



Institut Universitaire de Technologie
Nice Côte d'Azur



Présentation du module T3: Téléphonie

IUT R&T Sophia-Antipolis 2012-2013

L. Sassatelli

sassatelli@i3s.unice.fr

Situation dans la formation DUT R&T

Répartition globale des modules

DUT Réseaux & Télécommunications

UE1 : Formation scientifique et humaine		
	Coefficient	horaire
Mathématiques	9	180
Physique	4	60
Culture - Communication	6	105
Anglais	6	120
PPP	3	45
Apprendre autrement	1	30
Connaissance de l'entreprise	1	30
Total Formation scientifique et humaine	30	570
UE2 : Informatique et électronique		
Informatique	15	240
Electronique	12	180
Apprendre autrement	1	30
Total Informatique et électronique	28	450
UE3 : Télécommunications et réseaux		
Télécommunications	10	150
Réseaux	10	150
Télécommunications - Réseaux	10	180
Total Télécommunications et réseaux	30	480
UE4 : Projets professionnels		
Projets tutorés	3	
Stages	9	
Total Projets professionnels	12	
Total 10 modules complémentaires	20	300
Total général	120	1800

Semestre 2

UE21 : Formation scientifique et humaine		
	Coefficient	horaire
Mathématiques	3	60
Physique	2	30
Culture – Communication	2	30
PPP	1	15
Anglais	2	45
Total UE21	10	180
UE22 : Informatique et électronique		
Informatique	5	90
Electronique	2	30
Apprendre autrement	1	30
Total UE22	8	150
UE23 : Télécommunications et réseaux		
Télécommunications	6	90
Réseaux	6	90
Total UE23	12	180
Total S2	30	510

Coefficients

- Coefficient de Télécommunications dans l'UE 23 : 6
- 3 modules dans Télécommunications au semestre 2 :
 - T1: Signaux et systèmes – Coeff 2.4
 - T2: Transmissions numériques – Coeff 2.4
 - **T3: Téléphonie** – Coeff 1.2
- T3:
 - Note de Théorie (Coeff 1)
 - Note de Pratique (Coeff 1)

Plan général du cours

1. Historique du téléphone
2. La voix humaine: caractéristiques du signal
3. La numérisation: discrétisation en temps et en valeurs
4. Commutations et multiplexage temporels
5. Organisation du réseau téléphonique: signalisation et routage
6. Dimensionnement: combien de débit prévoir ?
7. De l'accès analogique au numérique : le RNIS
8. Administrer un réseau téléphonique privé :
Autocommutateur (PABX)
9. Accès au réseau étendu par la ligne téléphonique : xDSL

Partie 1: Historique

Dates et inventions clés

Dates et inventions clés

- 500 000	Feu
- 3 200	Écriture : Les Sumériens créent l'écriture cunéiforme
- 3 000	Roue : Les Sumériens remplacent la glisse sur tronc d'arbres par la roue
770	Imprimerie
1642	Calculatrice de Pascal
1793	Télégraphe de Chappe
1801	Volta présente sa pile électrique à Bonaparte
1850	Calculateur de Babbage avec cartes perforées
1861	Le vélo(cipède): les frères Michaux
1876	Téléphone inventé par Graham Bell (Écosse)
1877	Edison crée le phonographe
1879	Edison invente la lampe à incandescence
1895	Cinématographe: les frères Lumière
1903	Avion à moteur : les frères Wright

Dates et inventions clés

1946	Ordinateurs: Le premier (États-Unis) : ENIAC 30 tonnes et 18 000 tubes à vide
1954	Texas Instrument fabrique le premier transistor en silicium
1958	Laser: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
1961	Le premier circuit intégré comporte 6 composants
1971	Le microprocesseur 4004 sort des usines Intel avec 2300 transistors pour \$200
1973	Micro ordinateur par André Truong (France) (le Micral -> société R2E -> rachetée par Bull 1978)
1974	Internet fait ses premiers pas (Arpanet)
1978	France Télécom lance Transpac, premier réseau de transmission de données par paquets en France
1980	Le Télétel 3V ou Minitel (Modem V.23 à 1200 - 600 bit/s en réception/émission)
1982	Premier PC (Personal Computer d'IBM)
1997	L'ordinateur bat le champion d'échecs (Deep Blue / Gary Kasparov)
2002	Génome humain décodé
2003	Internet avec plus de 100 millions d'ordinateurs reliés

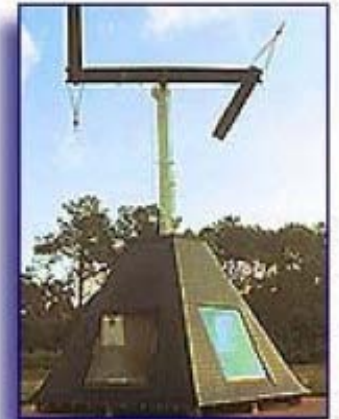
Le télégraphe optique : Chappe

Télégraphe (du grec *télé*, loin et *graphie*, écrire) : système destiné à transmettre des messages d'un point à un autre sur de grandes distances, à l'aide de codes pour une transmission rapide et fiable.

Télégraphe optique : Le premier télégraphe exploité était optique et totalement manuel.

Il s'agit du premier réseau de télécommunications d'envergure nationale au monde.

Pendant la Révolution française, **Claude Chappe** imposa à l'État français son système révolutionnaire de transmission par sémaphores, notamment grâce au soutien de Joseph Lakanal : **la Tour Chappe**.



Sémaphore : tour pour transmettre des signaux

(le mot sémaphore vient du grec *sema* : signe et *phoros* : qui porte)

Le télégraphe électrique : Morse

Télégraphe électrique : En 1832, Samuel Morse : Une ligne électrique relie deux points.

À chaque extrémité est placée une machine constituée d'un émetteur et d'un récepteur.

L'émetteur est un manipulateur manuel, un simple interrupteur alimenté avec une batterie plus ou moins brièvement la ligne.

Le récepteur est un électroaimant connecté directement sur la ligne, actionnant un mécanisme chargé de transcrire le code par le marquage d'une bande de papier.

Le code inventé par Morse est la transcription en une série de points et de traits des lettres de l'alphabet, des chiffres et de la ponctuation courante.

Le point est une impulsion brève et le trait une impulsion longue.



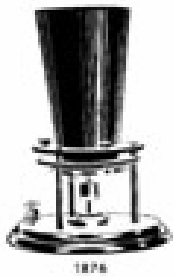
Notre fournisseur de téléphonie historique

PTT - France Telecom - Orange

- **1792**, le premier réseau de communication voit le jour pour permettre d'acheminer rapidement les informations dans un pays en guerre et peu sûr réseau de télégraphie optique de **Chappe**.
- **1878**, après l'invention du téléphone et du télégraphe se crée en un **ministère des Postes et Télégraphes qui annexe bientôt les services du téléphone qui sont nationalisés en 1889**
- **1923**, le ministère des P & T devenant celui des **PTT**.
- **1941**, une Direction Générale des Télécommunications est créée
- **1944**, le **CNET, Centre National d'Études des Télécommunications**, est créé -> principales création en 70's: la commutation numérique, le minitel, la norme GSM
- **1988**, la Direction générale des télécommunications devient **France Télécom** (directive européenne et séparation des PTT)
- **1990**, France Télécom est transformé en exploitant de **droit public**
- **1998**, une loi est votée en juillet 1996 transformant l'exploitant public en société anonyme dont l'État français est le seul actionnaire
- **2000**, le groupe a racheté la grande majorité d'**Orange plc**
- **2003**, fusion des activités mobiles (Itinériss, OLA, Mobicarte) en Orange SA
- **2004**, France Télécom devient une **entreprise privée**
- Aujourd'hui, c'est **220 000 personnes - 90 millions de clients** dans le monde



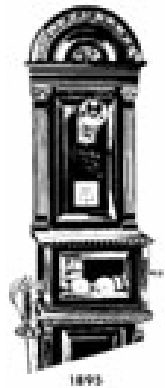
Progression des appareils



Téléphones



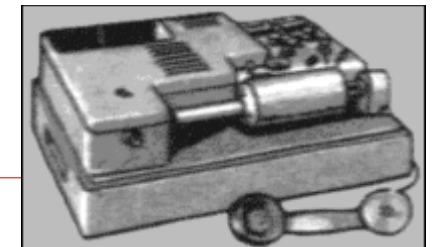
Télégraphes



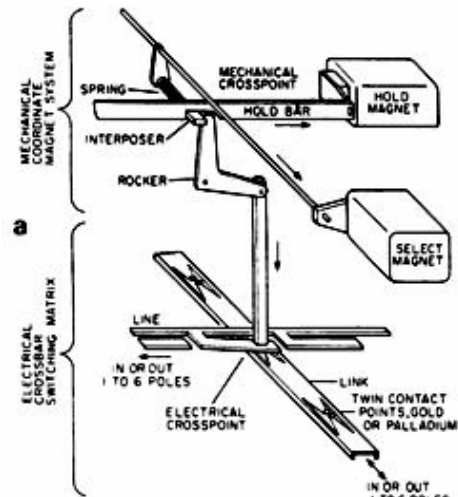
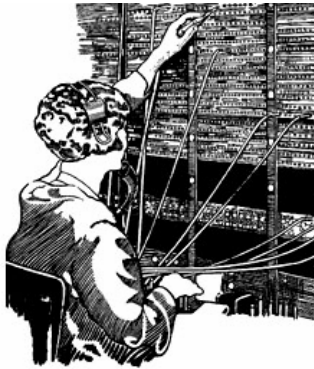
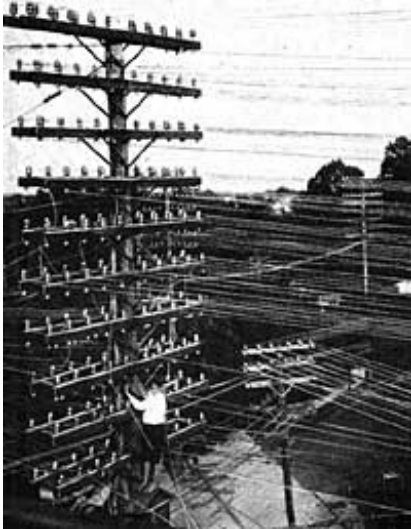
Télex



Fax



Progression du réseau Opérateurs -> CrossBar -> Commutateur(Switch)



Progression du réseau

Opérateurs -> CrossBar -> Commutateur (Switch)

- Commutateur de circuits à matrice de commutation physique (spatiale) intégrale.
 - Le terme provient de la disposition physique en croix sur deux nappes des liaisons entrantes et sortantes: la jonction opérée, typiquement par une fiche d'opérateur à l'époque manuelle, puis de manière automatique dans les années 70, permet d'établir ainsi physiquement la liaison entre toutes les lignes présentes.
 - La croissance quadratique du nombre de points de connexion en fonction du nombre de lignes limite le potentiel de développement de cette technique et était la raison d'être historique de la différence entre appels locaux (commutables sur le crossbar) et distants (requérant une commutation locale avec une ligne longue distance, et une autre commutation locale à l'arrivée).
 - Elle a été remplacée: cours sur la commutation
-

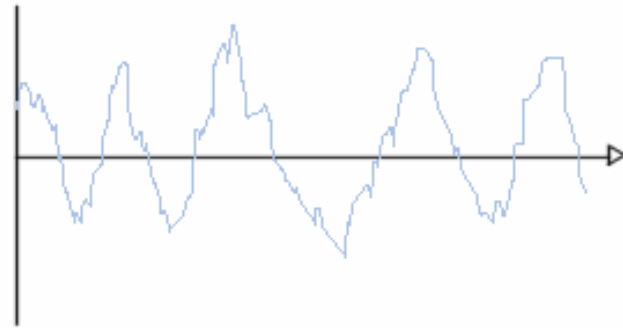
Partie 2 : La voix

- Qu'est-ce que le son ?
- Qu'est-ce que la voix ?
- Caractéristiques du signal
- Emission et Réception

Qu'est-ce que le son ?

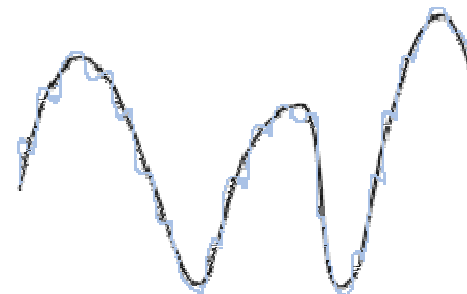
- **L'onde Sonore** : onde de compression-décompression, qui ne modifie pas le milieu dans lequel elle passe.
C'est une vibration.

(L'onde va "compresser" et "décompresser" le milieu puis, après le passage de l'onde, le milieu reste inchangé.)



-> ne marche pas dans le vide

- Composée de:
 - une fréquence fondamentale
 - des fréquences plus élevées (souvent appelés harmoniques)



— Composante de fréquence fondamentale
— Composante de fréquence plus élevée

Qu'est-ce que le son ?

- **Période**: temps minimum au bout duquel un signal se reproduit à l'identique.
 - Une période de signal périodique décrit le signal complètement.
 - La **fréquence fondamentale** f_0 est l'inverse de la période T_0 .
-

Propagation du son

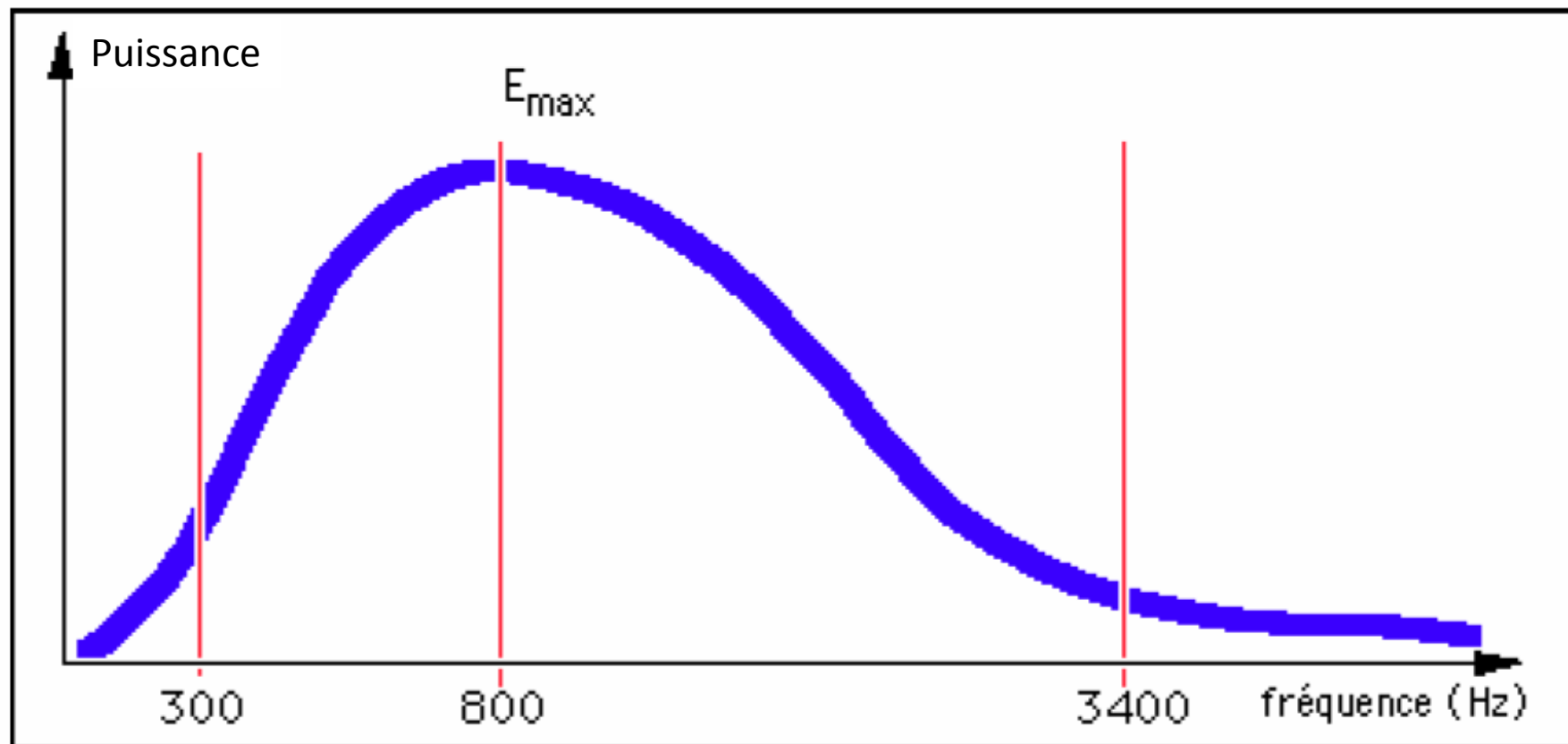
<u>Milieu</u>	<u>Vitesse</u>	<u>Note</u>
air	340m/s	Fonction de la température: 331m/s à 0°C et 343m/s à 20°C
eau	1.440m/s	dans les liquides la vitesse est nettement plus élevée
cuivre	3.500m/s	
acier	5.000 m/s	

Qu'est-ce que la voix ?

- Parole
- Signal acoustique -> vecteur de la parole
- Fréquence fondamentale:
 - fixée par la fréquence de vibration des cordes vocales

(80-200 Hz)	voix masculine
(150-450 Hz)	voix féminine
(200-600 Hz)	voix enfantine

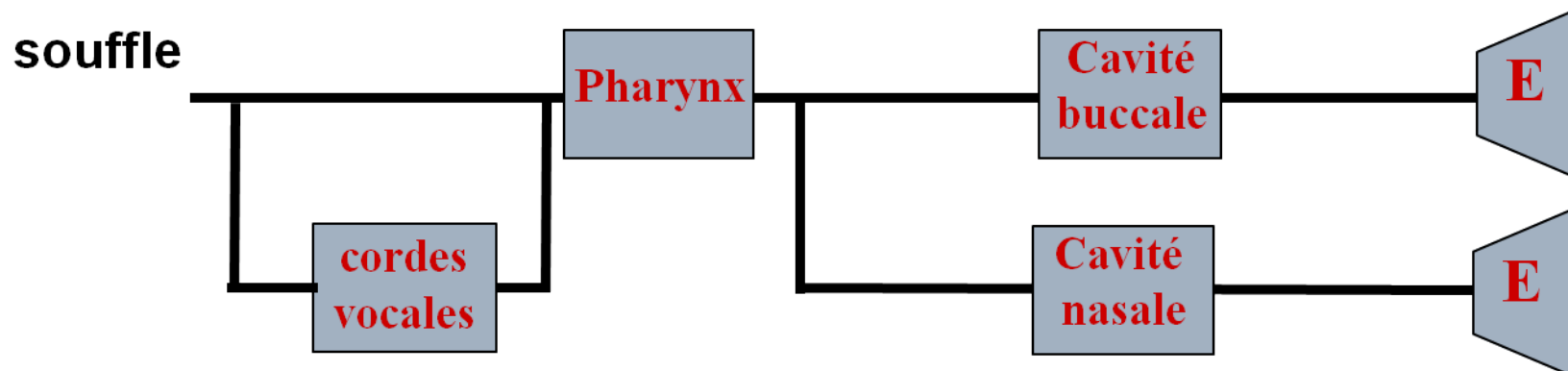
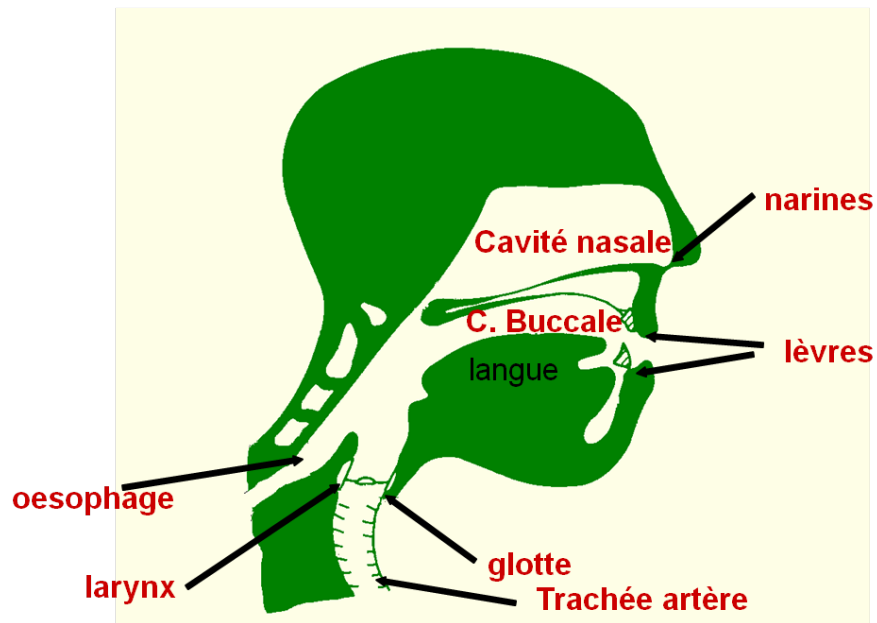
Le spectre de la voix humaine



Puissance d'une certaine fréquence : liée à l'amplitude moyenne de la composante à cette fréquence dans le signal sonore quand on parle

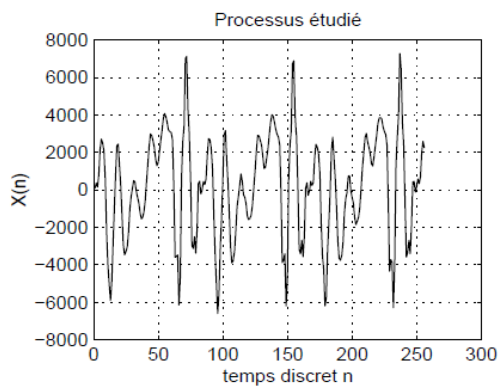
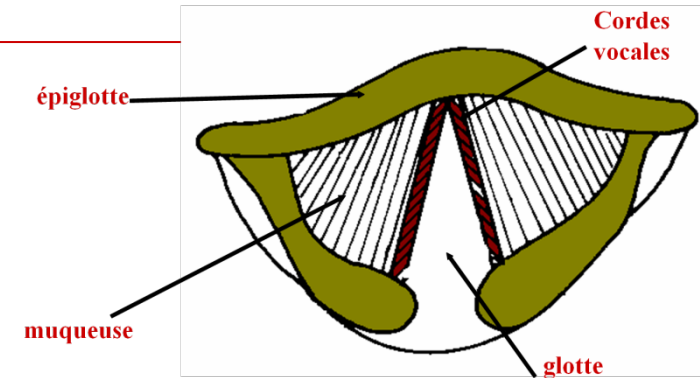
Production de la voix: Un peu de physiologie

La parole est produite par l'air qui, expulsé des poumons via la trachée, traverse la cavité pharyngale puis les cavités orales et/ou nasales.

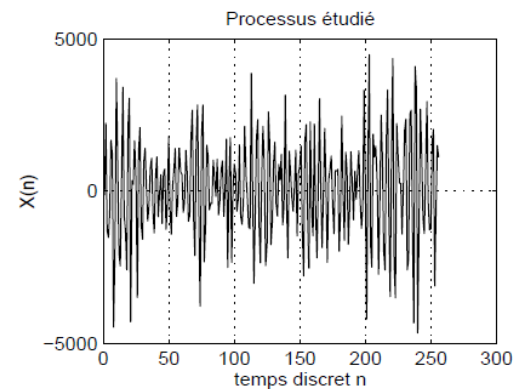


Emetteur: Le larynx

- La parole utilise différents **phonèmes** (ex: [a] ou [k]) assemblés pour former des mots.
- Ils se répartissent en deux catégories :
 - les **phonèmes voisés** s'ils sont produits suite à une vibration des cordes vocales (voyelles),
 - les **phonèmes non-voisés** s'ils sont produits par une constriction du conduit vocal (consonnes).
- Les premiers comportent une série de raies harmoniques dans leur spectre alors que les seconds sont analogues à des bruits (aucune fréquence ne se distingue).



Son [a]

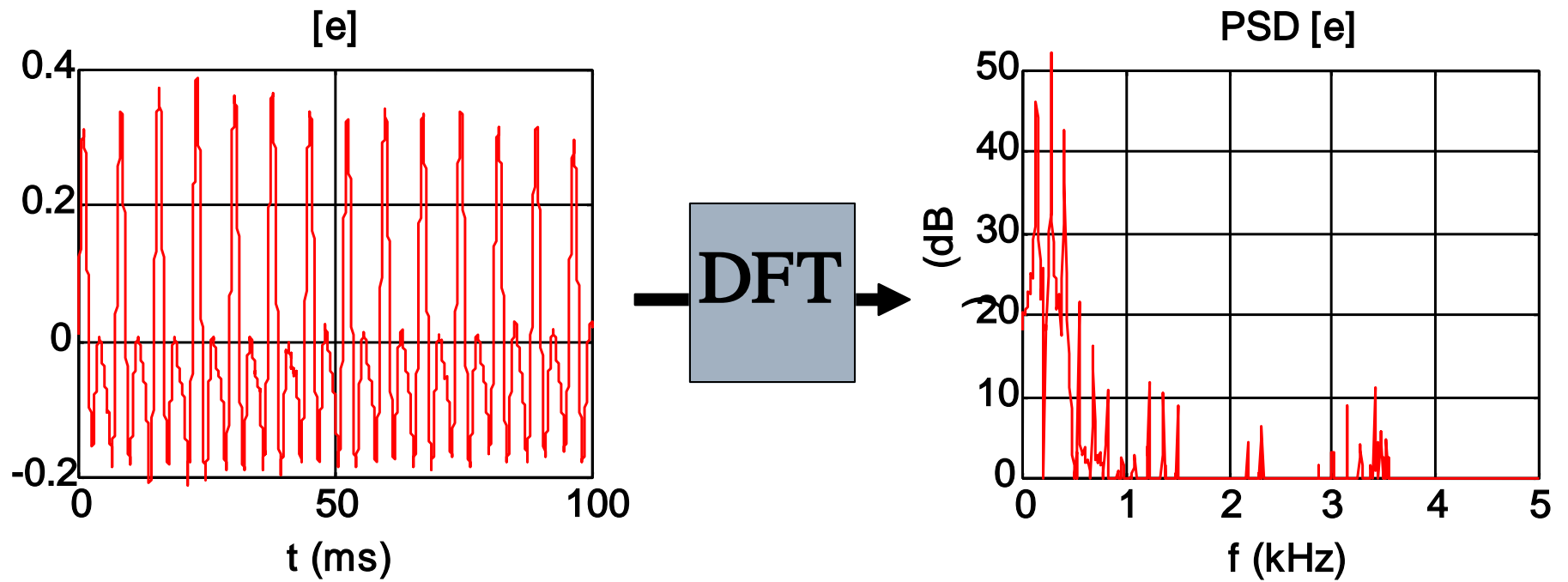


Son [s]

Emetteur: la modélisation

- Chaque phonème peut être simplement modélisé sous forme
 - d'une **source** : cette source étant un signal périodique de fréquence f_0 (si le phonème traité est voisé) et un bruit blanc (si le phonème est non-voisé)
 - et d'un **filtre** qui représente l'action du conduit vocal.
- Cette **modélisation** est particulièrement utile pour élaborer des outils de **compression de la parole** : la parole n'est plus représentée comme une suite d'échantillons, mais directement à partir d'une suite de modèles source/filtre.
- -> LPC (Linear Prediction Coding) utilisé en GSM

Transformée de Fourier = décomposition spectrale



Récepteur: L'oreille



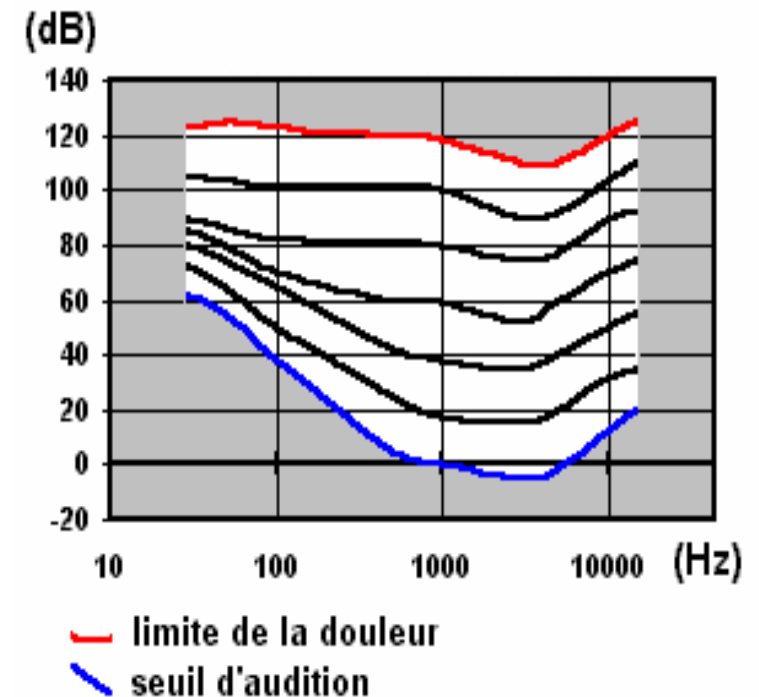
Un son correspond à un déplacement d'air suivant une certaine intensité (décibel) et certaines fréquences (hertz).

- ce déplacement d'air arrive dans l'oreille
 - rebondit contre la membrane du tympan qui vibre...
 - le liquide en se déplaçant va faire réagir de minuscules cils sensibles à certaines fréquences
 - de cette réaction va naître un influx nerveux qui va transmettre l'information sonore ainsi codée au cerveau
-

Récepteur: L'oreille



- Le diagramme de Fletcher et Munson représente les courbes d'égale sensation sonore d'une oreille humaine normale en fonction de la fréquence
- La **zone d'audition normale** :
 - > au seuil d'audition (0dB à 1000Hz)
 - < à la limite de la douleur (vers 120 décibels)
- limitée vers
 - **30 Hz** pour les fréquences basses
 - **15 000 Hz** pour les fréquences hautes
- la **sensibilité** de l'oreille est maximale
 - entre **1 000 et 5 000 Hz**
- évolue d'un sujet à l'autre et pour un même individu en fonction de l'âge ou des maladies et accidents



Emission et Réception

- Reproduire
 - une vibration
 - une suite de surpressions et de dépressions de l'air
- Transporter : problèmes
 - Atténuation
 - Distance
 - ...

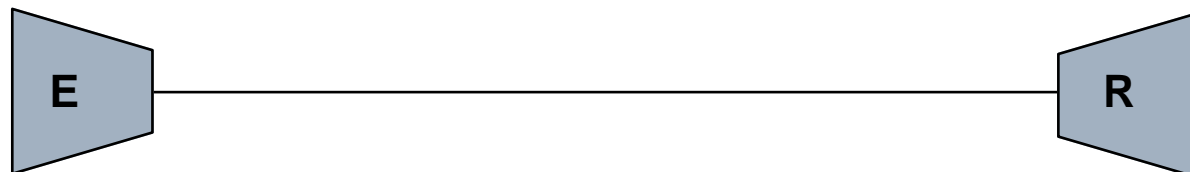


-> conversion des vibrations en ondes électriques plus facile à transporter

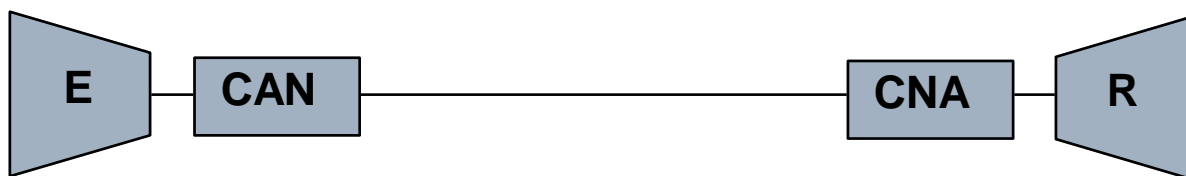
Jusqu'au codage de la parole...

degré de complexité

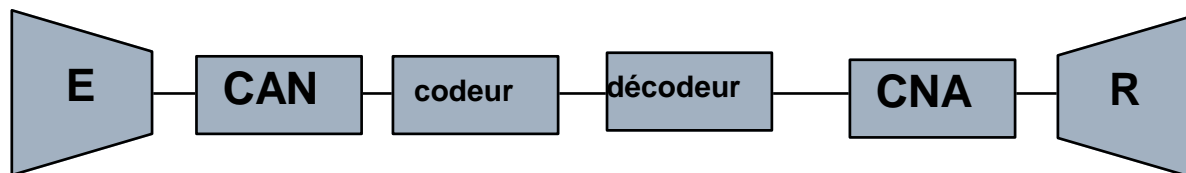
- analogique



- numérique
quantification
échantillonnage



- codage
modélisation
compression



Normes de communication

Codage et caractéristiques du signal

- Etude et traitement de la parole
- La principale différence entre le codage musical et le codage de la parole est liée à l'objectif recherché :
 - en musique, on recherche de la haute-fidélité donc pas de perte signal,
 - alors qu'en parole on veut "seulement" une compréhension de 100%, mais qui autorise certaines pertes (quantification pour faible débit...)
- Les exigences en compression (ou nombre de bits /s requis) seront également très différentes

-> Nous allons voir ça

Partie 3 : Numérisation

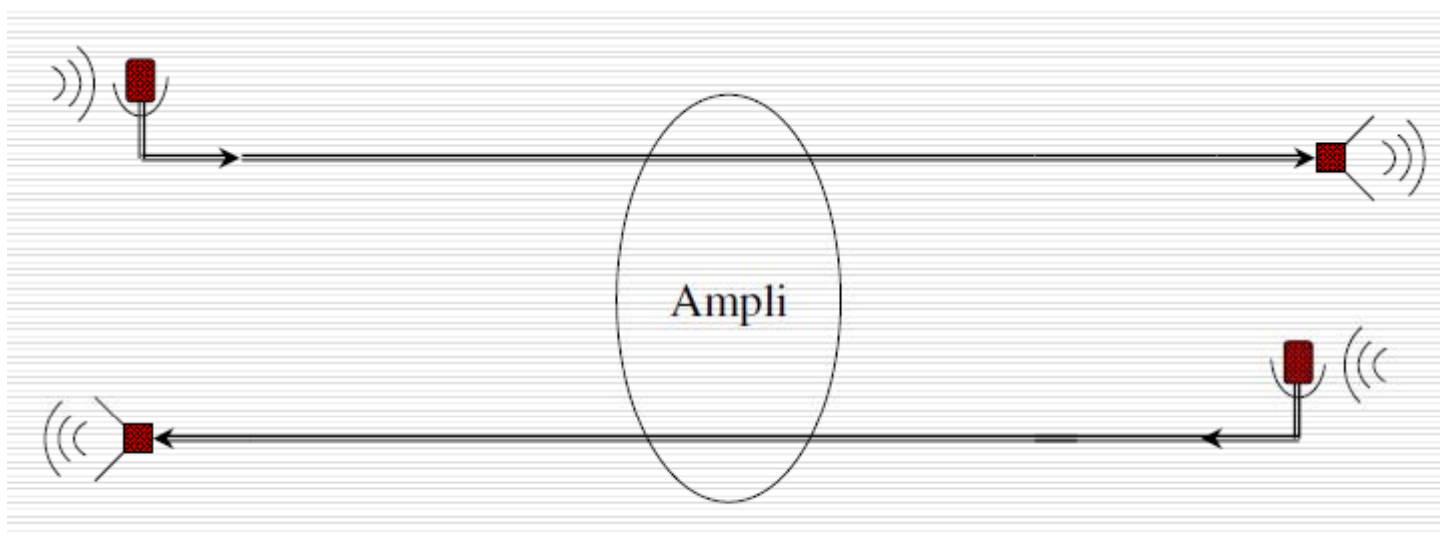
- Discrétisation en temps : l'échantillonnage
- Discrétisation en valeurs : quantification
- Pertes
- Qualité de service

Revenons au besoin initial...

- Transporter de la voix
- A grande distance
- Sans trop de perte d'information :
 - atténuation
 - bande passante
- En mode point à point
- Sans trop tirer de câbles !...

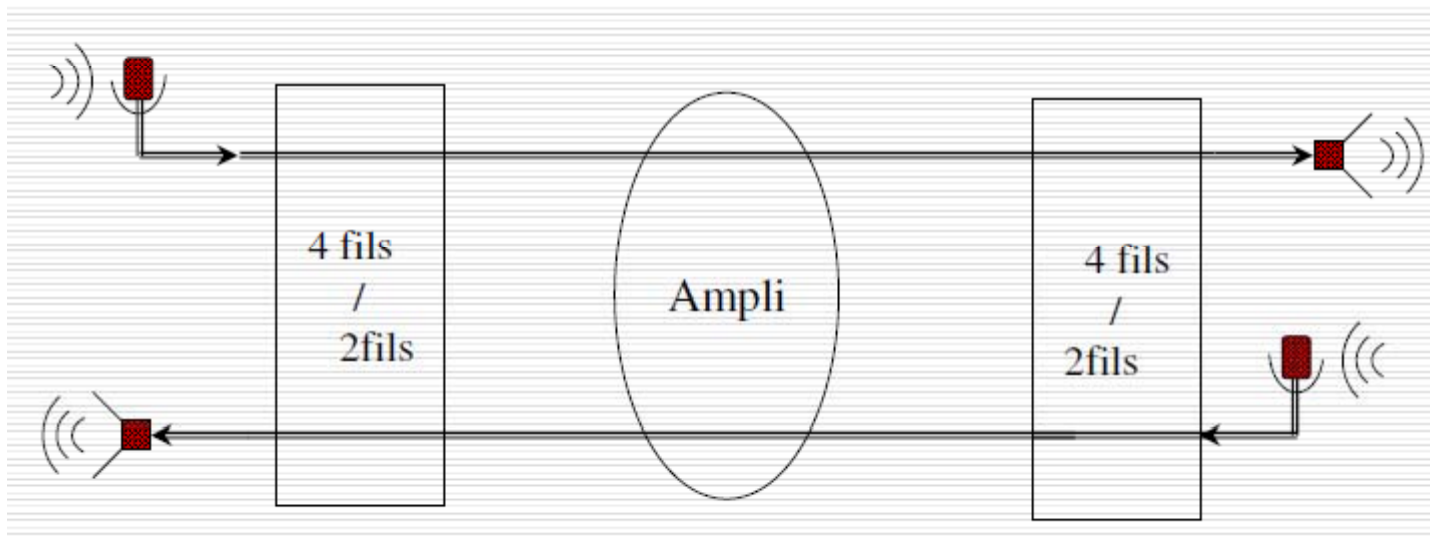


Téléphonie analogique



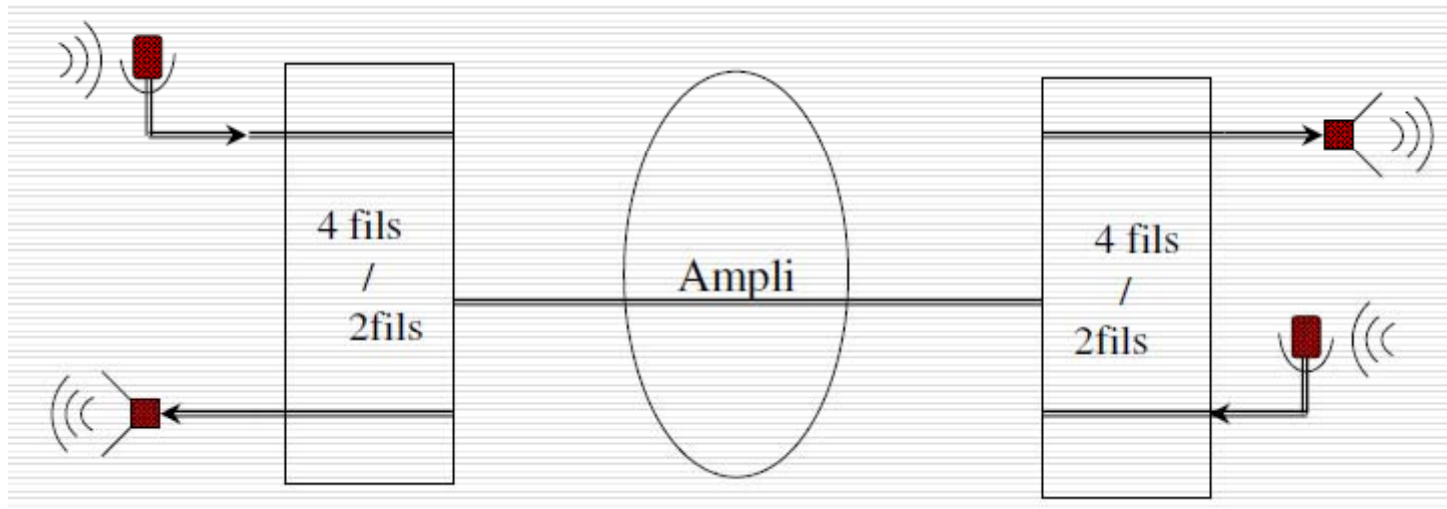
Téléphonie analogique

- Communication simplex : possible que dans un sens
-
- Communication **duplex** : possible dans les deux sens
 - **half-duplex** : un seul sens à un instant donné
 - **full-duplex** : les deux sens en même temps
- **Téléphonie** : requiert **full-duplex** ! (on doit pouvoir parler en même temps)



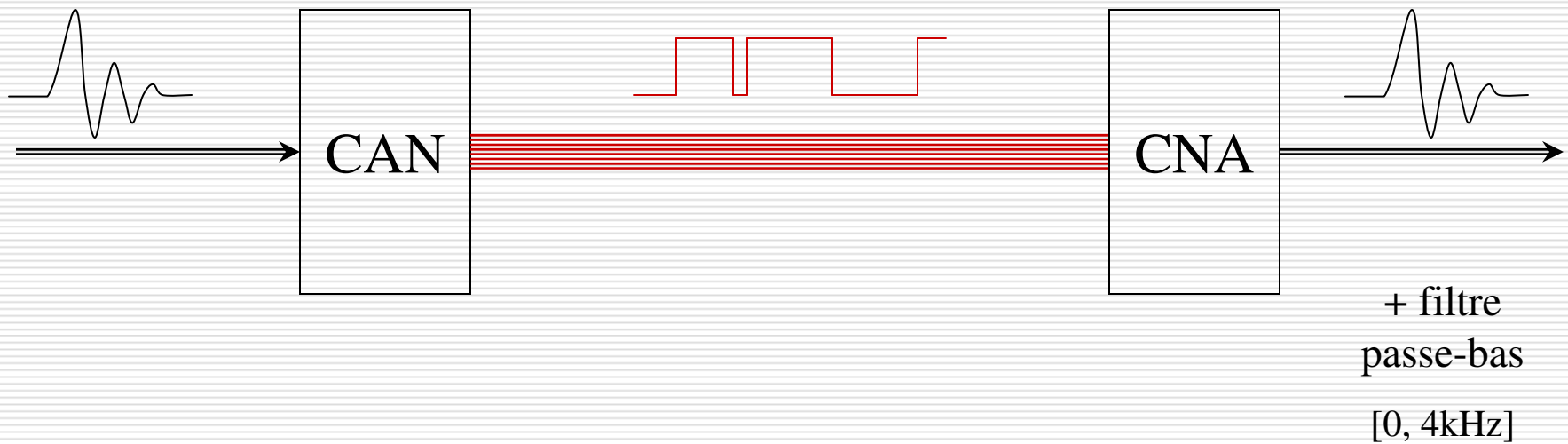
Téléphonie analogique

→ Et on va le faire en utilisant qu'une paire de fils pour les 2 sens au lieu de 2 normalement nécessaires



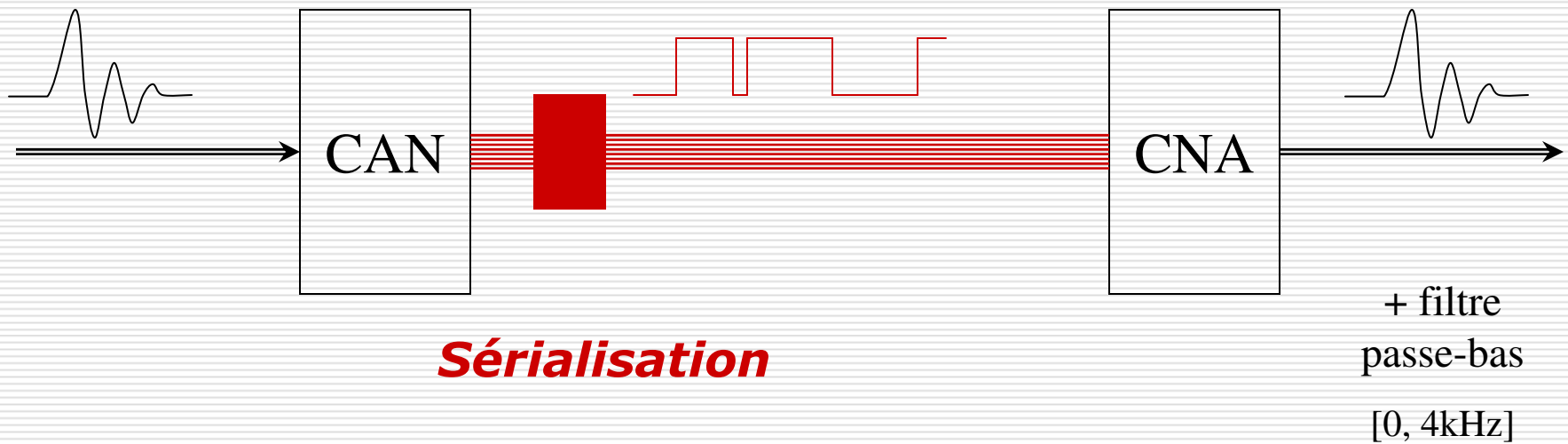
Téléphonie numérique

Numérisation



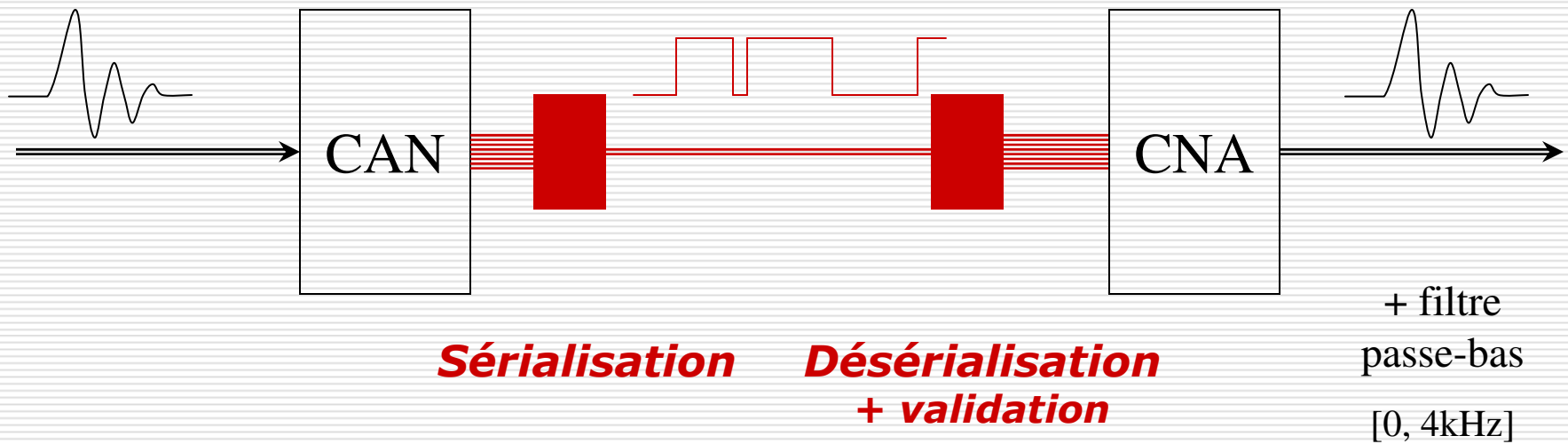
Téléphonie numérique

Numérisation



Téléphonie numérique

Numérisation



Numérisation

- Echantillonnage
 - Quantification
 - Codage & Compression
-

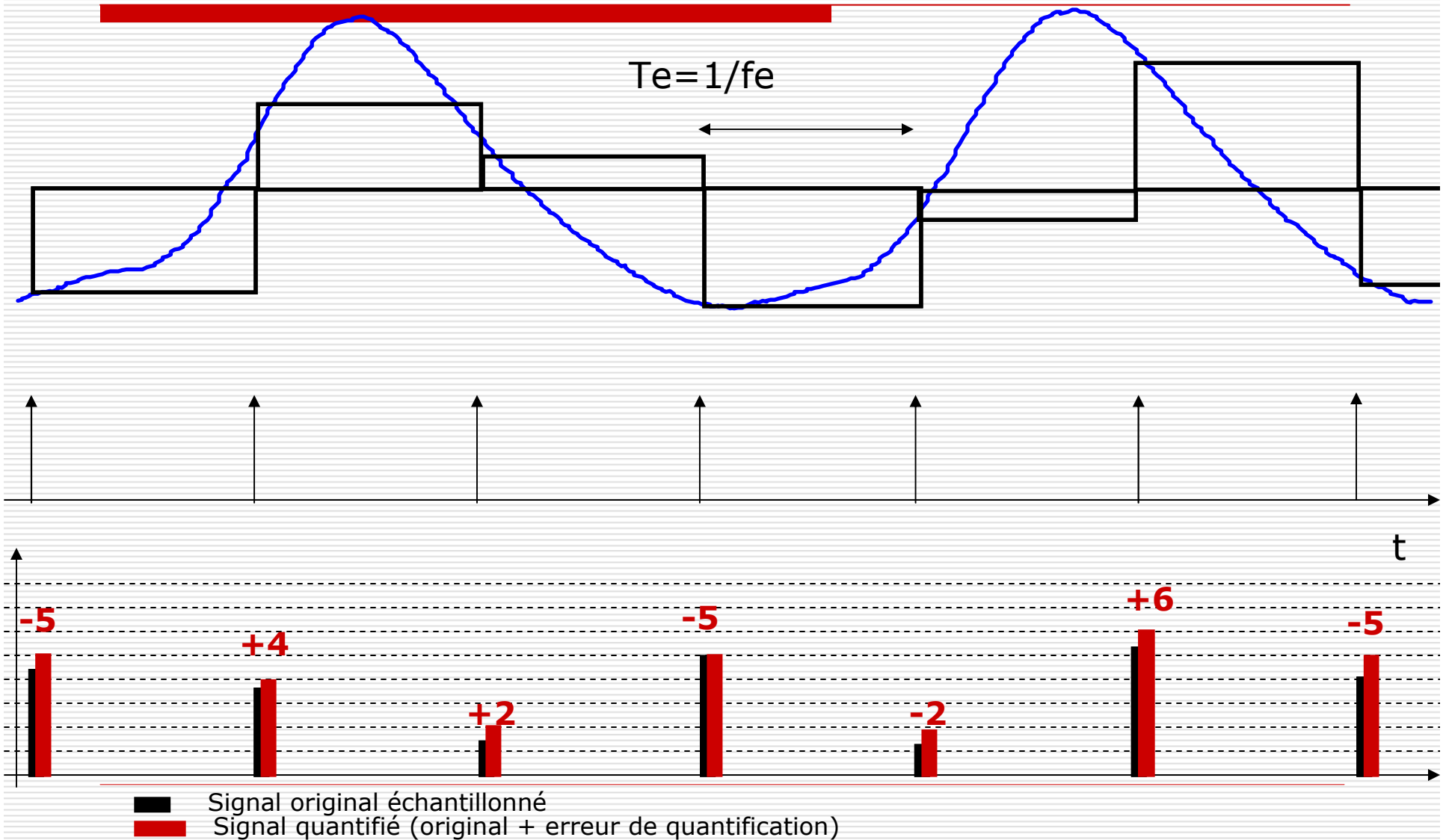
Numérisation : le principe

- Conversion Analogique → Numérique
 - **Numérisation = transformation d'un signal continu dans le temps et à valeurs continues en une suite discrète en temps et à valeurs discrètes**
 - **Discrétisation dans le temps:** prélèvement de l'amplitude du signal à des instants précis
= **échantillonnage**
 - **Discrétisation en valeurs:** l'amplitude est projetée sur un ensemble fini de valeurs
→ **quantification**
 - Récepteur: devra **reconstituer** le signal continu d'origine à partir des échantillons quantifiés transmis
-

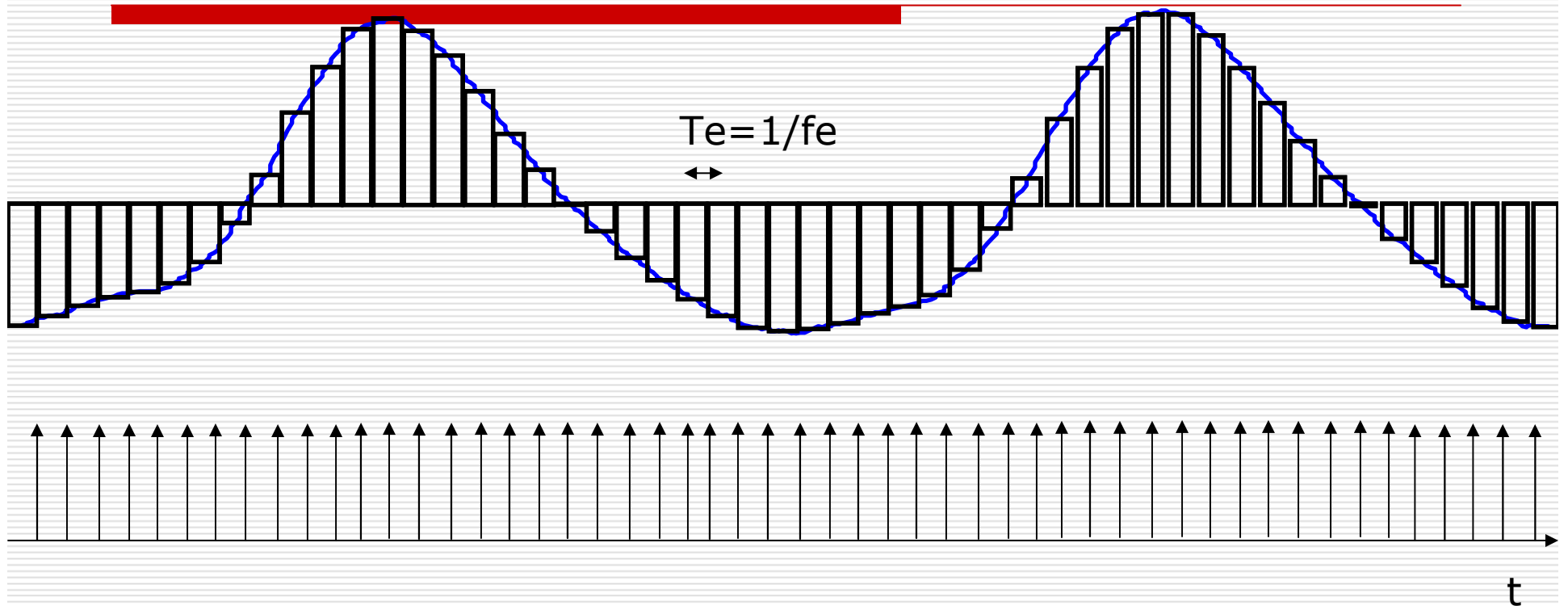
Pour une restitution fidèle, il faudra bien choisir les trois critères suivants

1. **Intervalle d'échantillonnage** (ou fréquence) == constante
 2. **L'amplitude de l'échelle de quantification** doit être suffisante pour reproduire la dynamique du signal (signal le +fort – signal le +faible)
 3. **Codage** des valeurs obtenues connu des deux côtés (émetteur et récepteur)
-

