

Module M1102: Initiation à la téléphonie d'entreprise

L. Sassatelli

sassatelli@unice.fr

Situation dans la formation DUT R&T

Semestre 1							
UE11 : Découverte métiers					Volume horaire étudiant en formation		
Référence	Nom du module	Coeff	CM	TD	TP	encadrée	dirigée
M1101	Initiation aux réseaux d'entreprises	3	9	15	36	60	
M1102	Initiation à la téléphonie d'entreprise	2	6	9	15	30	
M1103	Architecture des équipements informatiques	1,5	9	9	12	30	
M1104	Principes et architecture des réseaux	2	12	9	9	30	
M1105	Bases des systèmes d'exploitation	2	6	6	18	30	
M1106	Initiation au développement Web	1,5	3	6	21	30	
M1107	Initiation à la mesure du signal	1,5	6	9	15	30	
M1108	Acquisition et codage de l'information	1,5	6	9	15	30	
M1109	PT : Mise en application de la communication et des techniques documentaires	1					60
Total UE 11		16	57	72	141	270	60
UE 12: Mise à niveau des compétences transversales et scientifiques					Volume horaire étudiant en formation		
Référence	Nom du module	Coeff	CM	TD	TP	encadrée	dirigée
M1201	Anglais général de communication et initiation au vocabulaire technique	2		9	21	30	
M1202	EC: Éléments fondamentaux de la communication	2		9	21	30	
M1203	PPP: Connaître son champ d'activité	1		3	12	15	
M1204	Mise à niveau en numération et calculs	2	6	18	6	30	
M1205	Harmonisation des connaissances et des outils pour le signal	2	9	9	12	30	
M1206	Circuits électroniques : mise à niveau	2	6	12	12	30	
M1207	Bases de la programmation	2	6	6	18	30	
M1208	Adaptation et méthodologie pour la réussite Universitaire	1		15		15	
Total UE 12		14	27	81	102	210	0
Total semestre 1		30	84	153	243	480	60

- **Organisation :**

- Cours : 9h
- TD : 4.5h
- TP : 15h

- **Notation :**

- DS (dont QCM) : coeff 1
- TP : coeff 1

Plan général du cours

1. Historique du téléphone
2. La voix humaine: caractéristiques du signal
3. La numérisation: discréétisation en temps et en valeurs
4. Commutation et multiplexage
5. Organisation du réseau téléphonique public : signalisation et routage
6. Dimensionnement: combien de débit prévoir ?
7. Administrer un réseau téléphonique privé : Autocommutateur (PABX)

PARTIE 1: HISTORIQUE

Dates et inventions clés

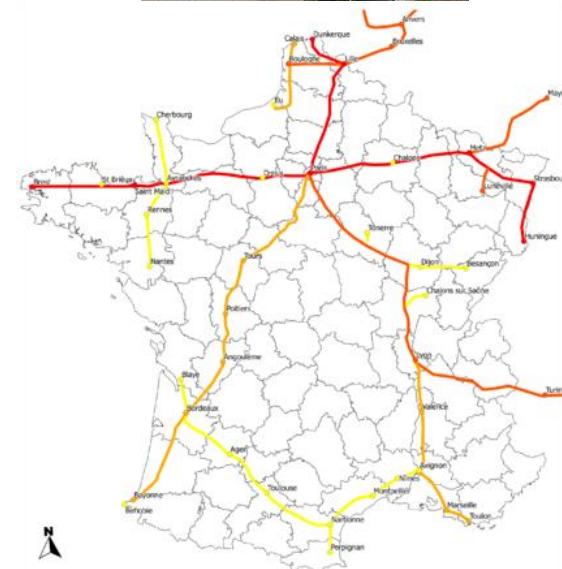
- 500 000	Feu
- 3 200	Écriture : Les Sumériens créent l'écriture cunéiforme
- 3 000	Roue : Les Sumériens remplacent la glisse sur tronc d'arbres par la roue
770	Imprimerie
1642	Calculatrice de Pascal
1793	Télégraphe de Chappe
1801	Volta présente sa pile électrique à Bonaparte
1850	Calculateur de Babbage avec cartes perforées
1861	Le vélo(cipède): les frère 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 : télégraphe de Chappe

- **Télégraphe** (du grec *télé*, loin et *graphe*, 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 réseau Chappe en France

Directions (date de création)

● 1793-1800
● 1800-1815
● 1815-1830
● Après 1830

Lignes (date de création)

— 1793-1800
— 1800-1815
— 1815-1830
— Après 1830

Le télégraphe électrique : le télégraphe de 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 (Itinéris, 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



1876



1883

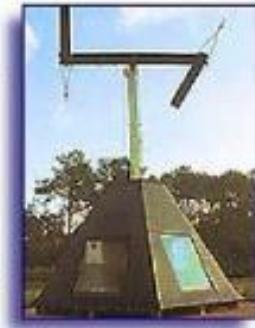


1892

Téléphones



Télégraphes



1893



1897



1901

Télex



1914



1937

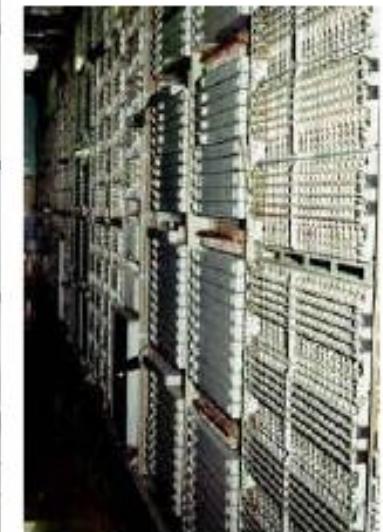
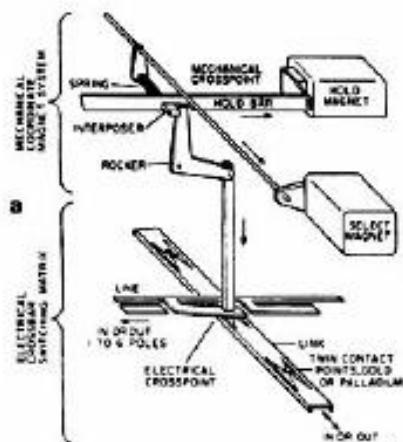
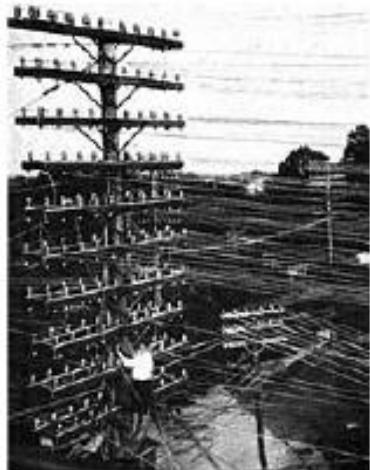
1949



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.

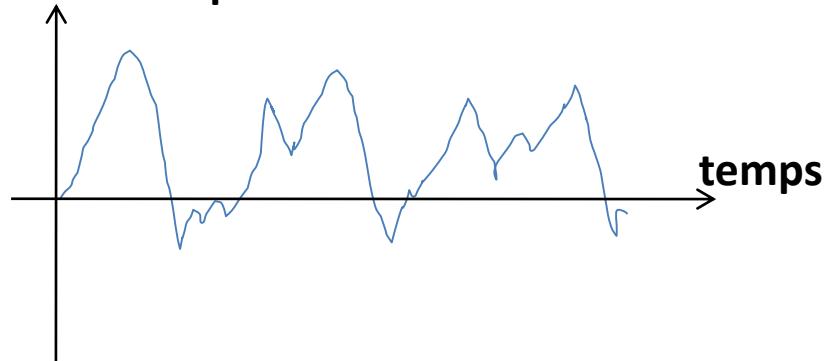
PARTIE 2 : LA VOIX

- Qu'est-ce que le son ?
- Qu'est-ce que la voix ?
- Caractéristiques de la voix humaine
- Emission et Réception

Qu'est-ce que le son ?

- **L'onde sonore** : Une onde acoustique est une perturbation mécanique (onde de compression-dilatation du milieu) qui se propage dans un milieu matériel.
C'est une vibration.
- L'onde va "comprimer" et "décompresser" le milieu puis, après le passage de l'onde, le milieu reste inchangé.
-> ne marche pas dans le vide

Densité de molécules
à un point P de l'espace

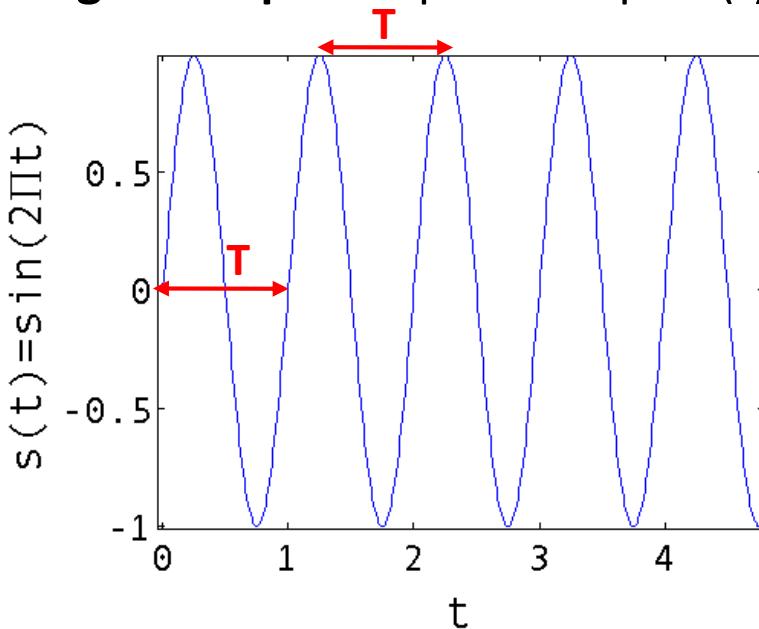


Propagation du son

<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	

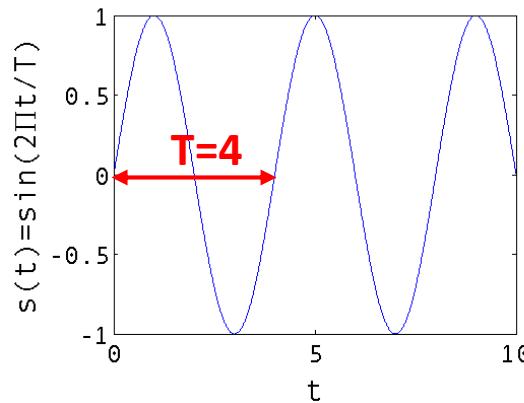
Composition du signal sonore

- Un signal est une fonction du temps (qui peut correspondre à la densité de l'air à un point donné de l'espace, l'amplitude d'une tension, etc...).
- **Un signal simple** est par exemple $s(t)=\sin(2\pi t)$



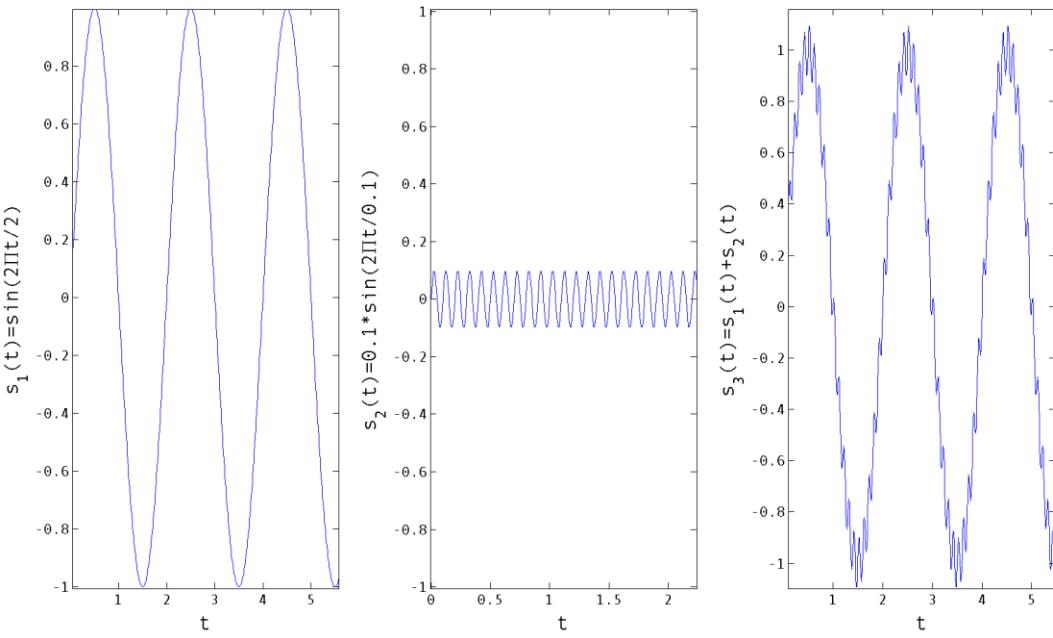
• **Période:** temps minimum au bout duquel un signal se reproduit à l'identique.

Une période de signal périodique décrit le signal complètement.



Composition du signal sonore

- Un signal complexe est la somme de plusieurs signaux simples :
 - Prenons $s_3(t) = s_1(t) + s_2(t)$
 - Avec $s_1(t) = \sin(2\pi t/2)$ et $s_2(t) = 0.1 * \sin(2\pi t/0.1)$



- La **fréquence** est l'inverse de la période : nombre de variations par unité de temps (s).
 - $f_1 = 1/T_1 = 1/2 = 0.5$ Hz
 - $f_2 = 1/T_2 = 1/0.1 = 10$ Hz
- La **fréquence fondamentale** f_0 est la plus petite fréquence présente dans un signal ($f_0 = f_1$ ici).

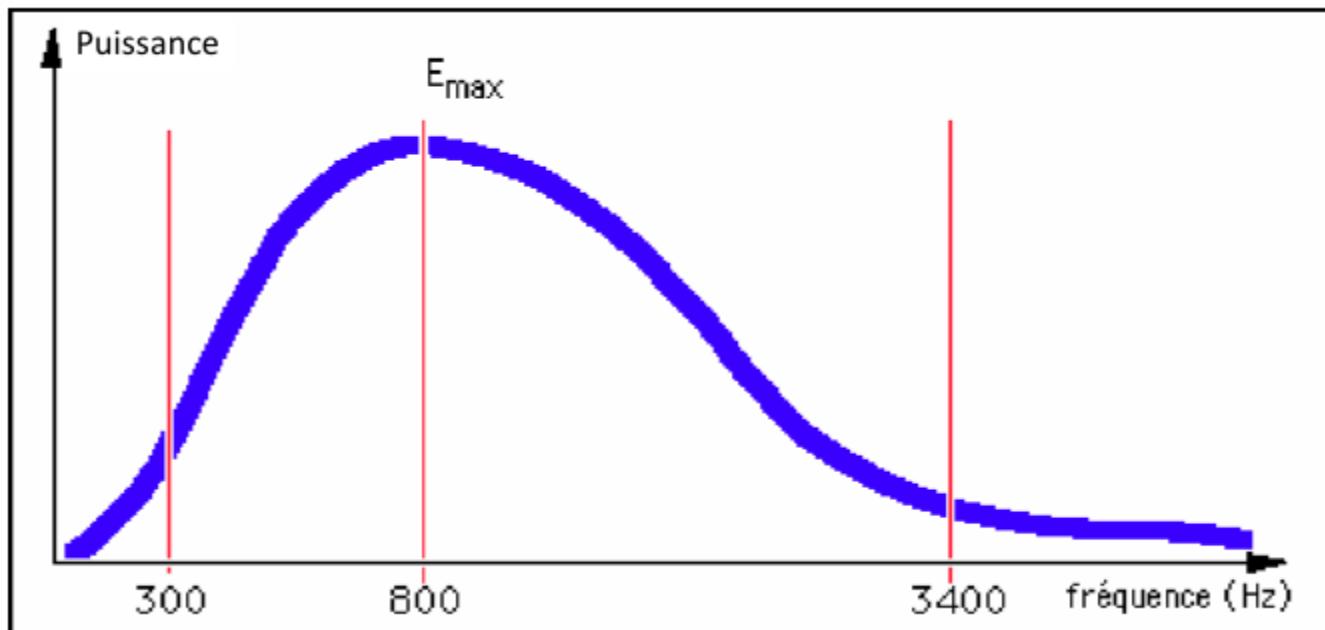
Qu'est-ce que la voix ?

- La voix désigne le signal sonore produit par les cordes vocales, et qui est le vecteur de la parole.
- La fréquence fondamentale de la voix est la fréquence de vibration des cordes vocales :

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

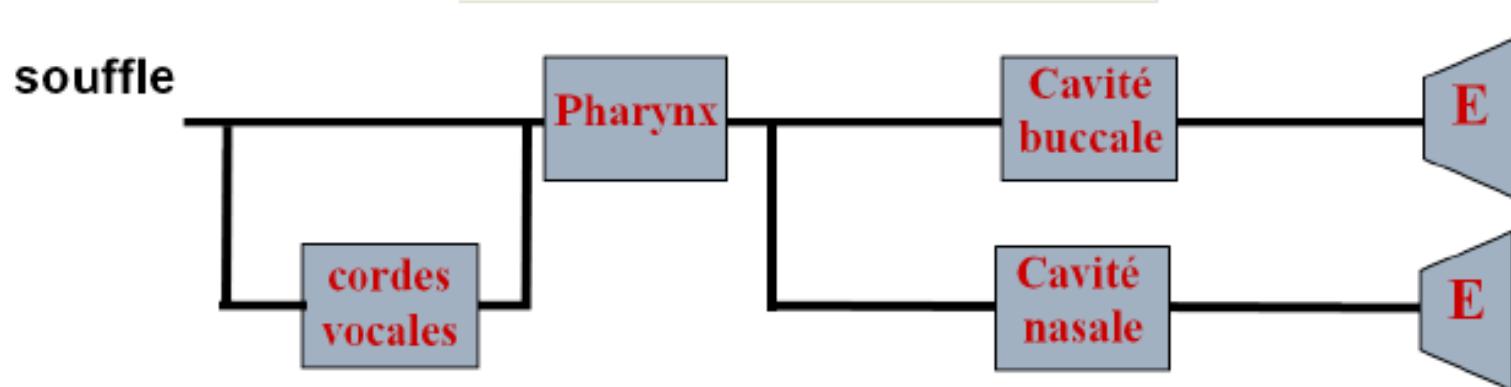
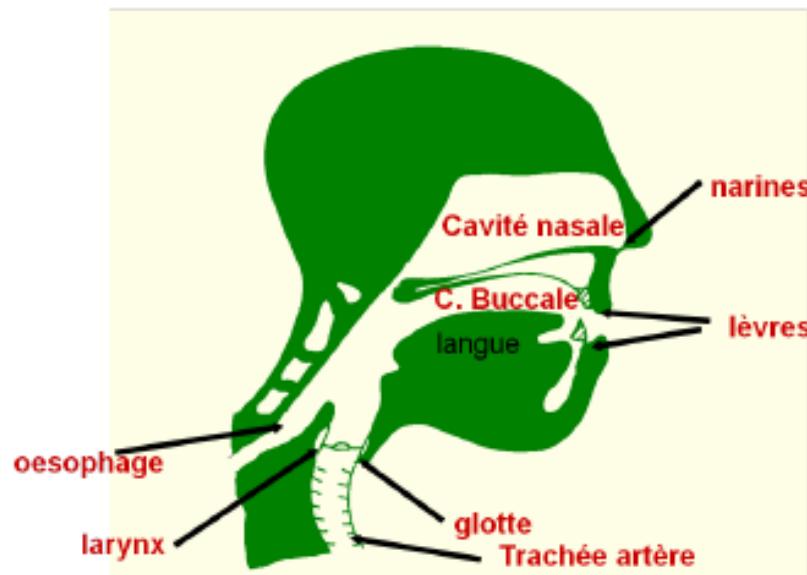
Le spectre de la voix humaine

- Spectre = répartition de la puissance sur les différentes fréquences présentes dans le signal
- Puissance d'une certaine fréquence : liée à l'amplitude moyenne de la composante à cette fréquence dans le signal sonore quand on parle



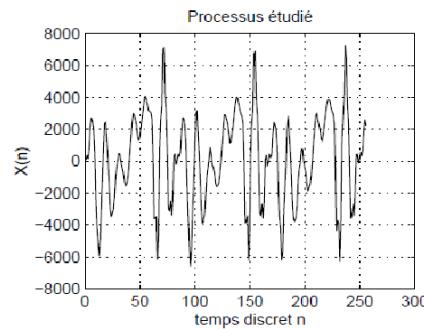
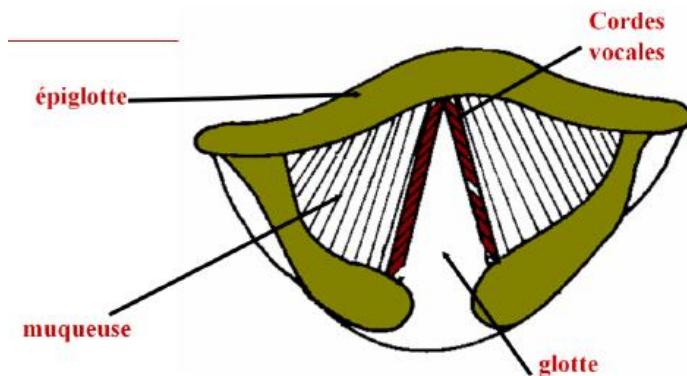
Production de la voix: Un peu de physiologie

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.

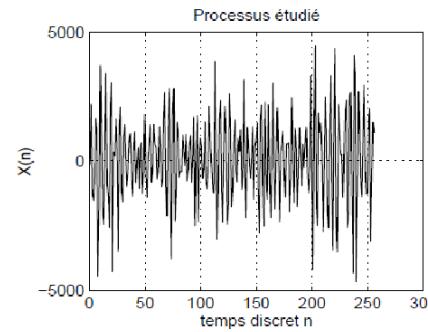


Emetteur: Le larynx

- 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]

Exemple de l'intérêt de l'analyse de la voix: la compression à l'émission

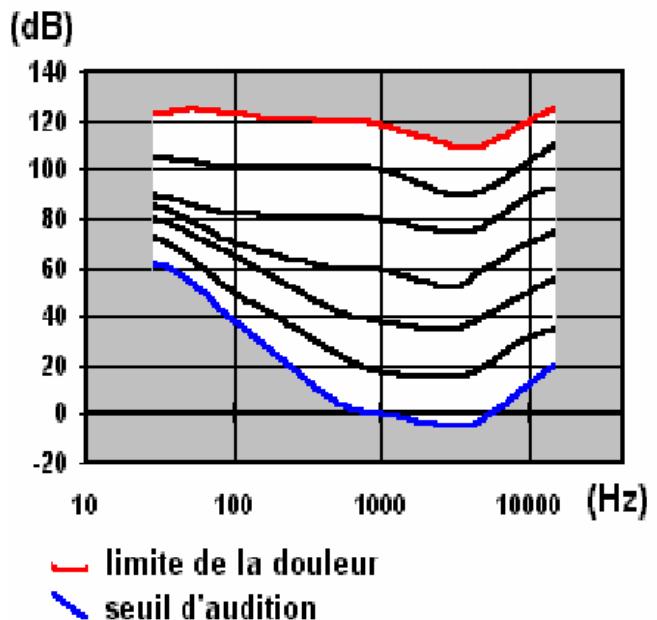
- Chaque phonème peut être simplement modélisé sous forme
 - d'une **source** : cette source étant un signal périodique de fréquence f_0 (si le phonème traité est voisé) et un bruit blanc (si le phonème est non-voisé)
 - et d'un **filtre** qui représente l'action du conduit vocal.
- Cette **modélisation** 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

Récepteur du signal vocal: l'oreille

- Un son correspond à un déplacement d'air suivant une certaine amplitude (décibel) et certaines fréquences (hertz).
1. ce déplacement d'air arrive dans l'oreille
 2. rebondit contre la membrane du tympan qui vibre
 3. le liquide en se déplaçant va faire réagir de minuscules cils sensibles à certaines fréquences
 4. de cette réaction va naître un influx nerveux qui va transmettre l'information sonore ainsi codée au cerveau

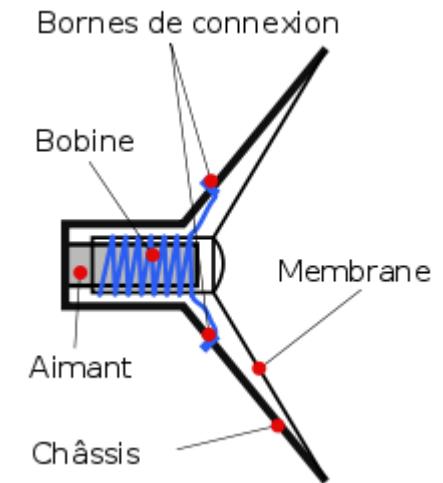
La sensibilité de l'oreille

- Le diagramme de Fletcher et Munson représente les courbes d'égale sensation sonore d'une oreille humaine normale en fonction de la fréquence : pour une même amplitude de vibration de cils, quelle doit être l'amplitude de vibration de l'air.
- 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



Télé-communication vocale

- But : transformer le signal sonore en un signal électrique pour le transporter loin et sans autant d'atténuation.
- $s(t)$ variations de la densité de l'air est transformé en $v(t)$ variations de la tension électrique
- Principes du microphone et du haut-parleur :
 - Membrane pour variations de l'air
 - Bobine pour courant produisant un champ magnétique
 - Aimant pour transformer la force magnétique en force mécanique



