

Réseaux d'accès : du Réseau Téléphonique Commuté à la fibre optique

(cours largement inspiré de [3])
Département Informatique et Réseaux

Objectifs du cours

- Comprendre la notion de commutation de circuit
- Introduire l'architecture du réseau téléphonique
- Introduire les éléments de base d'un commutateur téléphonique
- Comprendre le fonctionnement du traitement d'appel téléphonique
- Maîtriser les principales phases d'un appel téléphonique (accès analogique)
- Présenter le fonctionnement du MIC
- Introduire les architectures des accès xDSL et FTTx

2

Plan du cours

- Introduction : les services du RTC
- Architecture du réseau téléphonique
- La commutation
- Le réseau de transmission
- Le réseau de distribution
- xDSL
- FTTx
- Conclusion

3

I. Introduction : les services du RTC

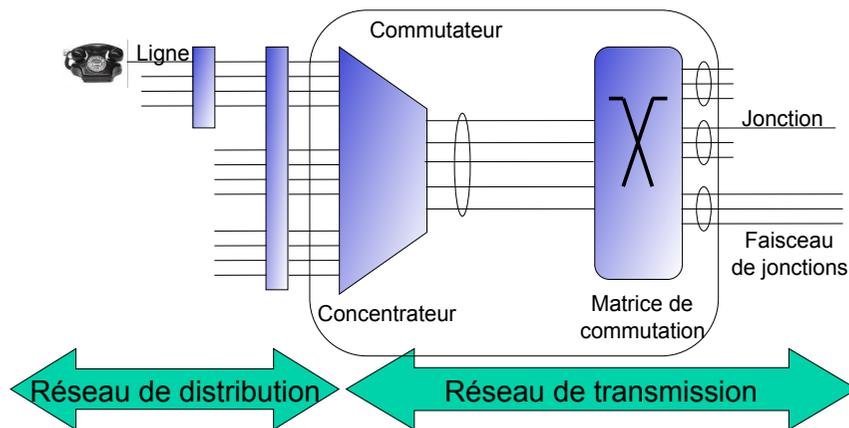
- Le principal service apporté par le RTC est l'**appel téléphonique** (communication vocale entre deux personnes).
- Le RTC permet des accès spécifiques : police, pompiers, urgences, etc.
- Service supplémentaires : renvoi d'appel, présentation du numéro, réveil, etc.

- Le RTC permet aussi d'envoyer des **données** (transmission par fax, accès minitel-videotex).
- Le réseau d'accès téléphonique est également utilisé pour accéder à l'**Internet** (liaison modem 56K, ADSL).
- Les services sur le **RNIS (ISDN)** : visioconférence, accès Internet etc.

- Des services de « **réseau intelligent** » sont disponibles:
 - ✓ Numéro vert;
 - ✓ Carte prépayée;
 - ✓ Conférences d'appel ...

4

II. Architecture du réseau téléphonique



5

II. Architecture du réseau téléphonique

Les parties du réseau téléphonique :

La distribution : partie du réseau qui permet de relier les abonnés au commutateur le plus proche. Le réseau de distribution est essentiellement analogique. Les abonnés au RNIS disposent d'un accès numérique.

La commutation : elle permet la mise en relation des abonnés en leur allouant des ressources, i.e. des circuits, temporaires.

La transmission : partie du réseau qui permet de relier les commutateurs entre eux. Les principaux supports sont : paires de cuivres (le moins coûteux), les fibres optiques (plus répandues dans le cœur de réseau), les faisceaux hertziens (plutôt pour réseaux mobiles). Un support physique est capable de transporter plusieurs communications. Le réseau de transmission est entièrement numérique.

7

II. Architecture du réseau téléphonique

Quelques concepts de base :

Service offert par le RTC : mise en relation de deux terminaux d'abonnés.

Appel : mise en place d'un contexte global pour associer les contextes locaux des participants d'un service. « L'appel » est une notion de « bout en bout ». L'association persiste indépendamment de l'activité des participants.

Connexion : allocation de ressources de proche en proche. On parle aussi de « service support ». L'appel sert à négocier la connexion.

Signalisation : échange d'informations nécessaires à l'accès, l'appel et la connexion.

6

III. La commutation

A. Liaison dédiée, partagée et commutée

B. Architecture d'un commutateur

Fonctions de connexion, de recherche de chemin et de marquage

Fonctions de traitement d'appel

Fonction d'administration

C. Le traitement d'appel

D. La signalisation sémaphore

8

III. La commutation

A. Liaisons



Liaison dédiée :

Liaison dont l'usage est exclusivement réservée aux deux terminaux situés aux extrémités

Intéressant si la liaison est fortement utilisée par les deux parties



Exemple de liaison dédiée

III. La commutation

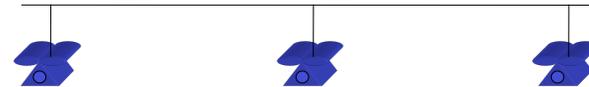
A. Liaisons



Liaison partagée :

Liaison où sont raccordés directement plusieurs terminaux qui utilisent la ligne à tour de rôle.

Problème de confidentialité (Les utilisateurs sur le circuit partagé peuvent écouter les conversations en cours).



Exemple de liaison partagée

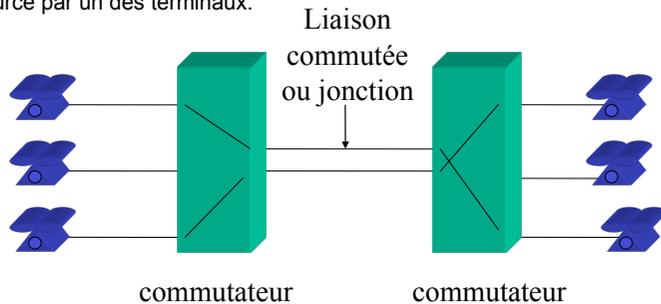
III. La commutation

A. Liaisons



Liaison commutée :

- Réserve de la liaison avant la phase active de la conversation.
- Liaison réservée à deux terminaux pendant toute la durée d'une conversation (≠liaison dédiée).
- La liaison redevient disponible à la fin de la communication; après libération de la ressource par un des terminaux.