1-L'échantillonnage == *sampling*



L'échantillonnage == *sampling*



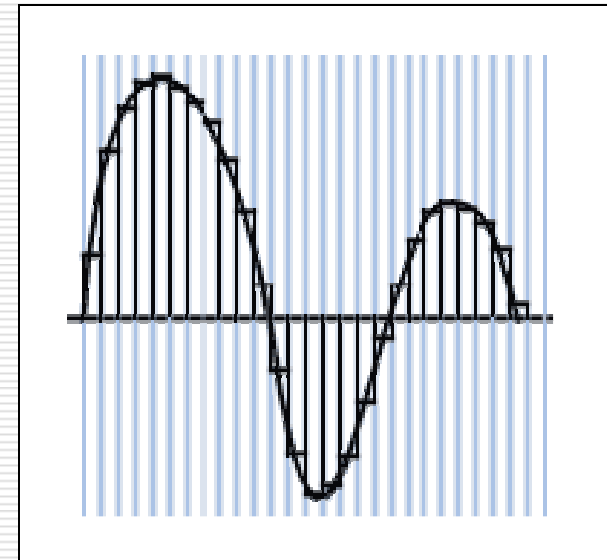
Choix de la fréquence d'échantillonnage

→ Compromis qualité/débit

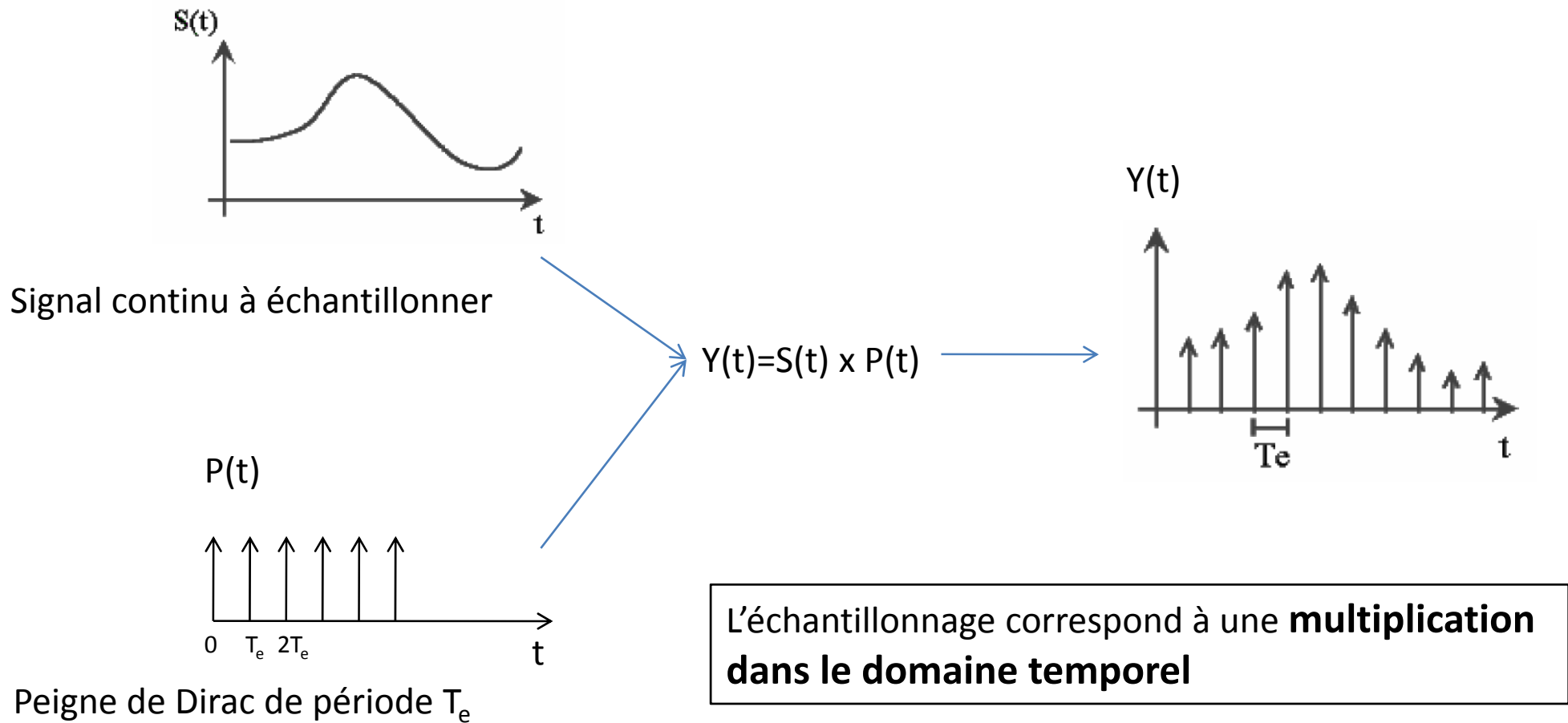
Fréquence d'échantillonnage

- Choix critique !!!
- Il existe un certain nombre de fréquences d'échantillonnage normalisées :
 - **32 kHz** : pour la **radio** FM en numérique (bande passante limitée à 15 kHz)
 - **44.1 kHz** : pour l'**audio professionnelle** et les **CD**
 - **48 kHz** : pour les enregistreurs numériques multipistes professionnels et l'enregistrement grand public (DAT, MiniDisc...)
- **En téléphonie**
Ex: norme CCITT G.711
 - Échantillonnage : 8kHz
 - Quantification : non uniforme (A-law ou μ -law) sur 8 bits
 - Débit : 64kb/s
 - → voir plus loin

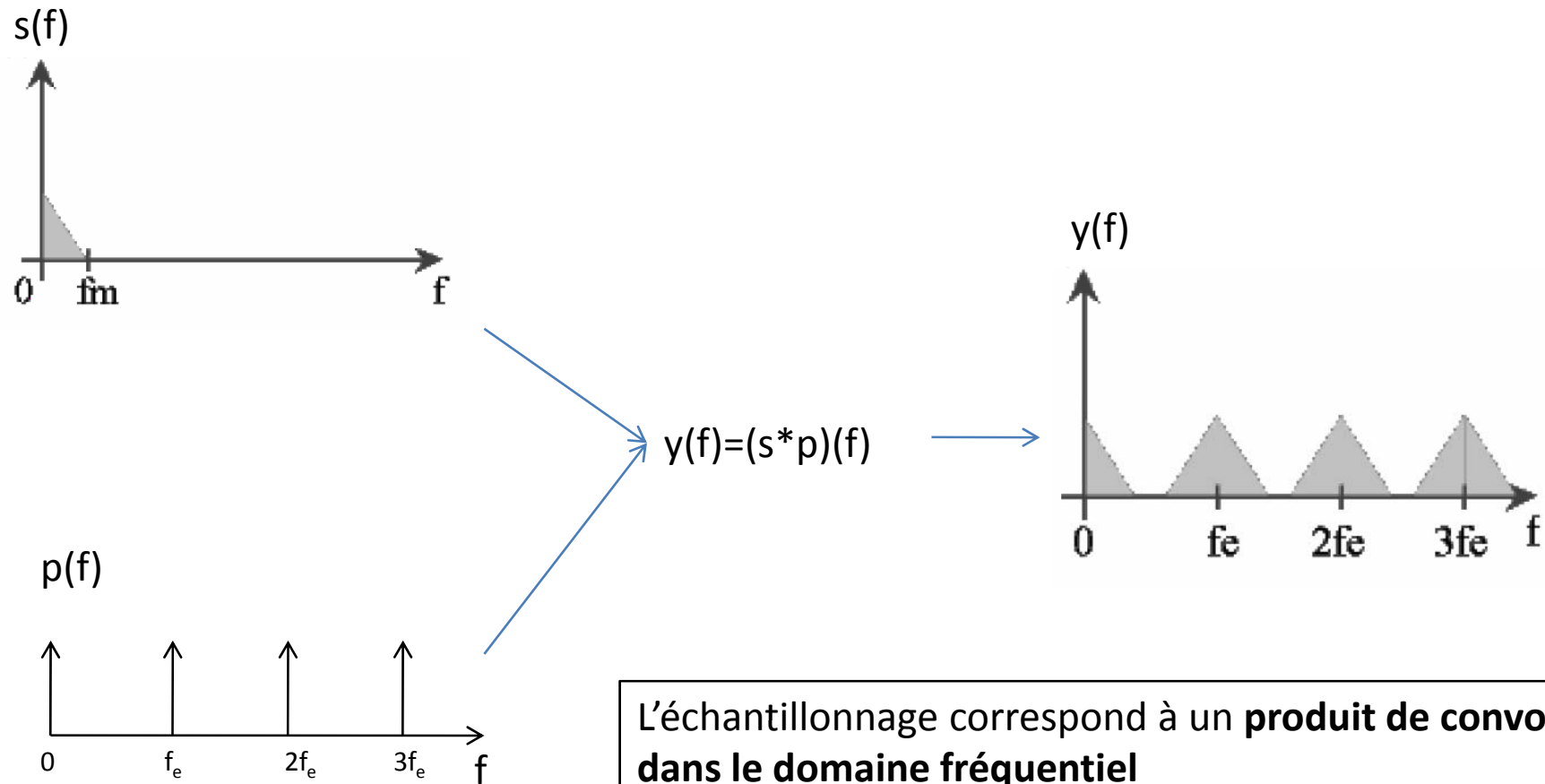
Taux d'échantillonnage	Qualité du son
44 100 Hz	qualité CD
22 000 Hz	qualité radio
8 000 Hz	qualité téléphonique



L'échantillonnage: rappel en temporel



L'échantillonnage: rappel en fréquentiel



Rappel de la règle fondamentale

Une multiplication des signaux dans le temps correspond une convolution de leurs spectres

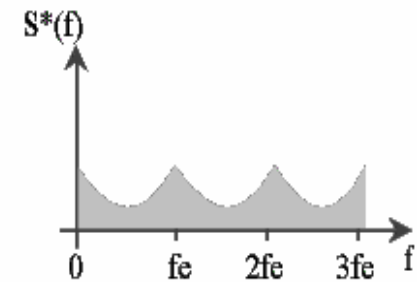
(le cas de l'échantillonnage est un exemple)

Une convolution des signaux dans le temps correspond une multiplication de leurs spectres

(le cas du filtrage est un exemple)

Repliement de spectre si...

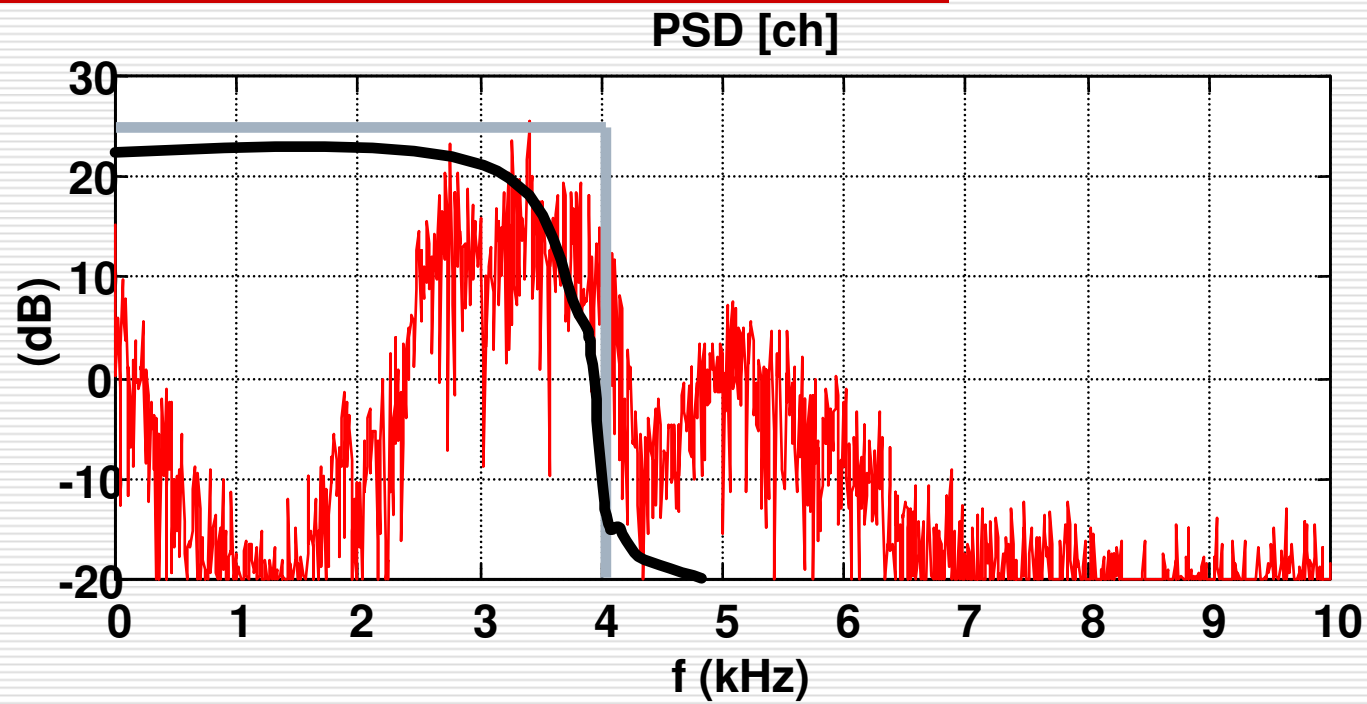
- Si la fréquence max du signal **f_m** est supérieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage **f_e**



- **Solutions:**

- 1) Faire un échantillonnage à très haute fréquence pour déterminer la **fréquence max f_m** , puis définir une fréquence d'échantillonnage pour laquelle la condition de **Shannon** est respectée :
1) $f_e > 2.f_m$
- 2) Sur chaque voie mettre un **filtre passe-bas analogique placés avant l'échantillonnage** dont la fréquence de coupure **f_c est inférieure à $f_e/2$** (il faut atténuer le signal de manière à avoir à $f_e/2$ une valeur du signal inférieure au quantum du CAN)

Contre le recouvrement spectral

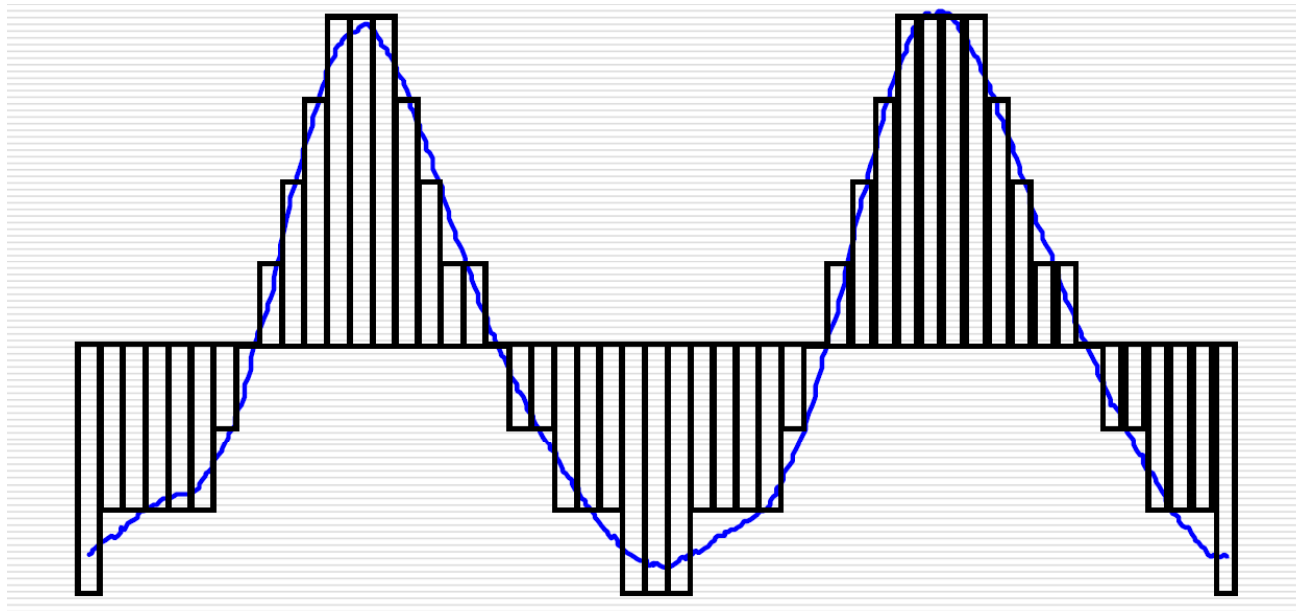


Théorème de Shannon : $f_{\max} = f_e/2$
• **filtre anti-repliement (*anti-aliasing*)**

2- La quantification

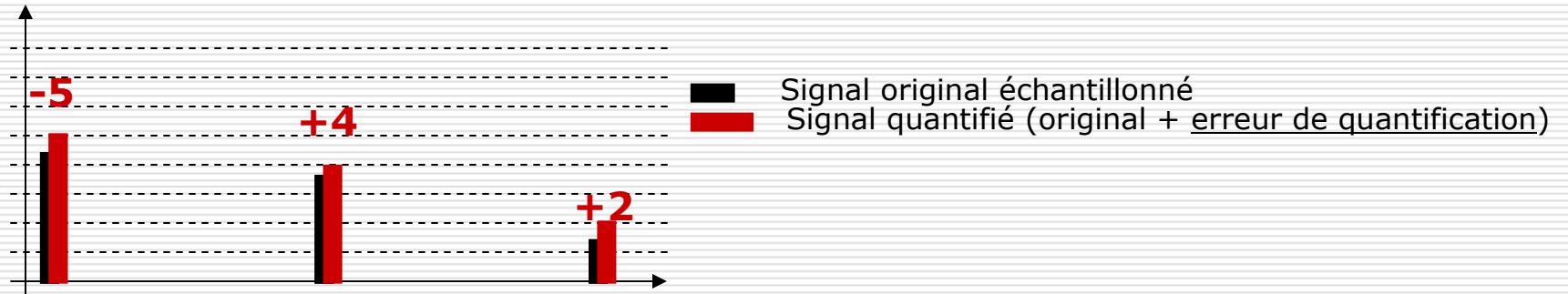
Exemple :

- ici il y a 8 valeurs (niveaux)
- quantification sur 3 bits (1bit de signe + 2 bits d'amplitude)



Quantification :

Un autre problème pour la restitution



- L'erreur de quantification: (Quantization noise)
 - granulation : erreur liée au nombre de valeurs choisies
 - saturation : erreur liée au dépassement des seuils

Compression logarithmique

- La numérisation introduit un bruit de quantification
 - et la dynamique d'une communication téléphonique peut atteindre 40dB
 - Afin d'améliorer le rapport signal/bruit
 - on réduira le pas de quantification pour les faibles amplitudes
 - et on l'augmentera pour les fortes amplitudes
-

Lois de compression

- Bonne amplitude de l'échelle de quantification pour la voix devrait être 4096 ($2^{12} \rightarrow 12\text{bits}$)
 - En comprimant on peut passer à un codage 8 bits sans trop de perte perceptible
 - Europe \rightarrow Loi **A**
 - En utilisant ce type de loi, on arrive à une qualité équivalente à du ~~8~~ $\times 12\text{bits}$ (96 kbit/s) en utilisant que 8 bits (64 kbit/s)
 - Etats-Unis et Japon \rightarrow Loi μ
 - La loi Américaine est légèrement différente, μ -law
-

Loi μ % Loi A

□ USA : Loi μ

- Approximation sur 15 segments de droite, $\mu = 255$

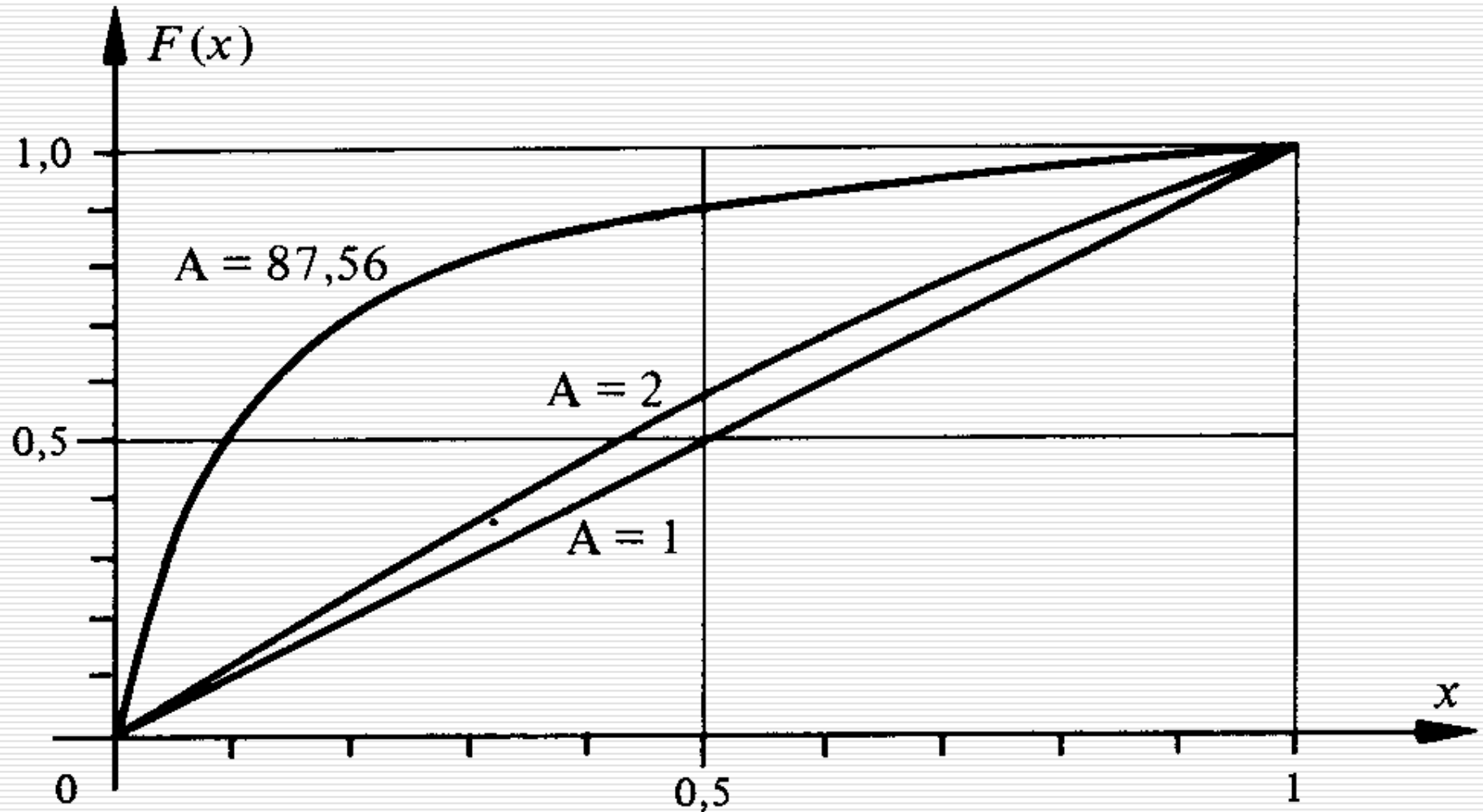
$$y = \frac{\text{Log}(1 + \mu x)}{\text{Log}(1 + \mu)} \quad \text{avec } -1 < x < +1 \text{ et } x = V_{in}/V_{max}$$

□ Europe : Loi A

- Approximation sur 13 segments de droite, $A = 87,6$

$$y = \frac{1 + \text{Log} Ax}{1 + \text{Log} A} \quad \text{pour } 1/A < x < 1 \quad (x = V_{in}/V_{max})$$
$$y = \frac{Ax}{1 + \text{Log} A} \quad \text{pour } 0 < x < 1/A$$

Représentation de la loi de compression



Loi A

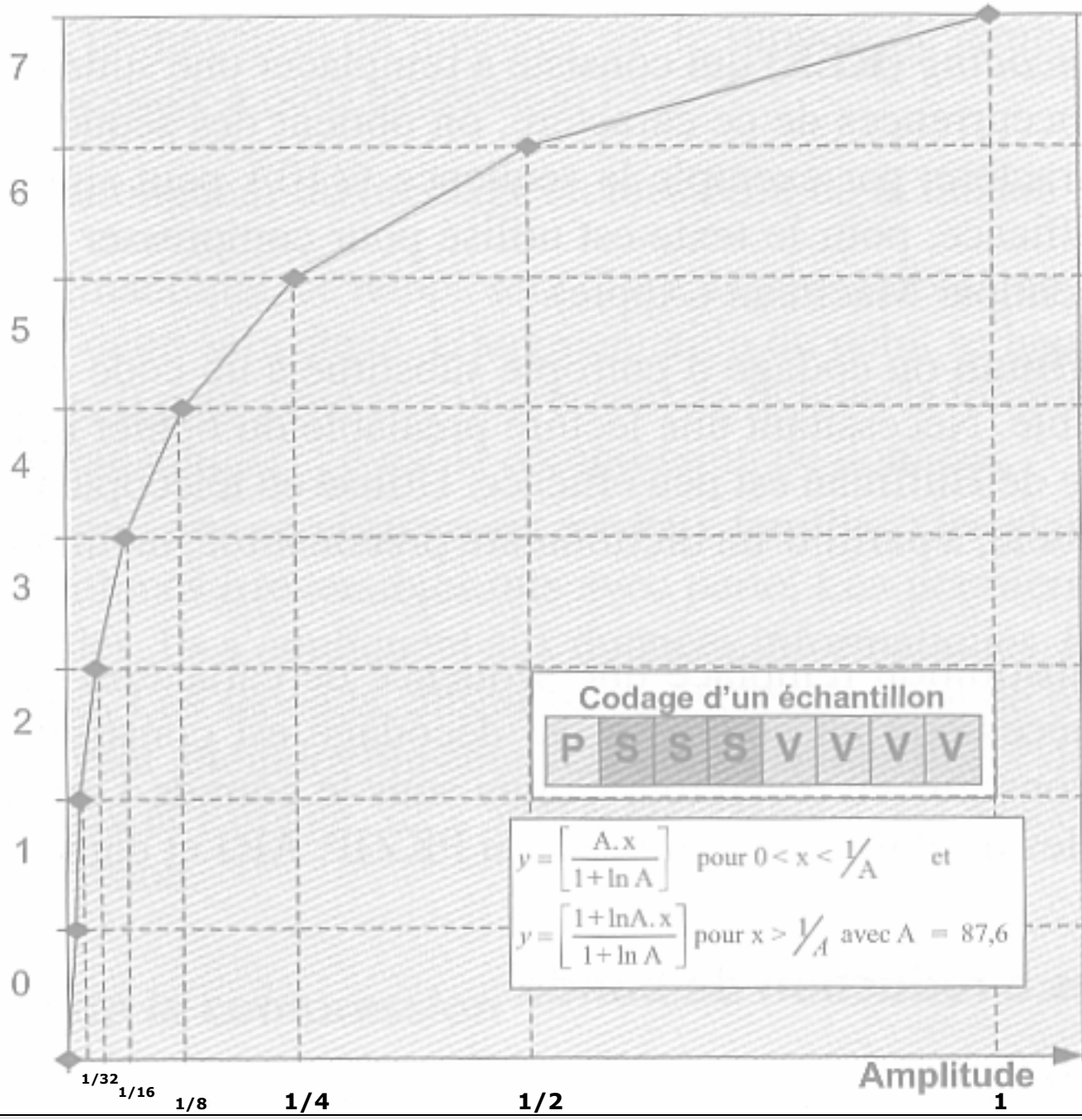
- ❑ Normalisée par le CCITT (Comité Consultatif International pour le Télégraphe et le Téléphone)
 - ❑ Est une loi logarithmique
 - ❑ Le codage s'effectue sur 8 bits correspondant à trois champs:
 - Signe (1 bit)
 - Segment (3 bits)
 - 16 intervalles égaux (4 bits)
-

La loi A

- combine un codage non-linéaire et un codage linéaire
 - d'un segment à l'autre, l'amplitude est multipliée par deux sauf pour les deux premiers segments qui sont égaux
 - Ce code sur **7 bits + un bit de signe** permet de couvrir **256 niveaux** du signal de parole (positifs et négatifs)
 - La tension maximale "codable" est de l'ordre de 1 volt, la tension minimale "codable" dans de bonnes conditions de l'ordre de 10 mV.
 - Le **rapport S/B** est sensiblement constant et voisin de **40 dB. (rapport = 100)**



Segment



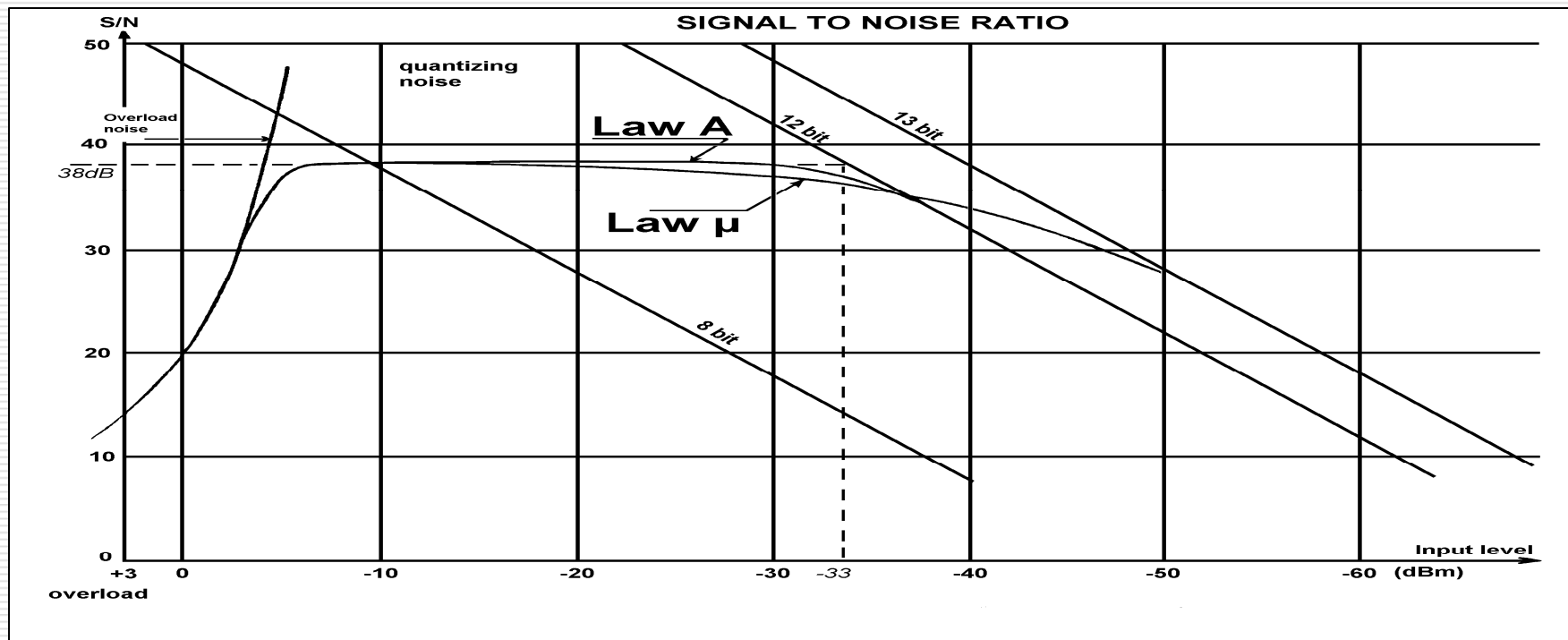
Codage d'un échantillon

P	S	S	S	V	V	V	V
---	---	---	---	---	---	---	---

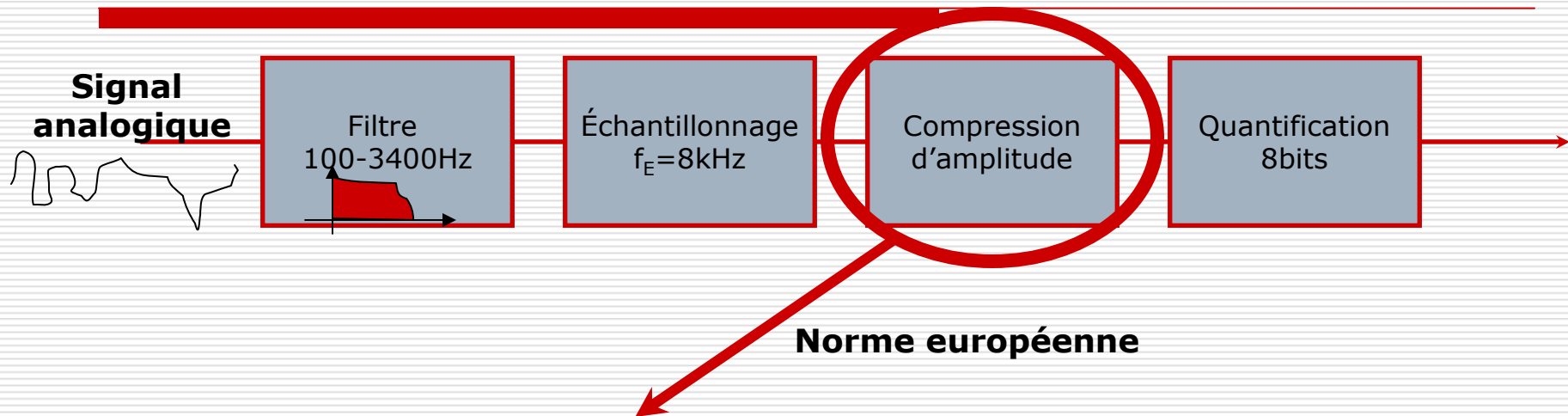
$$y = \left[\frac{\Lambda \cdot x}{1 + \ln \Lambda} \right] \text{ pour } 0 < x < \frac{1}{\Lambda} \text{ et}$$
$$y = \left[\frac{1 + \ln \Lambda \cdot x}{1 + \ln \Lambda} \right] \text{ pour } x > \frac{1}{\Lambda} \text{ avec } \Lambda = 87,6$$

Rapport signal/bruit

- Les deux techniques sont très proches et donnent un rapport signal/bruit lié à la quantification de
 - **38dB**
 - ce **rapport est constant** pour un signal d'amplitude comprise entre -5dBm et -33dBm
 - Pour les signaux très faibles, elles se comportent comme une numérisation sur 12 bits pour la loi A et sur 13 bits pour la loi μ



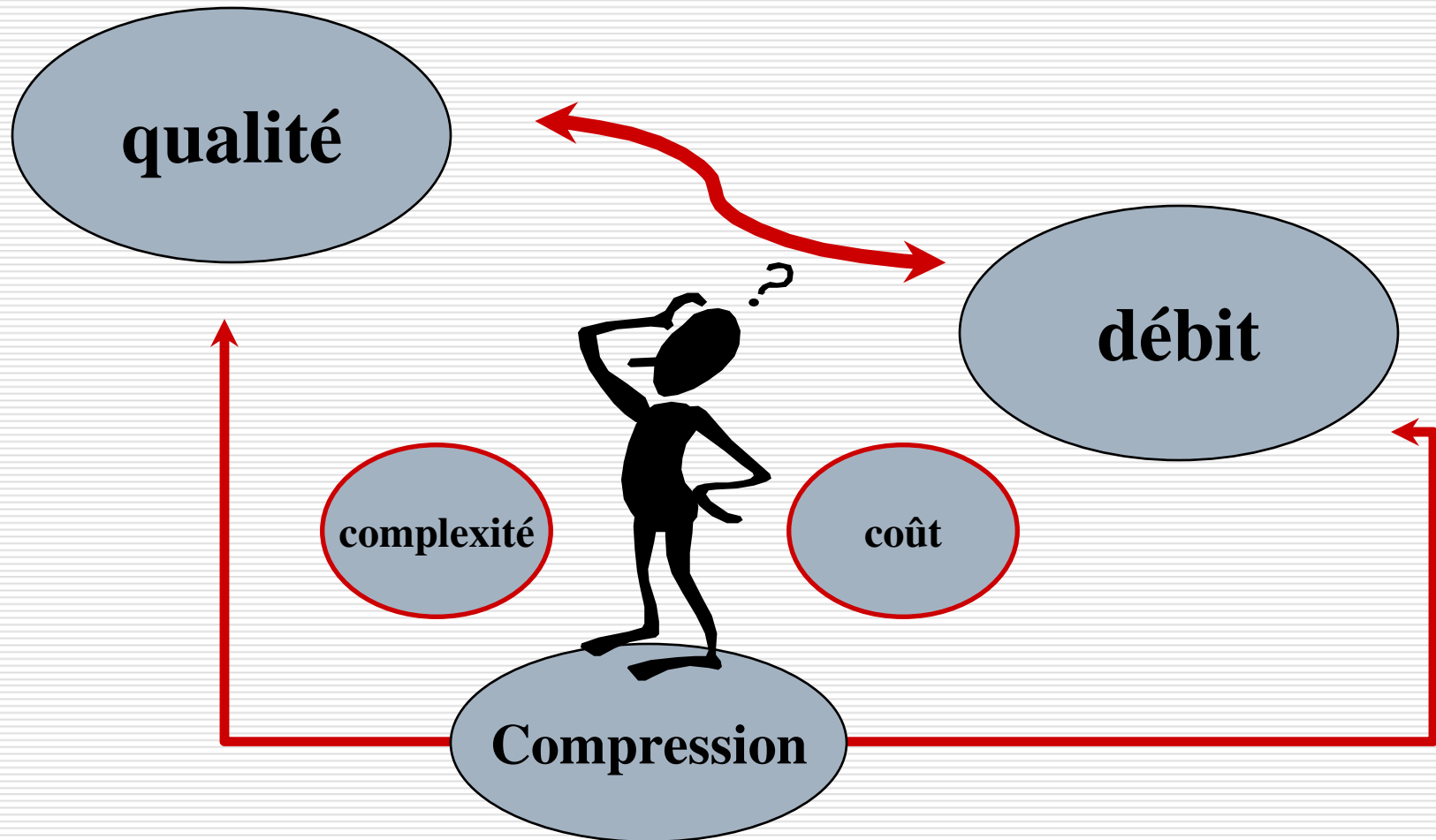
Echantillonnage + compression amplitude + codage



$$F(x) = \frac{A|x|}{1+\ln(A)} \operatorname{sgn}(x); \quad 0 \leq \frac{|x|}{x_{\max}} \leq A^{-1}$$

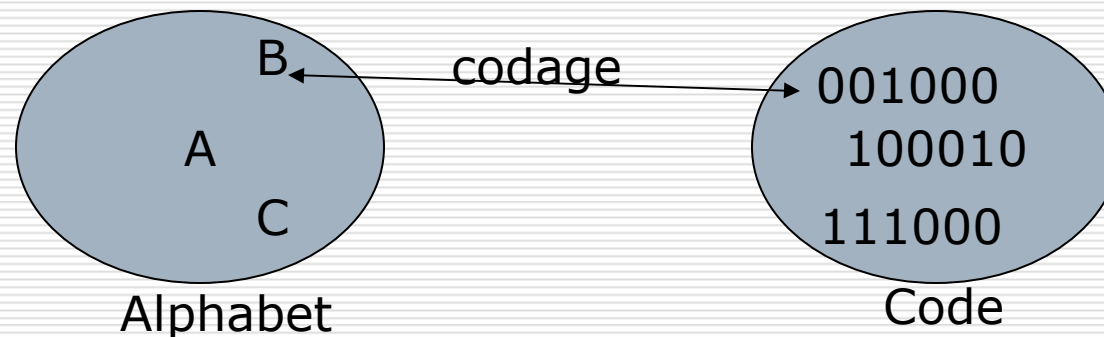
$$F(x) = x_{\max} \frac{1+\ln(A \frac{|x|}{x_{\max}})}{1+\ln(A)} \operatorname{sgn}(x); \quad A^{-1} \leq \frac{|x|}{x_{\max}} \leq 1$$

3-Problématique du codage



Qu'est-ce que le codage ?

- Code c'est faire correspondre (bijection)
 - à chaque symbole d'un alphabet
 - une représentation binaire
- Codes
 - À longueur fixe (ASCII)
 - À longueur variable (Morse, Huffman)



Exemple de codage à longueur variable

Morse (● —)

- Adapté à l'écrit
 - efficace car la taille du code n'est pas fixe et les lettres
 - les plus courantes sont codées sur peu de symboles : E = 1 point... (comme un code de Huffman)
- Mais pas à l'audio...



Lettre	Code	Lettre	Code	Lettre	Code	Chiffre	Code
A	•—	K	—•—	U	••—	0	— — — —
B	—•••	L	•—••	V	•••—	1	•— — —
C	—•—•	M	— —	W	•— —	2	•• — —
D	—••	N	—•	X	—••—	3	••• —
E	•	O	— — —	Y	—• — —	4	•••• —
F	••—•	P	•— — •	Z	— — ••	5	•••••
G	— — •	Q	— — • —	Point	—• —• —•	6	—••••
H	••••	R	•—•	Erreur	••••••	7	— —•••
I	••	S	•••	Début	—• —• —	8	— — —••
J	• — — —	T	—	Fin	• —• —•	9	— — — —•

Code BAUDOT

- ❑ code binaire, aussi appelé AI n°2 (Alphabet International 2) ou ITA2 (*International Telegraph Alphabet*)
- ❑ fut utilisé par le Téléx
- ❑ code sur 5 bits (32 combinaisons)
- ❑ 2 jeux de codes
 - 1er jeu pour les lettres (majuscules)
 - et 2ème jeu pour les chiffres et symboles
- ❑ Le Téléx transmet à 50 Bauds, ce codage permet donc une transmission de 10 caractère/s compatible avec la vitesse de frappe des téléscripteurs électromécaniques
- ❑ Adapté à l'écrit
- ❑ Mais pas à l'audio...




VIDEOTEEX

- ❑ créé pour les services TELETEL (Minitel)
- ❑ Sur 7 bits, parité paire et le codage
- ❑ est basé sur l'ASCII
- ❑ Les 32 premiers codes (00 à 1F hexadécimal) sont des caractères de contrôles
- ❑ et les 96 suivants (20 à 7F hexadécimal) appartiennent à 3 grilles :
 - G0 pour les lettres (idem ASCII),
 - G1 pour des caractères semi-graphiques
 - et G2 pour les accents et spéciaux.
- ❑ Des codes de contrôle permettent de changer de grille
 - SO (*Shift Out*) permet de passer de G0 à G1
 - SI (*Shift In*) de G1 à G0
 - SS2 (*Single Shift 2*) permet un accès temporaire à G2.

❑ Exemple : la suite 19H, 41H, 65H affiche le caractère « è »

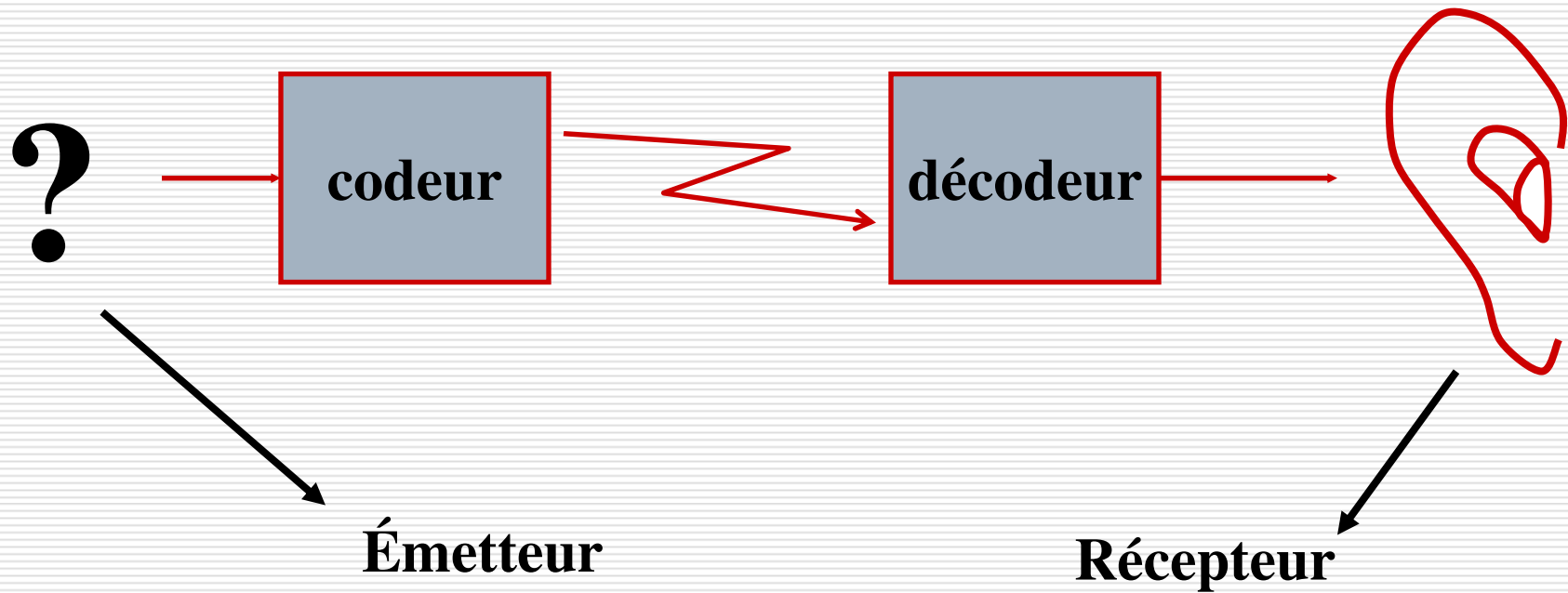
	Jeu C		Jeu G0				Jeu G1				Jeu G2					
	0	1	2	3	4	5	6	7	2	3	6	7	2	3	4	6
0	NUL	DLE		0	@	P	-	p						°		
1	SOH	Con	!	1	A	Q	a	q						±	`	
2	STX	REP	"	2	B	R	b	r							'	
3	ETX	SEP	#	3	C	S	c	s						£	^	
4	EOT	Coff	\$	4	D	T	d	t						\$		
5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u								
6		SYN	&	6	F	V	f	v						#		
7	BEL	\$	'	7	G	W	g	w								
8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x						÷	"	
9	HT	SS2	)	9	I	Y	i	y								
A	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z								Œ
B	VT	ESC	+	;	K	[	k	{								ς
C	FF		,	<	L	\	l	|					←	¼		
D	CR		-	=	M	]	m	}					↑	½		
E	SO	RS	.	>	N	^	n	~					→	¾		
F	SI	US	/	?	O	_	o						↓			

Exemple de codage à longueur fixe ASCII

- ❑ *American Standard Code for Information Interchange*
 - ❑ code binaire, aussi appelé **AI n°5** (Alphabet International 5)
 - ❑ code sur 7 bits
 - ❑ (128 combinaisons), il permet le codage des majuscules et minuscules
 - entre les lettres majuscules et minuscules seul le bit 5 change !
 - ❑ Les 32 premières combinaisons sont réservées aux contrôles
- 
- ❑ Adapté à l'écrit
 - ❑ Latin sans accents
→ Unicode
 - ❑ Mais pas à l'audio...

MSB \ LSB	0	1	2	3	4	5	6	7	
	000	001	010	011	100	101	110	111	
0	0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
1	0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
2	0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
3	0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
4	0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
5	0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
6	0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
7	0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
8	1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
9	1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	}
C	1100	FF	FS	,	<	L	\	l	|
D	1101	CR	GS	-	=	M	]	m	{
E	1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
F	1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

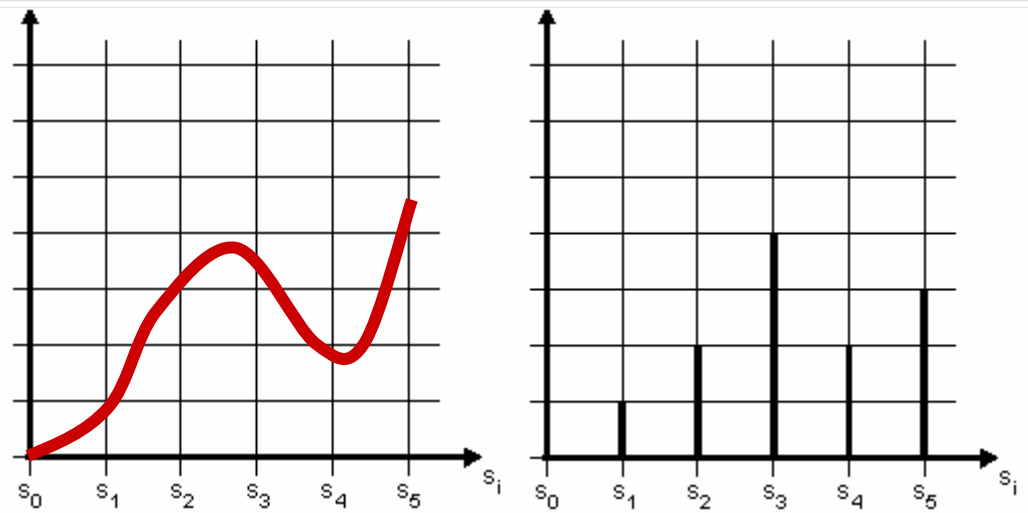
Codage & Compression: pour l'audio



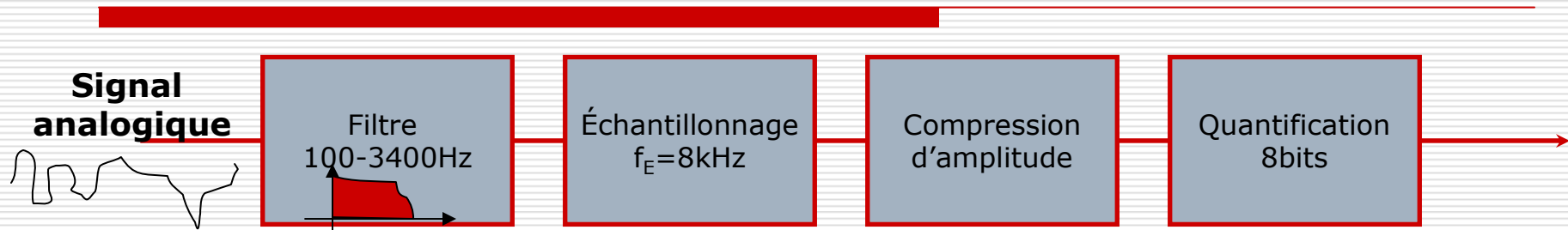
N'autoriser que les pertes non perceptibles

PCM

- ❑ PCM, Pulse Coded Modulation
- ❑ En français: MIC (Modulation par Impulsions Codées)
- ❑ codage direct
- ❑ Voir plus loin



Modulation par Impulsions Codées (MIC, 64kbits/s) (Pulse Code Modulation, PCM)

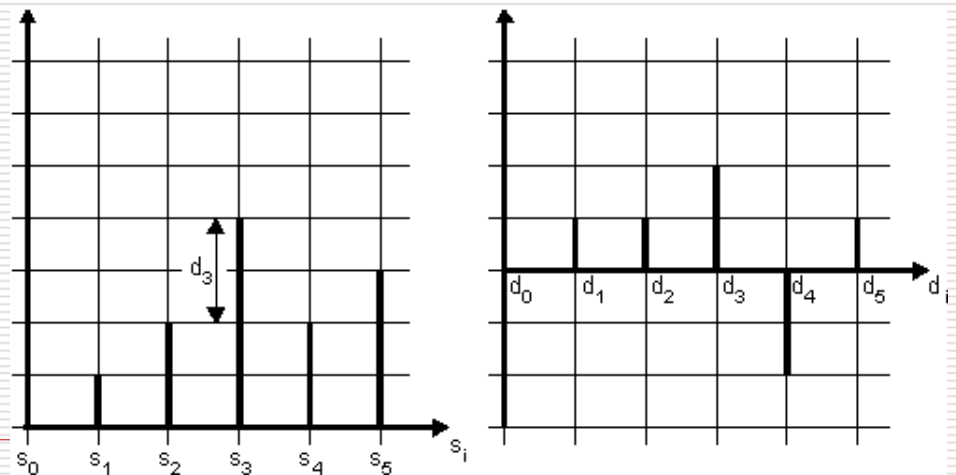


COFIDEC (Codeur-Filtre-Décodeur)

- En sortie du codeur, la parole d'un abonné se présente sous la forme d'un mot binaire de 8 bits (octet ou "byte") au rythme de **8 khz** (fréquence d'échantillonnage)
- Le débit binaire correspondant à une liaison numérique (unidirectionnelle) pour un abonné est donc de $8000 \times 8 =$ **64 kbits/s**
- La liaison globale (X vers Y et Y vers X) nécessite deux flots indépendants de 64 kbits/s chacun (full-duplex)

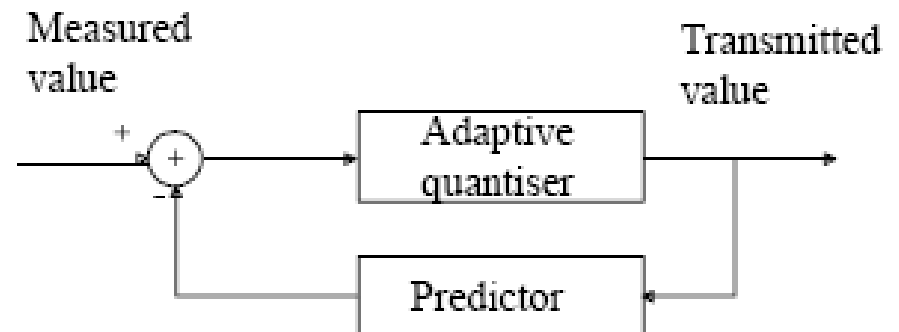
DPCM

- DPCM, Differential PCM
 - Ne transmet que la différence entre la prochaine valeur prévue et la valeur actuelle
 - La voix change relativement doucement
 - Il est donc facile de prédire la valeur d'un échantillon en fonction des valeurs des échantillons précédents
 - Le récepteur effectue la même prédiction
 - La forme la plus simpliste
 - sans prédiction
- Pas de délai dû à l'algorithme



ADPCM

- ❑ ADPCM, Adaptive DPCM
 - Prédit les valeurs des échantillons en se basant sur
 - ❑ Les échantillons passés
 - ❑ En connaissant la manière dont varie la parole au cours du temps
 - L'erreur est quantifiée et transmise
 - ❑ Moins de bits nécessaires
 - G.721
 - ❑ 32 kbps
 - G.726
 - ❑ A-law/mu-law PCM -> 16, 24, 32, 40 kbps
 - ❑ MOS de 4 à 32kbps



Codecs

- ❑ Le G.711
 - ❑ Utilisé en téléphonie RTC
 - ❑ Utilise PCM
 - ❑ Fréquence d'échantillonnage : 8kHz
 - ❑ Quantification :
 - non uniforme (A-law ou μ -law) sur 8 bits
 - ❑ Débit : 64kbps
 - ❑ Si l'on utilisait une quantification uniforme
 - $12 \text{ bits} * 8 \text{ kb/s} = 96 \text{ kbps}$
 - ❑ MOS de ~ 4.3
-

Bonus hors contexte "téléphonie"

Codage : Le format MP3

- ❑ MPEG Audio layer 3
 - ❑ format de compression de données audio par destruction de données
 - ❑ développé par l'organisation de standardisation internationale (ISO)
 - ❑ permet de compresser à un taux de 1:12 pour de l'audio habituel
-

la compression MPEG layer 3

- consiste à retirer des données audio
 - les fréquences inaudibles pour l'auditeur moyen
 - dans des conditions habituelles d'écoute
 - appliquer un modèle psychoacoustique pour ne conserver que les sons « audibles »
 - oreille humaine
 - Sons entre 20 Hz et 20 kHz
 - sensibilité maximale pour des fréquences entre 2 et 5 kHz (la voix humaine est entre 0.5 et 2 kHz)
 - La compression consiste à déterminer les sons que nous n'entendons pas et à les supprimer
 - → une compression destructive : perte d'information
-

Les procédés

❑ **L'effet de masque**

Lorsqu'il y a des sons de fort volume sonore, vous n'entendez pas les sons faibles. Prenez l'exemple d'un orgue : lorsqu'un organiste ne joue pas, vous entendez le souffle dans les tuyaux, et quand il joue, vous ne l'entendez plus car il est masqué.

Il n'est donc pas essentiel d'enregistrer tous les sons, c'est la première propriété utilisée par le format MP3 pour gagner de la place.

❑ **Le réservoir de bytes**

Souvent, certains passages d'une musique ne peuvent pas être encodés sans altérer la qualité. Le mp3 utilise donc un petit réservoir de bytes qui agit en utilisant des passages qui peuvent être encodés à un taux inférieur au reste des données.

❑ **Le joint stereo**

Dans beaucoup de chaînes hi-fi, il y a un boomer unique (qui produit les basses). Cependant on n'a pas l'impression que le son vient de ce boomer mais plutôt des haut-parleurs satellites. En effet, en dessous d'une fréquence donnée l'oreille humaine est incapable de localiser l'origine du son. Le format mp3 peut exploiter (en option) cette astuce en utilisant la méthode du *joint stereo*. C'est-à-dire que certaines fréquences sont enregistrées en mono mais elles sont accompagnées d'informations complémentaires afin de restituer un minimum d'effet spatial.

❑ **Le code Huffman**

La technique de l'algorithme [Huffman](#) est un algorithme de codage (et non de compression), qui agit à la fin de la compression, en créant des codes de longueurs variables sur un grand nombre de [bits](#). Les codes ont l'avantage d'avoir un préfixe unique, ils peuvent toutefois être décodés correctement malgré leur longueur variable, et rapidement grâce à une correspondance de tables. Ce type d'encodage permet de gagner en moyenne un peu moins de 20% d'espace.

Lorsque les sons sont « purs » (lorsqu'il n'y a pas de masquage) l'algorithme Huffman est très efficace car le son digitalisé contient de nombreux sons redondants.