Complexité de la chaîne de transmission

Degré de complexité

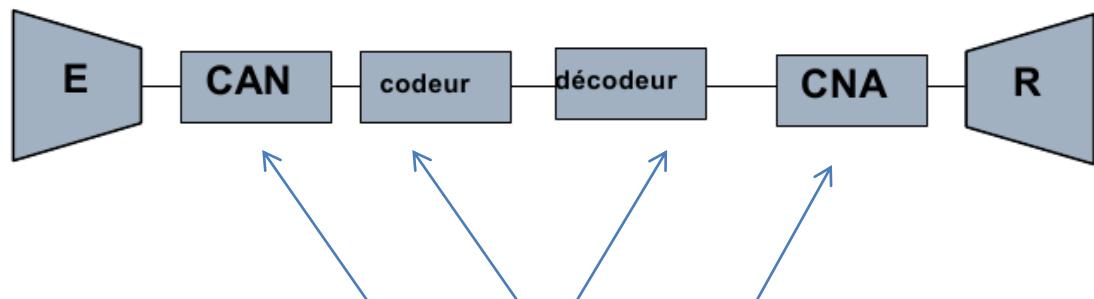
- analogique



- numérique
quantification
échantillonnage



- codage
modélisation
compression



Normes internationales définissant les traitements

PARTIE 3 : NUMERISATION

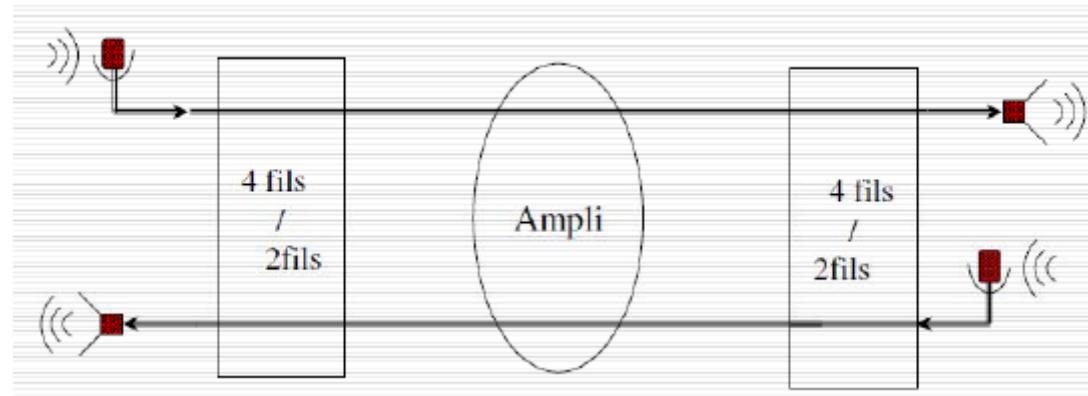
- Discrétisation en temps : l'échantillonnage
- Discrétisation en valeurs : quantification
- PCM

Les besoins pour le transport de la voix

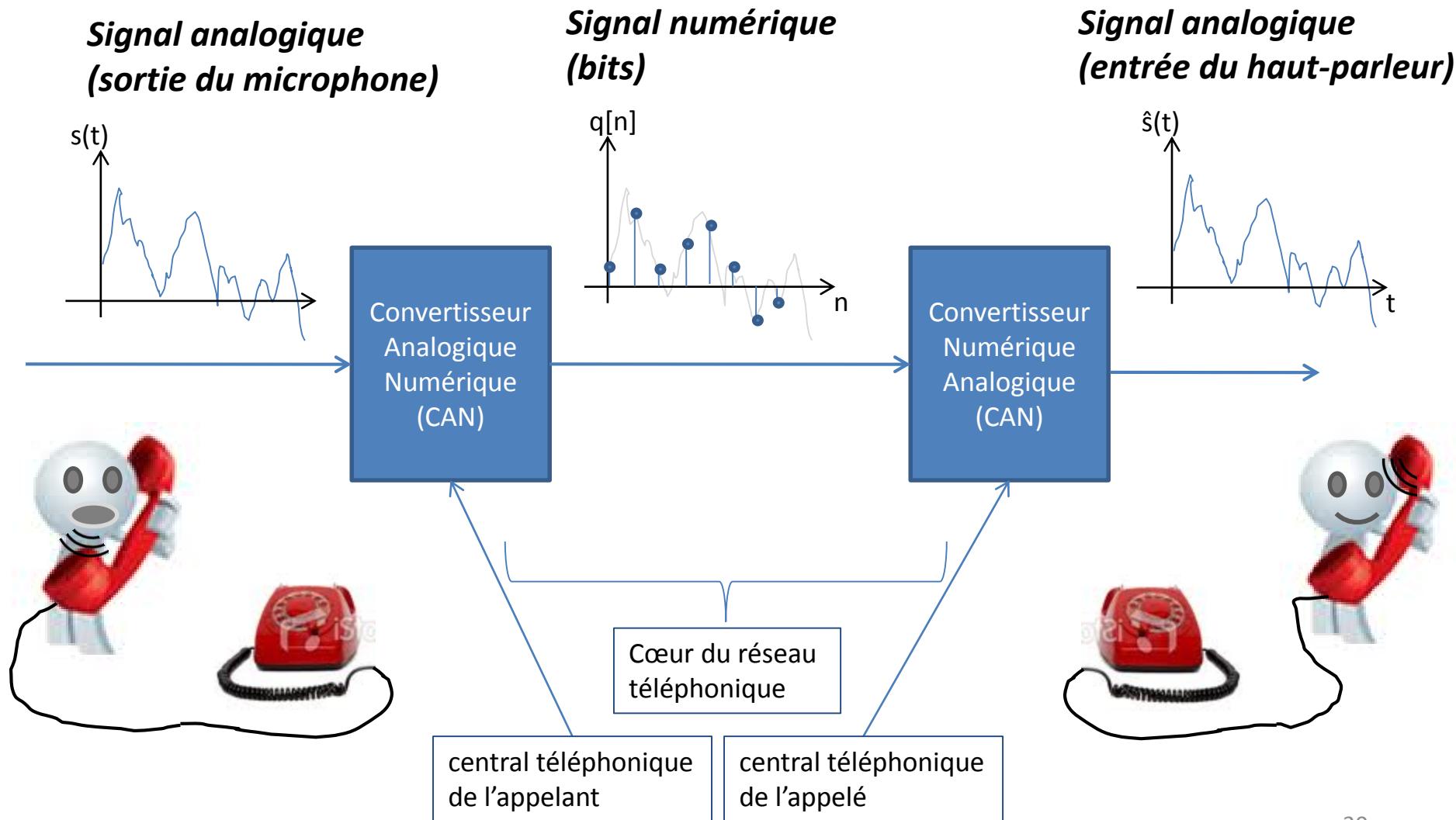
- A grande distance : donc sans trop de pertes, d'atténuation
- Sans trop tirer de câbles : un câble doit pouvoir être utilisé pour plusieurs communications téléphoniques
- Les 2 interlocuteurs doivent pouvoir parler dans les 2 sens et en même temps.

Besoin du full-duplex

- Communication **simplex** : possible que dans un sens
- Communication **duplex** : possible dans les 2 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)



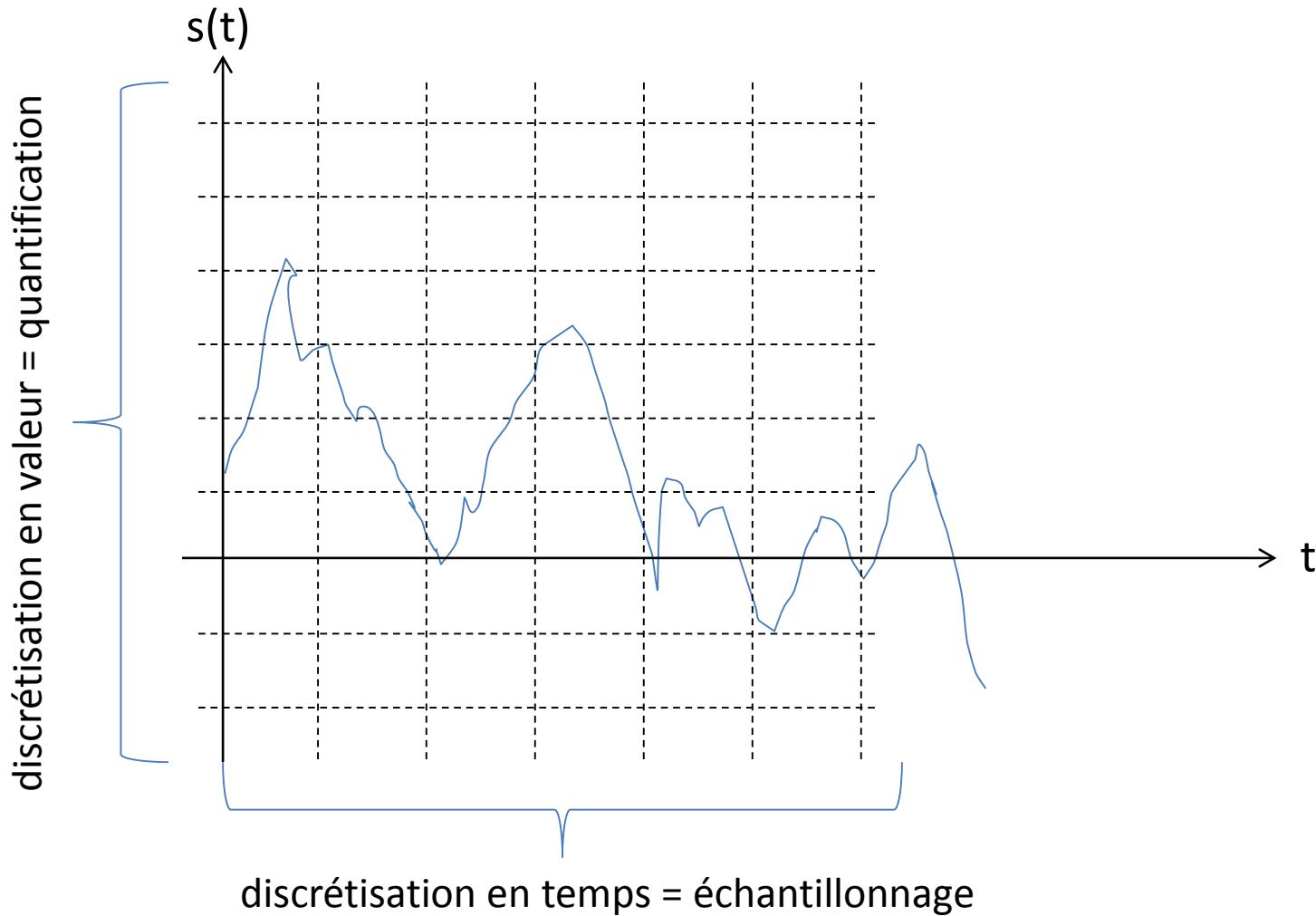
La numérisation



La numérisation : principe

- Conversion Analogique -> Numérique
- **Numérisation** = transformation d'un signal continu dans le temps et à valeurs continues en une suite discrète en temps et discrète en valeurs
=> Permet de représenter un signal continu sur un intervalle de temps fini, en un nombre fini de bits
- La discréétisation permet de transformer un espace borné infini en un espace borné fini.
Exemple : l'ensemble des nombres réels entre 1 et 10, $[1;10]$, peut être discréétisé en $\{1;2;3;4;5;6;7;8;9;10\}$ qui est un ensemble fini.
- **Discréétisation dans le temps**: prélèvement de l'amplitude du signal à des instants précis
= **échantillonnage**
- **Discréétisation 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

La numérisation : principe

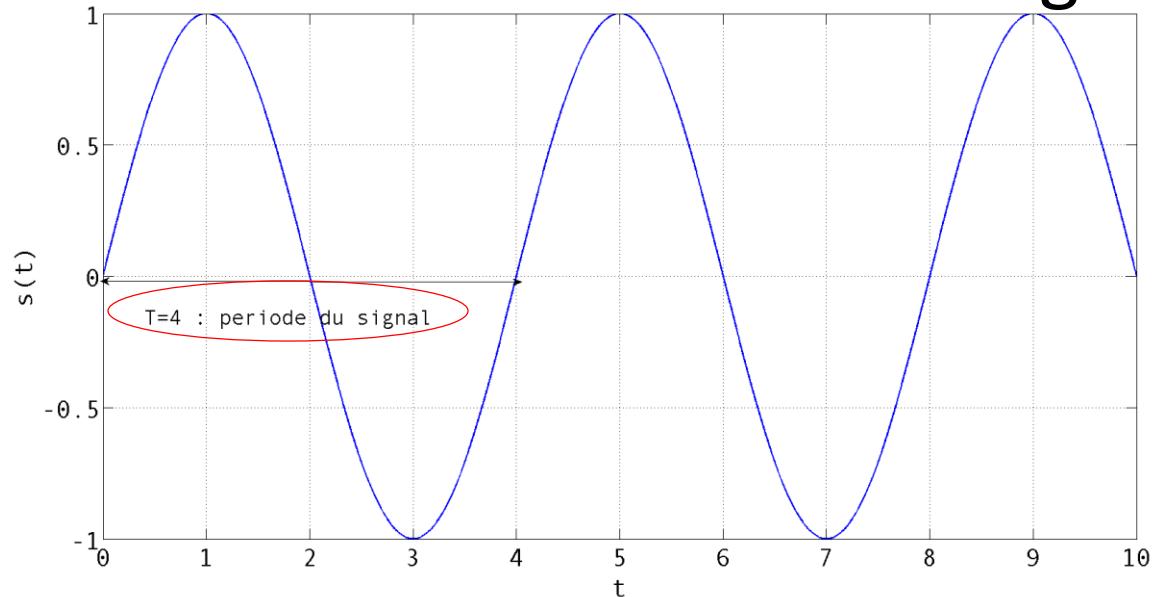


La numérisation : intérêt

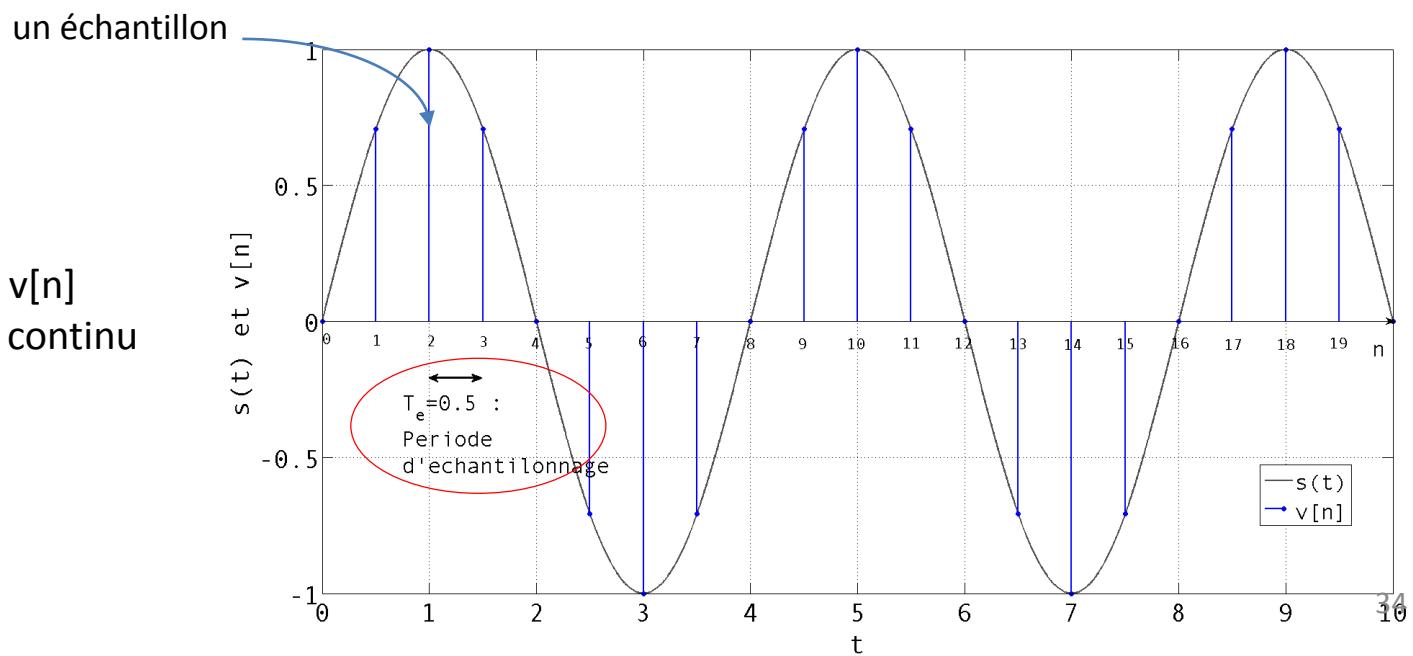
- Comparé aux systèmes analogiques, le système numérique permet une plus grande qualité de transmission: il suffit de reconnaître la présence du signal et non sa forme pour le reconstituer.
- Il est ainsi possible de régénérer le signal au récepteur en éliminant les erreurs introduites par le bruit.
- La numérisation permet d'utiliser moins de ressources (de câbles, de temps et de bande de fréquence) pour transmettre beaucoup de communications à la fois.

Etape 1 de la numérisation : l'échantillonnage

Signal analogique $s(t)$
(continu en temps et en valeurs)



Signal échantillonné $v[n]$
(discret en temps et continu
en valeurs)

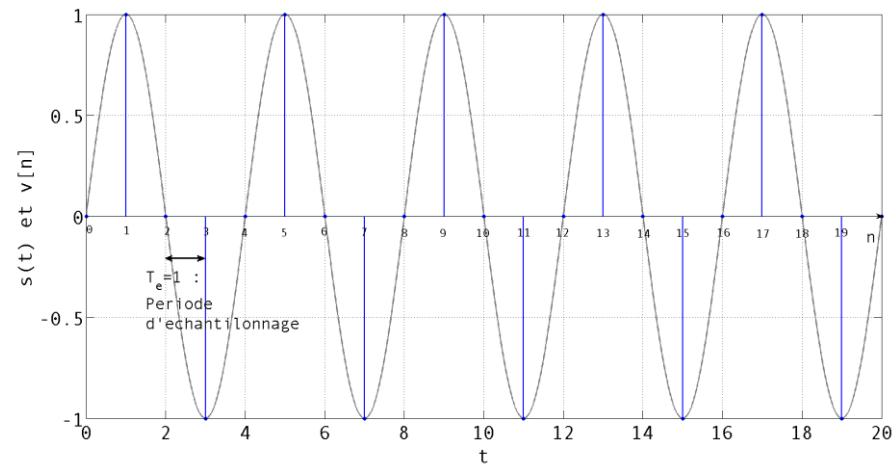
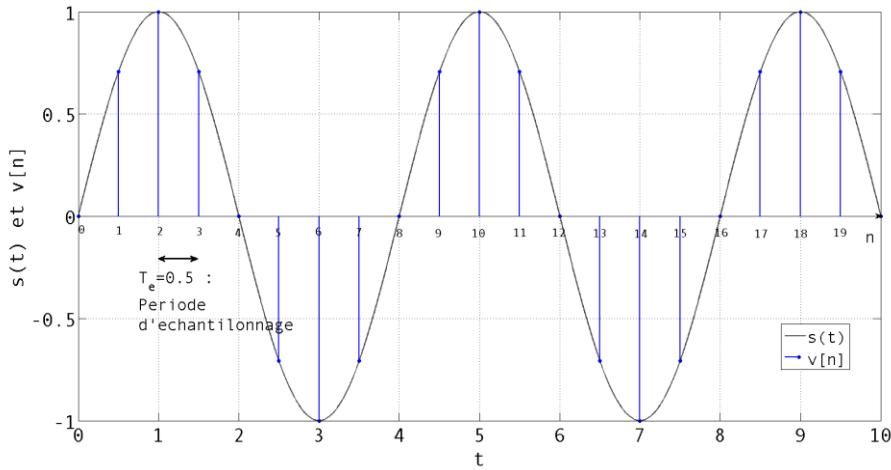


L'échantillonnage : objectif

- L'objectif de l'échantillonnage est de **permettre au récepteur de reconstruire** le signal analogique d'origine $s(t)$ à partir du signal échantillonné $v[n]$.
- **Condition intuitive** pour une reconstruction parfaite : le signal échantillonné doit avoir les mêmes variations que $s(t)$ (aucune variation ne doit être loupée).

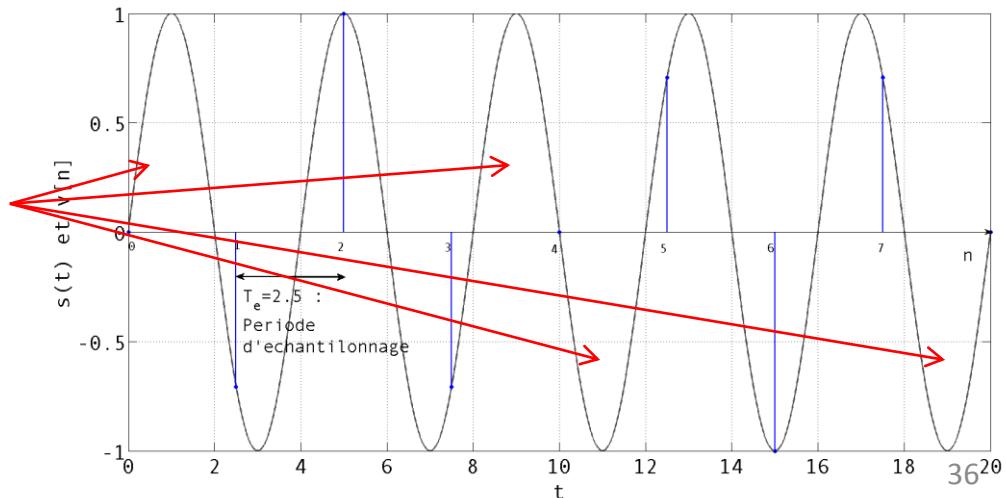
L'échantillonnage : objectif

- Condition intuitive remplie :



- Condition intuitive non-remplie

Oscillations loupées



L'échantillonnage : objectif

- Condition intuitive : avoir au moins un échantillon dans chaque oscillation, donc au moins 2 échantillons par période
=> donc il faut $T_e \leq T/2$
- Dans le cas général d'un signal complexe, il faut des échantillons assez rapprochés (T_e assez petite) pour que les variations les plus rapides présentes dans le signal soient reproduites : variations de période minimale T_{\min} . Donc

$$T_e \leq T_{\min}/2$$

- avec $F_{\max} = 1/T_{\min}$, ceci est équivalent à

$$F_e \geq 2 F_{\max}$$

- Il existe une preuve mathématique de cette condition, que vous appellerez dorénavant le **théorème de Shannon-Nyquist**.

L'échantillonnage : condition de reconstruction

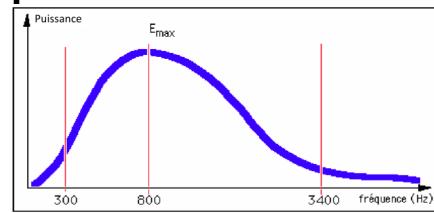
- **Théorème de Shannon-Nyquist :** la reconstruction parfaite d'un signal analogique $s(t)$, à partir du signal $v[n]$ obtenu par un échantillonnage de période T_e , est possible si et seulement si

$$F_e > 2 F_{\max}$$

où F_{\max} est la fréquence maximale présente dans le signal $s(t)$.