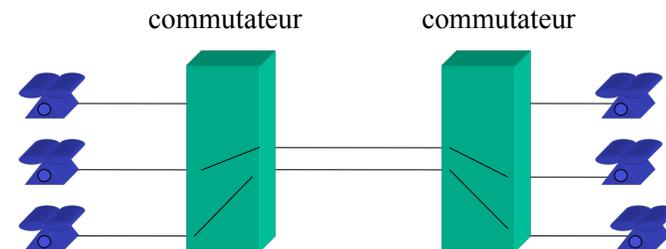


III. La commutation

A. Liaisons



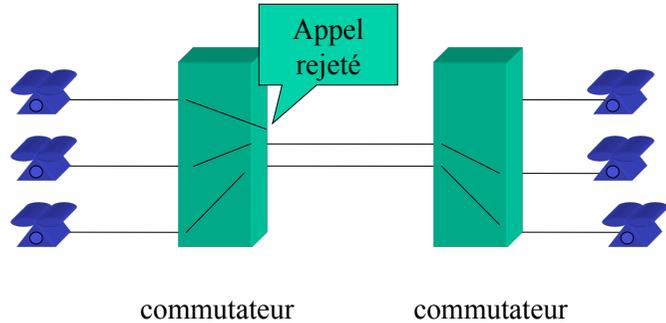
Une liaison commutée peut être réservée par n'importe quelle terminal



III. La commutation

A. Liaisons

Une fois que toutes les liaisons sont réservées, toute nouvelle demande de réservation sera rejetée : il y a **blocage**.



III. La commutation

B. Architecture d'un commutateur

Un **commutateur** raccorde de manière temporaire un terminal appelant à un terminal appelé en allouant une ressource de transmission.

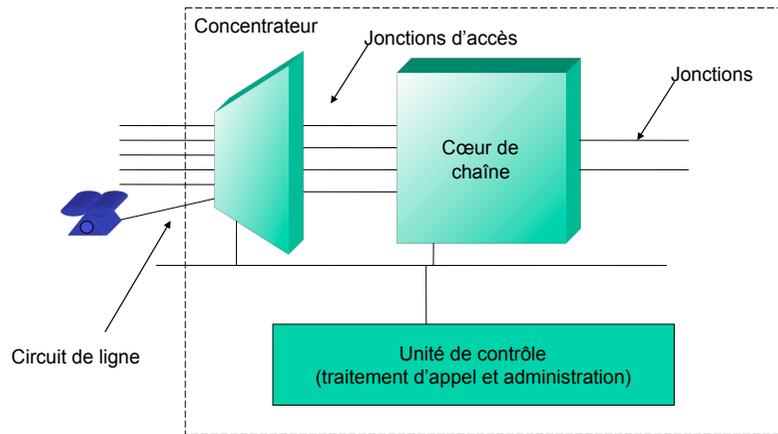
Les **fonctions** du commutateur :

- Fonctions de connexion
- Fonctions de traitement d'appel et de signalisation,
- Fonctions d'administration.

L'architecture présentée par la suite est dite à « contrôle commun », c'est l'architecture actuellement utilisée en France et dans la majorité des pays.

III. La commutation

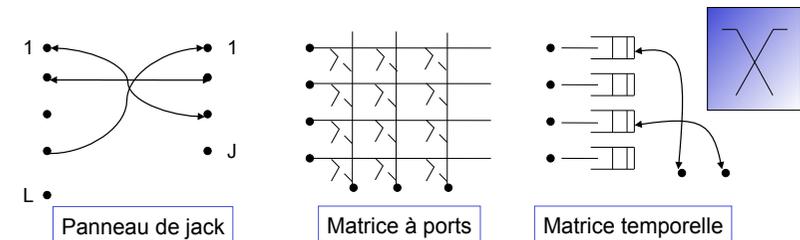
B. Architecture d'un commutateur



III. La commutation

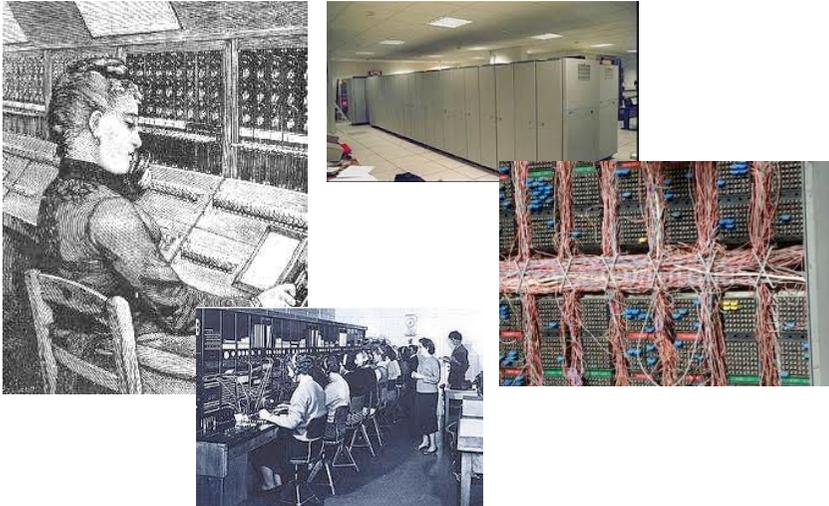
B. Architecture d'un commutateur

Fonction de connexion : raccordement de la ligne du terminal à la liaison commutée.