Les résultats

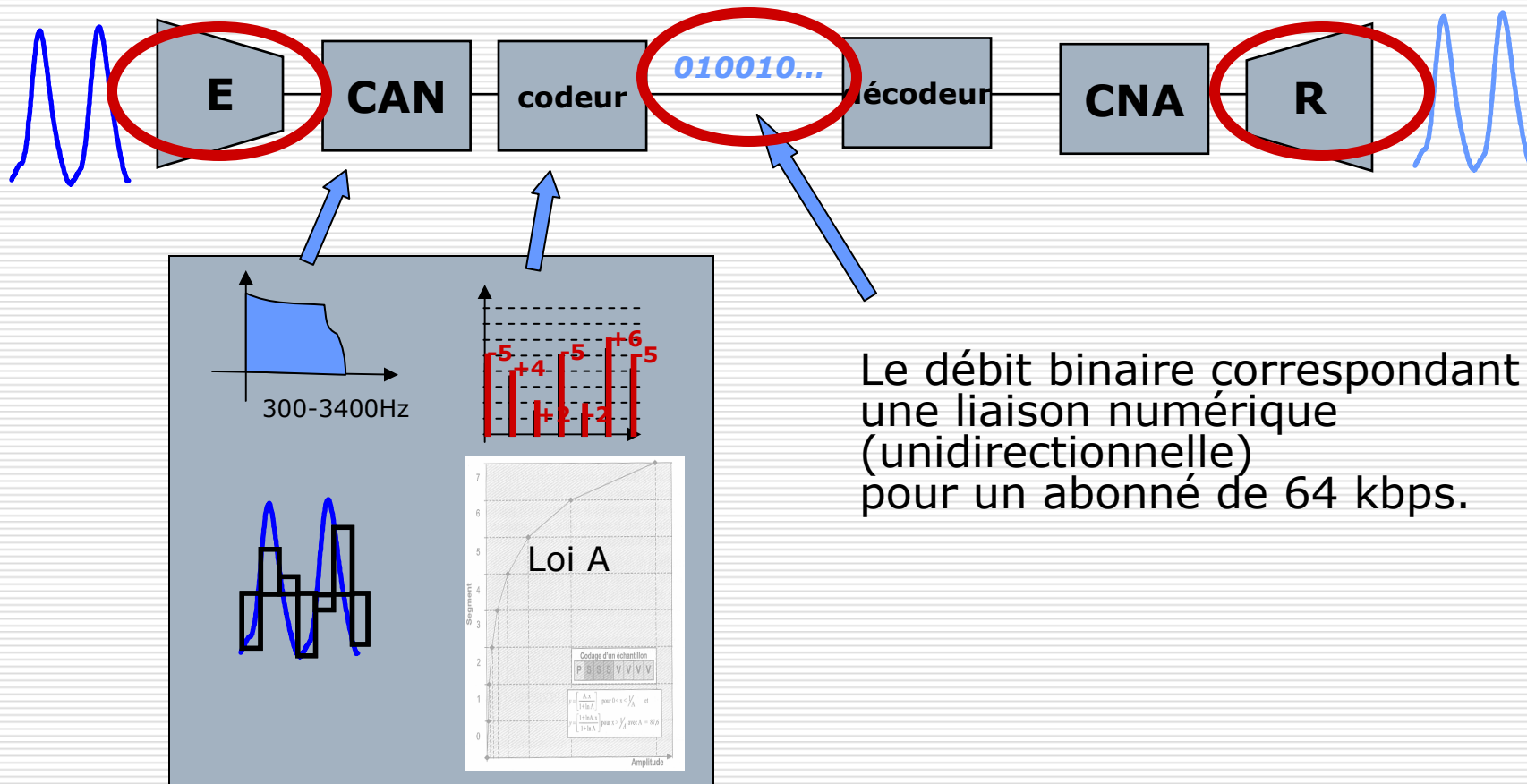
- une minute d'un CD-audio (à une fréquence de 44.1 kHz, 16 bits, stéréo) prendra 1Mo

Bande passante	Mode	Débit	Qualité	Compression
11.025	Mono	8 kbps	Très mauvaise	200:1
22.050	Stéréo	64 kbps	Mauvaise	25:1
44.100	Stéréo	96 kbps	Acceptable	16:1
44.100	Stéréo	128 kbps	Bonne	12:1
44.100	Stéréo	196 kbps	Très bonne	12:1

Partie 4 : Commutation et Multiplexage temporels

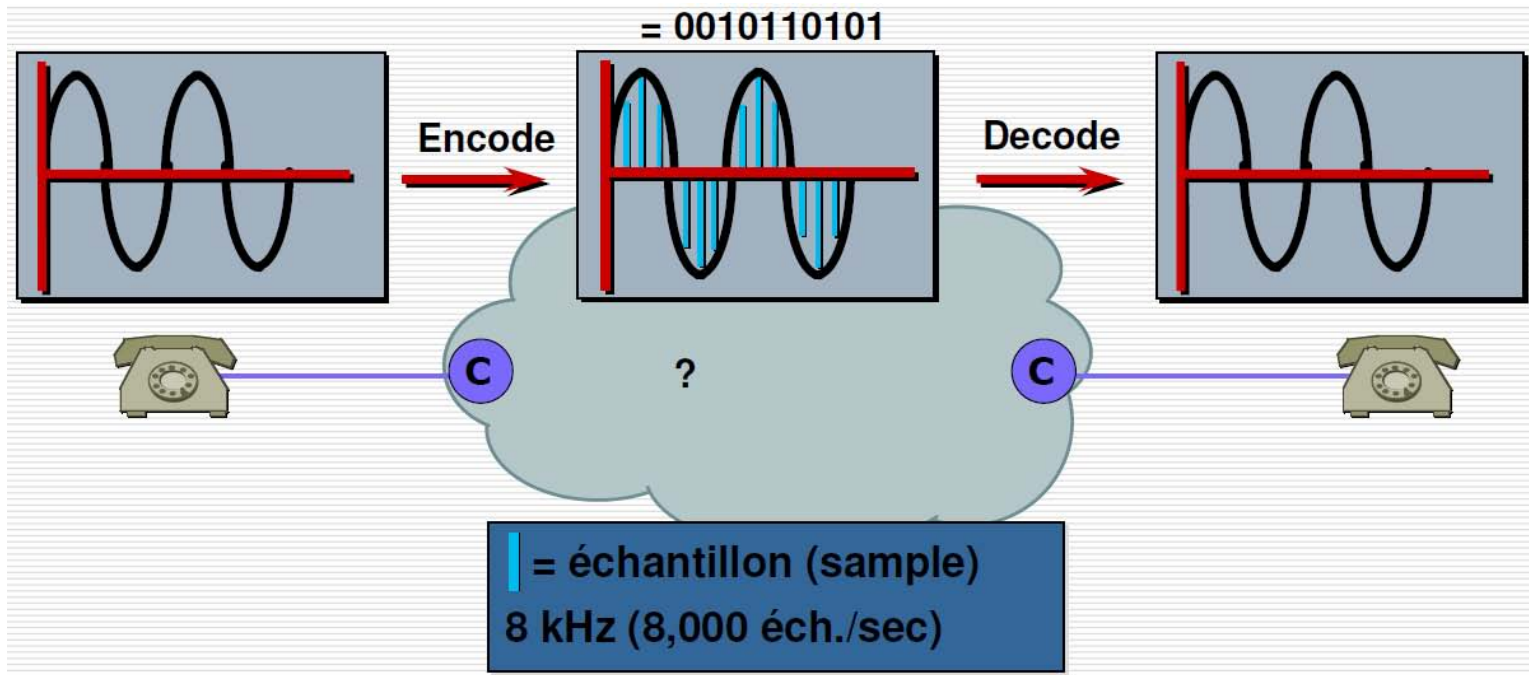
- Accès numérique et accès analogique
- Commutation temporelle
- Multiplexage temporel

Nous savons déjà...



Le débit binaire correspondant à une liaison numérique (unidirectionnelle) pour un abonné de 64 kbps.

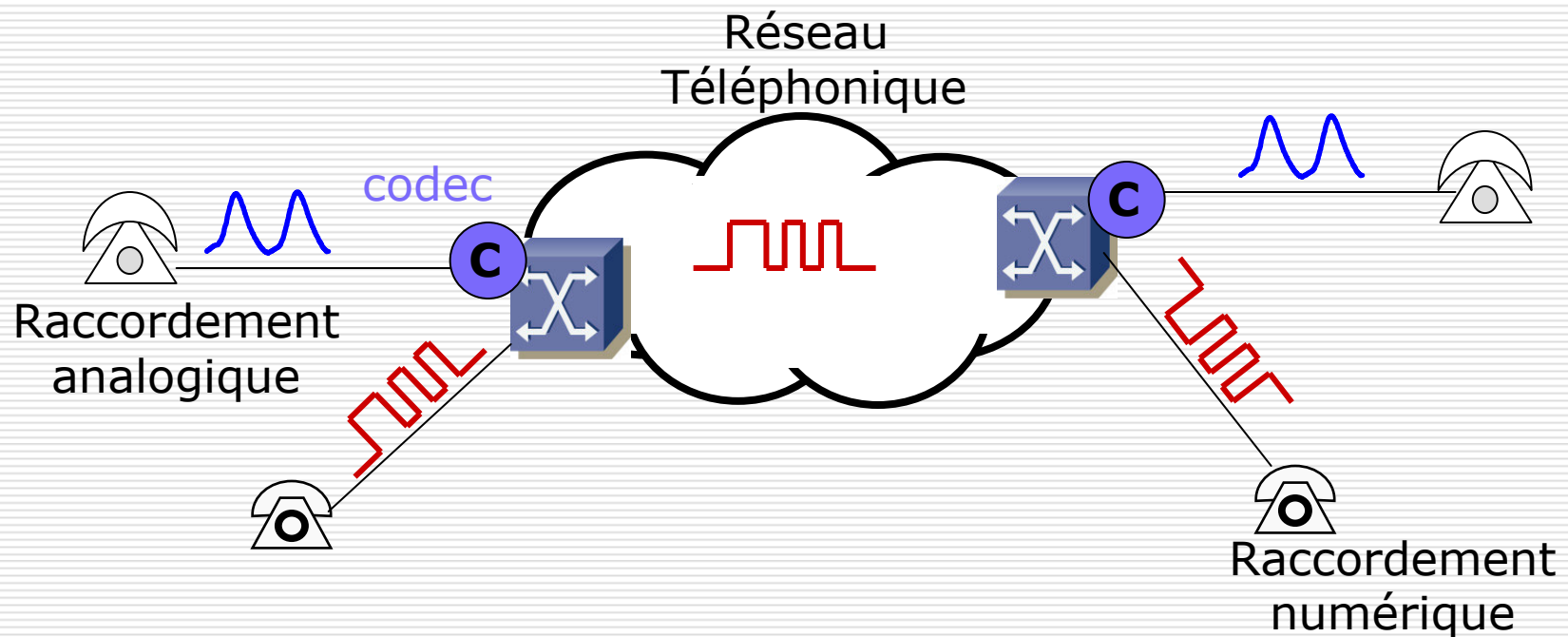
L'intérêt du passage au numérique



Comparé aux systèmes analogiques, le système numérique permet une plus grande qualité de transmission: il suffit de reconnaître la présence du signal et non sa forme pour le reconstituer.

Il est ainsi possible de régénérer le signal sur la ligne de transmission en éliminant les erreurs induites par le bruit.

Modes de raccordement



Malgré la numérisation du réseau, la liaison des abonnés résidentiels est restée essentiellement analogique
C'est le commutateur de rattachement qui réalise la fonction de numérisation/dénumérisation de la voix

Le transport de la voix

- historiquement à l'origine des premiers réseaux de transmission
 - réseau téléphonique public **RTPC** (Réseau Téléphonique Public Commuté ou simplement **RTC**) ou encore **PSTN** (*Public Switched Telecommunication Network*) → transfert de la voix
 - En France, le transport des données n'y est autorisé que depuis 1964
 - Utilisant le principe de la **commutation de circuits**:
 - le réseau téléphonique met en relation deux abonnés
 - à travers une liaison dédiée
 - pendant tout l'échange
-

A quels besoins répond la commutation de circuit (Circuit-Switching) ?

- transmission de la voix en temps-réel
 - réseaux point-à-point
 - une multitude
 - à établir rapidement
 - Bande passante constante
 - éviter une dégradation de la voix en milieu de conversation
 - Possibilité de transmettre des données
-

Différentes façons de réaliser la commutation de circuit: spatiale puis temporelle

- La **commutation spatiale** consiste:
 - à juxtaposer bout à bout des voies physiques de communication
 - maintenir la liaison durant tout l'échange
- La numérisation de la voix a permis le multiplexage temporel des communications →
- La commutation spatiale a été remplacée par la commutation d'intervalles de temps (IT) ou **commutation temporelle** :
 - Elle met en relation un IT d'une trame en entrée avec un IT d'une autre trame en sortie
 - communication full duplex avec une bande passante de 64 kbit/s dans chaque sens est réservée durant toute la communication

Rappels

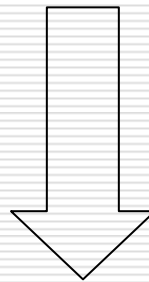
Le (dé)multiplexage

Multiplexage temporel et spatial

Le multiplexage

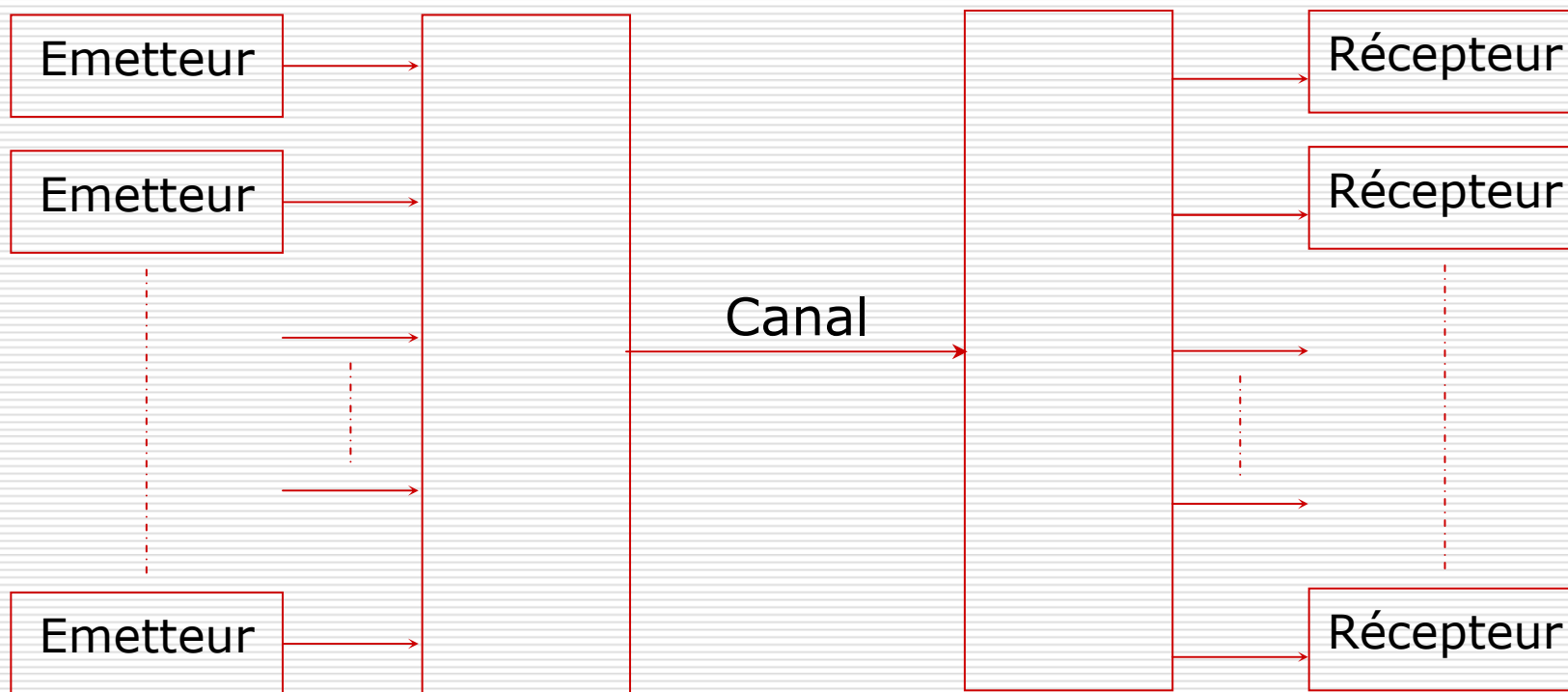
plusieurs utilisateurs +

un canal



Multiplexage

Le multiplexage



Multiplexage

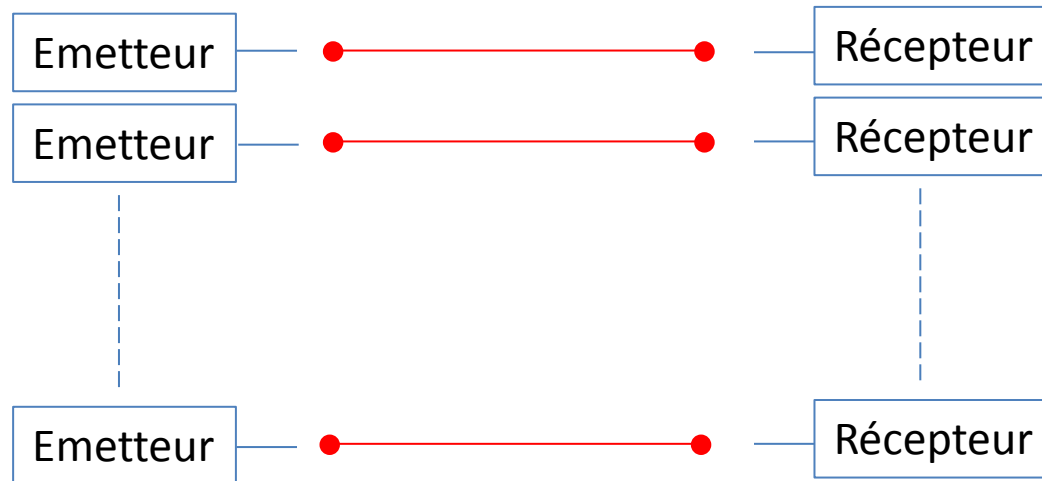
Démultiplexage

Le multiplexage

- *Les méthodes classiques*
 - multiplexage spatial
 - multiplexage fréquentiel (FDMA)
 - multiplexage temporel (TDMA)
-

Le multiplexage

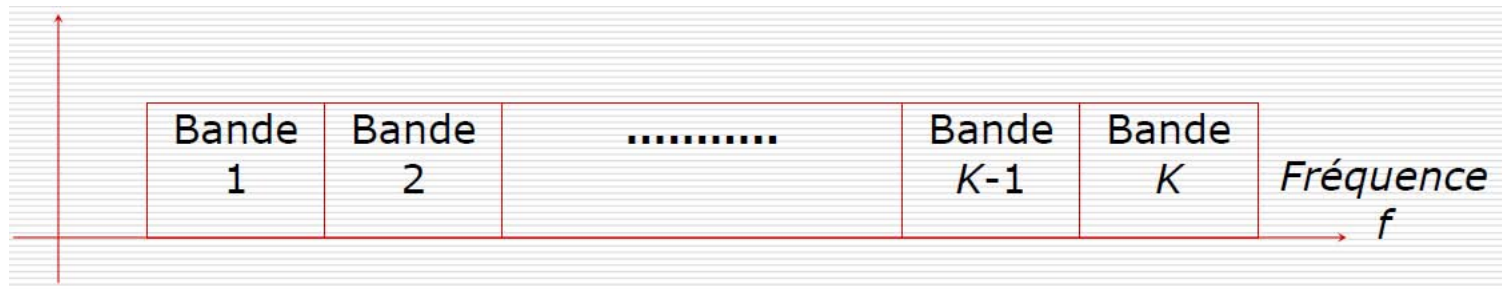
Multiplexage spatial : les couples E/R se partagent le médium de transmission dans l'espace



Le multiplexage

Multiplexage fréquentiel : les couples E/R se partagent le médium de transmission dans les fréquences

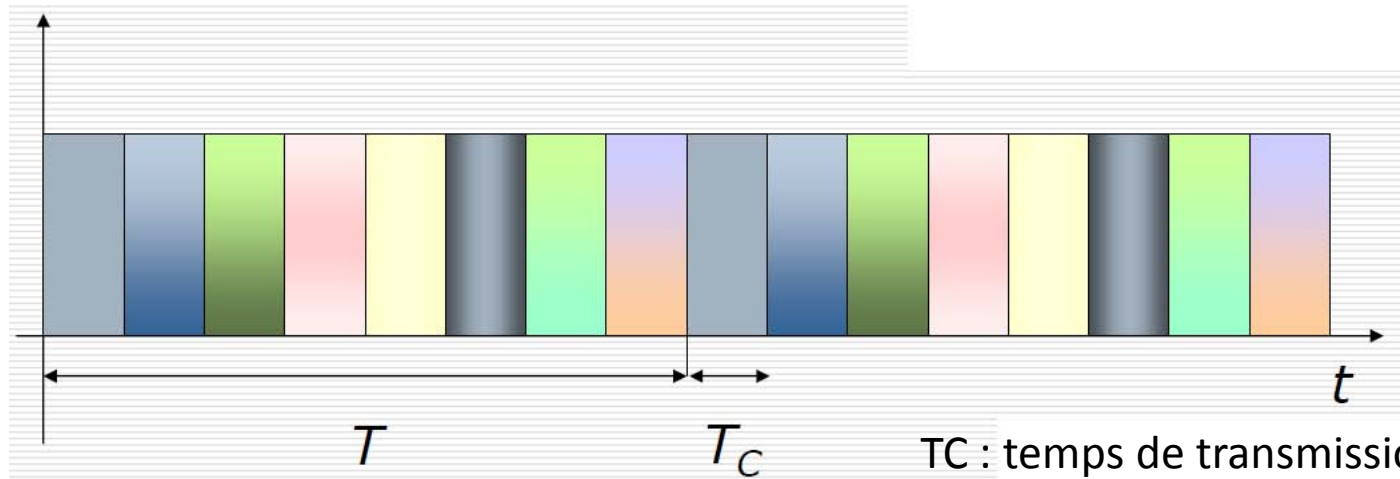
FDMA



Le multiplexage

Multiplexage temporel: les couples E/R se partagent le médium de transmission dans le temps

TDMA

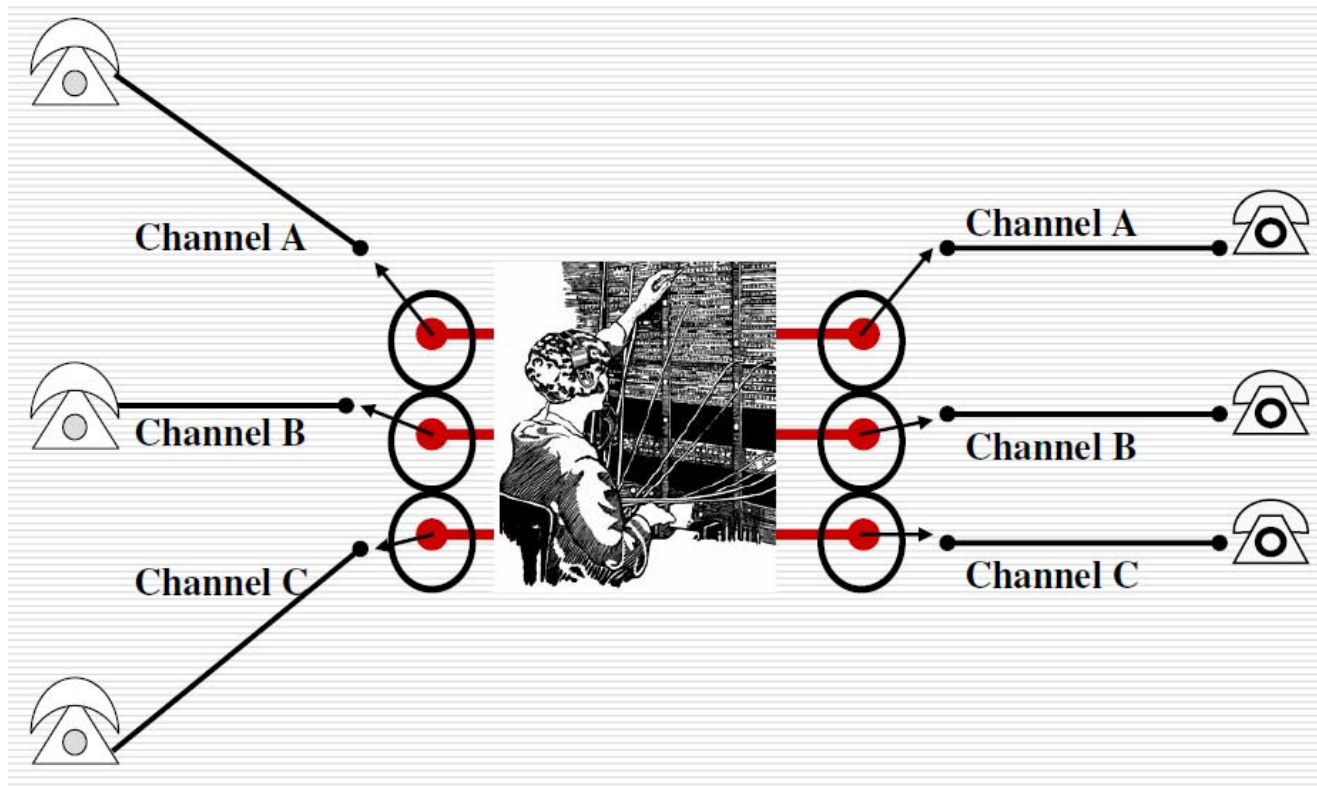


T_C : temps de transmission d'un échantillon

T : temps entre 2 échantillons de la même communication

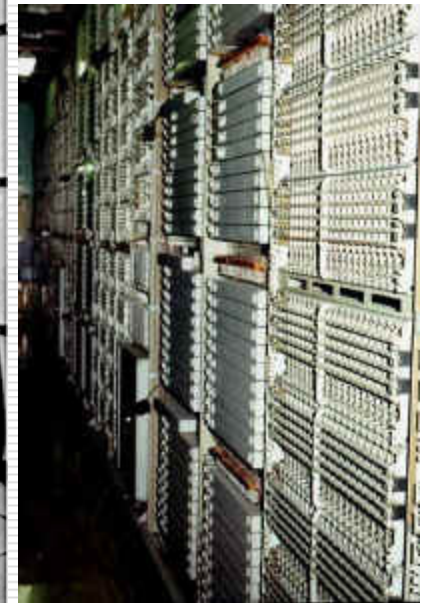
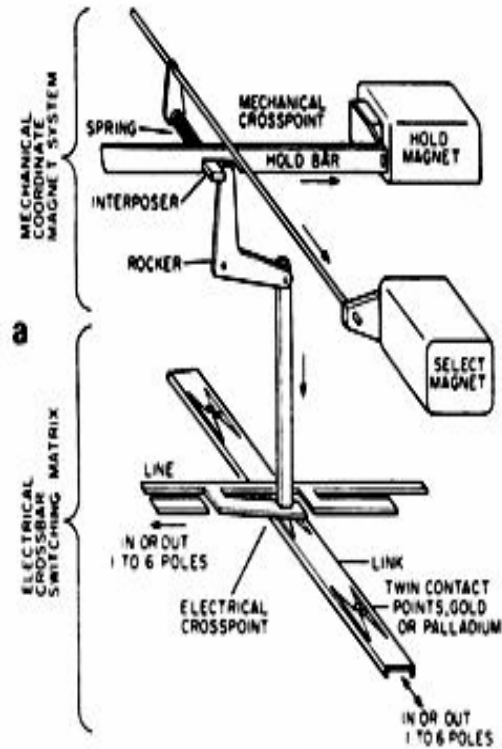
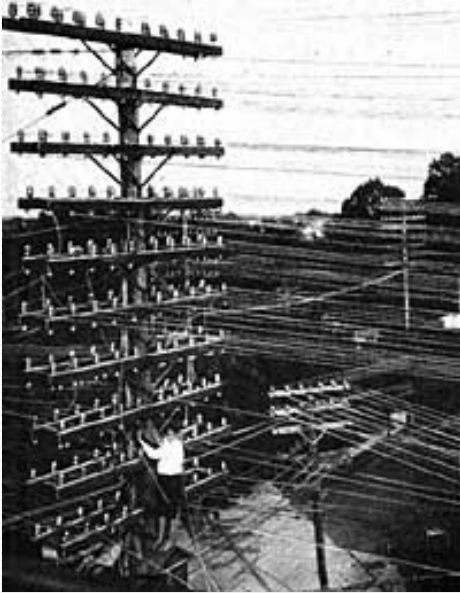
Commutation/Multiplexage spatial

Exemple de 3 circuits établis



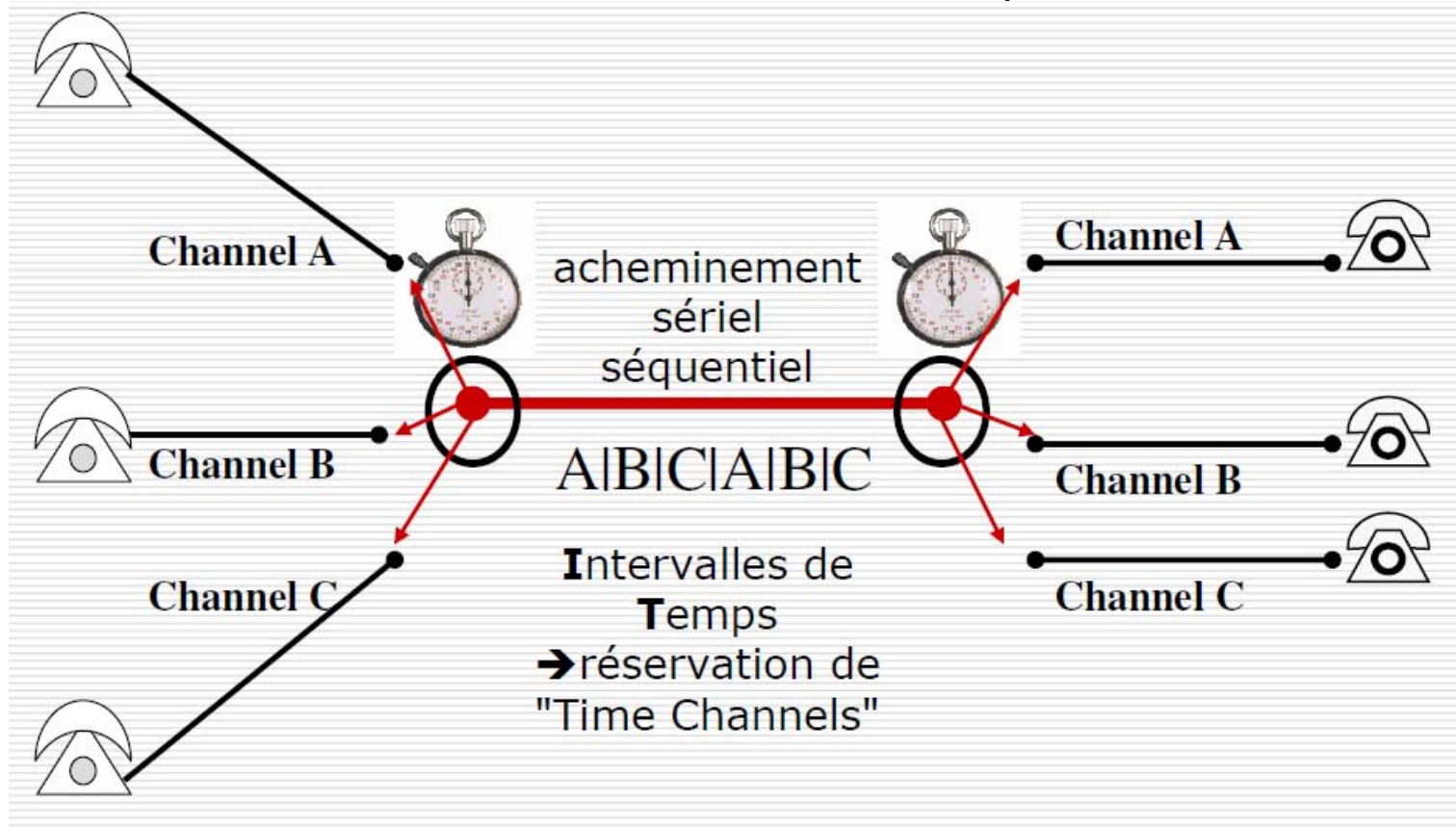
Rappel Historique

Opératrice → CrossBar → Commutateur (Switch)

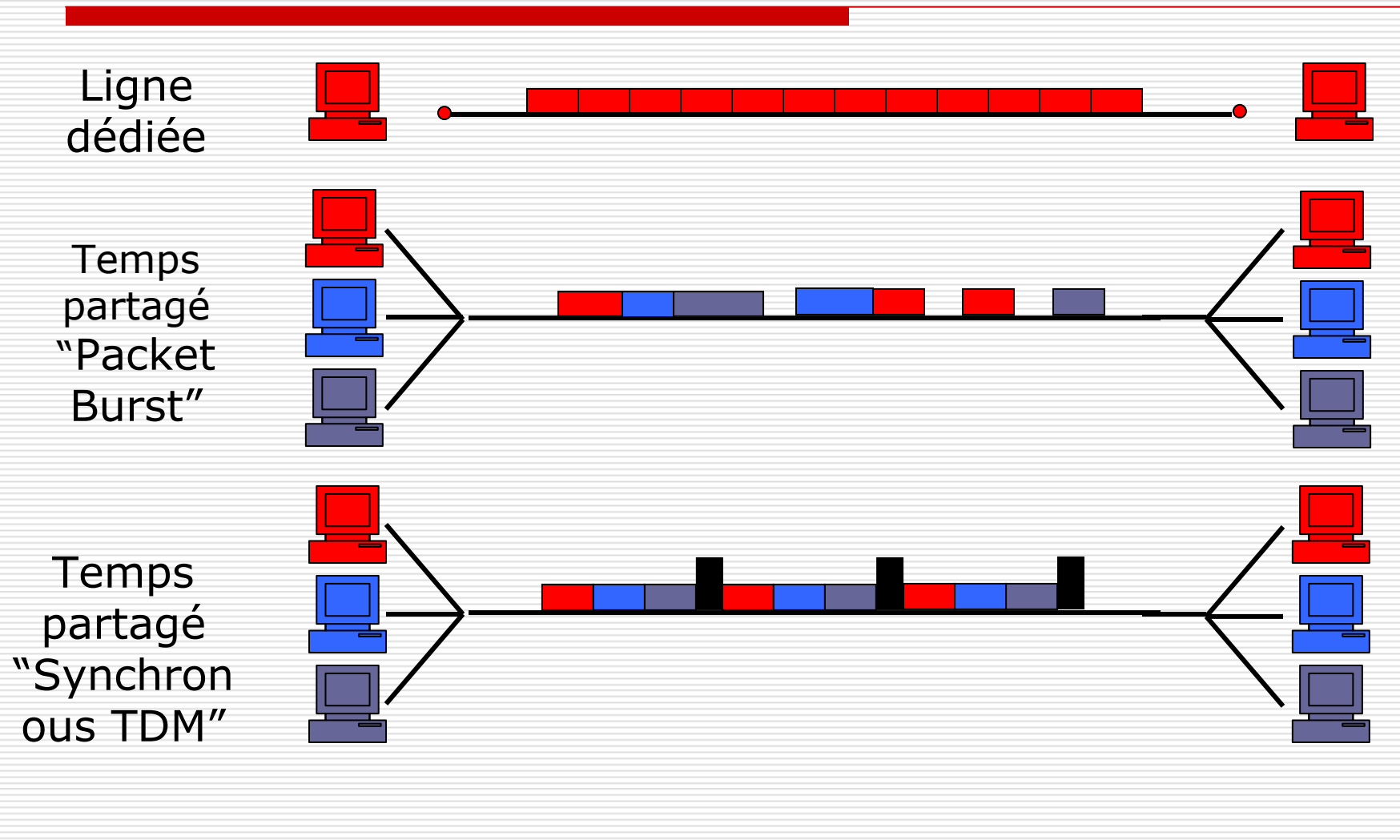


Commutation/Multiplexage temporel (Time Division Multiplexing – TDM)

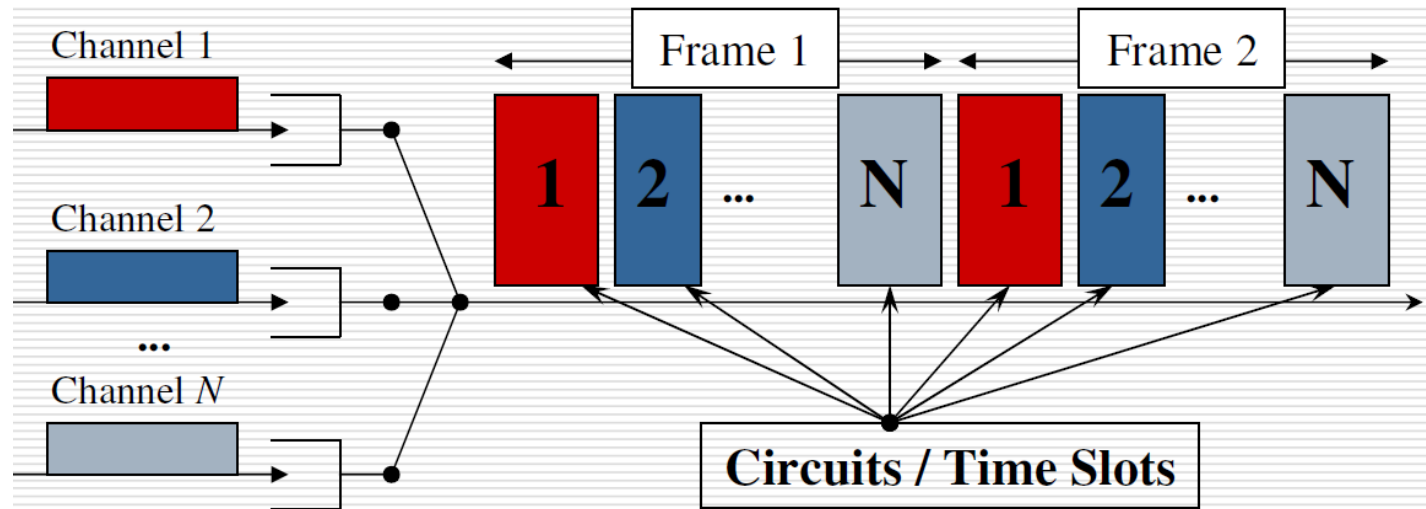
Exemple de 3 circuits établis



Propositions pour partager la bande passante de transmission en commutation temporelle

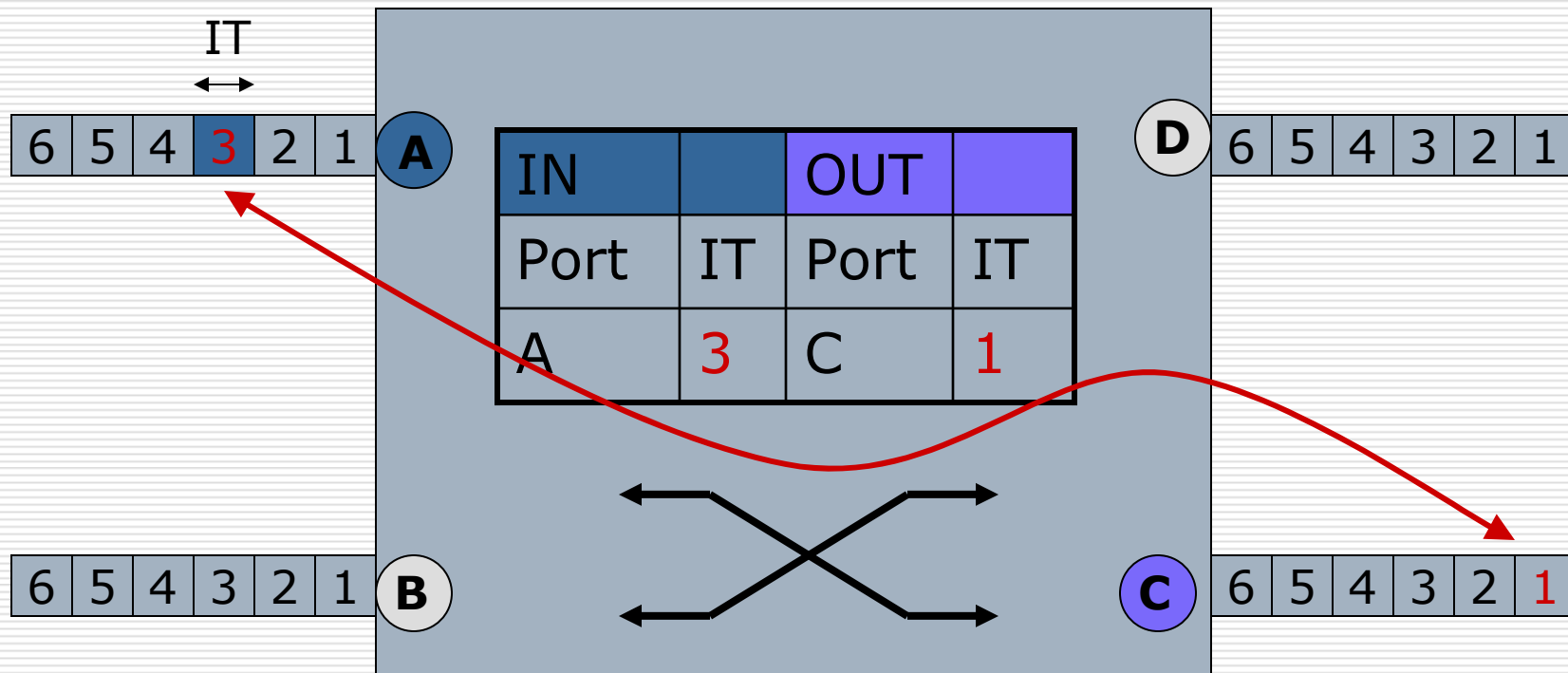


Time Division Multiplexing

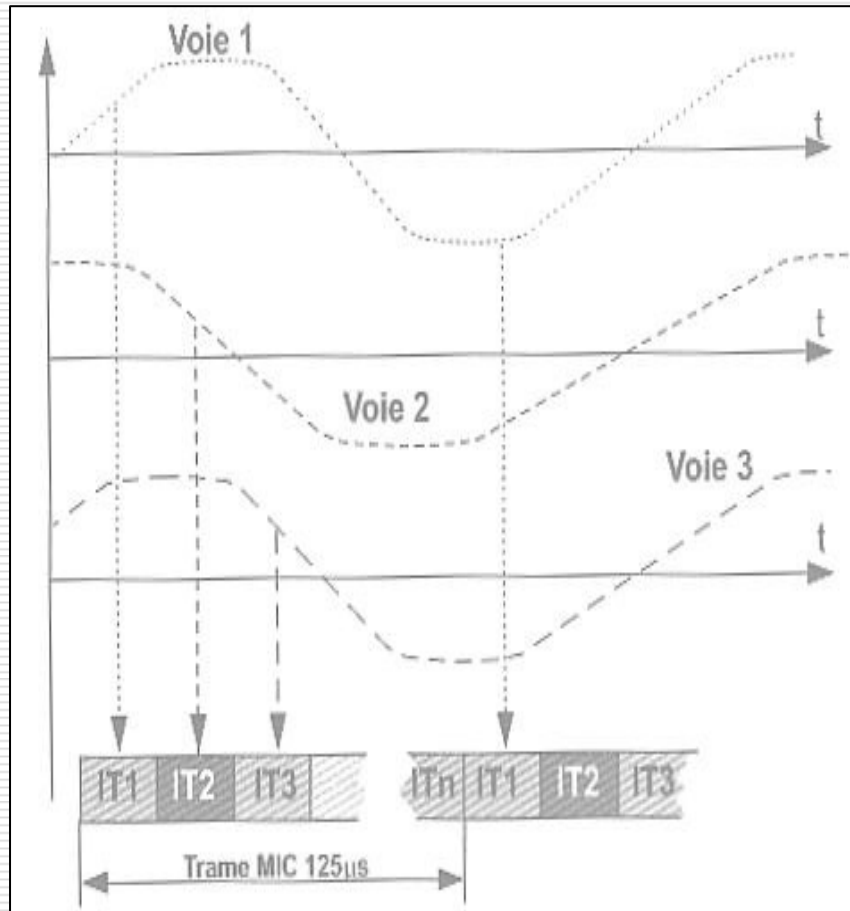


- TDM est idéale pour un débit (*bit rate*) constant
- La capacité d'un canal agrégateur sortant est divisé en N canaux logiques
- Le temps dans le canal agrégateur sortant est divisé en N intervalles de durée fixe
- A chaque cycle = N intervalles (*slots*), l'ensemble de bits pouvant être envoyé est appelé trames (ou « frames »)
- Les trames sont délimitées par une séquence de bits spéciale appelée « framing pattern »
- Chaque trame est constituée d'une séquence de slots: slot 1, slot 2, ..., slot N
- Le canal logique *i*, ou circuit *i*, ou voie *i*, occupera donc tous les *i*-èmes slots chaque trame

Commutation temporelle ... dans un commutateur



Trame MIC : N=16

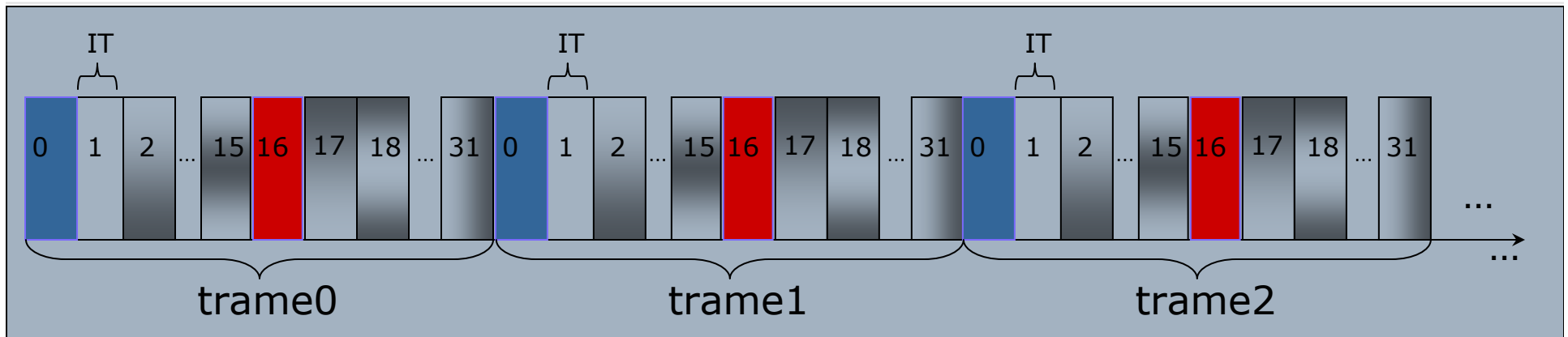


- La numérisation de la voix autorise le multiplexage temporel de plusieurs communications téléphoniques
- 64kbps ou 8kHz
 - Période: $125\mu s$
 - Longueur: 256bits
- La **trame MIC** regroupe
 - 30 communications téléphoniques dans une même trame
 - est communément appelée **E1**, pour **multiplex** Européen d'ordre 1

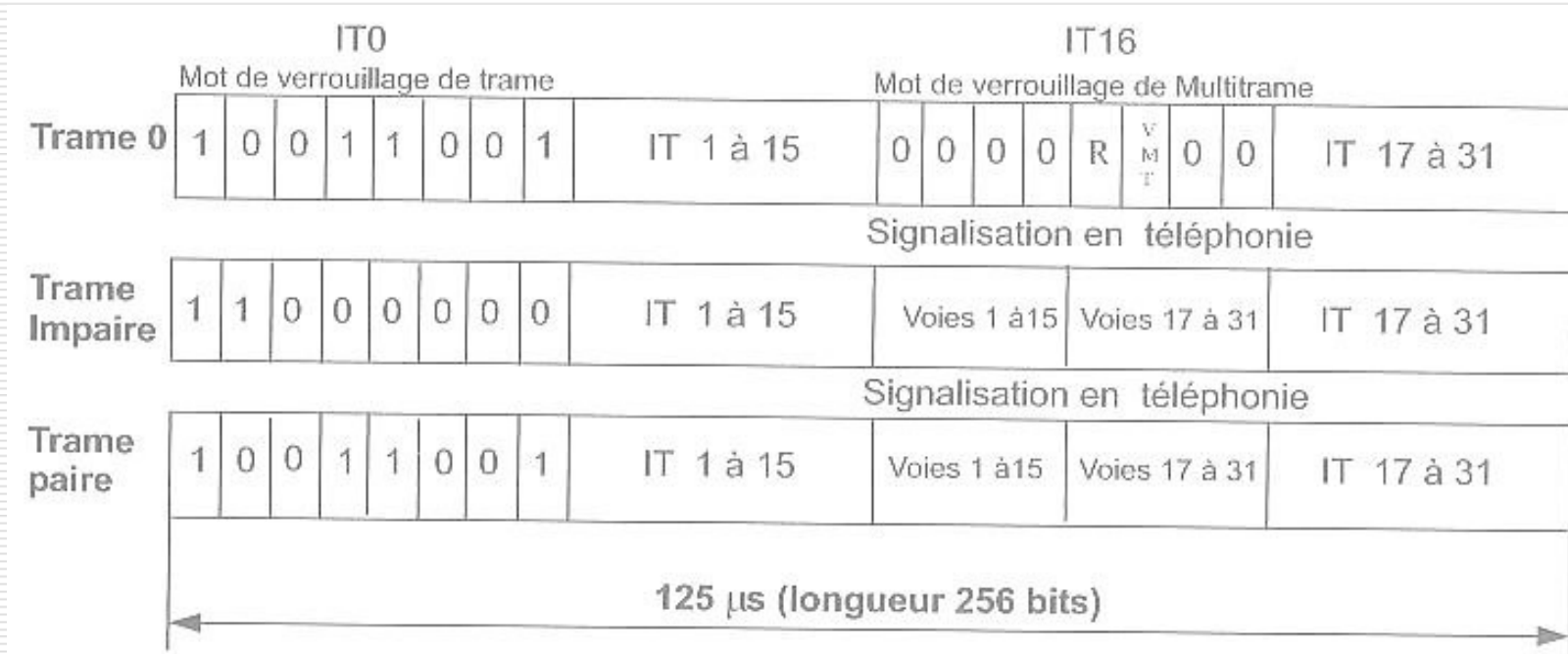
Trame MIC européenne = Jonction 2.048Mbps

- **multiplex E1**
 - conduit de **2 048 kbit/s**
 - correspondant à un multiplex de **32 voies de 64 kbit/s**
 - **30 voies téléphoniques**
 - **+IT0** ou Mot de Verrouillage Trame (MVT)
 - permet le repérage des IT dans les trames
 - **+IT16**
 - de la trame 0 contient les informations de supervision de la trame et de cadrage pour les multiplex d'ordre supérieur
 - des autres trames transporte la signalisation des communications (informations sur l'état du canal)

Représentation la trame MIC Européenne (les USA et le Japon ont adopté une structure différente)



Trames MIC



- 1 multiframe = 16 trames successives
 - 1 IT = 3.9 μs
 - 1 trame = 125 μs
 - 1 supertrame = 2ms (500Hz)

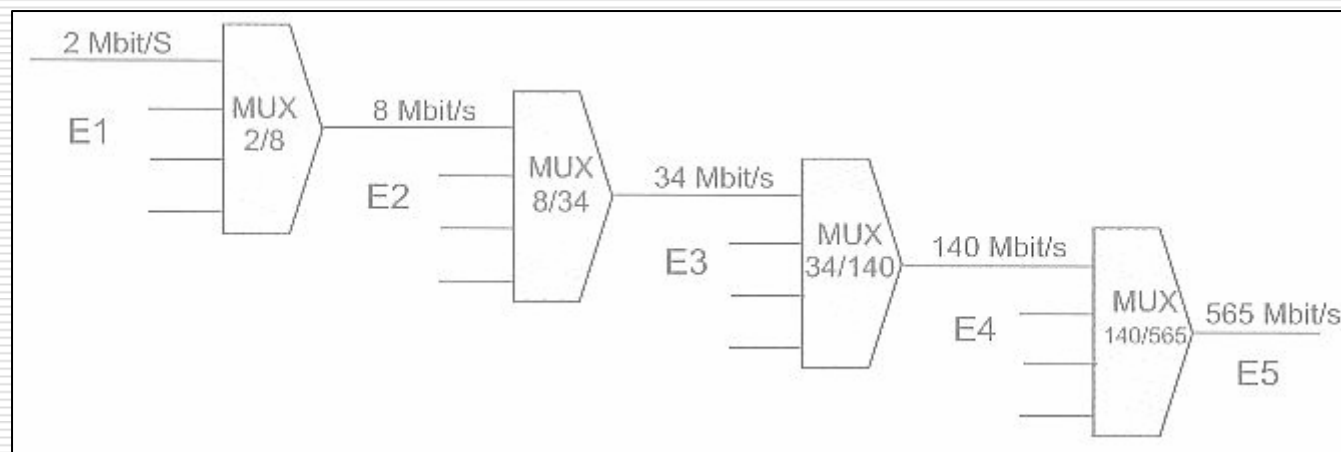


Multiplexage numérique

- ❑ Ce multiplexage est apparu au début des années 1970
 - ❑ c'est un multiplexage temporel
 - MIC : Modulation par Impulsion et Codage
 - ❑ C'est le seul utilisé depuis 1995 en France
 - ❑ Ce niveau de multiplexage peut être fourni à l'abonné (raccordement de PABX)
 - ❑ NB: L'accès primaire RNIS (30B+D) est physiquement identique.
-

Hiérarchie numérique

- consiste à **regrouper des multiplex pour constituer un nouveau multiplex d'ordre supérieur**
- le débit du multiplex de sortie est supérieur à la somme débits incidents car le multiplexeur insère dans la trame des informations de services et des bits de justification pour compenser les écarts d'horloge des multiplex incidents (surdébit)





Hiérarchie numérique plésiochrone

(PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy)

Niveau	Pays	Débit en kbit/s	Nombre de voies	Avis de l'UITT
Niveau 1	Europe (E1)	2048	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

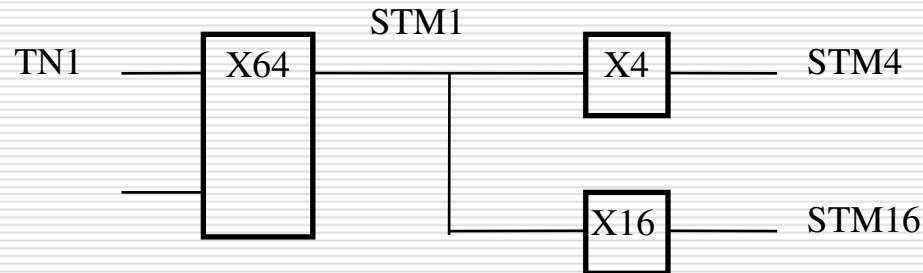
Multiplexage PDH (G702)

- constituant la base du réseau numérique de France Télécom depuis 1970
 - la hiérarchie plésiochrone a été remplacée à partir de 1986 par une nouvelle technique de regroupement appelée **SDH** (*Synchronous Digital Hierarchy*)
 - offrant plus de souplesse dans le démultiplexage
 - autorise des débits supérieurs
-

Multiplexage synchrone (G707..709)

- ❑ Technologie dite **SDH** (*Synchronous digital hierarchy*)
 - ❑ nécessite un **réseau synchronisé**
 - horloge
 - ❑ l'extraction d'une voie sur un multiplex haut débit est possible directement
-

Multiplexage synchrone (G707..709)



STM : Synchronous Transport Module

STM1 = 155.520 Mbit/s	(1920 voies)	[155 Mbit/s]
STM4 = 622.080 Mbit/s	(7680 voies)	[622 Mbit/s]
STM16 = 2.488 Gbit/s	(30720 voies)	[2.5 Gbit/s]
STM64 = 9.953 Gbit/s	(122880 voies)	[10 Gbit/s]
STM256 = 39.813 Gbit/s	(491520 voies)	[40 Gbit/s]

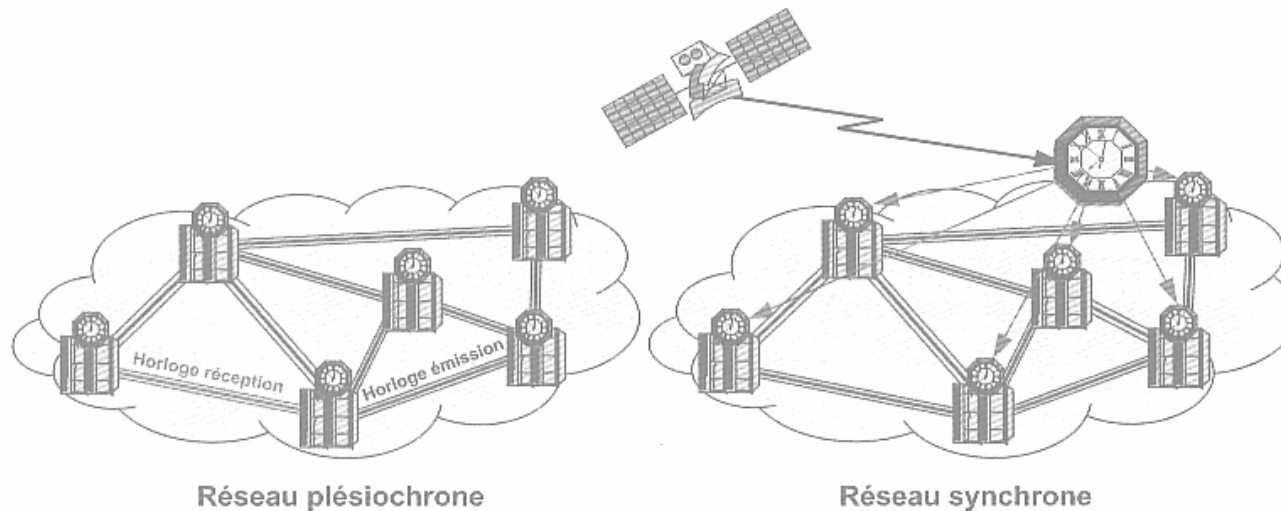
NB:

A titre de comparaison, E4 (TN4) == 1920 voies

La limite théorique d'une fibre optique est estimée à 15 Tbit/s

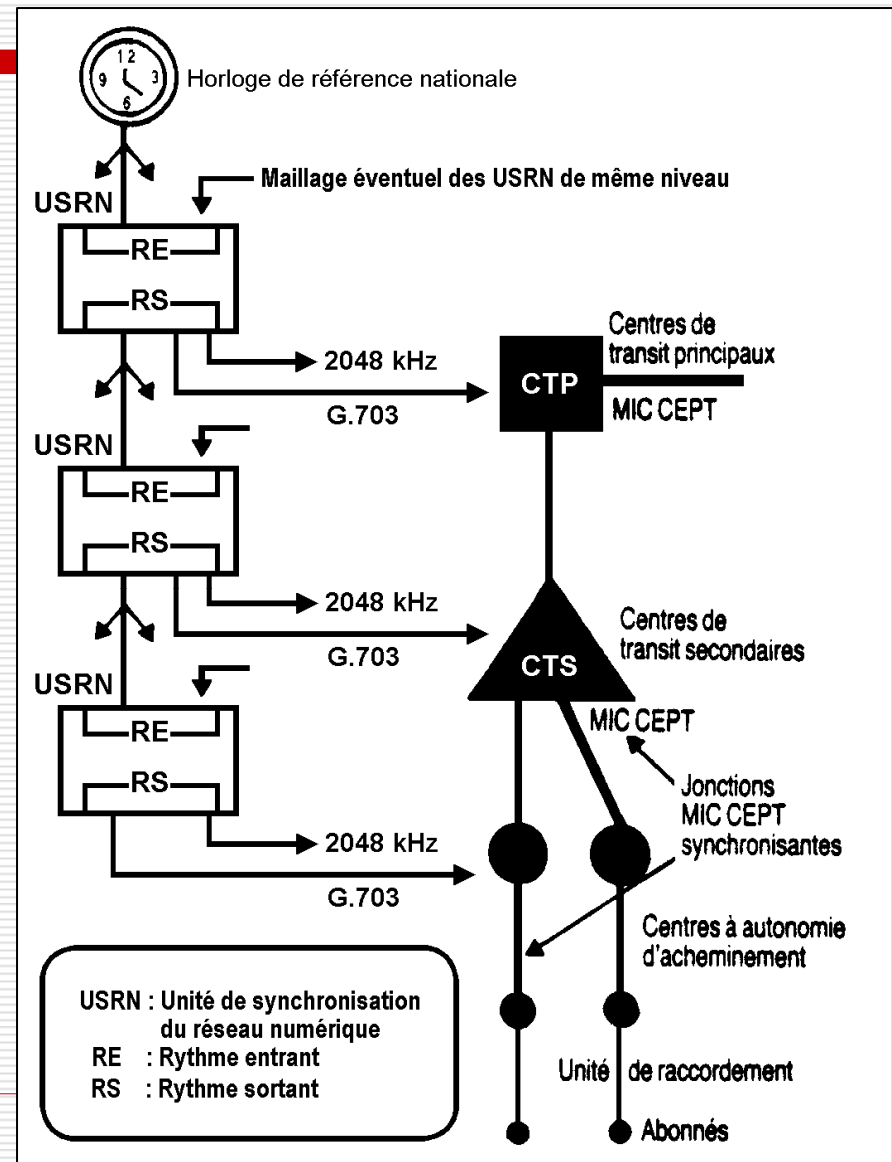
Distinction des types de réseaux selon le mode de synchronisation

- Si chaque noeud a une horloge indépendante, le réseau est dit **plésiochrone**
 - Les horloges réception et émission sont différentes mais proches (plésio).
- Si les horloges des différents noeuds sont toutes asservies à une même horloge, le réseau est dit **synchrone**
 - L'horloge principale peut être une horloge atomique ou une horloge pilotée par les tops horaires d'un GPS.