Le choix de F_e en téléphonie

- Téléphone : quelle est F_{\max} pour la voix humaine ?
 - Réponse : $F_{\max} = 4\text{KHz}$ car
 - D'où le choix : **$F_e = 8\text{KHz}$**
- Donc **$F_e=8\text{KHz}$** signifie qu'un CAN dans un central téléphonique produit **8000 échantillons par seconde par communication** téléphonique.
- Pour s'assurer que le signal vocal sera bien reproduit, on enlève les composantes de fréquences supérieures à $F_{\max} = 4\text{KHz}$ avant d'échantillonner à $F_e=8\text{KHz}$: on applique un « filtre anti-repliement ».
 - Vous verrez pourquoi « repliement » un peu plus tard dans l'année



Le choix de F_e dans d'autres contextes

- L'oreille humaine entend jusqu'à 15-18KHz, donc pour échantillonner des signaux autres que la voix humaine (musique) :

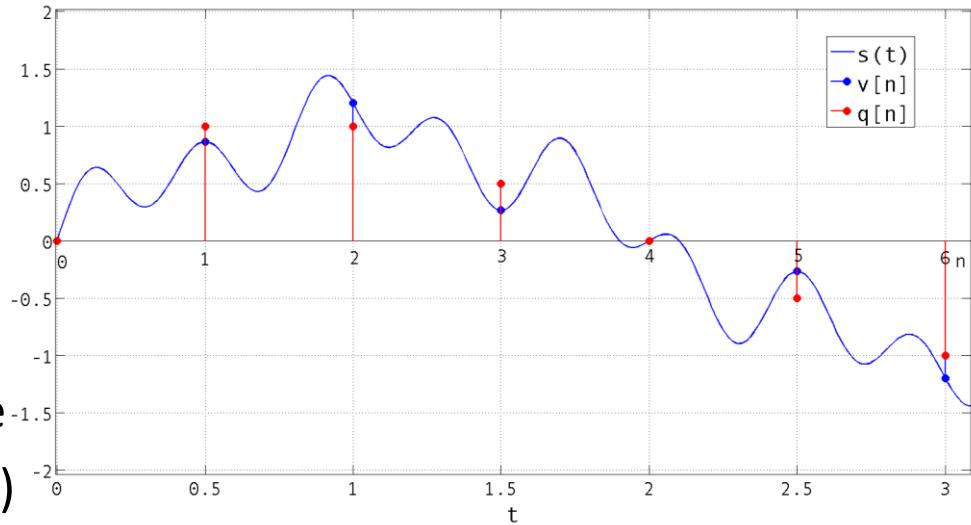
Contexte	F_{max}	F_e
Radio FM	15KHz	32KHz
Qualité CD	20KHz	44.1KHz

Etape 2 de la numérisation : la quantification

- Rappel : La numérisation doit permettre de représenter un signal continu sur un intervalle de temps limité, en un nombre fini de bits.
- Or un nombre fini de bits ne peut représenter qu'un nombre fini de valeurs possibles :
M bits ne décrivent que 2^M valeurs possibles
- Donc un nombre fini de bits ne peut pas représenter la valeur d'un échantillon tant que celle-ci peut varier dans un espace continu (par exemple valeurs réelles).
- Donc pour obtenir une représentation binaire du signal, il va falloir projeter la valeur de chaque échantillon dans un ensemble fini : c'est la quantification
= discrétisation en valeurs

Quantification : principe

- Soit E_v l'espace initial des valeurs des échantillons. Ici $E_v = [-2; 2]$.
- Soit E_q l'espace (fini) des valeurs quantifiées. Ici $E_q = \{-2; -1.5; -1; -0.5; 0; 0.5; 1; 1.5; 2\}$.
- Pour chaque n , **$q[n]$ est obtenu en projetant $v[n]$ sur l'ensemble E_q .**



- Ainsi **chaque échantillon de $q[n]$ ne peut plus prendre que $|E_q| = \text{card}(E_q)$ valeurs**, et peut donc être **représenté par M bits** tel que :

$$2^M \geq |E_q|$$

Ce qui est équivalent à $M = \text{Partie entière sup}(\log_2(|E_q|))$

- D'où la question : Comment choisir E_q pour que l'erreur commise lors de la quantification ne nuise « pas trop » à la qualité du signal sonore reconstitué ?

Quantification : critère de qualité d'écoute

- Au moment de la reconstruction du signal au récepteur, la différence entre signal analogique reconstruit et d'origine perçue par l'oreille est fonction du **Rapport Signal sur Bruit** :

$$\begin{aligned} RSB &= \frac{\text{Puissance du signal}}{\text{Puissance du bruit}} \\ &= \frac{\text{Puissance du signal}}{\text{Puissance de l'erreur de quantification}} \\ RSB &= \frac{v[n]^2}{(v[n] - q[n])^2} \end{aligned}$$

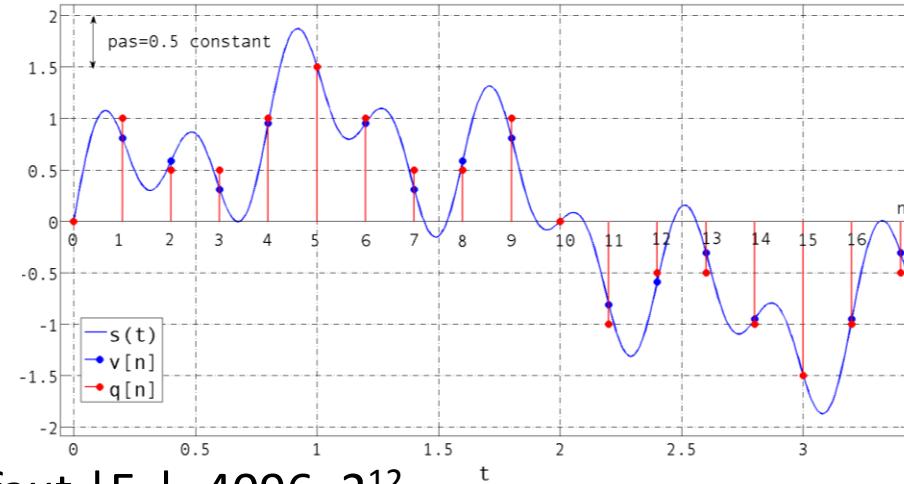
- Pour une communication téléphonique, une qualité acceptable au destinataire est obtenue si

$$(C) RSB \geq RSB_{\text{seuil}} = 6,3 \cdot 10^3 \text{ (38dB)}$$

Quantification uniforme

- On a $\min(v[n])=V_{\min}$ et $\max(v[n])=V_{\max}$ (tensions min et max en sortie de micro, 1V et 10mV).
- Supposons $E_q=\{-A;-A+\text{pas};-A+2\text{pas};\dots;A-2\text{pas};A-\text{pas};A\}$ avec $A \geq V_{\max}$. Alors $|E_q|=PES(2A/\text{pas})$.
- (C) doit être satisfaite pour tout n .
- Donc il faut $RSB_{\min} \geq RSB_{\text{seuil}}$
 Comme $RSB_{\min} = \frac{\min(v[n]^2)}{\max((v[n] - q[n])^2)} = \frac{V_{\min}^2}{\text{pas}^2}$
 on obtient

$$\text{pas} \leq \frac{V_{\min}}{\sqrt{RSB_{\text{seuil}}}}$$
- Ainsi pour un tel E_q , dit « uniforme », il faut $|E_q|=4096=2^{12}$, soit **M=12 bits par échantillons**.
- Débit (en bits par sec)= nb d'éch par sec * nb de bits par éch = $8000*12=96Kbps$ pour une quantification uniforme.

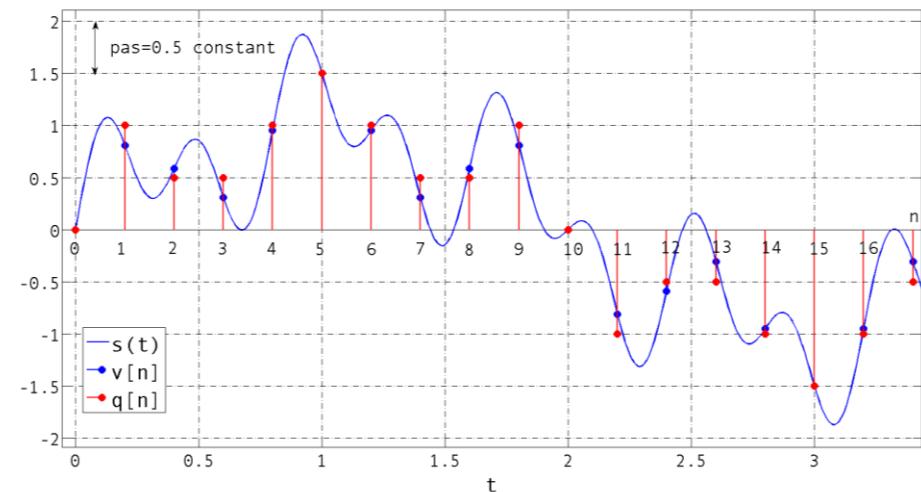


Quantification non-uniforme

- Le but est de faire mieux : comment diminuer le débit utilisé par une communication téléphonique numérisée, en dessous de 96Kbps en conservant la même qualité (même RSB) ?
- En reprenant la formule $RSB = \frac{v[n]^2}{(v[n] - q[n])^2}$
 - si $v[n]$ est grand, l'erreur $v[n]-q[n]$ peut être grande pour remplir la condition (C),
 - si $v[n]$ est petit, l'erreur $v[n]-q[n]$ doit être petite pour remplir la condition (C).
- Donc l'idée de la quantification non-uniforme est de commettre une erreur plus grande sur des échantillons avec des amplitudes plus grandes, pour augmenter le pas et ainsi réduire le nombre de valeurs utilisées, et donc le nombre de bits par échantillon.

Quantification non-uniforme

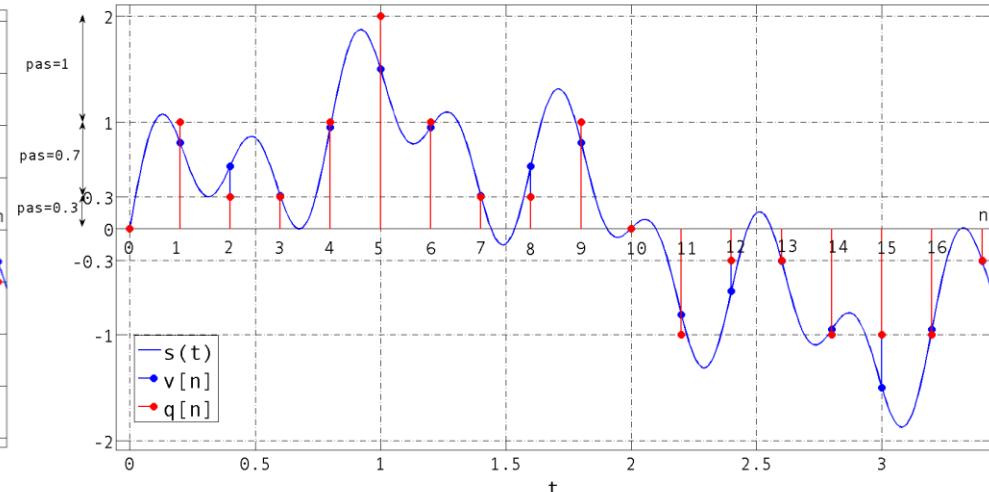
Quantification uniforme



Nb de valeurs : 9

Nb de bits nécessaire : 4

Quantification non-uniforme



Nb de valeurs : 7

Nb de bits nécessaire : 3

- La norme internationale **G711** de téléphonie permet d'obtenir la qualité désirée (C) avec une **quantification non-uniforme sur 8 bits** au lieu de 12 nécessaires avec une quantification uniforme.
- Débit binaire généré par une com. tél. numérisée avec quantif. non-unif :
débit = nb d'éch par sec*nb de bits par éch = 8000*8 = 64Kbps

Quantification non-uniforme en G711

- Obtention des 8 bits $\mathbf{b}[n]$ représentant $v[n]$:

$v[n] \rightarrow x = |v[n]/V_{\max}| \rightarrow y = F(x) \rightarrow \mathbf{b}[n]$ est le numéro de l'intervalle dans lequel tombe y

- 2 lois de quantification :

- USA et Japon :

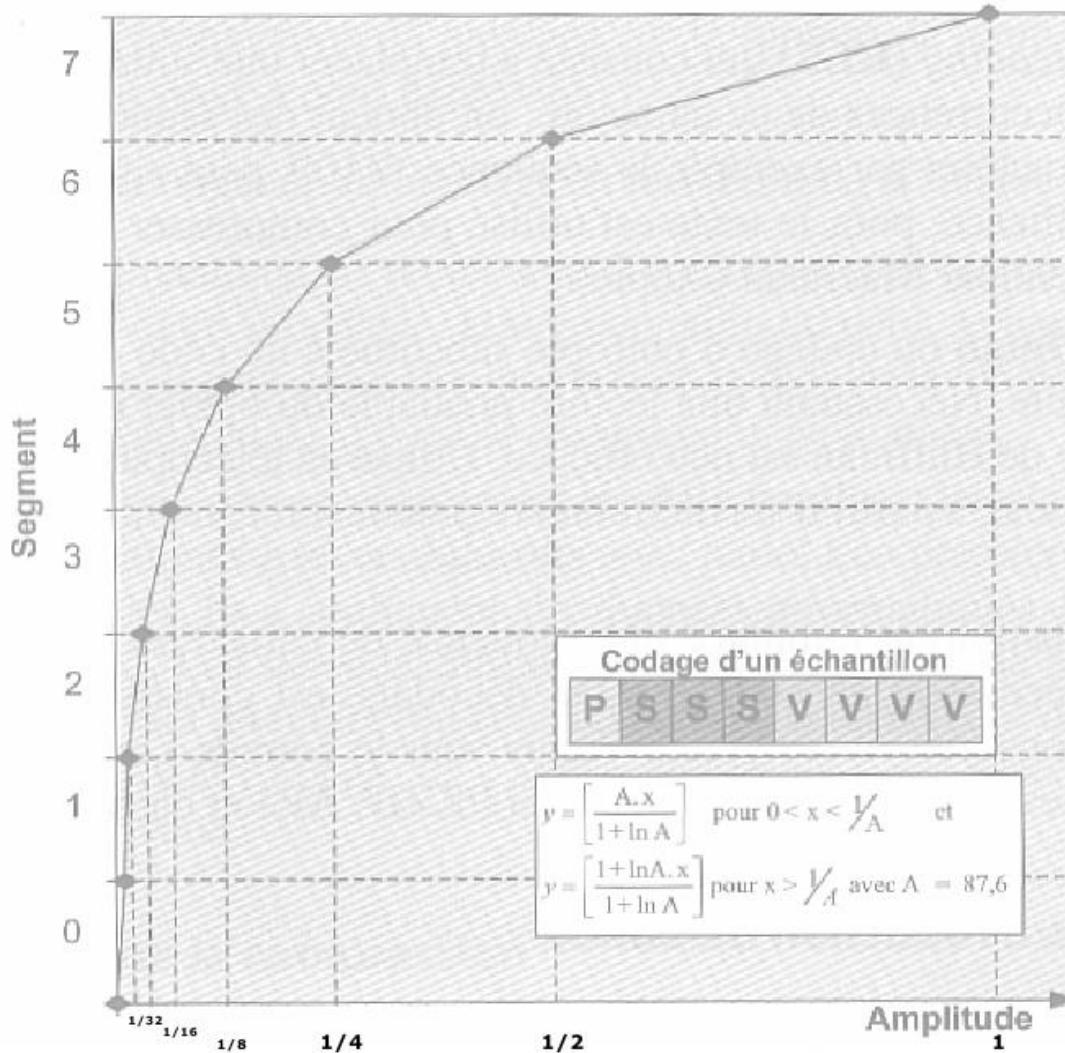
$$F(x) = \text{sgn}(x) \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)} \quad -1 \leq x \leq 1$$

- Ailleurs (dont Europe) :

$$F(x) = \text{sgn}(x) \begin{cases} \frac{A|x|}{1+\ln(A)}, & |x| < \frac{1}{A} \\ \frac{1+\ln(A|x|)}{1+\ln(A)}, & \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1, \end{cases}$$

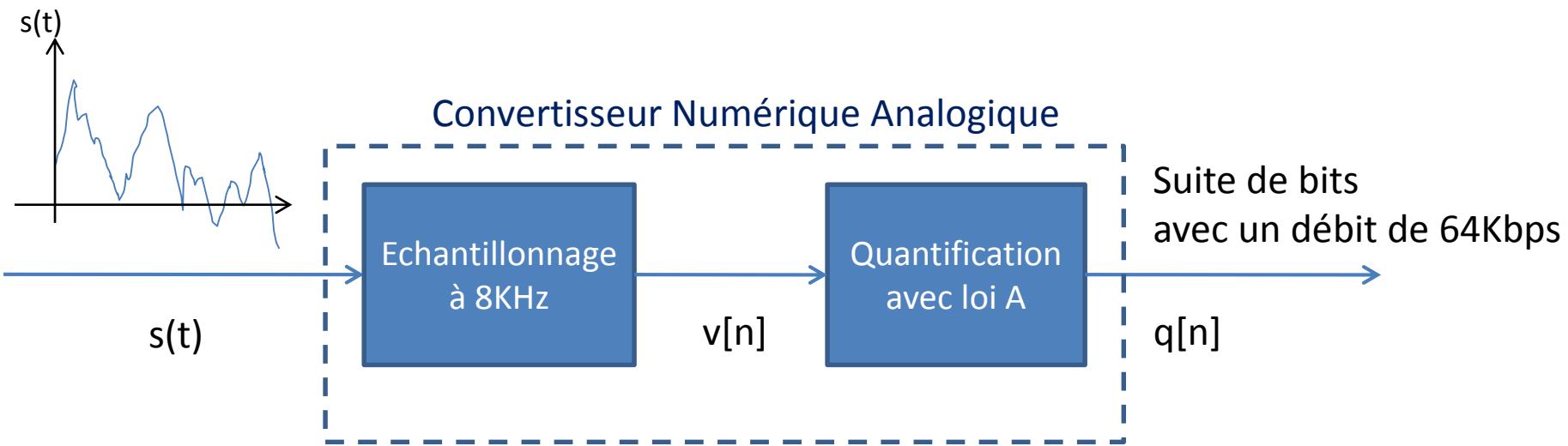
Quantification non-uniforme en G711

La loi A



La numérisation en téléphonie

- La transformation d'un signal analogique en suite d'échantillons quantifiés s'appelle **PCM : Pulse Code Modulation**, et constitue la **norme G711** de téléphonie internationale.



PARTIE 4 : COMMUTATION ET MULTIPLEXAGE

Le multiplexage

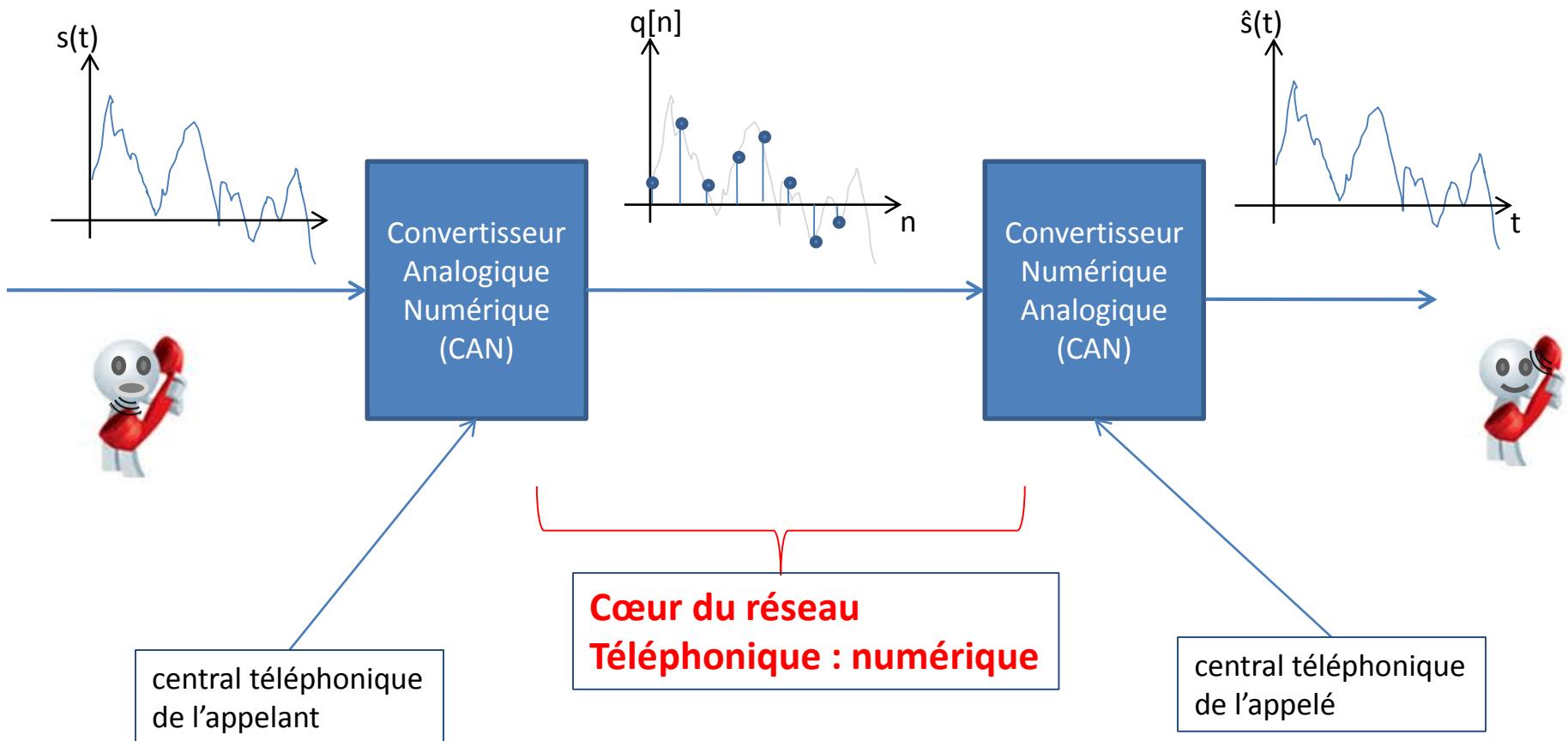
- multiplexage spatial
- multiplexage fréquentiel
- multiplexage temporel

La commutation

- commutation spatiale
- commutation temporelle
- commutation de circuit

Trame PCM, multiplexage et hiérarchie numérique

Rappel



Les contraintes dans le cœur du réseau

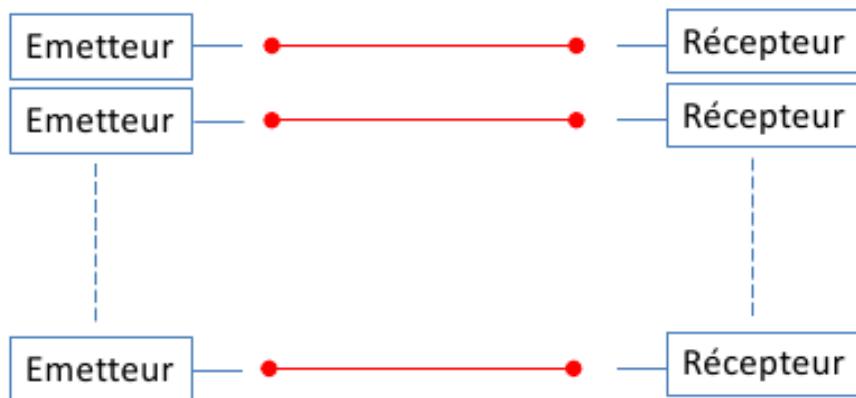
- Cœur du réseau téléphonique : ensemble des câbles et équipements entre les centraux téléphoniques (pas entre les centraux et les abonnés)
- L'infrastructure physique coûtant cher, on veut pouvoir utiliser **P1** un seul câble (ou fibre) pour transmettre plusieurs com. tél. en même temps.
- Quand les signaux des com. tél. traversent un équipement **P2** intermédiaire, comment transférer ces signaux pour les orienter vers le destinataire ?
- Le but étant d'avoir un échange en temps réel entre 2 personnes, la qualité de service perçue par les utilisateurs doit **P3** être constamment satisfaisante.

Multiplexage (pour problème P1)

- Définition : le multiplexage est l'action de partager une ressource commune entre plusieurs communications.
- L'utilisation d'une ressource se fait dans 3 dimensions :
espace | temps | fréquence
- Une ressource ne peut pas être utilisée par 2 communications dans les même valeurs des 3 dimensions.
- Exemple : un réseau WiFi (comme unice-hotspot). 2 utilisateurs ne peuvent pas envoyer des trames en même temps, sur la même bande de fréquence, et au même endroit. Il faut :
 - soit qu'ils soient assez loin pour que leurs ondes n'interfèrent pas
 - soit qu'ils n'utilisent pas la même bande de fréquence (différents « canaux » WiFi)
 - soit qu'ils n'envoient pas au même moment
- Ceci correspond à 3 types de multiplexages différents : spatial, fréquentiel et temporel

Multiplexage spatial

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



- Exemples :
 - 2 utilisateurs WiFi connectés à 2 AP assez éloignés
 - 2 paires de fils dans un même câble portant 2 communications différentes (câble Ethernet avec 2 fils pour A vers B et 2 fils pour B vers A)
 - 2 antennes utilisées sur un même équipement pour transmettre 2 signaux différents, et augmenter le débit total : WiFi norme 802.11n, 3G et 4G,...)

