duplex, FDX)**.

Dans la pratique, chaque ETTD est responsable d'une voie de transmission, sur laquelle il émet des commandes et reçoit des réponses et des informations.

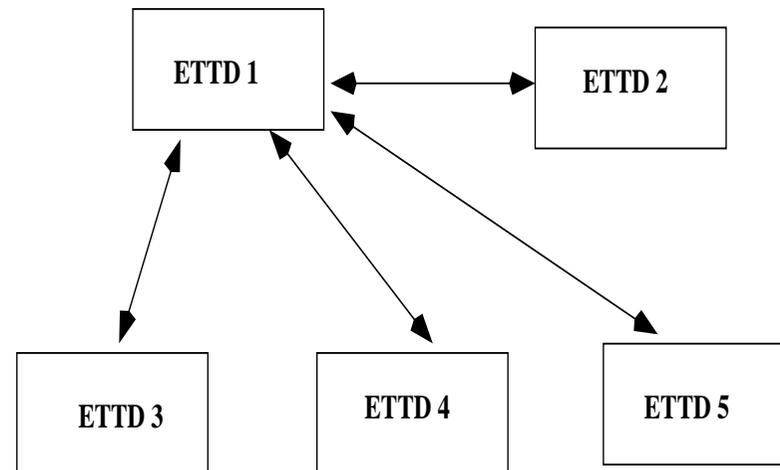
Différents types de liaisons - Point à point

Liaison **point à point de base** :



Différents types de liaisons - point à point

Lorsque la liaison est de type point à point, le **partage peut être réalisé par des concentrateurs.**



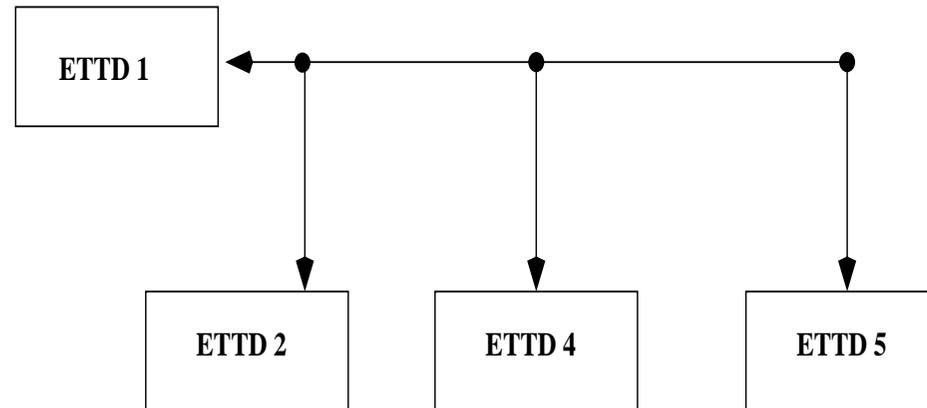
Le concentrateur a une situation privilégiée car il est au contact des terminaux ;
il est le plus souvent de nature programmable.

Différents types de liaisons - point à point

Le concentrateur peut aussi prendre **en charge un certain nombre de fonctions simples liées aux applications :**

- contrôles logiques simples sur certaines applications (clés, etc)
- suppression ou génération d'informations répétitives ne possédant pas de valeur intrinsèque (grille, date, etc)
- gestion de l'activité des terminaux et guidage pas à pas des opérateurs.

Différents types de liaisons - Multipoint



Dans le cas d'une liaison multipoint, on doit **mettre en œuvre un protocole d'accès** pour éviter que plusieurs stations ne se brouillent mutuellement en émettant simultanément.
(solutions avec **polling**, **selecting**).

On parle de **diffusion** lorsque la transmission est unidirectionnelle dans une liaison multipoint.

Chapitre : Codage et Modulation

Modulation et codage

Le **codage (en transmission numérique)** permet :
à l'émetteur et au récepteur d'échanger les informations sans
ambiguïté.

Avant la transmission, l'information subit un codage afin de
l'adapter au réseau de transmission.

C'est une opération effectuée par un *codeur*.

Codage

Le codage a pour rôle :

- la **transformation et l'adaptation à la source**, ce rôle est rempli par un capteur qui convertit l'information en signal (plus souvent électrique, optique) et inversement.
- **adaptation au canal de communication** qui rend le signal, issu du capteur, **compatible avec le réseau de transmission.**

Codage

La transformation est assurée par les **capteurs ou transducteurs**. Par exemple,

- le **microphone** est un capteur qui permet à l'émission de transformer des ondes acoustiques émises en un signal dit *audio* (téléphonique ou radiophonique); l'écouteur ou le haut parleur réalise l'opération inverse.
- La **caméra de télévision** transforme l'image de la scène visée en signal dit *vidéo*. La transformation inverse est effectuée, à la réception, par le poste de téléviseur classique.