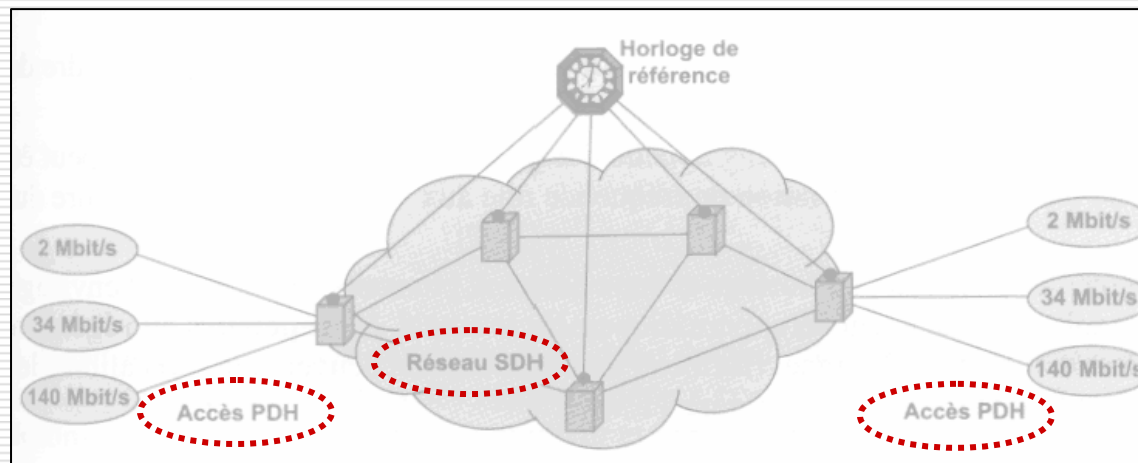
Synchronisation du réseau SDH

- La synchronisation du réseau (commutateurs) à démarré en 1986 et s'est achevée en 1988
- comme référence, 7 horloges atomiques d'une précision de 10^{-12}
 - 4 à Paris
 - 3 à Lyon
- Les USRN sont maillées
 - chaque CTP reçoit 3 trains de fréquence (Paris, Lyon, un autre CTP)
 - de même chaque CTS reçoit de 2 CTP et d'un autre CTS...

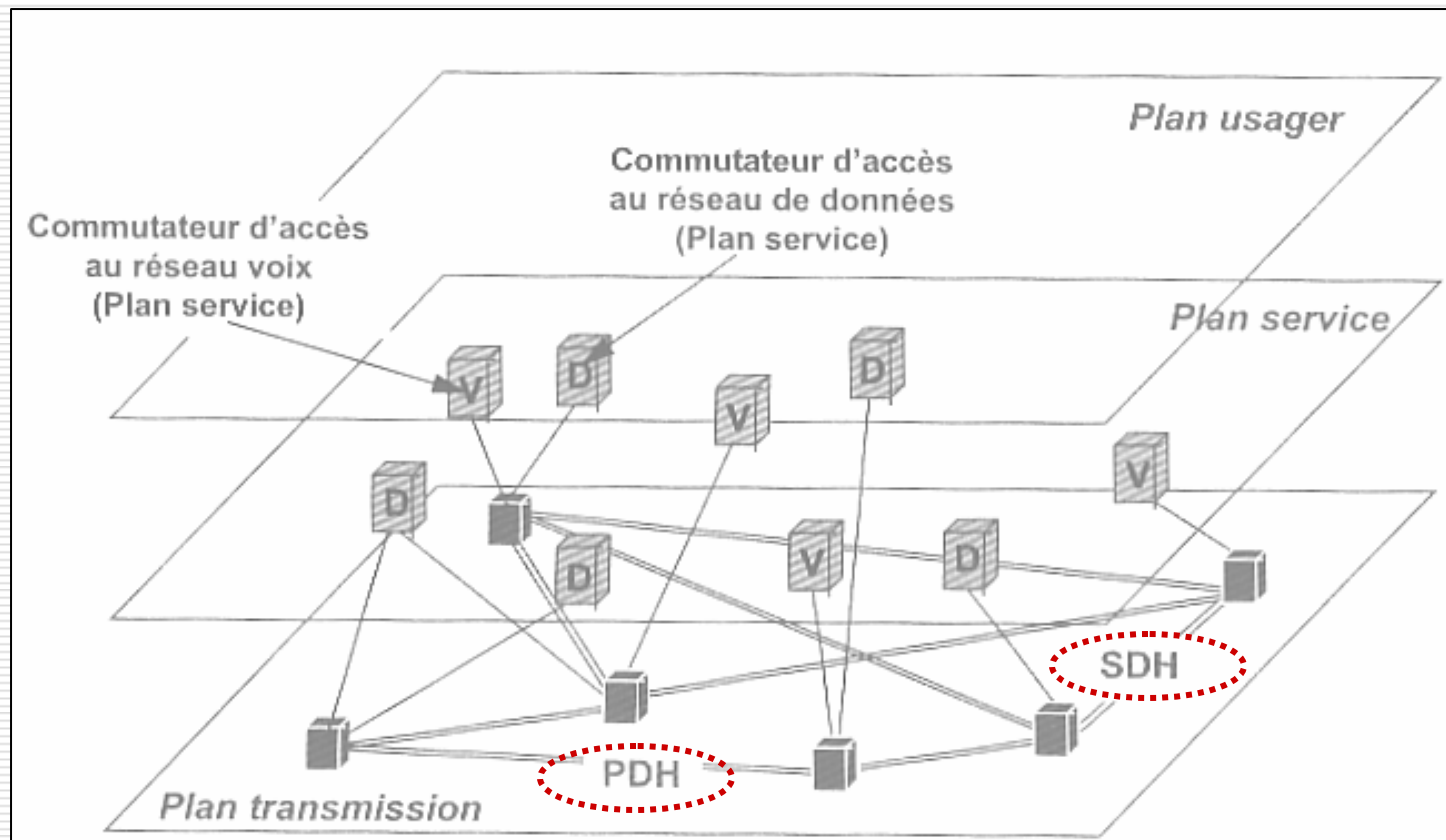


Cohabitation PDH & SDH

- La technologie PDH est encore très présente au niveau du réseau de transport d'accès alors que le SDH agit plutôt en cœur de réseau (complémentarité)
- "Une technologie ne supprime jamais une autre mais vient la compléter"



3 plans d'un réseau de transmission



Partie 5: Organisation du réseau

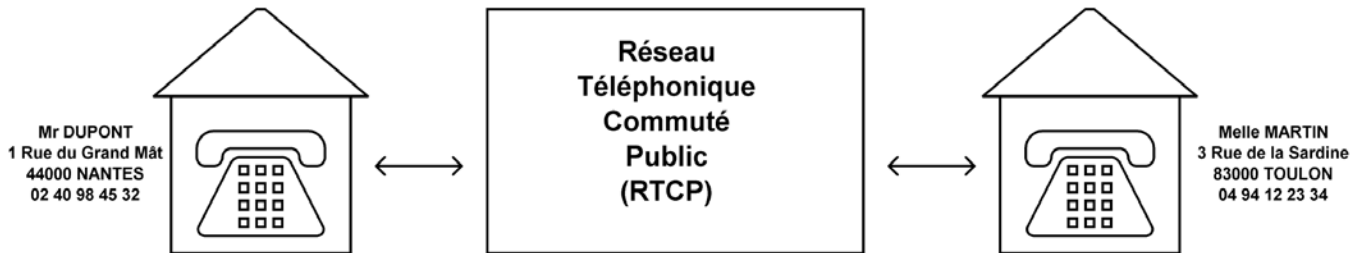
- Organisation du réseau traditionnel
- Établissement d'une communication téléphonique
- Cablage
- Signalisation

Sources:

- Cours d'introduction : Lycée Arago Nantes
- Livre : Claude Rigault, *Principes de commutation numérique*, éditions Hermès

- Organisation du réseau traditionnel
 - Principe du RTPC
 - Côté opérateur
 - Côté utilisateur
- Établissement d'une communication téléphonique
 - Que se passe-t-il quand on décroche le combiné téléphonique
- Cablage
- Signalisation

Role du RTCP (PSTN)



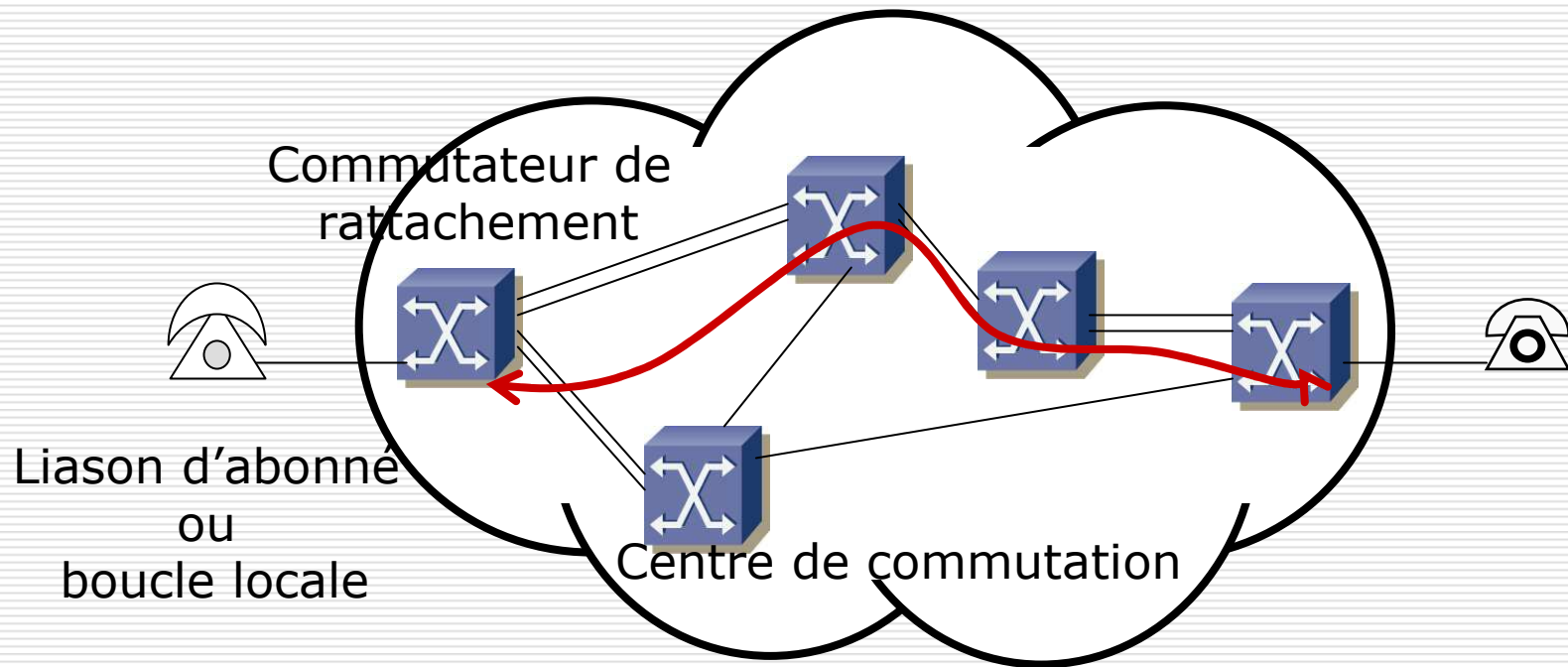
Le Réseau Téléphonique Commuté Public (*RTCP*) permet de mettre en relation deux postes téléphoniques d'abonnés.

La notion de poste téléphonique s'étend à tout ce qui est relié à la "*prise téléphonique*", les ordinateurs connectés par *Modems* ou *Boxs* entre-autres.

Il est la propriété, en France, des opérateurs téléphoniques: historiquement les PTT (*Poste, Télégraphe, Téléphone*), puis France Télécom (*devenu Orange*), et des opérateurs autorisés depuis la privatisation de France Télécoms (*Neuf Télécom, Télec2, ...*).

En anglais, RTCP se traduit par: PSTN (*Public Switched Telephone Network*).

Principe du RTC



Circuit == liaison dédiée pendant toute la durée de l'échange

Description en deux phases

1. Côté réseau de l'opérateur

- Voyage au cœur du réseau FT
- Architecture à trois niveaux
- La gestion générale du réseau
 - la distribution
 - la commutation
 - la transmission

2. Côté abonné

- Poste téléphonique
 - Phase d'établissement d'une communication
 - Cablage: lien à l'opérateur
-

1-Côté réseau de l'opérateur

Voyage au cœur du réseau FT

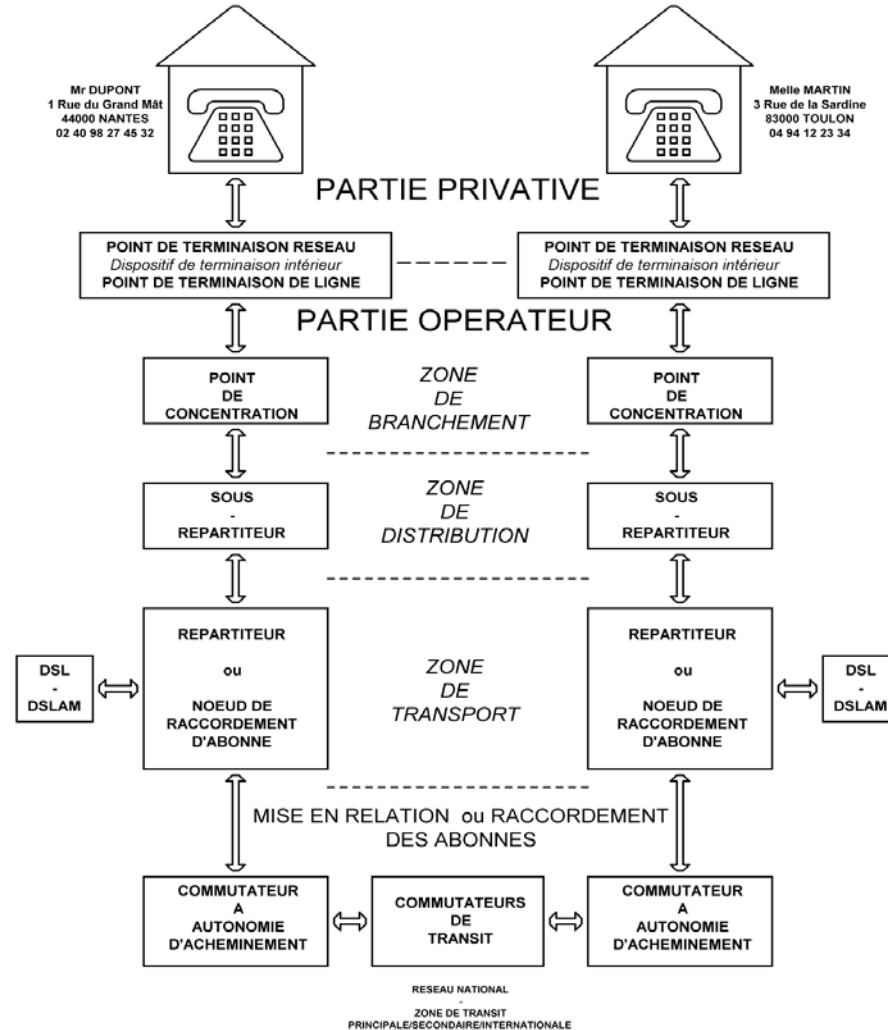
(<http://perso.orange.fr/wallu/>)

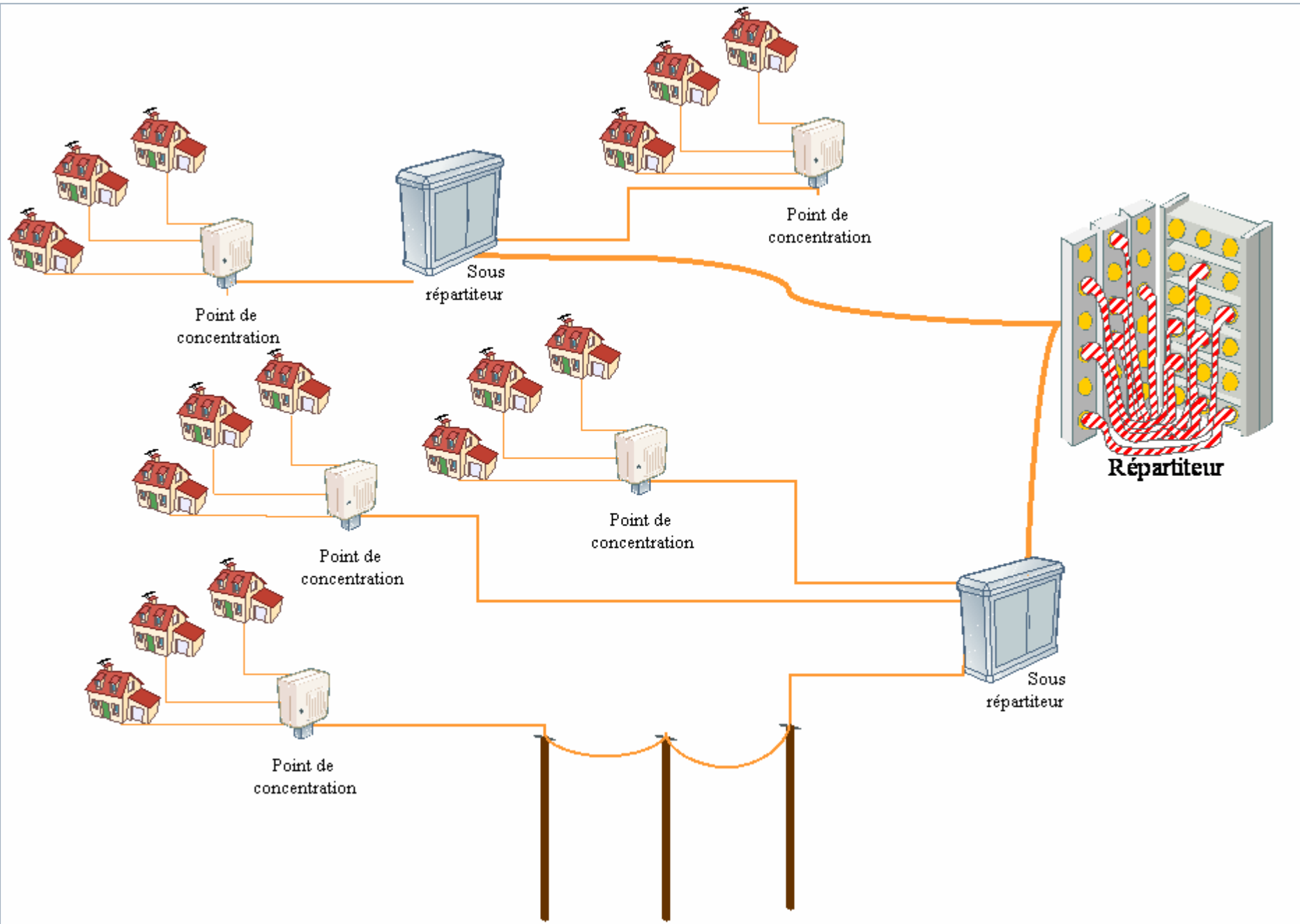
- ❑ 34 millions de clients ligne fixe
 - ❑ 15,5 millions de poteaux téléphoniques
 - ❑ 12 500 répartiteurs
 - ❑ 8 300 NRA
(Noeud de Raccordement d'Abonné)
 - ❑ 2,5 millions km de fibre optique
(100 000 km supplémentaires par an)
-

Structuration générale du RTPC:

Synoptique d'acheminement des données téléphoniques

La communication empruntera le chemin suivant:





Point de concentration sur poteau

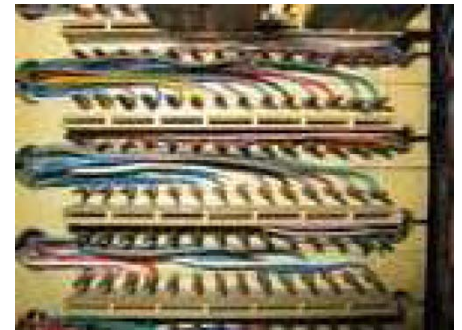


Armoire de sous-répartition



Répartiteur

- Le répartiteur téléphonique est le lieu situé dans le central téléphonique (aussi appelé NRA, pour Nœud de Raccordement Abonné) où se font toutes les connexions entre le réseau filaire desservant les clients d'un opérateur de télécommunications (la boucle locale) et les infrastructures.



Pour rejoindre le NRA

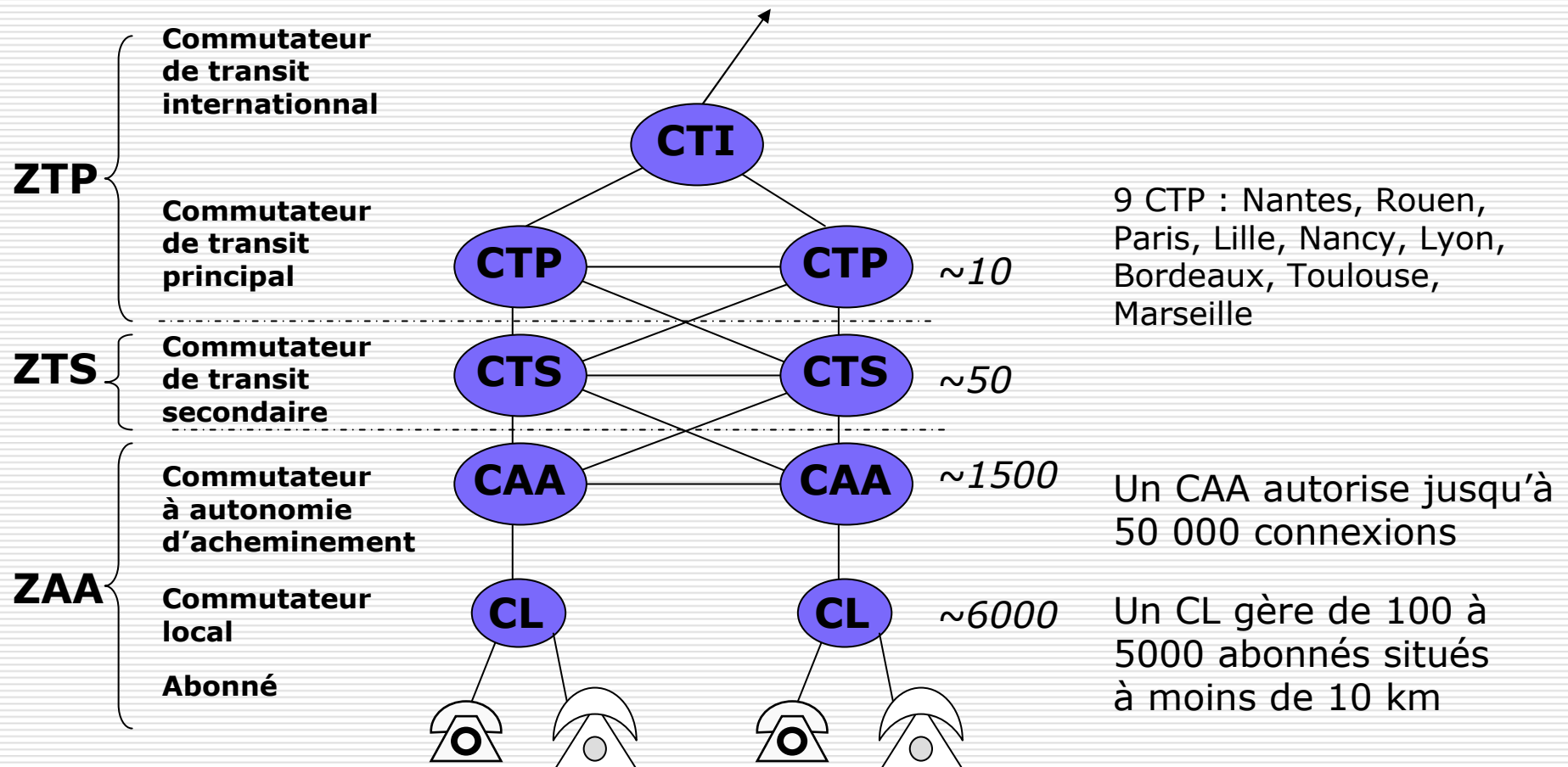
- la paire transite par des points de concentration de câbles.
 - entrée de poste (domicile)
 - point de concentration (facade, borne, poteau)
 - armoire de sous-répartition
 - Chambre de sous-répartition
 - Infra répartiteur
 - répartiteur
 - Noeud de Raccordement (NRA)
→ Réseau optique
-

1-Côté réseau de l'opérateur

Organisation du réseau traditionnel

- Architecture à **trois niveaux**
 - **ZAA** - Zones à autonomie d'acheminement
 - Réseau étoilé de desserte
 - Plus basse de la hiérarchie contient un ou plusieurs CAA
 - **CAA** - Commutateurs à Autonomie d'acheminement
 - Desservent les CL
 - **CL** - Commutateurs locaux
 - Sont de simples concentrateurs de lignes raccordant les abonnés (utilisateurs finaux)
 - **ZTS** - Zone de transit secondaire
 - **CTS** - Commutateurs de transit secondaire
 - Pas d'abonnés reliés
 - Réseau partiellement maillé
 - Brasse les circuits si CAA distant non directement atteignable
 - **ZTP** - Zone de transit principal
 - **CTP** - Commutateurs de transit principal
 - Commutation des liaisons longues distances
 - Réseau partiellement maillé
 - Au moins un CTP relié à un **CTI**
-

Architecture à trois niveaux

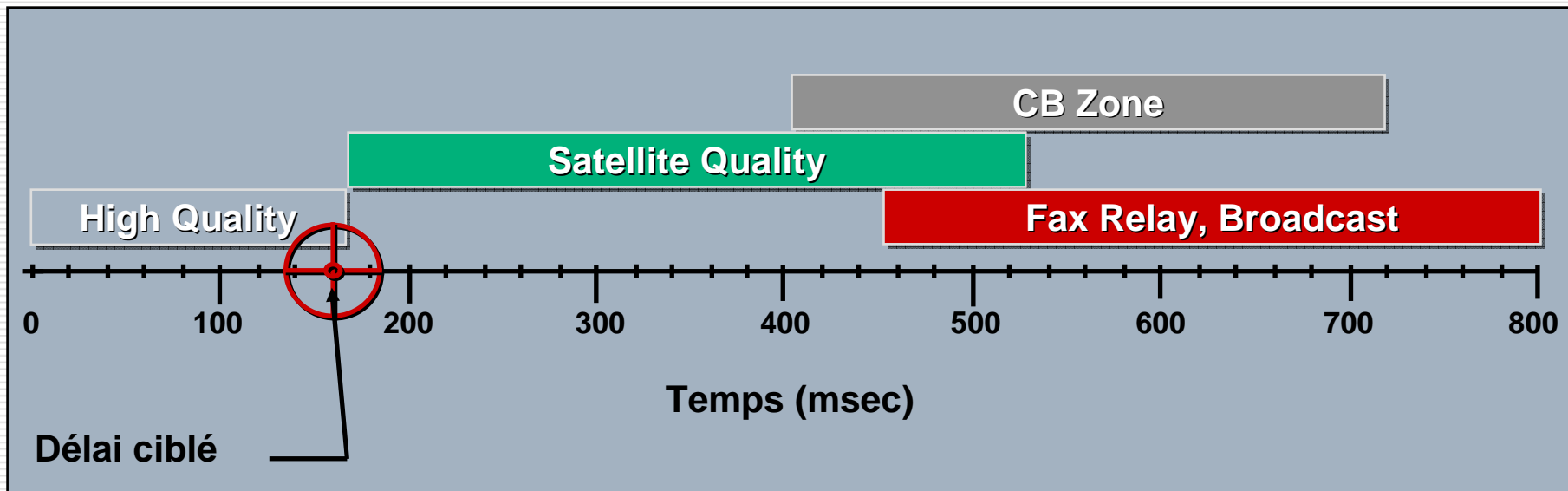


Un réseau partiellement maillé donc...

- plusieurs itinéraires sont généralement possibles
 - on distingue deux types de faisceaux :
 - les faisceaux de **premier choix**
 - les faisceaux de **second choix**
 - constituent des faisceaux de **débordement**
 - Priorité aux faisceaux les plus périphériques
 - Pour un numéro donné, le faisceau de premier choix est choisi de telle manière qu'il conduise l'appel vers le commutateur le plus proche de l'abonné appelé en empruntant les faisceaux de plus faible hiérarchie
-

Transport de la voix et délai

- Garder l'objectif en vue:
 - temps de mise en correspondance
 - délai cumulé de transmission lié au chemin (le plus court/rapide)



La gestion générale du réseau

Trois fonctions :

A. la distribution

B. la commutation

C. la transmission

A - Distribution

- la liaison d'abonné ou boucle locale (paire métallique)
 - **relie l'installation de l'abonné** au centre de transmission de rattachement

 - la ligne assure la transmission:
 - de la **voix** (fréquence vocale de 300 à 3 400 Hz),
 - de la **numérotation** (10 Hz pour la numérotation décimale - au cadran - et 697 à 1 633 Hz pour la numérotation fréquentielle)
 - et de la **signalisation générale** (boucle de courant, fréquences vocales)
-

B - Commutation

- **fonction essentielle** du réseau
 - mettre en relation deux abonnés
 - maintenir la liaison pendant tout l'échange
 - et libérer les ressources à la fin de la conversation
 - C'est le réseau qui détermine les paramètres de **taxation** et impute le **coût** de la communication à l'appelant ou à l'appelé
-

C - Transmission

- assure la partie **support de télécommunication** du réseau
 - soit un **systeme filaire cuivre**,
 - ou de la fibre optique
 - ou par des **faisceaux hertziens**

 - Aujourd'hui
 - le réseau français est **intégralement numérisé**
 - seule la liaison d'abonné est encore, la plupart du temps, analogique et sur support cuivre (pour les abonnés résidentiels)
-

2-Côté abonné

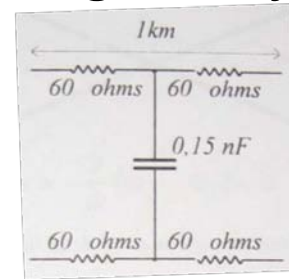
Le problème du duplex sur 2 fils

- L'investissement principal des opérateurs téléphoniques est constitué par les câbles reliant les abonnés aux centraux téléphoniques.
- Mettre 4 fils par abonné, au lieu de 2 → augmentation du capital, déjà gigantesque
- Circuit duplex avec 2 fils ?
- 1^{ère} solution : mettre le micro et le haut-parleur en série sur la même ligne
- → ça ne fonctionne pas à cause de **l'effet local**

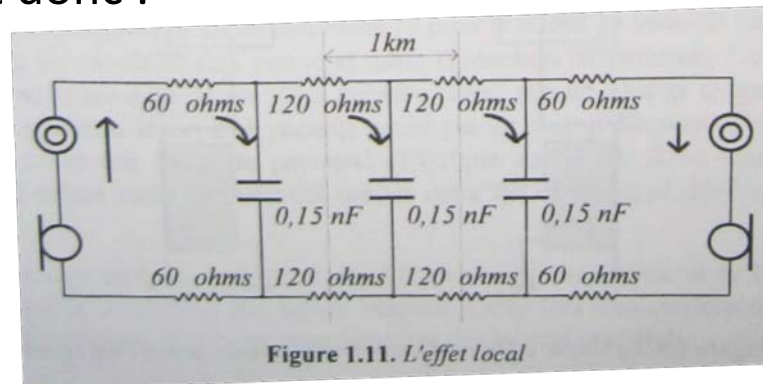
Duplex sur 2 fils: le problème de l'effet local (side tone)

- On obtient un schéma équivalent de la ligne en juxtaposant des cellules en T :

Chaque kilomètre de ligne est assez bien représenté par une cellule de 4 résistances séries de 60 ohms et un condensateur parallèle de 0,15 nF.



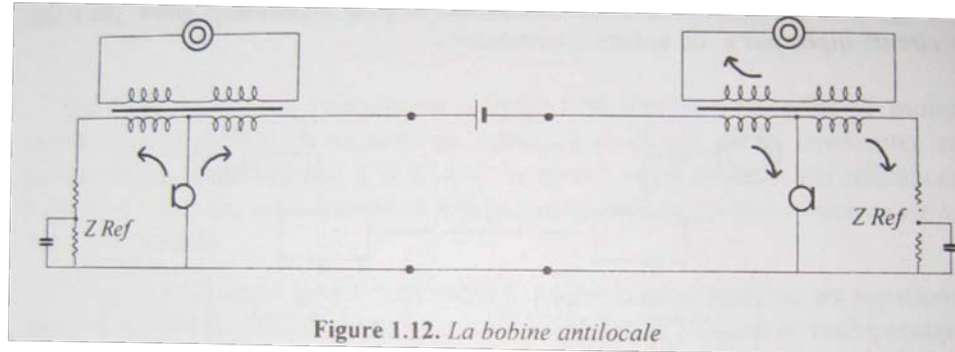
- Avec le micro et le haut-parleur en série, le montage entre les 2 interlocuteurs est donc :



- toute l'énergie générée par le microphone va dans l'écouteur de celui qui parle et qu'une beaucoup plus faible partie arrive dans l'écouteur de celui qui écoute !

Duplex sur 2 fils: le problème de l'effet local (side tone)

- → pas bon car celui qui parle, s'entendant fort, va naturellement baisser sa voix
- Cet effet pernicieux, par lequel celui qui parle s'entend plus fort que celui qui l'écoute, est appelé l' « *effet local* »
- La solution : utiliser un transformateur particulier appelé « *bobine antilocale* »



- L'énergie émise par le micro se répartit en 2 moitiés: une moitié part dans la ligne, l'autre moitié est perdue dans une impédance dite « *impédance d'équilibrage* » censée imiter exactement l'impédance de la ligne
- → aucun courant ne circule dans l'écouteur de celui qui parle

Circuit de signalisation du poste:

Signalisation nécessaire

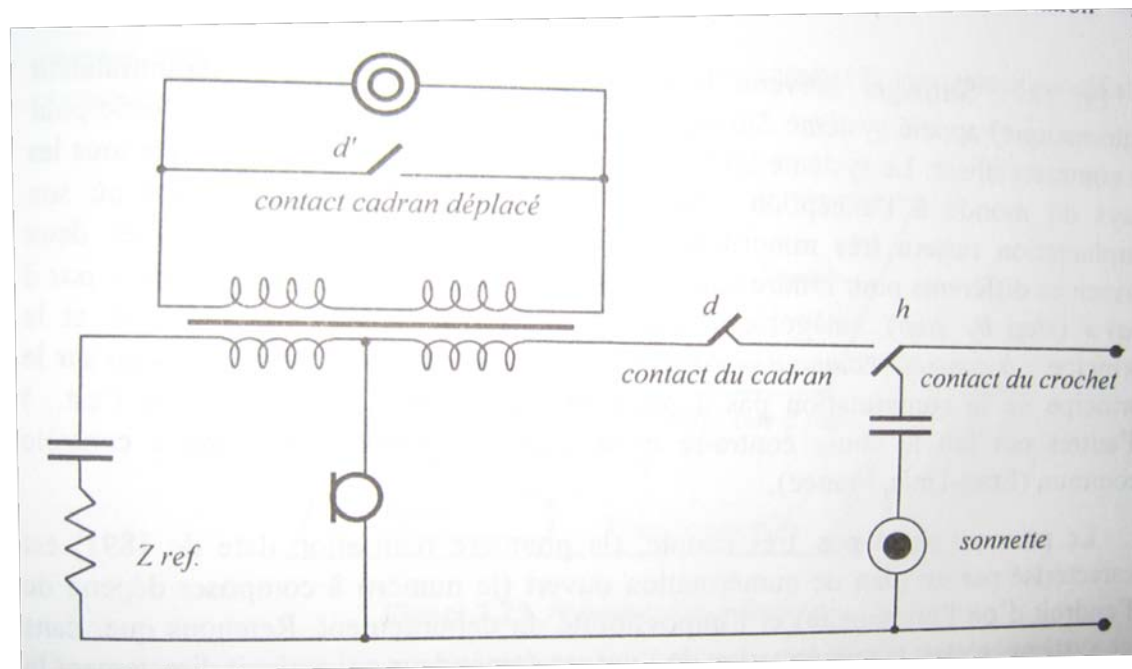
- Le téléphone doit transmettre au central, ou recevoir de celui-ci, des données de signalisation:
 - On appelle « *signaux de ligne* » les signaux correspondant à un état du poste
 - On appelle « *signaux d'enregistreur* » les signaux correspondant à l'envoi d'une adresse

Sens	Signaux de ligne	Signaux d'enregistreur
Téléphone vers central Central vers téléphone	Décrochage / Raccrochage Signal d'appel (sonnerie)	Numérotation

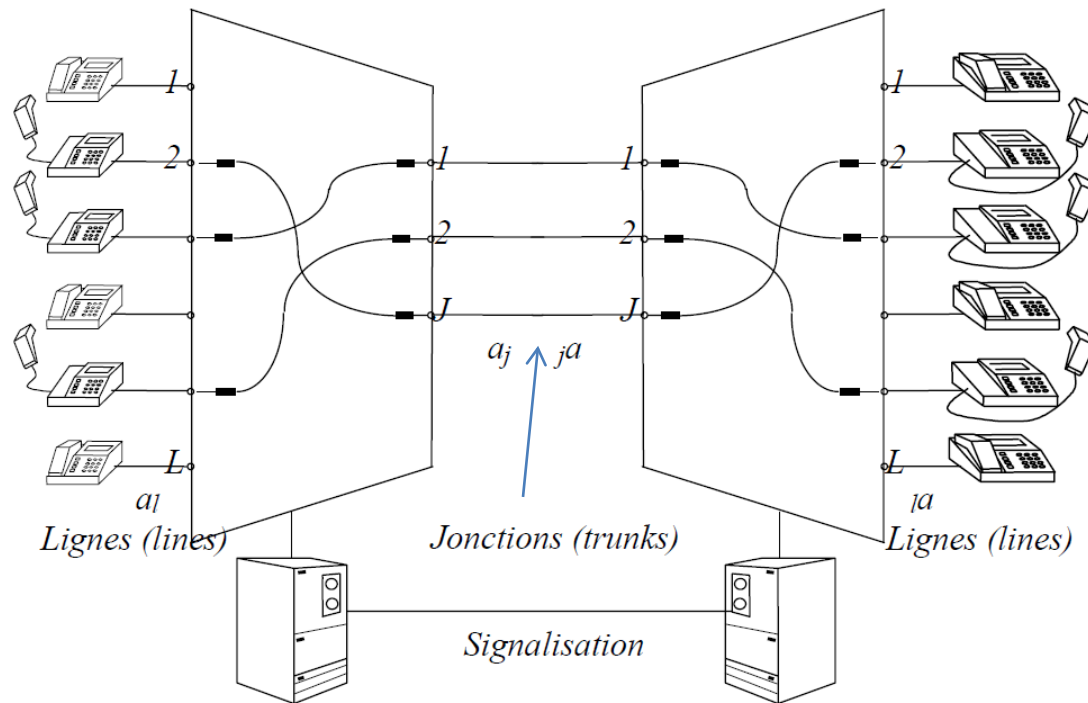
Circuit de signalisation du poste:

Schéma d'un poste de téléphone avec cadran

- Indication « décroché ou raccroché »: crochet « h » → état perçu par le central
- Contact « d » pour la numérotation (« d' » pour que l'appelant n'entende pas les impulsions)

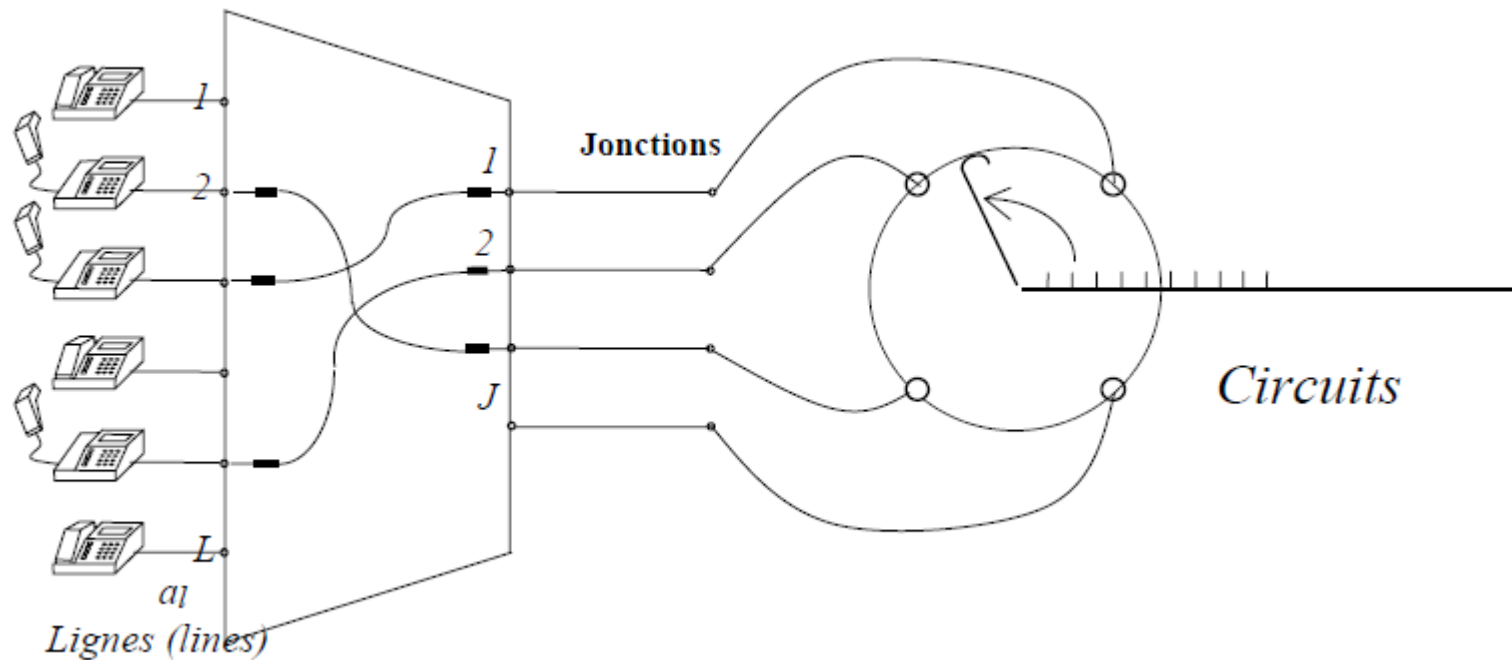


Concentration et Multiplexage

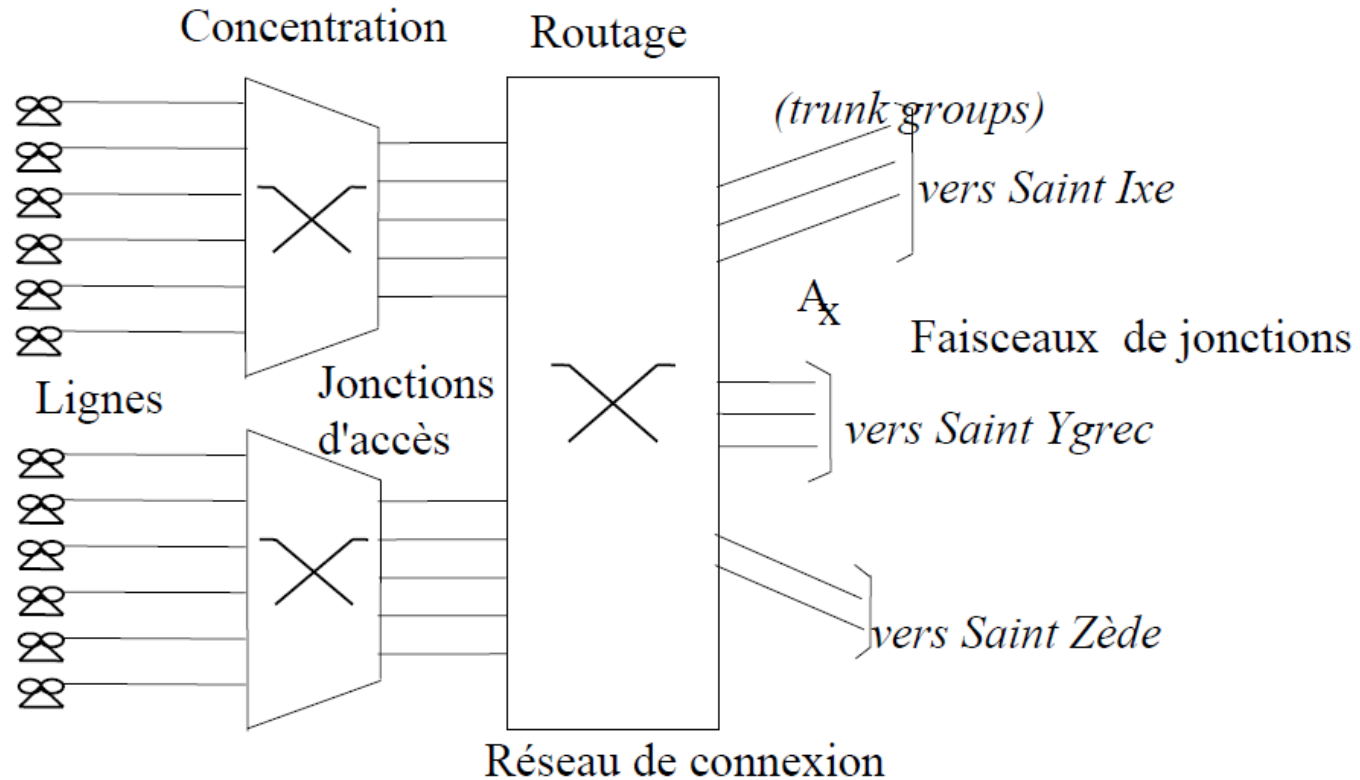


- Ligne = médium privé , Jonction = médium mutualisé
- Le concentrateur est une « coopérative » pour l'exploitation d'un faisceau commun de jonctions.

Concentration et multiplexage temporel



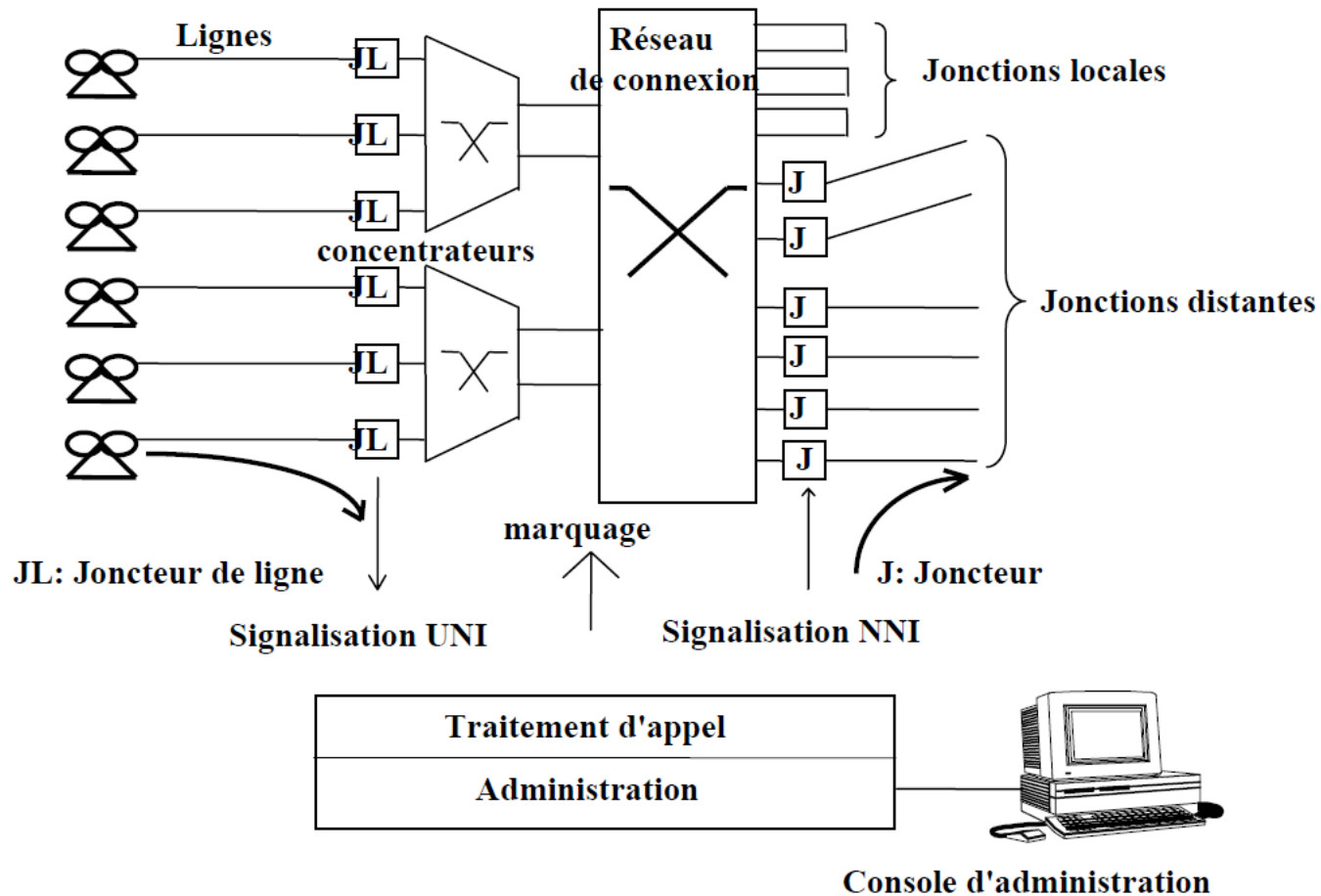
Routage



Il n'y a plus une, mais plusieurs directions sortantes : x, y, z...

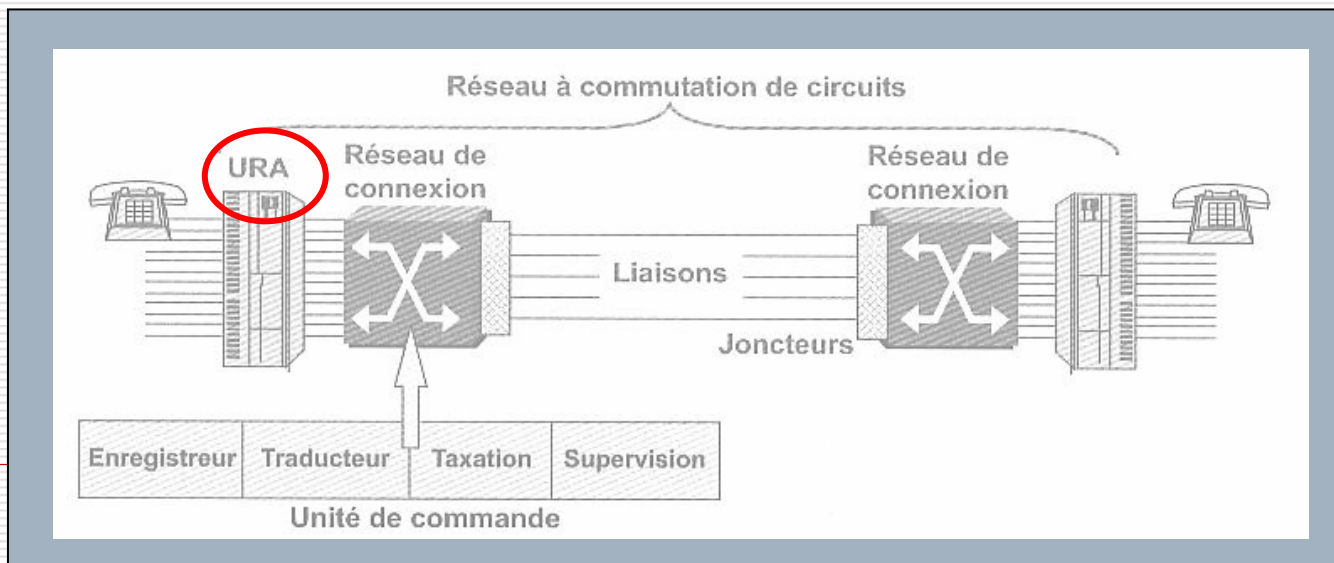
Le routage est le choix d'une jonction sortante parmi plusieurs faisceaux.