III. La commutation

B. Architecture d'un commutateur



17

III. La commutation

B. Architecture d'un commutateur



Fonctions d'administration : configuration du commutateur, remontée de mesures, maintenance, qualité de service, sécurité.

- **Données de configuration** : déclaration des lignes (numéro d'annuaire, d'équipement, etc), déclaration des jonctions (destination, type de signalisation, etc), informations nécessaires à la manipulation du réseau de connexion, etc.
- **Mesures** : mesures de trafic (utiles pour le dimensionnement du réseau) et mesures de taxes. Exemples de valeurs typiques [5] :
 - Durée d'appel : 3 min,
 - Durée de sonnerie en cas de réponse : 12s,
 - Durée de sonnerie en cas de non-réponse : 40s,
 - Durée d'écoute de l'occupation : 4s,
 - Durée de numérotation : 10s.
- **Maintenance** : alarmes, tests de diagnostic, type de panne, etc.

19

III. La commutation

B. Architecture d'un commutateur



Fonctions de traitement d'appel : fonctions qui permettent, appel par appel, de recevoir les demandes des terminaux appelants, de les interpréter, de rechercher les ressources nécessaires et de les affecter.

La fonction de traitement d'appel est présente dans tous les commutateurs téléphoniques.

Logiciel complexe et volumineux (≈ 5000 hommes ans de développement, 5 millions de lignes de code dans l'Alcatel E10).

Difficile à faire évoluer => la mise en œuvre de nouveaux services dans les commutateurs téléphoniques est très complexe.

Signalisation : échanges d'informations destinées aux fonctions de traitement d'appel.

18

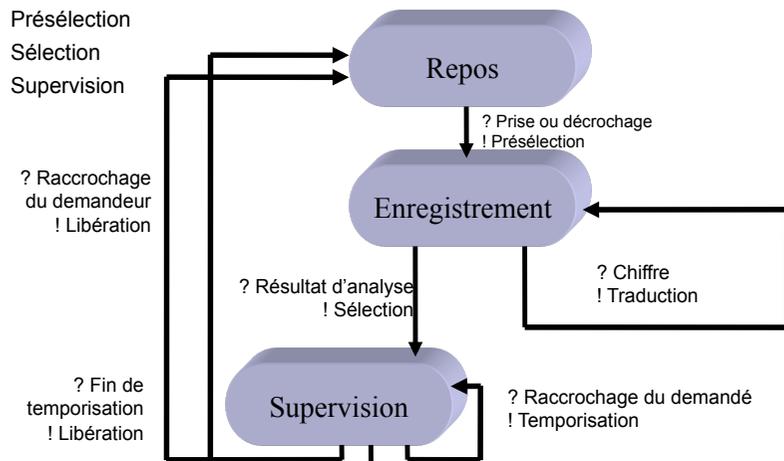
III. La commutation

C. Le traitement d'appel



Principales phases de l'appel :

1. Présélection
2. Sélection
3. Supervision



[3]

20

III. La commutation

C. Le traitement d'appel



Etats :

Repos : il n'y a pas d'appel.

Enregistrement : l'utilisateur appelant compose le numéro de l'appelé.

Supervision : l'appel est établi.

Fonctions :

Présélection : le commutateur met en place les ressources nécessaires à la réception des chiffres du numéro composé.

Traduction : le commutateur détermine le faisceau de jonctions qu'il faut utiliser pour acheminer l'appel.

Sélection : l'utilisateur demandeur est raccordé à l'utilisateur demandé.

Relâchement : les ressources de l'appel sont libérées et à nouveau disponibles pour un nouvel appel.

[3]

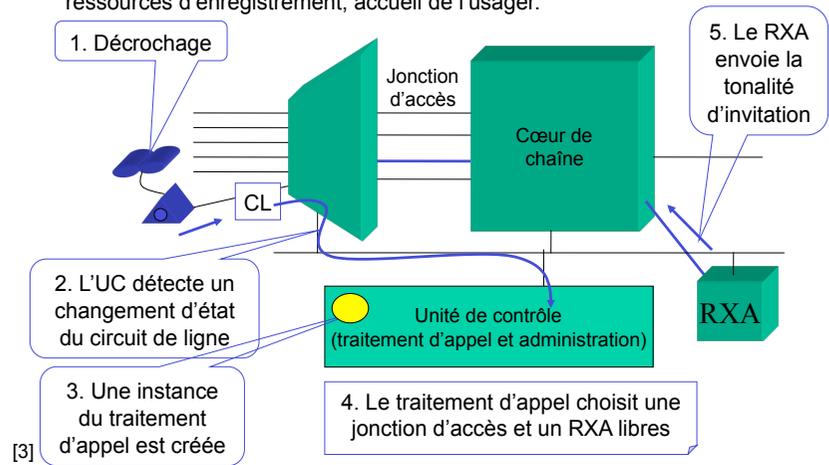
21

III. La commutation

C. Le traitement d'appel



Décrochage et présélection : détection de l'appel, prise et raccordement des ressources d'enregistrement, accueil de l'utilisateur.