Multiplexage fréquentiel

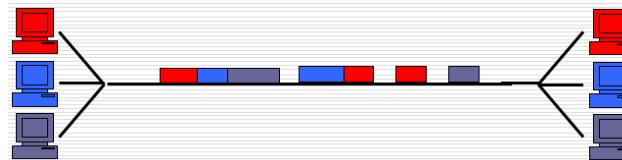
- **Multiplexage fréquentiel** : les couples E/R se partagent le médium de transmission dans les fréquences



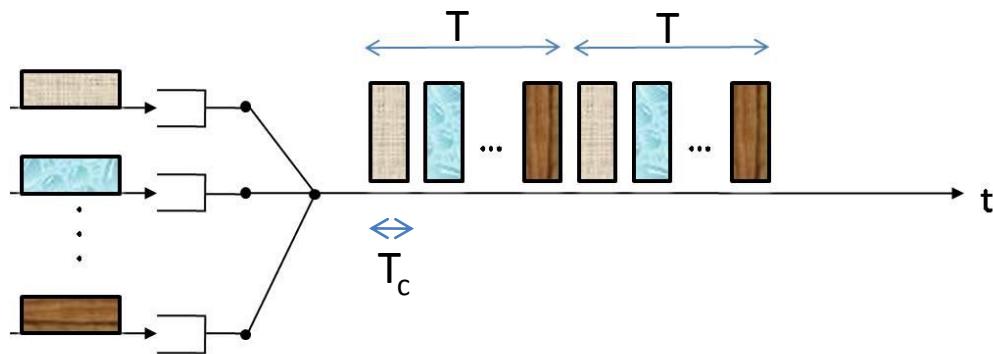
- Exemples :
 - 2 utilisateurs WiFi connectés au même AP (donc assez proches) sur 2 canaux WiFi différents (14 canaux en WiFi)
 - 1 téléphone transmettant en 4G et un ordinateur en WiFi à côté, ou réception TNT (autour des 1GHz, 2.4GHz et 500MHz)

Multiplexage temporel

- **Multiplexage temporel**: les couples E/R se partagent le médium de transmission dans le temps
- Exemples :
 - 2 utilisateurs WiFi proches, sur le même canal : chacun transmet quand il peut. Multiplexage statistique



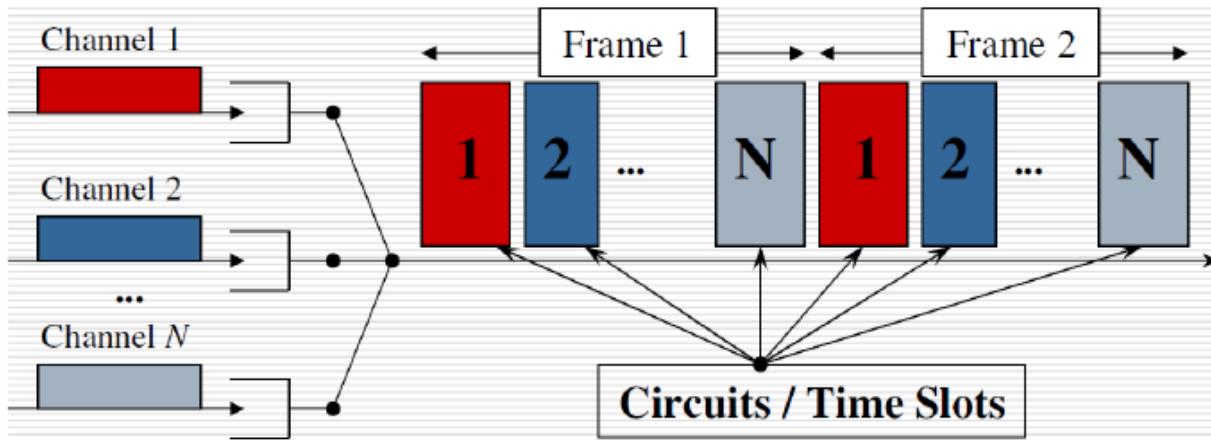
- Sur la fibre optique en sortie d'un central téléphonique, envoyer plusieurs communications sur la même bande de fréquence : Multiplexage synchrone



T_c : temps de transmission d'un échantillon

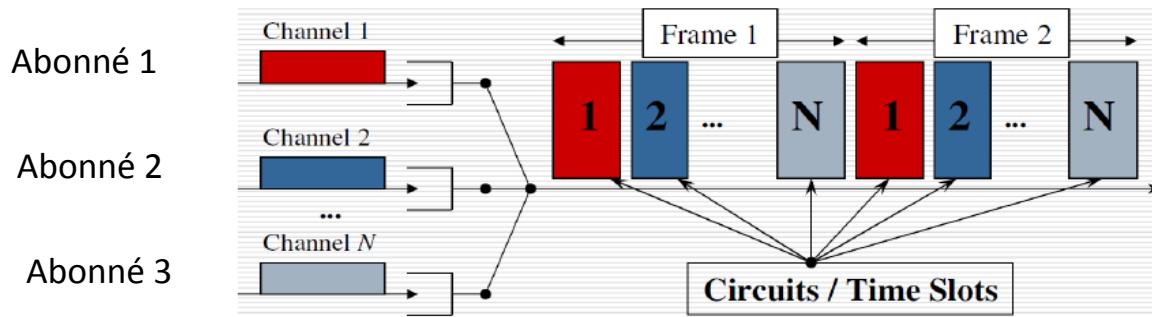
T : temps entre 2 échantillons de la même communication

TDM synchrone dans le réseau téléphonique



- Je prends une unité de temps. Ex: $T=T_e=125\mu s$
- Je divise cette durée en N intervalles. Ex: $N=10$
- Un intervalle (TS pour *time-slot*) a une durée $T_c=T/N=12.5 \mu s$
- Tous les bits envoyés pendant un TS = 1 éch d'une communication
- Tous les bits envoyés pendant $T = 1$ trame
- **Le canal logique i , ou circuit i , ou voie i , occupera donc tous les i -èmes slots chaque trame**

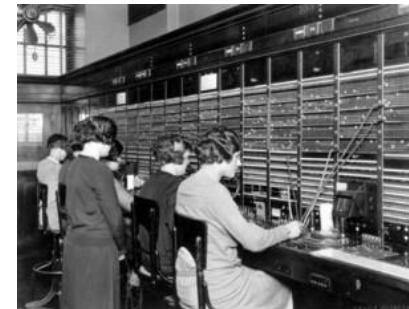
TDM synchrone dans le réseau téléphonique : partage de débit



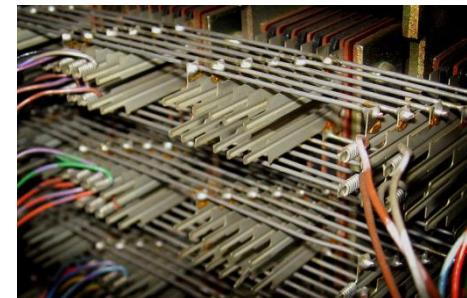
- Un canal correspond au signal sonore numérisé provenant d'un abonné : un échantillon de 8 bits est produit toutes les $T_e = 1/F_e = 1/8000 = 125\mu s$.
- Ceci correspond à un débit par canal de 64Kbps.
- **En sortie de CO, agréger N canaux signifie émettre N échantillons en $125\mu s$, donc $8N$ bits en $125\mu s$.**
-> le débit en sortie doit donc être $\geq N \cdot 64$ Kbps
- La durée entre 2 échantillons du même canal ne change jamais (= $125\mu s$), le débit du câble de sortie détermine le temps mis pour envoyer les 8 bits d'un éch, et donc le nombre d'éch possibles en $125\mu s$, donc de canaux différents qui peuvent être *multiplexés*.

La commutation (pour problème P2)

- Différentes façons de résoudre P2.
- **Définition** : la commutation est un terme général désignant le mode de transfert de l'information, sous forme de signaux ou paquets, entre l'entrée et la sortie d'un équipement traversé.
- **Commutation spatiale** : la mise en relation entre l'entrée sur laquelle le signal arrive dans l'équipement et la sortie sur laquelle il est transféré se fait spatialement.



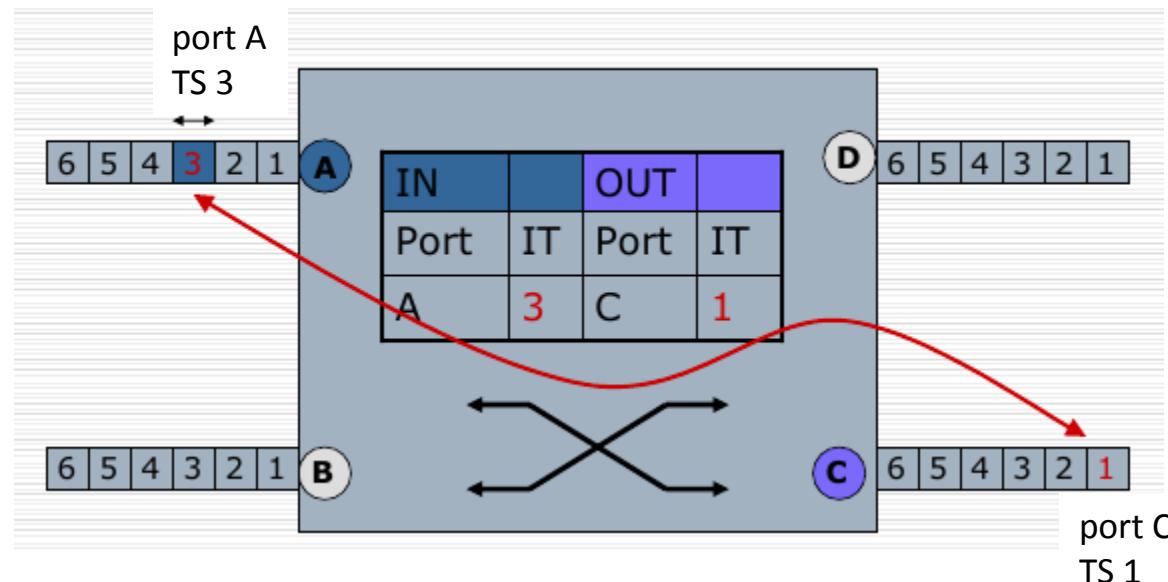
Opérateurs humains



Crossbar switch

La commutation temporelle

- **Commutation temporelle** : la mise en relation entre l'entrée sur laquelle le signal arrive dans l'équipement et la sortie sur laquelle il est transféré se fait temporellement.
- Un octet arrivant sur un certain numéro de TS dans la trame entrante est recopié sur un autre numéro de TS dans la trame sortante



La commutation de circuit

- **Commutation de circuit** : action d'établir l'équivalent d'un circuit électrique physique dédié entre 2 abonnés

Contraintes
d'une com. tél.

- --> le débit disponible est constant
- --> le délai d'attente dans les équipements est nul

- 2 solutions pour la réalisation de la commutation de circuit :
 - par commutation spatiale : une continuité électrique est établie (d'où le nom)
 - par commutation temporelle : avec **réservation** d'un TS dans chaque trame en sortie d'un commutateur pour une communication téléphonique

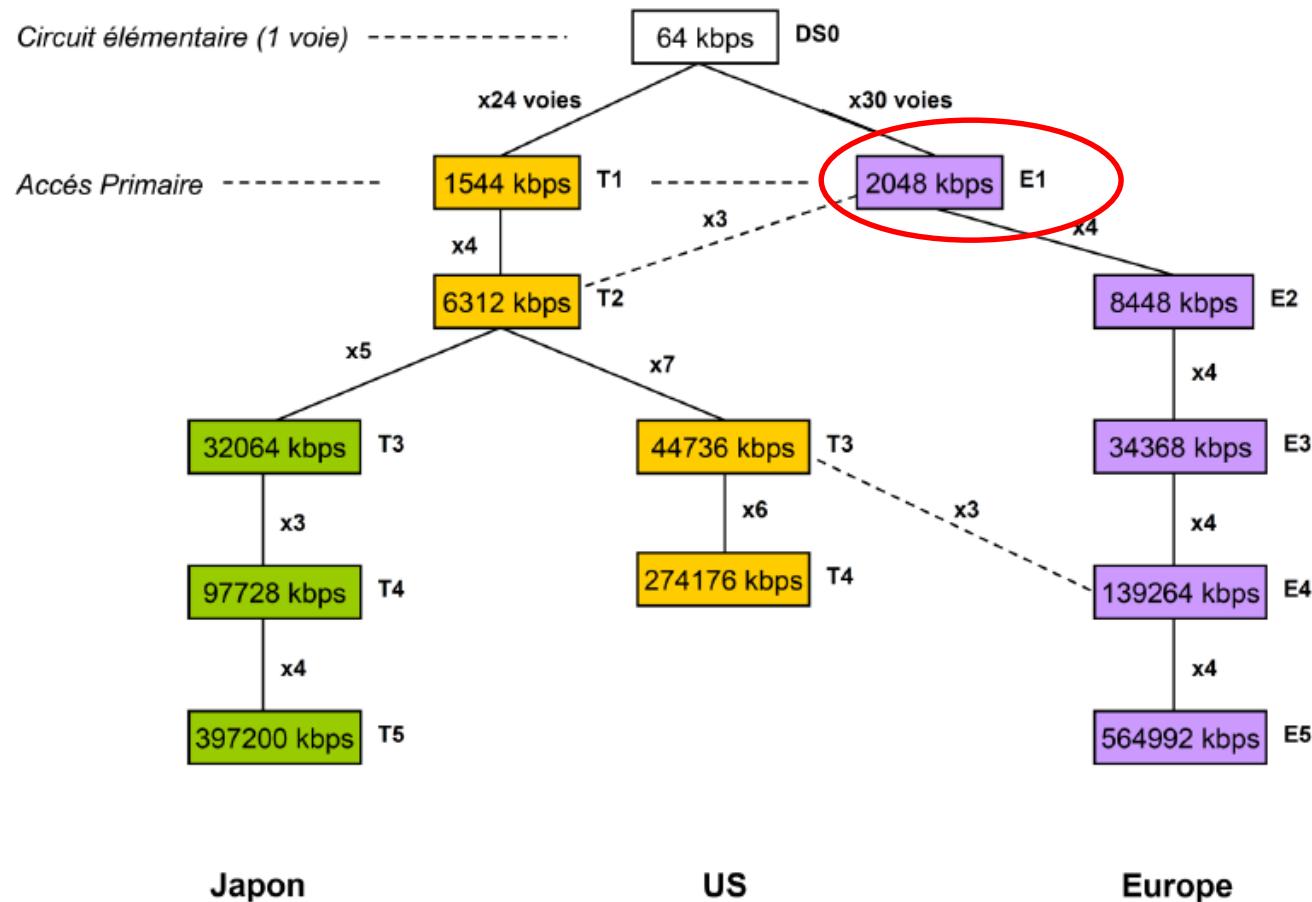
Evolution

- Quand le cœur du réseau a été numérisé dans les années 1960, le multiplexage temporel a été introduit, ce qui a permis l'utilisation de débits plus élevés et donc une meilleure utilisation des infrastructures physiques.
- Et la commutation spatiale a été remplacée par la commutation temporelle, permise par la numérisation (concept d'échantillons à envoyer successivement).

TDM et hiérarchie numérique

- Jonction : terme générique désignant un câble en sortie de CO, avec un débit élevé
- Multiplex (ou trame) d'ordre N : signal issu du multiplexage temporel de N canaux (N com. tél. numérisées)
- Les différentes valeurs de N présentes dans le réseau sont normalisées : hiérarchie PDH.

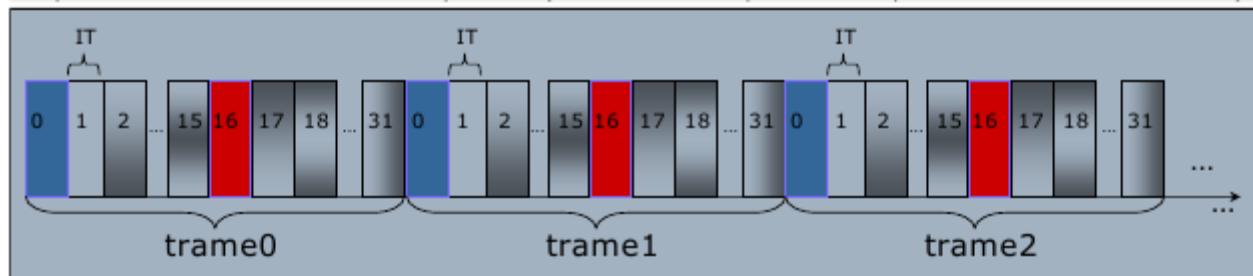
Plesiochronous Digital Hierarchy



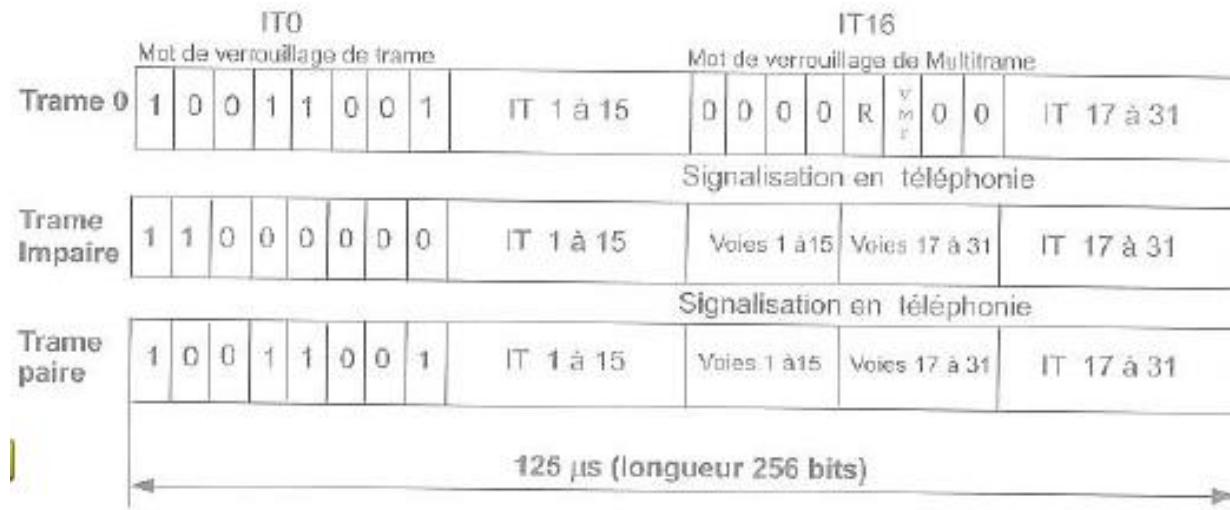
Trame E1 = Jonction 2048 Kbps

- Multiplex de 32 voies de 64 Kbps :
 - 30 voies téléphoniques
 - +TS0 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 transportent la signalisation des communications (informations sur l'état du canal)

La trame E1



Trame E1 = Jonction 2048 Kbps

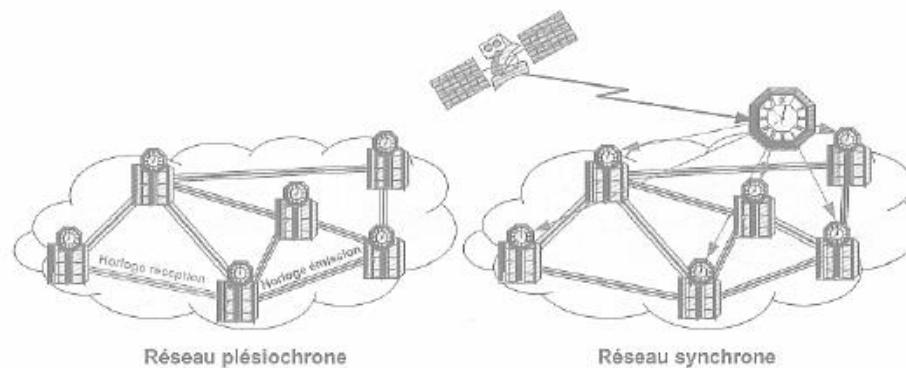


Multiplexage PDH

- constituant la base du réseau numérique de France Télécom depuis 1970
- la hiérarchie plésiochrone a été remplacée dans le cœur 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

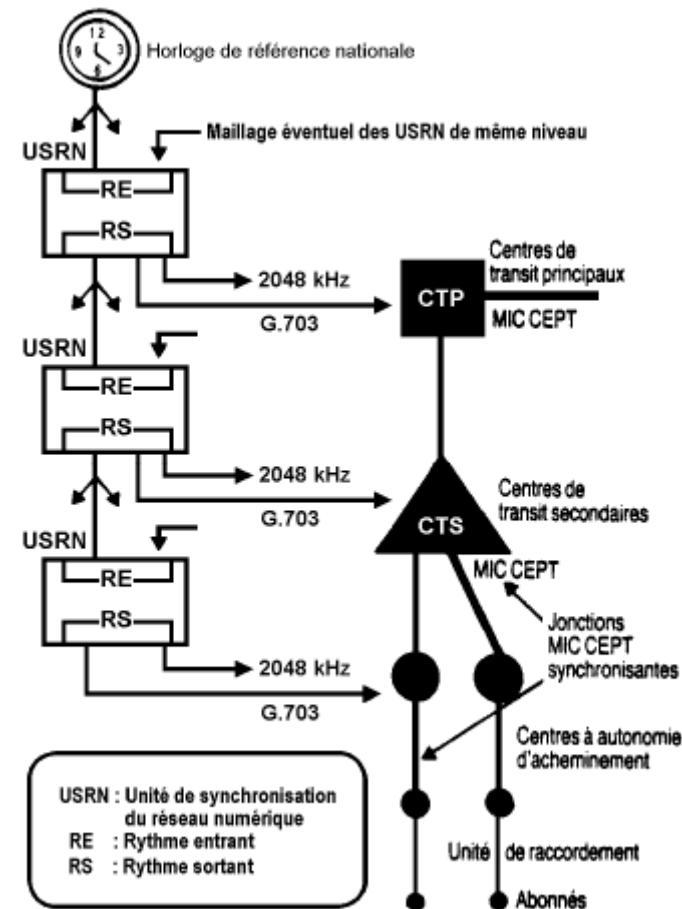
Distinction des types de réseaux selon le mode de synchronisation

- Si chaque nœud a une horloge indépendante, le réseau est dit **plésiochrone**
 - Les horloges réception et émission sont différentes mais proches (plésio).
- Si les horloges des différents nœuds 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.



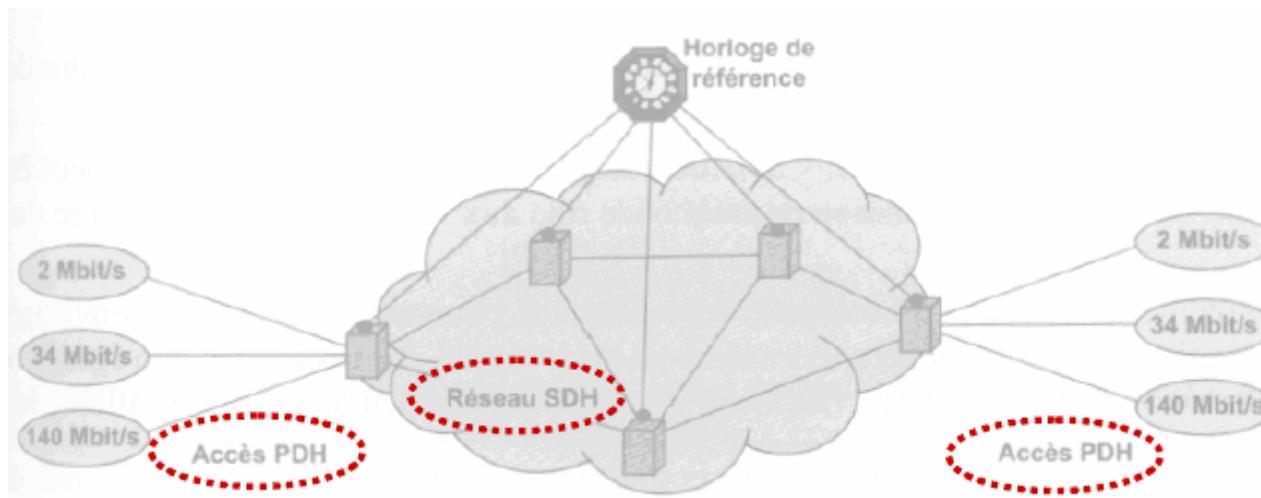
Synchronisation du réseau SDH

- La synchronisation du réseau (commutateurs) a 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 supplante jamais une autre mais vient la compléter"



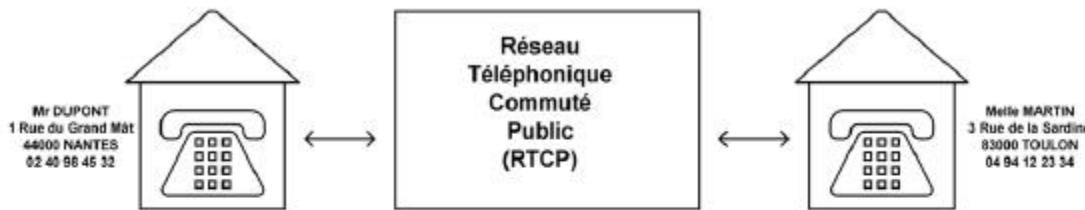
PARTIE 5 : ORGANISATION DU RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE

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

Sources:

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

Rôle du RTPC (PSTN)



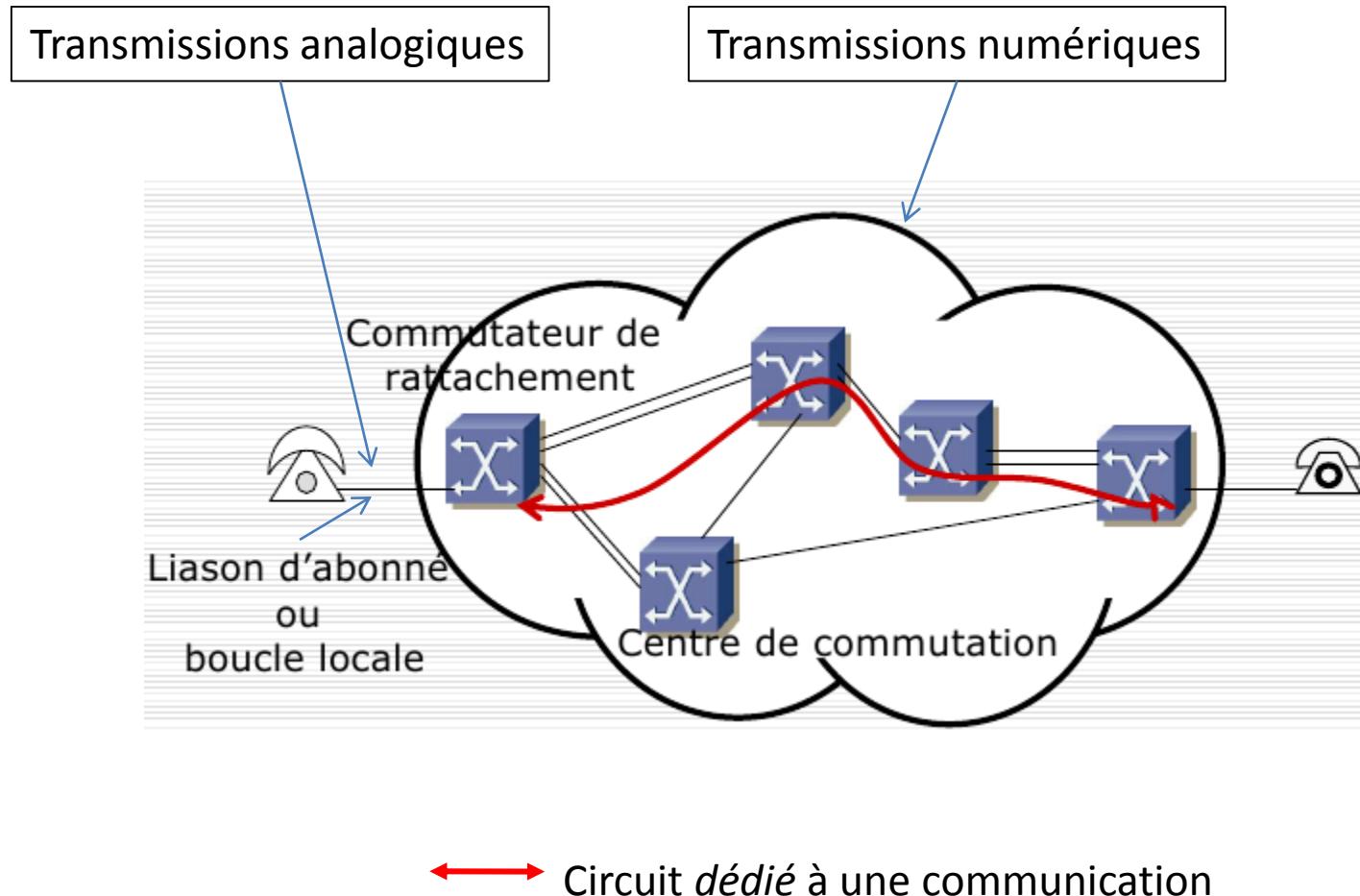
Le Réseau Téléphonique Commuté Public (*RTCP*) permet de mettre en relation deux postes téléphoniques d'abonnés.

