

# Transmission et codage

**L. NEHAOUA**

lamri.nehaoua @ ufrst.univ-evry.fr

**M1 E3A, 2015-2016**

# Introduction

- Objectif: délivrer l'information et assurer l'intégrité des données transmises en garantissant un certain niveau de qualité de service. Les information étant de nature:
  - ▶ Numérique (discrète): l'information est dénombrables. Exemple, un texte d'une page.
  - ▶ Analogique (continue): variation continue d'un phénomène physique : capteur de température, voix.
- Fidélité de la chaine de transmission: filtrage, conversion analogique/numérique, codage, modulation, ...

# Introduction

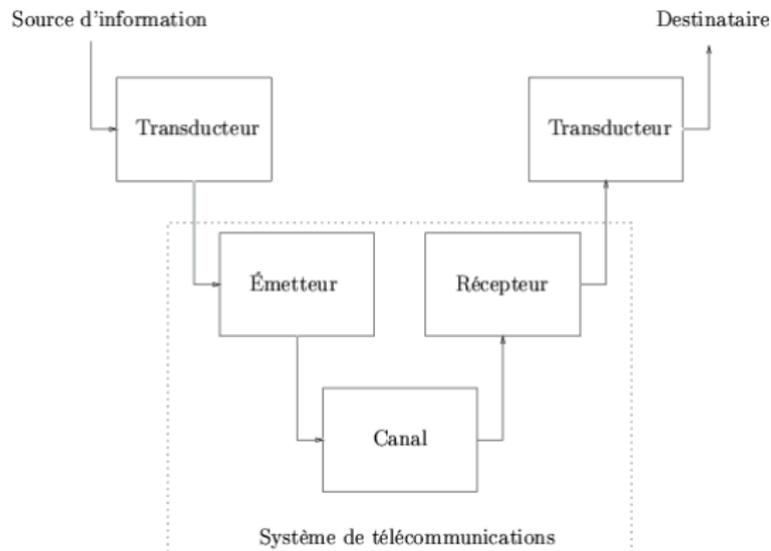


Figure : Structure d'une chaîne de télécommunications analogique.

# Introduction

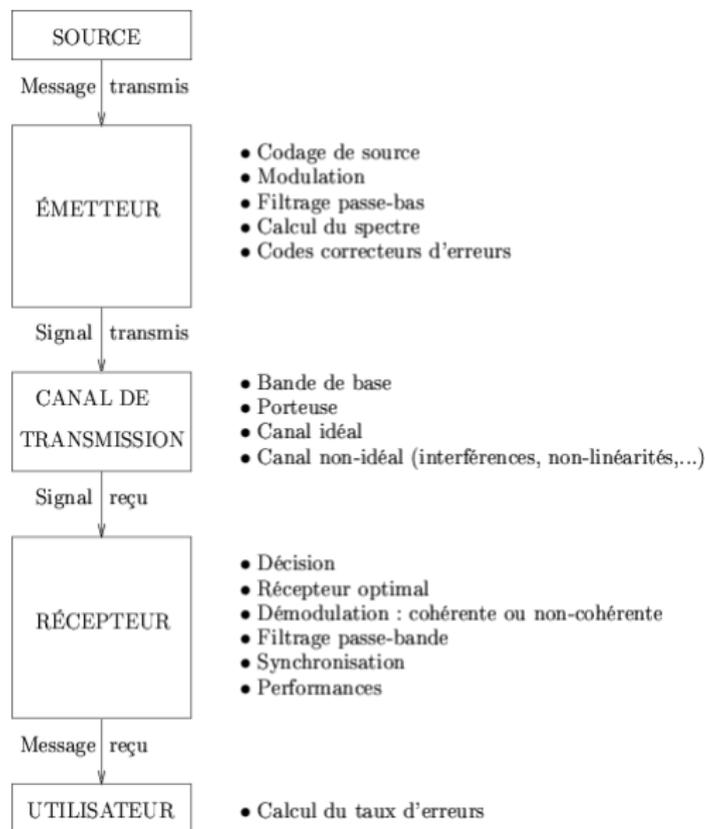


Figure : Structure d'une chaîne de télécommunications numérique.

# Introduction

- Bande passante:
  - ▶ le support physique ne peut pas faire circuler toutes les composantes fréquentielles (perte d'énergie). Il se comporte comme un filtre avec un certain gabarit (fréquence de coupure basse et haute). La bande passante est la différence entre les deux fréquences.
- Théorème de Shannon (échantillonnage):
  - ▶ pour reconstituer un signal propagé dans un support de bande passante  $B$ , il est nécessaire que la fréquence d'échantillonnage  $f_e \geq 2B$ .
- un symbole:
  - ▶ une suite de un ou plusieurs bits.
- Rapidité de modulation:
  - ▶ c'est le nombre de changements d'états par seconde  $R = \frac{1}{\Delta}$  [baud].  $\Delta$ : intervalle de temps entre deux changements de niveau.
- capacité de transmission:
  - ▶ c'est le débit maximal  $C$  acheminé sur une bande de  $W$  (Hz) est obtenu par le théorème de Shannon:

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{B} \right)$$

# Introduction

- Temps de propagation  $T_p$ 
  - ▶ c'est le temps nécessaire pour qu'un signal parcourt le canal. Il dépend de la distance à parcourir  $l$  et de la vitesse de propagation.
- le temps de transmission  $T_t$ 
  - ▶ c'est le temps écoulé entre le début et la fin de la transmission d'un message sur une ligne. Il dépend de la taille du message  $n$  et de la capacité du canal  $C$ .
- le temps d'acheminement d'un message est égal à  $T_t + T_p$ .
- exemple: un message de 10 000 bits, transmis sur un réseau Ethernet à 10Mbps sur une distance de 100m.

$$T_p = \frac{l}{v} = \frac{100}{200} = 0.5\mu s$$

$$T_t = \frac{n}{C} = \frac{10000}{10000000} = 1ms$$

# Introduction

- Deux catégories:
  1. supports guidés: câbles métallique, fibre optique;
  2. supports libres: faisceaux hertziens, liaisons satellites.
- Une liaison de transmission peut mettre en oeuvre plusieurs types de support:
  - ▶ adaptation du signal à transmettre à chaque type de support utilisé.

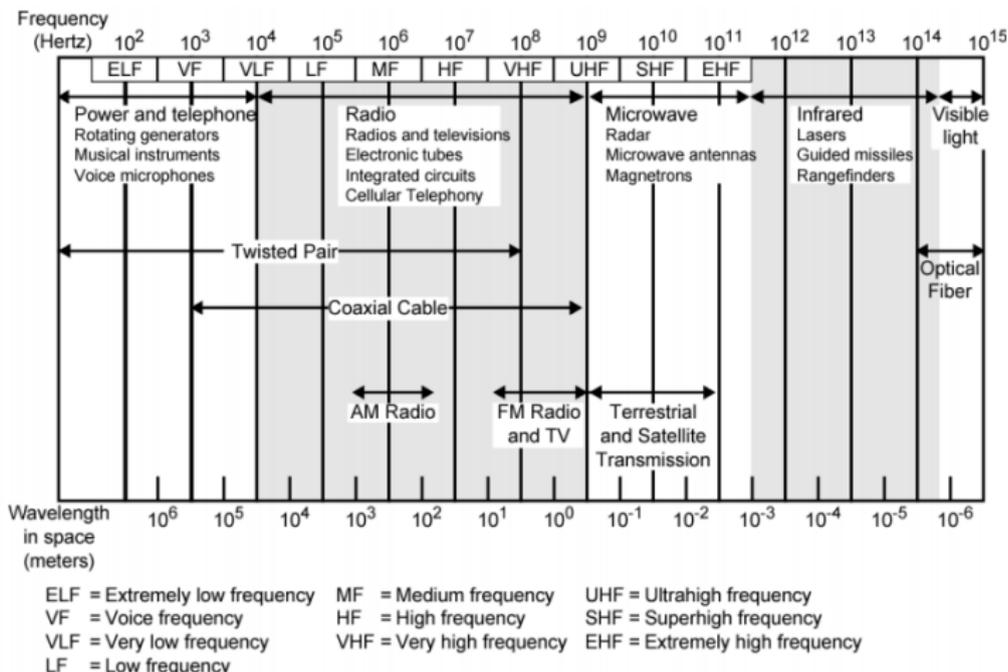


Figure : Spectre électro-magnétique pour les télécoms.

# ETTD & ETCD: Calculateurs d'extrémité et éléments d'interconnexion

1. **ETTD**: Équipement terminal de traitement de données<sup>1</sup>
  2. **ETCD**: Équipement terminal de circuit de données<sup>2</sup>
- **Calculateurs d'extrémité**: ou équipements terminaux.
    - ▶ Comporte un contrôleur de transmission pour le contrôle du dialogue.
  - **Éléments d'interconnexion**: ou équipements d'adaptation.
    - ▶ Réalisent l'adaptation entre les calculateurs d'extrémité et le support de transmission.
    - ▶ Essentiellement des fonctions électroniques pour modifier la nature du signal.

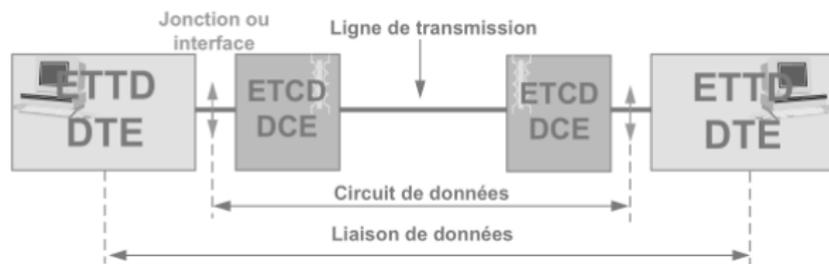


Figure : Composition d'une liaison de transmission de données

<sup>1</sup> aussi appelé DTE: Data Terminal Equipment

<sup>2</sup> aussi appelé DCE: Data Circuit Equipment

# ETTD & ETCD: Calculateurs d'extrémité et éléments d'interconnexion

- **La jonction**: constitue l'interface entre ETTD et ETCD,
  - ▶ Elle permet à l'ETTD de gérer l'ETCD afin d'assurer le déroulement des communications
  - ▶ Etablissement du circuit, initialisation de la transmission, échange de données et libération du circuit.

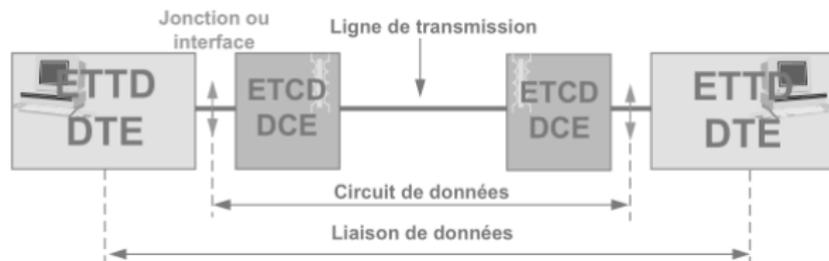


Figure : Composition d'une liaison de transmission de données

## ETTD & ETCD: sens de la transmission

- **Simplex**: Unidirectionnelle. Chaque correspondant ne peut être que émetteur ou récepteur.
- **Half-duplex**: liaison simplà l'alternate. Chaque correspondant ne peut pas être émetteur et récepteur à la fois. Le temps de basculement est appelé le temps de retournement.
- **Full-duplex**: bidirectionnelle intégrale. Les échanges s'effectue simultanément dans les deux sens.

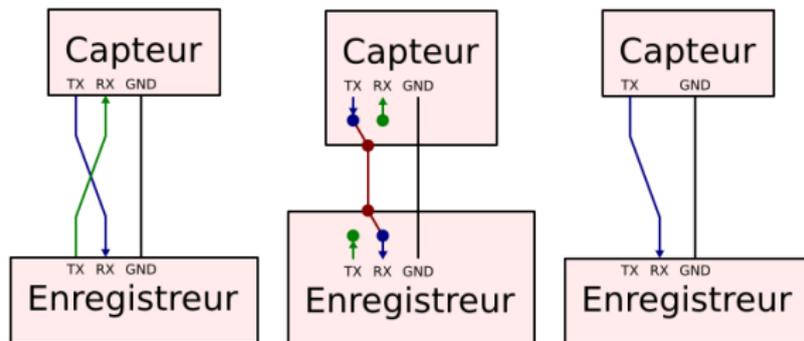


Figure : Respectivement: Full, Half duplex et simplex.

## ETTD & ETCD: parallèle et série

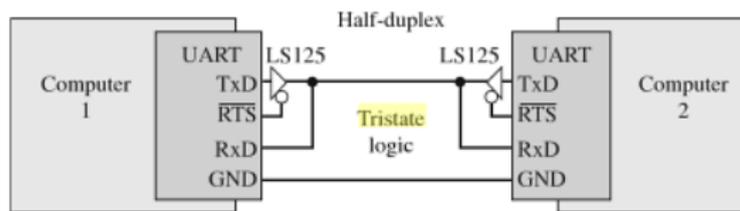


Figure : Liaison half-duplex en utilisant de la logique à trois-états.

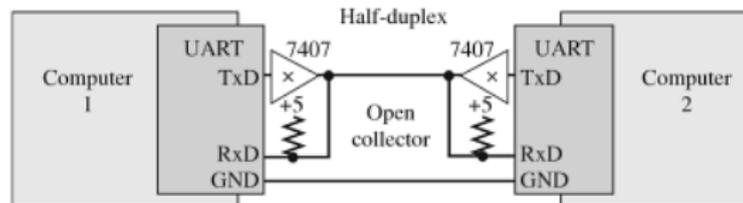
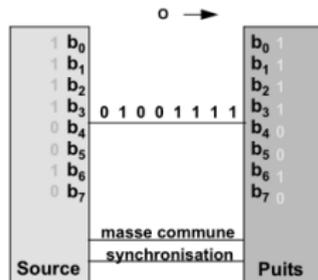
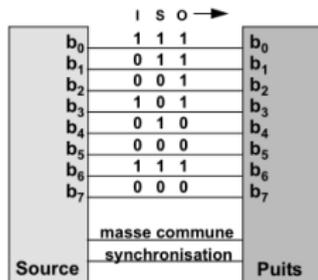


Figure : Liaison half-duplex en utilisant de la logique à collecteur ouvert.

## ETTD & ETCD: parallèle et série

- Transmission parallèle: un transfert simultané de tous les bits d'un même mot. On peut utiliser une liaison asymétrique ou une liaison symétrique.
  - ▶ Débit considérable (800 Mbps pour l'interface HiPPI<sup>3</sup> en utilisant un câble de 50 paires pour transmettre des mots de 32 bits). Liaisons entre ordinateur et périphériques.
  - ▶ Petite étendue: 25 m pour le HiPPI.
  - ▶ Diaphonie: couplage inter-lignes.
  - ▶ Delay skew: désynchronisation générée par le délai de propagation variable entre les différentes paires.
- Transmission série: tous les bits d'un mot sont transmis successivement sur une même ligne.
  - ▶ nécessite une interface de conversion pour sérialiser/désérialiser les bits.
  - ▶ étendue plus importante.