[3]

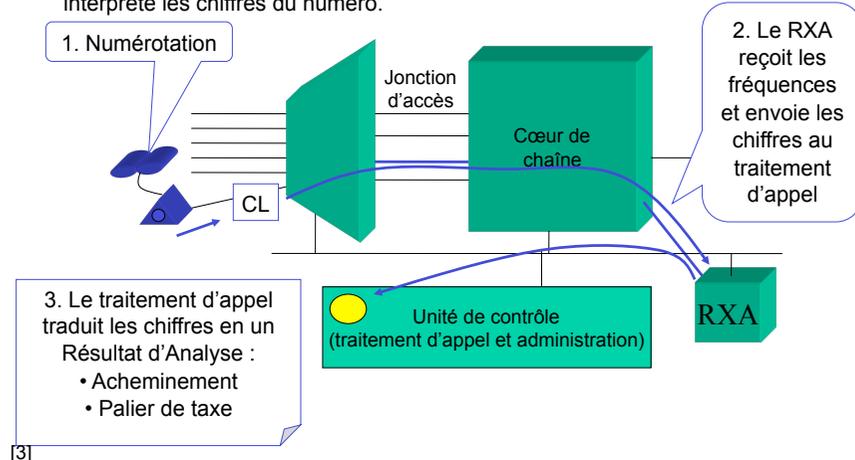
22

III. La commutation

C. Le traitement d'appel



Numérotation et traduction : L'utilisateur numérote. Le commutateur mémorise et interprète les chiffres du numéro.



[3]

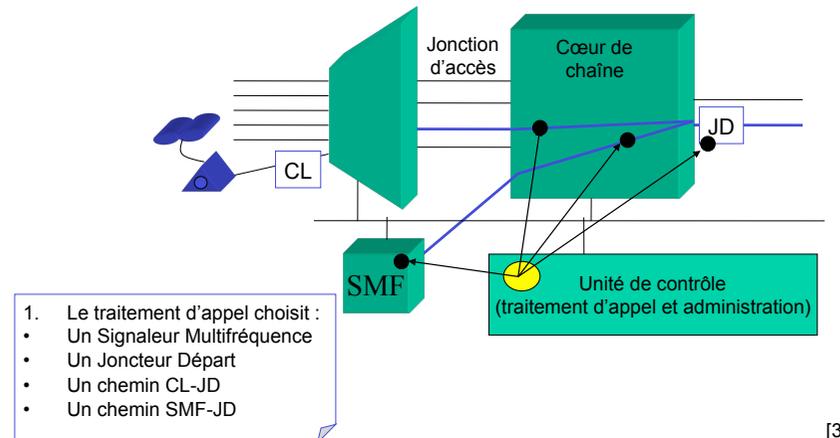
23

III. La commutation

C. Le traitement d'appel



Sélection : Mise en œuvre des ressources nécessaires pour raccorder l'utilisateur demandé. Appel départ = « sélection de groupe ».



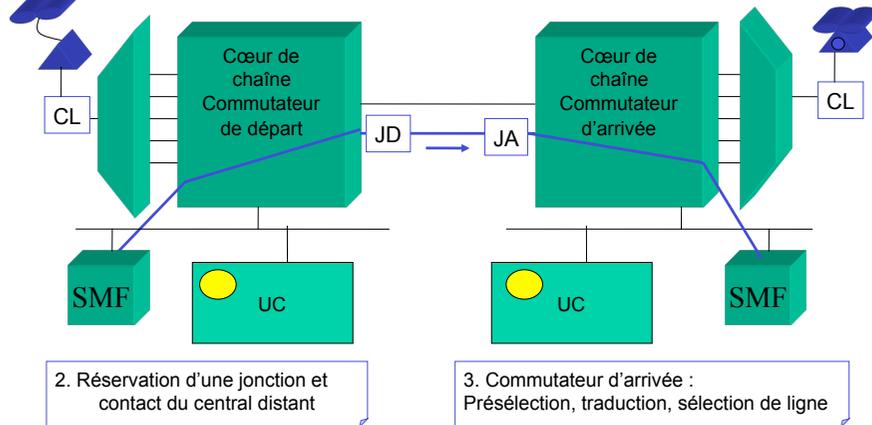
[3]

24

III. La commutation

C. Le traitement d'appel

Sélection : Mise en oeuvre des ressources nécessaires pour raccorder l'utilisateur demandé.

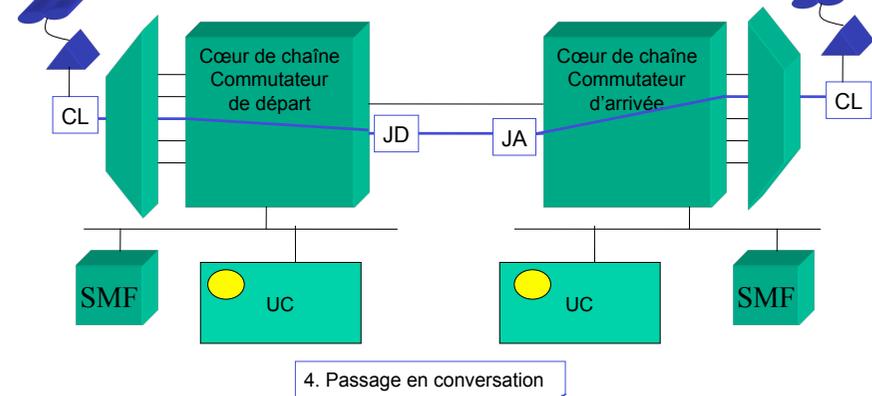


[3]

III. La commutation

C. Le traitement d'appel

Sélection : Mise en oeuvre des ressources nécessaires pour raccorder l'utilisateur demandé.



[3]

III. La commutation

C. Le traitement d'appel

Le relâchement : libération des ressources à la fin de l'appel (la fin est détectée par la fonction de supervision). Les circuits sont à nouveau disponibles pour un autre appel.

Le **relâchement avant** est immédiat : lorsque l'appelant raccroche, les circuits sont immédiatement libérés.

Relâchement arrière différé : le raccrochage de l'appelé démarre une temporisation avant que les circuits ne soient libérés.

Exemples de performances pour le traitement d'appel [5] :

- Libération prématurée $< 2 \cdot 10^{-5}$,
- Taxation erronée $< 10^{-4}$,
- Pas de tonalité $< 10^{-4}$.
- Indisponibilité : 30min/an.