Structure d'un commutateur



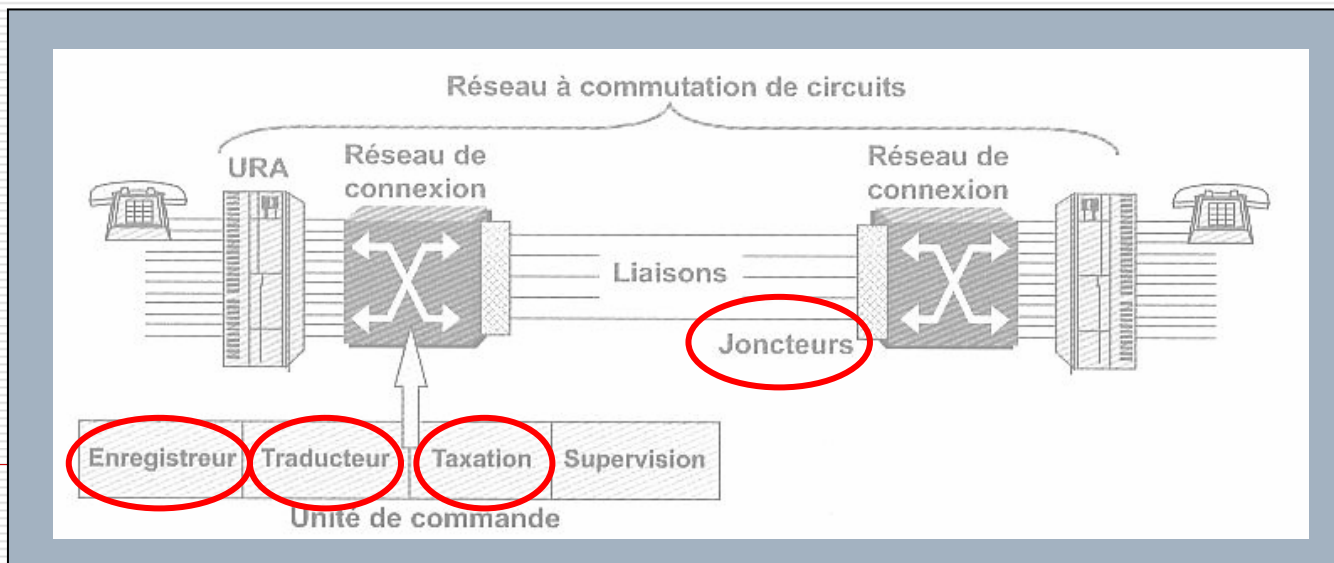
Principe du raccordement d'usager

- L'usager est raccordé au réseau via
 - une unité de raccordement locale (**URA**, Unité de Raccordement d'Abonnés)
 - ou distante (**URAD**, Unité de raccordement d'Abonnés Distants)



Principe du raccordement d'usager

- Le **commutateur de raccordement** assure les fonctions
 1. de **réception**
 2. et de **mémorisation de la numérotation** (Enregistreur)
 3. celle-ci est analysée et traduite par un **traducteur**
 4. qui va définir les **conditions de taxation**
 5. et déterminer le **routage**
 6. Enfin, le **sélecteur** recherche une ligne disponible (joncteur)
 7. et affecte les ressources (circuits ou IT)



En résumé

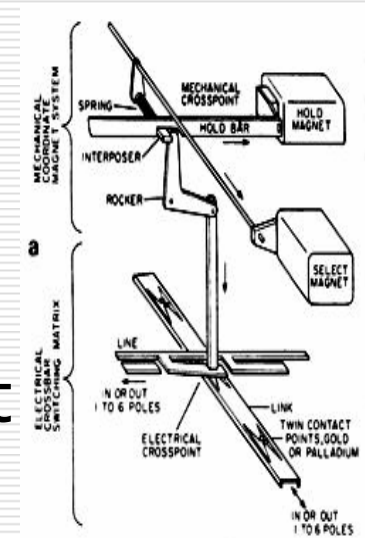
Le rôle d'un commutateur c'est de

- "rattacher" la ligne de l'abonné
(Commutateur de rattachement)
 - aiguiller les communications
 - commutation de circuits
 - concentrer le trafic
 - taxer l'abonné
 - surveiller la communication
-

Familles de commutateurs



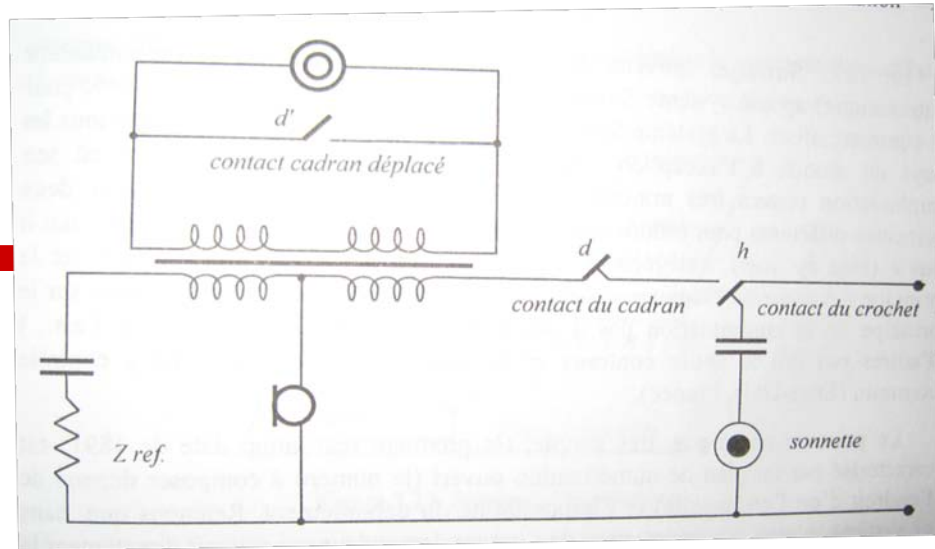
- ❑ Opérateur humain
 - ❑ Rotatifs (rotary ...) abandonnés en 1960,
 - ❑ Electromécaniques (crossbar)
 - ❑ Electroniques
 - commutation spatiale (physique et permanente),
 - commutation temporelle (numérique) , les seuls actuellement
-



Les phases d'établissement d'une communication téléphonique

- Établir une communication téléphonique c'est mettre en relation deux terminaux téléphoniques
 - Le poste téléphonique doit remplir plusieurs fonctions, chacune est réalisée par un organe spécifique
 - Le terminal téléphonique élémentaire comporte cinq organes (c.f. schéma précédent)
-

Prise de ligne



- Tension $U=48$ Volts fournie par le commutateur local
- Décrochage: crochet « h » vers le haut \rightarrow état perçu par le central, scrutant toutes les 10ms
- Emission d'une tonalité continue "invitation à numéroté" ($L_a\# = 440$ Hz) envoyé par le CL

Numérotation

□ Décimale (impulsions)

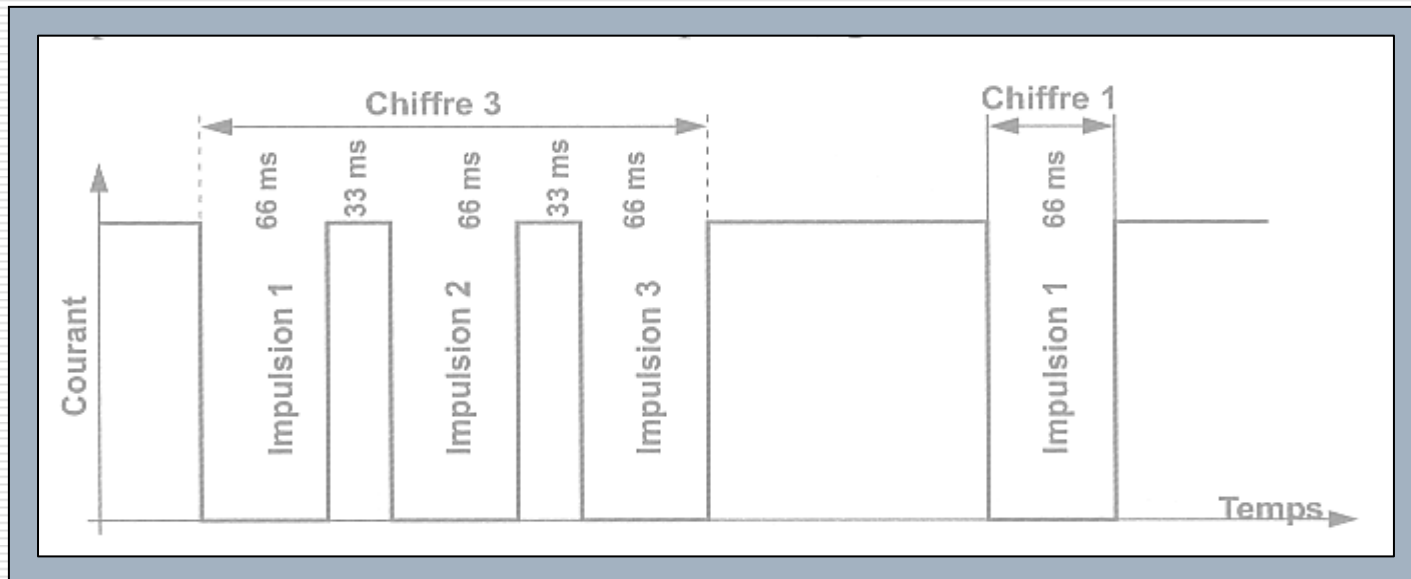
- le combiné provoque des coupures de ligne calibrées
- les numéros sont envoyés au commutateur de rattachement sous forme d'impulsions (66-33ms) selon le chiffre (0=10 impulsions) avec un intervalle minimum de 350ms entre deux chiffres

□ Multifréquence ou Vocale (***DTMF*** *Dual Tone Multi-Frequency*)

- normalisée par le CCITT (Q.23)
- chaque chiffre est codé par une paire de fréquences d'une durée minimum de 40ms et séparés par un silence minimum de 40ms

NB: Postes numériques: la numérotation correspond à la transmission d'une valeur binaire sur une voie dite de signalisation. La numérotation peut être propriétaire (poste numérique propriétaire) ou normalisée (poste RNIS)

Numérotation décimale (anciens postes à cadrans rotatifs)

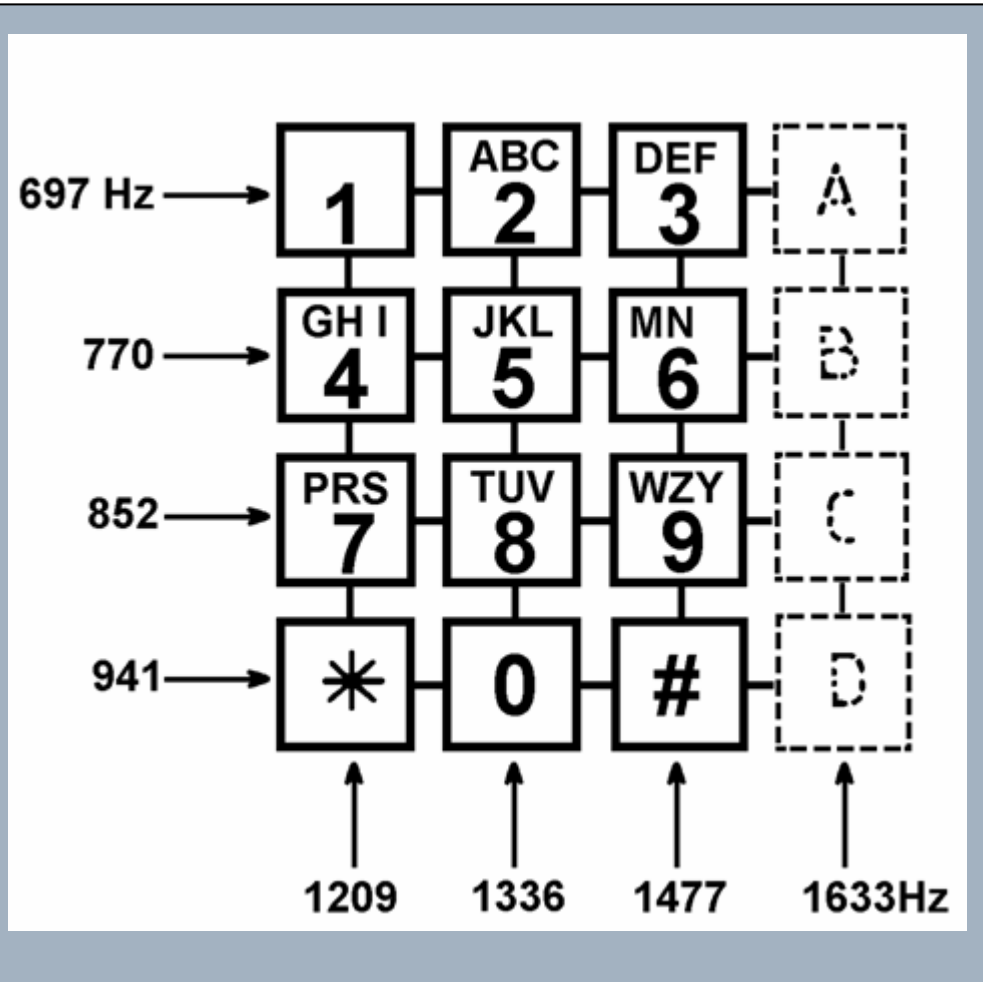


□ Générations d'impulsions

NB: Si le silence entre deux chiffres est supérieur à 10 s (ou 20s) le commutateur émet la tonalité "**occupation**"

Clavier DTMF (postes actuels)

- ❑ Dual Tone Multi Frequency ou "**Fréquences Vocales**"
- ❑ une paire de fréquences « qu'on ne sait pas prononcer »
- ❑ codes ayant permis la création de services vocaux
- ❑ « Blue Boxing »



Valeurs précédentes à comparer à celles du réseau GSM !...

Acheminement

□ Tonalité "**acheminement**"

- chez le demandeur : 440 Hz (50ms-50ms)
- tonalité supprimée depuis le 18/10/1996 (simulation des anciens commutateurs crossbars)

□ Envoi du "**signal d'appel**" (courant de sonnerie)

- chez l'appelé : 80 V/50Hz pendant 1,7s-3,3s superposé à l'alimentation

□ Tonalité "**retour d'appel**"

- chez le demandeur : 440 Hz (1,7s-3,3s)
-

Autres signaux

□ "occupation"

- L'appelé est occupé ou encombrement (plus de ligne)
440Hz, 500ms-500ms,

□ International

- 330Hz + 440Hz

□ Impulsion de tarification (sur abonnement)

- tonalité 12kHz, 80mV, 125ms (au lieu de l'ancienne impulsion 80V par rapport à la terre)

□ Signal de rappel (Touche "**R**")

- provoque une coupure calibrée (220..320ms) permettant au commutateur de saisir le N° qui sera transmis en cours de communication (services spéciaux : conférence...).
-

Autres valeurs remarquables

□ **"Raccrochage supérieur"** à 400ms de l'appelant

→ coupure de la liaison et envoi de la tonalité "occupation" vers le poste resté en ligne

□ **"Raccrochage de l'appelé"**

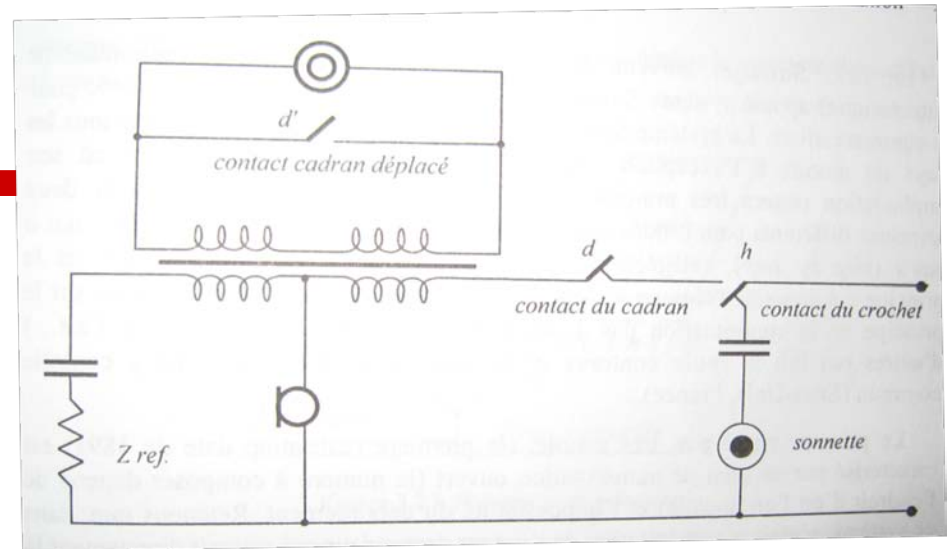
→ la ligne est maintenue pendant une temporisation de 2 à 4s

→ un décrochage de l'appelé rétablit la communication

□ **Inversion de polarité**

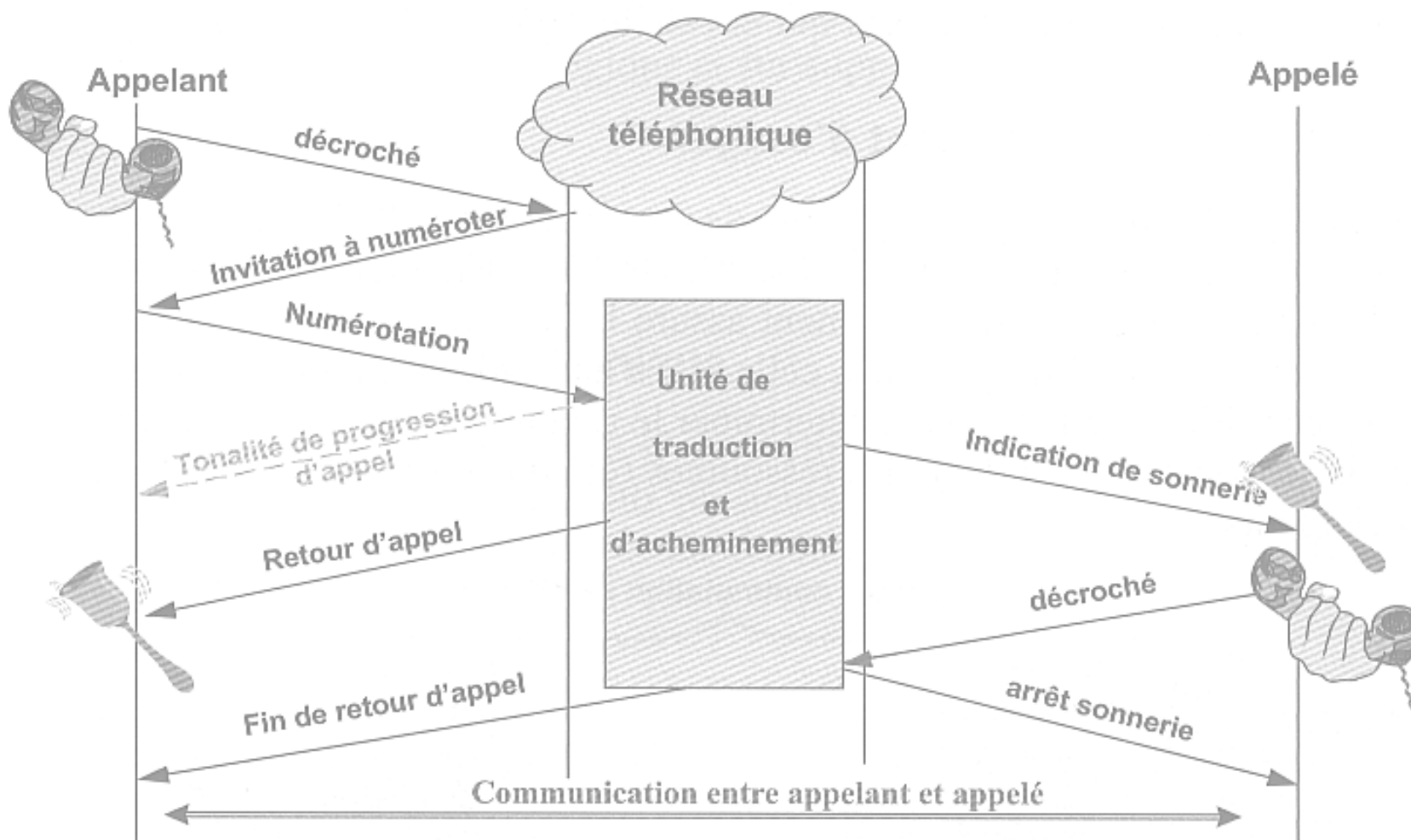
■ l'alimentation 48V sera éventuellement inversée lors de l'établissement de la communication (début de taxation sur cabines publiques)

Communication



- Le micro ou capteur
 - constitué d'une simple membrane qui par ses vibrations, sous l'effet de la pression acoustique (voix), fait varier la résistance interne de celui-ci
 - micro au charbon inventé par Edison en 1876 (et vendu à la Western Union)
 - la variation de courant est le signal transmis au commutateur local

Diagramme d'une communication téléphonique



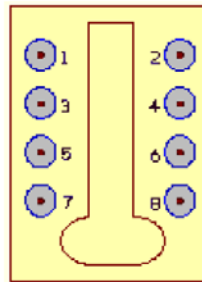
Cablage

Spécification de la ligne d'abonné

- ❑ constituée d'une paire de cuivre continue de diamètre 0,4 à 0,8mm jusqu'au commutateur de rattachement
 - ❑ la plupart des abonnés ont une ligne inférieure à 4 km
 - ❑ l'abonné est relié
 - à un point de concentration (zone rurale)
 - ou directement à un sous-répartiteur
 - ❑ par un câble
 - aérien
 - ou souterrain
 - ❑ Nombre de fils:
 - d'une
 - ou deux paires (deux dans les nouvelles installations)
 - ❑ puis par un câble de transport multipaires jusqu'à son commutateur de rattachement
-

Cablage: point de terminaison réseau

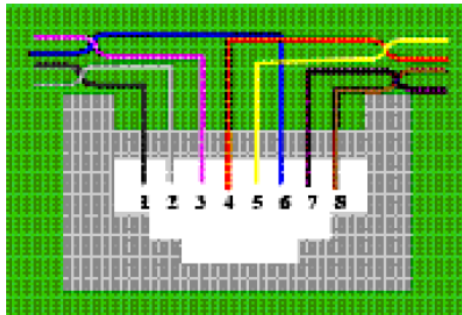
- Le point de terminaison réseau, c'est la prise femelle fixée au mur et reliée, côté réseau téléphonique, à une ou plusieurs lignes d'accès analogiques d'abonné.
- Avant 2003, les installations étaient réalisées avec la prise en T :



N° du plot	Affectation des plots de la fiche femelle à 8 plots	Paires de fils	N° des plots	Couleurs
1	fil « a » de la ligne 1	1	1 - 3	Gris - Blanc
2	Anti-tintement ligne 1	2	2 - 5	Incolore - Bleu
3	fil « b » de la ligne 1	3	4 - 7	Marron - Violet
4	non utilisé	4	6 - 8	Jaune - Orange
5	non utilisé			
6	fil « a » de la ligne 2			
7	Anti-tintement ligne 2			
8	fil « b » de la ligne 2			

Cablage: point de terminaison réseau

- Depuis 2003, les installations utilisent la prise CEI 60603-7 dite RJ45:

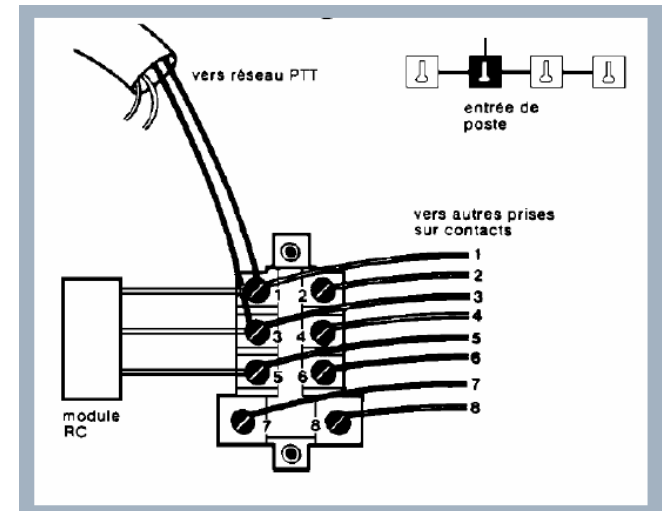


<i>N ° du contact dans le socle RJ45</i>	<i>Fonctions</i>
1 2	<i>Ethernet (10 et 100 base T): Réception des données</i>
3 6	<i>Ethernet (10 et 100 base T): Transmission des données</i>
4 5	<i>Ligne 1 (analogique ou RNIS)</i>
7 8	<i>Ligne 2 (analogique ou RNIS)</i>

- Depuis la fin de l'année 2003, France Télécom utilise ce type de prise. Le câblage réalisé avec ce type de prise est dit *multimédia* et est utilisable jusqu'à une fréquence de 100 MHz.

Cablage: point de terminaison de ligne

- Le point de terminaison de ligne est le premier point d'accès physique au réseau installé par FT et situé en général dans les locaux de l'abonné.
- Il est destiné à séparer le câblage client de la boucle locale, afin de permettre le test de la ligne de la boucle locale.
- Ce point est matérialisé par un Dispositif de Terminaison Intérieur (DTI), équipé d'un module RC ($R = 20\text{ k}\Omega$ et $C = 2,2\text{ }\mu\text{F}$) dit module d'essais.
- Compte-tenu de l'évolution technologique, le test de ligne ne nécessite plus la présence du DTI, et le point de terminaison réseau se confond avec le point de terminaison de ligne.



Signalisation

Signalisation

- Constituée de nombreuses informations qui gèrent la communication téléphonique dès le décroché et jusqu'au raccroché

 - Deux modes de signalisation
 - signalisation voie par voie ou signalisation **CAS (Channel Associated Signaling)**
 - signalisation par canal sémaphore ou **signalisation CCS (Common Channels Signaling)**
-

Signalisation "voie par voie" ou signalisation **CAS(Channel Associated Signaling)**

- L'information de routage est transmise dans la même trame que la voie elle-même :
 - chaque canal de communication a un canal de signalisation dédié
 - la signalisation pour un circuit a un circuit associé permanent
 - L'établissement d'un circuit entre deux abonnés se fait de proche en proche : le N° demandé progresse de commutateur en commutateur
 - La commutation sera donc assez lente (tonalité ou bruit dû aux crossbar).
 - Un circuit sera utilisé pour l'acheminement de l'appel, même si l'appelé est « occupé ».
- CAS est lent et non flexible
- Pour ces raisons, et à cause des bénéfices en termes de sécurité de séparer les voies de contrôle des voies pour la voix, on utilise **common-channel signaling (CCS)** depuis les années 1960.

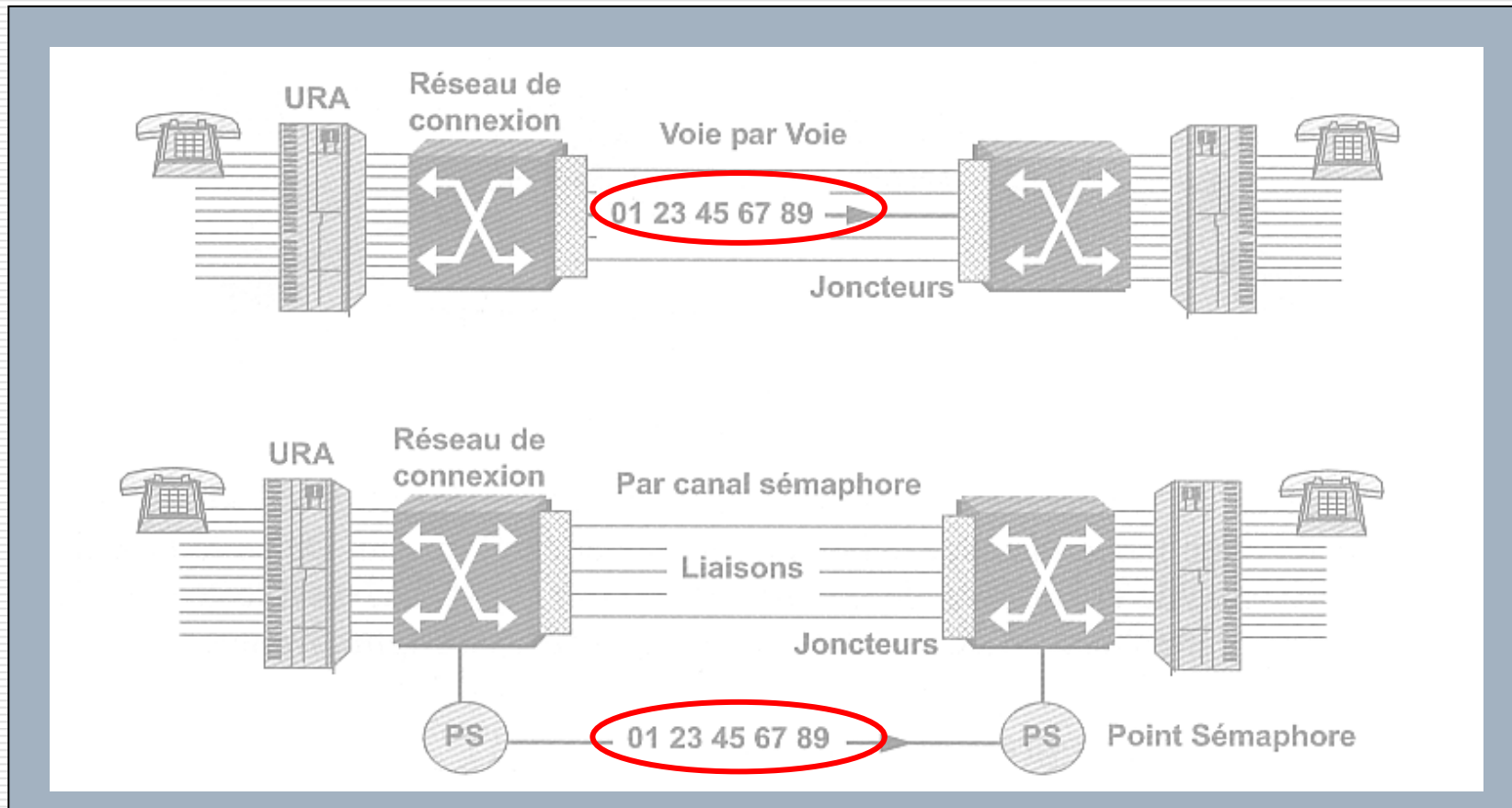
Signalisation par canal sémaphore ou **signalisation CCS** (**Common Channels Signaling**)

- utilise un canal dédié
 - multiplexage avec les voies de communication
 - pour signaler tous les événements relatifs à un ensemble de circuits
 - la numérotation est acheminée sur le canal sémaphore en mode message
 - Les informations de signalisation sont **transmises hors communication**
 - ce qui autorise de nombreux téléservices
 - Le protocole de signalisation peut être normalisé ou propriétaire (protocole propre à un constructeur)
-

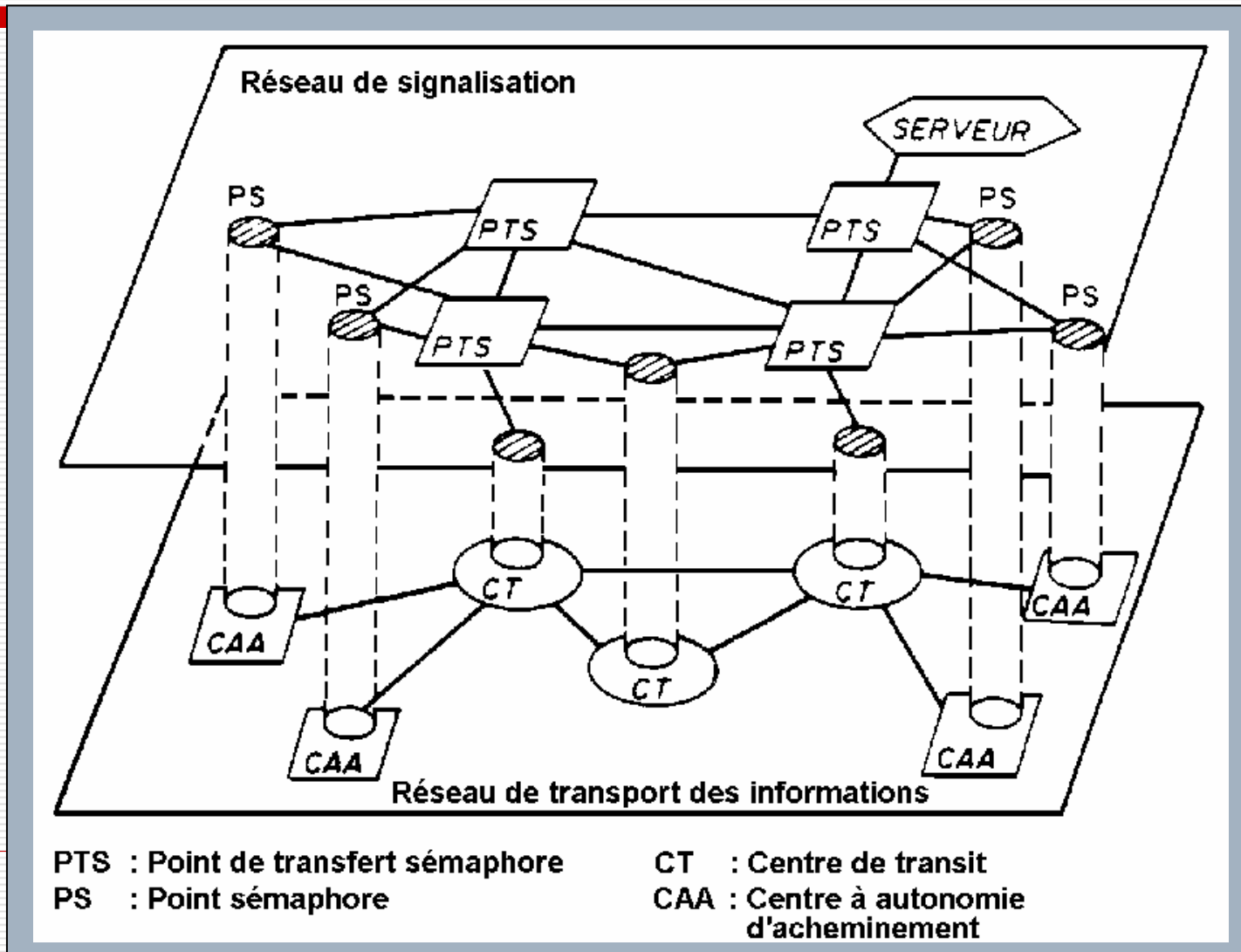
Signalisation par réseau sémaphore

- **out of band**
 - la signalisation se fait sous la forme de messages (paquets X25)
 - transportée par
 - un **réseau sémaphore**
 - **indépendant du réseau de transport** (circuits)
 - Les deux réseaux
 - utilisent les mêmes infrastructures numériques (MIC)
 - mais sont organisés différemment
-

Les deux modes de signalisation



Signalisation par réseau sémaphore



Avec la signalisation CCITT N°7

- SS7
 - étude à démarré en 1976
 - mise en place en 1987
 - le circuit
 - est préparé rapidement
 - n'est établi que lors du décrochage de l'appelé

 - Cette signalisation améliore le temps de réponse des commutations RTC analogiques et est indispensable au RNIS
-

Signalisation échangée: Plan de numérotation

- Un plan de numérotation mondial
 - définit par le CCITT (UIT-T)
 - divise le monde en 9 zones
 - 1 = Amérique du nord,
 - 2 = Afrique,
 - **3** = Europe du sud,
 - 4 = Europe du nord
 - ...
 - Un abonné sera identifié par 3 chiffres définissant sa zone internationale + 8 chiffres.
 - USA : 1xx + 8 chiffres,
 - France: **33**x + 8 chiffres, (330..339 prévus)
 - Malte : 356 + 8 chiffres.
-

Le n° d'un abonné

□ est de la forme **AB.PQ.MC.DU**

□ avec

- AB = zone géographique (département)
 - PQ = commutateur de rattachement
 - MCDU = n° d'abonné
(MilleCentDizaineUnité)
-

Vous rappelez-vous ?

□ Avant 1985

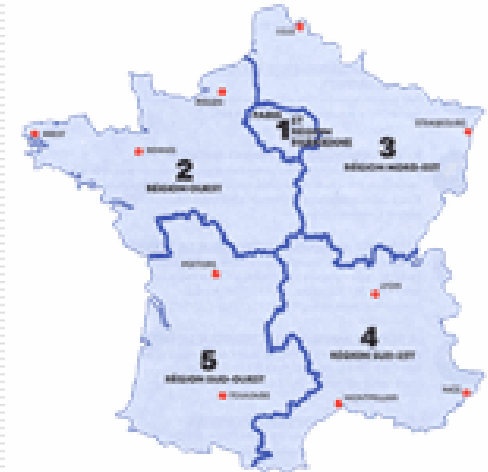
- Numérotation locale à **6 chiffres** PQMCDU et interurbaine par **16** puis ABPQMCDU

□ 23/10/1985

- Numérotation à **8 chiffres**
- la France est divisée en **2 zones**, numérotation dans une zone par ABPQMCDU, appel de l'autre zone par **16** (+1 pour zone Paris) puis ABPQMCDU

□ 18/10/1996

- Numérotation nationale à **10 chiffres** EZABPQMCDU
- E = opérateur longue distance ; Z = zone
- avec disparition du **16**
- la France est divisée en **5 zones** (01..05)
 - **1** = île de France,
 - **2** = nord-ouest
 - ...
 - **6** = mobiles
 - **7** = n° non géographiques
 - **8** = n° spéciaux
 - **00** = international



Plus récent

□ **1/1/1998**

- libéralisation des télécommunications
 - de nouveaux gros opérateurs : attribution d'un préfixe par l'A.R.T.
 - **0** = opérateur local
 - **1** = services d'urgences (17, 18 et 112)
 - **3** = services télématiques (36 15)
 - **2** = Siris
 - **4** = Tele2
 - **5** = Omnicom/Ventelo
 - **6** = Esprit telecom
 - **7** = Cegetel
 - **8** = France Télécom
 - **9** = 9 Télécom (Bouygues)
 - petits opérateurs: le préfixe **16** précédera le n° à 2 chiffre de l'opérateur
 - 18 pour *MCI-worldcom*
 - 26 pour *Tiscali*
 - 82 pour *Colt*
-

Plus récent encore

□ 1/1/2000

- le **0** doit suffire pour désigner son opérateur local habituel et son opérateur longue distance prédéfini

□ 1/1/2001

- l'ART autorise le **dégroupeage** des lignes d'abonnés (un opérateur concurrent doit pouvoir se raccorder sur la paire de cuivre chez France Télécom), mais la mise en œuvre effective de ce dégroupage prend du retard...
 - Portabilité des numéros : l'abonné pourra conserver son n° même s'il change d'opérateur ou de lieu géographique
-

Services sur RTC

Services aux entreprises

□ Pour les entreprises qui possèdent un **autocommutateur privé (PABX)** permettant une commutation interne

□ L'interconnexion au réseau public des postes internes sera réalisée par cet autocommutateur et des services étendus du réseau public sont possibles → voir chapitre PABX

■ Groupement de ligne : Analogiques, MIC, RNIS

■ S.D.A. (Sélection Directe à l'Arrivée)

■ Numéros Spéciaux :

- Vert = 0800 xx xx xx - L'appel est facturé à l'appelé.
- Azur = 0801 - 0810 - L'appel est facturé à l'appelant comme une communication locale.
- Indigo = 0802/0820 - 0803/0825 - L'appel est facturé à l'appelant respectivement 0,12 €/mn ou 0,15 €/mn.

■ TELETEL

■ Audiotel: Service vocal, abonnement dégressif selon le nombre d'appel pour les services 08 36 65 xx xx et 08.36.66.xx.xx et kiosque similaire au télécel pour 08.36.67...à 08.36.70....

■ Réunion téléphonique (Génésis)

■ Tarifcation (Trafic Plus...): Réductions selon la consommation (similaire au Primaliste des particuliers). Pour les très gros consommateurs, les réductions peuvent atteindre 50%...

Services sur RTC

Services aux particuliers

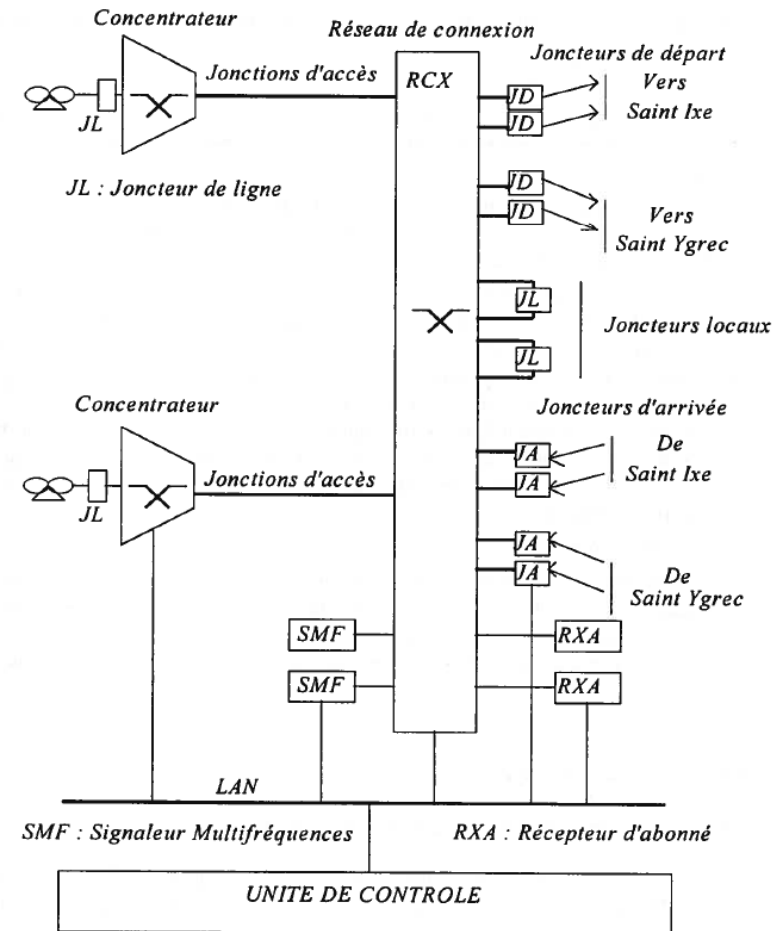
- ❑ Services confort: Signal d'appel, Transfert d'appel, Conversation à trois.
 - ❑ Services divers Réductions sur certains numéros, forfaits...
 - ❑ Messagerie vocale ...
 - ❑ Minitel
 - ❑ 36.11 : Annuaire (gratuit 3 minutes).
 - ❑ 36.12 : Minicom (messagerie) 1UT/45s.
 - ❑ 36.18 : Minitel à minitel - 1UT/45s.
 - ❑ 36.05 : Teletel - N° vert (tarif T0).
 - ❑ 36.13 à 36.17 : Teletel (tarifs T1 à T60).
 - ❑ 08.36.28/29.xx.xx : Teletel – (tarifs T60/70).
 - ❑ 08.36.64 ... 70 : audiotel, tarifs selon numéro
 - ❑ Identification de l'appelant (par message en V23 entre 1ère et 2ème sonnerie).
 - ❑ Masquage temporaire de l'identification de l'appelant (3651).
 - ❑ Identification du dernier appel : appel malveillant ou rappel du dernier appelant (3131).
 - ❑ Rappel automatique sur poste occupé
 - ❑ Le refus d'appel (de certains appelants).
 - ❑ Personnalisation de la sonnerie (sonnerie différente pour plusieurs membres d'une même famille : un n° d'appel par membre).
 - ❑ Identification d'appel prioritaire (sonnerie différente pour certains appelants).
 - ❑ Le renvoi sélectif (selon l'appelant).
 - ❑ La programmation à distance des renvois (selon l'heure...)
-

Partie 6: Dimensionnement

- **Problème**
- **Définition et notion de trafic**
- **Modèle à perte d'appels**
- **Modèle à attente**

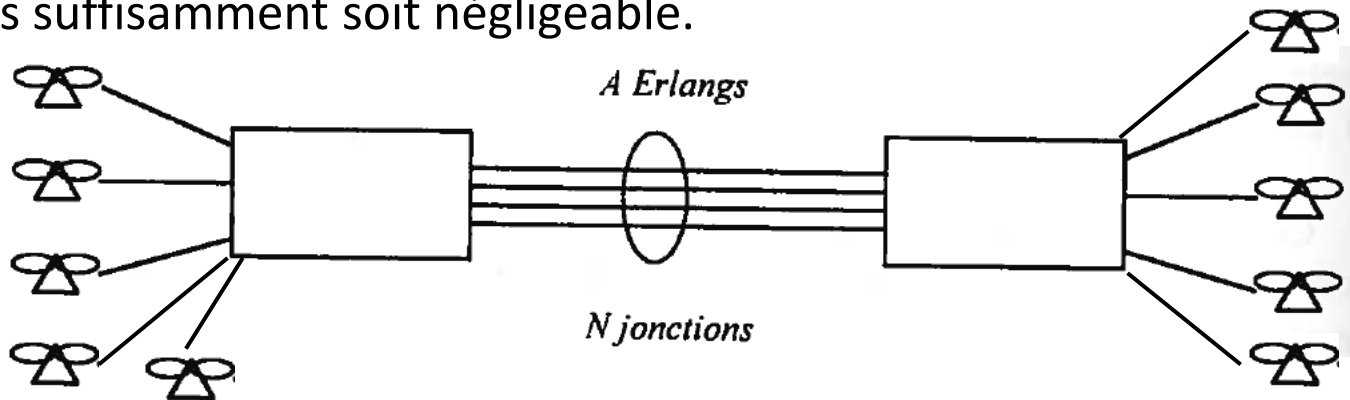
Rappel: diagramme d'un commutateur

- Nous pouvons maintenant détailler le diagramme général d'un commutateur.
- Nous retrouvons:
 - un ensemble de circuits auxquels sont raccordées les lignes: les joncteurs de lignes;
 - un étage de concentrateurs qui réalisent la connexion aux jonctions d'accès susceptibles d'être affectées à un nouvel appel.
- Nous disons qu'il y a concentration du fait que le nombre de jonctions d'accès est très inférieur au nombre d'abonnés.
- Ceci entraîne que tous les abonnés ne peuvent pas téléphoner en même temps.
- Le nombre maximum d'appels simultanés possible est égal au nombre de jonctions d'accès.
- Ce nombre est calculé par des méthodes dites de « calcul de trafic » que nous abordons ici.



Le problème du dimensionnement

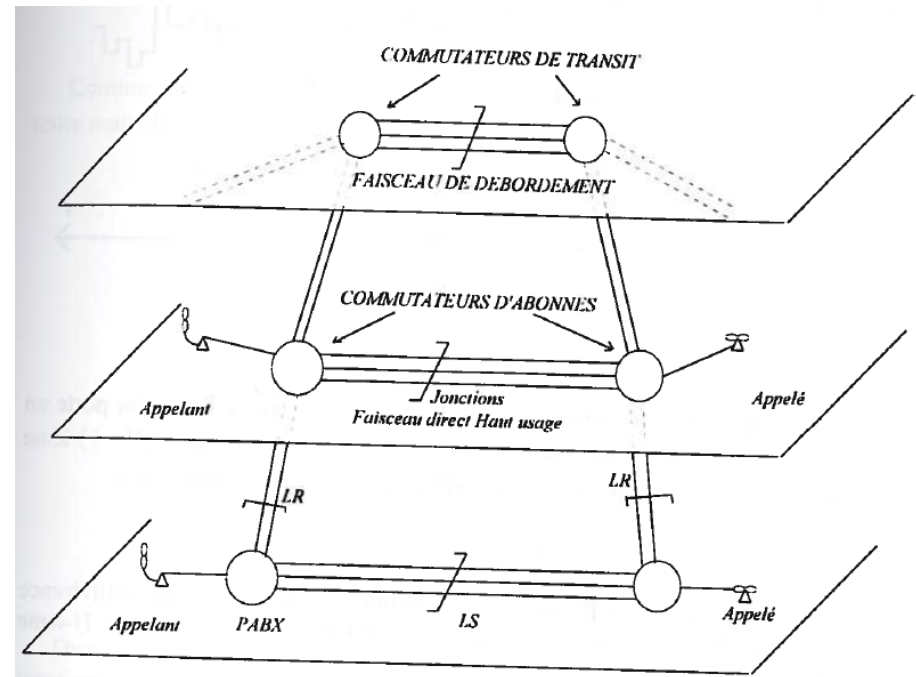
- La commutation consiste à mettre à la disposition des usagers (que nous appellerons des « *clients*») des ressources partageables (que nous appellerons des « *serveurs*») telles que les jonctions (ou circuits) d'un faisceau.
- L'un des problèmes importants de la commutation est de déterminer le nombre de serveurs qu'il faut installer pour que la probabilité qu'il n'y en ait pas suffisamment soit négligeable.



Calcul du nombre de jonctions (ou circuits) nécessaires

La notion de trafic : introduction

- Les commutateurs de transit permettent aux commutateurs d'abonnés de partager des faisceaux lorsque le trafic ne justifie plus des jonctions directes.
 - La construction du réseau est donc basée sur la remarque suivante:
 - tant que le trafic le justifie, on relie les commutateurs par des faisceaux directs ;
 - quand le trafic ne le justifie plus on achemine l'appel par un faisceau partagé entre plusieurs commutateurs par l'intermédiaire d'un commutateur de transit.
- L'appel est perdu, si on ne trouve pas de jonction, ni sur le faisceau direct, ni sur le faisceau de débordement.



La notion de trafic : définition

- Nous appellerons « machine » tout ce qui présente la propriété d'être soit libre, soit occupé. Pour nous, une ligne de téléphone est une machine: soit elle est libre (raccrochée), soit elle est occupée (décrochée).
- **Définition** : le **trafic** « a » d'une machine est la proportion du temps pendant laquelle elle est occupée.

$$a = \frac{t}{T}$$

t : temps d'occupation
pendant l'observation
 T : temps d'observation

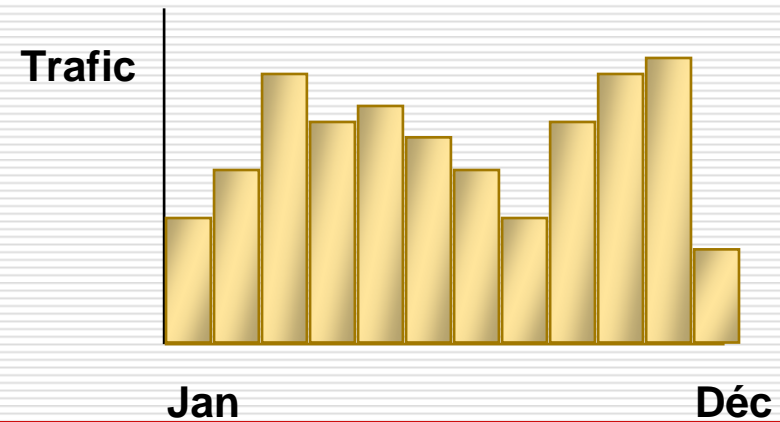
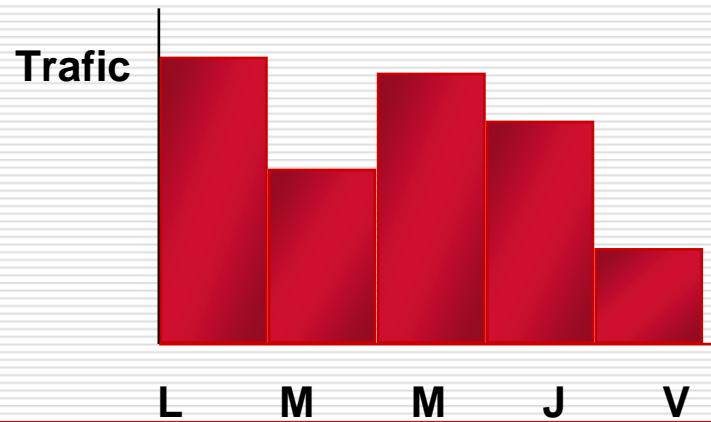
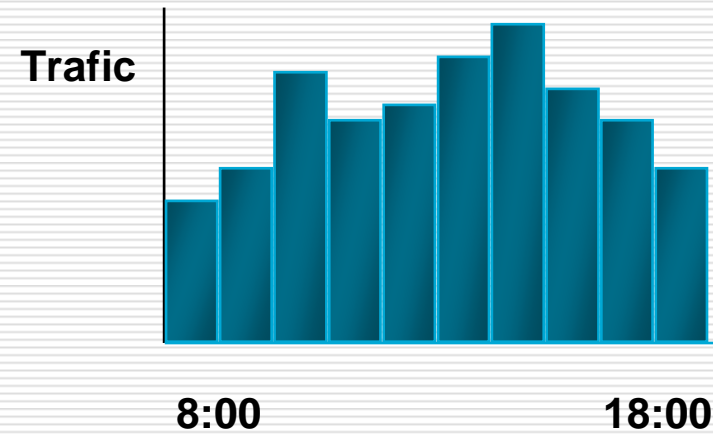
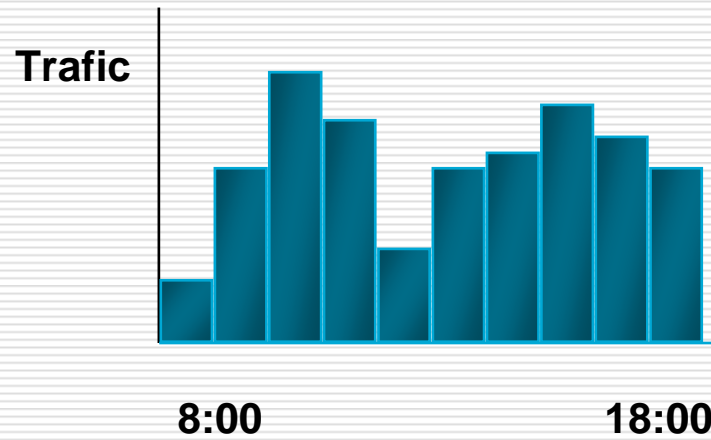
- L'unité de trafic est l'occupation permanente que les téléphonistes appellent « **Erlang** », en honneur de l'ingénieur Danois Agner Krarup Erlang (1878-1929), qui a été le pionnier de l'application du calcul des probabilités au téléphone.
- Si une machine est occupée 10 % du temps, son trafic est de 0,1 Erlang.
- On parlera indifféremment de « **trafic** » ou « **intensité de trafic** ».

La notion de trafic : précisions

- Dans le cas d'une seule machine, son trafic exprimé en Erlang est aussi sa probabilité d'occupation.
- Le trafic d'1 machine ne peut pas être supérieur à *1 Erlang*.
- Le trafic **A** d'un groupe de *N* machines ne peut pas être supérieur à *N Erlang*.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{T} = \frac{N \cdot t}{T}$$

Variations de trafic



La notion de trafic : exemples

- Exemple de calcul de trafic n°1 :

- L=10 000 usagers sont raccordés à un certain commutateur.
- Chaque usager a un trafic de a=0,1 Erlangs.
- Les appels durent t=3 minutes.
- Quel est le nombre N d'appels écoulés par heure par ce commutateur?
- → Le trafic total du commutateur est: $A = L.a = 10000 \times 0,1 = 1000$ Erlangs.

$$A = \frac{N.t}{T} \Rightarrow N = A \frac{T}{t} = La \frac{T}{t}$$

- → Donc le commutateur écoule $N=10000 \times 0.1 \times 60/3=20000$ appels par heure.

- Exemple de calcul de trafic n°2 :

- Soit un groupe de 400 joncteurs d'arrivée. Ces joncteurs sont pris 18 fois par heure.
- A chaque prise, ils saisissent un enregistreur pendant 12,5 secondes.
- Quel est le trafic du groupe d'enregistreurs?