Codage - exemples

- Le terminal informatique (clavier-écran par exemple) **transforme à l'émission la frappe d'un caractère** (lettre, chiffre, symbole) **en signal dit *numérique*** et, **à la réception, convertit le signal reçu en un caractère affiché sur l'écran.**

En informatique, le signal numérique est utilisé.

Il prend un certain nombre de valeurs ou états et ses variations dans le temps sont discontinues, d'un état à un autre.

Codage

Le plus souvent le **signal numérique à deux états est utilisé** ;

chaque information est représentée par une suite binaire.

Les signaux de données à transmettre correspondent aux divers symboles, aux chiffres décimaux, aux signes, etc.

Le codage consiste dans ce cas à attribuer à chacun de ces caractères un nombre binaire déterminé dont le nombre de bits dépend du code utilisé.

Codage

Il existe de nombreux codes (voir les codes CCITT).

Le **code CCITT** N°5 ou code ISO comporte 7 bits.

Le **code EBCDIC** (ordinateurs IBM) comporte 8 bits.

Le code **MIME**, ...

CCITT est devenu **ITU**

(International Telecommunications Union)

Codage en bande de base

On substitue au signal de données initial un **autre signal** similaire mais dont le spectre de fréquences est mieux adapté à la ligne de communication.

Il permet des débits binaires importants selon la nature du support et de la distance.

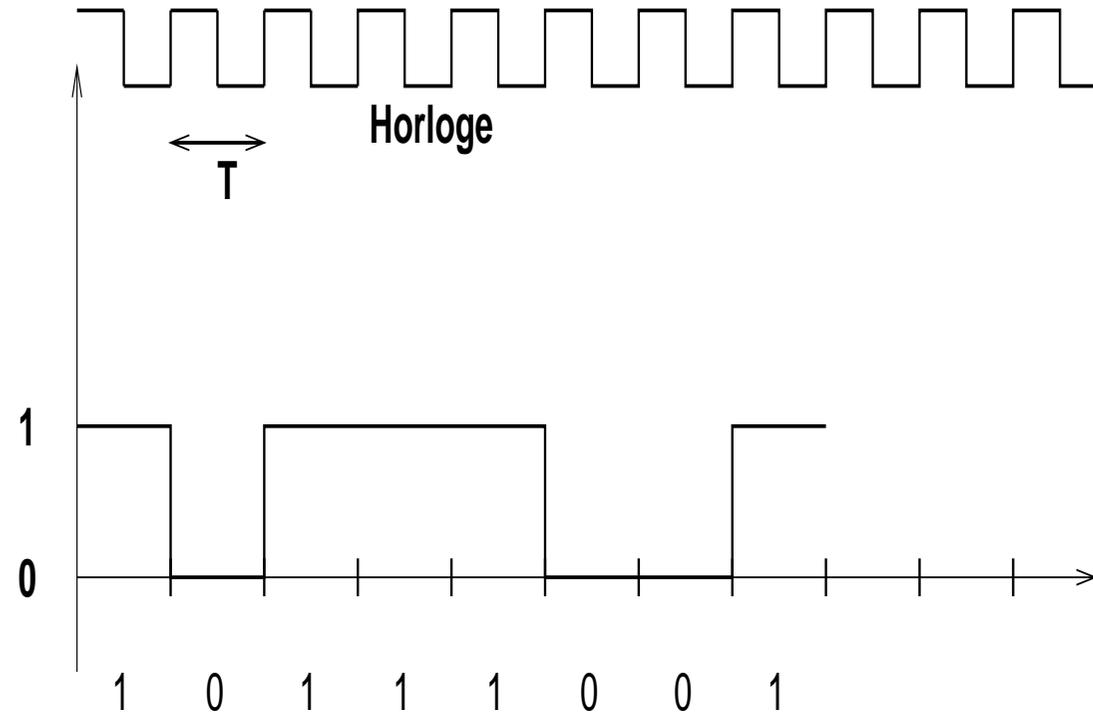


Fig. 22 – Codage en bande de base (numérique)