<sup>3</sup>High Performance Parallel Interface

# ETTD & ETCD: parallèle et série

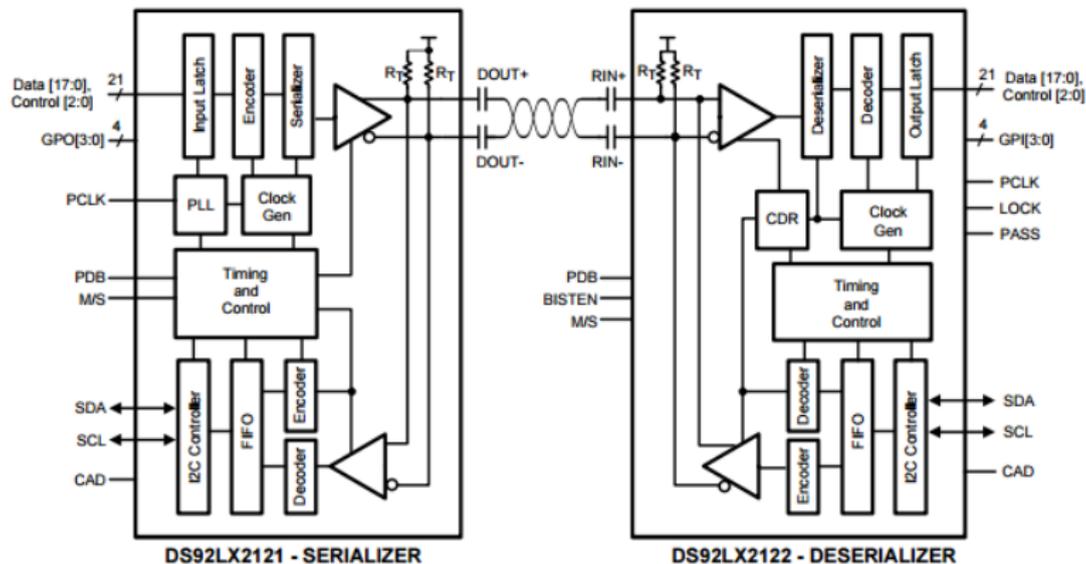


Figure : Serialiseur et deserialiseur.

# ETTD & ETCD: synchronisation

- Transmissions asynchrones: les horloges sont indépendantes.
  - ▶ Utilisation des délimiteurs de trame (bit start et stop).
- Transmissions synchrones: horloges synchronisées.

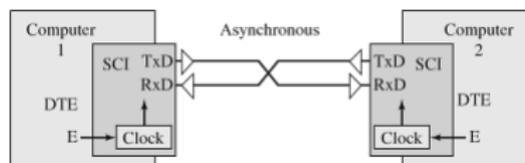


Figure : Liaison asynchrone.

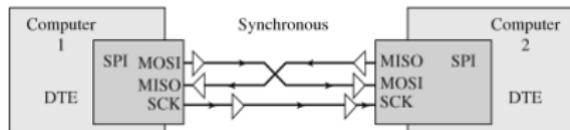
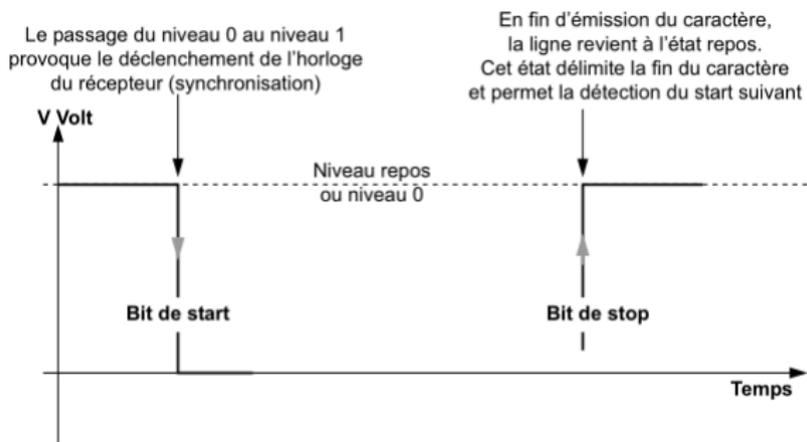


Figure : Liaison synchrone.

## ETTD & ETCD: synchronisation



**Figure :** Synchronisation en transmission asynchrone. L'émetteur envoie tout d'abord un signal spécifique d'asservissement. Ensuite un bit de start et un bit de stop sont utilisés pour délimiter les trames.

## ETTD & ETCD: synchronisation

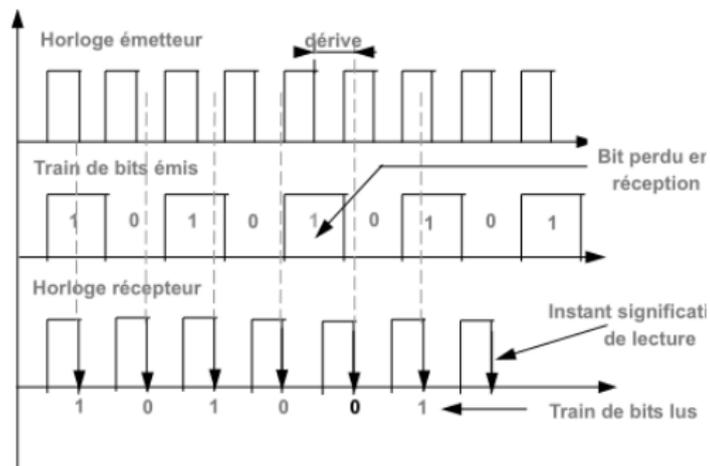
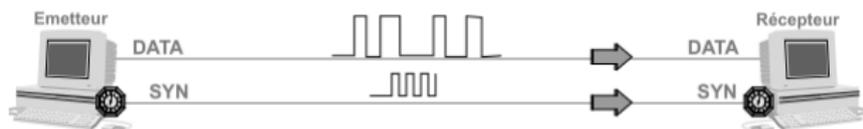
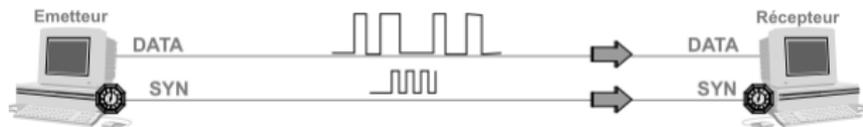


Figure : La dérive de l'horloge.

## ETTD & ETCD: synchronisation



**Figure :** Utilisation d'un signal de synchronisation. Méthode utilisée par les opérateurs de télécommunication (réseau de synchronisation).



**Figure :** Synchronisation déduite des données binaires. Un signal de synchronisation est utilisé localement entre l'ETTD et l'ETCD.

## ETTD & ETCD: synchronisation

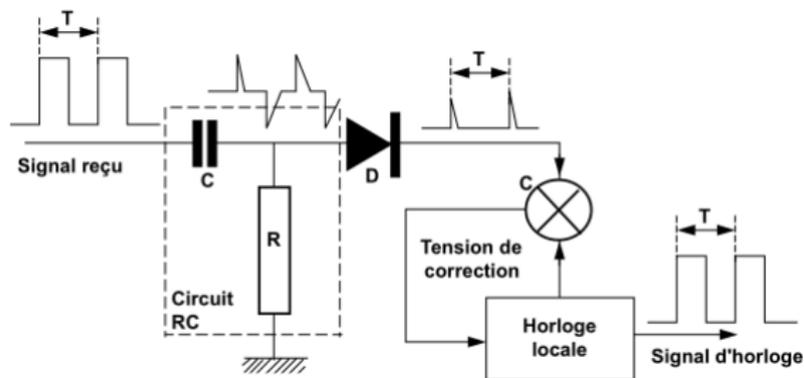


Figure : Synchronisation déduite des données binaires. Asservissement de l'horloge du receveur.

# ETTD & ETCD: synchronisation

- Embrouillage:

- ▶ Equirépartir la distribution des 0 et des 1.
- ▶ Facilite la récupération du rythme d'horloge
- ▶ Facilite le discernement des deux voies dans les liaisons full-duplex.

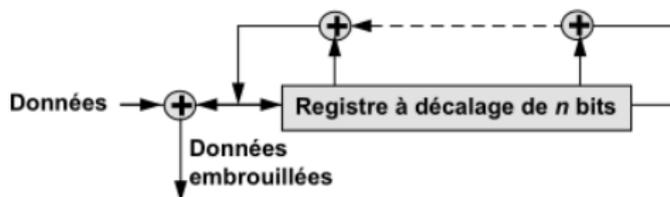


Figure : Division  $I(x) = Q(x)D(x) + R(x)$ .  $I(x)$  polynôme information,  $D(x)$  séquence pseudo-aléatoire. Le polynôme à transmettre est  $T(x) = Q(x) + R(x)$ .

# ETTD & ETCD: Modem

- Modem: modulateur + démodulateur.
- Adapter le signal d'un message au support de transmission utilisé.
- Caractéristiques:
  - ▶ Affaiblissement :  $\approx 30$  dB sur RTC<sup>4</sup>,
  - ▶ puissance:  $\approx -10$  dBm sur RTC,
  - ▶ S/B:  $\approx 25$  dB (lignes analogiques) et 38 dB (ligne numériques).

## Normes:

- ▶ V21: RTC, 300 bauds, full-duplex, asynch, FM<sup>5</sup>, 1964.
- ▶ V23: RTC (minitel), 1200 bauds, half-duplex, asynch, FM, 1964.
- ▶ V32: RTC, 2400 bauds, full-duplex, synch, MAQ4<sup>6</sup>, 1984.
- ▶ V90: DSL<sup>7</sup> de 56 Kbps (RNIS<sup>8</sup> vers RTC), 1990.

---

<sup>4</sup>Réseau Téléphonique Commuté

<sup>5</sup>Frequency Modulation

<sup>6</sup>Quadrature Amplitude Modulation

<sup>7</sup>Digital Subscriber Line

<sup>8</sup>Réseau Numérique à Intégration de Services

# ETTD & ETCD: Modem

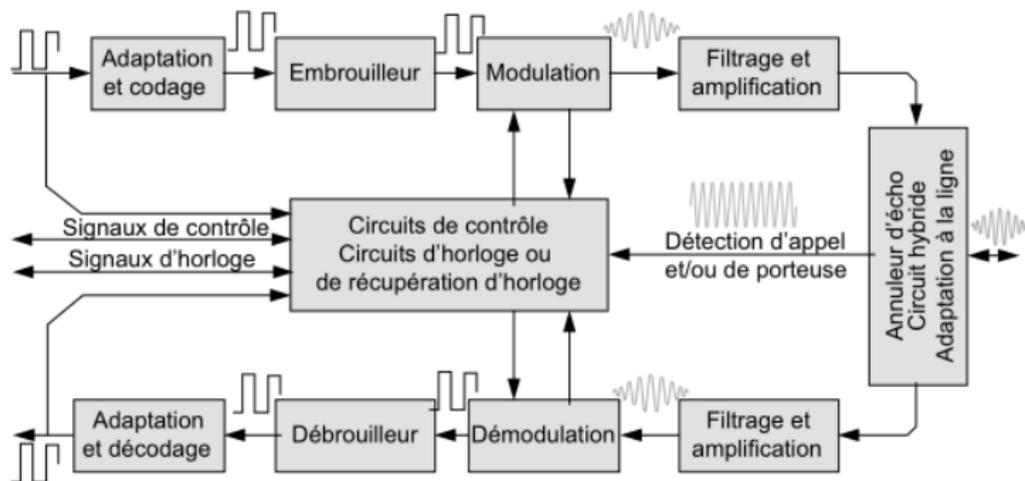


Figure : Synoptique d'un modem synchrone.

# ETTD & ETCD: Modem

- Modem V.34:
  - ▶ Adaptatif: teste la qualité de la ligne de transmission et adapte le débit.
  - ▶ Neuf proteuse possible dans la plage 229 à 3673 Hz.
  - ▶ Transmission asymétrique avec basculement automatique des canaux.
  - ▶ débit 28.8 Kbps ou 33.6 kbps (V.34+)
- Modem V.90
  - ▶ Débit limité par le rapport  $S/B$ ,
  - ▶ Modem asymétrique.

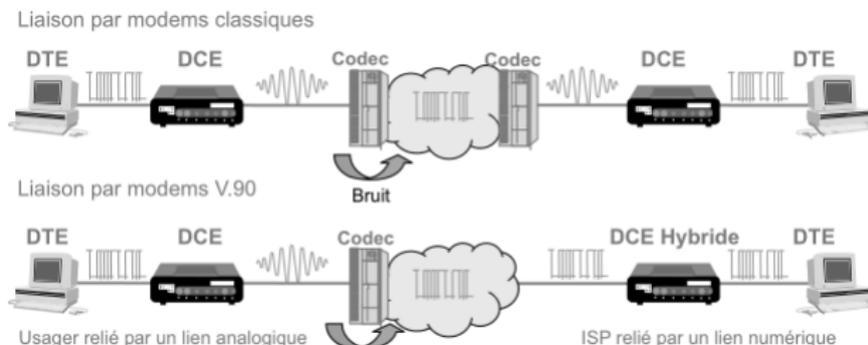


Figure : Modem classique et le modem V.90. La liaison abonné vers ISP subit l'opération de quantification (principale source de bruit), le sens ISP<sup>10</sup> vers abonné n'en subit pas. Le débit ISP vers abonné (56 kbps) est supérieur au débit abonné/ISP (33.6 kbps).

## ETTD & ETCD: Jonction

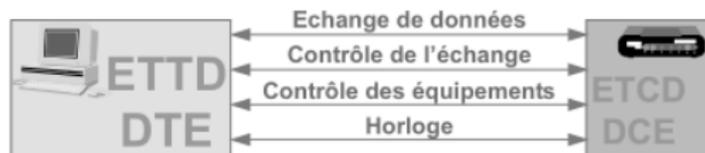


Figure : Jonction: ensemble de règles pour assurer la connectivité, la transmission des horloges, le transfert et me contrôle de données.

- Une interface ETDD/ETCD spécifique:
  - ▶ l'interface mécanique: définit le connecteur physique,
  - ▶ l'interface électrique: définit les niveaux électriques des signaux qui transitent par la jonction,
  - ▶ l'interface fonctionnelle: définit les fonctions remplies par telle ou telle broche,
  - ▶ l'interface procédurale: définit les procédures de commande et d'échange.