- →
$$A = \frac{Nt}{T} = \frac{400 \times 18 \times 12.5}{3600} = 25 \text{Erlangs}$$

La qualité de service est constituée de deux paramètres principaux

- **Le taux de perte (refus)**
 - définit la probabilité de refus d'un appel
 - mesure souvent associée aux appels sortants de l'entreprise
 - et donc aux SPA et mixtes (voir chapitre PABX)
- **Le taux d'attente**
 - définit la probabilité de mise en attente d'un appel
 - mesure souvent associée aux appels entrants dans l'entreprise (musique d'attente dès l'arrivée chez l'abonné)
 - et donc aux SPB et mixtes (voir chapitre PABX)

Modèle des appels perdus

- Si aucun serveur (jonction, ou circuit) n'est disponible pour « écouler » un appel, cet appel est « perdu » (le réseau est signalé indisponible à l'abonné).
- La probabilité de perte est exprimée en fonction du nombre de serveurs (circuits) et du trafic qu'ils doivent supporter :

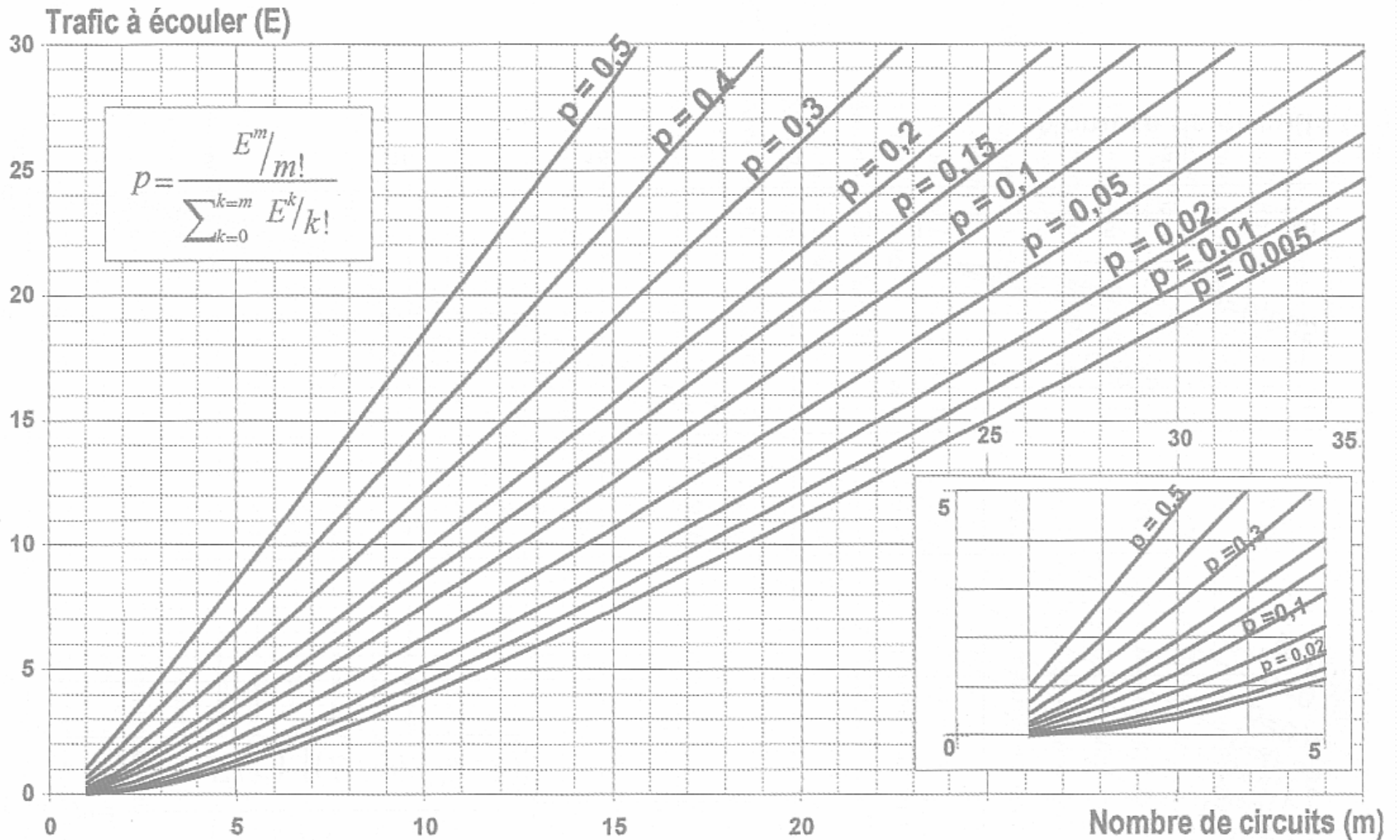
$$P_{perte}(N, A) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$$

Modèle à attente

- Le nombre maximum de clients actifs peut être à présent supérieur au nombre de serveurs si les clients (appels) sont mis en attente au lieu d'être rejetés (perdus).
- Probabilité de mise en attente d'un appel entrant, si le trafic est de A et N est le nombre de serveurs :

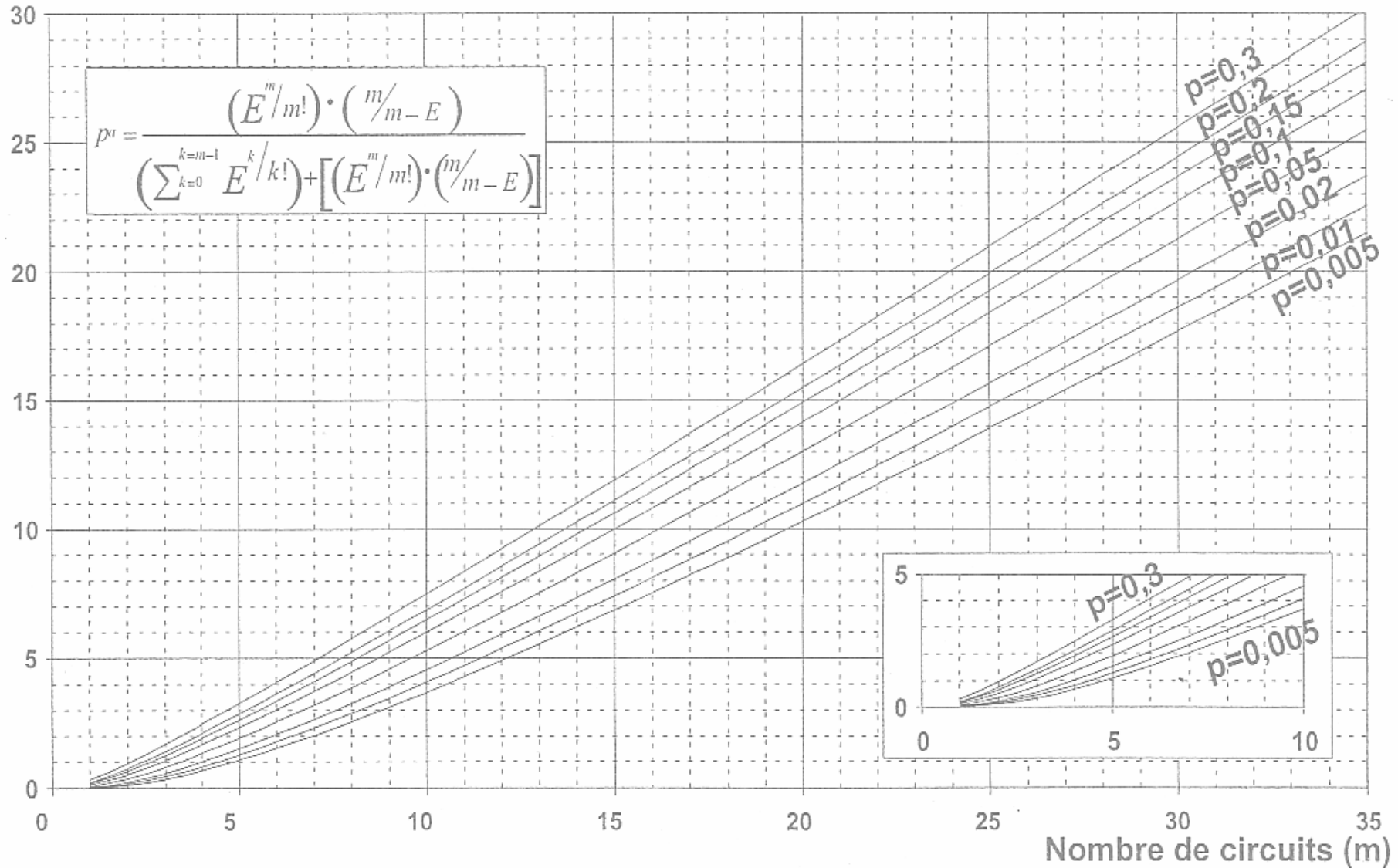
$$P_{attente}(N, A) = \frac{\left(\frac{N}{N-A}\right) \frac{A^N}{N!}}{\left(1 + A + \frac{A^2}{2!} + \frac{A^3}{3!} + \dots + \frac{A^{N-1}}{(N-1)!}\right) + \left(\frac{N}{N-A}\right) \frac{A^N}{N!}}$$

Modèle à refus



Modèle à attente

Trafic à écouler (E)



Exemple de dimensionnement d'un accès

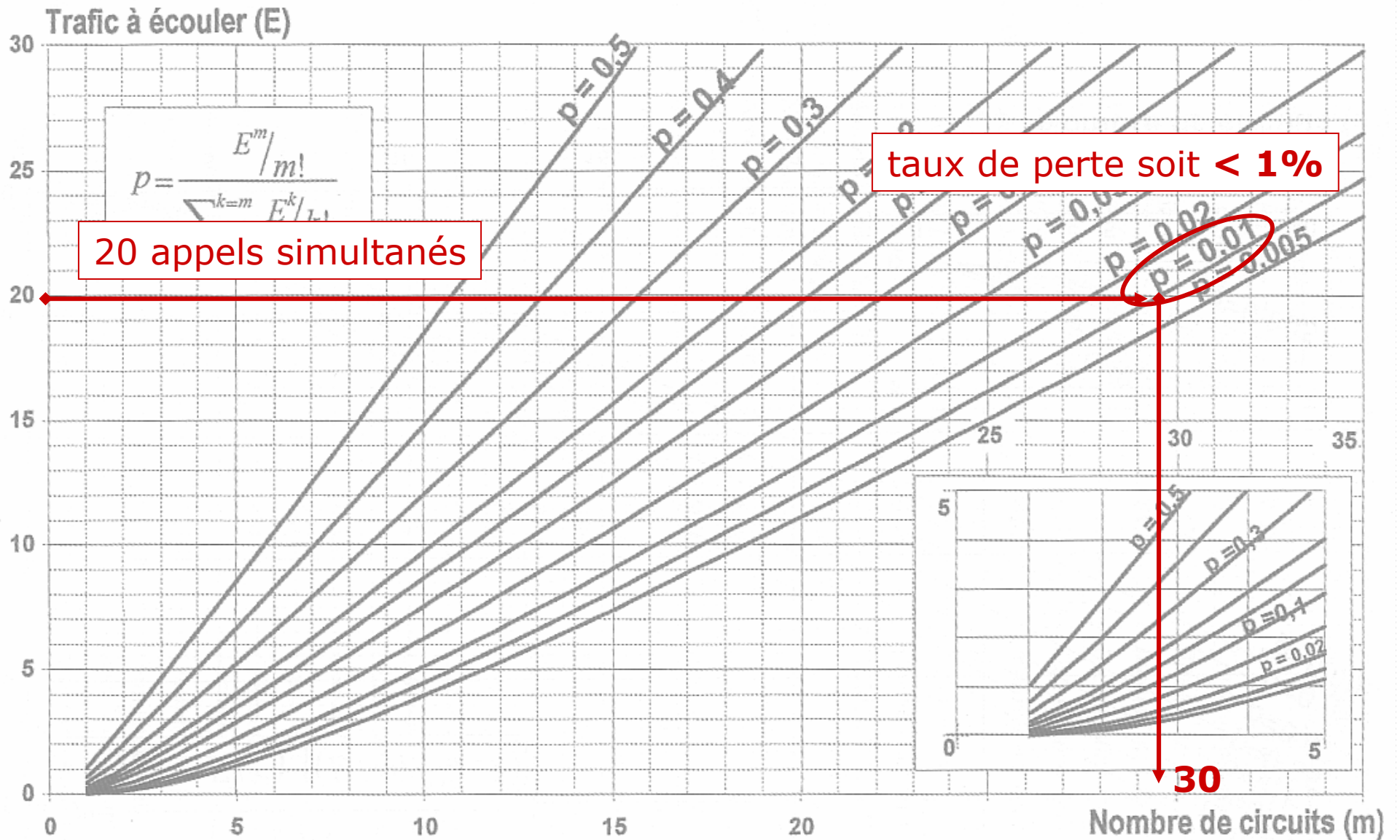
- Dans une entreprise, on a dénombré aux heures de pointes **200 appels** d'une durée moyenne de **6 minutes à l'heure.**
 - On désire que la probabilité de **perte** d'un appel à ces heures **n'excède pas 1%.**
-

Exemple de dimensionnement d'un accès

- **Intensité** = $200 \times 6 = 1200$ minutes/heure ou $1200/60 = \mathbf{20 Erlangs}$
 - La moyenne est donc de 20 appels simultanés

 - Si 20 voies de communications
 - on peut constater (abaque modèle à refus) que le taux de perte sera de **15 %** !
 - Pour que le taux de perte soit **< 1%**
 - il faut 30 voies
 - (30 circuits de communication = 1 accès MIC ou 1 accès primaire RNIS)
-

Modèle à refus






e.g. Orange:

"Calcul tarifaire standard"















<http://www.pricer.entreprises.francetelecom.com/servlet/pricer.traitementAccueil?operation=Accueil>

calcul tarifaire standard

Business Services 

Etape 2 sur 3 1 2   annuler

configuration numéris ap / appu / gab / gap / gappu

Produit	Accès Primaire 
Nombre d'accès 	1
Nombre de canaux 	15 
Abonnement temporaire 	<input type="radio"/> ≤1mois <input type="radio"/> >1mois et ≤12mois <input checked="" type="radio"/> Non
Garantie de temps de rétablissement 	<input checked="" type="radio"/> 8h-18h - (4h) <input type="radio"/> Jours et heures ouvrables (S2) <input type="radio"/> 24h/24, 7j/7 (S1)
Nombre de numéros SDA 	0 
Renvoi du terminal 	<input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non
Transfert d'appel sur non réponse 	<input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non
Sélections Permanentes d'Appels 	<input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non
Indication permanente de coût 	<input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non
Reprise de lignes analogiques 	0 

Partie 7 : De l'accès analogique au numérique - le RNIS

L'évolution de la téléphonie

R.N.I.S. = Réseau Numérique à Intégration de Services

I.S.D.N. = Integrated Services Digital Network

NUMERIS = Nom commercial du RNIS chez France Télécom

Découverte « rapide » du RNIS

- Principe
- Offre commerciale
- Services du RNIS

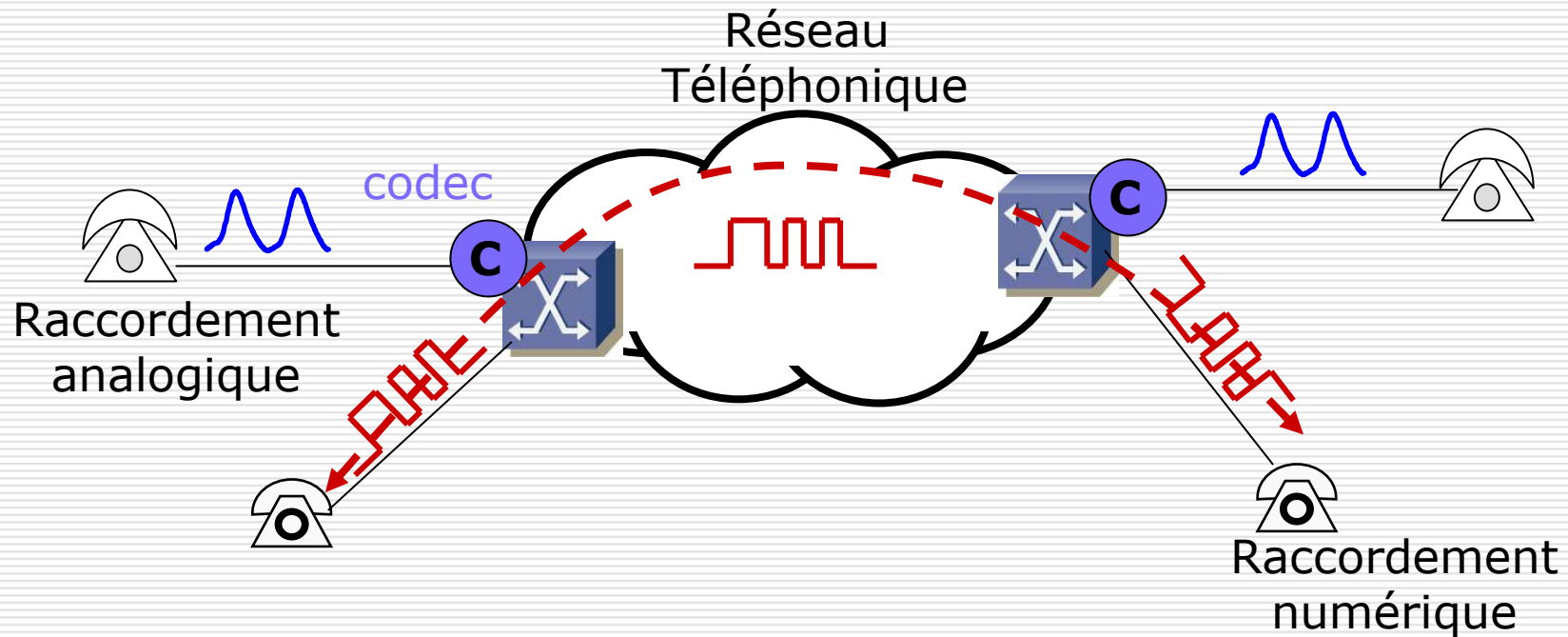
Fondements du RNIS

- 1970 : Premiers commutateurs numériques (commutation temporelle),
 - 1976 : Signalisation par canal sémaphore (CCITT n°7),
 - 1987 : Début du RNIS (FT Lannion et Rennes)

 - Avant
 - Le RTPC (réseau téléphonique public commuté) traditionnel utilisait sur une **connexion analogique** sur la boucle locale (entre le client et le plus proche central téléphonique)
 - "analogique" → limite la bande passante qui peut être obtenue sur la boucle locale

 - Le « futur »
 - But des opérateurs à l'époque
→ créer un réseau unique entièrement numérique
(la numérisation permettra l'interfonctionnement puis l'intégration progressive des réseaux existants)
-

Mode de raccordement RNIS



- Postes RNIS permettront une communication numérique de "bout en bout"
 - Un Poste « au sens large »
-

RNIS: 2 types de raccordement

□ L'accès de **base S0**

(Basic Rate Interface = **BRI**) ou "**connexion 2B+D**"

□ **2 canaux B**

□ et **un canal D** (à **16** kbps)

■ se contente d'une ligne téléphonique physique ordinaire

□ L'accès **primaire S2**

(Primary Rate Interface = **PRI**)

■ aux USA et au Japon : "**connexion 23B+D**"

□ 23 canaux B

□ et un canal D (à 64 kbps)

□ nécessite une ligne débitant 1,6 Mbps
(normalisée sous le vocable **T1**)

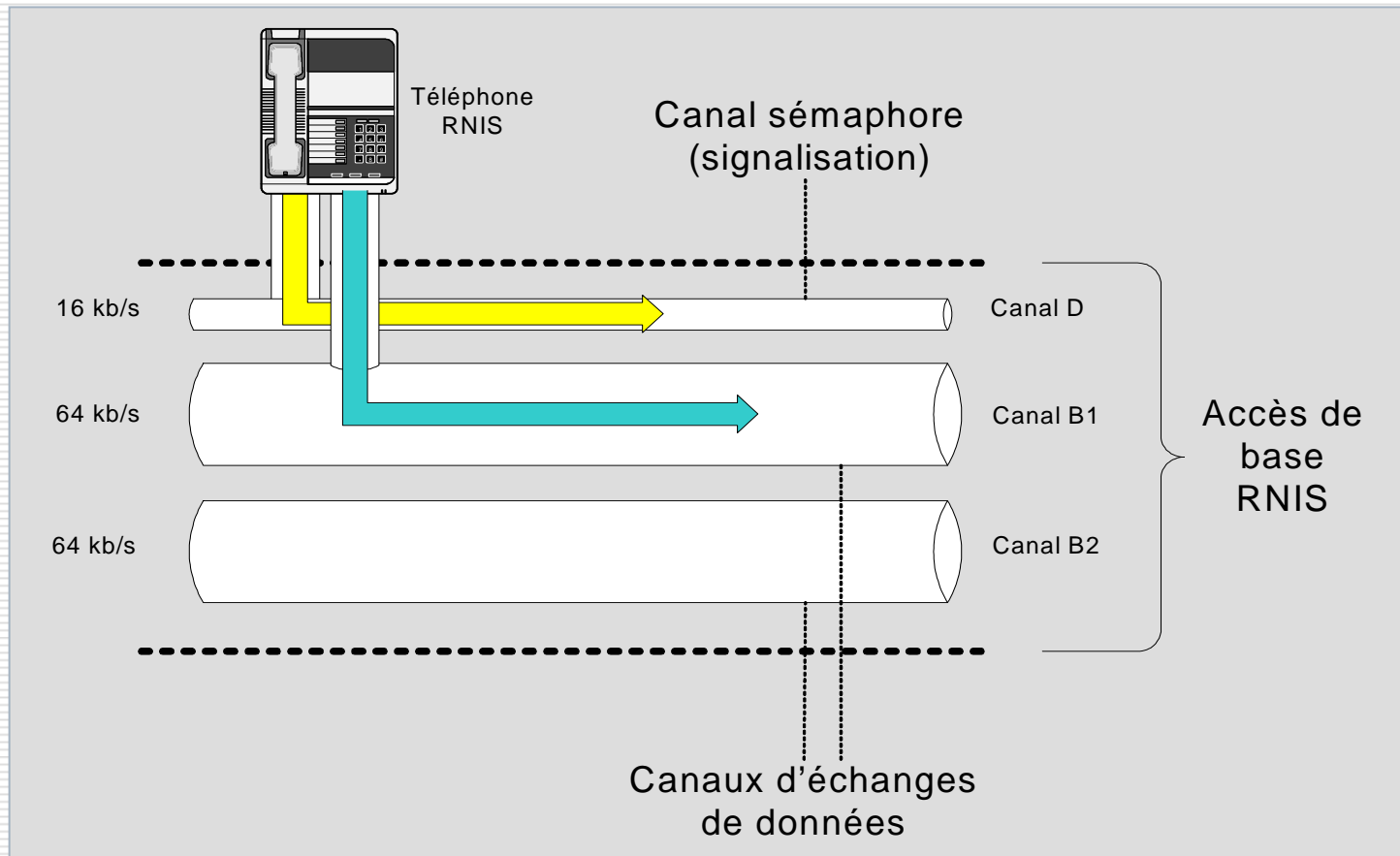
■ en Europe : "**connexion 30B+D**"

□ **30 canaux B**

□ et **un canal D** (à **64** kilobits/sec)

□ nécessite une ligne débitant 2 Mbps
(normalisée sous le vocable **E1** ou **T2**)

Accès de base S0/T0



Propriétés des canaux

- canaux en **full duplex**

 - les canaux B peuvent être utilisés
 - **séparément**,
 - ou **réunis** à plusieurs pour créer une liaison fonctionnant à un multiple de 64 kbps
 - Canaux H (comme High Speed Channel)
 - H0 = 384kbps
 - H11 = 1 536kbps
 - H12 = 1 920kbps
-

RNIS: Détail sur les accès

- **Canal B** = circuit de données (parole, FAX...) à 64 kbps
 - **Canal D** = circuit de signalisation à 16 kbps ou 64 kbps

 - **Accès de base = 2 B + D**
 - $2 \times 64k + 16k = 144$ kbps utiles
 - **Accès primaire = 30 B + D**
 - $30 \times 64k + 64k = 1984$ kbps utiles
 - (aux USA : $23 B + D = 1536$ kbit/s)

 - Un accès de **base** permet **d'établir simultanément deux communications** à 64k (téléphonie, fax ...) et un accès vers le réseau de commutation de paquets (TRANSPAC) via le canal signalisation

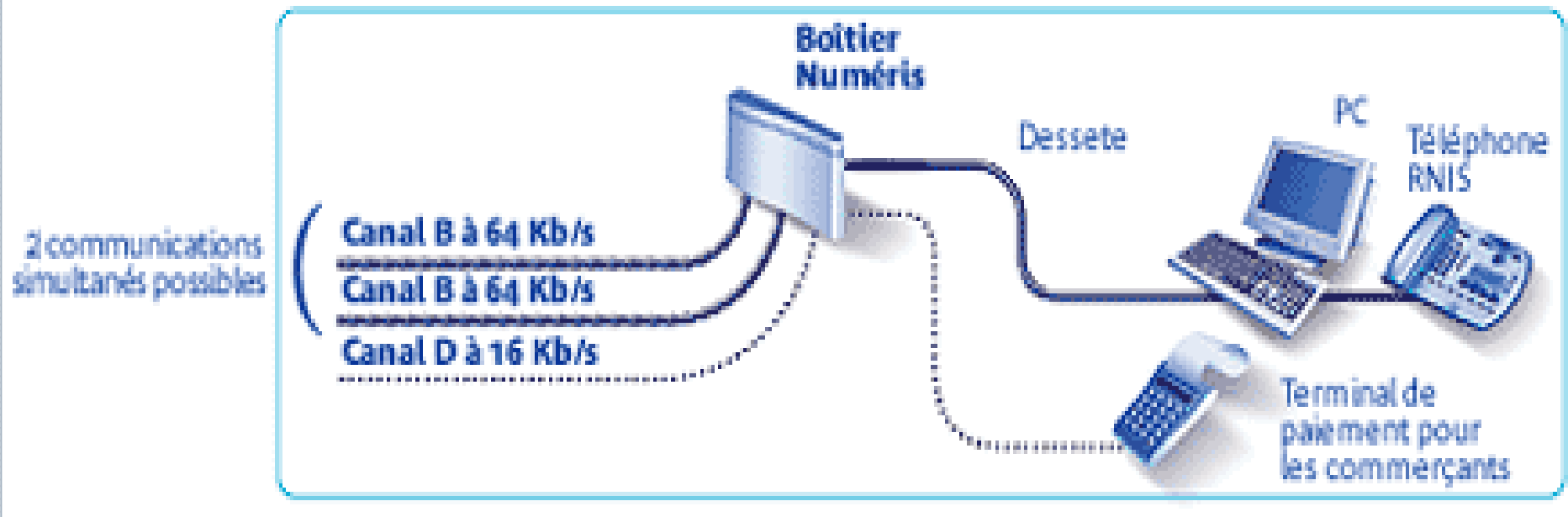
 - Un accès **primaire** utilisera une liaison de type **MIC** TN1 ($32 \times 64k = 2048$ kbit/s) que l'on raccordera à un **PABX**
-

RNIS français = offre Numéris

- Plusieurs offres différentes :
 - Accès de base ou groupement accès de base (jusqu'à 6)
 - Numéris Duo
 - Accès primaire ou groupement d'accès primaires
-

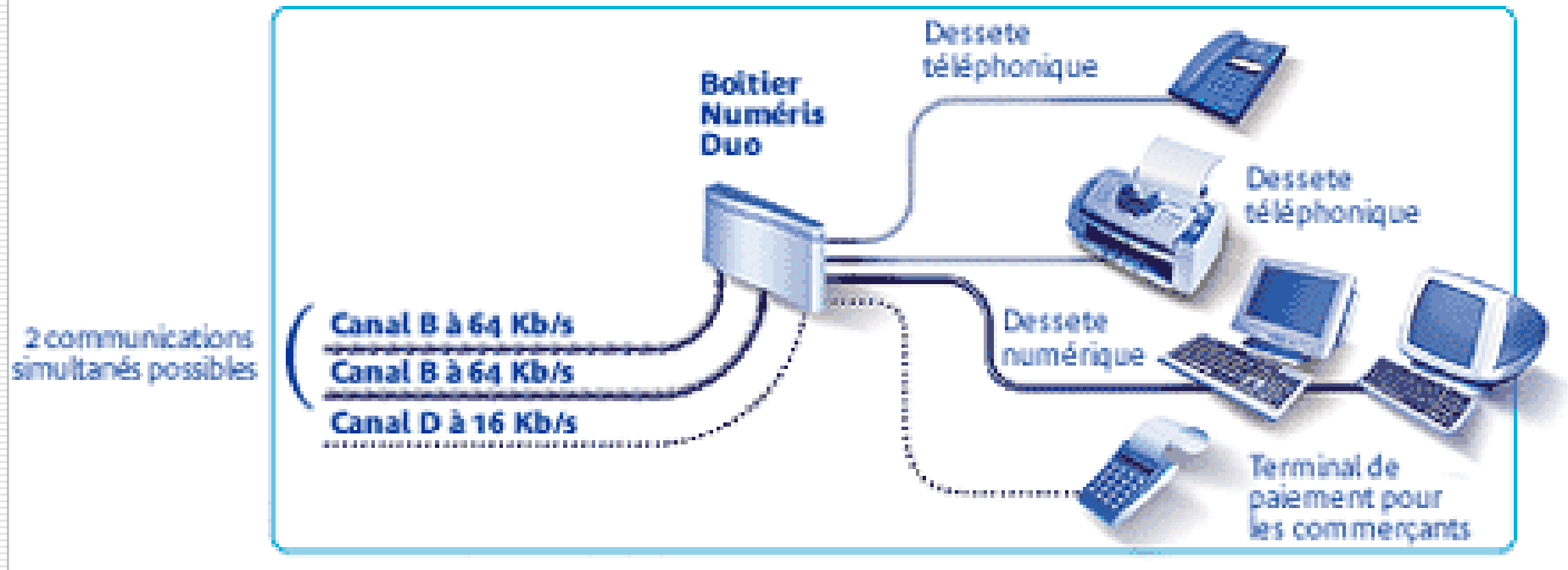
Accès de Base Numéris

Accès de Base Numéris :



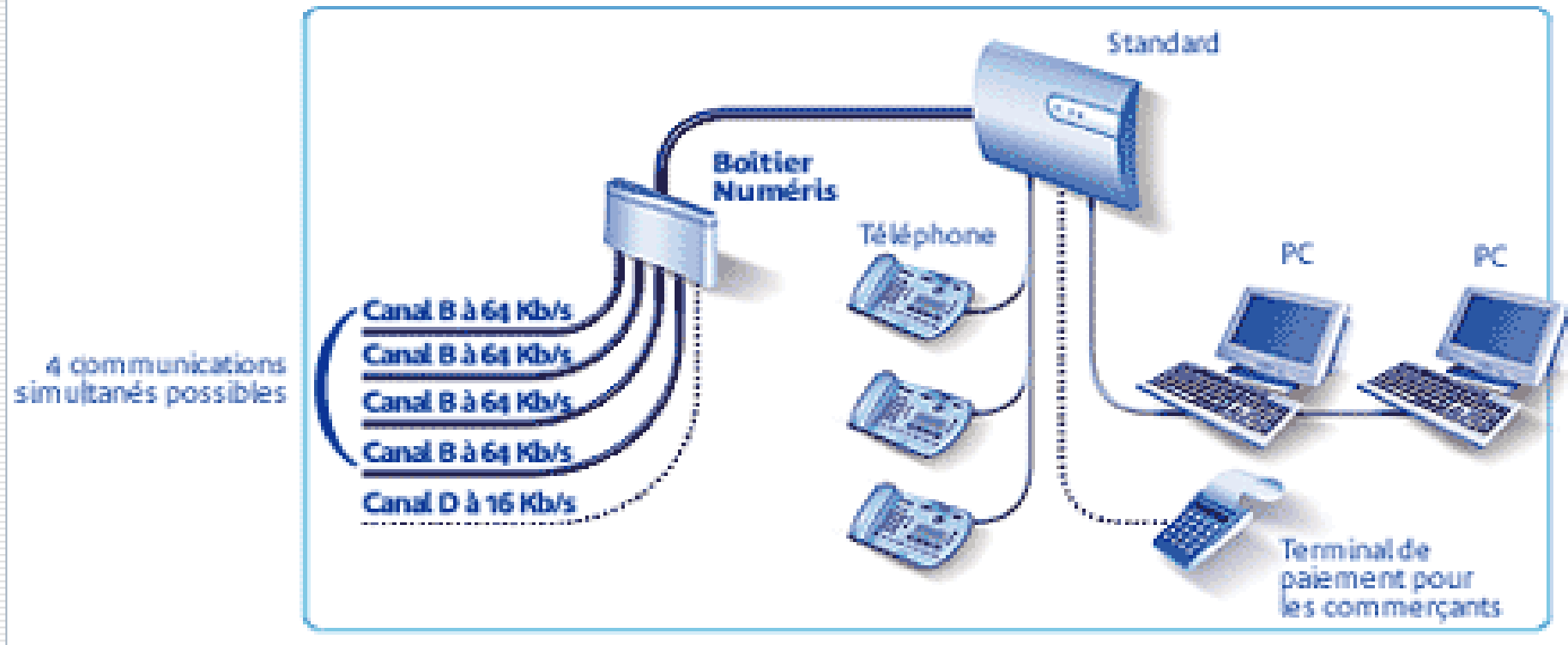
Numéris Duo

Numéris Duo :



Groupement d'accès de Base

Groupement de 2 Accès de Base :



Techniques de transmission

□ Accès primaire

- On a initialement réutilisé les techniques de liaison MIC déjà existantes (liaison 4 fils avec répéteurs éventuels), actuellement on préfère utiliser une technologie DSL sur une ou 2 paires

□ Accès de base

- Transmission duplex sur une paire avec annulation d'écho
 - Avec une transmission de type DSL, il est éventuellement possible de grouper plusieurs accès de base sur une seule paire
-

SERVICES DU RNIS

3 catégories de services RNIS

- Les **services supports** sont fournis par l'opérateur
 - ne concernent que les couches basses (maximum couche 3)
 - les caractéristiques de qualité, débits, mode de facturation sont définies
 - capacités de transmission établies par le réseau pour supporter les flux d'information au point de référence S.

 - Les **téléservices** concernent les utilisateurs et couvrent les 7 couches OSI
 - transportés par un service support
 - garantissent la compatibilité et l'interconnexion de terminaux.
 - interviennent pour la sélection du terminal.
 - Offerts de bout en bout, au niveau du terminal et non plus au point de référence S.
 - certains téléservices sont normalisés (téléphonie, télécopie ...)
 - Applications aux normes internationales.

 - Les **compléments de services** sont des prestations additionnelles
 - à des supports (info taxation...)
 - ou à des téléservices (conférence sur téléphonie seulement...)
-

Téléservices

- Base (RTC):
 - Téléphonie 300..3400Hz
 - Télétex
 - télécopie G3
 - Vidéotex

 - RNIS:
 - Téléphonie 7kHz
 - télécopie G4
 - télétex mode mixte
 - vidéotex photo
 - Visiophonie
 - téléaction...
-

Compléments de service

- La plupart d'entre eux sont des facilités déjà connues et offertes sur certains réseaux ou par les PABX
 - Le RNIS vise à la généralisation nationale et internationale de ces compléments
 - Compléments de base :
 - Identification de l'appelant
 - présentation d'appel
 - sélection du terminal
 - Portabilité
 - Compléments facturés en sus :
 - Secret identification
 - SDA
 - Transfert
 - Renvois
 - Information de coût ...
-

>15 compléments de services

□ Les plus importants:

- Identification d'appel
 - Identification d'appels malveillants (nécessite une décision de justice)
 - Minimessage (32 caractères)
 - Indication du coût
 - **Sélection directe à l'arrivée**
 - Sous Adresse
 - Renvoi du terminal
-

Identification d'appel

- Ce mécanisme sera utilisé par les équipements d'interconnexion.
 - Permet à l'utilisateur de connaître l'identité de l'utilisateur demandeur
 - Numéro de l'installation (NDI) fourni par le réseau ou numéro du terminal (NDS) complété éventuellement de la sous-adresse
 - **NDI** : Numéro de désignation de l'installation = numéro de la tête de ligne
C'est le numéro que devra fournir l'équipement d'interconnexion de réseaux
 - **NDS** : Numéro de désignation supplémentaire programmé par l'utilisateur sur son terminal
-

Sélection Directe à l'Arrivée

□ SDA

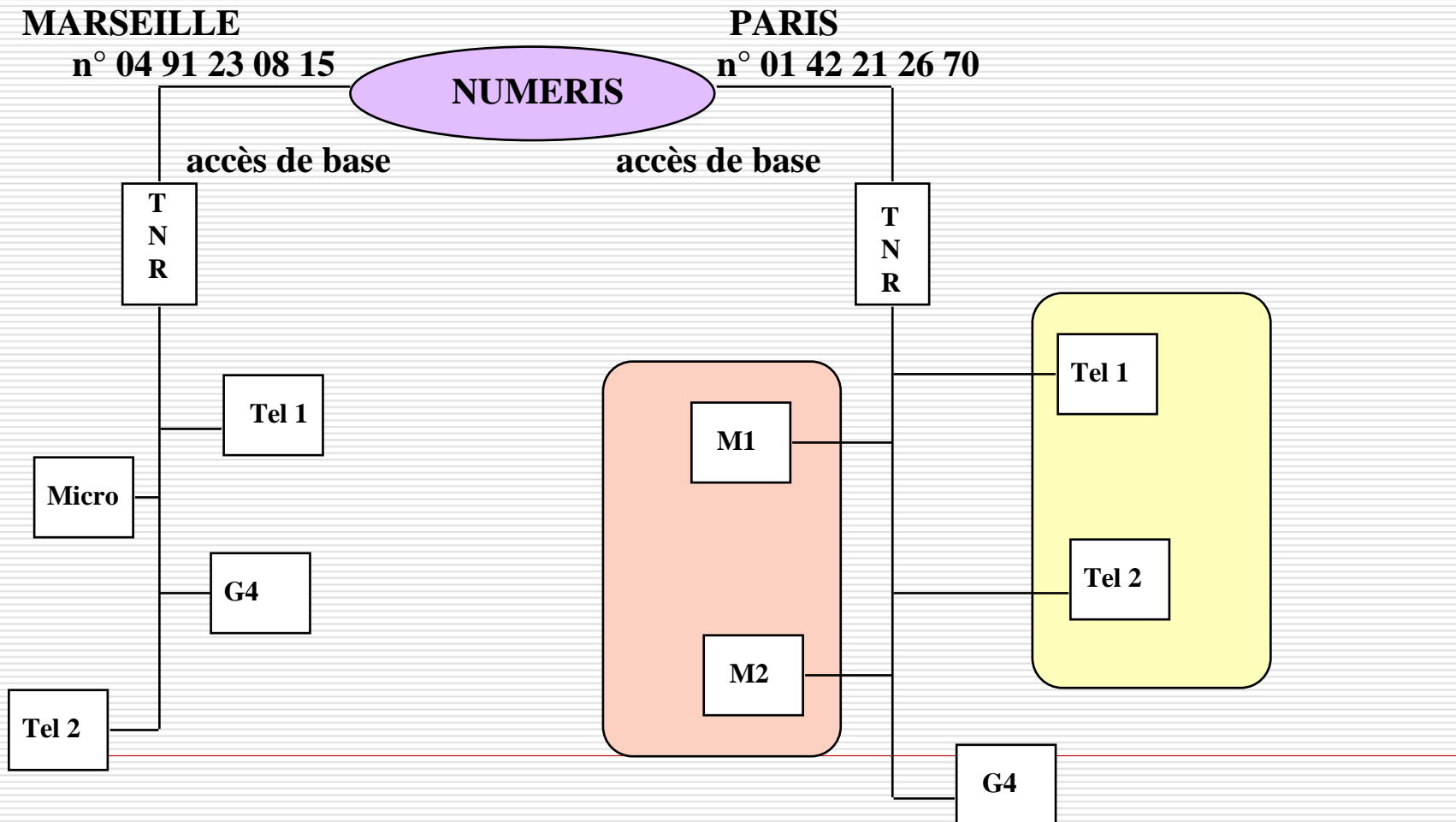
- Permet de sélectionner un terminal ou un groupe de terminaux, au sein d'une installation, au moyen **d'un numéro spécifique du plan d'adressage national**
- Les numéros de SDA sont enregistrés dans le commutateur du réseau qui lors d'un appel qui arrive transmet systématiquement les quatre derniers chiffres du numéro demandé
- C'est un service payant

→ Voir plus loin dans chapitre PABX

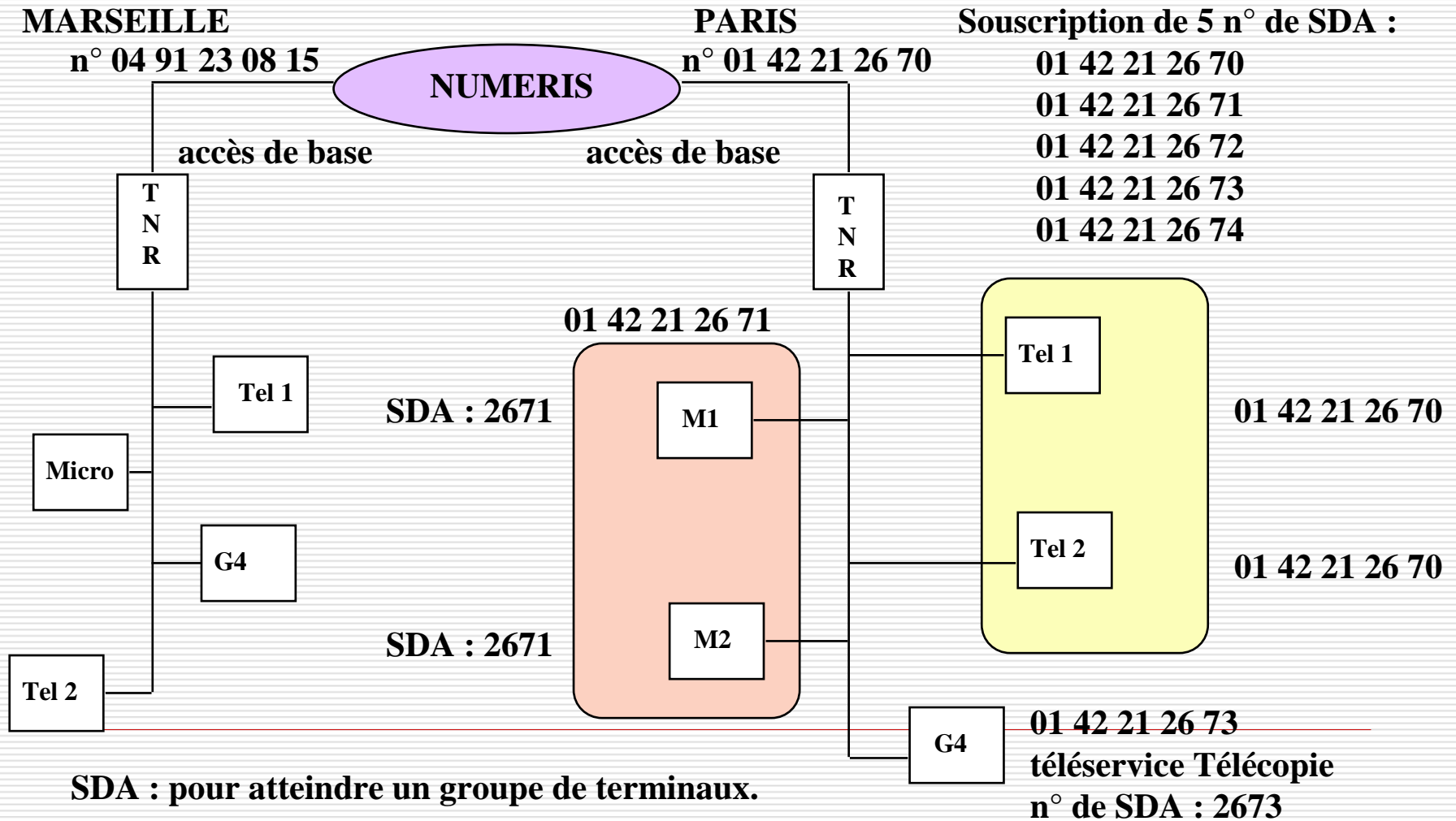
Sous-adresse

- Sous-adresse
 - Permet de sélectionner une entité à l'intérieur d'une installation en **complétant le numéro principal par 1 à 4 caractères alphanumériques**
 - Permet à un demandeur de compléter l'identification
 - Ne se substitue pas à la SDA, elle permet de compléter en interne les moyens de sélection d'un terminal où d'une fonction dans un terminal multimédia
-

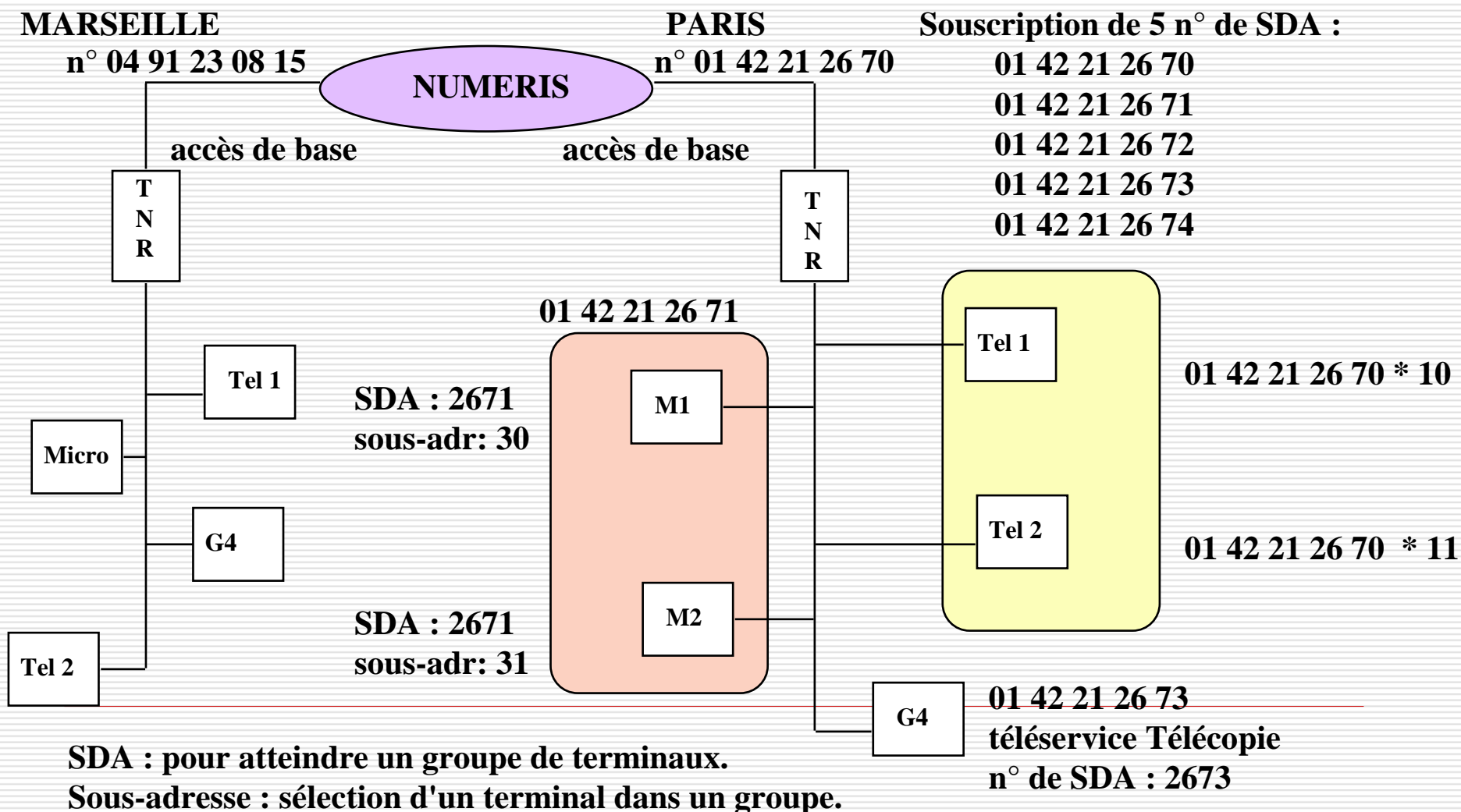
Usage de la SDA et de la sous-adresse



Usage de la SDA et de la sous-adresse



Usage de la SDA et de la sous-adresse



Numeris et Transpac

- Raccordement à Transpac par le canal D.
 - depuis la version VN3 de Numéris, accès à Transpac par le canal D
 - Nécessite un raccordement Numéris et l'option LLP (Liaison Logique Permanente).
 - Débit maximal de 9.6 Kb/s
 - Facturation :
 - Abonnement Numéris + abonnement complémentaire.
 - Coût au volume émis ou reçu.
 - Le prix du CV Transpac est facturé en sus, au même tarif que celui d'une LS à 9.6 Kb/s (Volume + Durée).
-

Les coûts

- Accès de base S0
 - Frais d'accès au réseau
 - Abonnement mensuel
 - Accès primaire
 - Frais d'accès au réseau
 - Abonnement mensuel par canal B avec une perception minimum
 - Tarif des communications, service donné à 64 Kbit/s
 - Mise en oeuvre des périodes de tarifications téléphoniques:
 - Rouge, Blanc, Bleu, Bleu nuit.
 - Pour un canal B, le coût est maintenant identique au téléphone
-

Partie 7: Réseau privé et PABX

- **Fonctionnalités**
- **Architecture**
- **Interconnexion**
- **Signalisation**

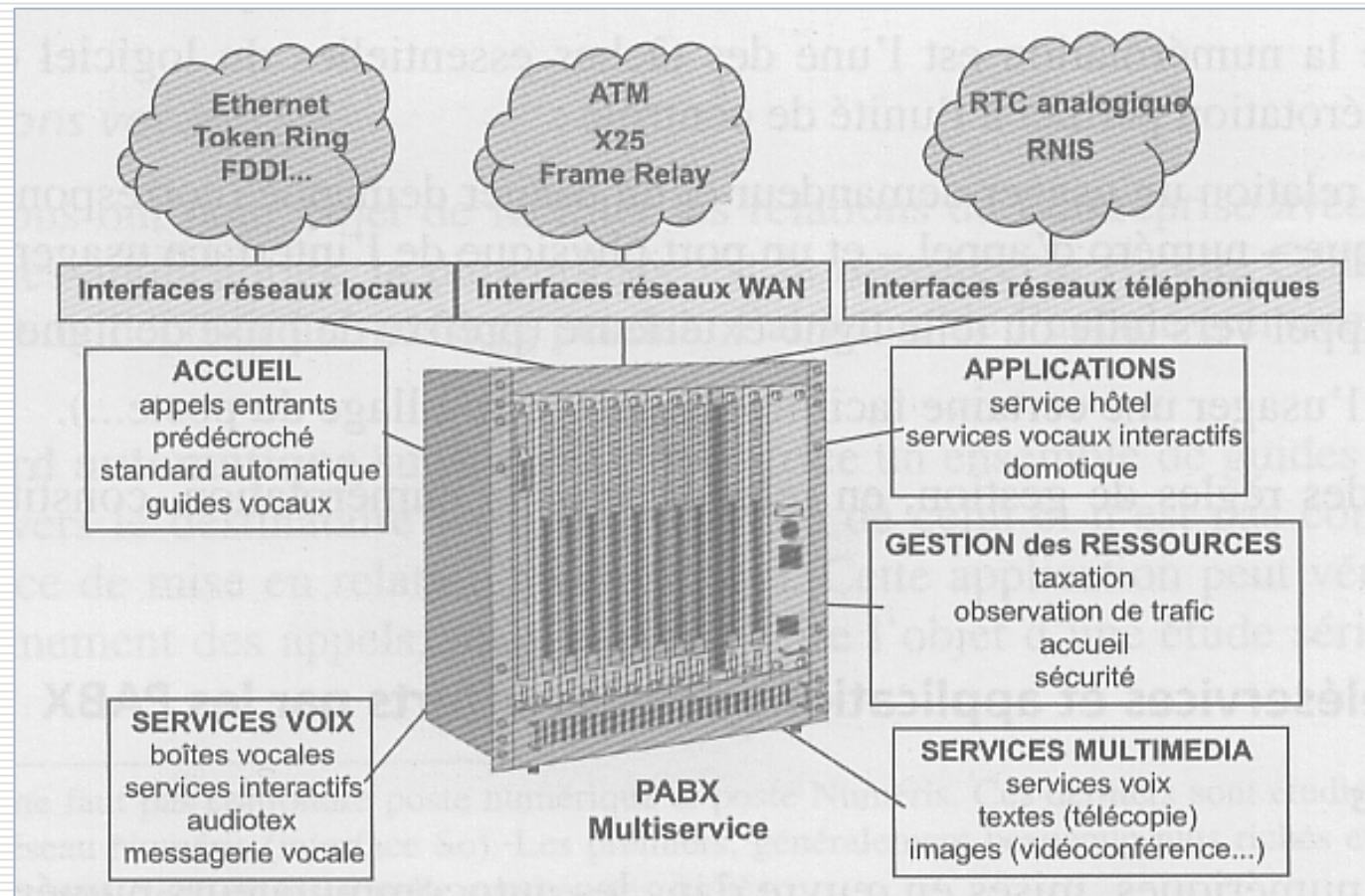
Installation d'abonné et réseau privé de téléphone

- Qu'est-ce qu'un PABX ou autocommutateur privé ?
 - Constitution
 - Raccordement
 - fonctionnalités
 - Dimensionnement de l'autocommutateur et du raccordement à l'opérateur
-

Introduction

- Réseau téléphonique appartenant à l'entreprise
 - Connecté aux réseaux publics (accès externes)
 - Utilisation d'un ou plusieurs PABX (Private Auto Branching eXchange), ou autocommutateurs
 - Concentrateurs (prises téléphoniques)
 - Routeurs (internes, externes)
-

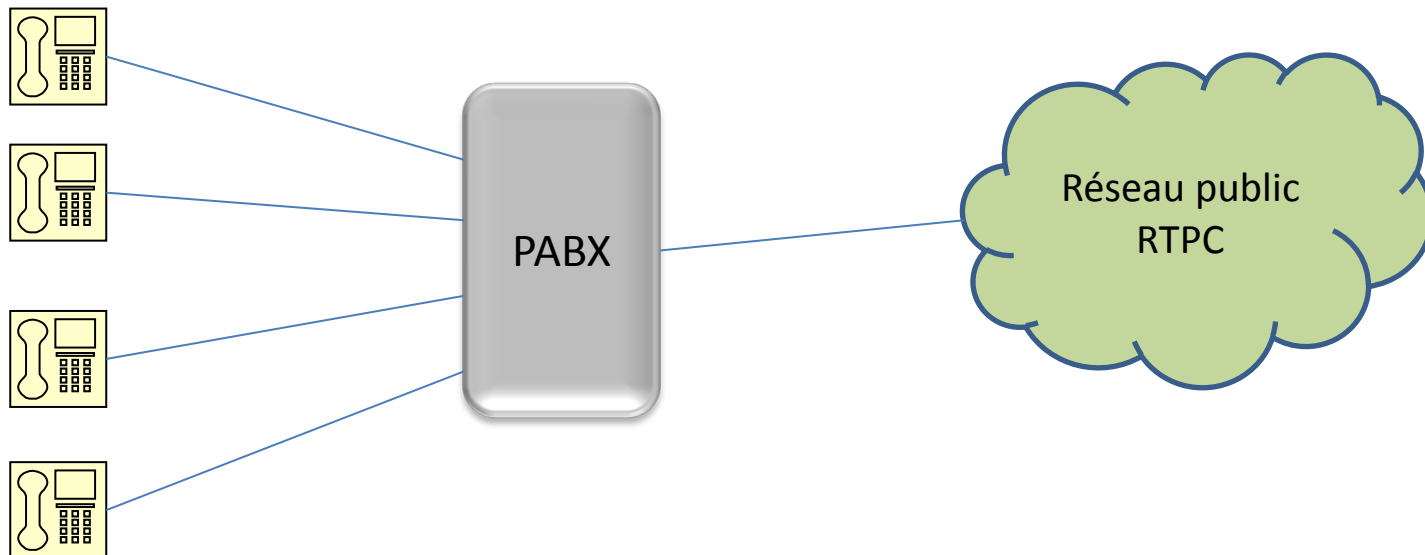
Qu'est-ce qu'un autocom ?