Codage NRZ

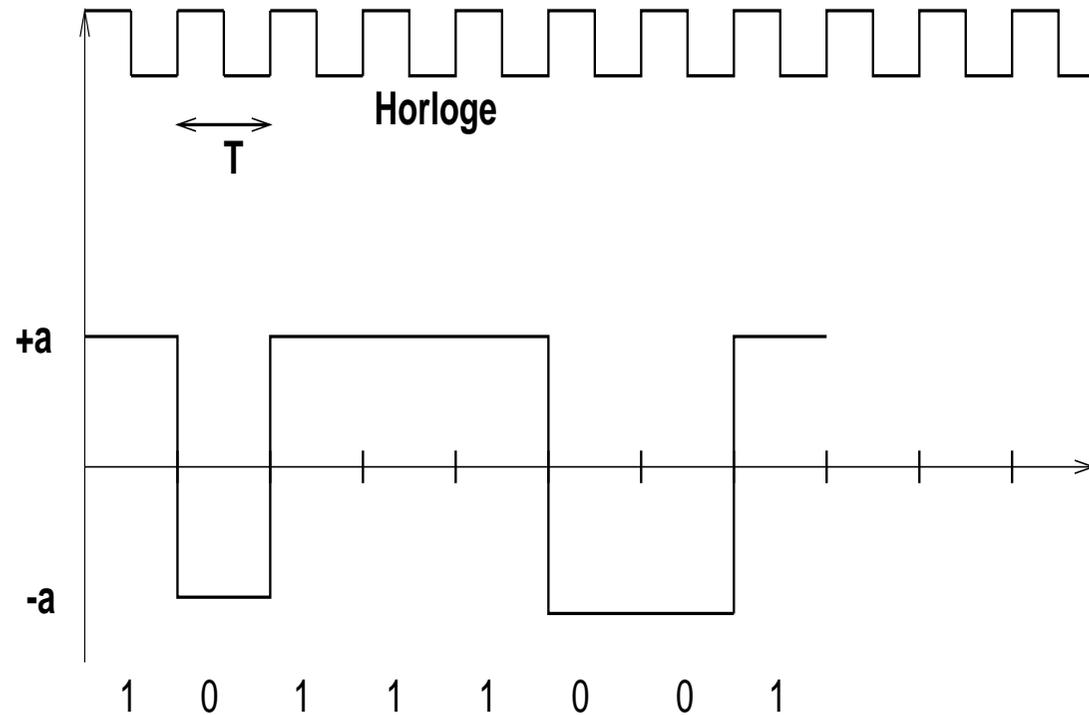


Fig. 23 – Codage NRZ

Bonne résistance au bruit, difficulté de synchronisation horloge.

Codage Manchester (ou biphasé)

On code les états de base par des transitions (au milieu du temps bit).