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, Télé2, ...*).

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

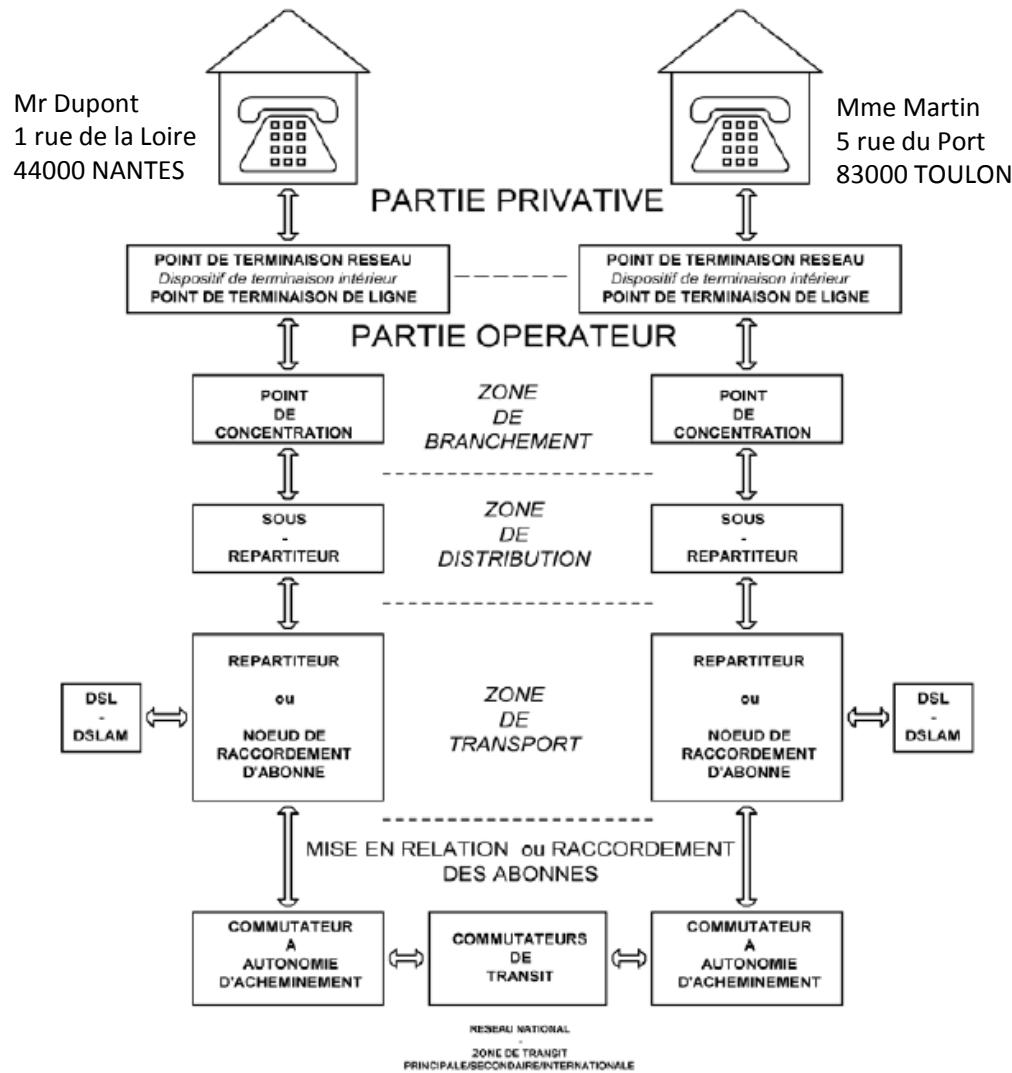
Principe du RTPC



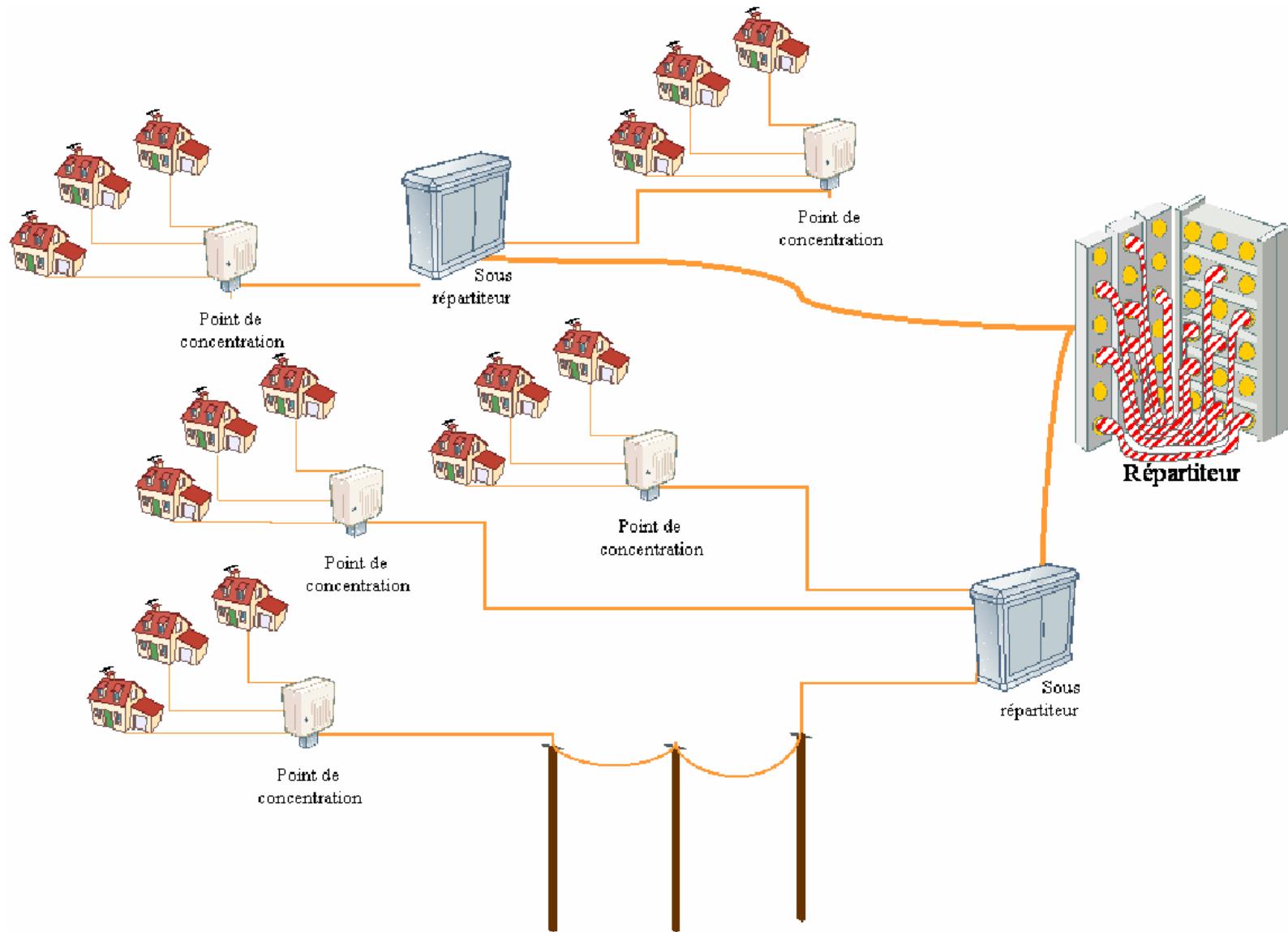
Le réseau France Télécom

- 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:



Structuration générale du RTPC:



Point de concentration sur poteau



Armoire de sous-répartition



Répartiteur

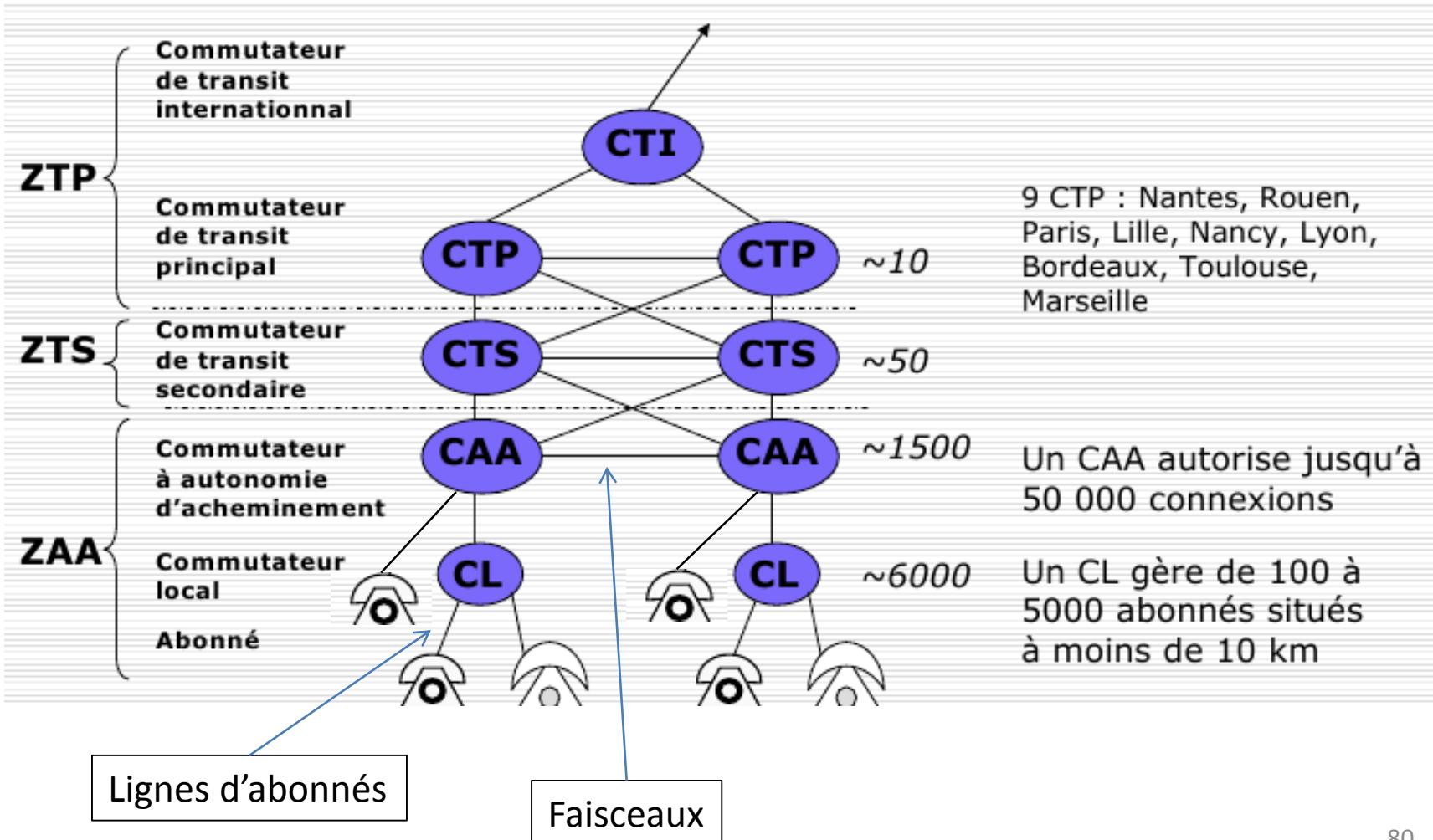
- Le répartiteur téléphonique est le lieu situé dans le central téléphonique (aussi appelé NRA, pour Nœud de Raccordement Abonné) où se font toutes les connexions entre le réseau filaire desservant les clients d'un opérateur de télécommunications (la boucle locale) et les infrastructures.



Architecture du réseau en 3 niveaux

- **ZAA - Zones à autonomie d'acheminement**
 - Réseau étoilé de desserte
 - Plus bas niveau de la hiérarchie contient un ou plusieurs CAA
 - **CAA - Commutateurs à Autonomie d'acheminement**
 - accueillent les abonnés et peuvent établir différents types de communications : lorsqu'une communication concerne deux abonnés d'un même CAA, celui-ci gère l'établissement de manière totalement autonome
 - **CL – Commutateurs locaux**
 - reliés à un CAA et n'ont pas d'autonomie d'acheminement : ils servent principalement de concentrateur de trafic et font transiter toutes les communications par le CAA
- **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 du réseau en 3 niveaux



Routage des appels

- Un circuit est une ressource de 64Kbps entre 2 commutateurs : un TS dans chaque trame.
- Faisceau : ensemble des circuits disponibles entre 2 commutateurs.
- Routage : 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

La ligne d'abonné

- la liaison d'abonné ou **boucle locale**
- est une **paire de fil de cuivre**
- relie l'installation de l'abonné au CAA
- 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)

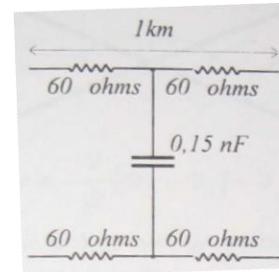
Le problème du duplex sur 2 fils

- L'investissement principal des opérateur téléphoniques est constitué par les câbles reliant les abonnées 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**

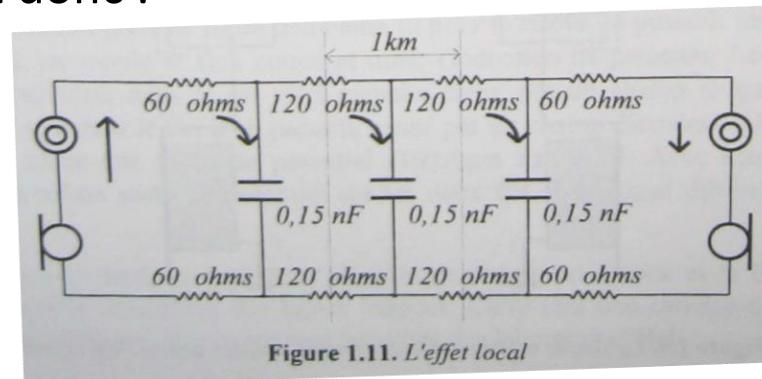
Duplex sur 2 fils: le problème de l'effet local (side tone)

- 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* »

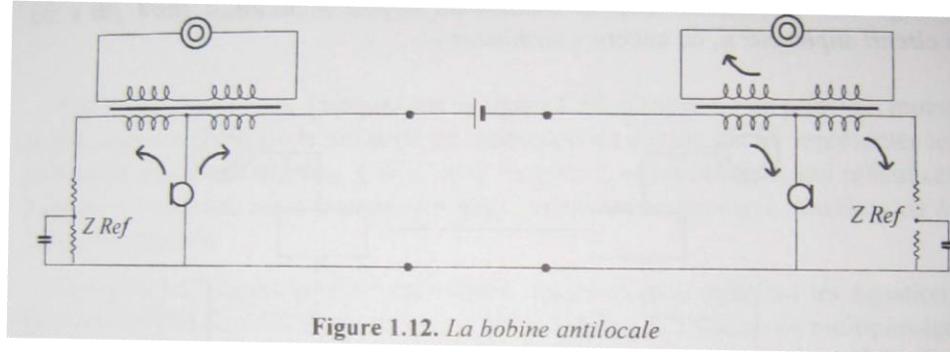


Figure 1.12. La bobine antilocale

- 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

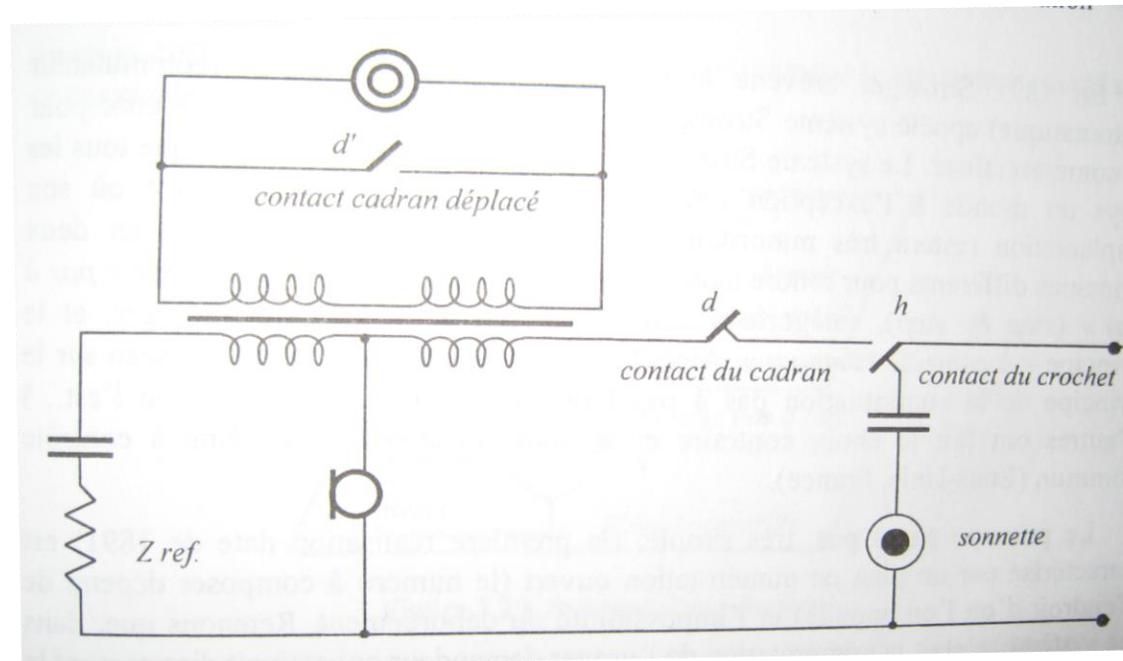
- Le téléphone doit transmettre au central, ou recevoir de celui-ci, des données de signalisation:
 - On appelle « *signaux de ligne* » les signaux correspondant à un état du poste
 - On appelle « *signaux d'enregistreur* » les signaux correspondant à l'envoi d'une adresse

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

Circuit de signalisation du poste:

Schéma d'un poste de téléphone avec cadran

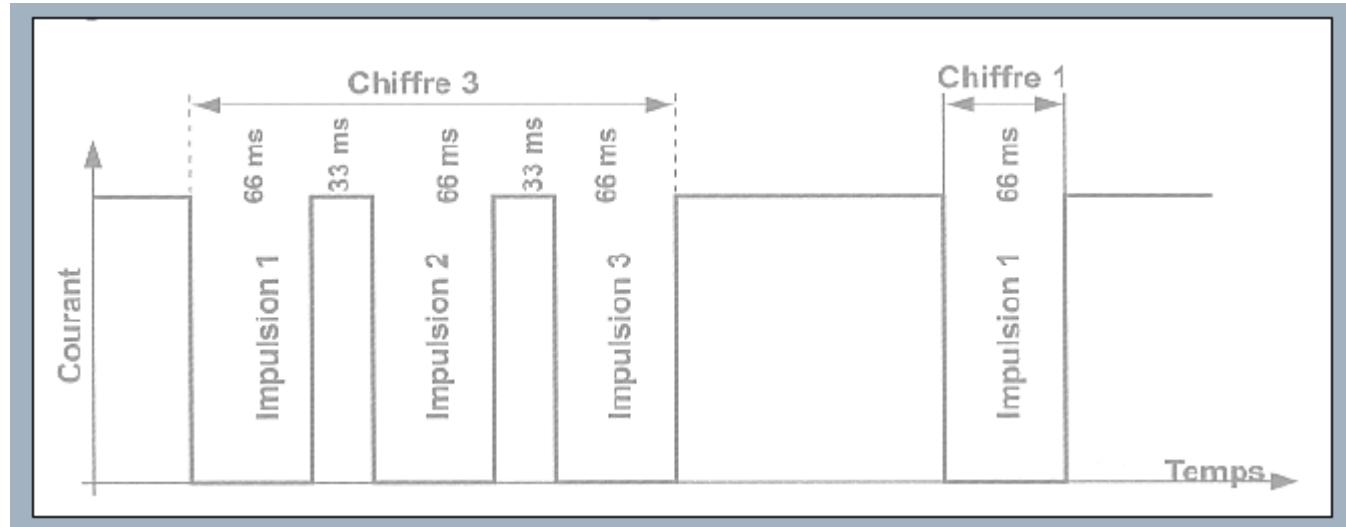
- Indication « décroché ou raccroché »: crochet « h » -> état perçu par le central
- Contact « d » pour la numérotation (« d' » pour que l'appelant n'entende pas les impulsions



Numérotation

- Décimale (impulsions)
 - le combiné provoque des coupures de ligne calibrées
 - les numéros sont envoyés au CAA 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

Numérotation décimale (anciens postes à cadrants rotatifs)

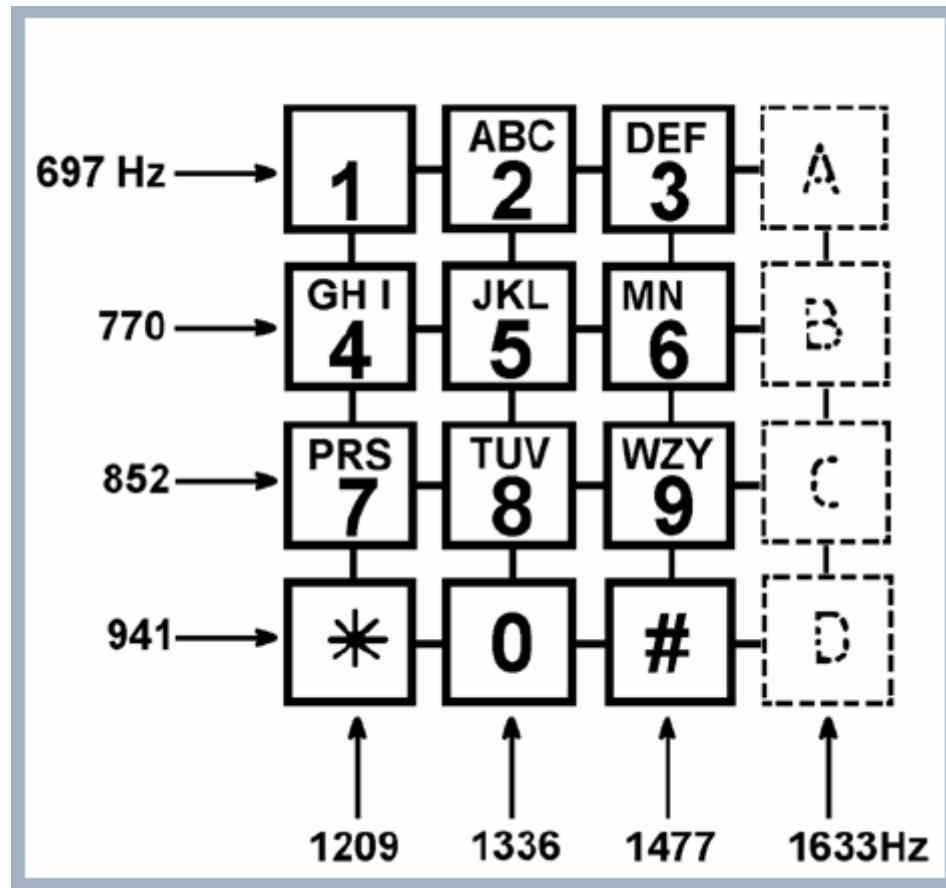


- Générations d'impulsions

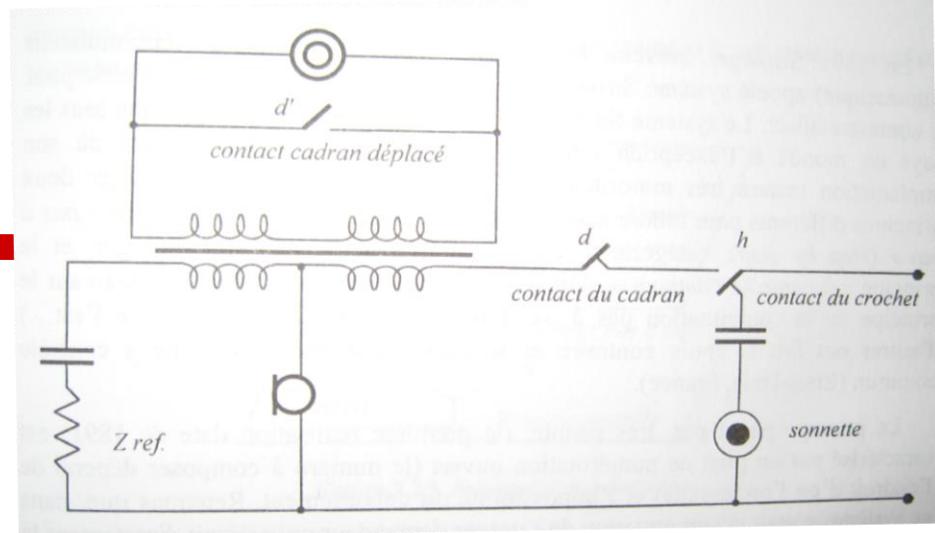
NB: Si le silence entre deux chiffres est supérieur à 10 s le commutateur émet la tonalité "occupation"