III. La commutation

D. La signalisation sémaphore

On distingue deux familles de systèmes de signalisation:

- ✓ Système de signalisation voie par voie
- ✓ Système de signalisation sémaphore

Dans le système de **signalisation voie par voie**, la signalisation d'un utilisateur emprunte un circuit qui servira, après l'établissement d'appel, au transport de la parole.

Dans le système de **signalisation sémaphore**, un circuit particulier est réservé pour transporter les flux de signalisation. Technique plus fiable, plus rapide et permettant l'apparition de nouveaux services.

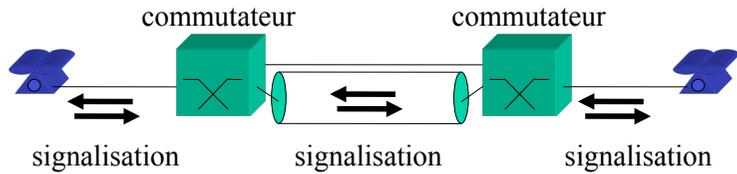
Le principal système a été normalisé à l'ITU (recommandations Q700) et est appelé SS7 (Signalisation Sémaphore 7) ou CCITT n°7 ou CCS7 (*Common Channel Signalling System number 7*).

III. La commutation

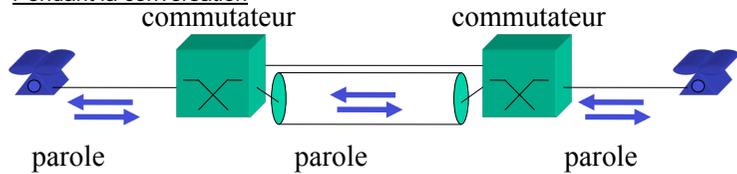
D. La signalisation sémaphore

Signalisation voie par voie

Pendant l'établissement d'appel



Pendant la conversation

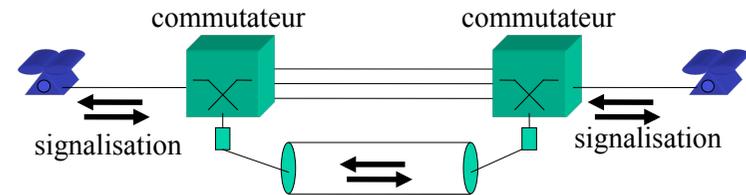


III. La commutation

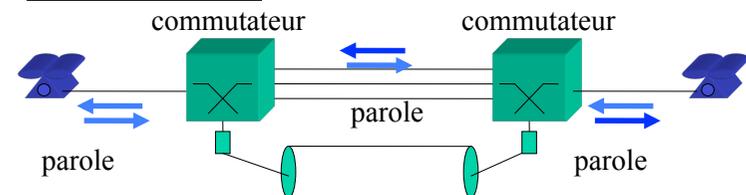
D. La signalisation sémaphore

Signalisation sémaphore

Pendant l'établissement d'appel



Pendant la conversation



III. La commutation

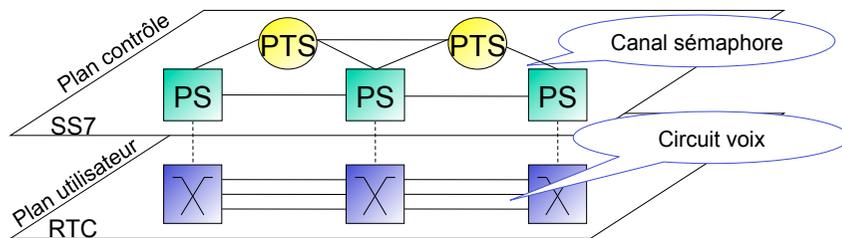
D. La signalisation sémaphore

L'ensemble des canaux sémaphores et des éléments de réseau qui utilisent le SS7 forment le **réseau sémaphore**. Il utilise la commutation de messages.

Les utilisateurs du réseau sont les commutateurs, appelés dans ce contexte **Points Sémaphores** (*Signalling Point*).

Il existe aussi des commutateurs de messages du réseau sémaphore, les **Points de Transfert Sémaphore** (*Signalling Transfer Point*) capable de router les messages de signalisation.

Les réseaux sémaphore et utilisateur sont logiquement séparés.



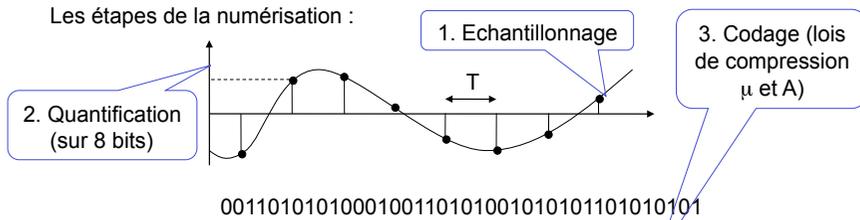
IV. Le réseau de transmission

- A. La modulation par impulsions d'amplitudes
- B. Transmission MIC et multiplex E1
- C. Hiérarchie de multiplexage PDH

IV. Le réseau de transmission

A. Modulation par impulsions d'amplitudes

Les étapes de la numérisation :

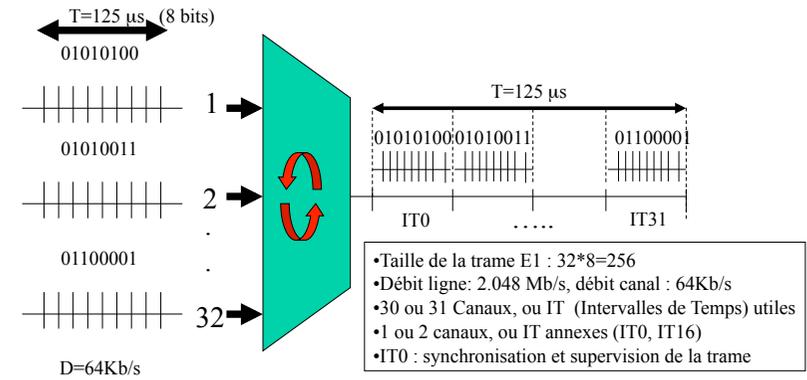


L'essentiel du spectre de la voix est inclus dans la bande **300-3400 Hz** : on filtre le signal à 3400 Hz de telle sorte qu'il n'y ait plus de résidus à 4000 Hz. Le signal vocal est échantillonné 8000 Hz soit un échantillon toutes les **125 μs**.