Bit de donnée (a_i) à **0** : front montant

Bit de donnée (a_i) à **1** : front descendant

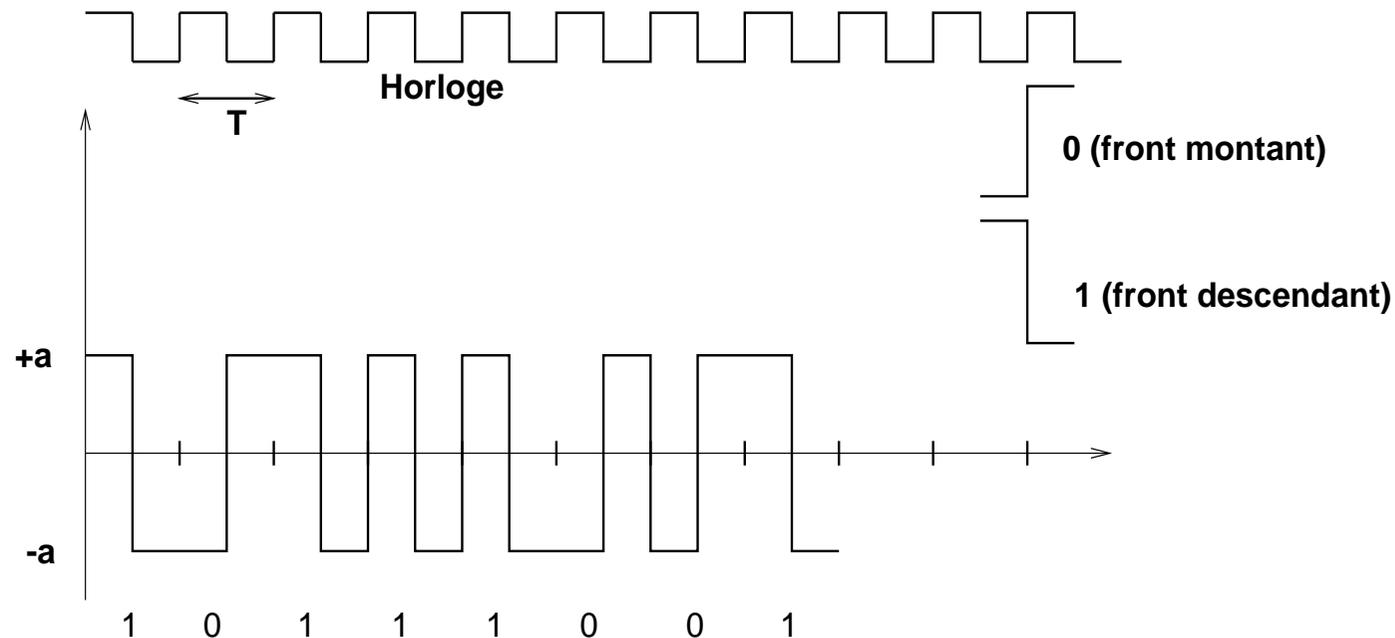


Fig. 24 – Codage Manchester

Bonne résistance au bruit, Facile à synchroniser,
Utilisé pour les supports à large bande comme les cables
coaxiaux.

Codage Manchester différentiel

Principe

On code un bit (a_i) par rapport au bit précédent (a_{i-1}),
on utilise les transitions avec fronts alternés. : changement
de phase

Fronts alternés au milieu de Δ pour $a_i = 0$ et $a_i = 1$.