Numérotation DTMF : téléphone à clavier 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

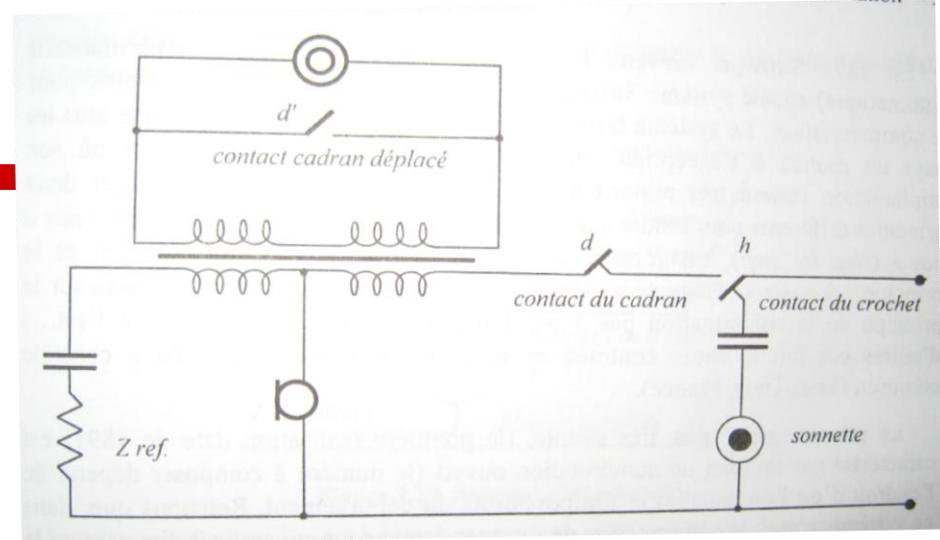


Prise de ligne



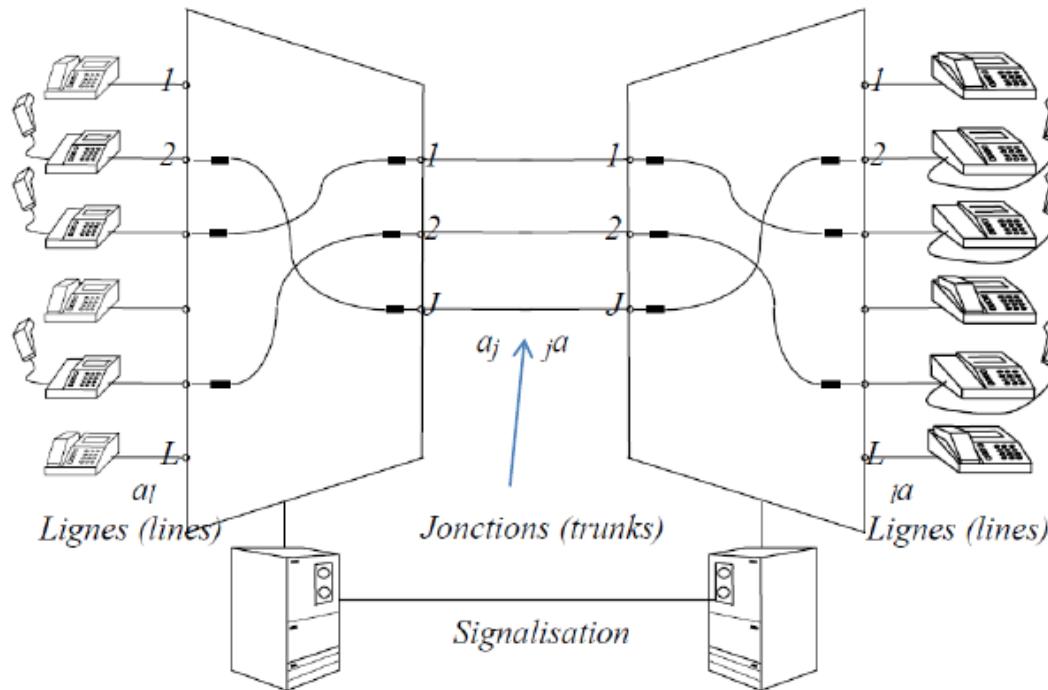
- Tension U=48 Volts fournie par le commutateur local
- Décrochage: crochet « h » vers le haut -> état perçu par le central, scrutant toutes les 10ms
- Emission d'une tonalité continue "invitation à numéroter" (La# = 440 Hz) envoyé par le CL

Communication



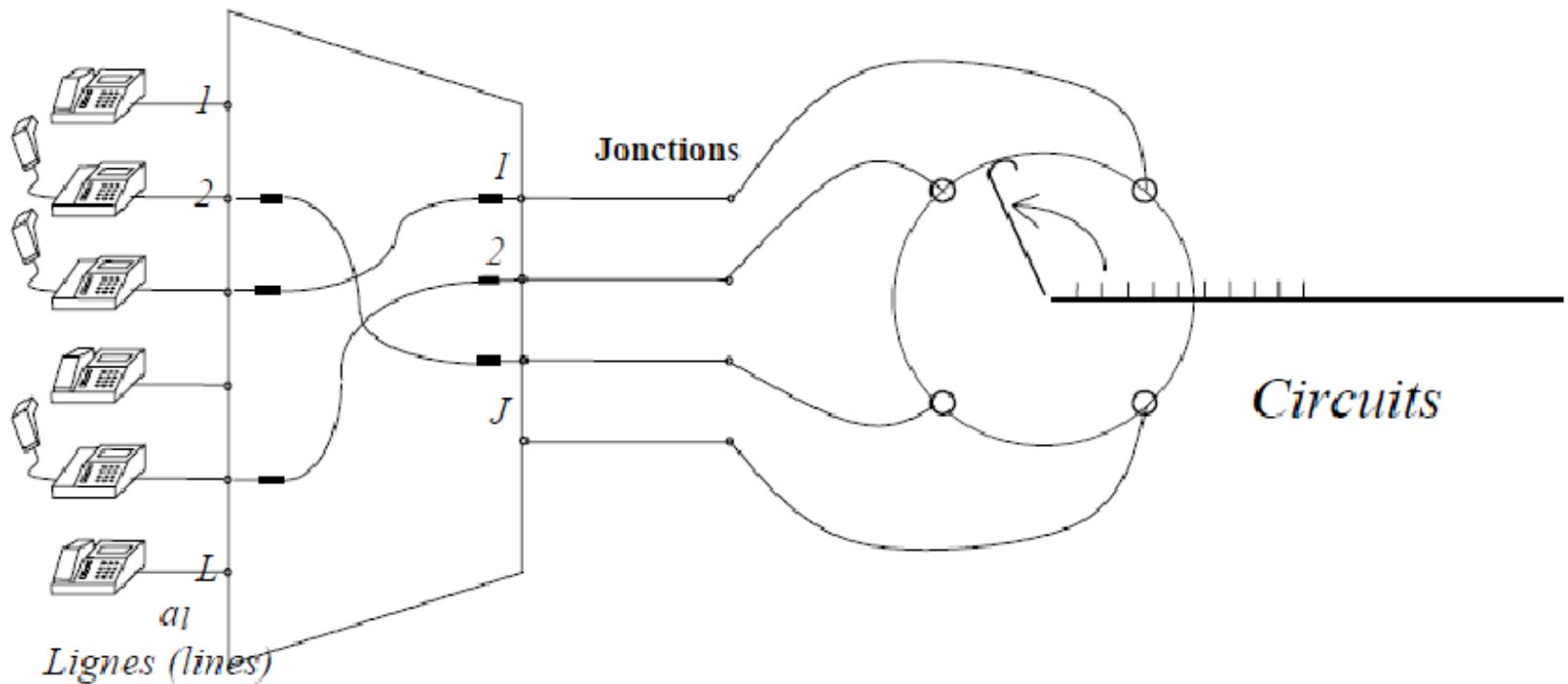
- Le micro ou capteur
 - constitué d'une simple membrane qui par ses vibrations, sous l'effet de la pression acoustique (voix), fait varier la résistance interne de celui-ci
 - micro au charbon inventé par Edison en 1876 (et vendu à la Western Union)
 - la variation de courant est le signal transmis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

Concentration et Multiplexage temporel

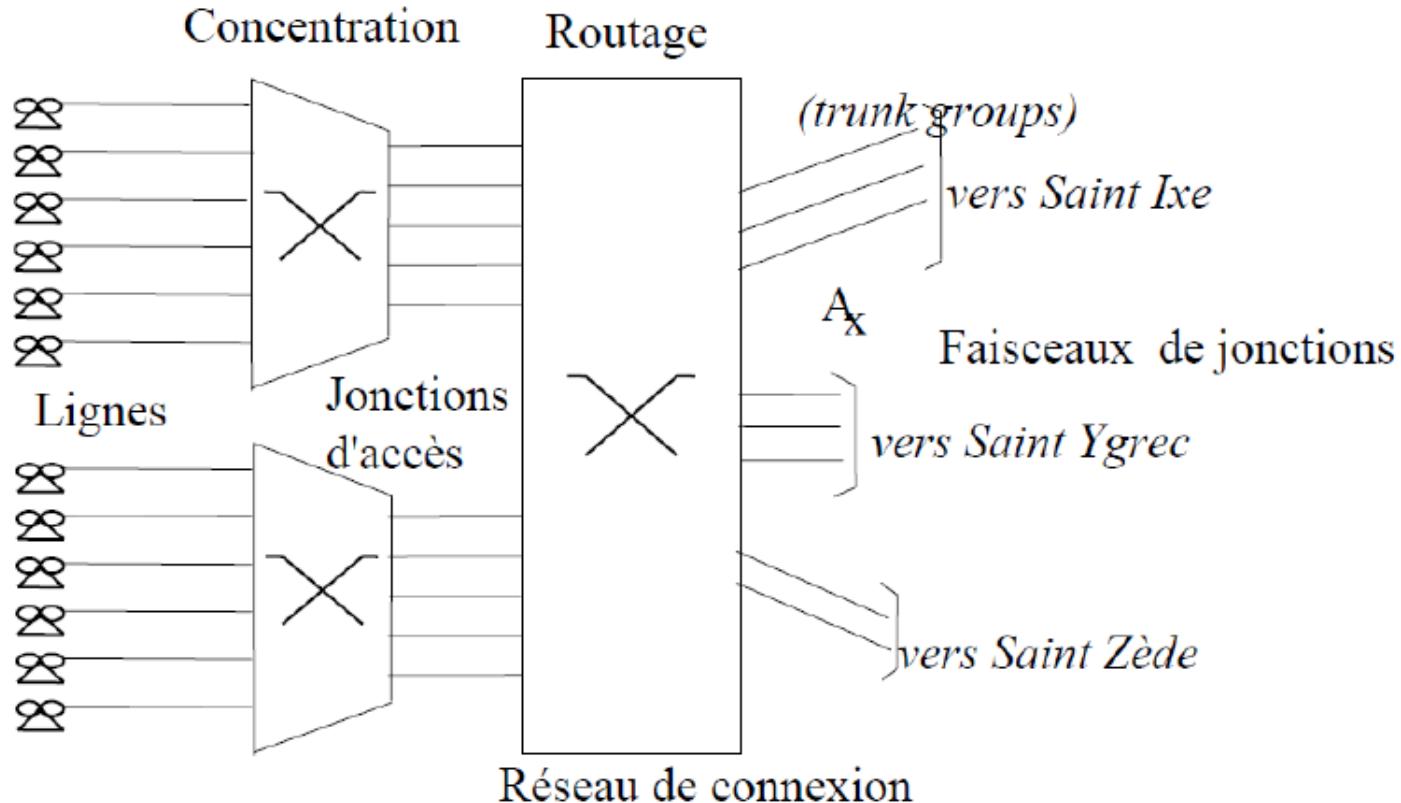


- Ligne = médium privé , Jonction = médium mutualisé
- Le concentrateur est une « coopérative » pour l'exploitation d'un faisceau commun de jonctions.

Concentration et Multiplexage temporel

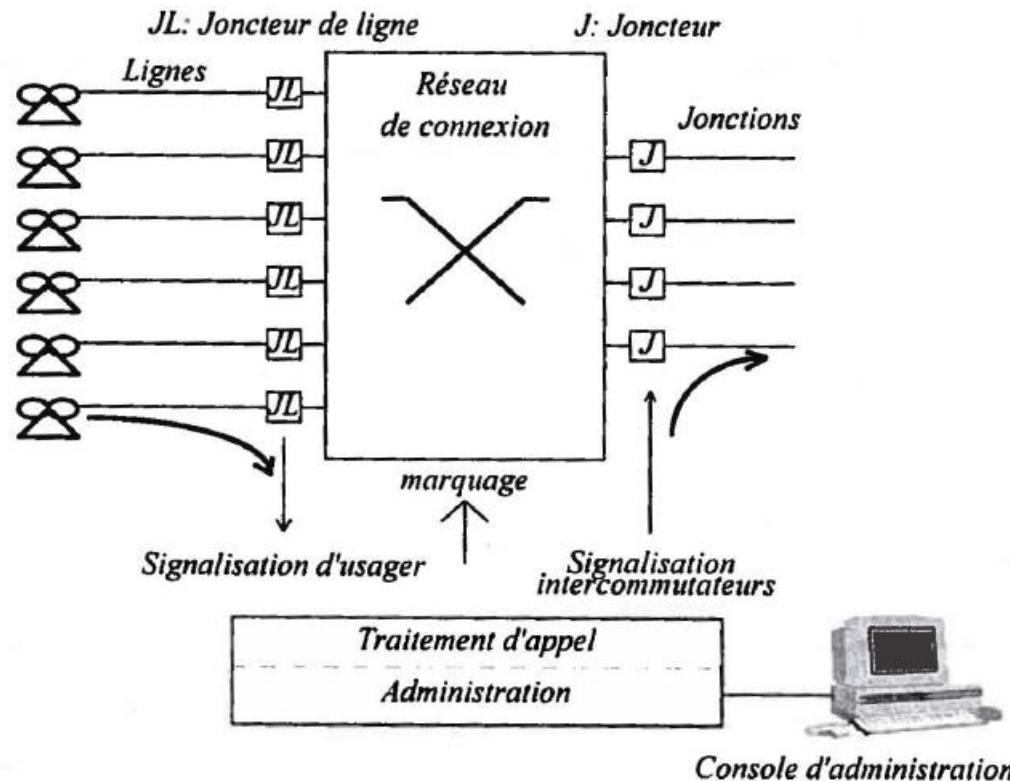
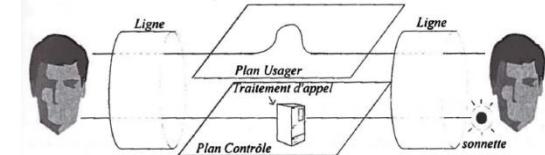


Routage



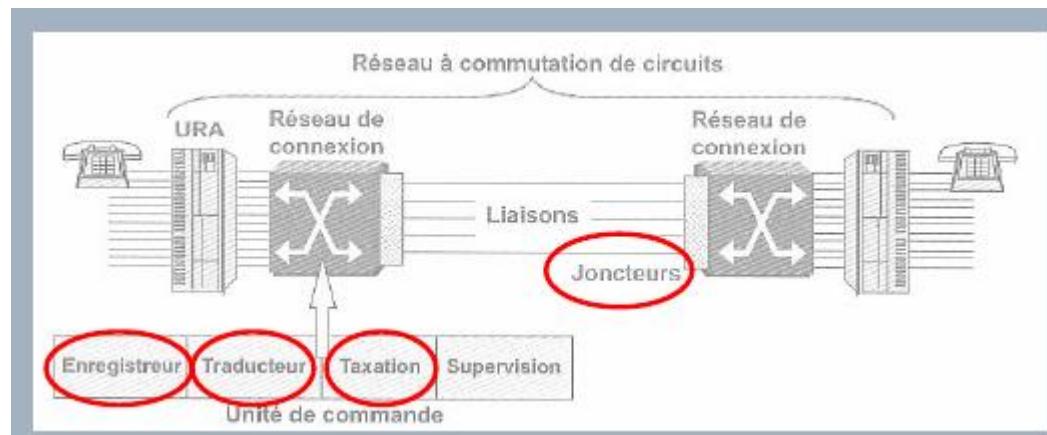
Il n'y a plus une, mais plusieurs directions sortantes : x, y, z...
Le routage est le choix d'une jonction sortante parmi plusieurs faisceaux.

Structure générale d'un commutateur



Principe du raccordement d'usager

- Le CAA assure les fonctions :
 1. de **réception**
 2. 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 un circuit disponible (**joncteur**)
 7. et affecte les ressources (circuits ou TS)

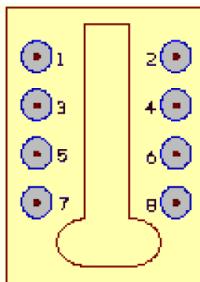


Câblage de la ligne d'abonné

- 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 :

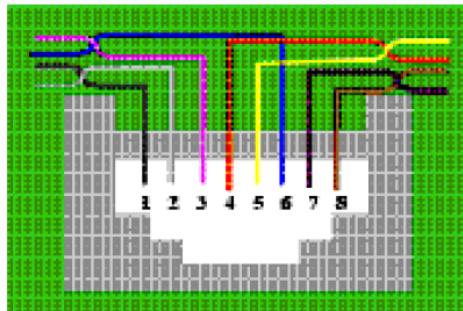


N° du plot	Affectation des plots de la fiche femelle à 8 plots
1	fil « a » de la ligne 1
2	Anti-tintement ligne 1
3	fil « b » de la ligne 1
4	non utilisé
5	non utilisé
6	fil « a » de la ligne 2
7	Anti-tintement ligne 2
8	fil « b » de la ligne 2

Paires de fils	N° des plots	Couleurs
1	1 - 3	Gris - Blanc
2	2 - 5	Incolore - Bleu
3	4 - 7	Marron - Violet
4	6 - 8	Jaune - Orange

Cablage: point de terminaison réseau

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

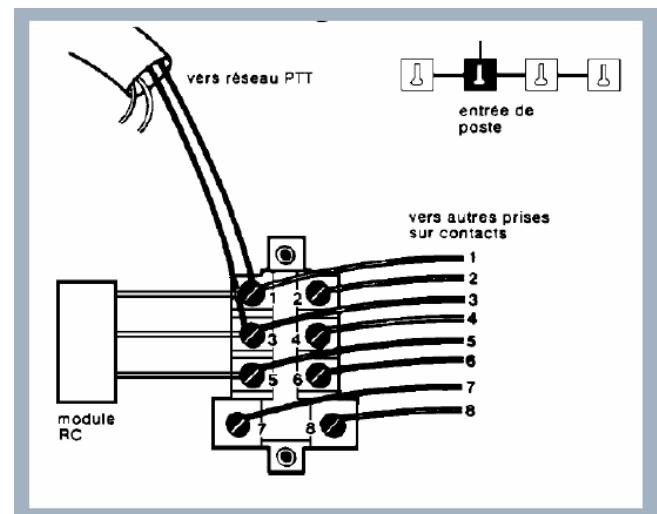


<i>N ° du contact dans le socle RJ45</i>	<i>Fonctions</i>
1	<i>Ethernet (10 et 100 base T): Réception des données</i>
2	<i>Ethernet (10 et 100 base T): Transmission des données</i>
3	<i>Ethernet (10 et 100 base T): Transmission des données</i>
4	<i>Ligne 1 (analogique ou RNIS)</i>
5	
7	<i>Ligne 2 (analogique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

- 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 $C=2,2 \mu\text{F}$) *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 : ensemble des informations de contrôle de l'appel, tels les identifiants de l'appelant et l'appelé et l'état de l'appel.
- Deux modes de signalisation
 - signalisation voie par voie ou signalisation CAS
(Channel Associated Signaling)
 - signalisation par canal sémafore ou signalisation CCS
(Common Channels Signaling)

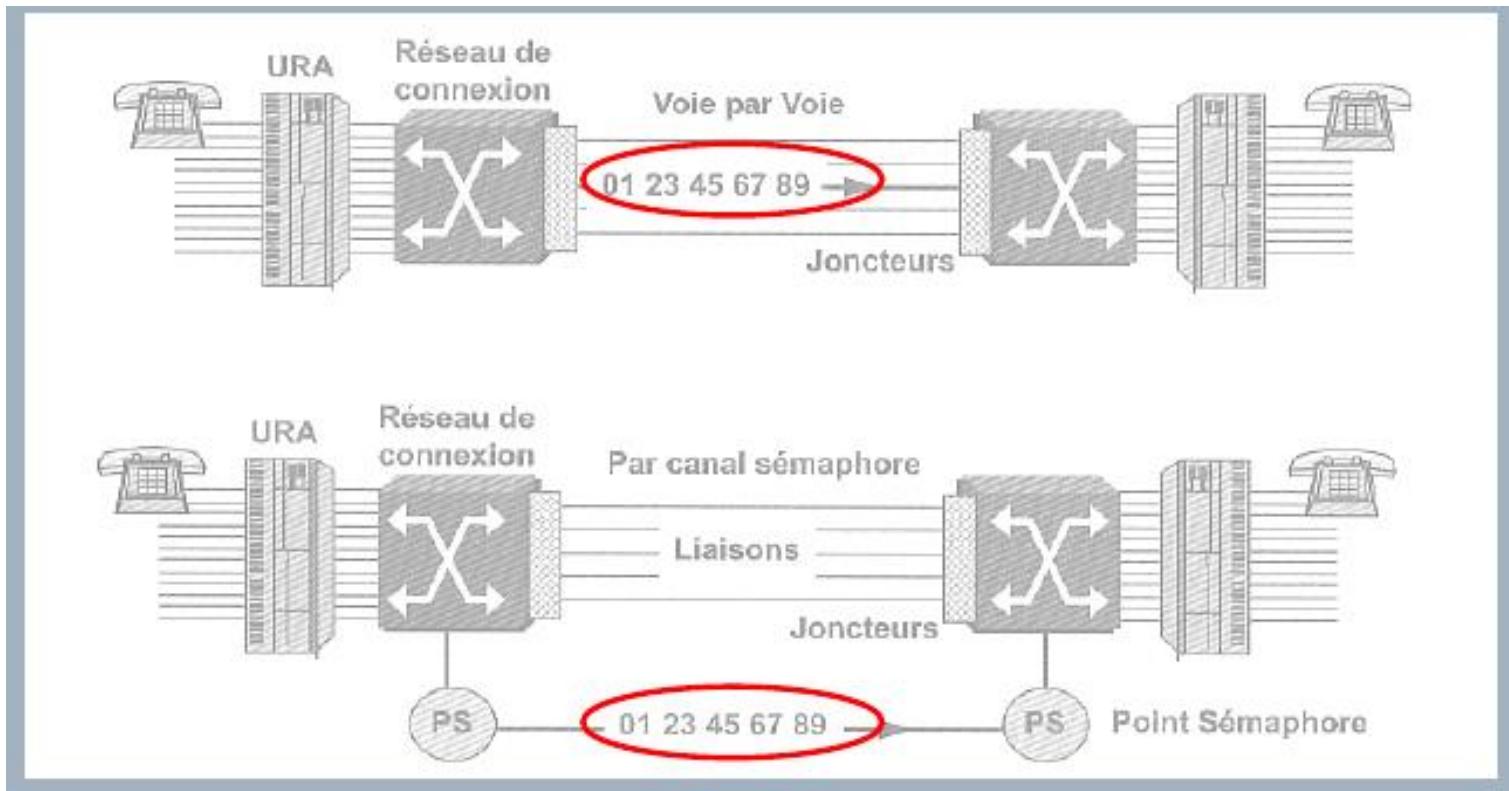
Signalisation "voie par voie" ou signalisation **CAS** (**Channel Associated Signaling**)

- L'information de routage est transmise dans la même trame que la voix elle-même :
 - chaque canal de communication a un canal de signalisation dédié : **le même TS que celui utilisé pour la voix ensuite**
- 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 crossbars).
- 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.