Appellation	Interfaces			Portée	Débit nominal
	Mécanique	Electrique	Fonctionnelle		
V.24/RS 232	ISO 2110 DB25	V.28	V.24	12 m	2,4 à 19,2 kbit/s
V.35	ISO 2593 DB34	V.11/V.10	V.24	15 m 10 m	48 à 64 kbit/s 128 à 256 kbit/s
V.36	ISO 4902 37 points	V.11/V.10	V.24	15 m 10 m	48 à 64 kbit/s 128 à 256 kbit/s
X.24/V.11	ISO 4903 DB15	V.11	X.24	100 m 50 m	64 à 1 024 kbit/s 1 920 kbit/s
G.703	ETSI 300.166	G.703	G.703	300 m	2 048 kbit/s
G.703/704	DB9	G.703	G.704	300 m	256 à 1 984 kbit/s

Figure : Principales interfaces normalisées. Normalisation<sup>12</sup>des interfaces: EIA (RS 232) et UIT (V.24, X.21)

<sup>12</sup>EIA: Electronic Industries Alliance. UIT: Union Internationale des Télécommunications ou ITU, International Telecommunication Union

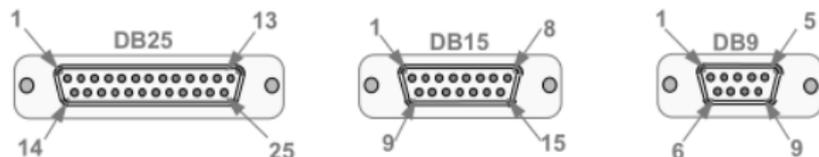
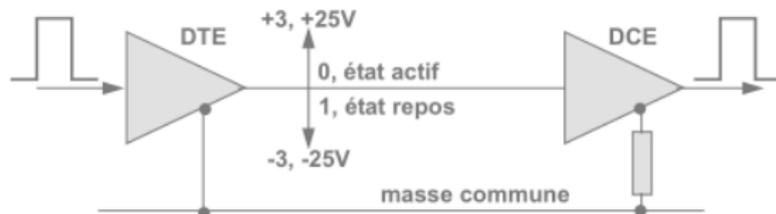


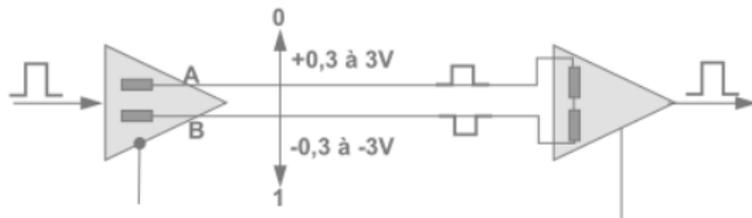
Figure : principaux connecteurs physiques (DB15: Norme ISO<sup>14</sup>4903 et DB25 Norme ISO 2110).

- Les interfaces électriques: principaux avis,
  - ▶ avis V.28: interface en mode asymétrique,
  - ▶ avis V.10 (X.26): mode asymétrique mais différencie la masse ETTD et ETCD,
  - ▶ avis V.11 (X.27): avis V.10 en mode symétrique.

## ETTD & ETCD: Jonction



**Figure :** Avis V.28: liaison asymétrique. Les niveaux compris entre +3 V et -3 V ne doivent donner lieu à aucune interprétation. Dans l'avis V.10, les tensions maximales sont de  $\pm 5$  V et les seuils de détection sont réduits à  $\pm 0,3$  V.



**Figure :** Avis V.11: liaison symétrique. Chaque signal est défini par deux fils A et B.

## ETTD & ETCD: Jonction

Les interfaces fonctionnelles: ensemble de circuits destinés à établir la liaison physique, la maintenir et la synchroniser.

- connecteur Canon DB25,
- quatre types de signaux : de masse, de transfert, de commande et de synchronisation.
- deux familles de circuit:
  1. la série 100: définit 39 circuit pour la transmission en mode synchrone ou asynchrone,
  2. la série 200: appels automatiques.

		CCITT V..24		EIA RS-232 C		
Les circuits de masse						
Code	Br	Abr.	Signification	Abr.	Signification	Fonction
101	1	TP	Terre de protection	PG	Protective ground	
102	7	TS	Terre de signalisation	SG	Signal ground	Est utilisé comme retour commun en cas de jonction dissymétrique (V.24) ou comme potentiel de référence dans les jonctions symétriques (V.10, V.11, V.35).

Figure : Signaux (circuits de masse) de la série 100. Le code est n° attribué au circuit. Br, le n° de la broche utilisé sur un connecteur DB25. Abr, désigne le circuit<sup>16</sup>.

<sup>16</sup>CCITT: Consultative Committee for International Telephony and Telegraphy, comité de l'ITU

# ETTD & ETCD: Jonction

CCITT V..24				EIA RS-232 C		
Les circuits de transfert						
Code	Br	Abr.	Signification	Abr.	Signification	Fonction
103	2	ED	Émission de données	TD	Transmitted data	Circuit par lequel l'ETTD transmet à l'ETCD les données.
104	3	RD	Réception de données	RD	Receive data	Circuit par lequel l'ETCD transmet à l'ETTD les données reçues

Figure : Signaux (circuits de transfert) de la série 100.

## ETTD & ETCD: Jonction

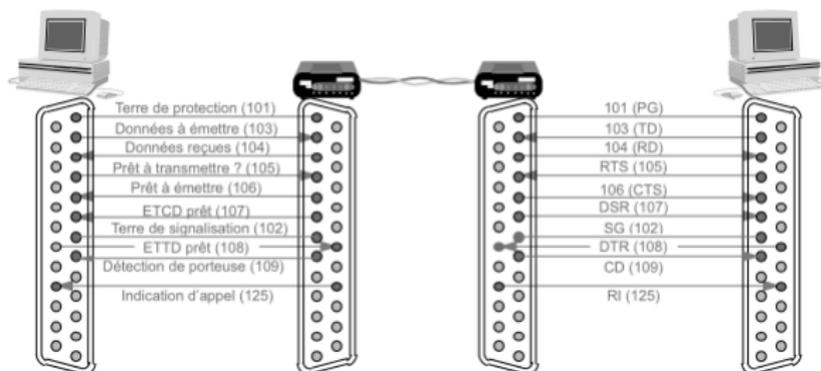


Figure : principaux circuits utilisés dans une liaison V.24.

# ETTD & ETCD: Jonction

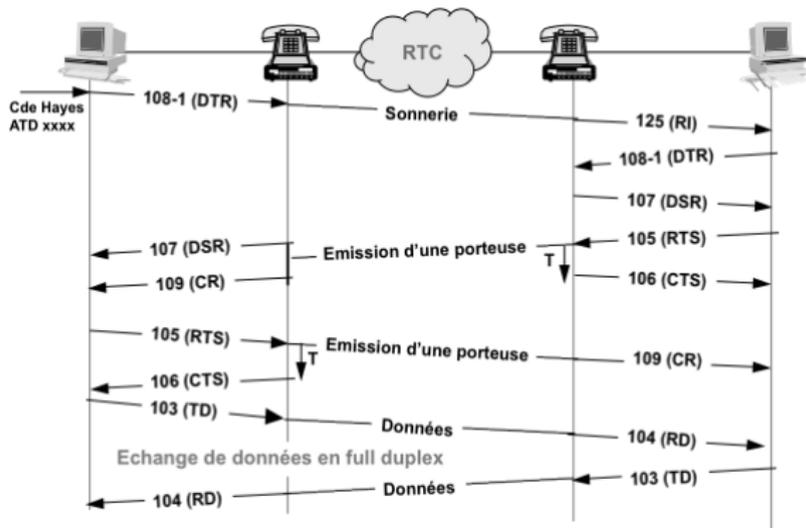


Figure : principaux circuits utilisés dans une liaison V.24.

## ETTD & ETCD: Jonction

1. Les modems appelant et appelé sont sous tension et non connectés à la ligne.
2. L'appelant reçoit la commande Hayes de demande d'appel.
3. Non connecté à la ligne, il exécute la commande, prend la ligne(108-1,DTR ou Data Terminal Ready), émet le numéro d'appel du modem distant.
4. Le modem distant, en attente de demande de connexion reçoit l'appel, il l'indique à son ETTD en levant le signal 125 (Indication d'appel ou RI, Ring Indicator).
5. L'appelé accepte l'appel et demande à l'ETCD de se connecter à la ligne (108-1).
6. La connexion réalisée l'ETCD signale qu'il est connecté à la ligne et prêt à recevoir des commandes (107, DSR ou Data Set Ready).
7. L'ETTD appelé indique alors par le signal 105 (RTS, Request To Send) à son ETCD de se mettre en état de recevoir des données sur son circuit 103 (TD, Transmitted Data) afin de les émettre sur la ligne.
8. L'ETCD se met, alors, en position d'émission et signale au distant qu'il va émettre des données par l'émission d'une porteuse (109, CD Data Carrier Detect).
9. A réception de ce signal, l'appelé sait son appel accepté, il signale à l'ETTD qu'il est connecté à la ligne et prêt à son tour à recevoir des commandes (107, DSR ou Data Set Ready).
10. Puis il indique à l'ETTD qu'il reçoit une porteuse du distant et que par conséquent celui-ci est prêt à transmettre.
11. L'appelant procède comme l'appelé, demande à son ETCD de se mettre en position d'émission (105, RTS ou Request To Send), l'ETCD envoie une porteuse au distant et, après un délai (T), signale à son ETTD qu'en principe le distant est prêt à recevoir et que lui est prêt à émettre (106, CTS ou Clear To Send).
12. L'échange de données peut alors avoir lieu.

## ETTD & ETCD: Jonction

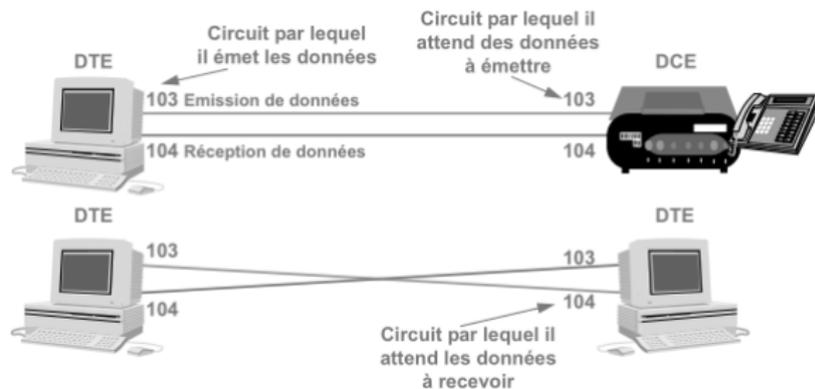


Figure : câble droit et de câble croisé.

## ETTD & ETCD: Jonction

Avis X.21: définit l'interface d'accès entre un ETTD et un réseau public de transmission de données.

- établissement de la connexion avec un ETTD distant,
- échange des données en mode duplex synchrone,
- libération de la connexion.

Modes électrique:

- côté ETCD (modem réseau): seul le mode équilibré peut être utilisé (2 fils par circuits),
- côté ETTD (modem ETTD) les deux modes sont possibles: équilibré ou non équilibré (retour commun).
- huit circuits, les commandes ne sont pas matérialisées par des tensions sur un circuit spécifié mais par une combinaison de signaux.
- l'état de l'interface est indiqué par la combinaison des quatre circuits Transmission (T), Contrôle (C), Réception (R) et Indication (I).

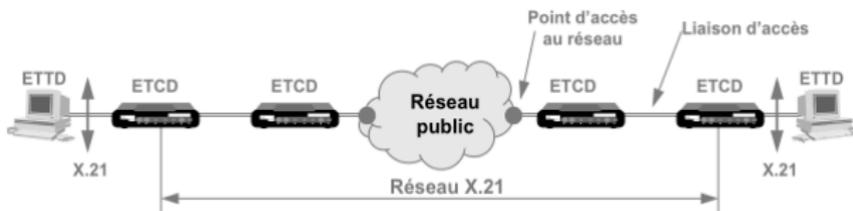


Figure : Le réseau X.21.

# ETTD & ETCD: Jonction

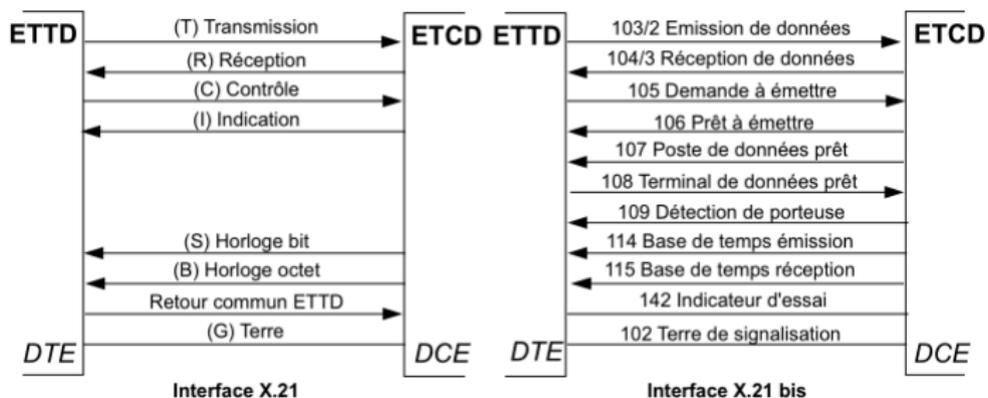
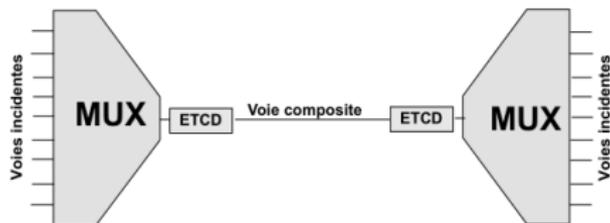
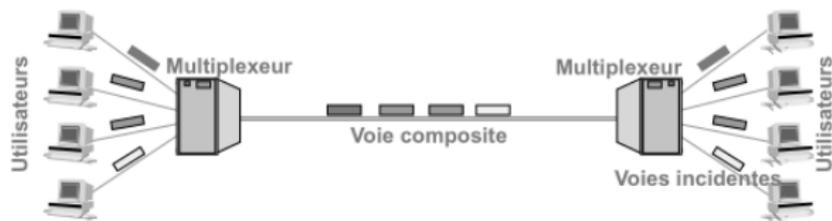


Figure : Le réseau X.21 utilise un DB15. X.21.bis utilise un DB25. X.21.bis utilise les signaux fonctionnels de la V.24.

# Multiplexage

- Multiplexeur: un équipement qui met en relation un utilisateur avec un autre par l'intermédiaire d'un support. Le support est partagé par plusieurs utilisateurs.
- L'opération de regroupement des voies incidentes sur un même support s'appelle le multiplexage. L'opération inverse, le démultiplexage.
- Transmission simultanée de signaux multiples sur une seule liaison physiques.