Les échantillons de différents utilisateurs peuvent être entrelacés de façon à créer un **multiplexage temporel**.

IV. Le réseau de transmission

B. Transmission MIC et multiplexage E1

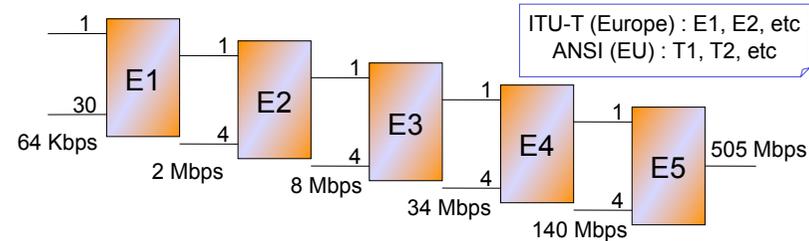


IV. Le réseau de transmission

C. Hiérarchie de multiplexage PDH

Pour regrouper/multiplexer un grand nombre de voix sur un support large bande, on utilise une hiérarchie de multiplexage.

La première solution s'appelle **PDH** (*Plesiochronous Digital Hierarchy*).



Cette hiérarchie est dite « plésiochrone » car chaque multiplexeur fonctionne indépendamment des autres (stockage, synchronisation et émission des informations reçues).

La seconde solution est le **SDH** (*Synchronous Digital Hierarchy*) : suppression de la notion de resynchronisation.

V. Le réseau de distribution

A. Le câblage

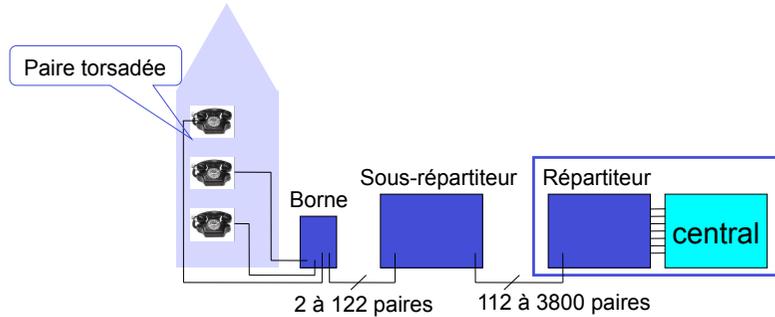
B. Le terminal analogique

V. Le réseau de distribution

A. Câblage

Le réseau de distribution relie chaque abonné à son commutateur. On parle parfois de « **boucle locale** ».

L'ingénierie consiste essentiellement à rassembler un maximum de paires torsadées afin de minimiser le coût des travaux de génie civil. Son coût est très élevé.



[1]

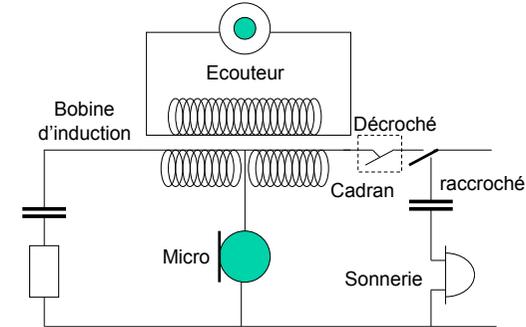
37

V. Le réseau de distribution

B. Le terminal analogique

Les fonctions du terminal [6] :

- Emetteur/écouteur : transformation de l'énergie acoustique en énergie électrique et vis versa.
- Transmission : adaptée à la ligne.
- Signalisation : décrochage et raccrochage, numérotation, sonnerie.



[1]

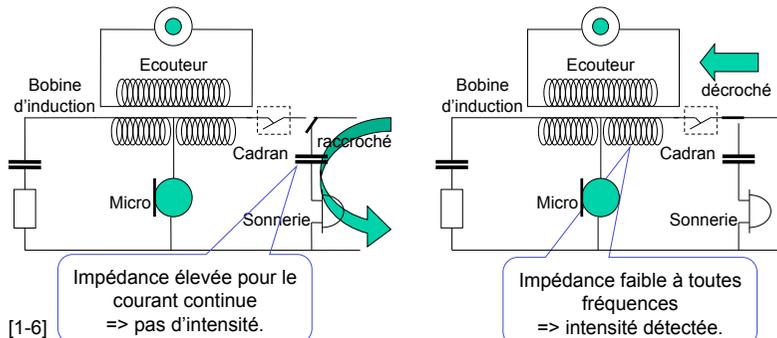
38

V. Le réseau de distribution

B. Le terminal analogique

Prise de ligne :

- Au repos, le terminal est alimenté par une tension continue de -48 V . La capacité montée en série de la sonnerie annule l'intensité.
- Au décrochage, l'impédance faible du circuit provoque l'apparition d'une intensité d'environ 60 mA détectable par le commutateur.



[1-6]

39

V. Le réseau de distribution

B. Le terminal analogique

Numérotation : par fréquences vocales (DTMF).

