

Théorie sur la transmission de la parole

1ère partie

Plan

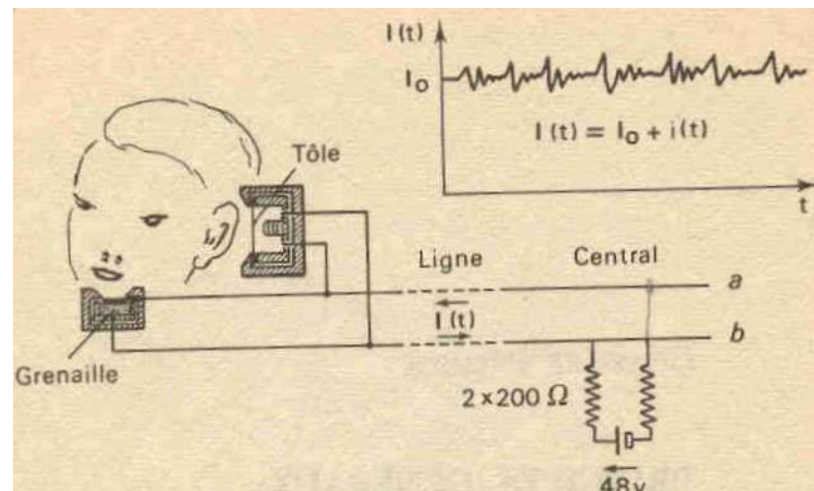
- Principe du téléphone
- Le son et les contraintes
- la numérisation
- Les techniques de transmission
- le trafic téléphonique

Principe du Téléphone: établissement d'une communication téléphonique (analogique)

- En décrochant le combiné, un commutateur se ferme et un courant est établi. (48 V= ; 30 à 50 mA)
- L'équipement distant (central téléphonique) détecte ce courant et renvoi une tonalité d'invitation à numéroter. (440 Hz)
- L'utilisateur compose le numéro de son correspondant.
- Lorsque l'appel abouti sur le téléphone distant, le central téléphonique envoie un courant sur les deux fils: Le téléphone sonne (80 V_{eff})
- l'utilisateur demandé décroche le combiné.
- L'action de fermer la boucle de courant est détectée par le central téléphonique et la communication est ainsi établie.

Principe du téléphone

- La liaison téléphonique:



- Le signal de la parole est transmis sur la ligne (correspond à la partie variable du schéma)
- La ligne: 48 Volt continu avec un courant de ligne de 30 à 50 mA.
- Le courant de sonnerie: tension alternative 80 Veff 50hz

Principe du téléphone

- **Le réseau Téléphonique mondial** est constitué par une interconnexion des **Opérateurs**:
 - La **normalisation** assure la comptabilité des opérateurs:
 - G711: voix numérique à 64kbit/s
 - **Plan de numérotage** du service téléphonique international **E160**. (UIT)
 - ENUM: Electronic Numbering
 - Idem pour **Internet**:
 - interconnexion d'opérateur
 - Gestion du nommage (ICANN)
 - Normes: H323, SIP

Principe du téléphone

- Au début de la téléphonie le traitement du signal est **ANALOGIQUE** avec des centraux mécaniques/ électromécaniques.
- Dans les années 60 le codage **MIC ou PCM** (Modulation par Impulsion et Codage ; Pulse Code Modulation) lance les **techniques de numérisation** qui se généraliseront dans les années 80/90 sur le réseau Téléphonique .
 - Aujourd'hui les techniques de codage numériques permettent de **transmettre correctement la voix de qualité téléphonique à 8kbit/s.**
- Actuellement la **VoIP permet la convergence des services sur le réseau Internet et d'adapter la transmission numérique** à la bande passante du support
 - Codeur dynamique et augmentation de la bande passante G722 (8Khz)

NB: A noter la compatibilité des Terminaux 'analogiques' avec l'évolution des techniques Opérateurs .

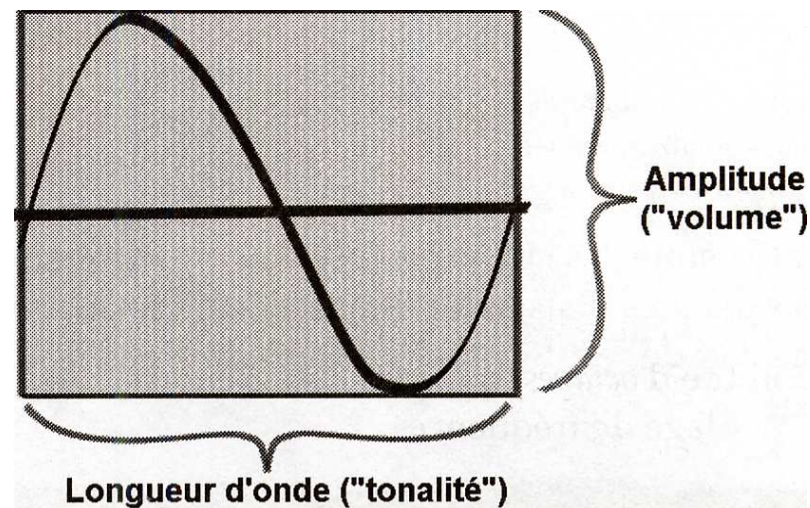
MOS (Mean Opinion Score)

Le son et contraintes

- Le son
- le signal analogique
- la bande passante
- les contraintes de la téléphonie
- exercices