- Nécessité d'un **plan de numérotation interne**
- Définition des **accès vers et depuis l'extérieur**
- Surveillance des **coûts** téléphoniques = taxation

Fonctions d'un PABX

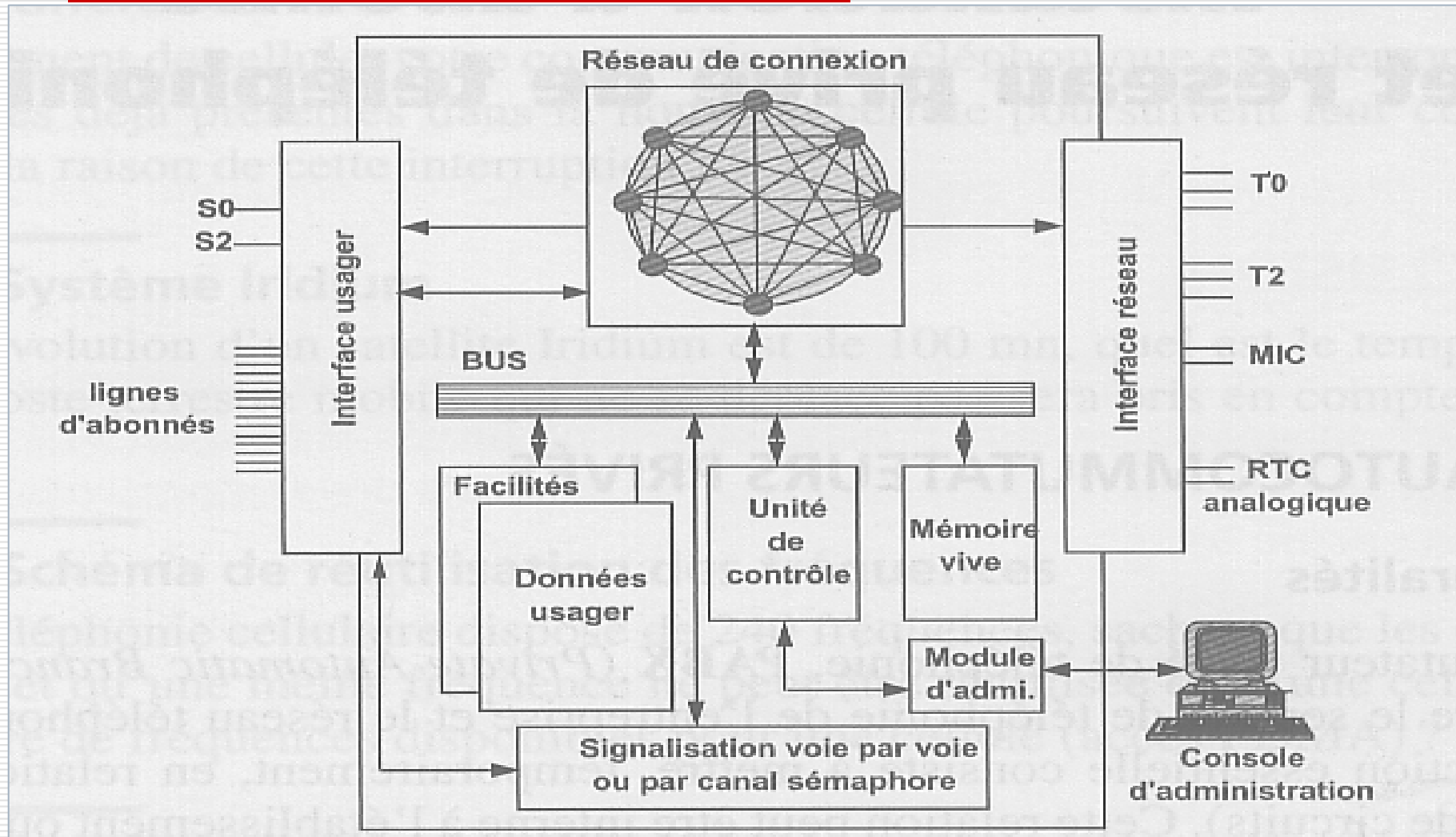
- (Auto)Commutateur Privé
- Private Branch Exchange (PBX)
- Le PABX est le commutateur privé situé dans l'entreprise et assurant l'infrastructure nécessaire à un réseau téléphonique privé, indépendant du réseau public mais qui lui y est relié.
 - Schéma de base:



Fonctions d'un PABX

- ❑ de relation (réception des demandes, envoi des réponses... via signalisation)
 - ❑ de commande (recherche itinéraire, taxation, signalisation, rupture communication...)
 - ❑ de connexion (mise en place d'un support de communication)
 - ❑ de surveillance (qualité, état)
 - ❑ d'exploitation (observation du trafic, évolutions...)
 - ❑ de maintenance (tests, taux d'erreurs, localisation des défauts)
 - ❑ de services particuliers (CTI ...)
-

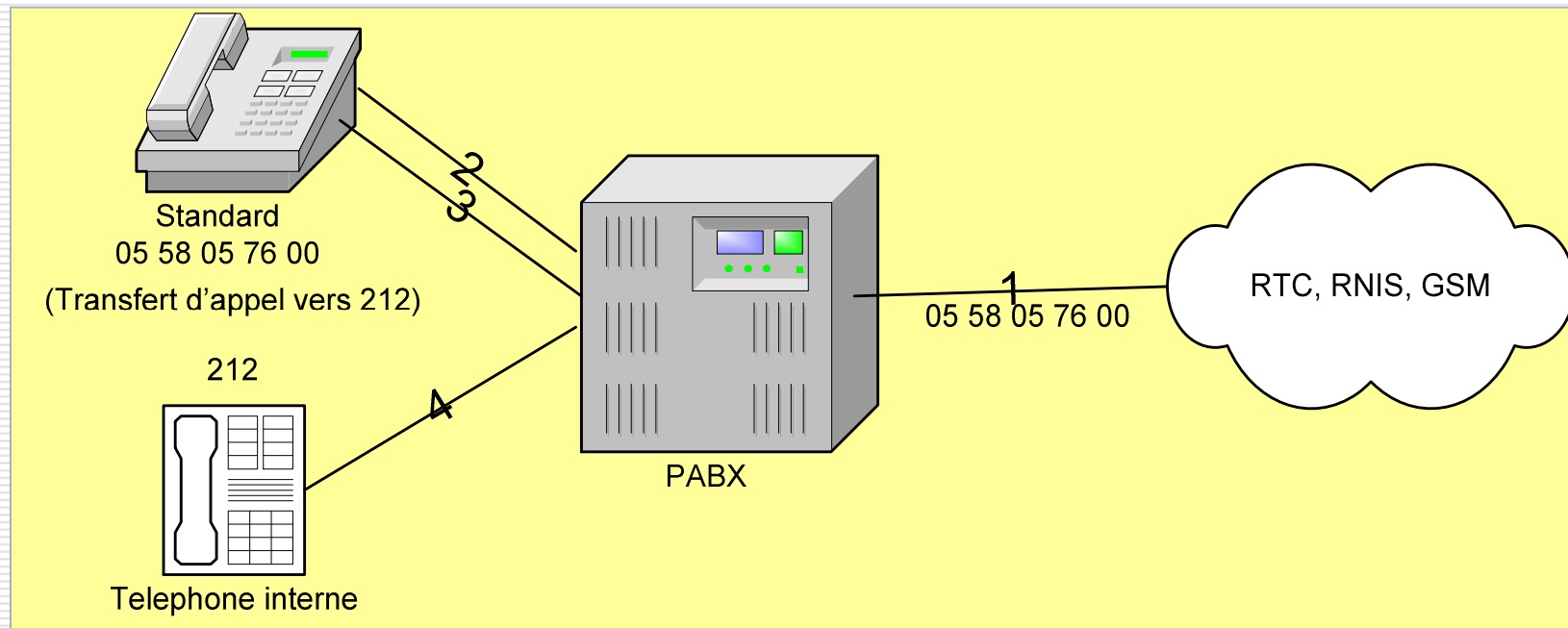
Architecture interne d'un PABX



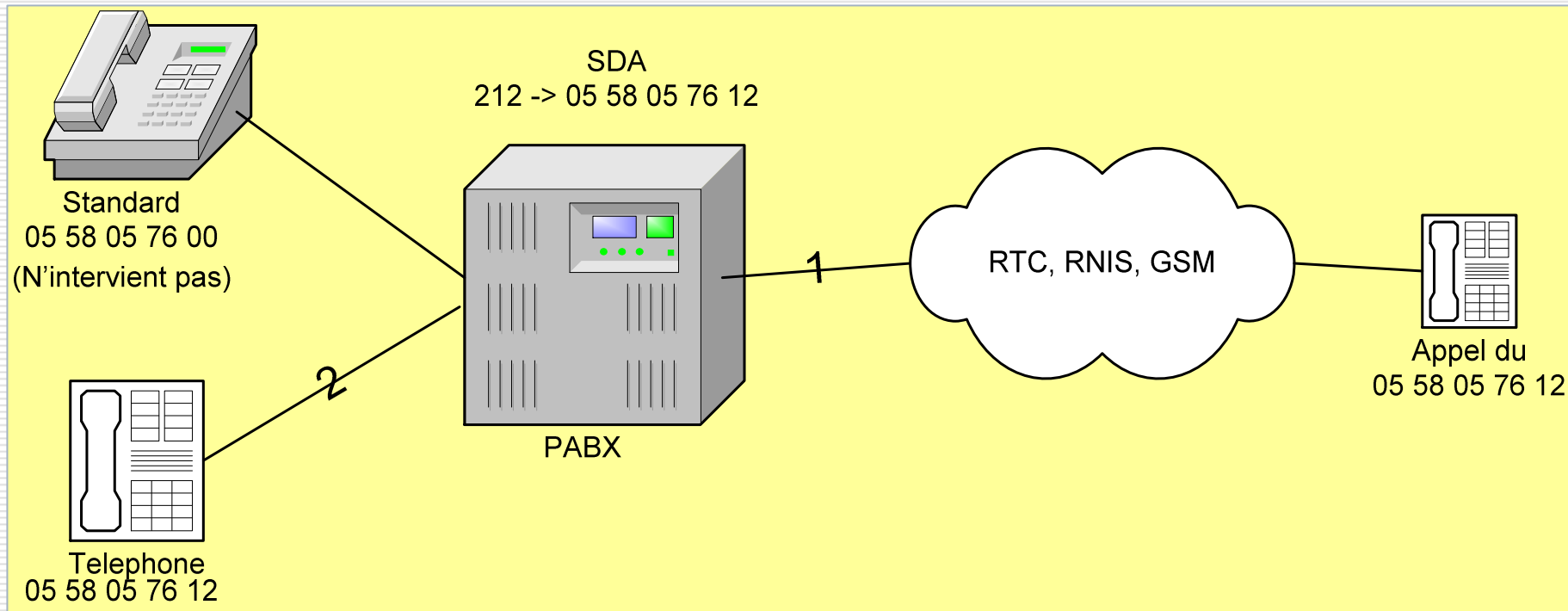
Sert d'accès depuis l'extérieur

- Interconnexion avec les réseaux publics
 - Appel du standard + redirection par le standard
 - Appel direct sur le poste
 - **Sélection Directe à l'Arrivée (SDA)**
 - L'ensemble des numéros accessibles depuis l'extérieur donne l'ensemble des numéros à demander à l'opérateur téléphonique
 - 4 derniers numéros toujours transmis par le commutateur de raccordement
-

Interconnexion avec les réseaux publics



Interconnexion avec les réseaux publics



Facilités offertes par les PABX

- Classées dans l'ordre de préférence des utilisateurs
 - transfert d'appel,
 - numérotation abrégée,
 - RASPO (rappel sur poste occupé),
 - SDA (sélection directe à l'arrivée),
 - double appel,
 - renvoi,
-

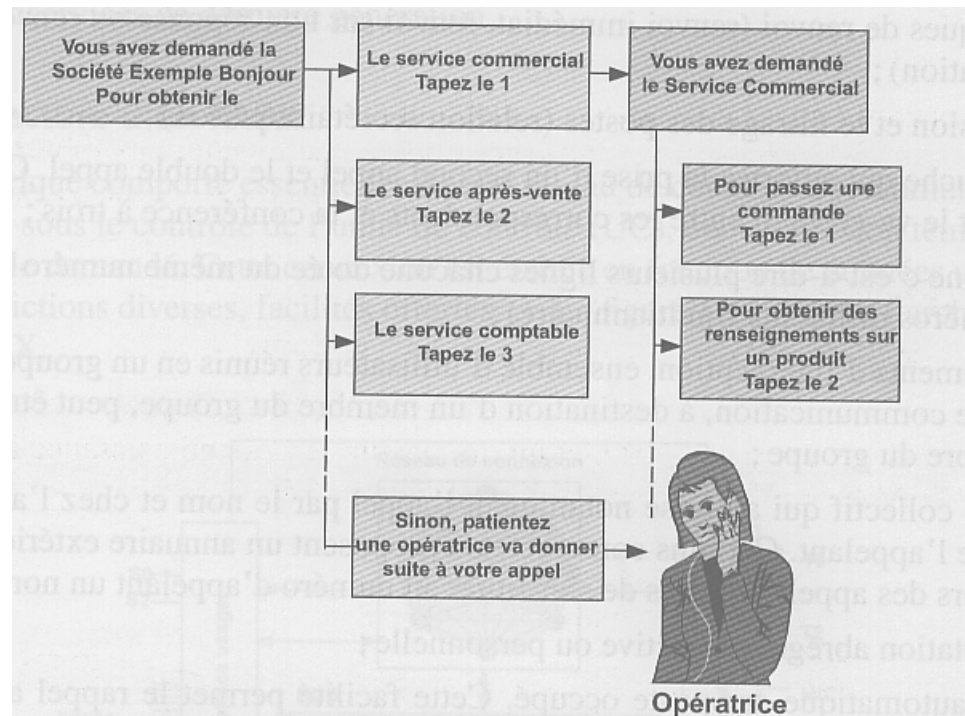
Facilités offertes par les PABX

- autres facilités appréciées
 - indication d'appel en instance,
 - interception d'appel,
 - mise en garde,
 - identification de l'appelant,
 - renvoi fixe / filtrage,
 - va et vient,
 - **guide parlant**,
 - parcage,
 - messagerie vocale,
 - conférence à 3,
 - substitution,
 - groupement de poste,
 -  ré-décroché

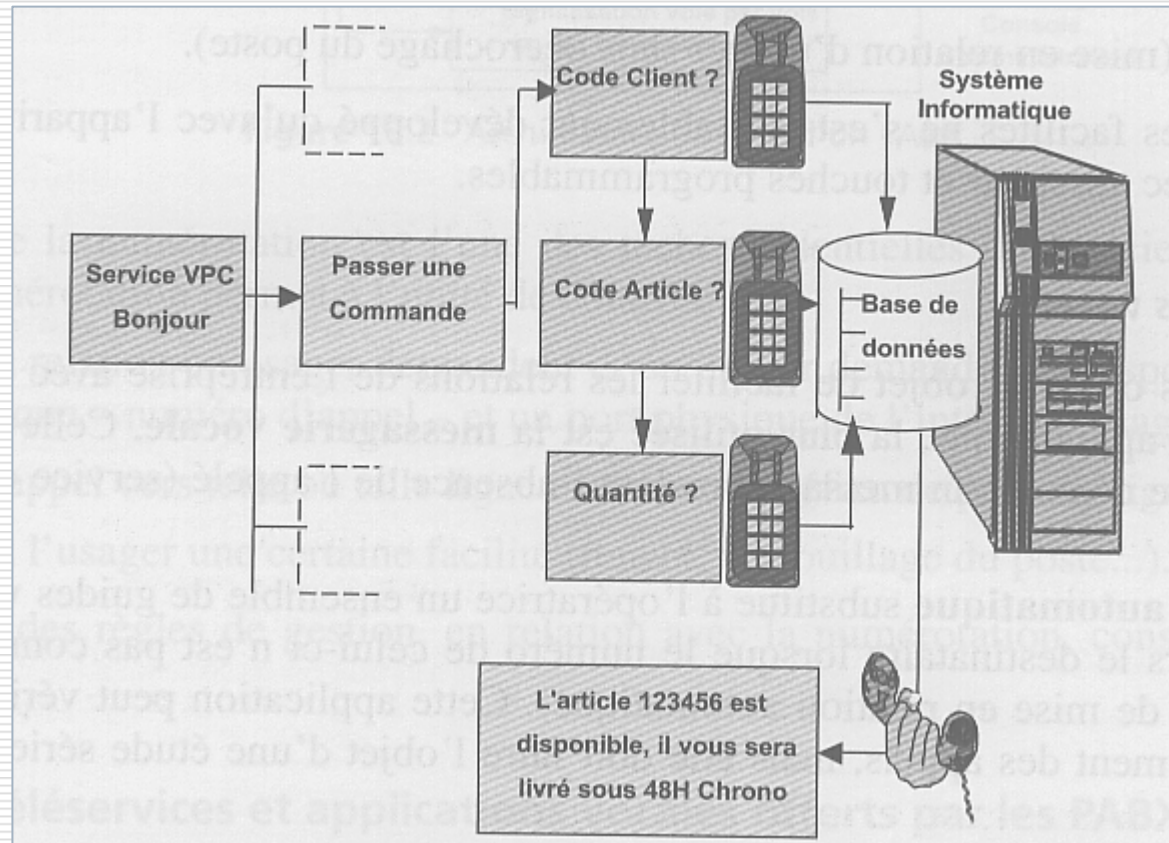
 - MTBF élevé
 - La disponibilité classique est de **99,999%** soit moins de 5 mn de coupure par an.
-

DTMF et IVR

Interactive Voice Response (IVR) est une technologie permettant à un ordianteur d'interagir avec un humain par la voix et des entrées clavier DTMF : **Dual-tone multi-frequency signaling**.

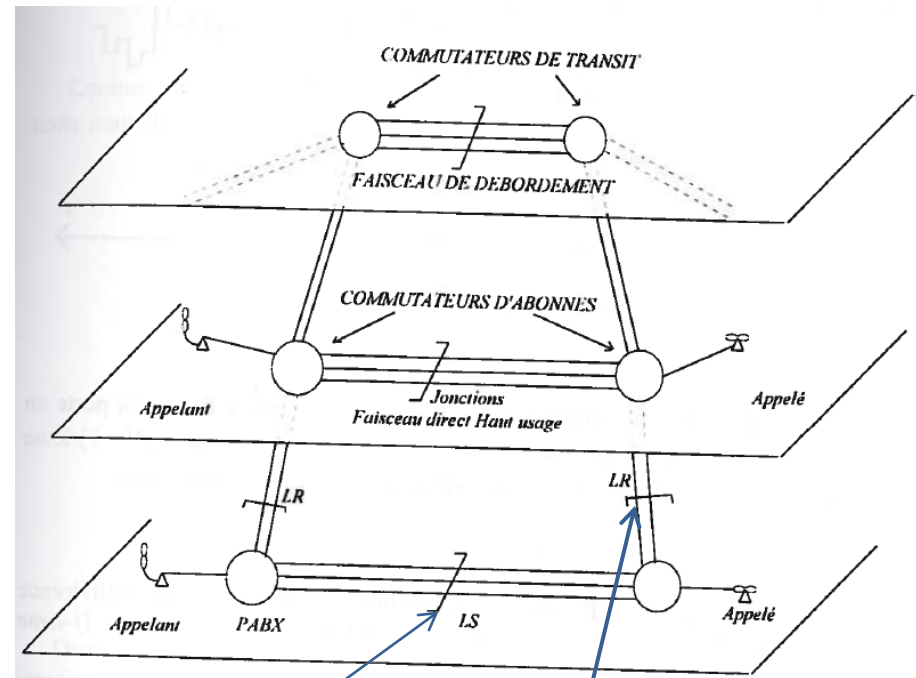


Serveur audiotex



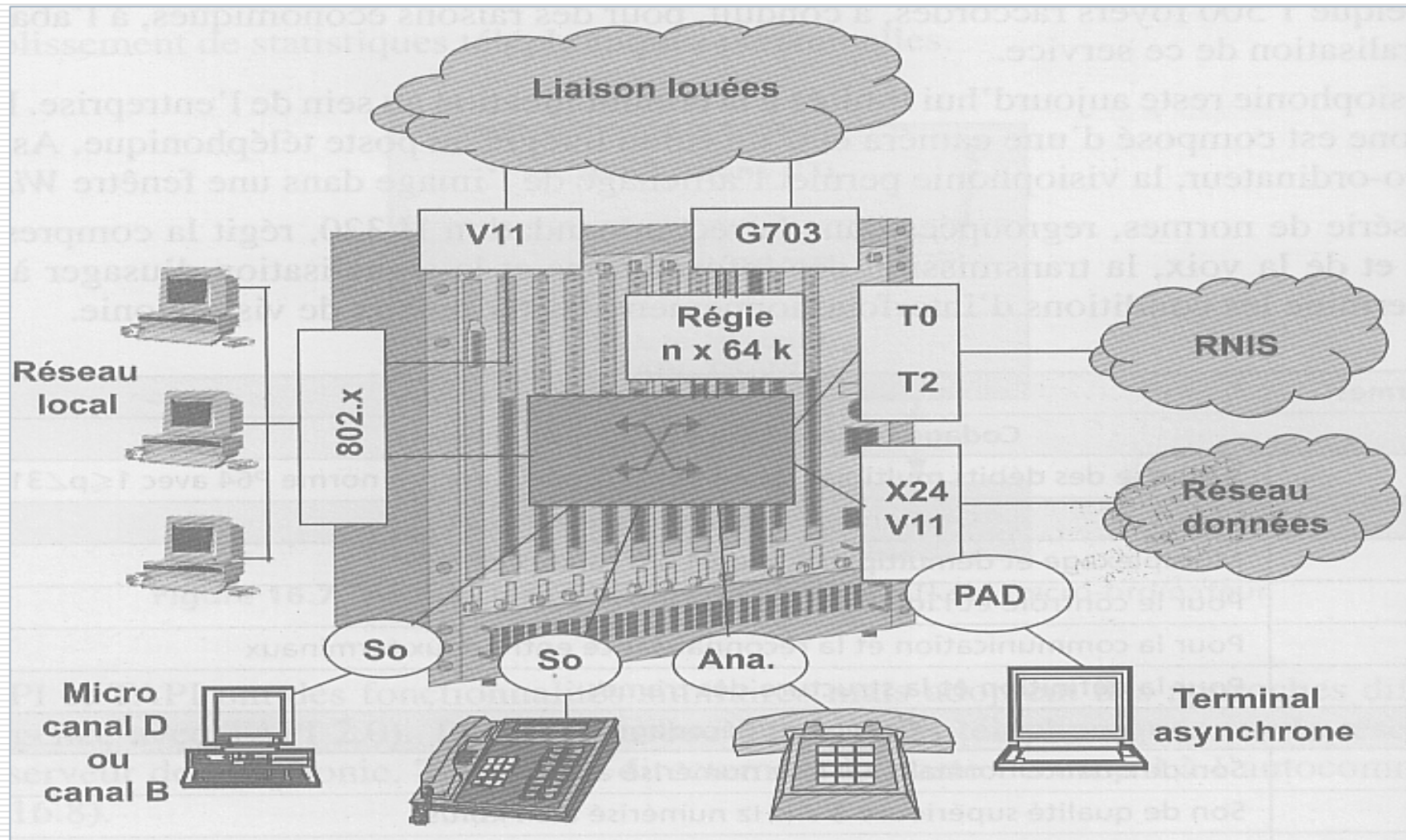
Interconnexions de PABX

- Tant que le trafic le justifie, les CA sont reliés par des jonctions directes, sinon les appels sont dirigés vers les CT.
- De la même façon, les entreprises peuvent choisir de relier les PABX de leurs sites distants par des *lignes louées*, ou *lignes spécialisées*, si le trafic le justifie.
- Sinon, le PABX commute l'appel (ou les données) sur les *lignes réseau* publiques.

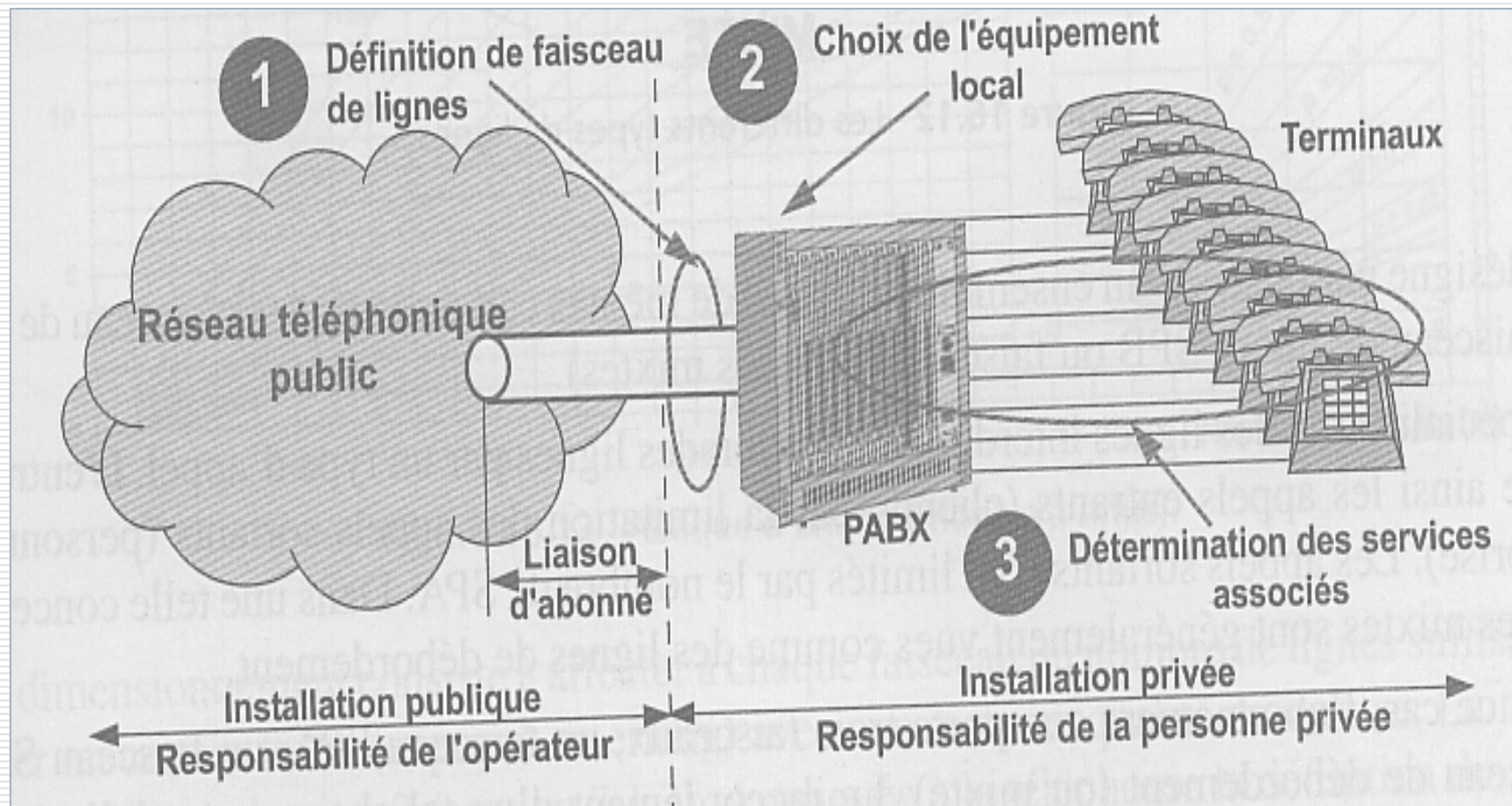


Lignes Spécialisées Lignes Réseau

PABX et transmission de données



Frontière de responsabilité

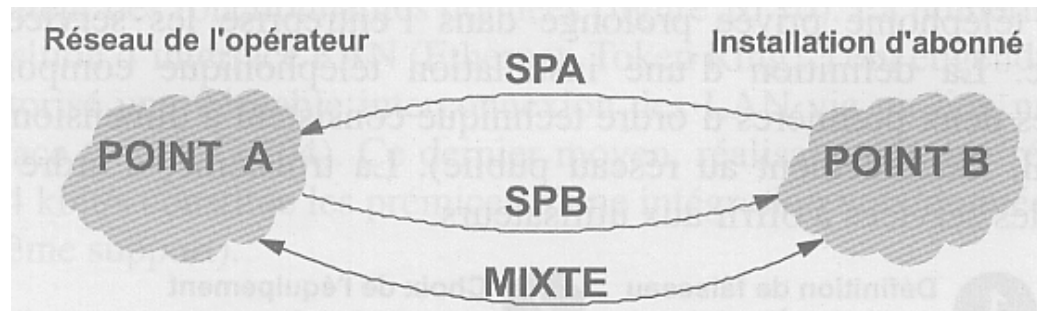


Le choix de l'équipement local

- Dépend essentiellement de
 - la nature des services à offrir aux utilisateurs,
 - du nombre de postes à raccorder
 - et de la puissance de commutation nécessaire
 - Le dimensionnement du PABX nécessite d'estimer le trafic à écouler (**Erlang**) → Chapitre « Dimensionnement »
 - Relation directe avec la **nature de l'entreprise**
 - un centre d'appel demande, pour un même nombre de postes, une puissance de commutation plus importante qu'un établissement scolaire ou industriel
 - A défaut de renseignement statistique sur le trafic téléphonique d'une entreprise
 - → hypothèse suivante (valeurs statistiques admises par la profession) :
le trafic d'un poste à l'heure de pointe: 0,12 erlang
se répartissant comme suit
 - 0,04 erlang en trafic sortant
 - 0,04 erlang en trafic entrant
 - 0,04 erlang en trafic interne à l'entreprise
-

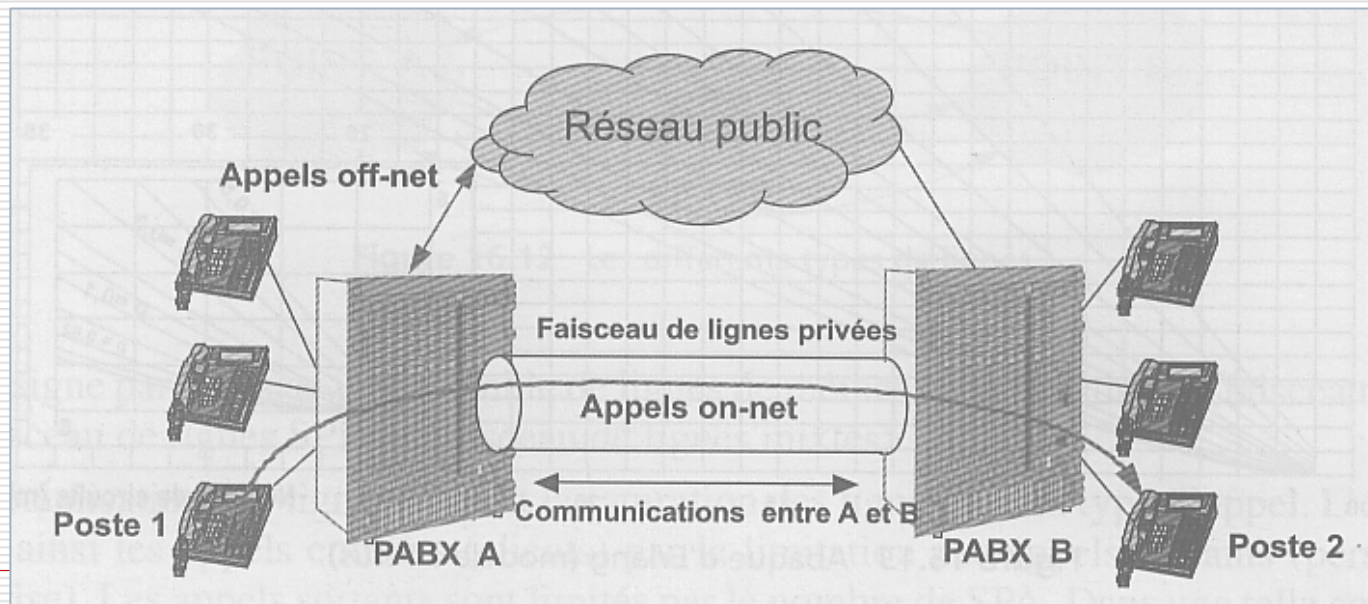
Spécialisation des lignes

- On distingue trois types de lignes :
 - les lignes **SPA** (Spécialisées arrivée Point A), ce sont des lignes qui ne peuvent acheminer que des appels **sortants** (vers le réseau de l'opérateur ou point A) ;
 - les lignes **SPB** (Spécialisées arrivée Point B), ce sont des lignes qui ne peuvent acheminer que des appels entrants (vers l'installation d'abonné ou point B) ;
 - les lignes **mixtes**, ce sont les lignes qui acheminent indifféremment les appels, entrants ou sortants, elles sont à la fois SPA et SPB.

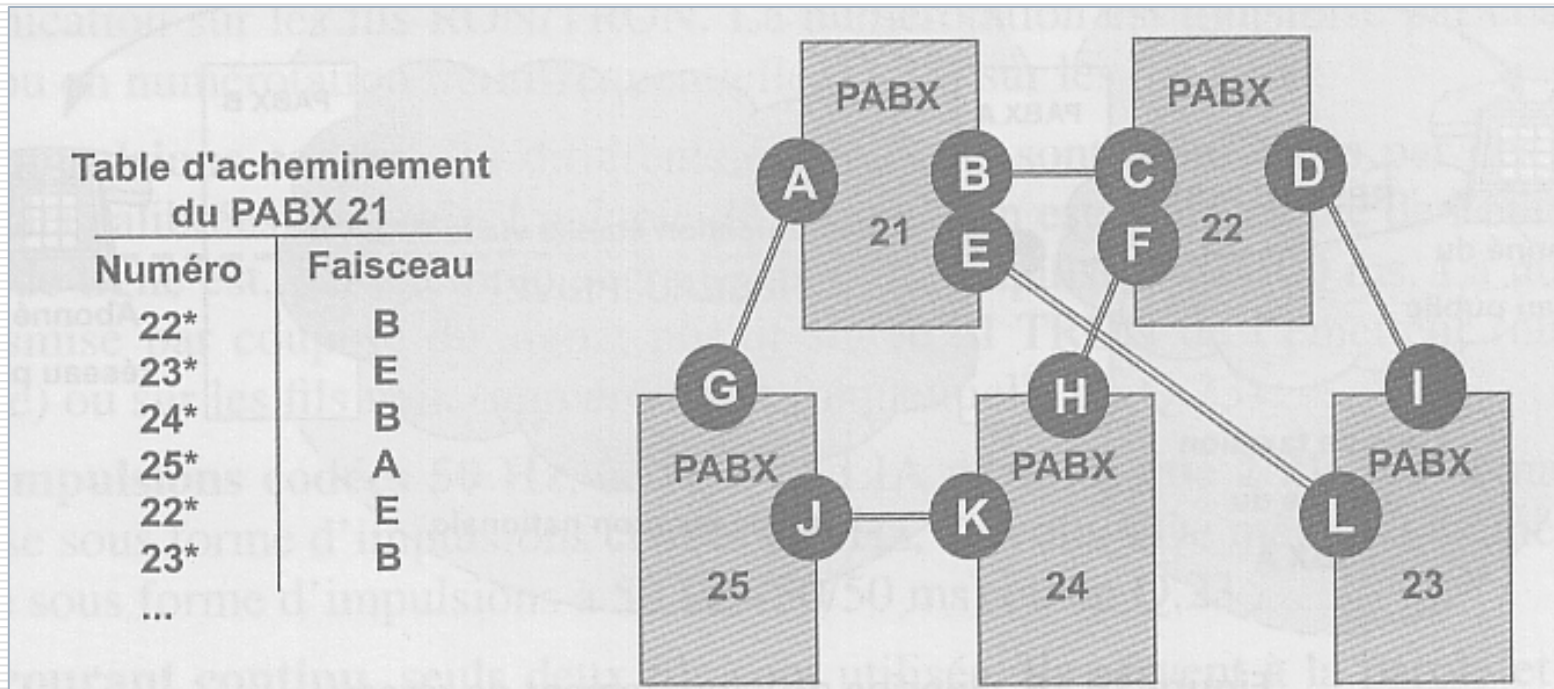


Réseau privé de PABX

- Appels
 - On-net
 - Off-net
- Appels Publics entrants
 - SDA : Sélection directe à l'arrivée



Plan de numérotation privé



Interconnexion de PABX

□ Solution publique

- Service "COLLISEE" ou "TRANS GROUP" de France télécom à base de commutation de LS (lignes spécialisées)
- Tarification à partir de seuils estimés, introduction du protocole **QSIG**

□ Solutions privées

- Location de liens fixes (LS/TRANSFIX) et constitution d'un **RPIS (*Réseau Privé à Intégration de Services*)**
 - via RNIS (si volumes horaires restreints)
 - via SDSL ou satellites (sociétés internationales avec sites disséminés)
 - via ...
 - Un **multiplexage voix-données** sera généralement envisagé
-

Protocoles d'interconnexion de PABX

- initialement propriétaires (ABC Alcatel, CORNET, Siemens, ...)
- DPNSS (Digital Private Networking Signaling System) norme de fait en GB mais **incompatible RNIS**
- Forum IPNS (Isdn Pabx Networking Specification) en 1990 entre les principaux constructeurs pour promouvoir des équipements sur un même protocole permettant l'**interconnexion de PABX hétérogènes**
- IPNS sera basé sur ABC d'Alcatel puis évoluera vers **QSIG : QSIGNaling**

Le protocole QSIG

- Signalisation à l'interface Q (1992)
 - norme ETSI ETS372 et ECMA/43
 - QSIG est compatible Euro-ISDN (Q931)
 - **basé sur le protocole du RNIS**
 - avec ajouts tenant compte des contraintes spécifiques aux réseaux privés
-

Services QSIG

□ **services principalement sollicités**

- appel de base
- identification de l'appelant
- renvois (inconditionnel, sur non-réponse, sur occupation)
- transfert d'appel
- reroutage pendant une communication

□ **puis les facilités appréciées**

- indication d'appel en instance
 - interception d'appel
 - mise en garde
 - identification de l'appelant
 - renvoi fixe / filtrage
 - va et vient
 - guide parlant
 - Parcage
 - messagerie vocale
 - conférence à 3
 - Substitution
 - groupement de poste
-

Les différents terminaux

- ❑ Téléphones analogiques
 - ❑ Téléphones numériques
→ postes « dédiés »
 - ❑ Téléphones RNIS
 - ❑ Téléphones sans fil (DECT)
 - ❑ Fax (groupe 3, groupe 4)
 - ❑ Ordinateurs
-

Téléphones analogiques

- Téléphones « classiques » :
 - Signaux analogiques
 - Le PABX numérise les signaux acoustiques (MIC ou PCM)
 - Terminal offrant le moins de services téléphoniques
-

Téléphones numériques « dédiés »

- ❑ Le terminal numérise les signaux acoustiques
 - ❑ Envoi de signaux numériques au PABX
 - ❑ Souvent :
 - des terminaux propriétaires,
 - avec beaucoup de services disponibles
 - ...mais ne fonctionnent que sur les autocommutateurs de même marque (signaux non normalisés)
-

Téléphones RNIS

- Signaux acoustiques numérisés par le terminal
 - Utilisation d'un accès RNIS offert par le PABX (souvent S0)
 - Normalisé
 - Nombreux services
-

Fax

- Groupe 3
 - équivalents à des terminaux analogiques
 - Groupe 4
 - équivalents à des terminaux RNIS

 - Ont toujours un numéro SDA associé
-

Ordinateurs

- Possibilité de connecter des ordinateurs aux PABX :
 - CTI : couplage téléphonie informatique
 - intégration voix-données
 - Transfert de données à travers les réseaux téléphoniques publics (utilisation de Modems)
 - ...
-

Le support physique

- Précâblage de bâtiment
 - Catégorie 3 suffisante
 - Répartiteurs
 - baies de brassage plutôt que panneaux de répartition
 - Modules à coupure sur les baies de brassage
 - Prises terminales
 - RJ45 (ou gigogne)
-

Le support physique

- Baie de brassage:
 - Barrette métallique ou ensemble de barrettes métalliques à laquelle sont accrochées les arrivées des câbles d'un réseau local (ou téléphonique).



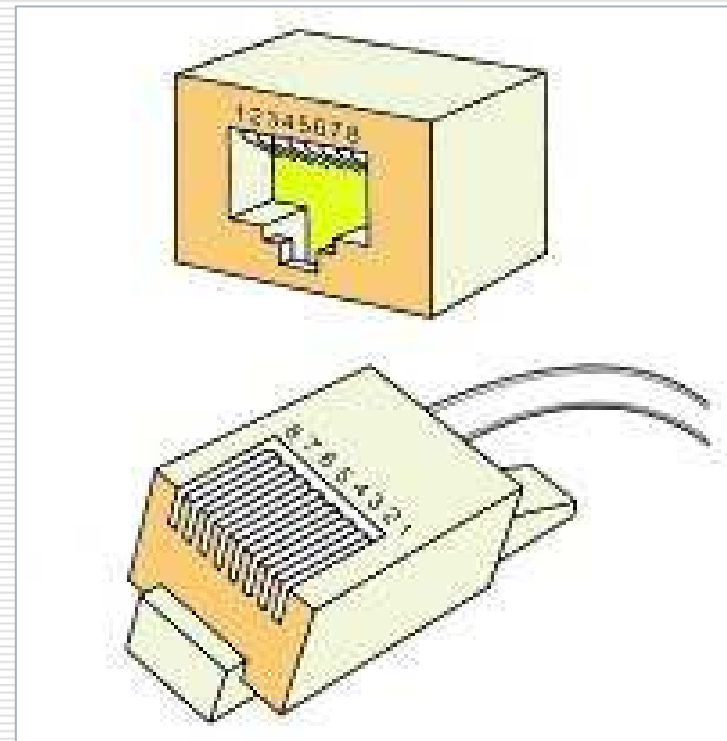
Le support physique

- Panneau de répartition :



Le support physique

- RJ45 :
 - Analogique
 - broches 7 et 8
 - Numérique
 - Broches 4 et 5
 - RNIS
 - Broches 3, 4, 5 et 6



Le support physique

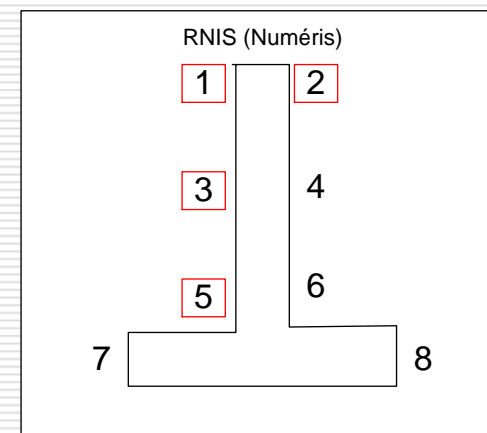
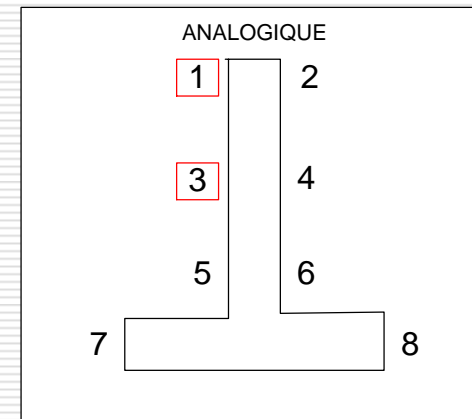
Gigogne

■ Analogique et numérique

Broches 1 et 3

■ RNIS (Numéris)

Broches 1,2, 3 et 5



Plan de numérotation

- Pour commuter, nécessité de définir un plan de numérotation à l'installation du PABX

- **Plan de numérotation =**

- Association d'un numéro interne à chaque poste
 - Hiérarchisation de ce plan
-

Plan de numérotation

□ Exemple : à 3 chiffres

- Administration : plage de 100 à 150
 - Bureaux : plage de 200 à 250
 - Ateliers : plage de 300 à 350
-

Plan de numérotation

□ Détails de la plage de l'Administration :

- 100 = standard
 - 101 à 109 : secrétaires
 - 110 à 130 : direction
 - 130 à 150 : services généraux
-

Plan de numérotation

- Association de certains numéros internes avec numéros accessibles depuis **l'extérieur (SDA)**

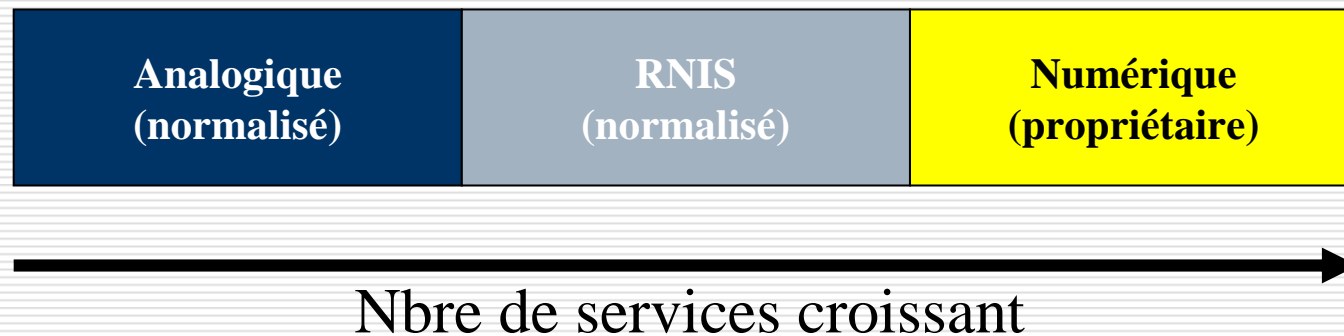
 - Exemple :
 - standard =
 - 100 en interne,
 - 05 58 05 76 00 depuis l'extérieur
-

Configuration du PABX

- Faîte à partir d'un logiciel propriétaire
 - Pré-installé sur le PABX (connexion à partir d'un minitel ou d'un terminal)
 - Installé sur un PC qui dialogue avec PABX par un port spécifique ou par un port ethernet
 - Logiciels différents
 - pour chaque constructeur
 - Pour chaque version
-

Retour sur les services offerts

- Dépendent du type du terminal



Les services offerts

□ Quelques exemples :

- Renvois d'appel (immédiat, sur occupation, sur non réponse, ...)
 - Supervision et filtrage de postes
 - Conférence à trois (multitouche)
 - Multiligne (plusieurs n° sur le même poste)
 - Groupement d'interception
-

Les services offerts

- Restriction d'appels (ex : 05 58 X X X)
 - Annuaire collectif (remplace n° par nom)
 - Numérotation abrégée
 - Rappel automatique sur poste occupé
 - Transfert d'appel interne ou externe
 - Groupes de diffusion
 - L'interphonie (appel sans décrocher)
 - Configuration de touches du terminal
 -
-

La taxation

- Buts différents
 - Hôtel
 - Entreprise
 - Possibilité d'évaluer les coûts téléphoniques pour l'entreprise
 - Chaque appel est stocké sous forme de ticket sur le PABX :
 - Durée appel
 - N° appelé
 - N° appelant
 - Coût si appelé à l'extérieur de l'entreprise
-

La taxation

- ❑ Connexion au PABX par un port spécial pour récupérer ces tickets (base de données)
 - ❑ Possibilité d'analyser et de tirer des statistiques
 - ❑ Très utile pour :
 - « surveiller » le trafic téléphonique de l'entreprise
 - Sous-facturer: exemple de l'Hotel
-

Marché des PABX d'entreprise

- ❑ Plusieurs regroupements sont intervenus ces dernières années et quelques accords ont été conclus entre des constructeurs d'autocommutateurs et des industriels de l'informatique
 - ❑ **Alcatel** s'est allié à TELIC et est le n°1
 - ❑ **Matra** (30% du marché français) s'est rapproché de Nortel (Northern Telecom - Canada), puis s'est séparé pour s'allier à Dassault (EADS)
 - ❑ SAT s'est allié à **Ericsson** en mai 94
 - ❑ Barphone s'est rapproché d'**AT&T** en octobre 94 (**Lucent technologies**)

 - ❑ Dernièrement: « merge » **Alcatel + Lucent**
-

Partie 8: Digital Subscriber Line - xDSL

- **Marché**
- **Situation dans le réseau**
- **Principe de fonctionnement au niveau physique**
- **Principe de fonctionnement au niveau protocolaire**

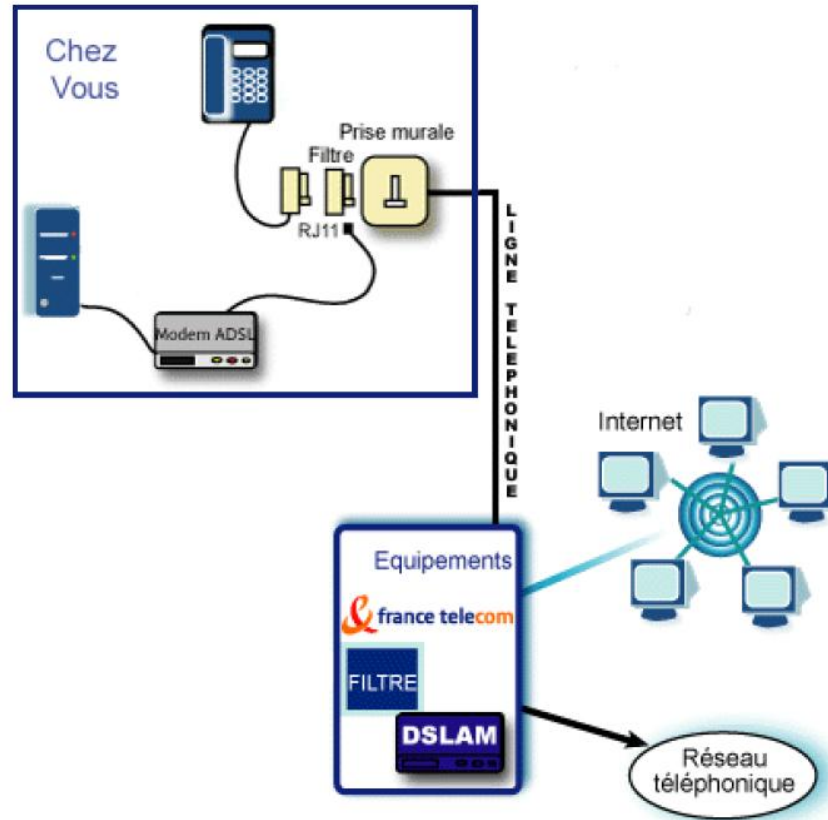
Le marché en France

- ~ 9 millions d'abonnés fin 2005
 - ~ 6 millions fin 2004
 - dont la moitié chez l'opérateur historique et le reste chez les opérateurs « alternatifs »
 - Dégroupage:
 - ~ 600 000 lignes en dégroupage total
 - ~ 2,2 millions partiel
-

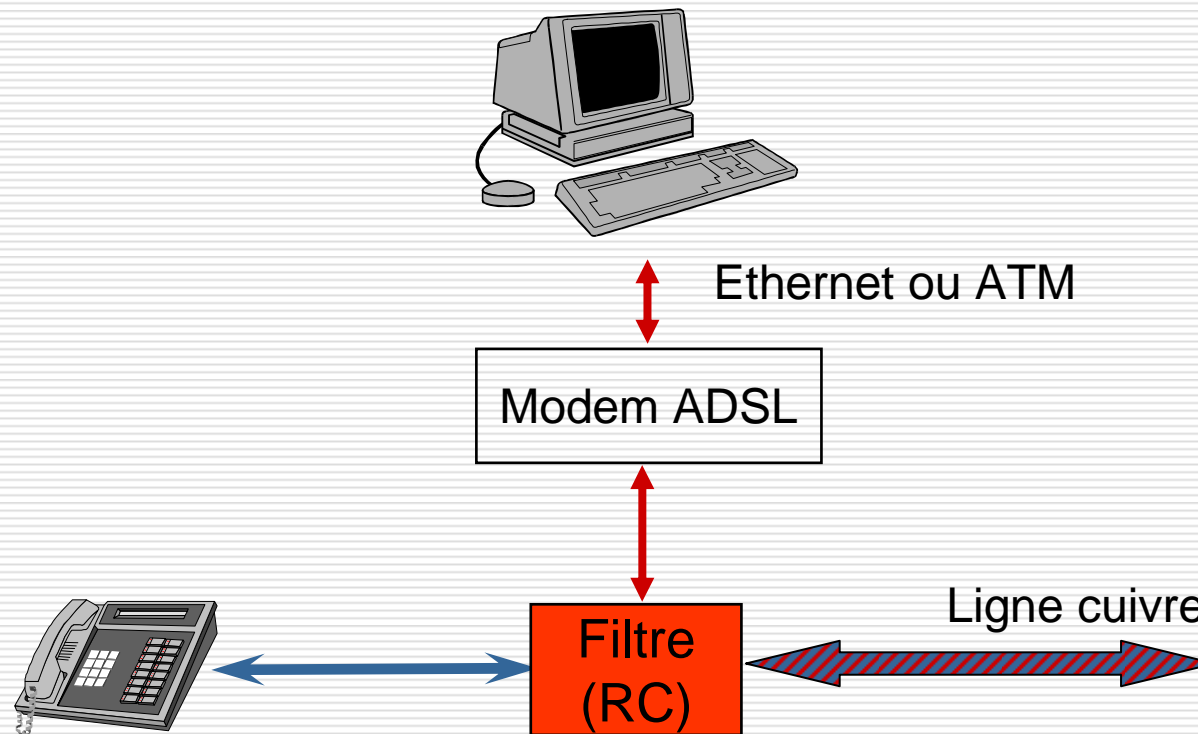
Le marché dans le monde

- ❑ ~ 100 millions
 - ❑ la moitié en Asie
 - ❑ Services : jusqu'à « quadruple play »
 - ❑ accès internet haut débit (*mail, web, jeux, téléchargement ...*)
 - ❑ téléphone (VoIP, *voix sur IP*)
 - ❑ télévision numérique (en MPEG 4)
 - ❑ intégration de la téléphonie mobile
-

xDSL System Reference Model

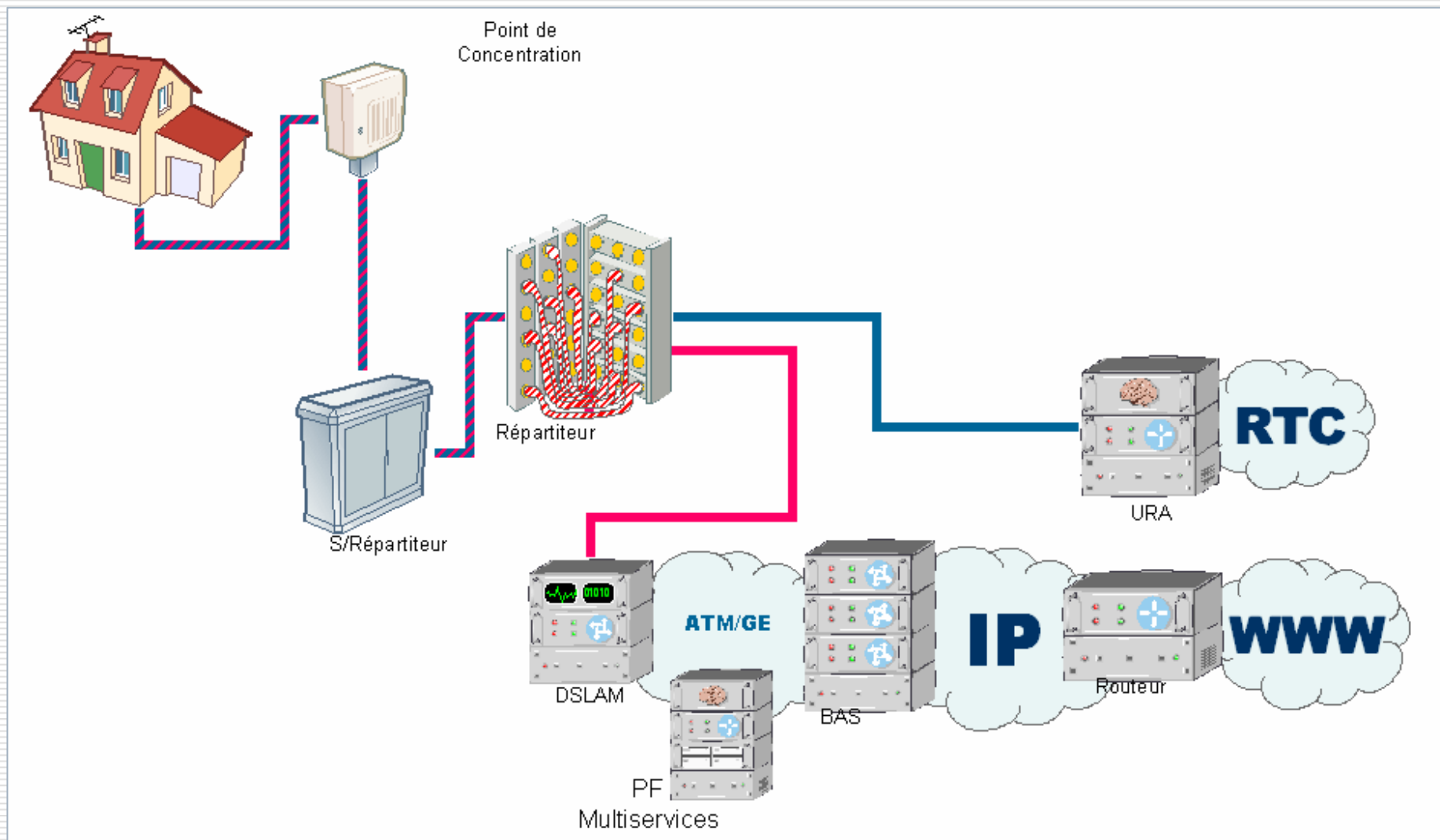


Raccordement usager

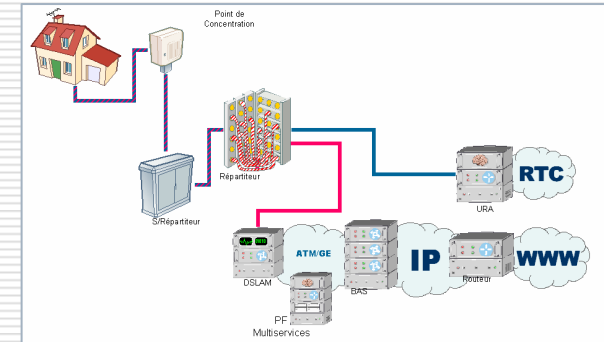


Ma connexion ADSL

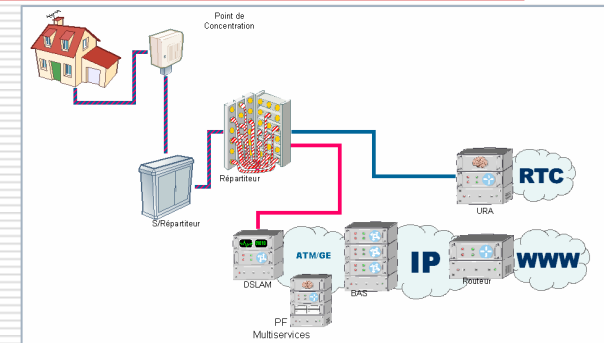
Le parcours vers le monde de l'Internet
(<http://perso.orange.fr/wallu/>)



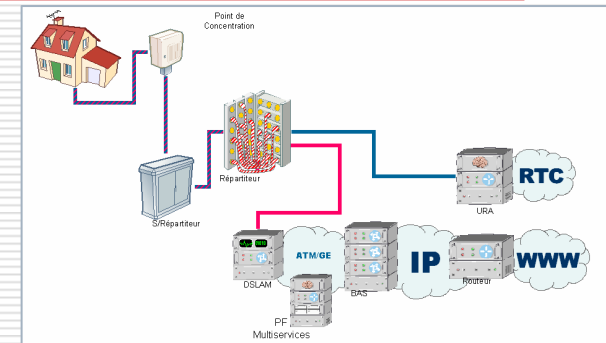
Point de concentration sur poteau



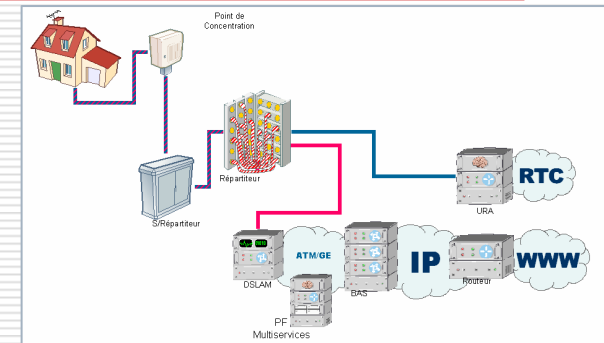
Armoire de sous-répartition



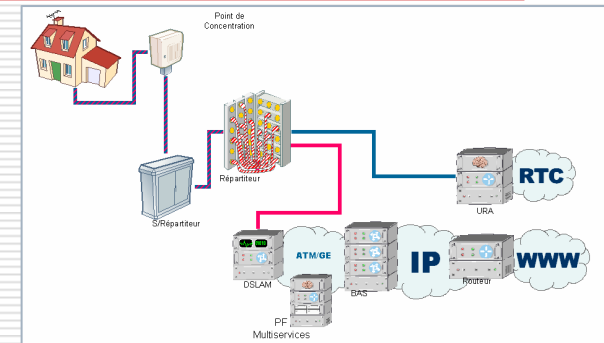
Répartiteur



Filtre ADSL au DSLAM



DSLAM



Le parcours ADSL sur cuivre s'arrête ici, après c'est de l'optique ...