# Multiplexage

- Deux techniques majeures:
  - ▶ Partage de la bande disponible, multiplexage fréquentiel ou spatial,
  - ▶ Partage du temps d'utilisation, multiplexage temporel.
- Technique récente: multiplexage par étalement de spectre:
  - ▶ Partage fréquentiel et temporel.
- Autres techniques:
  - ▶ WDM: Wave Division Multiplexing ou multiplexage par longueurs d'onde.
  - ▶ DWDM: Dense WDM.

# Multiplexage spatial

- FDM: multiplexage fréquentiel<sup>17</sup>.
  - ▶ La bande passante du support est divisée en canaux (voies),
  - ▶ Juxtaposition fréquentielle de voies,

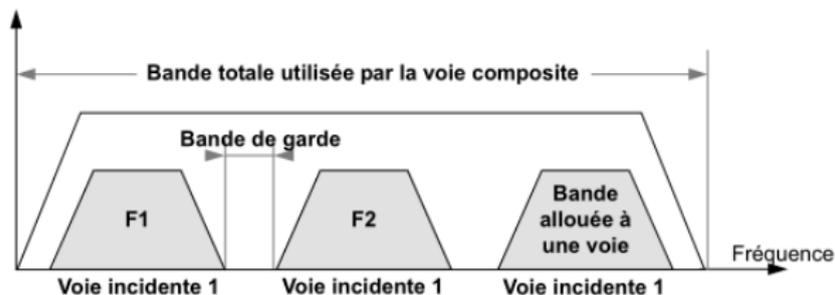


Figure : Partage de fréquence. Des bandes de garde séparent les canaux pour limiter les interférences.

# Multiplexage spatial

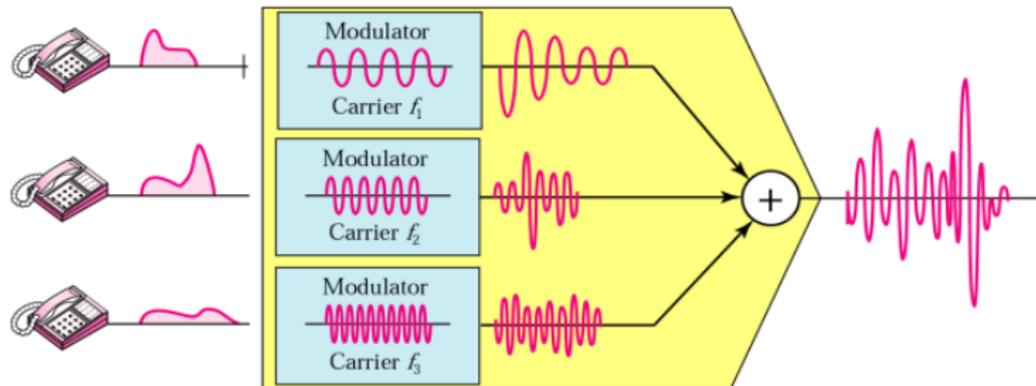


Figure : Multiplexage: génération de  $N$  porteuses.

# Multiplexage spatial

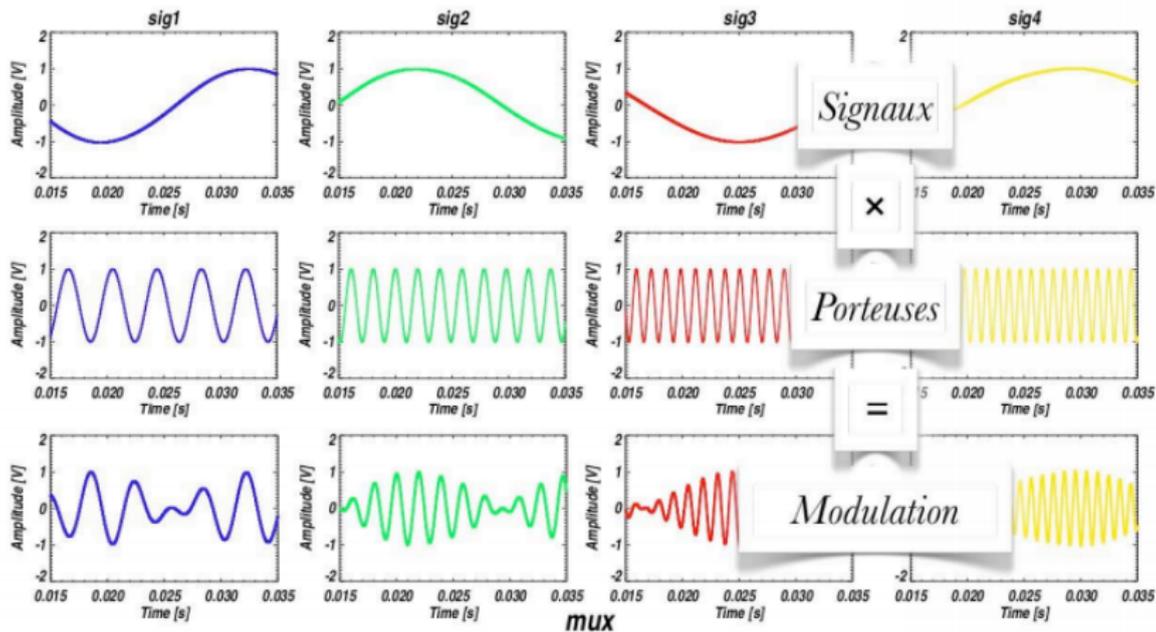


Figure : Multiplexage: exemple de multiplexage fréquentiel 4 vers 1. Les porteuses sont des multiples de 256 Hz et la bande utile des signaux multiplexés est de 128 Hz.

# Multiplexage spatial

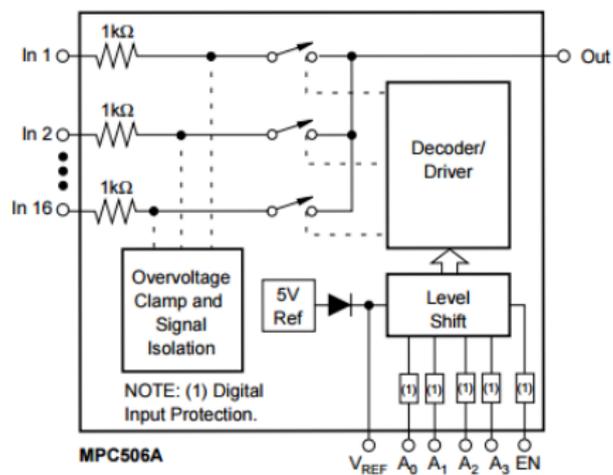


Figure : Texas Instrument MPC506. Multiplexeur analogique.

# Multiplexage spatial

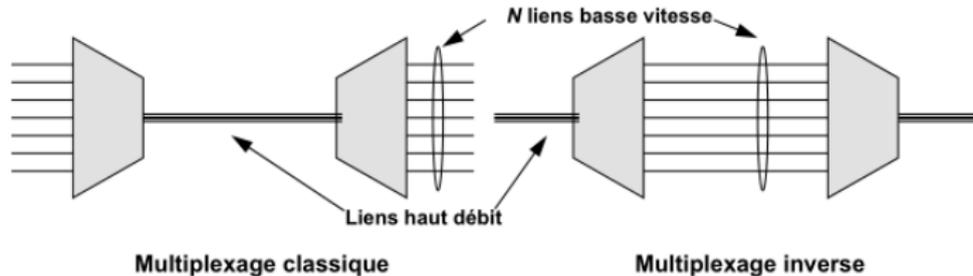


Figure : Hiérarchie de multiplexage analogique: premiers réseaux de téléphonie. Le canal de base a une largeur de 4 KHZ. Plusieurs canaux de base sont multiplexés pour former un groupe de voies appelé groupe primaire. Plusieurs groupes primaires sont multiplexés pour former un groupe secondaire.

Groupe	Bandes de fréquences	Nombre de voies téléphoniques
Primaire	60 à 108 kHz	12
Secondaire	312 à 552 kHz	60
Tertiaire	812 à 2 044 kHz	300
Quaternaire	8 516 à 12 388 kHz	900

Figure : Hiérarchie des réseaux téléphoniques analogiques.

## Multiplexage spatial

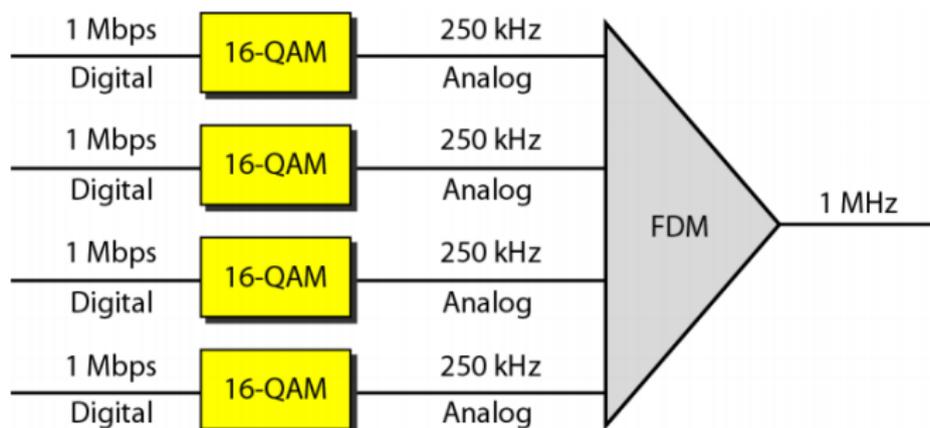


Figure : Quatre canaux de données (numériques), transmettant chacun à 1 Mbps, utilise un canal de satellite de 1 MHz.

- Radio AM: de 530 KHz à 1700 KHz, avec une largeur de bande de 10 KHz par station
- Radio FM: de 88 MHz à 108 MHz, avec une largeur de bande de 200 KHz par station
- Diffusion de TV : une largeur de bande de 6 MHz canal de TV
- Première génération de téléphones cellulaires : chaque usager a 2 canaux de 30 KHz.

# Multiplexage temporel

- Numérisation du réseau téléphonique:
  - ▶ Multiplexage temporel est rendu possible.
- Multiplexage temporel: principes:
  - ▶ Exploitation des espaces de temps de silences.
  - ▶ Relier une voie incidente d'entrée à une voie incidente de sortie durant un intervalle de temps prédéterminé.
  - ▶ Une voie temporelle est réservé à un seul émetteur/récepteur.
- Définition de plusieurs niveaux de multiplexage:
  - ▶ Niveau primaire: E1 (Europe) et DS1 (Amérique).
  - ▶ Niveaux supérieurs: agrégation de plusieurs liens bas débit pour obtenir un débit.
- Deux types: hiérarchies de multiplexages numériques :
  1. Multiplexage asynchrone: X.25, Ethernet.
  2. Multiplexage synchrone: hiérarchies numériques, RNIS, PDH<sup>18</sup>, SDH<sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup>Plesiochronous Digital Hierarchy

<sup>19</sup>Synchronous Digital Hierarchy

# Multiplexage temporel

- Temps découpé en trames successives de durée constante,
- Trame découpée en IT (intervalle de temps, slots)

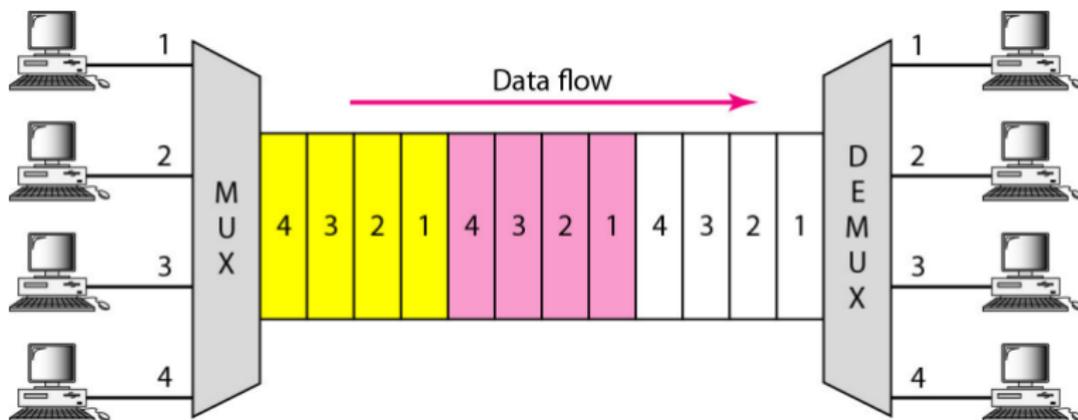


Figure : Multiplexage temporel. Le couple de multiplexeurs met en relation les utilisateurs rattachés aux voies identifiées « voies incidentes 1 » ; l'intervalle de temps suivant, les utilisateurs rattachés aux voies 2, puis ceux rattachés aux voies 3.

# Multiplexage temporel

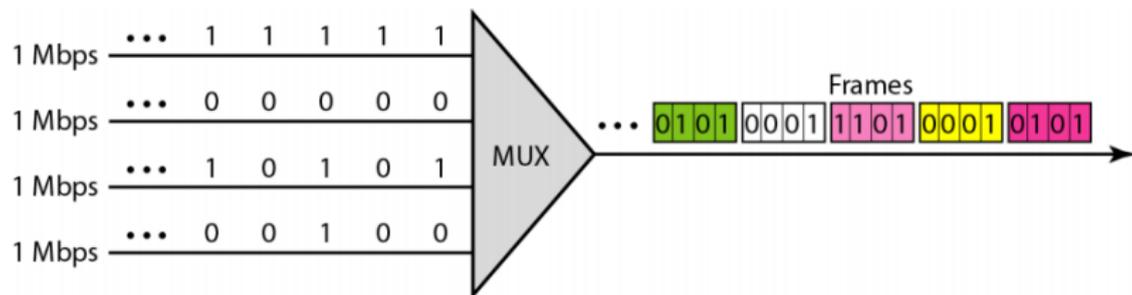


Figure : Exemple TDM<sup>21</sup> synchrone: durée du bit d'entrée =  $1 \mu\text{s}$ , durée du bit de sortie =  $1/4 \mu\text{s}$ , donc le débit de sortie est de 4 Mbps.

# Multiplexage temporel

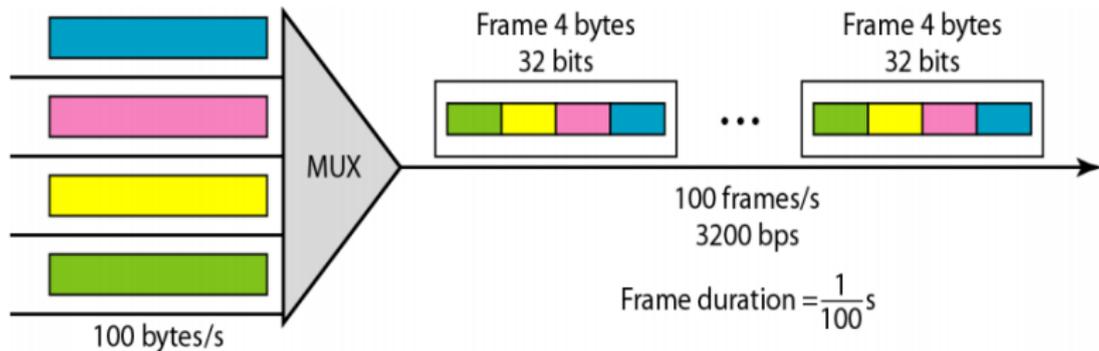


Figure : Exemple TDM: multiplexage de 4 canaux. Si chaque canal envoie 100 octets/s et que nous multiplexons 1 octet par canal.