Pour $i = 0$ on prend par convention $a_{i-1} = 1$

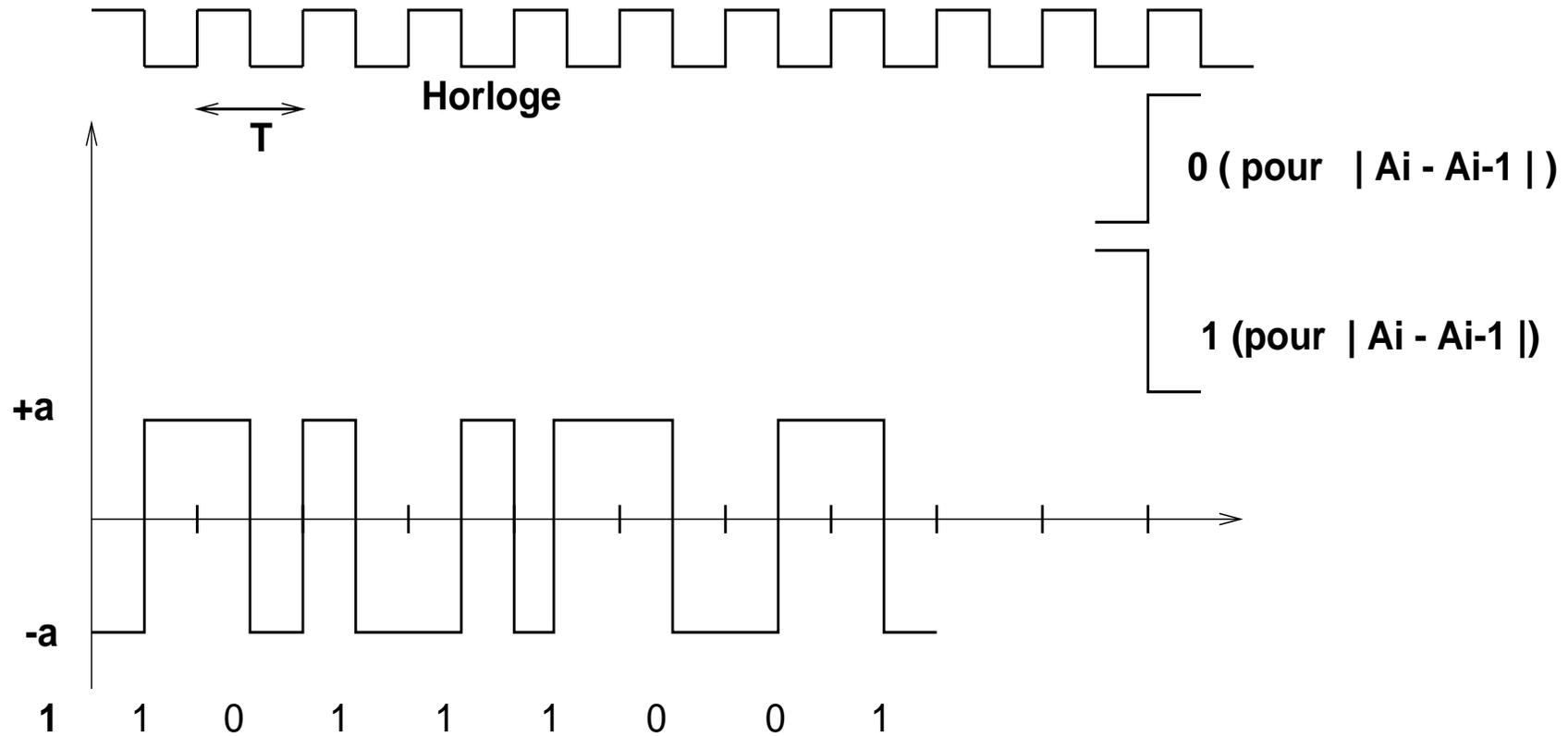


Fig. 25 – Codage Manchester différentiel

Codage Manchester différentiel - deuxième version

Il y a une **deuxième technique** dont le principe est le suivant :

Principe :

Par rapport au front final de a_{i-1} , faire

- **Changement de front (phase) en début de transition si**

$$a_i = 0$$

- **Pas de changement de front en début de transition si**

$$a_i = 1$$

Modulation

C'est la **transmission en bande large**.

Il s'agit d'**adapter le signal aux caractéristiques du support**.

Le signal à transmettre subit **une transformation de type numérique-analogique** :

les données numériques sont transformées en un signal analogique qui module une **onde porteuse (support du signal analogique)**.

Modulation

Représentation mathématique

$$s(t) = A \sin(\omega.t + \phi)$$

A : Amplitude maximale du signal

ω : la pulsation ($2\pi f$ ou f est la fréquence, $f = 1/T$, T la période)

t : le temps

ϕ : la phase

Modulation

Trois types de modulation sont possibles dans le temps en modifiant une des caractéristiques, A , f , ϕ :

- modulation d'amplitude,
- modulation de phase,
- modulation de fréquence.