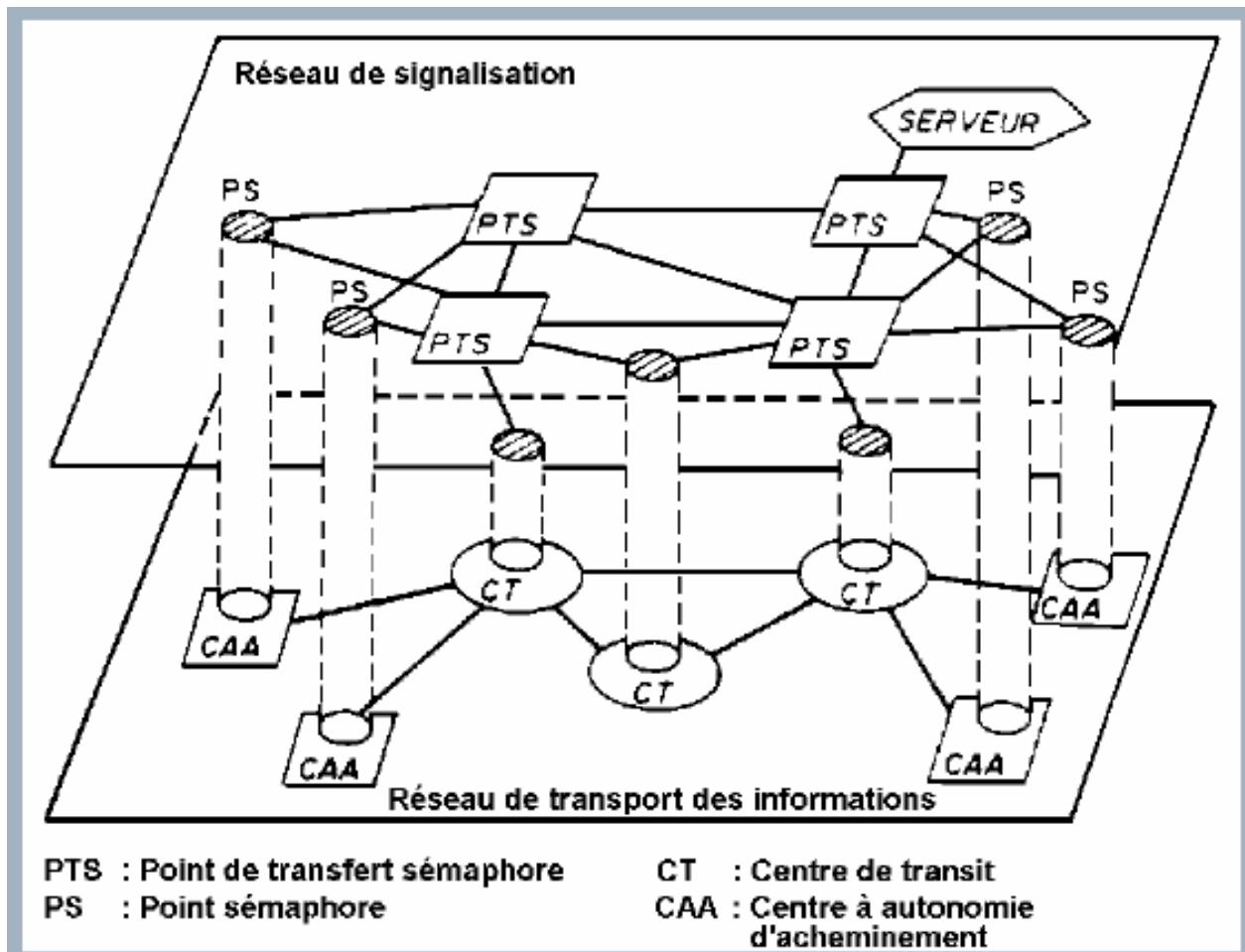
Signalisation par canal sémafore ou signalisation CCS (Common Channels Signaling)

- Les informations de signalisation sont transmises hors communication : **signalisation dans un canal (TS) de la trame dédié, autre que les TS pour les échantillons de voix (TS 16 en E1).**
- Pour signaler tous les événements relatifs à un **ensemble d'appels**.
- Réseau de signalisation en mode paquets (X25).
- Les deux réseaux voix et signalisation
 - utilisent les mêmes infrastructures numériques (trames PCM)
 - mais sont organisés différemment
- Le protocole de signalisation peut être normalisé ou propriétaire (protocole propre à un constructeur)
- Nombreux télé-services

Les deux modes de signalisation



Signalisation CCS



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

- Norme internationale CCS : **SS7**
- **Avantages de CCS :**
 - Établissement rapide du circuit (plus rapide qu'en CAS)
 - Pas de réservation si l'appelé ne décroche pas
 - Canal de signalisation reste disponible au cours de l'appel -> télé-services et contrôles possibles
- Cette signalisation améliore le temps de réponse des commutations RTC analogiques et est indispensable au RNIS.

Plan de numérotation international

- 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: 33x + 8 chiffres, (330..339 prévus)
 - Malte : 356 + 8 chiffres.

Le numéro d'un abonné

- est de la forme AB.PQ.MC.DU
- avec
 - AB = zone géographique (département)
 - PQ = CAA
 - MCDU=n° d'abonné
- ABPQMCDU
- Après le 18/10/1996, numérotation nationale à 10 chiffres EZABPQMCDU :
 - E = opérateur longue distance ; Z = zone
 - la France est divisée en 5 zones :
 - 01 = île de France
 - 02 = nord-ouest
 - ...
 - 6 = mobiles
 - 7 = n° non géographiques
 - 8 = n° spéciaux
 - 00 = international



PARTIE 6 : DIMENSIONNEMENT

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

But du dimensionnement

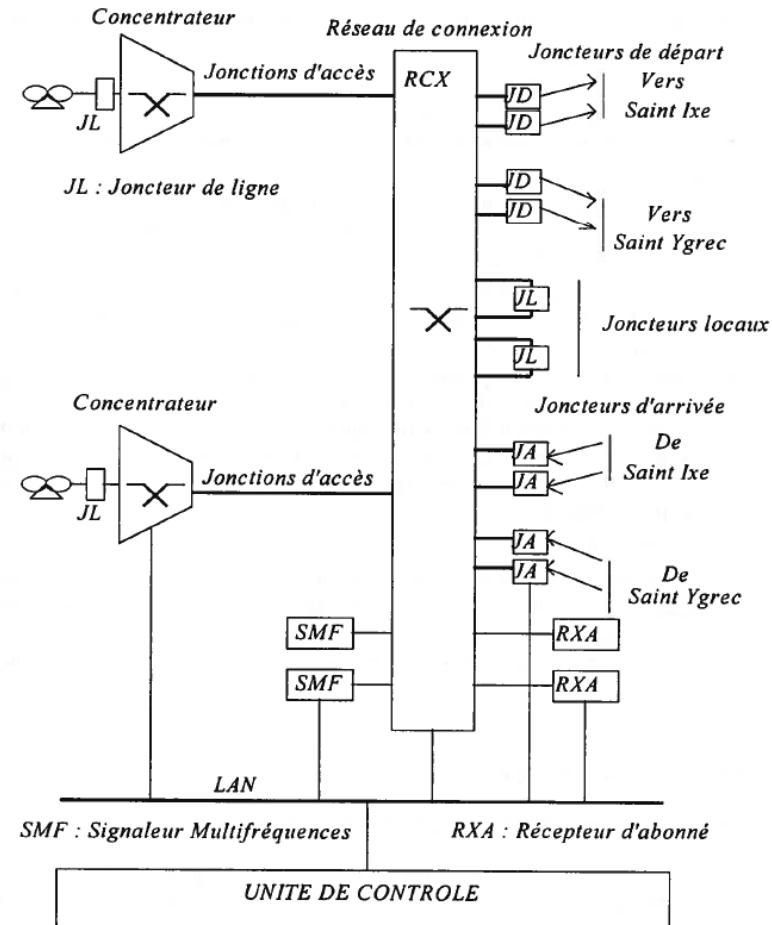
- Le nombre d'appels entre 2 commutateurs varie au cours du temps (heures de pointe, heures creuses).
 - **En fonction de ces caractéristiques, quel est le nombre minimal de circuits à prévoir dans un faisceau pour limiter à une valeur fixée la probabilité qu'un appel souhaitant l'emprunter rencontre ce faisceau indisponible ou soit mis en attente ?**
 - Trop de circuits : faisceau beaucoup trop cher car surdimensionné (donc peu utilisé)
 - Trop peu : faisceau sous-dimensionné donc presque constamment saturé
- > Compromis taille/disponibilité à déterminer

Contexte opérateur : choix du nombre de jontions dans un CO

- Dans un CAA :
- 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.

-> **Comment choisir le nombre minimal de jonctions d'accès (c'est-à-dire de circuits, de multiples de 64Kbps), sous contrainte de probabilité minimale de « réseau indisponible » ?**

- Ce nombre est calculé par des méthodes dites de « calcul de trafic» que nous abordons ici.

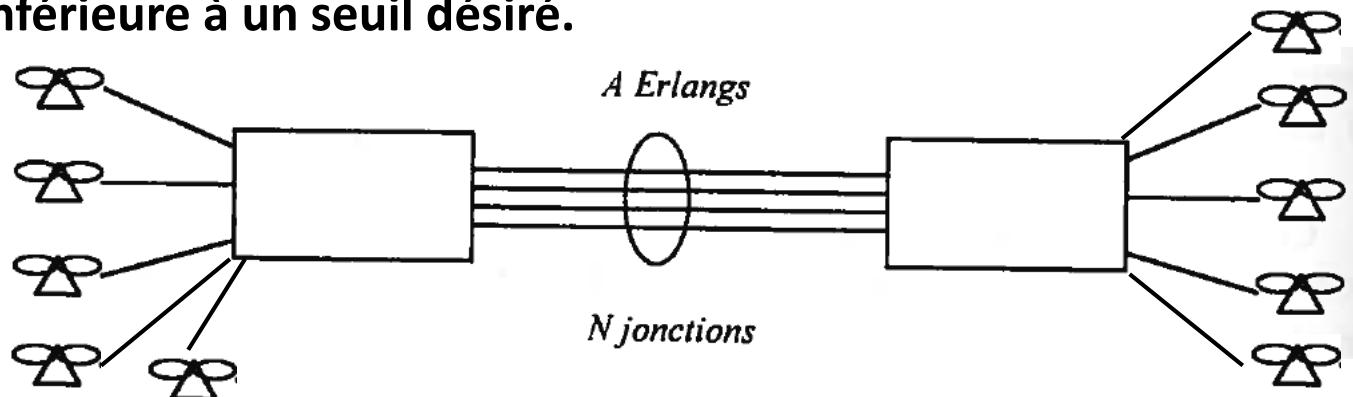


Contexte entreprise : choix d'abonnement

- dépend des besoins
- Problème : choisir le nombre minimal de lignes, donc l'abonnement le moins cher, tel que les contraintes de l'entreprise soient remplies.
- Exemples de contraintes :
 - un employé (commercial) ne doit pas avoir une proba supérieure à $x\%$ d'avoir son appel vers l'extérieur refusé
 - un client ne doit pas être mis en attente avec une proba supérieure à $y\%$

Le problème général du dimensionnement

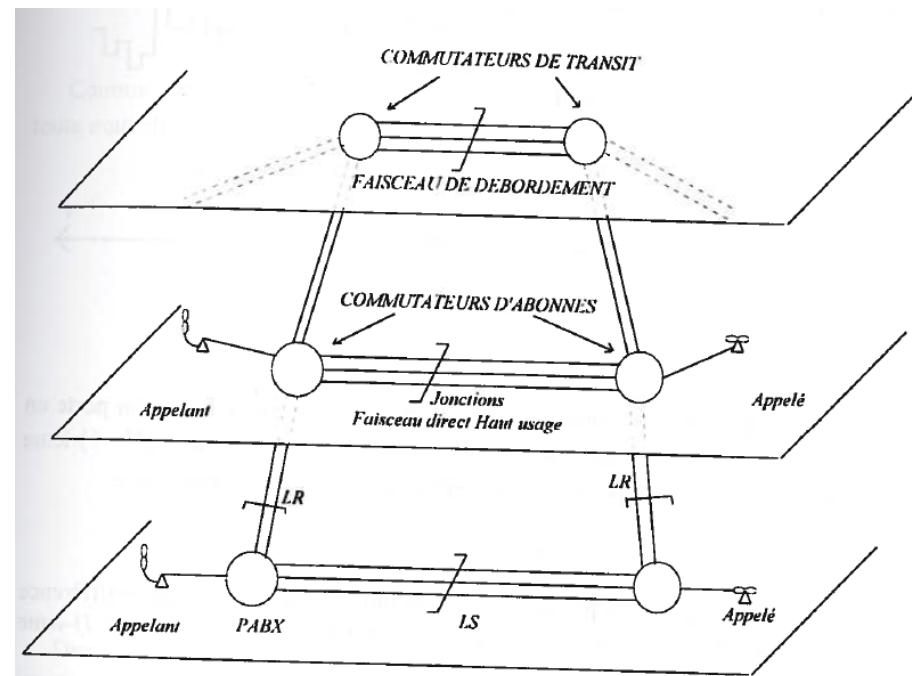
- La commutation consiste à mettre à la disposition des usagers (que nous appellerons des « *clients* ») des ressources partageables (que nous appellerons des « *serveurs* ») telles que les jonctions (ou circuits) d'un faisceau.
- **Problème du dimensionnement : déterminer le nombre de serveurs qu'il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



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

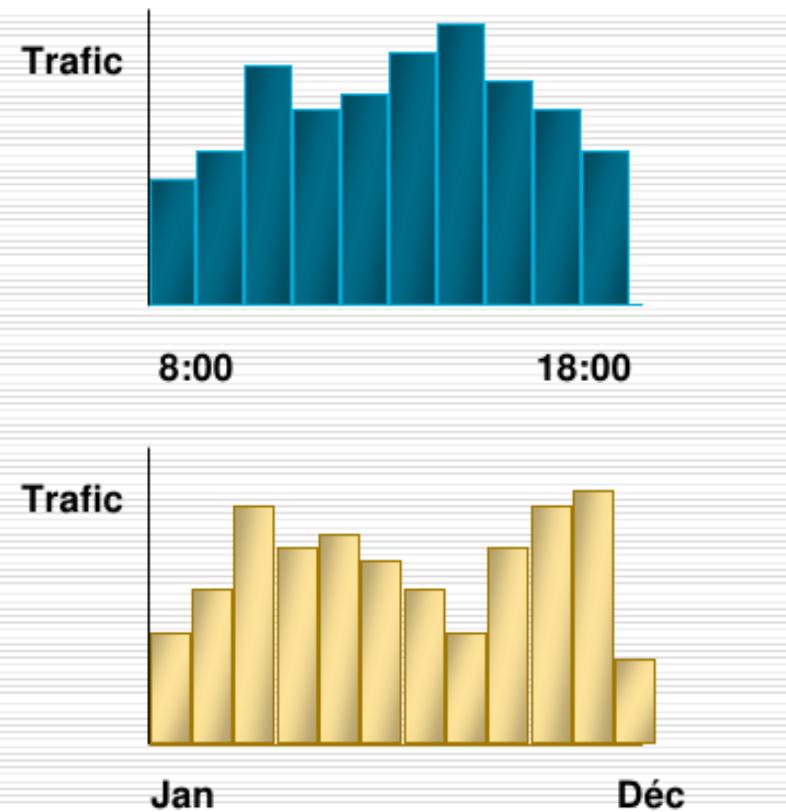
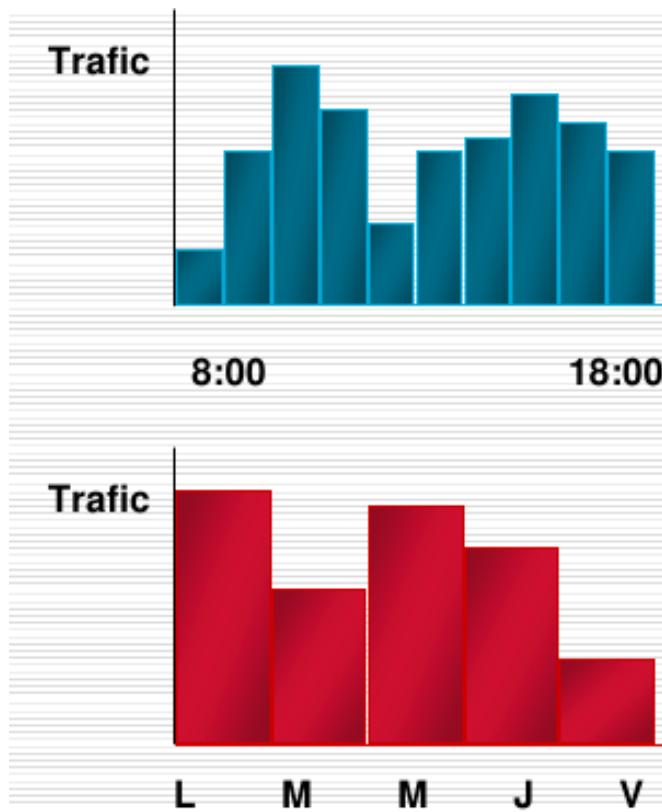
- L'unité de trafic est l'occupation permanente que les téléphonistes appellent « **Erlang**», en honneur de l'ingénieur Danois Agner Krarup Erlang (1878-1929), qui a été le pionnier de l'application du calcul des probabilités au téléphone.
- Si une machine est occupée 10 % du temps, son trafic est de 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 du 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: $A = L \cdot a = 10000 \times 0,1 = 1000$ Erlangs.

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

- 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
- 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)

Modèle à perte

- 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 :

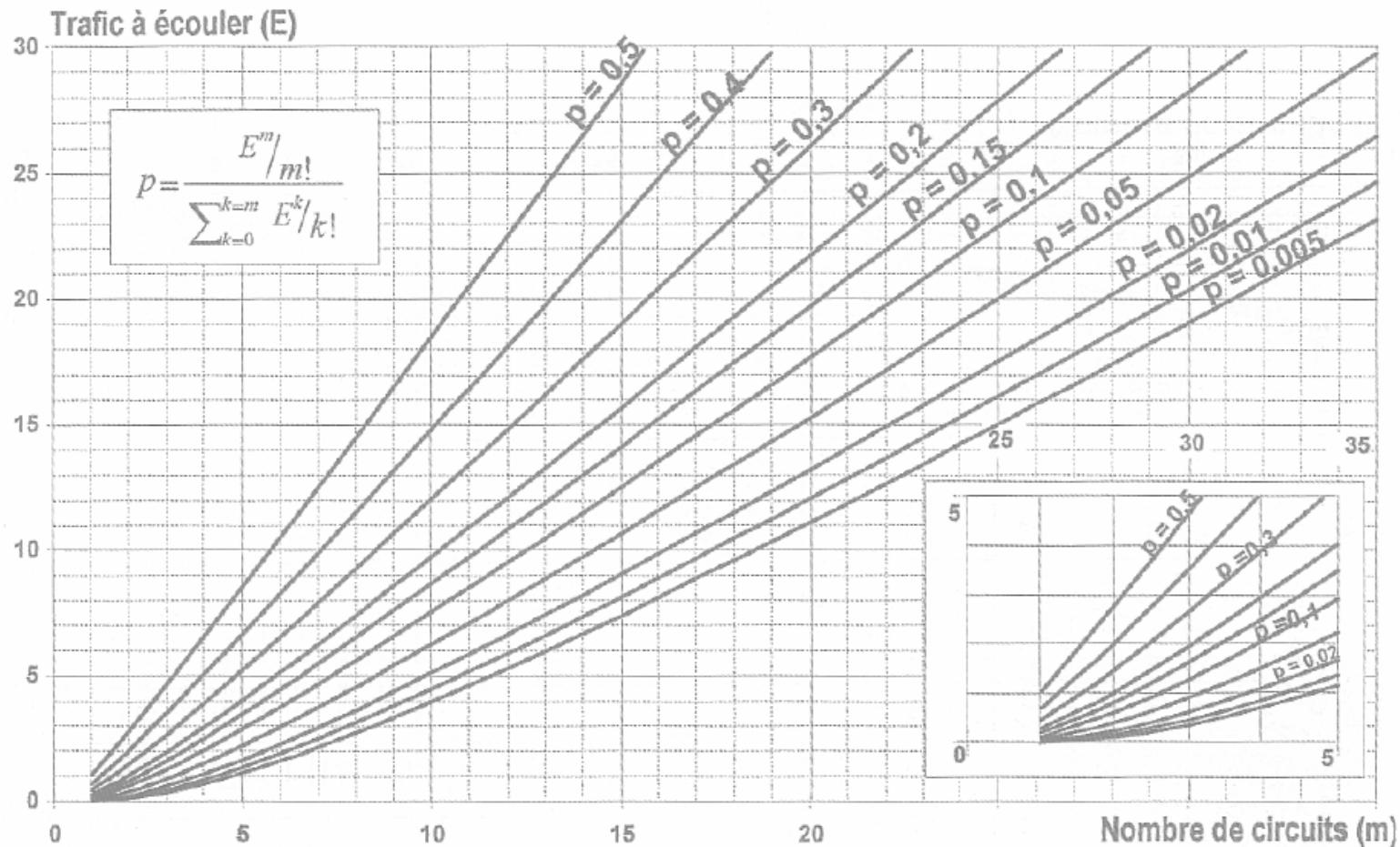
$$P_{\text{perte}}(N, A) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$$

Modèle à attente

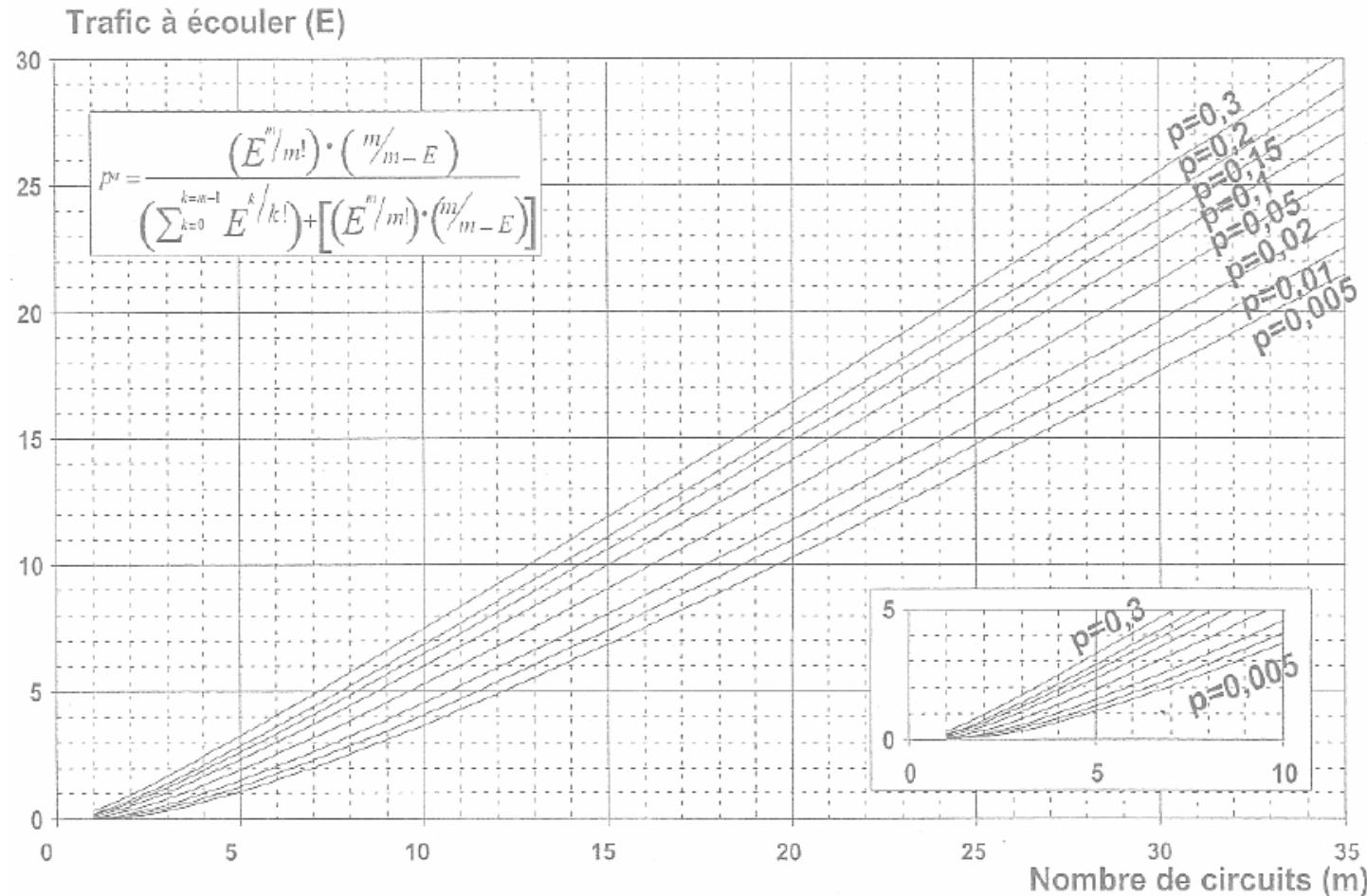
- Le nombre maximum de clients actifs peut être à présent supérieur au nombre de serveurs si les clients (appels) sont mis en attente au lieu d'être rejétés (perdus).
- Probabilité de mise en attente d'un appel entrant, si le trafic est de A et N est le nombre de serveurs :