# Multiplexage temporel

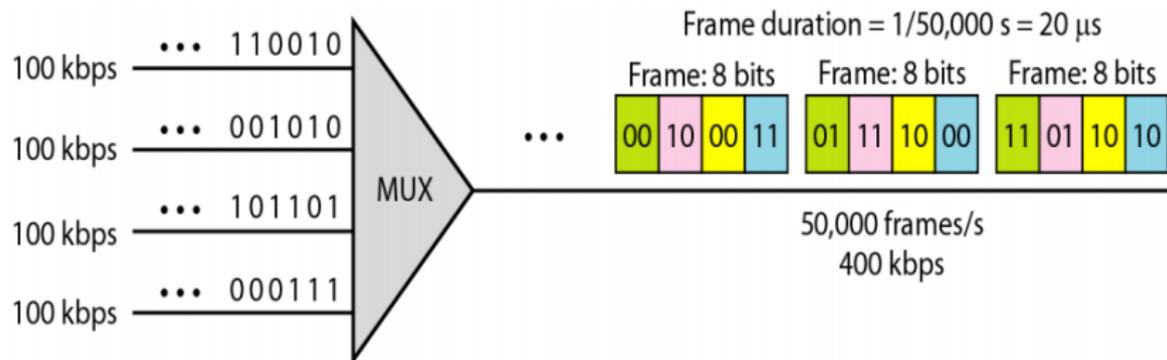
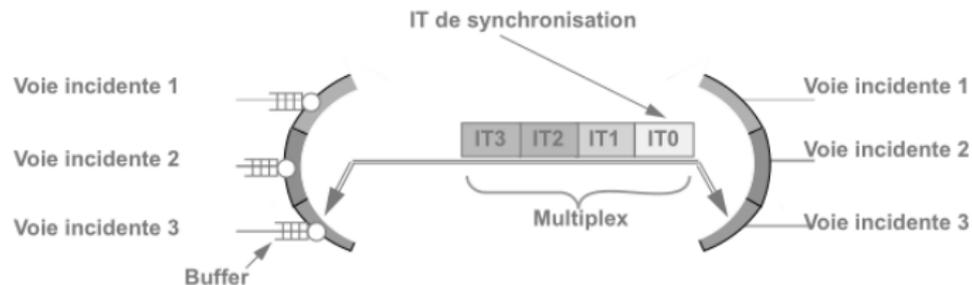


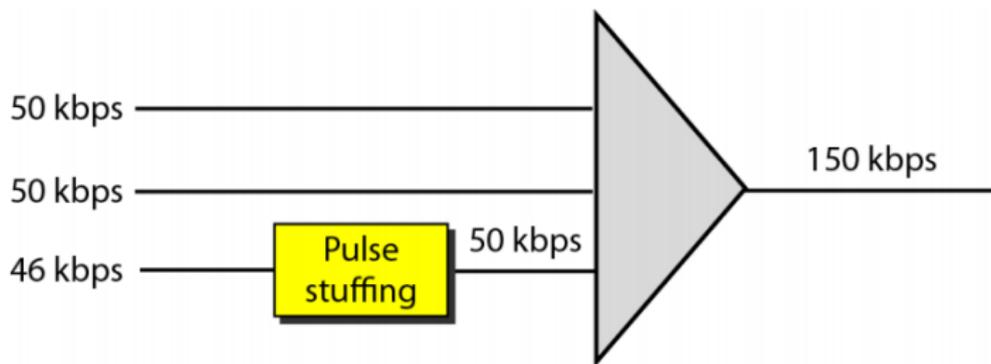
Figure : Exemple TDM: un multiplexeur combine quatre canaux de 100 Kbps à l'aide d'un slot temporel de 2 bits.

# Multiplexage temporel



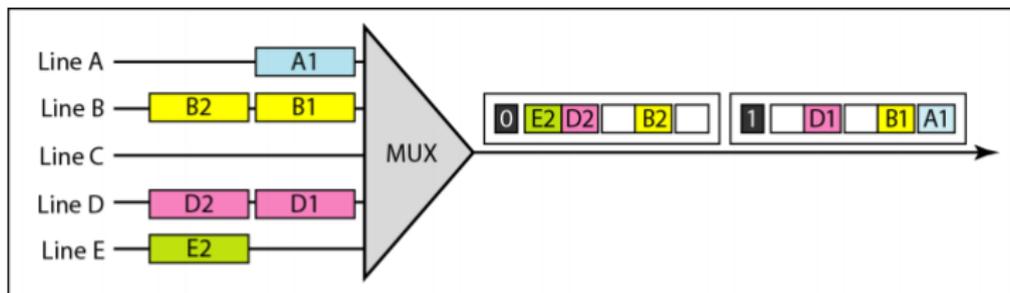
**Figure :** Un IT de synchronisation permet d'identifier le début de trame et donc la restitution des différentes voies. L'ensemble des différentes voies et de l'IT de synchronisation forme la trame multiplexée, appelée le multiplex.

## Multiplexage temporel

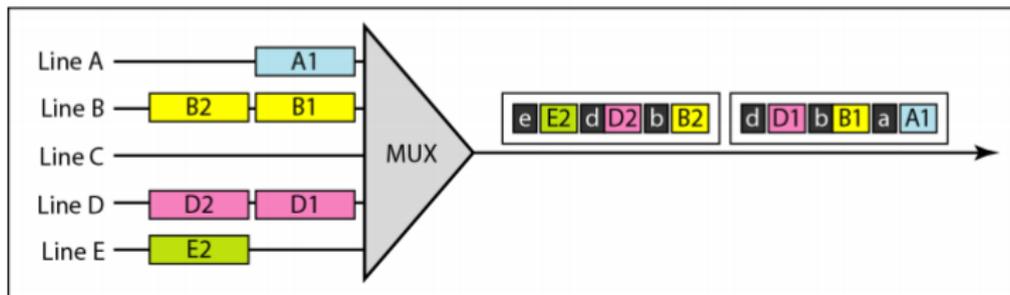


**Figure :** Problème: synchronisation des sources de données. Solution: rembourrage de trame, le débit de données sortant est plus haut que la somme des débits des données arrivants. Ce rembourrage est effectué à des endroits fixes dans trame pour pouvoir le extraire lors de démultiplexage.

# Multiplexage temporel



a. Synchronous TDM



b. Statistical TDM

Figure : TDM synchrone et statistique.

# Multiplexage temporel

- Technique:
  - ▶ MIC (Modulation par Impulsion et Codage) → Trame MIC.
- Numérisisation de la voix: multiplexage de plusieurs voies téléphoniques,
  - ▶ 64 kbps (8 kHz) → Trame MIC d'une période de  $125 \mu s$ , et d'une longueur de 256 bits.
  - ▶ Regroupe 30 communications téléphoniques dans une même trame.
  - ▶ Cette trame est appelée multiplex.

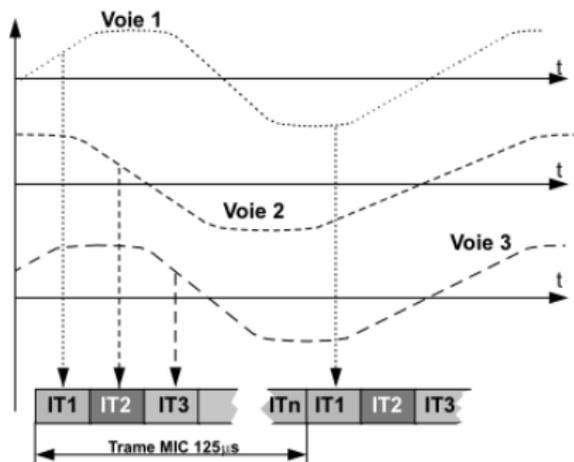


Figure : Principe de la trame MIC.

# Multiplexage temporel

- Multiplex E1: multiplex Européen d'ordre 1: conduit de 2 048 kbps qui contient 32 voies de 64 kbps:
  1. 30 voies téléphoniques,
  2. Mot de Verrouillage Trame (intervalle de temps IT0), repérage de la trame.
  3. IT16: signalisation ou supervision pour les multiplex d'ordre supérieur.

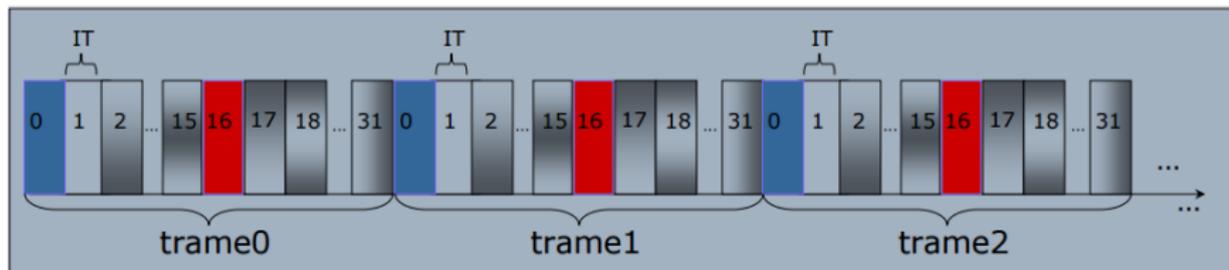


Figure : Trame MIC E1.

# Téléphonie

- RTPC: Réseau Téléphonique Public Commuté (PSTN, Public Switched Telecommunication Network)
- Principe: commutation de circuits
  - ▶ Mettre en relation deux abonnés, à travers une liaison dédiée pendant tout l'échange.
  - ▶ Réseaux point-à-point adaptés à la transmission de la voix en temps-réel.
  - ▶ Utilisation du multiplexage fréquentiel ensuite temporel.

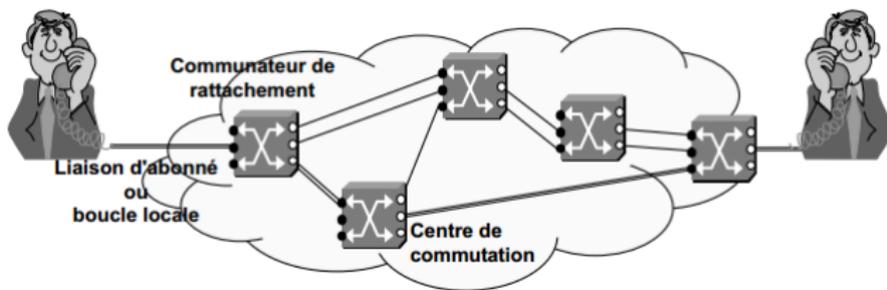
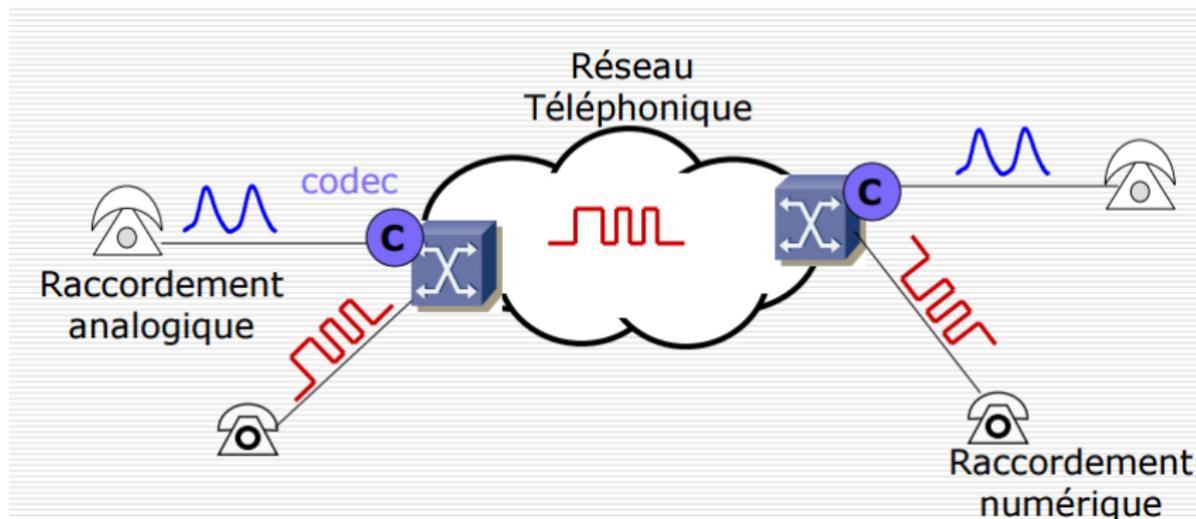
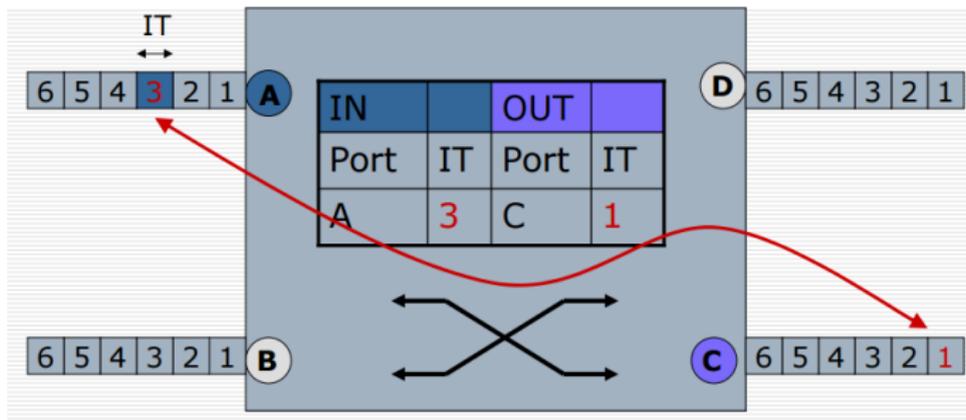


Figure : Transport de la voix sur un réseau téléphonique par commutation de circuits RTC.

# Téléphonie



**Figure :** La liaison réseau est numérique mais certaines liaisons des abonnés reste analogique. L'échantillonnage et la reconstitution se font par le commutateur de rattachement.