Modulation de phase

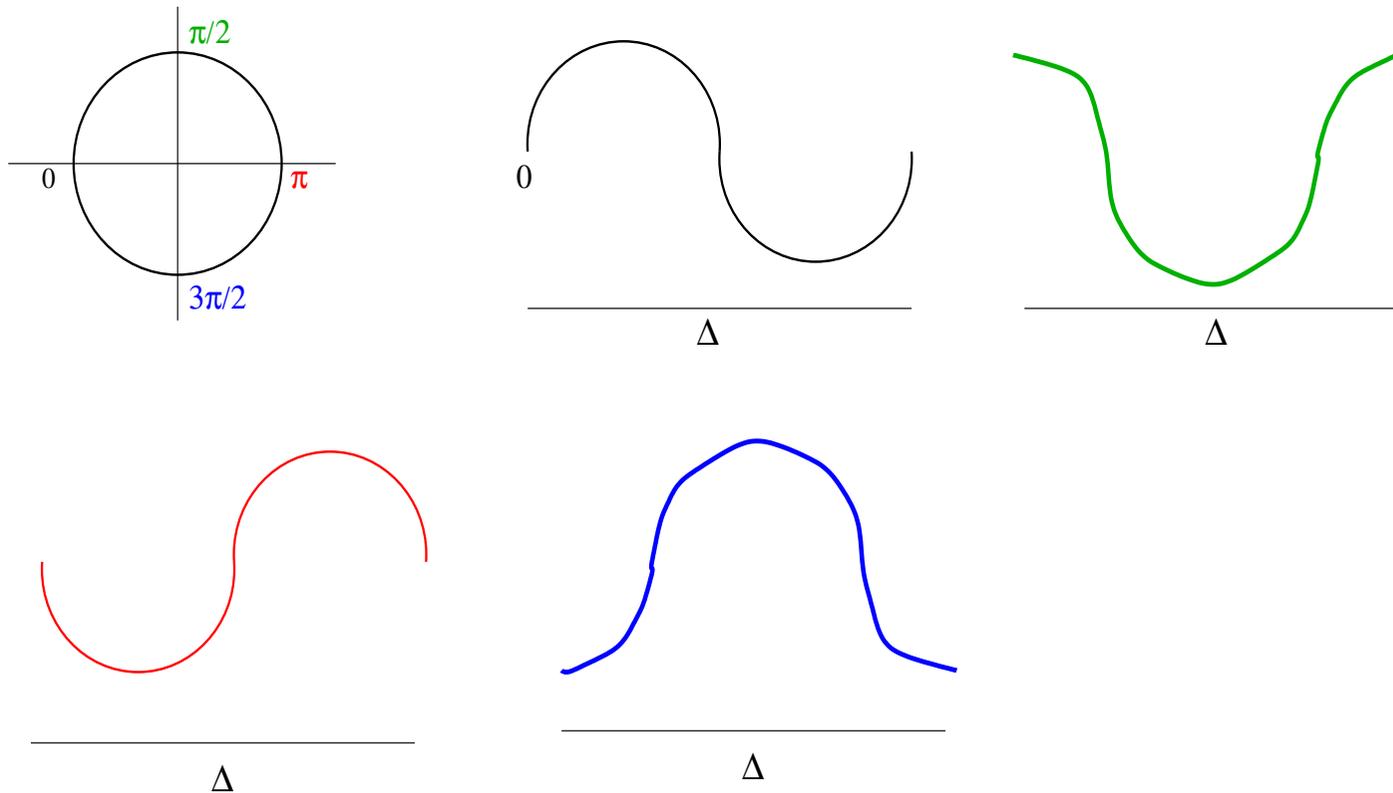


Fig. 26 – Modulation de phase

exemple de 4 états distincts \Rightarrow codage de 4 signaux

Le MIC

Numérisation de la voix (en téléphonie)

- la largeur de bande de la voix téléphonique est 300-3400Hz,
- échantillonnage (sans perte) au moins à 6800 Hz, arrondie à 8000Hz, → échantillons prélevés tous les $125\mu s$, ($1/f$)
- chaque échantillon est codé sur 8 bits,
→ $8000 * 8 = 64 \text{ Kbit/s}$.

(débit nécessaire pour transmettre la voix par un signal numérique)

Le MIC : suite

Multiplexage de la voix (en téléphonie)

On utilise le MIC comme technique de multiplexage, on prélève alors l'information toutes les $125 \mu s$ sur chacune des voies multiplexées.

On peut alors multiplexer 30 voies (+ 2 de gestion du multiplexage ; signalisation sur 17e voie).

On code l'amplitude sur 8 bits.

→ 30 abonnés simultanément sur la même ligne.

→ 2048 Kbit/s pour le voix multiplexée

Modems normalisés

Pour faciliter les échanges internationaux, le CCITT (ITU-T) a entrepris la normalisations des modems.

Deux principaux paramètres sont considérés :

- le débit
- les supports de transmission

Les avis xx sont utilisés pour les référencement.

Modems normalisés : débits et supports

Débits normalisés pour la transmission synchrone :

300 bits/s, 600 bits/s, 1200 bits/s

et pour la transmission asynchrone : 600 bits/s, 1200 bits/s,
2400 bits/s, 4800 bits/s, 9600 bits/s, 19200 bits/s, 48000
bits/s, 56000 bits/s, 64000 bits/s, 72000 bits/s

Supports considérés dans la normalisation

- le **RTC** (Réseau téléphonique commuté)
- la **LS** (**ligne téléphonique spécialisée**), avis M1020
- le canal nommé **Groupe Primaire, 60-108 kHz** (avis H14)

Modems normalisés : avis V23

Débits D	600 bits/s et 1200 bits/s en mode synchro. et asynchro.
Transmission	asynchrone (synchrone en option)
Supports	RTC ou LS
Modes	duplex alternat sur 2 fils ou FDX sur 4 fils
Principe	modulation de fréquence
voie de retour	une voie en option à 75 bauds, simulatnée avec la princ.
Indications	interface conforme avec V24 et V28

Modems normalisés : avis V29

Débits D	9600 bits/s et 7200 bits/s et 4800bits/s
Transmission	synchrone (synchronisation en 250 ms)
Supports	LS (fonctionne aussi en RTC)
Modes	FDX sur 4 fils
Principe	modulation de phase (8) et amplitude (2)
Indications	interface conforme avec V24 et V28 utilisé pour les liaisons multiplexées (avec les d_i 7200, 4800, 2400bits)

Modems normalisés : avis V36

Débits D	48kbit/s, 56 kbit/s, 64 kbit/s, 72 kbit/s
Transmission	synchrone
Supports	canal de Groupe Primaire (avis H14)
Modes	FDX sur 4 fils
Principe	modulation d'amplitude
Indications	interface conforme avec V24, V10 et V11 utilisé par les opérateurs Telecom (porteuse de 100kHz)

Modems normalisés ...

Il y en a beaucoup d'autres....