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

Modèles à perte



Modèle à attente

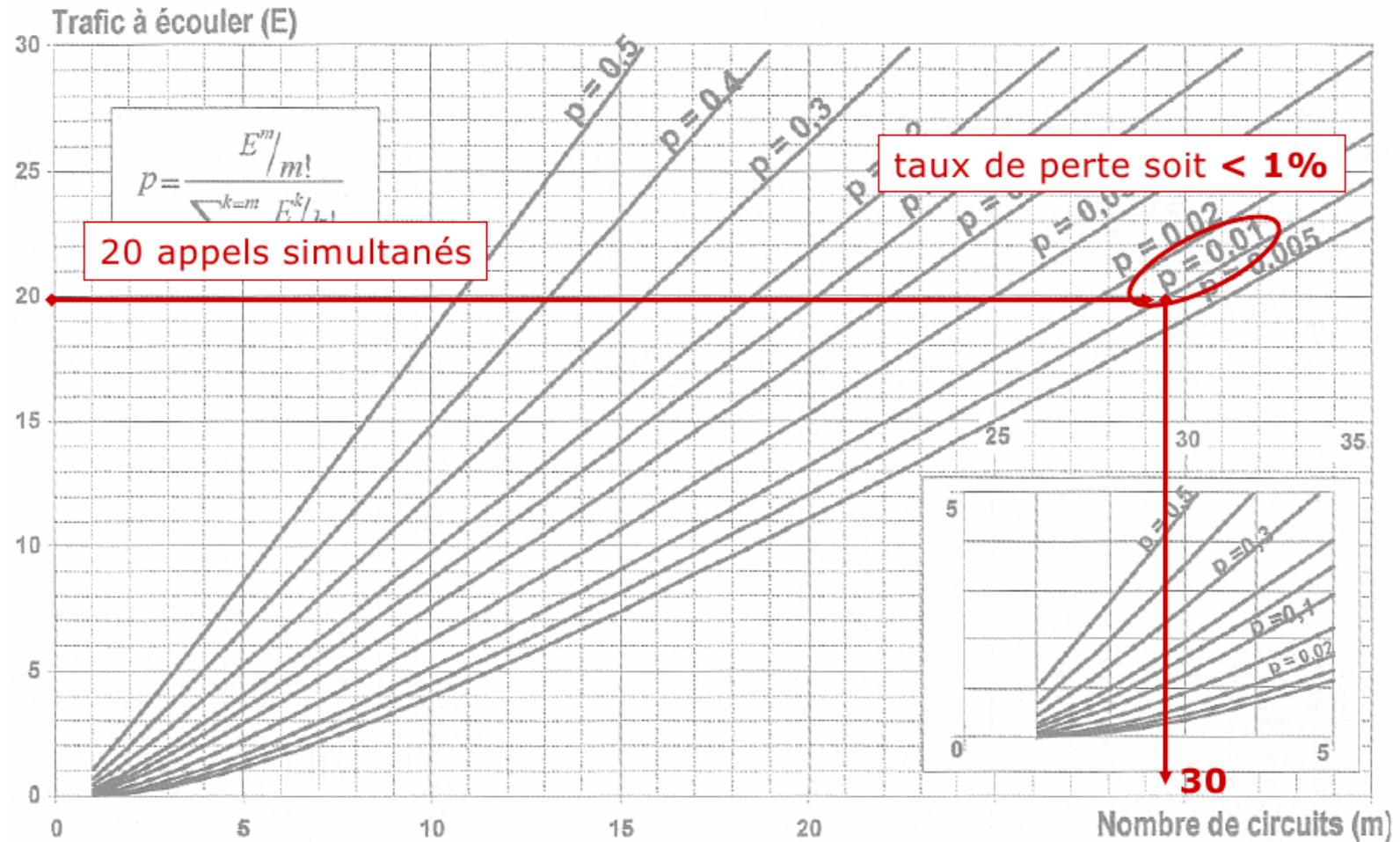


Exemple de dimensionnement d'un accès

- Dans une entreprise, on dénombre 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%.
- Résolution :

A faire

Modèle à refus



Choix d'abonnement

- En fonction de la connaissance de son trafic, une entreprise peut calculer le nombre de circuit à acheter (exemple Orange) :

calcul tarifaire standard

Business Services orange

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 : RÉSEAU PRIVÉ ET PABX

- Fonctionnalités
- Architecture
- Interconnexion
- Signalisation

Réseau téléphonique privé

- Réseau téléphonique privé : réseau appartenant à l'entreprise
- Connecté aux réseaux publics (accès externes)
- Utilisation d'un ou plusieurs PABX (Private Auto Branching eXchange), ou autocommutateurs

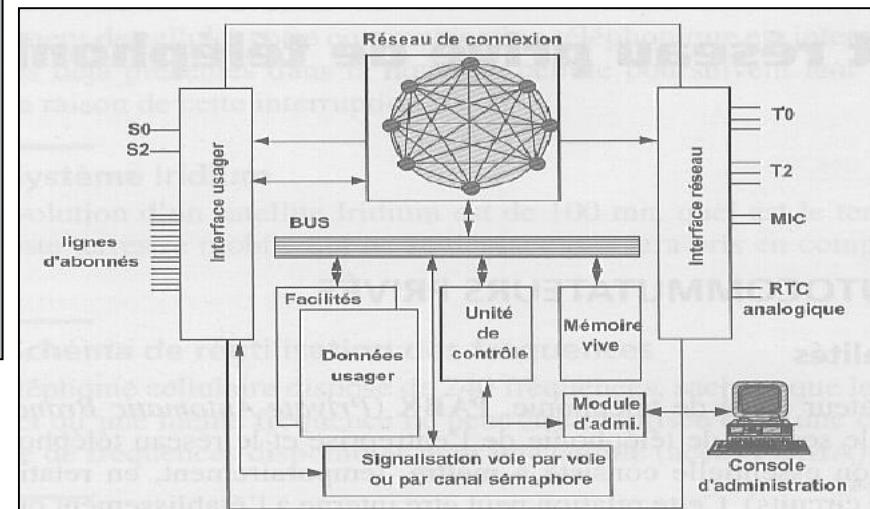
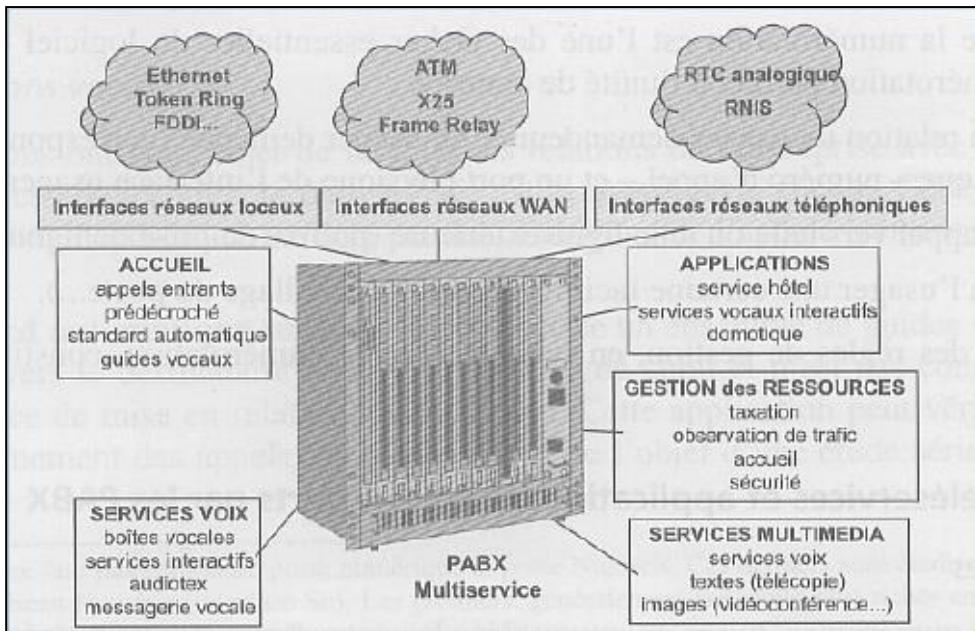
Fonctions d'un PABX

- **(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



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

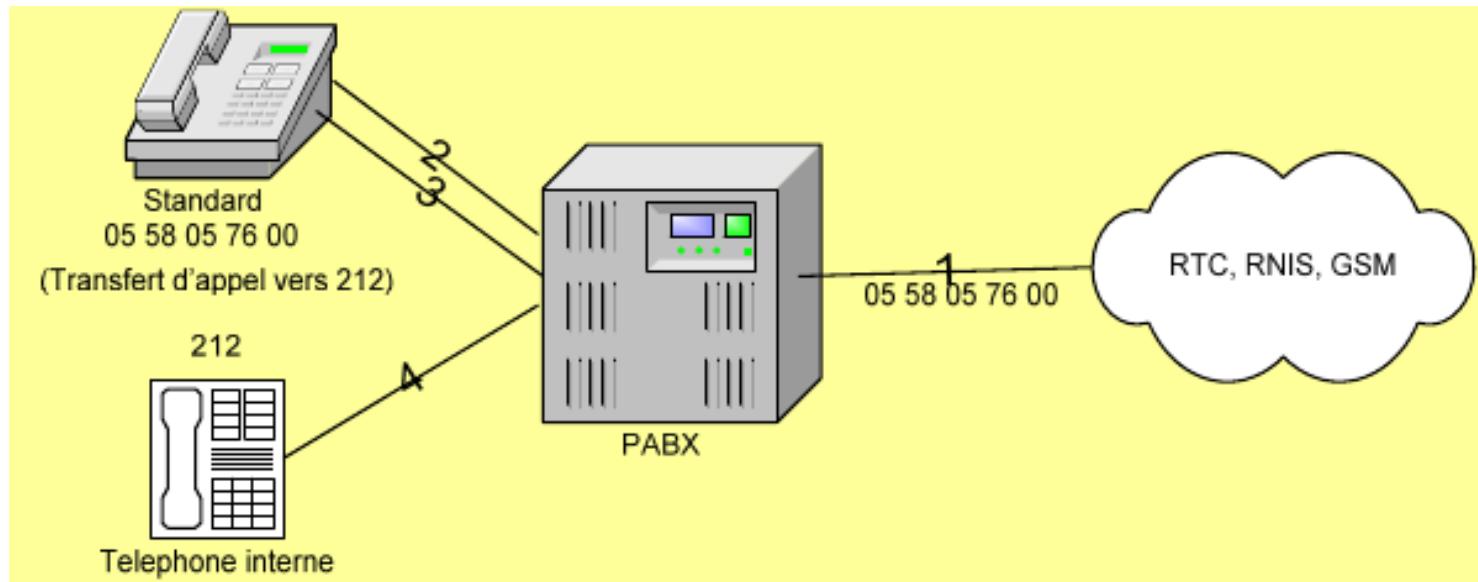
Services courants offerts par les PABX

- Transfert d'appel
- Numérotation abrégée
- Rappel sur poste occupé
- SDA - Sélection Directe à l'Arrivée
- Double appel
- Renvoi d'appel
- Automate vocal pour redirection

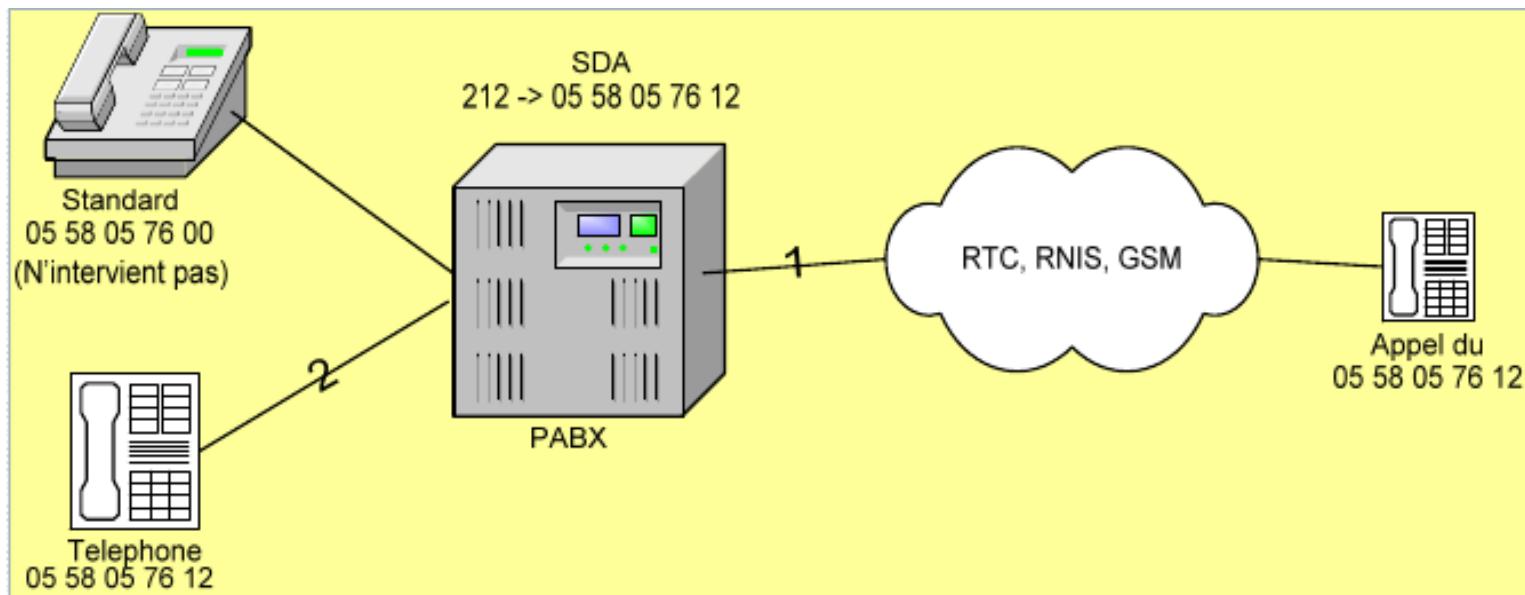
Sélection Directe à l'Arrivée (SDA)

- Pour accès à un poste dans le réseau privé depuis le réseau public
- Soit Appel du standard + redirection par le standard (non SDA)
- Soit **SDA** : Appel direct sur le poste
 - L'ensemble des numéros accessibles depuis l'extérieur donne l'ensemble des numéros à demander à l'opérateur téléphonique
 - 4 derniers chiffres toujours transmis par le CAA

Non SDA : redirection par standard

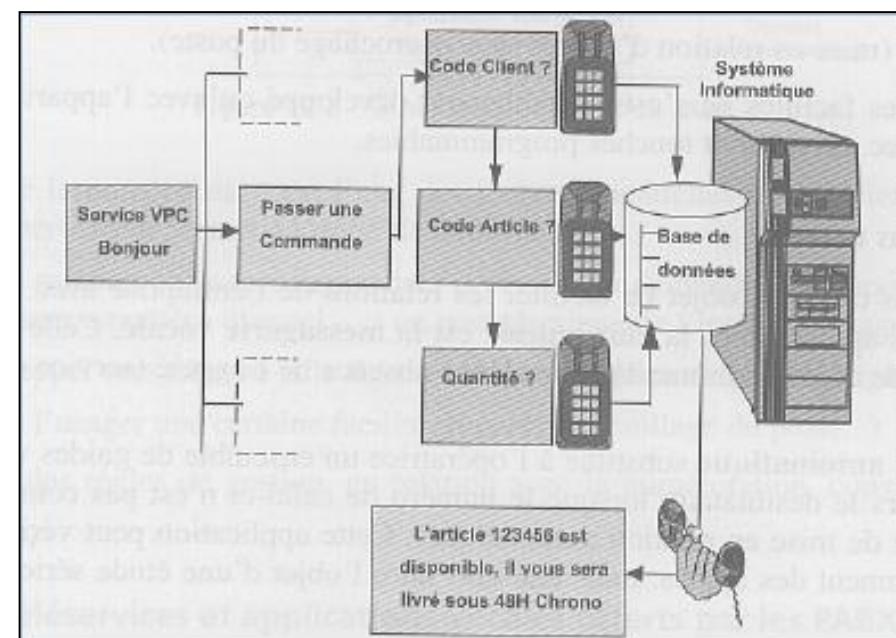
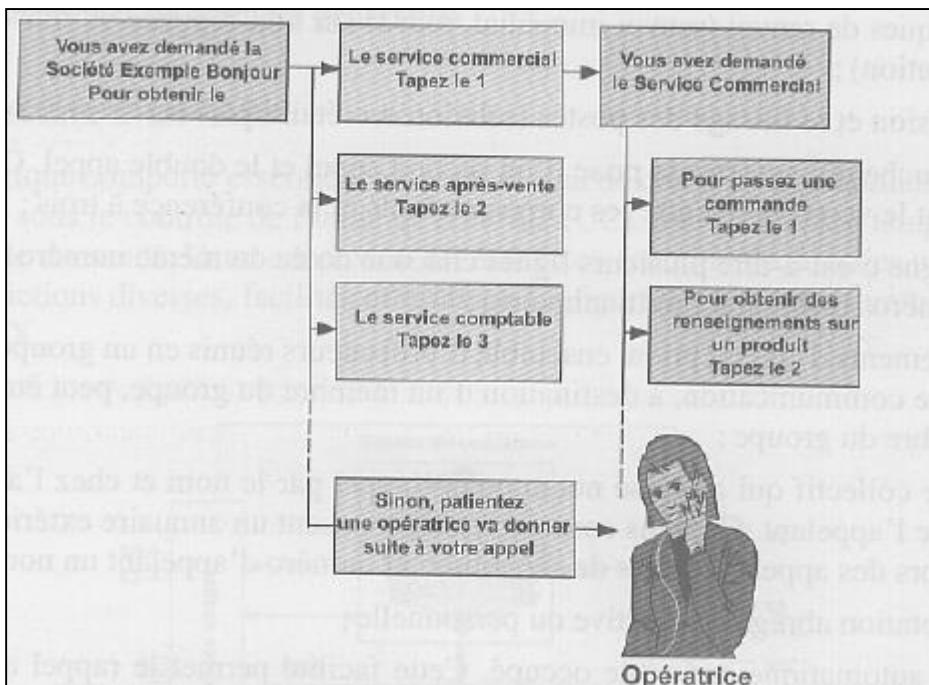


SDA



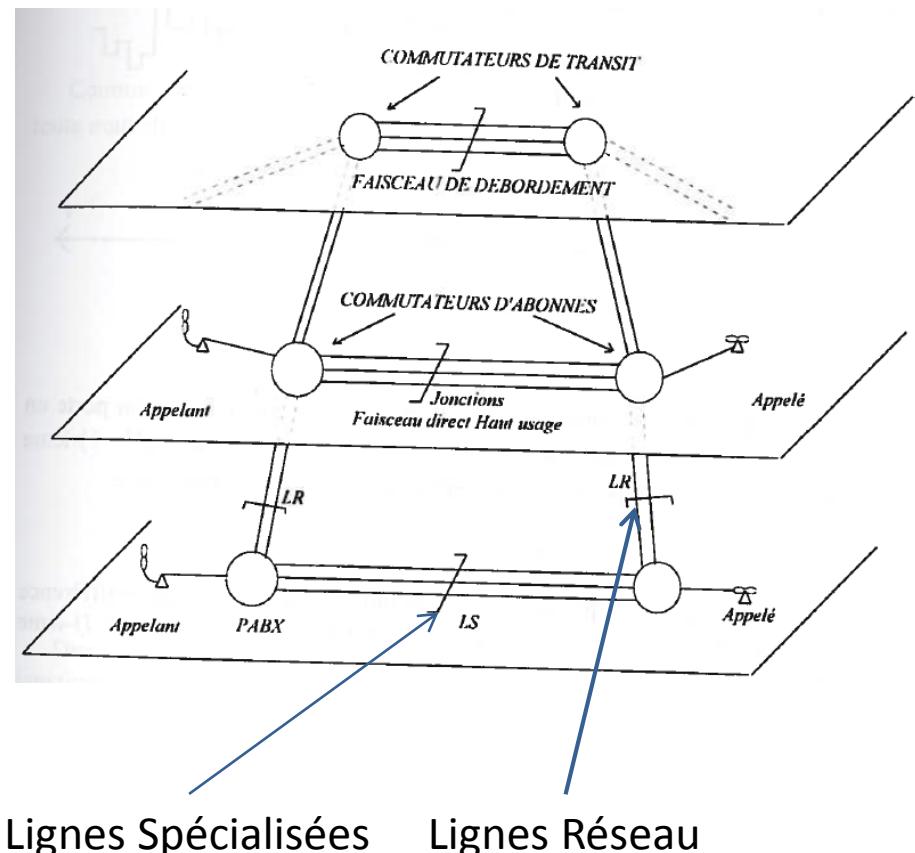
Interactive Voice Response (IVR)

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



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.

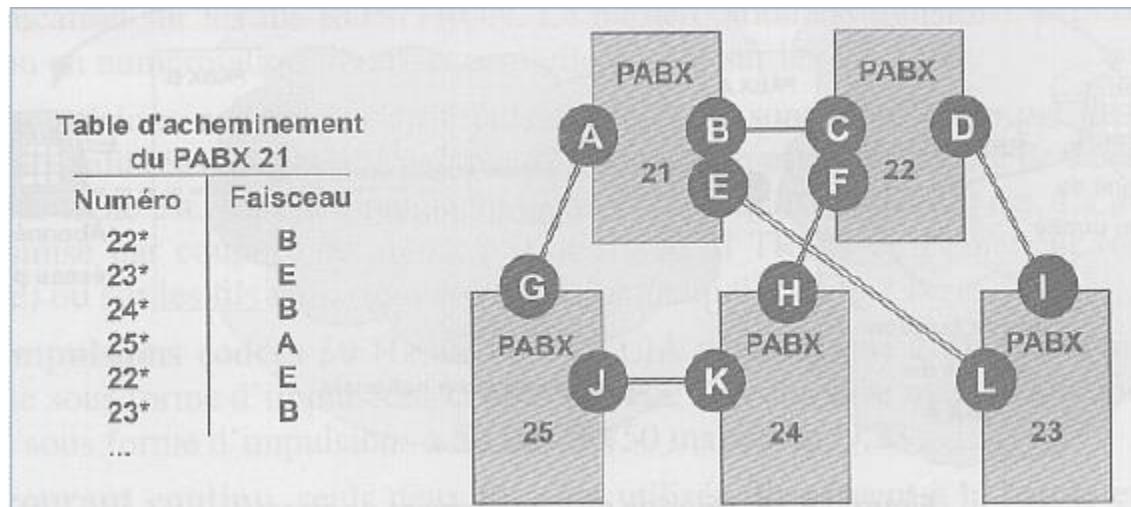


Choisir un PABX

- Le dimensionnement du PABX nécessite d'estimer le trafic à écouler (Erlang)
- 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, des valeurs statistiques admises par les administrateurs sont :
 - le trafic d'un poste à l'heure de pointe: 0,12 erlang, se répartissant en
 - 0,04 erlang en trafic sortant
 - 0,04 erlang en trafic entrant
 - 0,04 erlang en trafic interne à l'entreprise

Interconnexion de PABX

- Plan de numérotation privé



- Le protocole d'interconnexion est en général **QSig**.

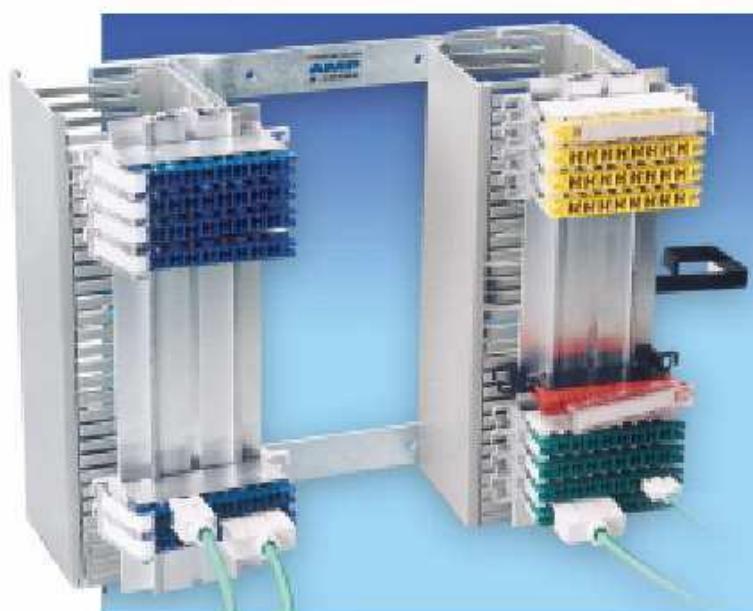
IPBX (Internet-PBX)

- Dans le cas des PABX modernes, ceux-ci peuvent gérer les appels en les transformant en paquets IP.
- Un **IPBX** peut être un équipement à part entière ou un PC sur lequel tourne un programme « serveur IPBX » (par exemple l'application *Asterisk* en TP).
- Connecte :
 - Des téléphones IP utilisant un protocole non-propriétaire (comme SIP en TP)
 - Des téléphones IP propriétaires (protocole Aastra en TP)
 - Des téléphones analogiques
 - Signaux analogiques -> le PABX numérise les signaux acoustiques (PCM)
 - Terminal offrant le moins de services téléphoniques
 - Des téléphones sans-fil (DECT)
 - Des téléphones logiciels (*softphones*), qui sont des petits programmes émulant un téléphone sur son PC
 -



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 :