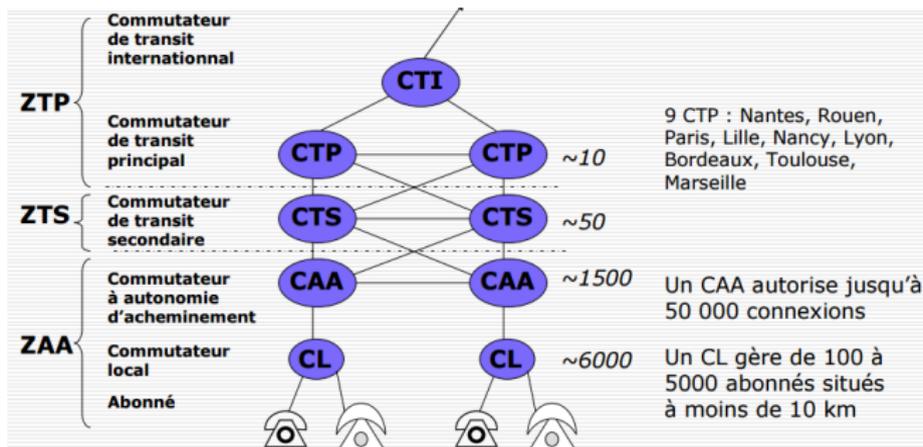


**Figure :** Commutation temporelle dans les commutateurs. Mettre en relation un IT d'une trame d'entrée avec un IT d'une trame de sortie → émulation d'un circuit → communication en full duplex et la bande passante est réservée durant toute la communication.

# Téléphonie: architecture

- Architecture traditionnelle, trois niveaux:

1. Zone à autonomie d'acheminement (ZAA): comporte un ou plusieurs commutateurs à autonomie d'acheminement (CAA) qui desservent des Commutateurs locaux (CL) auxquels sont raccordés les abonnés.
2. Zone de transit secondaire (ZTS): comporte des commutateurs de transit secondaires (CTS).
3. Zone de transit principal (ZTP): assure la commutation des liaisons longues distances et comporte un commutateur de transit principal (CTP) relié à un commutateur de transit international (CTI).



# Téléphonie: architecture

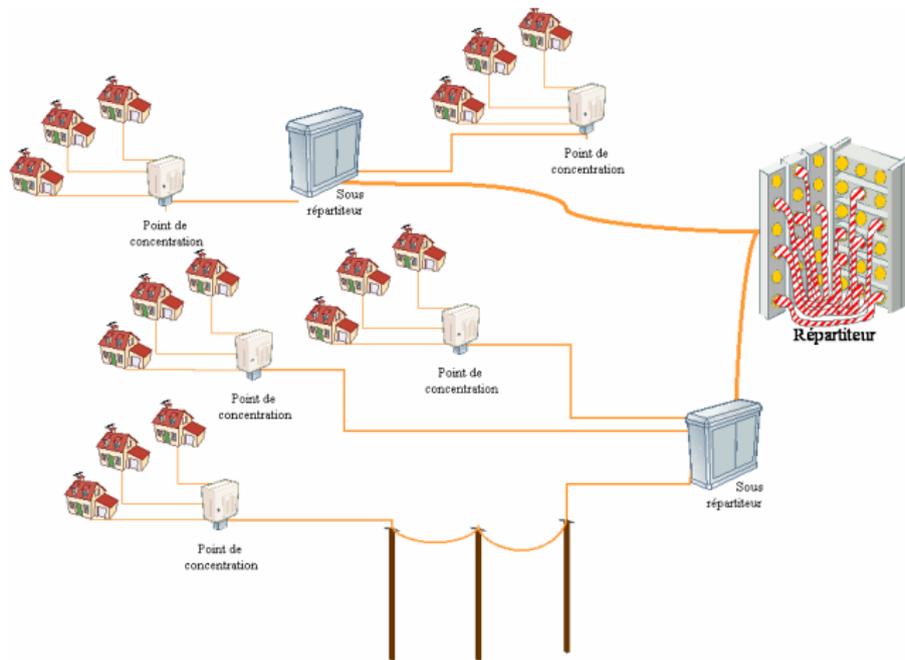


Figure : Exemple: Commutateurs locaux (CL).

# Téléphonie: architecture



Figure : Exemple: point de concentration, sous-répartiteur et répartiteur.

# Téléphonie: équipement

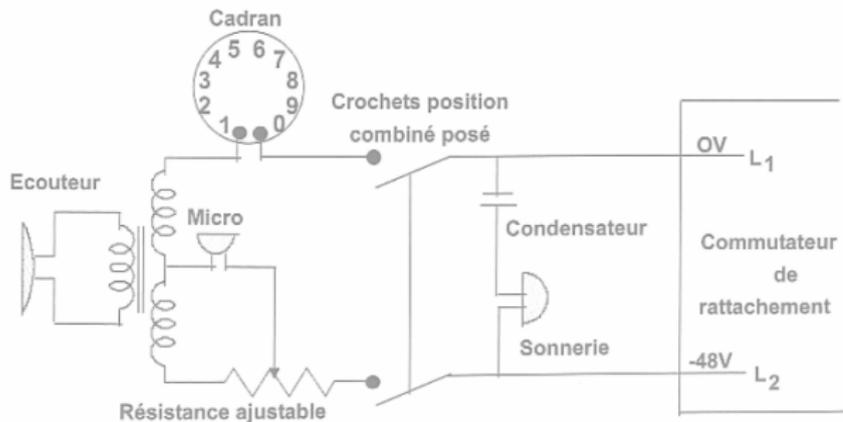


Figure : Schéma simple d'un poste analogique.

- Au repos:  $U=48$  Volts,  $i < 3$  mA
- Décrochage:
  - ▶ Le commutateur de rattachement explore les lignes toutes les 500 ms,
  - ▶ si  $33 \text{ mA} < i < 50 \text{ mA}$  → décrochage détecté → 3 postes max par ligne → signal invitation à numéroté par tonalité continue.
- Etablissement de la communication:
  - ▶ Inversion de polarité: début de taxation.

# Téléphonie: équipement

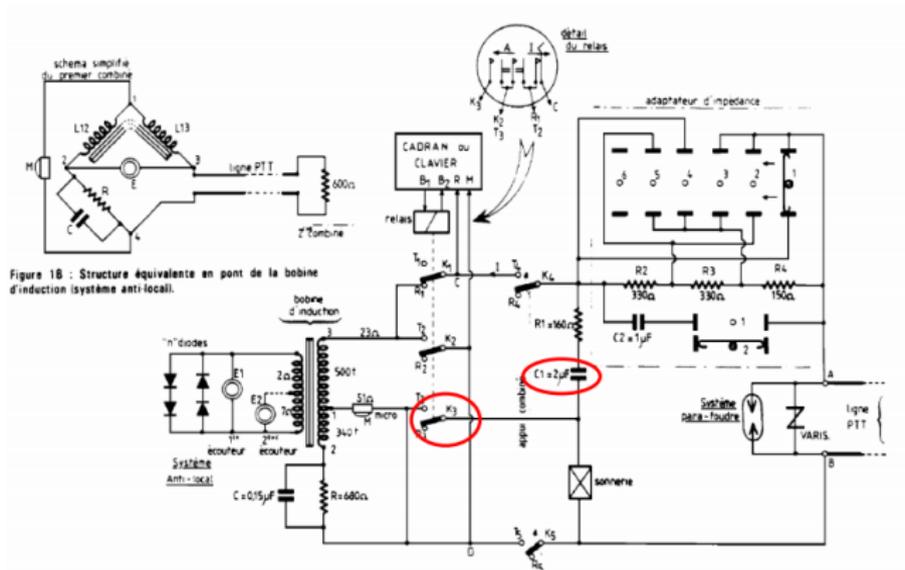


Figure 18 : Structure équivalente en pont de la bobine d'induction (système anti-local).

Figure : Schéma d'un poste analogique: plus compliqué.

# Téléphonie: équipement

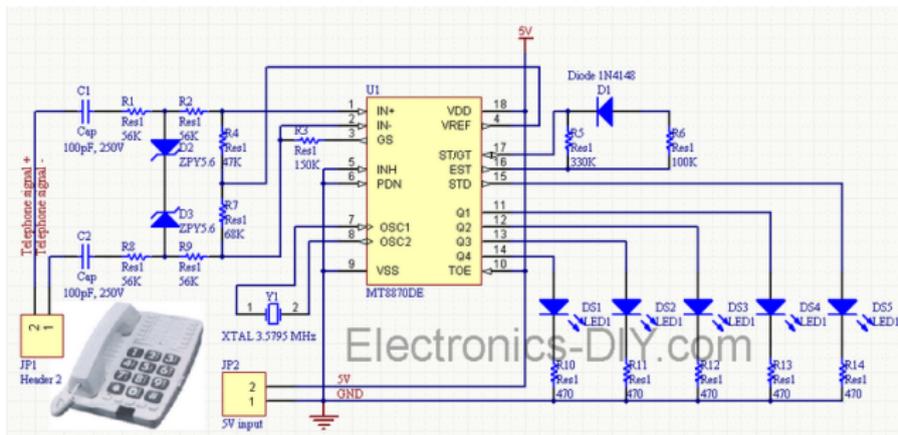


Figure : Schéma d'un poste analogique à clavier. Utilisation d'un MT8870DE, décodeur DMTF<sup>23</sup>.

<sup>23</sup> dual-tone multi-frequency: chaque chiffre est codé par une paire de fréquences d'une durée min de 40 ms et séparés par un silence min de 40ms

# Téléphonie: établissement d'une communication

- URA, Unité de raccordement d'abonnés:
  - ▶ Raccordement de l'utilisateur au réseau.
- Le commutateur de raccordement assure plusieurs fonctions:
  - ▶ Réception, enregistrement de la numérotation, traduction, définition des conditions de tarification et déterminer le chemin de la communication.
- Jonction: sélecteur:
  - ▶ Recherche d'une ligne disponible et affectation des ressources (circuits ou IT).

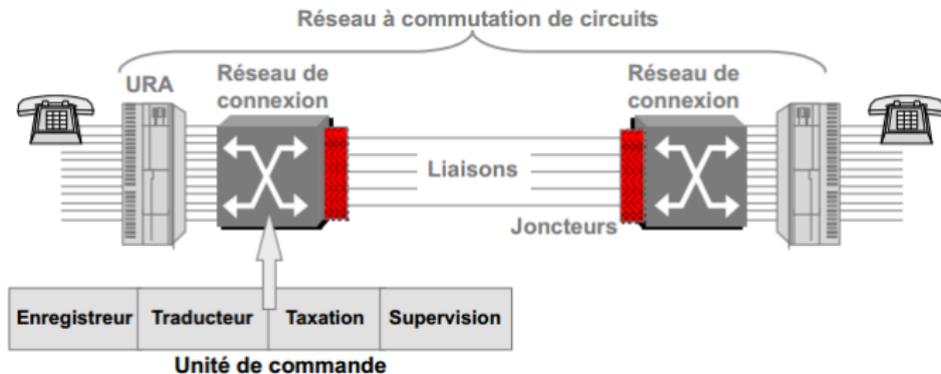
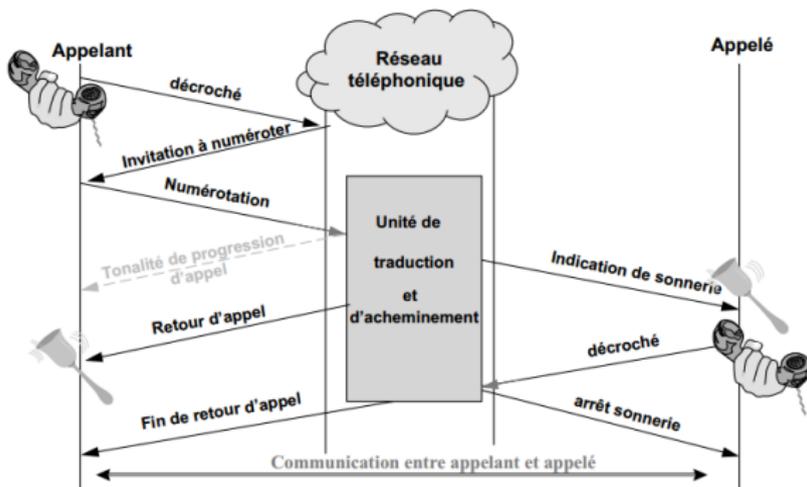


Figure : Mettre en relation deux terminaux téléphoniques.

# Téléphonie: établissement d'une communication



- Numéro d'abonné: numéro international au format E.164.
  - ▶ Raccordement analogique: numérotation fréquentielle<sup>24</sup>, une touche génère deux signaux de fréquences différentes transmis au central de rattachement<sup>25</sup>.
  - ▶ Raccordement numériques: transmission d'une valeur binaire sur la voie de signalisation.

<sup>24</sup>norme ITU Q.23

<sup>25</sup>Chaque combinaison de fréquences a été déterminée pour minimiser le risque qu'une combinaison de voix lui ressemble

# Téléphonie: mode de signalisation

- De nombreuses informations qui gèrent la communication téléphonique: décroché → raccroché.
- signalisation entre centraux:
  - ▶ Téléphonie analogique: par transmission de tonalités spécifiques<sup>26</sup>.
  - ▶ Téléphonie numérique: par canal sémaphore<sup>27</sup>.

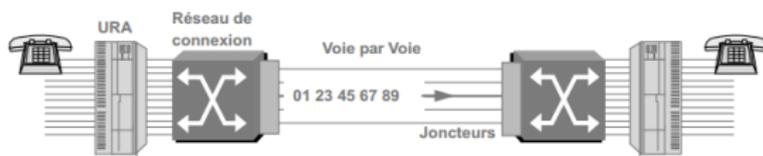


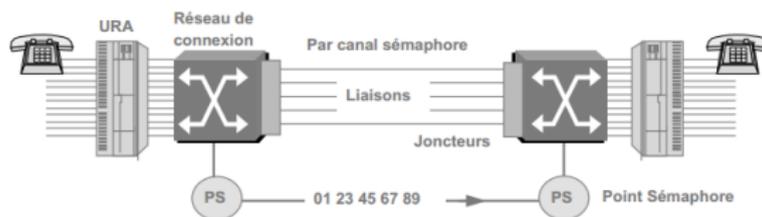
Figure : La signalisation voie par voie, CAS (Channel Associated Signalling).

<sup>26</sup>obsolète.

<sup>27</sup>échange de signalisation sans établissement réel d'un circuit de communication utile pour d'autres services tel que le transfert d'appel.

# Téléphonie: mode de signalisation

- Recommandation ITU Q700.
- Tous les événements relatifs à un ensemble de circuits sont signalés par le canal sémaphore.



**Figure :** La signalisation par canal sémaphore, CCS (Common Channel Signaling). Un canal sémaphore à 64 kbps peut commander 2000 circuits.

# Réseaux RNIS

- 1970: premiers commutateurs à multiplexage commutation temporelle,
- 1976: Signalisation par canal sémaphore,
- 1987: Début du RNIS.
- Objectif: créer un réseau unique entièrement numérique.



Figure : Exemple d'une offre RNIS chez Numeris-Orange.