Chapitre : Multiplexage

Multiplexage

Combiner les données provenant de plusieurs voies de transmissions appelées **voies basses vitesses (BV)** en un seul train de données sur une voie, appelée **haute vitesse (HV)** ou encore **voie composite**.

La **voie composite** est donc partagée.

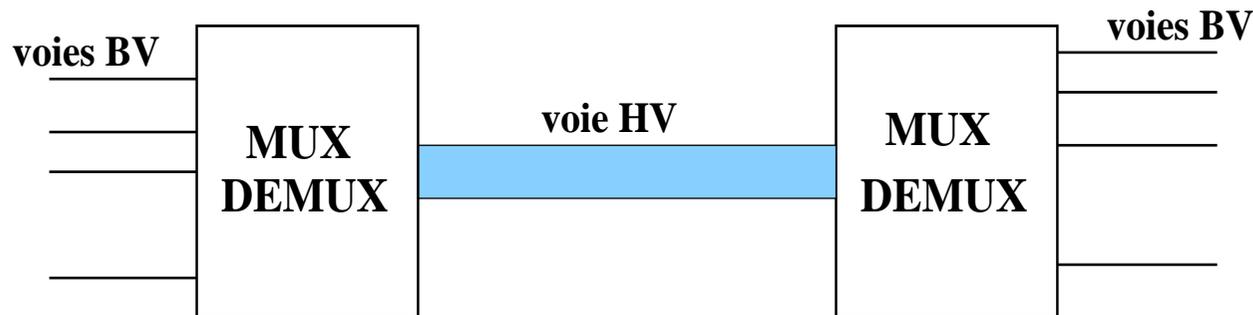


Fig. 27 – Schéma de principe du Multiplexage

Multiplexage

Pour réaliser cette combinaison on utilise :

- un **multiplexage fréquentiel** ou
- un **multiplexage temporel** :
 - statique (position fixe/voie)
 - statistique (étiquettes de voie)

Multiplexage fréquentiel

Dans le cas du multiplexage fréquentiel (Frequency Multiplexing),

- on transforme le signal binaire reçu en un signal analogique constitué de tronçons de sinusoides aux fréquences choisies ;
- on divise la bande passante en canaux adjacents grâce à un banc de filtres (des sous-bandes de fréquences).

Multiplexage fréquentiel - applications

Les principales applications :

- Communications par satellite, téléphone, radiodiffusion
- réseau téléphonique commuté (RTC) où le groupe de base (ou groupe primaire : représente l'ensemble des sous-bandes) comporte 12 bandes de 4kHz.
en fait chaque canal téléphonique a une bande de fréquences d'environ 3kHz (300-3400Hz), et les bandes sont donc décalées de 4kHz pour éviter les recouvrements. 900Hz de séparation entre chaque sous-bande.

Multiplexage temporel

Dans le cas d'un multiplexage temporel, (**Time Division Multiplexing**) on alloue tout le canal pour des intervalles de temps très courts et fixes (appelés **IT**) à chacune des voies **BV**.

L'élément d'information de base est

- soit **le bit** (multiplexage temporel par bit)
- soit **le caractère** (multiplexage temporel par caractère)

Multiplexage temporel (suite)

On utilise une **trame de multiplexage (multiplex)** qui regroupe plusieurs **IT** dont

- un **IT de verrouillage pour la synchronisation**,
- des **IT** des voies BV et
- éventuellement un **IT de signalisation (S)** selon le mode de transmission de la signalisation

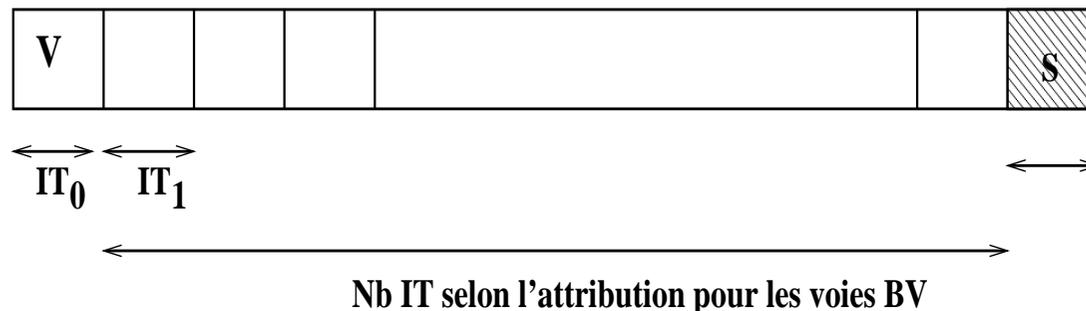


Fig. 28 – Schéma de principe du multiplexage

Multiplexage temporel (suite)

Avec le multiplexage temporel, le partage d'une ligne peut être

– **statique** lorsqu'on alloue de façon permanente une fraction de la capacité de transmission de la ligne à chaque **liaison** qui emprunte cette ligne.