	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz
697 Hz	1	2	3
770 Hz	4	5	6
852 Hz	7	8	9
941 Hz	*	0	#

[1-6]

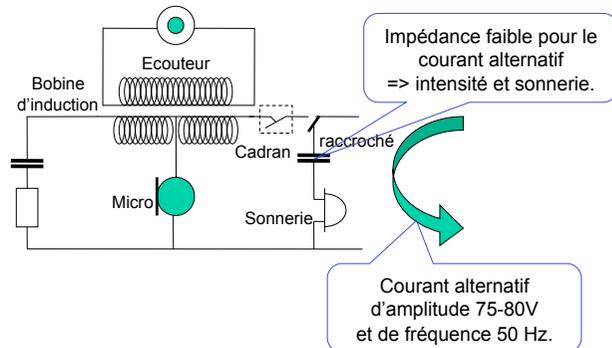
40

V. Le réseau de distribution

B. Le terminal analogique

Sonnerie :

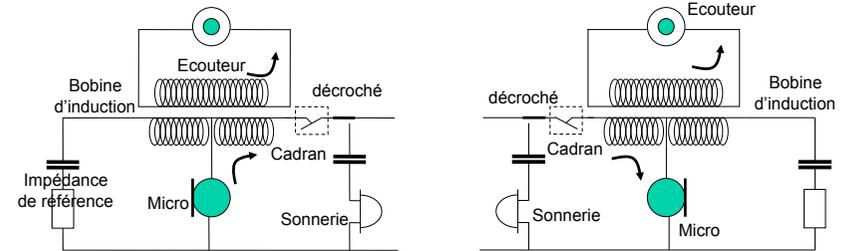
- Le commutateur génère une tension alternative d'amplitude 75-80 V et de fréquence 50Hz.
- La capacité ne filtre pas et le courant provoque la sonnerie.



V. Le réseau de distribution

B. Le terminal analogique

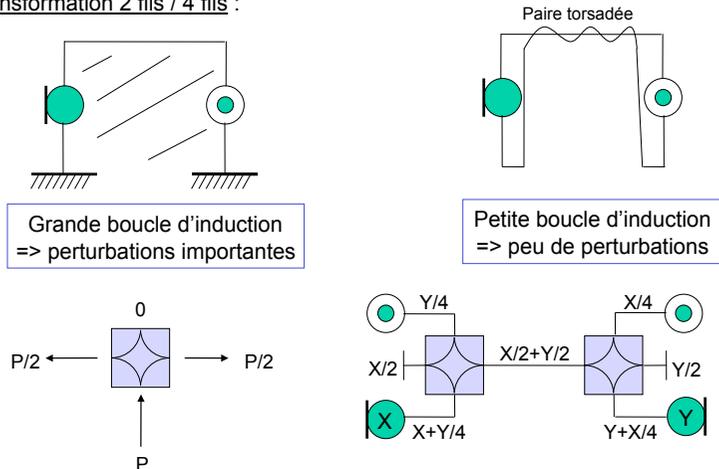
Conversation : la bobine et l'impédance de référence créent un « **circuit 2 fils / 4 fils** » (forme simplifiée) qui permet de multiplexer deux transmissions simplex.



V. Le réseau de distribution

B. Le terminal analogique

Transformation 2 fils / 4 fils :



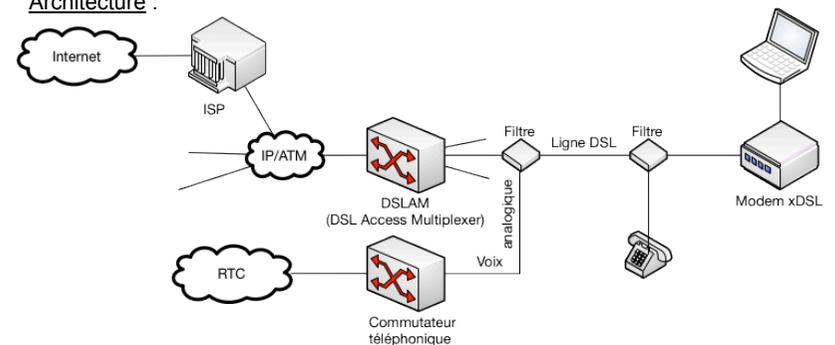
V. xDSL

A. Objectif et architecture

Objectif : Transmettre des données à haut débit (plusieurs Mbits/s) en utilisant l'infrastructure existante du réseau d'accès entre le central téléphonique et l'abonné (en particulier les paires cuivrées).

xDSL : Digital Subscriber Line, x = A (Asymmetric), H (High bit rate), V (Very high bit rate)

Architecture :

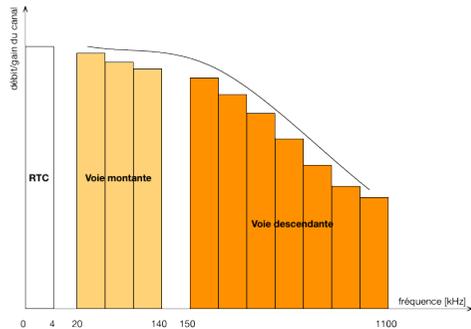


V. xDSL

B. Transmission et multiplexage

Principe de la transmission : Utiliser la bande de fréquence au delà des 4KHz utilisés par la voix (jusqu'à 1.1 MHz pour l'ADSL1).

Discrete Multi-Tone : La bande est divisée en 256 sous-porteuses (ADSL1). 224 sont dédiées à la voie descendante (Réseau-Abonné) et 32 à la voie montante (Abonné-Réseau). Le nombre de bits transportés par chaque sous-porteuse est variable en fonction de l'atténuation.



Inconvénients : Plus la fréquence est haute et plus la ligne est longue plus il y a d'atténuation et de perturbations. Le débit décroît avec la distance au DSLAM.