Suite du parcours en optique ATM, GigaEthernet

répartiteur optique



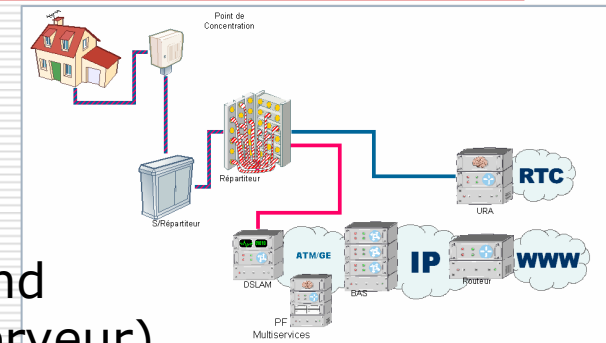
brasseur ATM



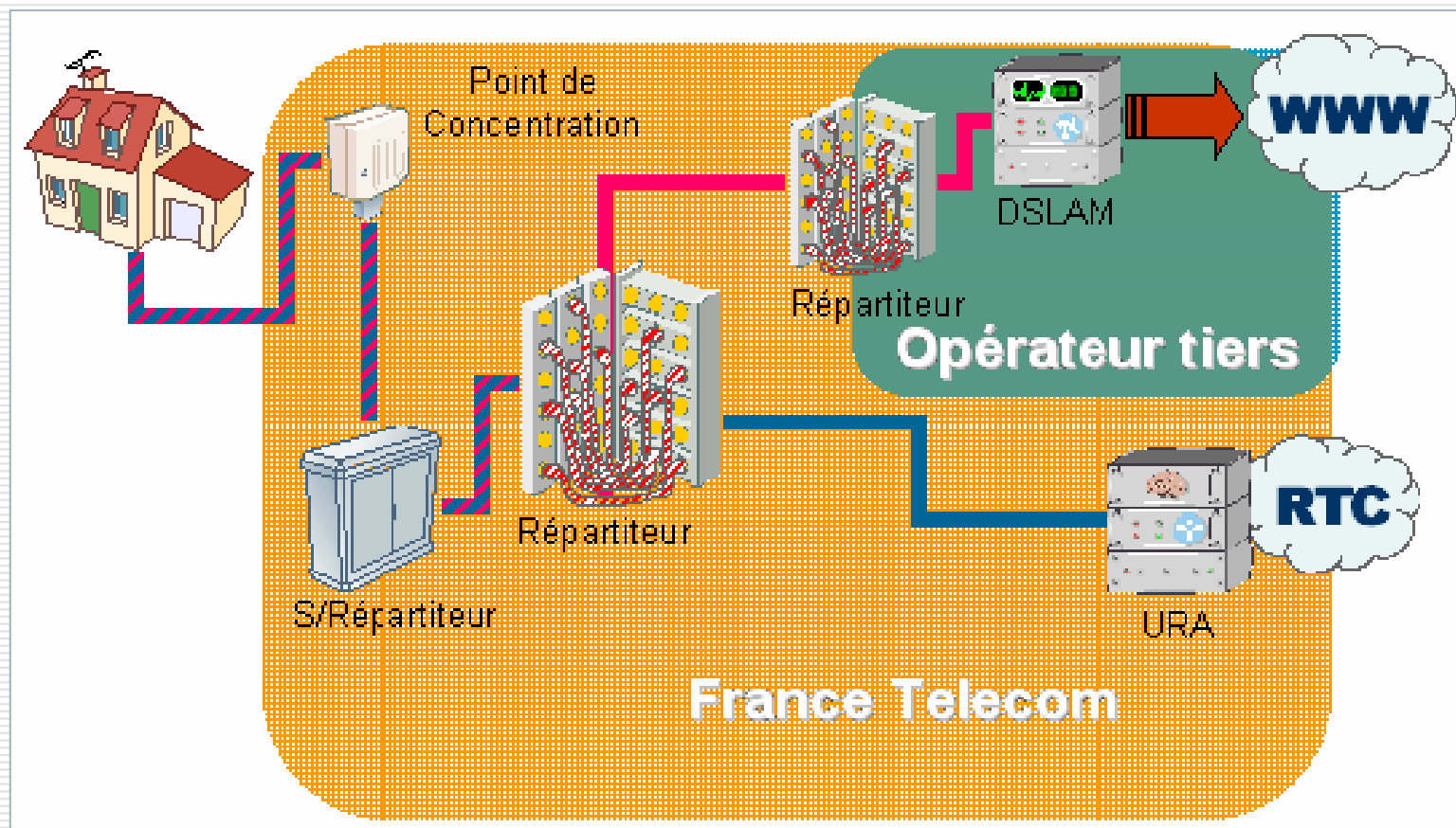
BAS
(Broadband
Access Server)



routeur IP
vers l'Internet

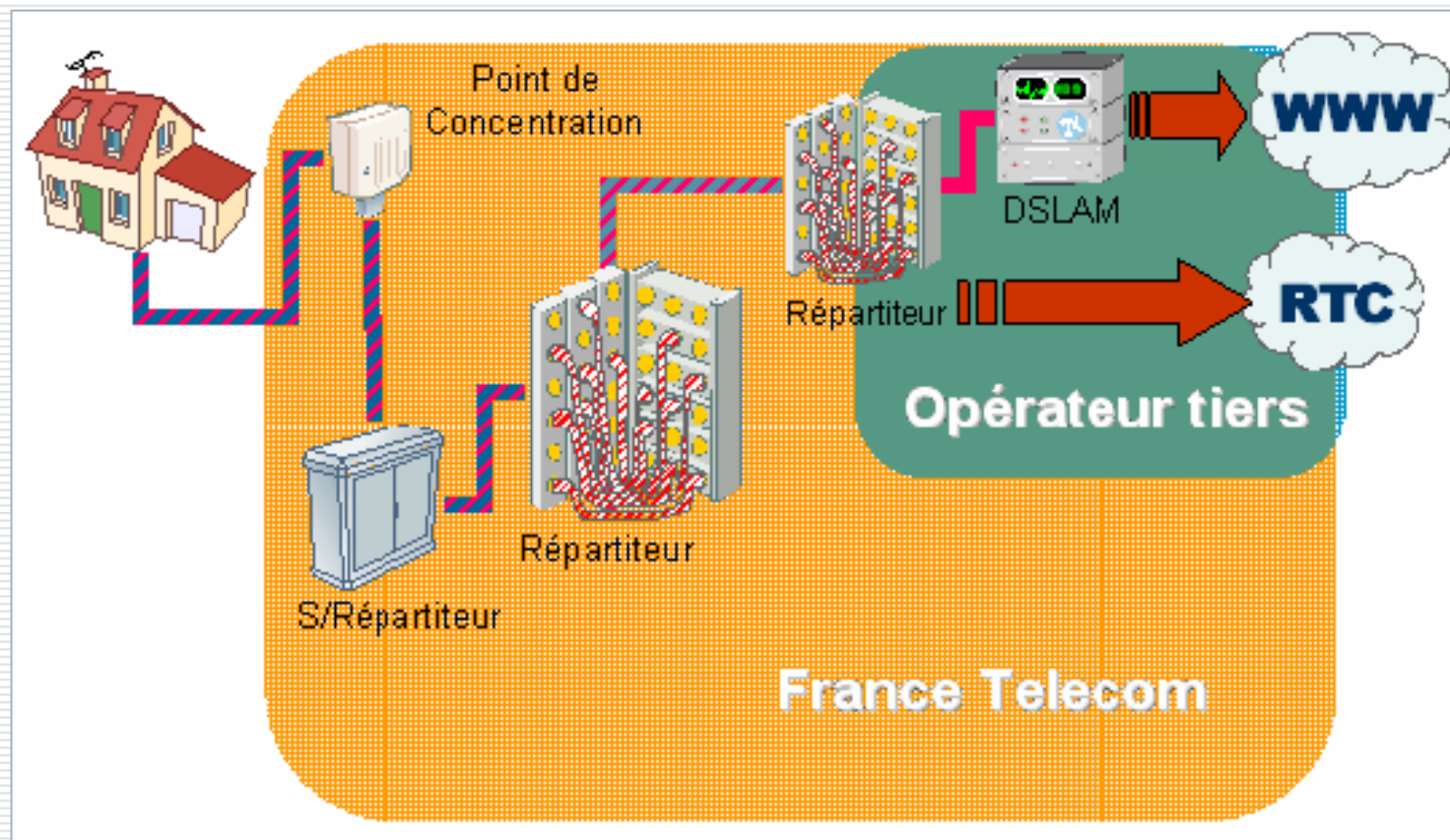


Dégroupage (*unbundling*) partiel



L'opérateur historique garde la charge du téléphone vocal et de la téléalimentation

Dégroupage total



Densité du réseau FT

- ❑ 5.1 millions de clients haut débit
 - ❑ 12 500 répartiteurs
 - ❑ 8 200 DSLAM (Alcatel, ECI et Lucent)
 - ❑ 480 Brasseurs ATM (7470 et 7670 Alcatel)
 - ❑ 459 BAS
 - ❑ 200 Routeurs IP (Cisco et Juniper)
-

Why is DSL better than a voice-grade modem?

Analog telephony modems are limited to 4 KHz bandwidth

Shannon's channel capacity theorem
gives the maximum transfer rate

$$C = BW \log_2 (SNR + 1)$$

So by using more BW we can get higher transfer rates if SNR
does not decrease

But what is the BW of UTP?

Duplexing

Up to now we assumed that only one side transmits

Bidirectional (full duplex) transmission

requires some form of ***duplexing***

For asymmetric applications we usually speak of

DS downstream and **US** upstream

Four methods are in common use:

- Half duplex mode
- Echo cancellation mode (ECH)
- **Time Domain Duplexing** (requires syncing all binder contents)
- **Frequency Domain Duplexing**

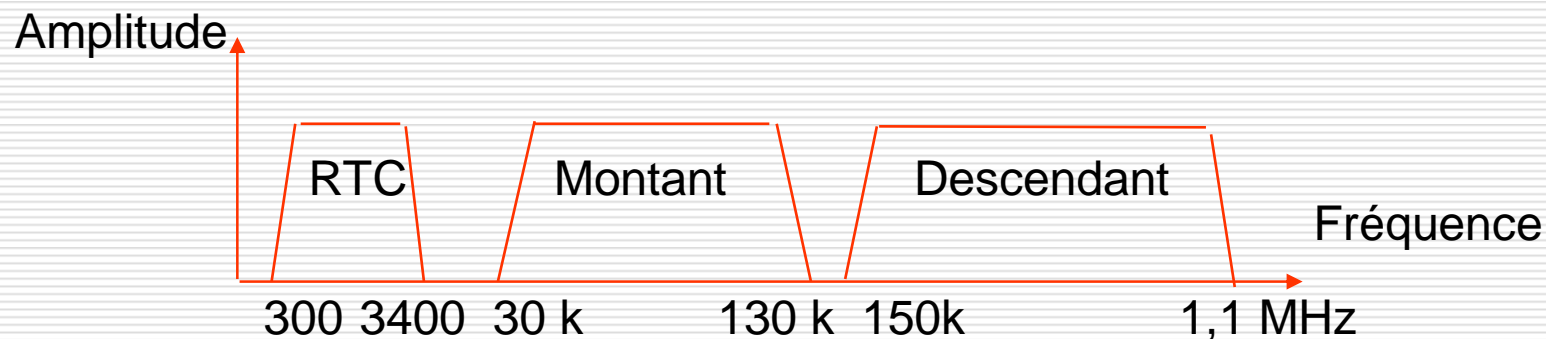


Ligne numérique jusque chez l'abonné: dans quel but ?...

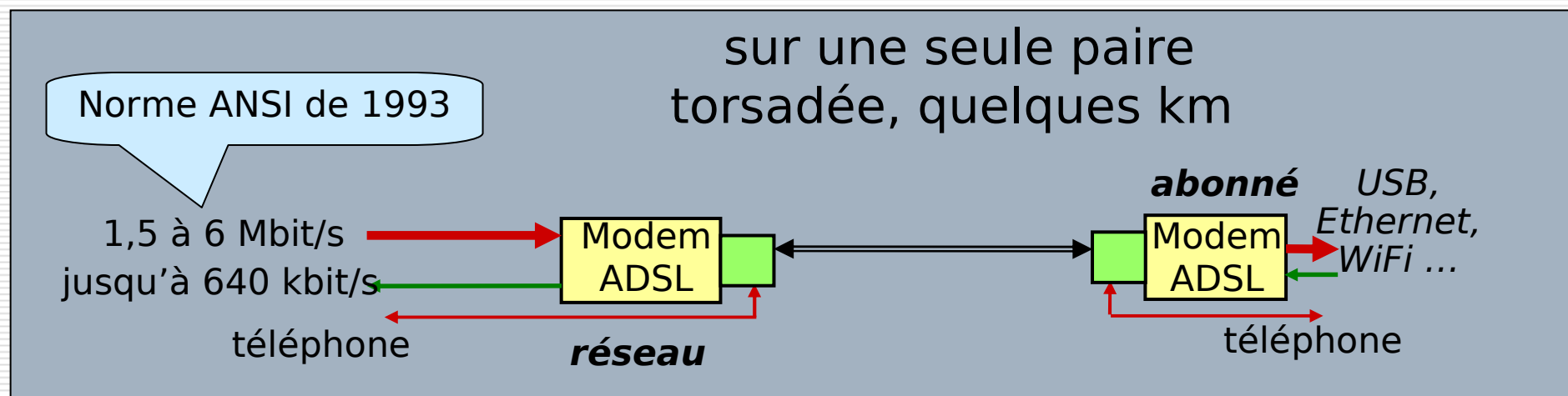
Quoi de plus que le RNIS ?

→ On cherche à utiliser totalité de la bande passante du cuivre:

- Toujours la même paire de cuivre torsadée
- Atteindre des débits de transmissions de plusieurs Mbit/s
- Dans les 2 sens « montant et « descendant »
- En conservant le canal téléphonique classique sur la même ligne



ADSL (Asymmetric DSL)



- **Asymétrique** : débit descendant plus élevé que le débit montant
 - correspond aux besoins (majoritaires) du grand public
 - les débits diminuent (rapidement) quand la distance augmente ...
- **Sur la paire déjà installée** (*sous réserve d'une qualité correcte*)
- **En plus**, et non à la place, du « bon vieux téléphone » analogique

Challenges de la transmission

- Le **débit binaire** de transmission dépend du rapport **Signal sur Bruit (S/B ou Signal on Noise Ratio SNR)**

 - Ce rapport S/B dépend:
 - de la longueur de la ligne → impédance → atténuation
 - de la diaphonie entre 2 lignes voisines dans le même câble
 - des perturbations radiofréquences (radio, télé, microondes...)
 - des bruits impulsifs (néon, moteurs...)

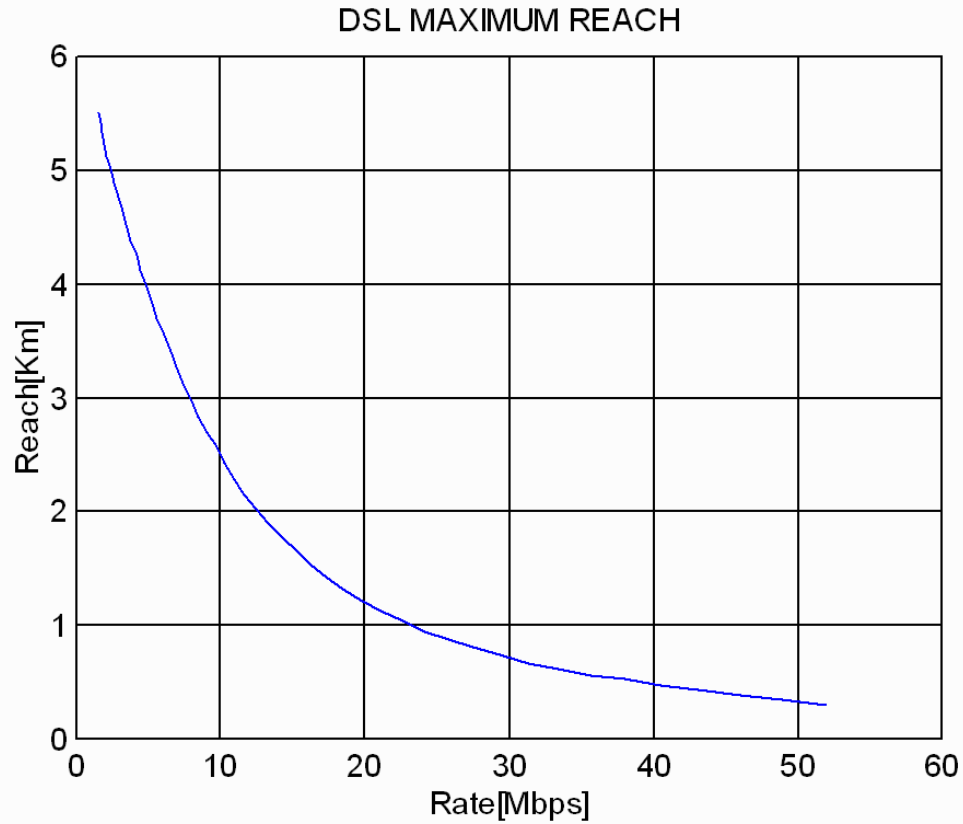
 - Concessions
 - Accepter que « le débit offert dépende de la position géographique du client par rapport à l'Unité de Raccordement »
 - Tous les abonnés ne pourront pas prétendre aux mêmes services
-

Contraintes d'éligibilité

- Atténuation: $A = 20 \log_{10} \left(\frac{P_e}{P_s} \right)$
- Caractéristiques des lignes
 - Circuit RC
 - Mesure de l'atténuation depuis le DSLAM
 - <http://www.degroup-test.com>

Diametre (mm)	0.4	0.5	0.6	0.8
Capacite (nF/km)	46	47	48	50
Resistance lineique(Ohms/km)	135	88	61	34
Attenuation (dB/km) a 300kHz	15	12	10	8

xDSL - Maximum Reach

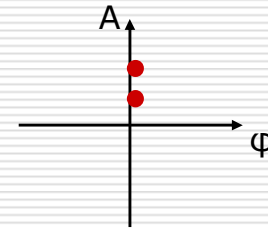
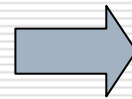
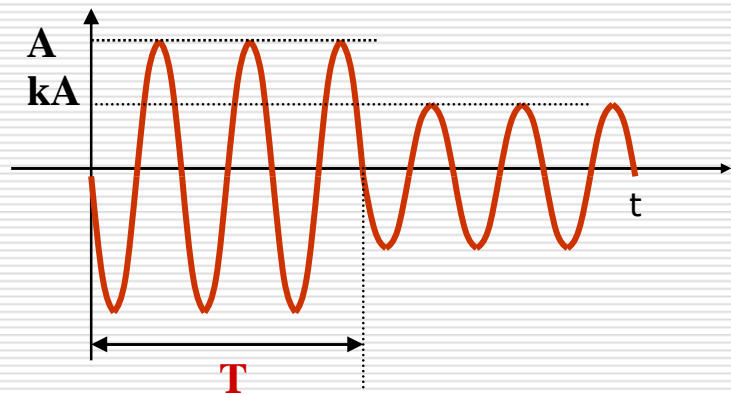
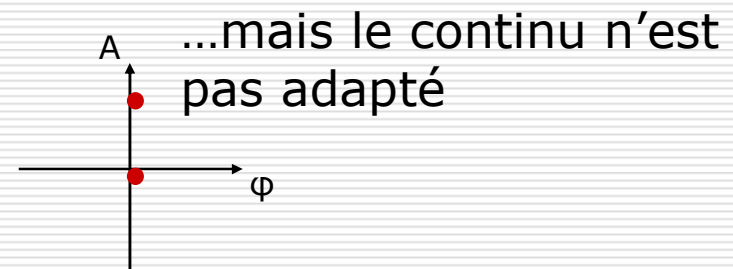
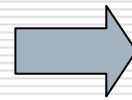
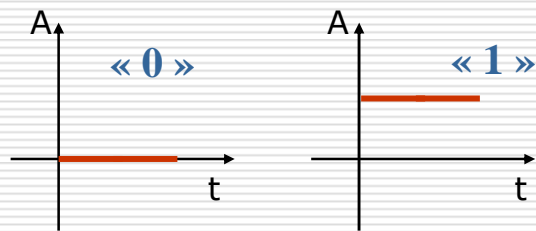


Solutions

- Comment transmet-on les données?:
 - mise sur porteuse nécessaire
 - mapping bits → signal continu
- Division de la bande (0-1.1 MHz) en en 256 sous-canaux de 4.31 kHz
- Dans chaque canal: modulation phase et amplitude
- Chaque canal a son propre flot de signaux
- Le protocole ADSL permet aux extrémités de savoir quels canaux sont utilisés en fonction du SNR (Signal Noise Ratio) de la ligne
- Utilisation de cette information pour éclater le flux de données sur les différents canaux

Modulation d'amplitude

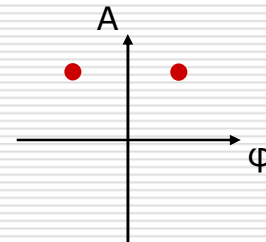
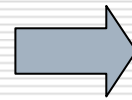
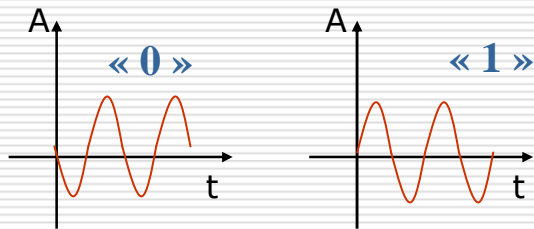
Explications simplistes...



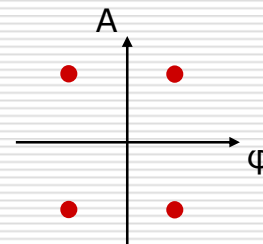
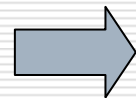
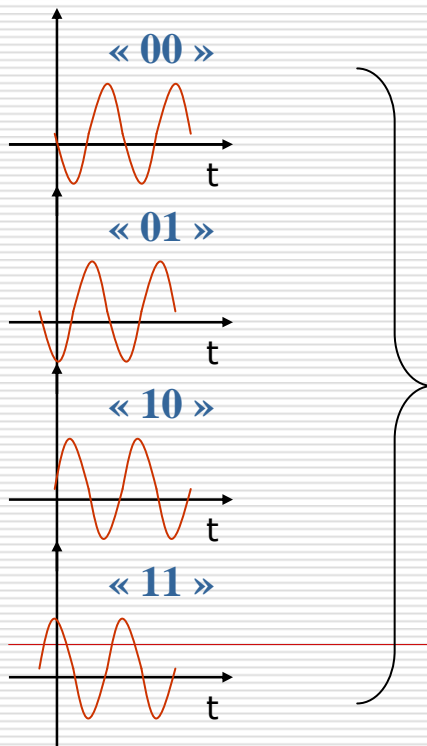
...mieux mais reste sensible à l'atténuation et aux parasites

Modulation de phase

Explications simplistes...



...mais la phase peut varier sur plus de deux valeurs



Chaque point code deux bits

Modulation de phase et amplitude simultanément

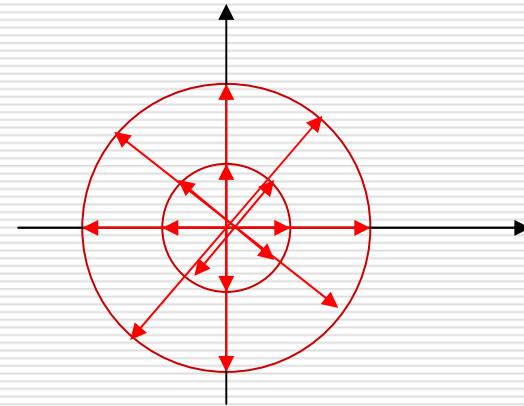
Explications simplistes...

□ On fait varier:

- L'amplitude
- La phase

□ Résultat

- Constellations de points
- Chaque point représente un code
- Chaque code correspond à un nombre de bits par canal

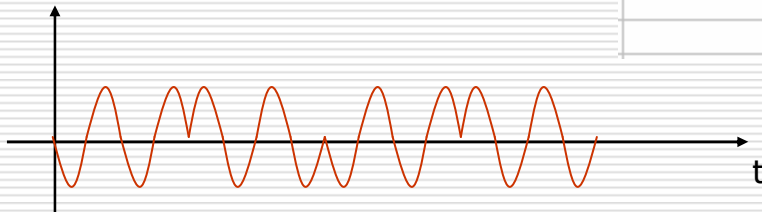
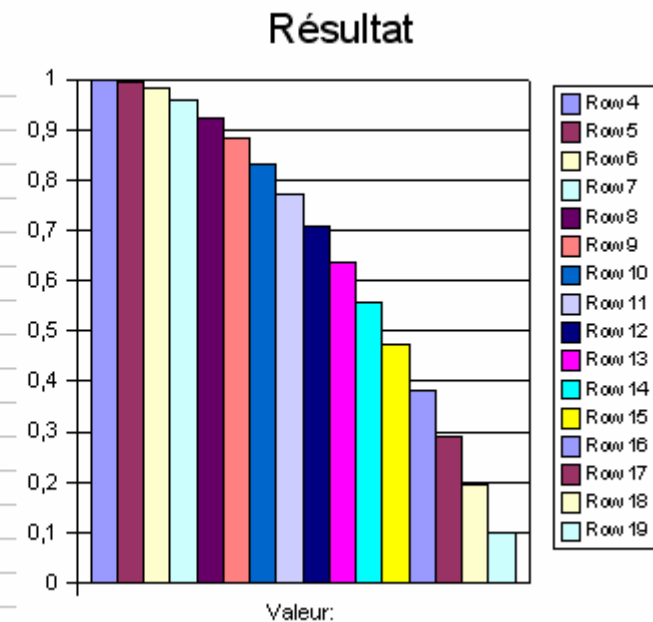


Les modems de nos jours...

□ oscillateurs → DSP

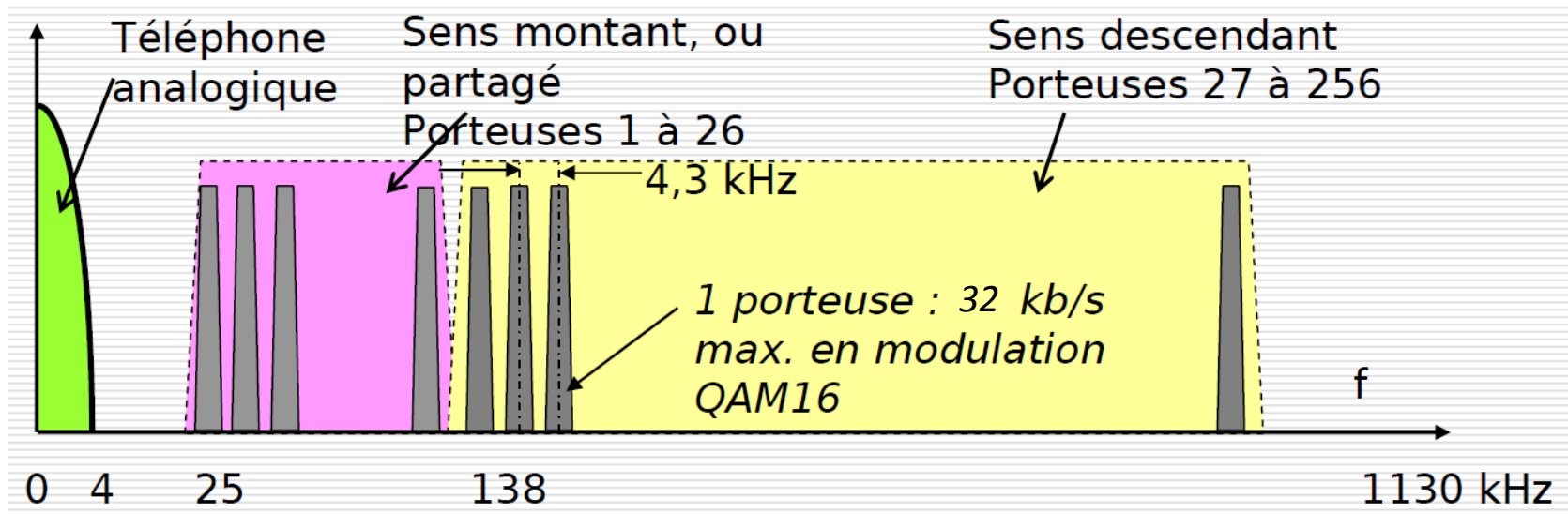
**Valeurs numérisées d'un quart de sinusoïde dans un tableau en ROM parcouru par un compteur plus ou moins rapide...
...donc qui peut faire des sauts**

N° échantillon:	Valeur:
0	1
1	1
2	0,98
3	0,96
4	0,92
5	0,88
6	0,83
7	0,77
8	0,71
9	0,63
10	0,56
11	0,47
12	0,38
13	0,29
14	0,2
15	0,1

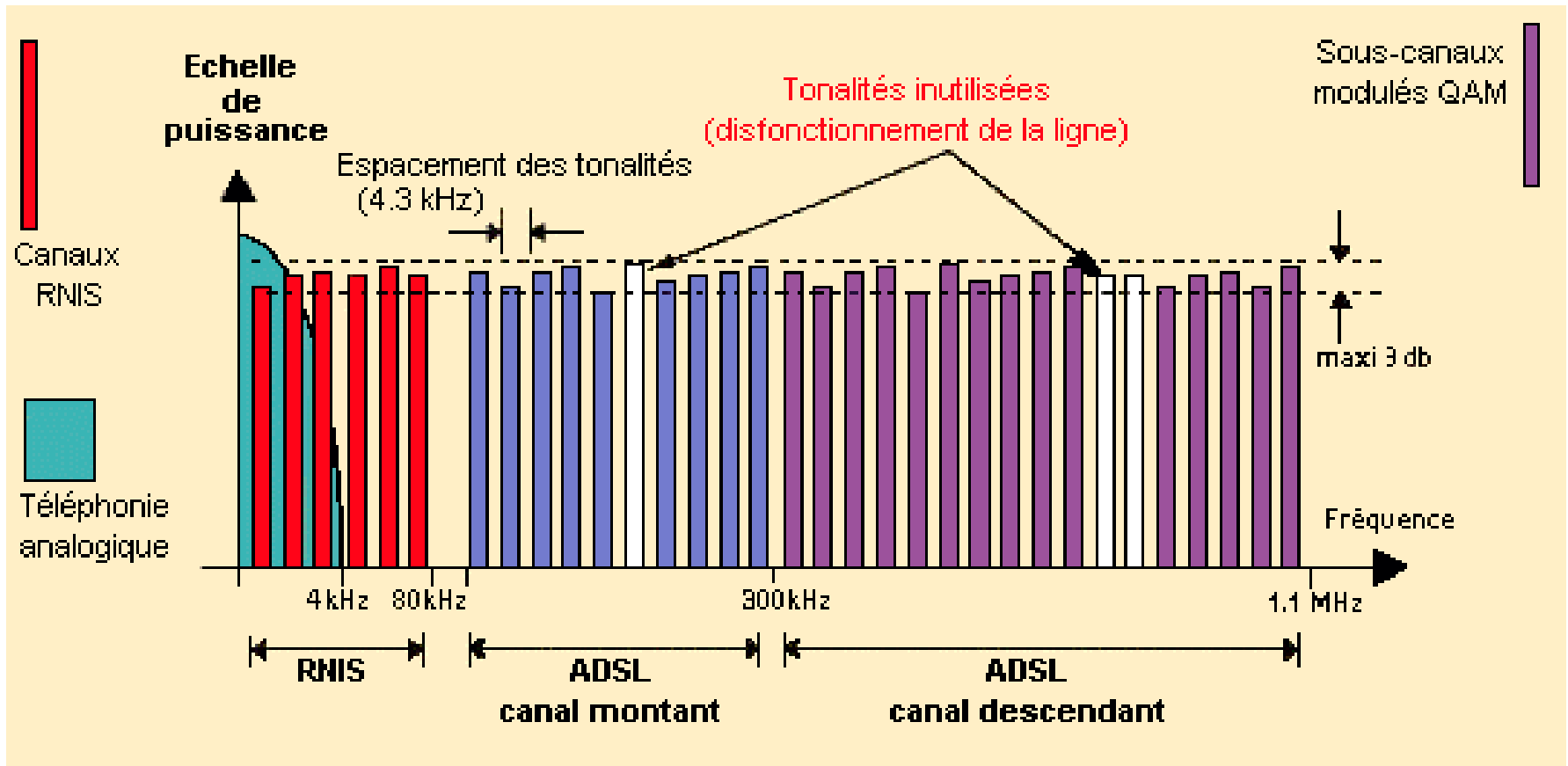


ADSL: spectre du signal

- Modulation utilisée : DMT (Discrete MultiTone)
- Multiporteuse: modulation de chaque porteuse adaptée à l'état de la ligne
 - En ADSL2 : 512 porteuses sur une bande de 2,2 MHz



Spectre de signal sur ligne téléphonique



Calcul du débit

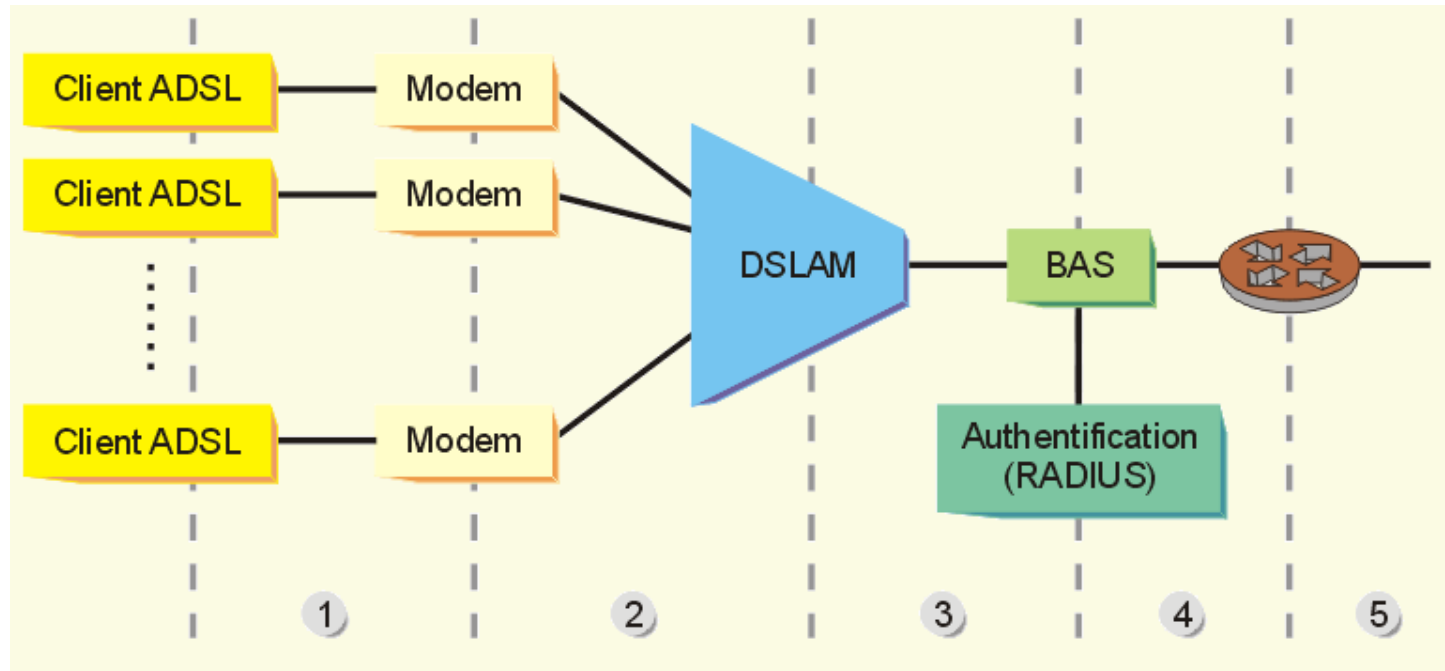
- *débit* = nombre de symboles /sec /canaux
 - . nombre de bits /symbole
 - . nombre de canaux
- e.g. avec 8 bits/Hz:
 - débit montant max : $25 \times 8 \times 4000 = 800$ kbs
 - débit descendant max : $249 \times 8 \times 4000 = 7.968$ Mbs
- Synchronisation
 - Emetteur et récepteur s'adaptent et s'accordent sur le codage à employer dans chaque canal pour maintenir un BER (Bit Error Rate) constant

xDSL

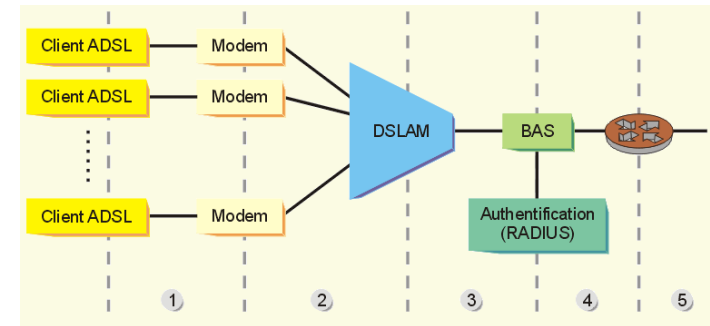
Fonctionnement entre le FAI et l'abonné

Schéma simplifié: Première approche

Le schéma qui suit, simplifié à l'extrême, n'est pas pour autant faux. Il peut convenir dans le cas du dégroupage



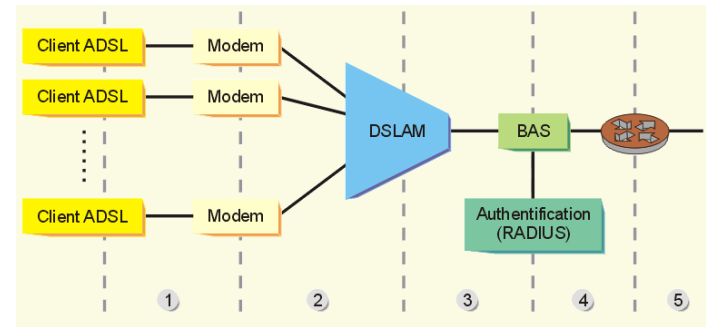
Les composants



- **Client ADSL**
 - La machine que l'abonné connecte à l'internet. Peu important la plate forme matérielle et le système d'exploitation, pourvu que ce dernier supporte le réseau TCP/IP.
- **Modem**
 - Modulateur/Démodulateur. Une boîte dont la fonction est assez similaire à celle du modem RTC, à part qu'ici, elle est conçue pour la technologie DSL.
- **DSLAM**
 - Digital Subscriber Line Access Multiplexer. C'est une sorte d'entonnoir ou de gouttière, qui ramasse les flux numériques de chaque abonné et les fait converger par multiplexage sur un seul lien à fort débit.
- **BAS**
 - Broadband Access Server
 - Lorsque l'on a réussi une connexion avec son FAI, on a établi un lien PPP (Point to Point Protocol) entre son ordinateur et le BAS. Ce lien PPP va transporter les protocoles supérieurs IP, TCP, UDP ICMP... C'est au niveau du BAS que l'authentification du client va se faire et que les paramètres IP vont être transmis (serveur RADIUS, généralement).
- **Routeur**
 - C'est l'équipement qui va assurer la liaison entre le BAS et le réseau du fournisseur d'accès.
 - Le lien n°4 relie le BAS à ce routeur et les données circulent dans un tunnel de type L2TP (Layer 2 Tunnel Protocol). Il s'agit de construire un VPN (Virtual Private Network : réseau privé virtuel) entre le BAS et le réseau du fournisseur d'accès.



Les liaisons



- 1. Représente le "bout de câble" qui relie votre machine au modem. Ce bout de câble peut être de type :
 - Ethernet,
 - USB,
 - Hertzien (pas de câble, mais une onde électromagnétique), dans le cas d'un modem/routeur WIFI.
- 2. Représente votre ligne téléphonique, c'est une paire de fils de cuivre qui va de votre prise murale jusqu'au concentrateur de l'opérateur de téléphonie. Cette ligne va véhiculer la téléphonie traditionnelle (POTS) et les porteuses ADSL. La séparation des services se fait au moyen d'un filtre séparateur (Splitter) qui peut être extérieur, mais aussi intégré au modem.
- 3. Représente le lien à fort débit (généralement de la fibre optique) qui véhicule les données numériques de l'ensemble des abonnés connectés au même DSLAM.
- 4. Est encore un lien à fort débit, qui relie le BAS au réseau de votre FAI. Ce lien va offrir des "tunnels", nous en verrons l'utilité plus loin.
- 5. Nous sommes maintenant sur le réseau du fournisseur d'accès.



Dans la pratique: dégroupage et non-dégroupage

- **Mais voilà...**

- Dans la pratique, ça va être un peu plus compliqué, du moins dans le cas le plus général, encore actuellement, où le dégroupage n'est pas généralisé.
- Qu'est-ce que le dégroupage ?
- La boucle locale appartient à France Télécom. Les centres de raccordement (NRA) aussi.
- Ces centres de raccordement sont souvent situés dans des locaux exigus, où il est difficile de laisser de la place à des opérateurs alternatifs. Pourtant, le dégroupage doit en passer par là.
- Pour dégroupier une ligne, il faut qu'un ou plusieurs opérateurs alternatifs puissent installer leurs propres équipements dans le centre, et y connecter directement les lignes de leurs abonnés. France Télécom se contente de louer la ligne entre le centre et le client.
- Lorsque ceci n'est pas fait, peu importe la raison, il faut trouver une autre solution pour que des opérateurs alternatifs puissent tout de même proposer des abonnements ADSL.

- **Les offres France Télécom**

- **L'option 1**

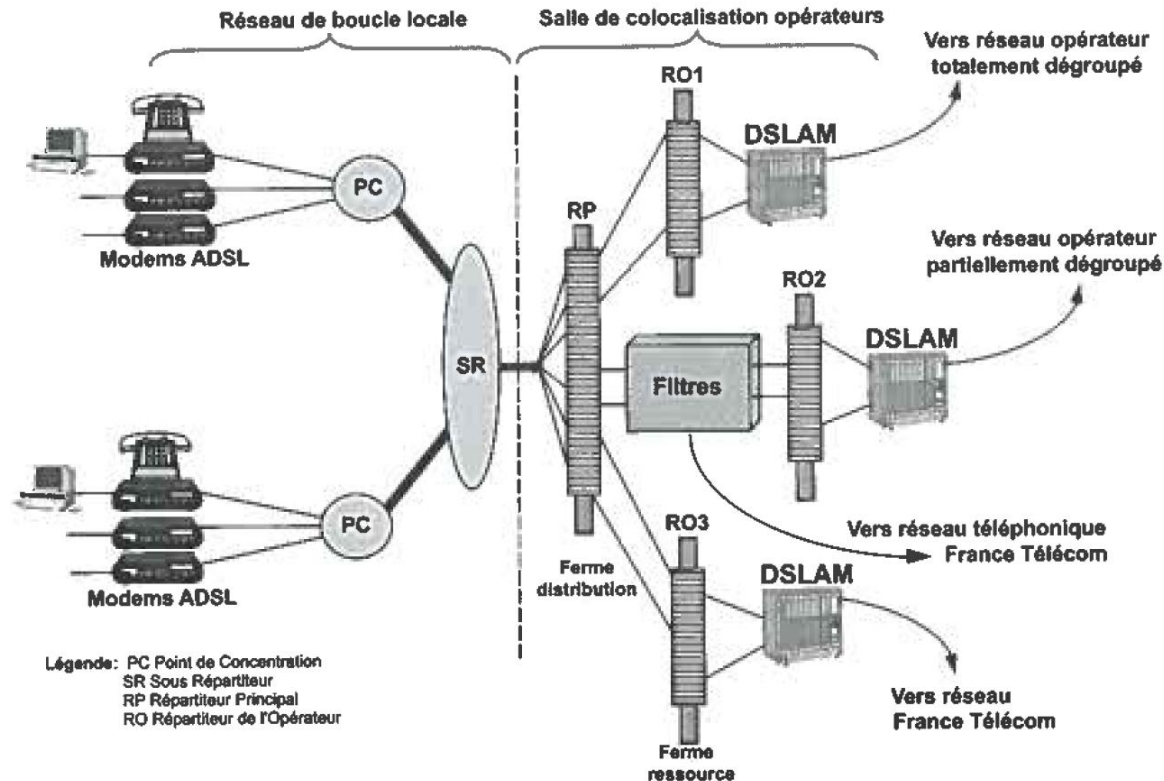
- Non-dégroupé: France Télécom assure la totalité du transport entre l'abonné et le réseau du FAI.

- **L'option 2**

- Dégroupage: FT se contente de louer l'accès à la boucle locale aux FAIs. Les fournisseurs sont donc maîtres de la qualité de leur prestation. Ils ne sont dépendants que de la qualité physique de la boucle locale.

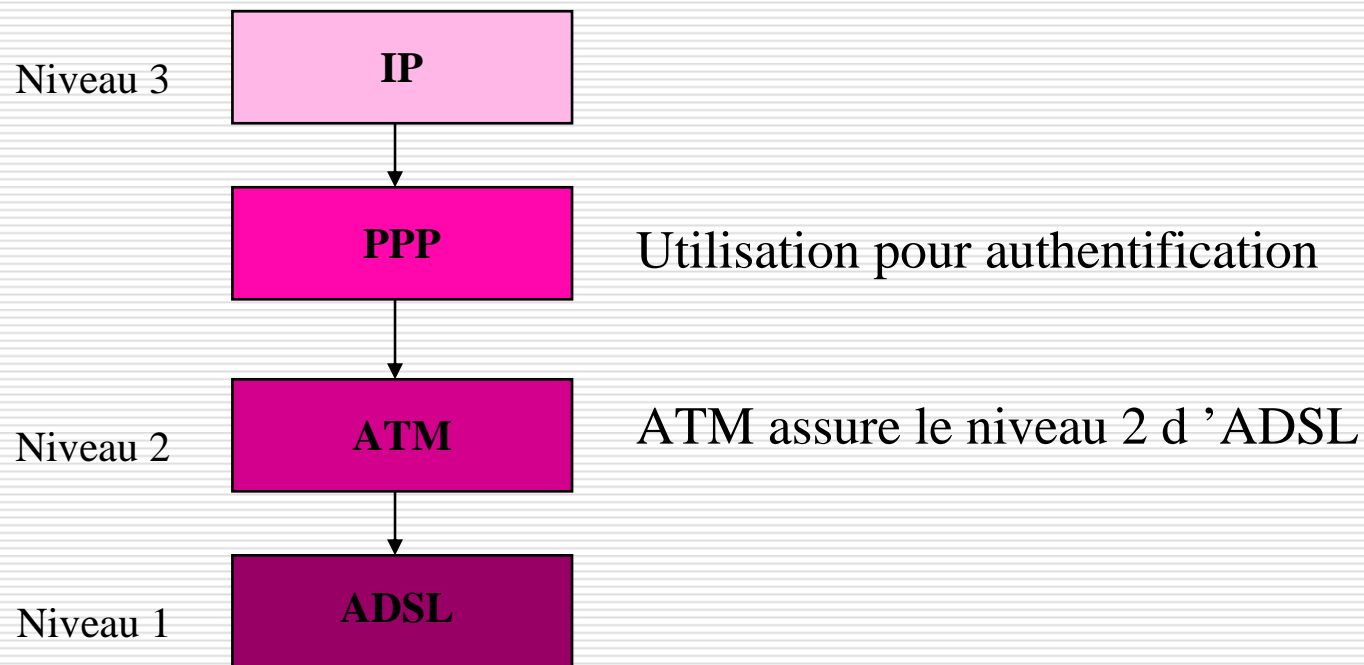
Dégroupage

- Le **répartiteur téléphonique** est le lieu situé dans le CO (ou NRA) où se font toutes les connexions entre la LL et les infrastructures
- Aucun dégroupage: FAI absent du NRA
- Dégroupage partiel: FAI présent au NRA, mais abonnement FT encore possible
- Dégroupage total: FAI présent au NRA, abonnement FT impossible (téléphonie assurée sur spectre ADSL)



IP et ADSL

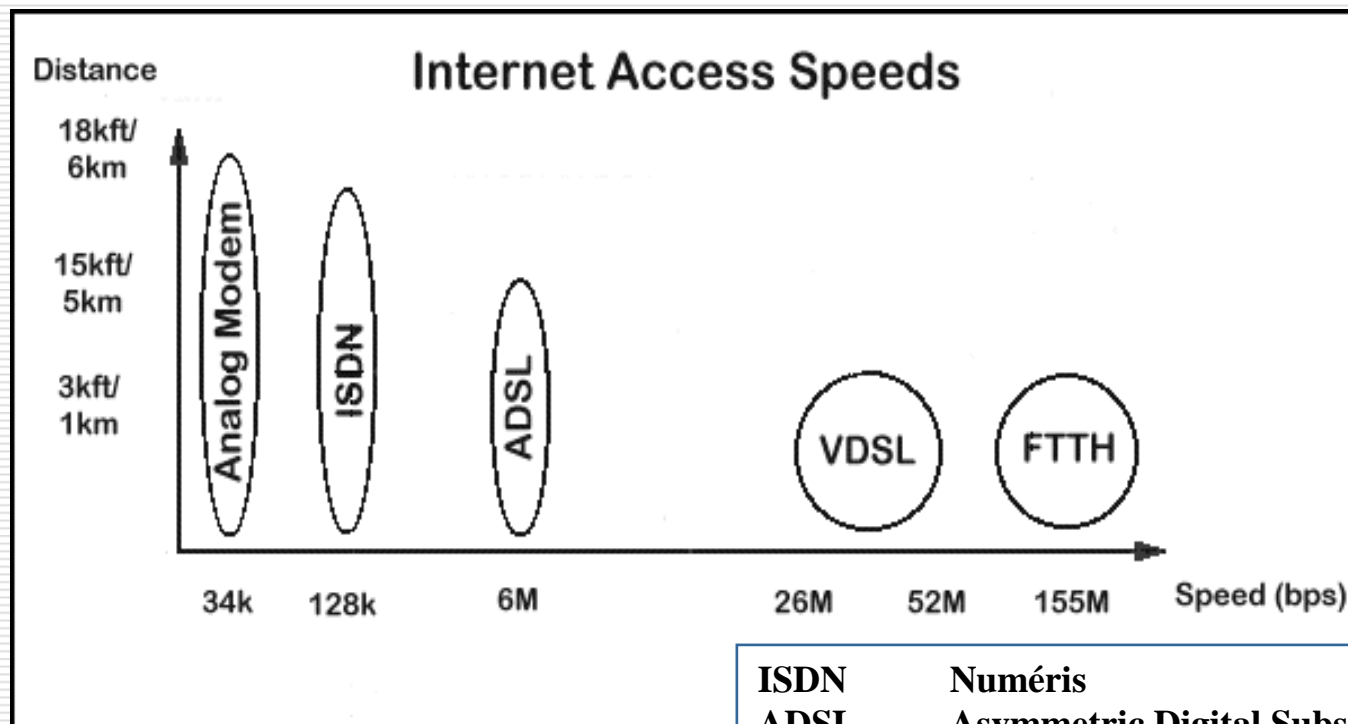
□ Protocoles mis en oeuvre



Annexes

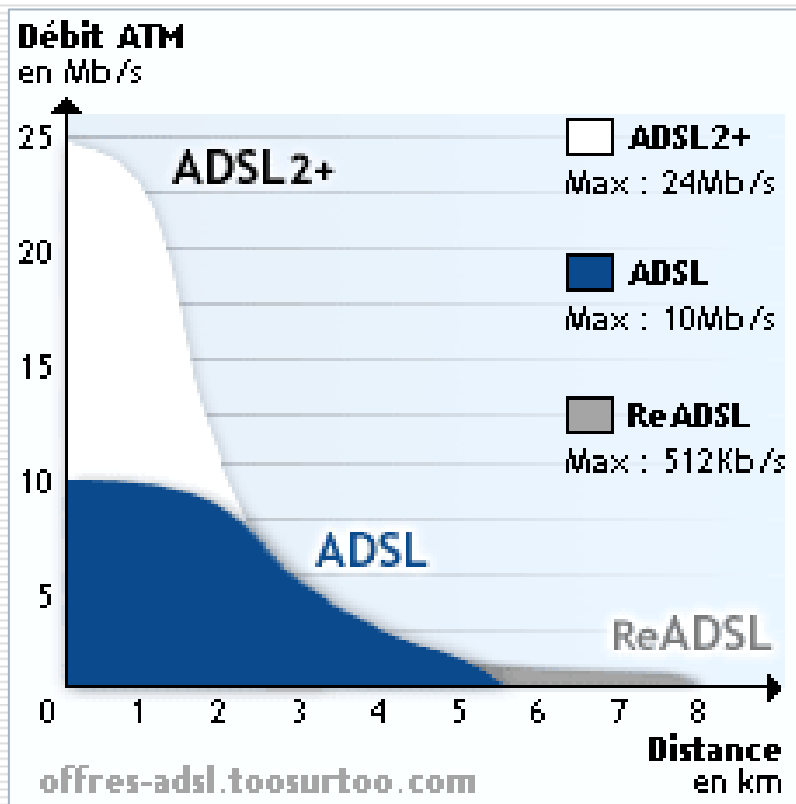
Accès Internet

□ Bilan pour les différentes technologies



ISDN	Numéris
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
VDSL	Very high Digital Subscriber Line
FTTH	Fiber To The Home

Les accès DSL : les variantes



- débits théoriques !
- mesurés en pratique :
 - ~1200 ko/s descendant
 - ~128 ko/s montant
- ping < 100 ms

Les accès DSL

- **HDSL** (*High bit-rate DSL*)
 - 1,5 ou 2 Mbit/s, symétrique, sur 2 paires torsadées, 4 km max.
 - marché essentiellement professionnel
 - **SDSL** (*Symmetric DSL*)
 - 1,5 Mbit/s max. sur une seule paire, jusqu'à 3,5 km
 - **SHDSL** (*Symmetric High bit-rate DSL*)
 - jusqu'à 2,3 Mbit/s sur une seule paire, jusqu'à 3,5 km
 - jusqu'à 4,6 Mbit/s sur deux paires, à 3,5 km ou 2,3 Mbit/s à 5 km
 - **VDSL** (*Very high bit-rate DSL*)
 - débits jusqu'à 52 Mbit/s descendants et 6 Mbit/s remontant
 - (il existe aussi une version à débits symétriques)
 - distances de 300 m (*pour débit max.*) à 1200 m sur *une* paire
 - principes proches de l'ADSL (*multiplexage avec le téléphone analogique*)
 - Marché du VDSL :
 - distribution video large bande, y compris TVHD et VoD
 - réseaux d'accès, « dernier km » en relais de la fibre (FTTC)
-