# Réseaux RNIS

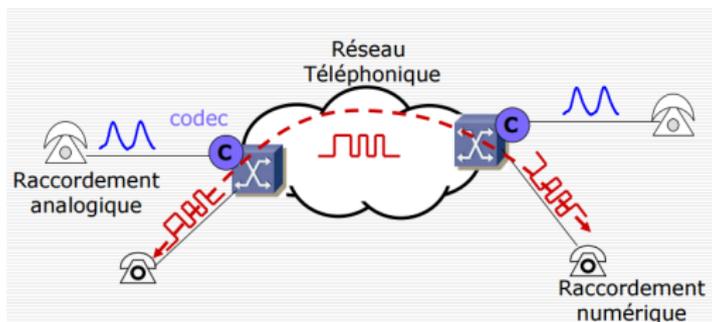


Figure : Le RNIS permettait une communication numérique de bout-en-bout.

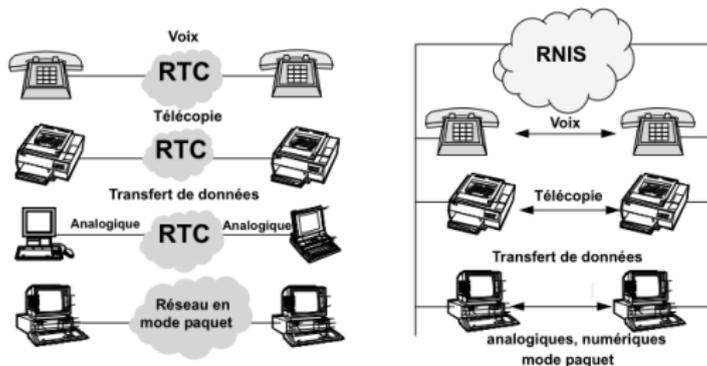


Figure : La signalisation a été enrichie avec de nombreux services → RNIS (Réseau numérique à intégration de service ou ISDN, Integrated Service Digital Network).

# Réseaux RNIS

- Deux types de canaux de communication :
  1. Canal de signalisation: canal D (Data Channel), couche 2 (commutation de paquet, protocole LAP-D<sup>28</sup>), 16 kbps pour les accès de base ou à 64 kbps pour les accès primaires.
  2. Canaux de transfert: 2 canaux B (Bearer Channel), couche 1 (commutation de circuit, PPP<sup>29</sup>, HDLC<sup>30</sup>), 64 kbps chacun.

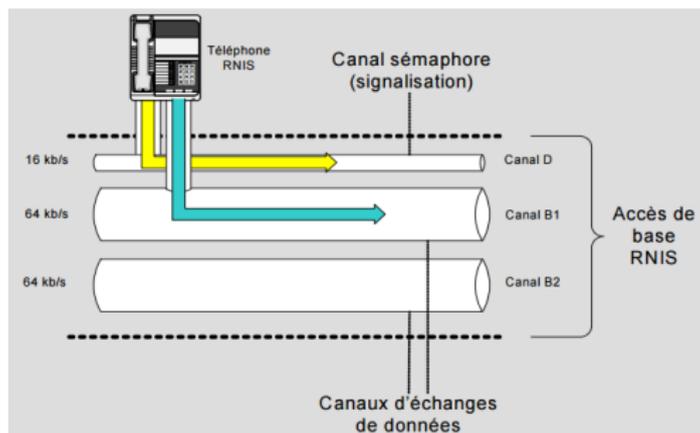


Figure : Accès de base S0/T0.

<sup>28</sup> Link Access Procedure D channel

<sup>29</sup> Point-to-Point Protocol

<sup>30</sup> High-Level Data Link Control

- Deux types de canaux de raccordement:
  1. L'accès de base S0: connexion BRI<sup>31</sup> ou 2B+D, nécessite une ligne téléphonique ordinaire.
  2. L'accès primaire S2: connexion PRI<sup>32</sup> ou 30B+D<sup>33</sup> ou 23B+D<sup>34</sup>.

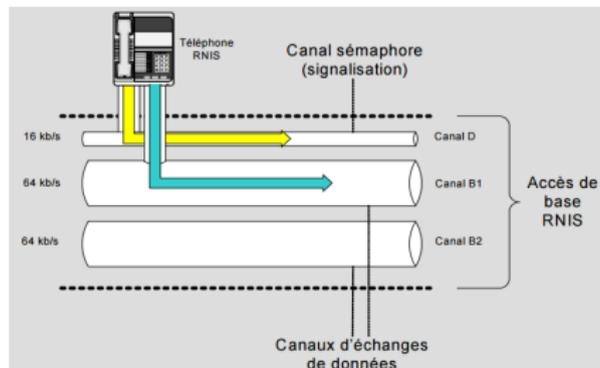


Figure : Accès de base S0/T0.

<sup>31</sup>Basic Rate Interface, ITU I.430

<sup>32</sup>Primary Rate Interface, ITU I.431

<sup>33</sup>Europe, nécessite une ligne 2 Mbps (E1 ou T2).

<sup>34</sup>USA/Japon, nécessite une ligne 1,6 Mbps (T1).

# Réseaux RNIS

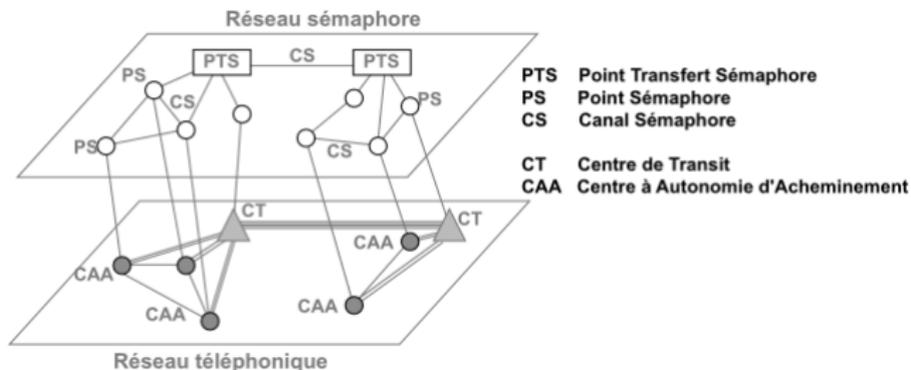


Figure : Architecture des autocommutateurs similaire au RTC. CAA, CTS, CTP doublés d'un PS (point sémaphore), PTS (point de transit sémaphore) pour le réseau de signalisation.

## Hiérarchie numérique

- regrouper des multiplex pour constituer un nouveau multiplex d'ordre supérieur,
- le multiplexeur insère dans la trame des informations de service et des bits de justification (compenser les écarts d'horloge des multiplex incidents)
- l'hiérarchie résultante est appelé a aussi hiérarchie numérique plésiochrone (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy).

Niveau	Pays	Débit en kbit/s	Nombre de voies	Avis de l'UIT-T
Niveau 1	Europe (E1)	2 048	30	G.704
	Japon	1 544	24	
	États-Unis (T1)	1 544	24	
Niveau 2	Europe (E2)	8 448	120	G.742
	Japon	6 312	96	
	États-Unis (T2)	6 312	96	
Niveau 3	Europe (E3)	34 368	480	G.751
	Japon	33 064	480	
	États-Unis (T3)	44 736	672	
Niveau 4	Europe (E4)	139 264	1 920	G.751

Figure : La hiérarchie numérique PDH. Principe des réseaux numérique dans les années 70, le PDH est remplacée à partir de 1986 par le SDH.

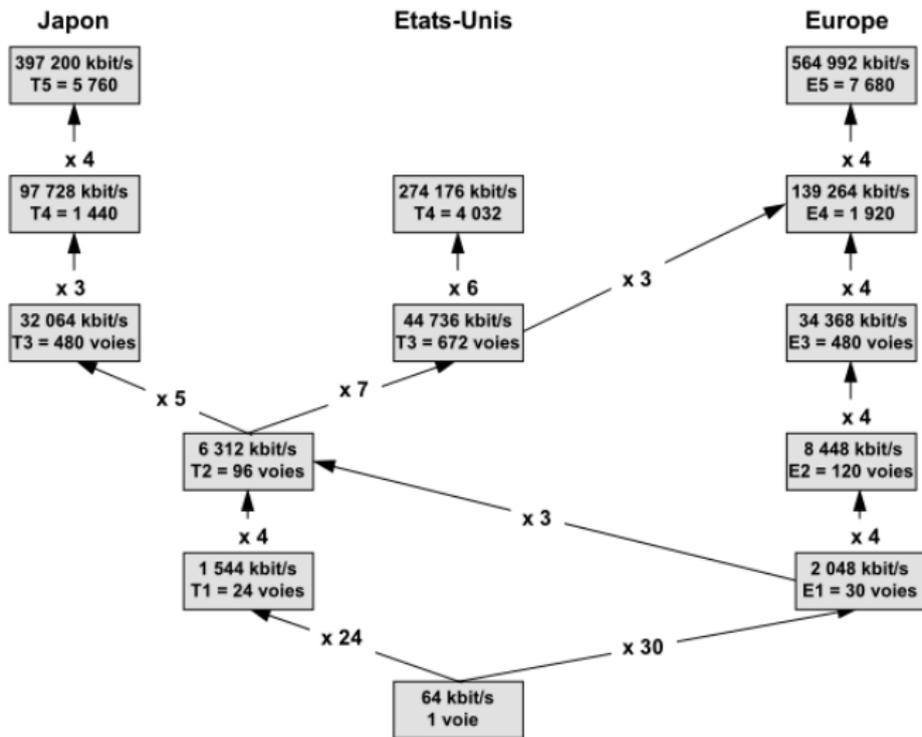
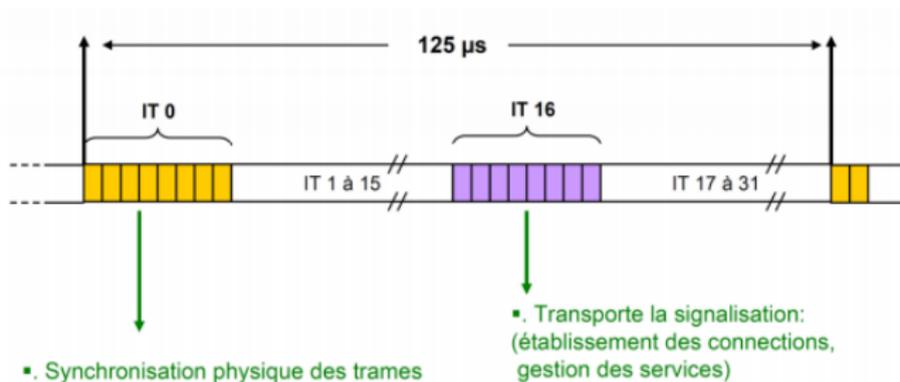


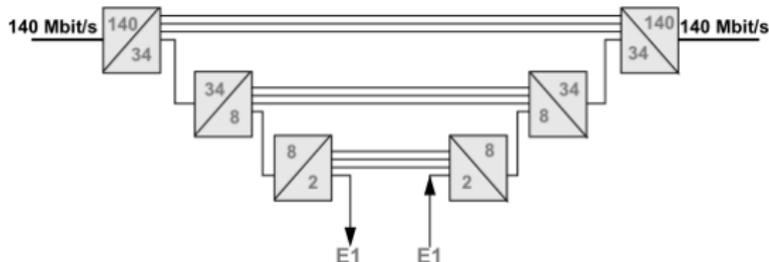
Figure : Les différents regroupements en hiérarchie PDH



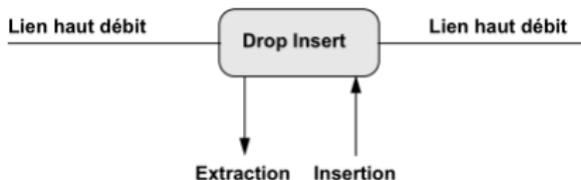
**Figure :** multiplex de base E1: 32 échantillons de 8 bits combinés dans une trame de 125 μs. 30 canaux pour le transport de l'information et pour la signalisation. Standard: ITU-T G.704.

# La hiérarchie synchrone: SDH

- PDH, problème:
  - ▶ utilisation de surdébits (justification et bourrage) → consommation inutile de la bande passante.
  - ▶ démultiplexage complet: à cause de l'incompatibilité entre les différentes hiérarchies.



- SDH: La hiérarchie synchrone se distingue essentiellement de la hiérarchie plésiochrone par la distribution d'horloge à tous les niveaux du réseau réduisant ainsi les écarts d'horloge.
  - ▶ Utilisation des conteneur. A chaque conteneur est associé un pointeur pour constituer un conteneur virtuel (VC).
  - ▶ Lorsque l'horloge source n'est pas en phase avec l'horloge locale, la valeur du pointeur est incrémentée ou décrétementée.



# La hiérarchie synchrone: SDH

- SDH: deux type d'hierarchie:
  1. SDH: Europe,
  2. SONET: Synchronous Optical NETWORK, Etats-Unis.

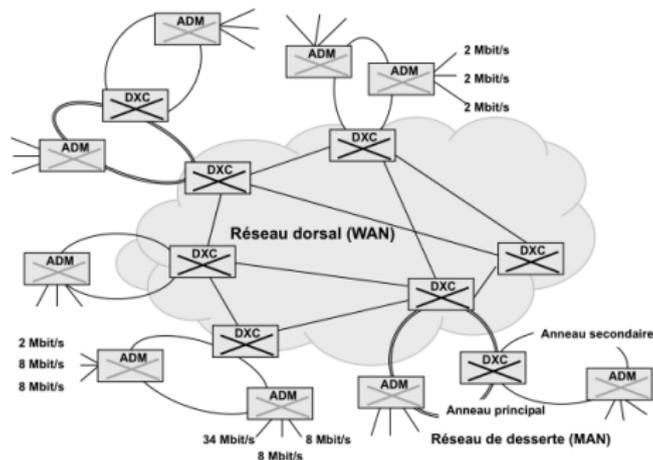
SONET	SDH	Débit en Mbit/s	Accès ATM
OC1		51,84	
OC3	STM-1	155,52	Oui
OC9		466,56	
OC12	STM-4	622,08	Oui
OC18		933,12	
OC24		1 244,16	
OC36		1 866,24	
OC48	STM-16	2 488,32	Oui

Figure : Correspondance entre SONET et SDH. STS-1, Synchronous Transport Signal - level 1. OC1, Optical Carrier-1. STM- 1, Synchronous Transport Module - level 1

- equipments:
  1. multiplexeurs d'accès: mux/démux plusieurs affluents plésiochrones et/ou synchrones.
  2. multiplexeurs à insertion/extraction (ADM, Add Drop Mux): transfert des données d'Est en Ouest tout en autorisant l'extraction et/ou l'insertion de sous-débit.
  3. brasseurs numériques (DXC, Digital Cross Connect): modifie l'affectation des flux d'information entre un affluent d'entrée et un affluent de sortie.