V. xDSL

C. Standards et débits

ADSL1 : jusqu'à 6 km

- Recommandation ITU G992.1
- 256 sous-porteuses (1,1 MHz)
- <10 Mbits/s (voie descendante), <1 Mbps (voie montante)

ADSL2+ :

- Recommandation ITU G992.5
- 512 sous-porteuses (2,2 MHz)
- <24 Mbits/s (voie descendante), <1 Mbps (voie montante)

VDSL2 : jusqu'à 1,5 km

- Recommandation ITU G993.2
- Jusqu'à 4096 sous-porteuses, jusqu'à 30 MHz
- Voie descendante + voie montante < 200 Mbits/s



VI. FTTx

A. Objectif

FTTx : « Fiber to the x » avec x = N (Node), C (Curve), B (Building), H (Home)

Avantages de la fibre : très faible atténuation, très grande bande passante, petite taille (quelques μm), souple, faible poids, peu coûteuse, très bonne isolation.

Elle est utilisée généralement pour les liaisons sous-marines, les réseaux cœur et depuis peu pour les réseaux d'accès.

Inconvénient : Investissements de travaux civils importants (vs xDSL).

Objectif : très hauts débits (2,4 Gbits/s) sur de longues distances (~10 km).

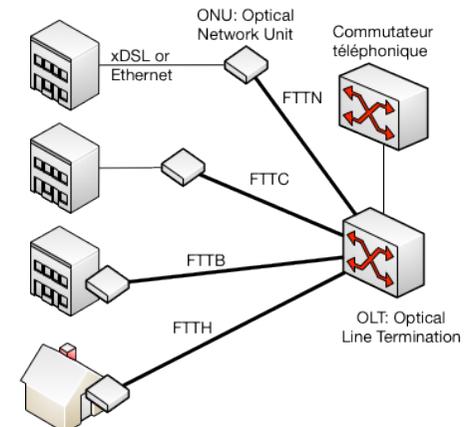
Standards : Recommandations ITU-T G984.x (GPON Gigabit Passive Optical Networks).



VI. FTTx

B. Architectures

FTTN : la fibre va jusqu'au répartiteur de quartier, FTTC : jusqu'au répartiteur de trottoir, FTTB : jusqu'en bas de l'immeuble, FTTH : jusque chez l'abonné.

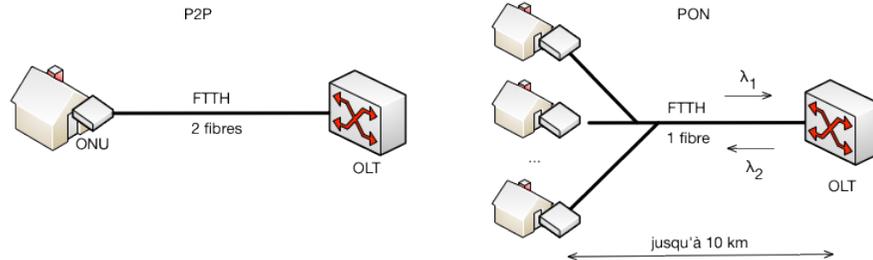


VI. FTTx

C. Point-à-point ou point-à-multipoint

Point-à-point (P2P) : on utilise deux fibres (l'une pour la voie montante, l'autre pour la voie descendante) qui vont directement de l'OLT à l'abonné.

Point-à-multipoint (PON) : on multiplexe les informations pour et en provenance de plusieurs abonnés sur une seule fibre. Multiplexage TDM. Mécanisme Requête/Permission sur la voie montante.



Glossaire

ADSL = Asymmetric Digital Subscriber Loop
ATM = Asynchronous Transfer Mode
CAA = Centre à Autonomie d'Acheminement
CCITT = Comité Consultatif International
Téléphonique et Télégraphique
CCSS7 = Common Channel Signalling System 7
CL = Centre Local de Rattachement
CL = Circuit de Ligne
CTP = Centre de Transit Principal
CTS = Centre de Transit Secondaire
DECT = Digital Enhanced Cordless Telecom.
DSL = Digital Subscriber Loop
DTMF = Dual Tone Multi-Frequency Signalling
FAS = Frame Alignment Signal
GSM = Groupe Spécial Mobile
IMS = Internet Multimedia Subsystem
IN = Intelligent Networks
JA = Joncteur d'Arrivée
JD = Joncteur de Départ

MFAS = Multi Frame Alignment Signal
MIC = Modulation par Impulsion et Codage
NFAS = Not Frame Alignment Signal
NMFAS = Not Multi Frame Alignment Signal
PDH = Plesiochronous Digital Hierarchy
PS = Point de Sémaphore
PTS = Point de Transfert Sémaphore
RNIS = Réseau numérique à intégration de services
RTC = Réseau Téléphonique Commuté
RXA = Récepteur d'Abonné
SDH = Synchronous Digital Hierarchy
SMF = Signaleur Multi-fréquence
SS7 = Signalisation Sémaphore 7
UC = Unité de Contrôle
UMTS = Universal Mobile Telecom. System

VI. Conclusion

Les **évolutions** du réseau téléphonique commuté :

- Les réseaux intelligents (IN),
- Le RNIS,
- Le RNIS large bande (ATM),
- Les réseaux cellulaires (GSM/UMTS/LTE),
- La téléphonie sans fil (DECT),
- xDSL,
- FTTx.

Références

- [1] Introduction aux réseaux, Xavier Lagrange et Dominique Seret, éditions Hermès
- [2] Computer Networks, Andrew S. Tanenbaum, éditions Prentice Hall
- [3] Principes de commutation numérique, Claude Rigault, Éditions Hermès
- [4] www.arcep.fr
- [5] Commutation téléphonique – Autocommutateur des réseaux publics, Jean-Baptiste Jacob et Corentin Penn, www.techniques-ingénieur.fr.
- [6] Terminaux téléphoniques, Jean-Louis Connan, www.techniques-ingénieur.fr