Le partage statique est généralement appelé **multiplexage temporel synchrone**.

On utilise des **positions** dans la trame multiplex pour chaque voie BV.

Multiplexage temporel (suite)

– statique ...

Un terminal qui n'émet pas occupe quand même son canal.

Le multiplexage ne tient pas compte de l'**activité des terminaux**.

Le multiplexage temporel présente **deux principaux inconvénients** :

- **pas de correction d'erreur sur la voie composite,**
- **une sous utilisation de la voie composite.**

Pour corriger ces imperfections → statistique

Multiplexage temporel (suite)

Avec le multiplexage temporel, le partage d'une ligne peut être

– **statistique** lorsqu'on alloue au besoin la ligne pour une des liaisons sur lesquelles il y a émission.

On utilise des **étiquettes** dans la trame multiplex pour chaque voie BV.

Multiplexage : mise en œuvre

La conception d'un multiplexeur consiste à préciser la trame de multiplexage, le débit de la voix support du muXage, l'efficacité de muXage, la transmission de la signalisation.

Signalisation : message hors norme, contrôle ou supervision

- La transmission sur la ligne composite est **synchrone**.
- les voies BV peuvent être **synchrone ou asynchrone**.
- les voies BV peuvent avoir des **débits différents** (d_i)

Un IT appelé **Verrou** est utilisé pour la synchronisation.

Un IT (au moins) (**S**) est utilisé pour la signalisation.

Trame de multiplexage avec signalisation dans la bande

Un IT peut transporter **soit la donnée soit la signalisation.**

On utilise un bit discriminant.



Fig. 29 – Schéma de principe du Multiplexage

Taille IT : $l = 9$ bits (8 bits / car. et 1 bit indicateur)

Taille de la trame multiplex : $L = (1 + Nb) \times 9$

Débit de la voie composite : $D_{HV} \geq \sum d_i$

Trame de multiplexage avec signalisation hors bande

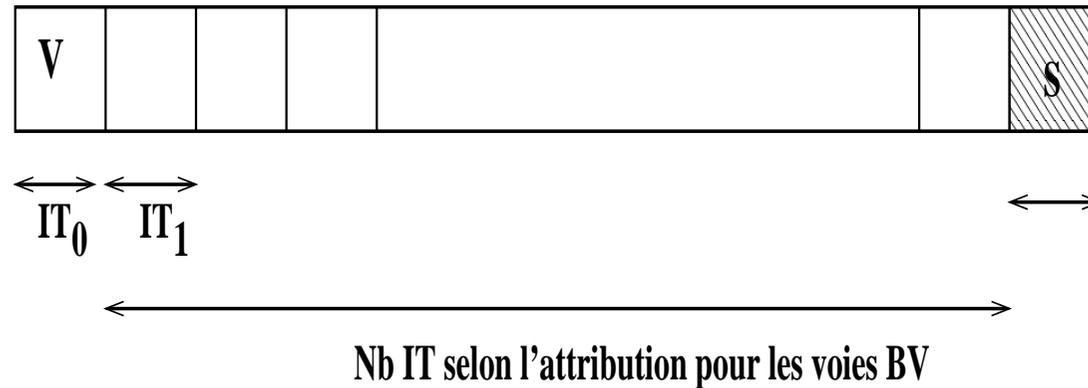


Fig. 30 – Schéma de principe du Multiplexage

Taille IT : $l = 8 \text{ bits}$ (8bits / par.)

Taille de la trame multiplex : $L = (Nb + 2) \times 8$

Débit de la voie composite : $D_{HV} \geq \sum d_i$

Multiplexage : mise en œuvre (suite)

Efficacité de multiplexage : e

$$e = \sum \frac{C_i \times N_i}{D_{HV}}$$

- $i : 1..Nb$
- C_i : le débit des BV mais en caractères par secondes
(en tenant compte de l'aspect synchrone/asynchrone)
- N_i : nombre de bits utile par caractère

Exemple de multiplexage : MIC

L'exemple de multiplexage temporel le plus connu est l'utilisation de la **technique de numérisation de la voix et transmission simultanée de plusieurs voix** :
le MIC (Multiplexage par Impulsion et Codage) utilisé dans le réseau téléphonique.