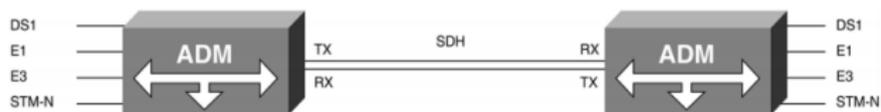


# La hiérarchie synchrone: SDH



**Figure :** Principe d'un réseau SDH. Plusieurs formes de topologie: les réseaux dorsaux utilisent une topologie maillée alors que les réseaux de desserte (métropolitain) sont constitués d'une topologie d'anneaux

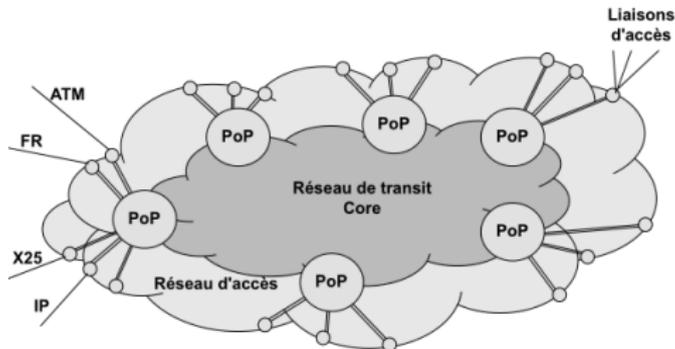
## La hiérarchie synchrone: SDH



**Figure :** Avantage SDH: compatibilité. Un multiplexeur accepte différents formats de signaux TDM et les multiplexe sans conversion. Les signaux peuvent aussi être démultiplexés à n'importe quel noeud.

# Réseaux d'opérateurs

Objectif: la collecte des flux des différentes sources par le réseau d'accès, et l'acheminement du trafic par les réseaux de transit<sup>35</sup>.



**Figure :** Architecture d'un réseau d'opérateur. Deux plans, plan d'accès et plan de transit. PoP, Point of Presence, est l'interface d'interconnexion entre le réseau d'accès et le réseau de transit<sup>37</sup>.

<sup>35</sup> certains opérateurs n'assurent que l'une des deux fonctions: la boucle locale et le transit.

<sup>37</sup> la plupart des réseaux d'opérateurs utilisent ATM, alors que les utilisateurs utilisent TCP/IP. Le datagramme IP est encapsulé dans l'ATM. Pour assurer la qualité de service, le MPLS est utilisé.

# Réseaux d'opérateurs: la boucle locale

Objectif: la collecte du trafic des utilisateurs.

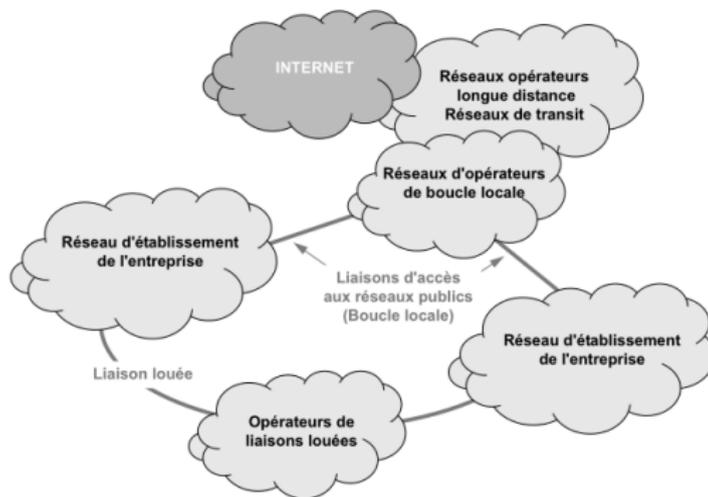


Figure : Principe du raccordement des usagers.

## Réseaux d'opérateurs: la boucle locale

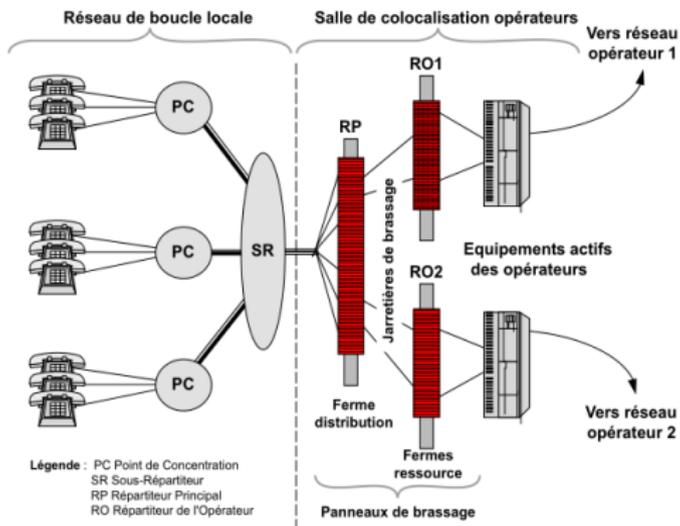


Figure : Dégroupeage<sup>38</sup> total selon l'ART (Autorité de régulation des télécommunications).

<sup>38</sup> Le dégroupage total donne, à un opérateur autre que France Télécom, l'accès à toute la bande de fréquences de la paire de cuivre. L'ensemble des services, téléphonie et accès Internet est alors complètement géré par l'opérateur alternatif. Dans le dégroupage partiel, l'opérateur alternatif n'a accès qu'aux fréquences hautes de la paire de cuivre, les services téléphoniques (fréquences basses) restent gérés par France Télécom.

- Objectif: mieux utiliser le support de transmission en conservant le canal téléphonique classique sur la même ligne. Contraintes:
  - ▶ Le débit binaire de transmission dépend du S/B.
  - ▶ S/B: dépend de la longueur de la ligne, impédance, atténuation, diaphonie, perturbations externes.
- Le débit offert dépend de la position géographique du client par rapport à l'Unité de Raccordement.

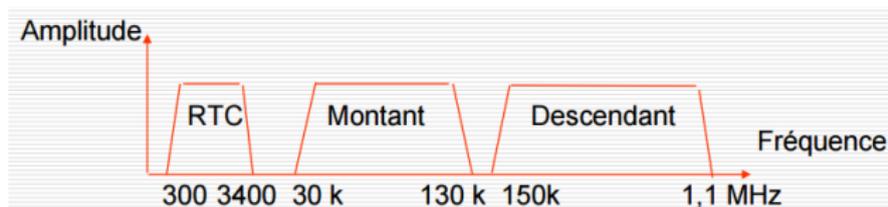


Figure : Liaison asymétrique: débit descendant plus élevé que le débit montant.

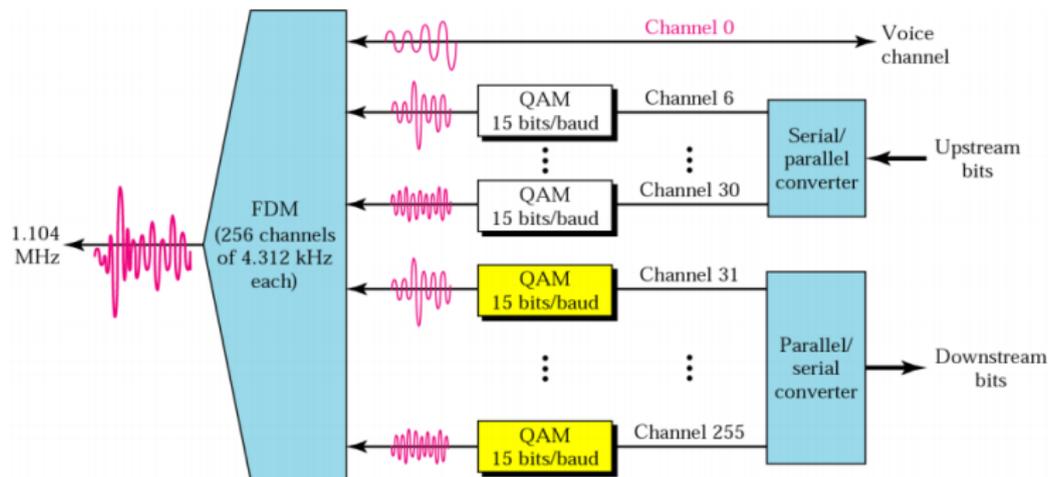


Figure : ADSL<sup>39</sup>: Transmetteur DMT.





Figure : DSLAM: Multiplexeur d'accès DSL. De 500 à 1000 lignes abonnés<sup>41</sup>.



Figure : BAS: super-routeur.

<sup>41</sup>La liaison cuivre s'arrête ici, au-delà c'est de la fibre optique.

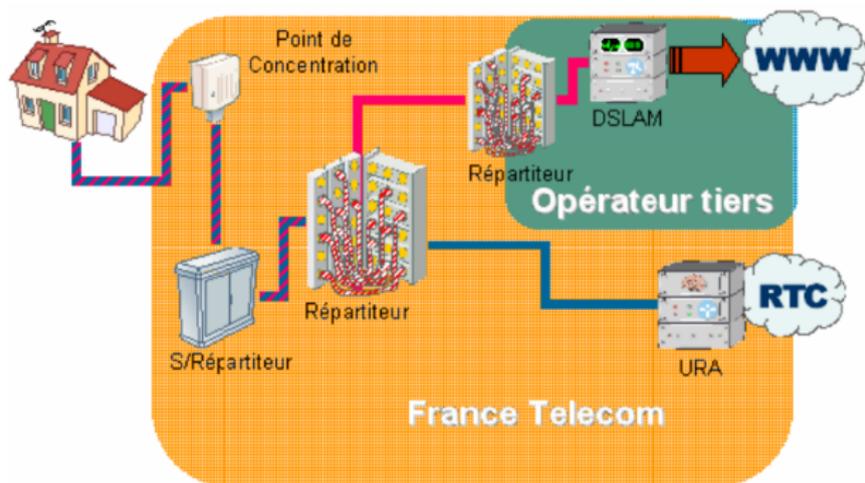


Figure : Dégroupeage partiel.

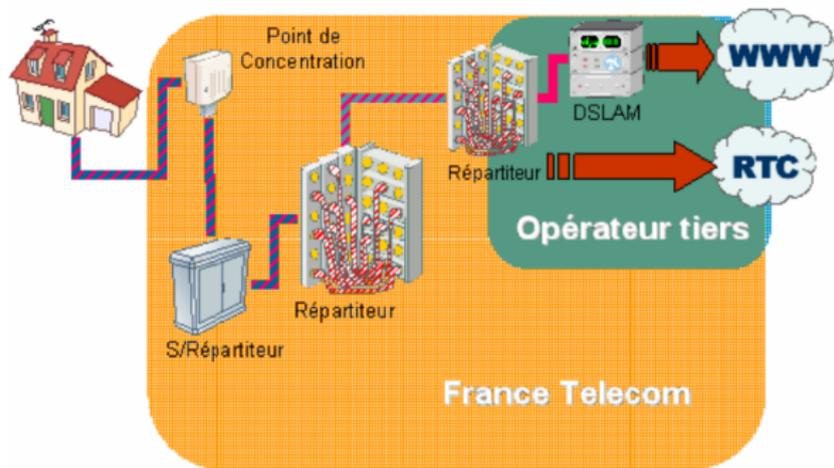


Figure : Dégrouperage total.

# Réseaux d'opérateurs: Internet

- Internet: réseau de réseaux.
- Un ISP vend de l'accès à L'Internet mondial. Le transit est le service vendu par un ISP pour donner un accès à Internet.
- Deux méthodes pour l'interconnexion d'ISP: transit et peering.

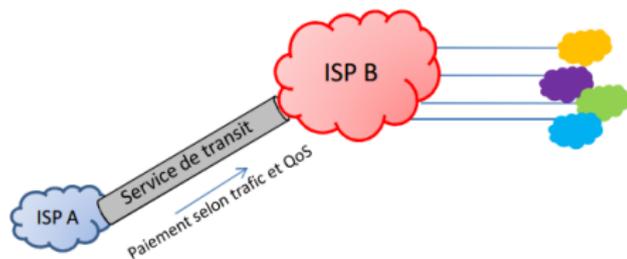
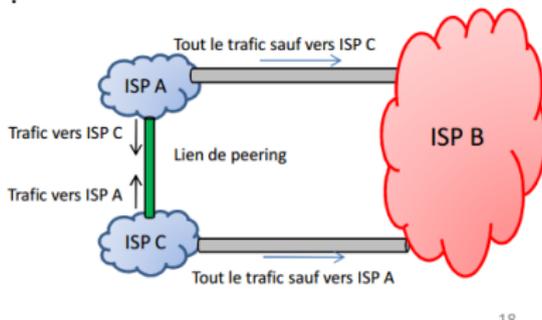


Figure : 1200 \$/Mbps en 1999. 1 \$/Mbps en 2013.

## Réseaux d'opérateurs: Internet

- Peering: échange réciproque d'accès aux clients de chacun des ISP engagés → réduire les coûts.
- Un ISP vend de l'accès à L'Internet mondial. Le transit est le service vendu par un ISP pour donner un accès à Internet.
- Deux méthodes pour l'interconnexion d'ISP: transit et peering.



**Figure :** Pb: 1 \$/Mbps, un trafic 100 Gb en moyenne → 100 000 \$ par mois. Si deux ISP réalisent qu'ils s'échangent beaucoup de trafic par le même ISP de niveau supérieur, ils peuvent le court-circuiter.

## Réseaux d'opérateurs: Internet

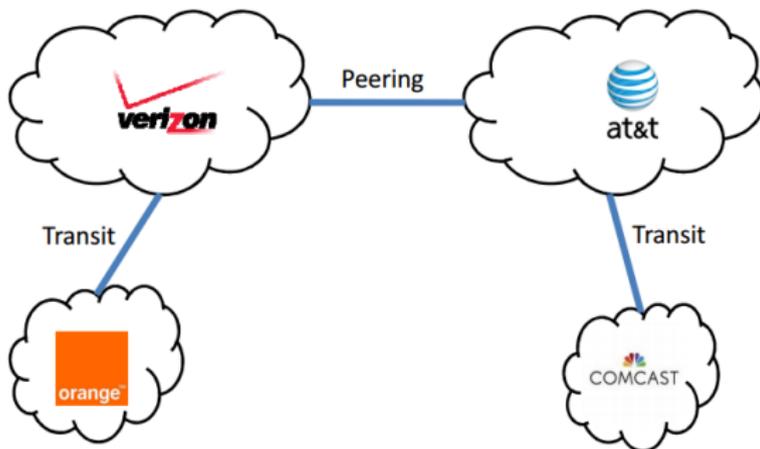


Figure : Transit et peering.

### Hiérarchies des ISP:

1. ISP niveau 3: plus bas niveau, ne fournissent pas de transit (les 4 opérateurs internet).
2. ISP niveau 2: fournissent et achètent du transit (orange open transit, vodafone, mykris, comcast).
3. ISP niveau 1: plus haut niveau, possèdent les dorsales et les câbles sous-marins (TeliaSonera, at&t, NTT communication, verizon).