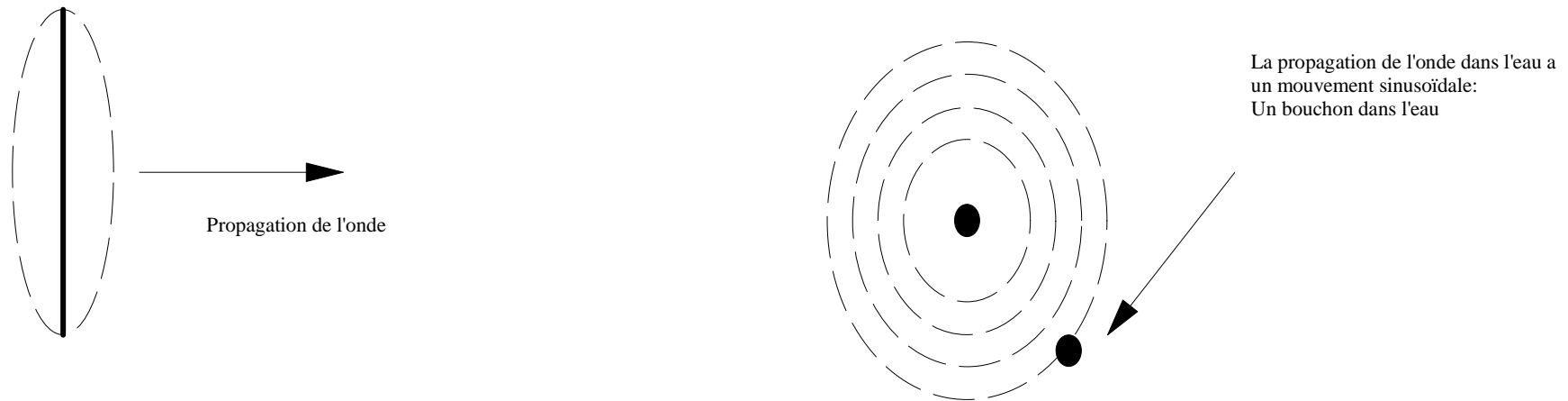
Le son

- **Définition:** Le son est un ensemble d'ondes acoustiques qui se propagent dans l'air et dont la fréquence est mesurée en Hertz correspondant au nombre d'oscillations par secondes
- Le son se propage dans l'air avec une vitesse de 330 m/s.



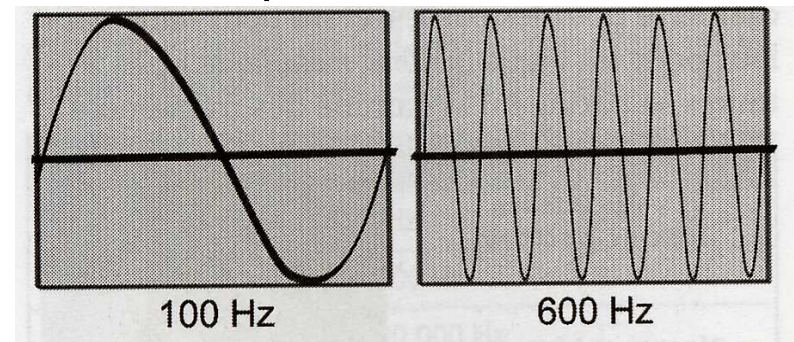
Le son

- Ainsi une corde ou une membrane vibrante produisent des ondes sonores dans l'air.



Le son

- La bande de fréquence perceptible pour l'Homme est de 10 à 20 000 Hz:
 - Les chiens perçoivent jusqu'à 65 000 Hz
 - La sensibilité de l'oreille humaine est maximale entre 1 000 et 4 000 Hz.
 - Les sons aigus ont une longueur d'onde très courte
 - Effet Doppler: son perçu avec une fréquence différente
 - Surround 5.1



Le signal analogique

- Les vibrations vocales dans un microphone parfait génèrent un courant électrique variable. Le courant produit sera analogue aux vibrations vocales
- Théorème de Fourier:
 - une fonction périodique quelconque peut être décomposée en une suite de fonctions périodiques sinusoïdales et cosinusoïdale:

$$G(t) = 1/2 c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2 \Pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos (2 \Pi n f t)$$

- La fréquence fondamentale détermine la hauteur du son, tandis que les harmoniques caractérisent le timbre propre de chaque son.

Le signal analogique

- Les ondes sonores sont regroupés en Octaves
 - 10 Octaves de 16,35hz à 16744hz
- L'harmonique en musique: il s'agit d'une fréquence multiple de la fréquence fondamentales
 - Un accord parfait: les harmoniques des notes de l'accord sont en concordance avec les harmoniques de la fondamentale

La bande passante

- On distingue aujourd'hui 5 catégories de qualité audio :
 - la **bande téléphonique** de 300 à 3400 Hz
 - la **bande élargie** de 30 à 7000 Hz : transmission de la parole d'excellente qualité mais reste insuffisante pour la musique
 - la **bande « hi fi »** de 20Hz à 15kHz
 - la **qualité CD** de 20Hz à 20kHz
 - la **qualité professionnelle** (studio d'enregistrement) de 20Hz à 48kHz.

Codage du son

- Son MultiCanal: Dolby
 - norme **AC3**: compression numérique pour le son qui permet d'utiliser jusqu'à 6 canaux sonores indépendants avec un taux d'échantillonnage de 32, 44,1 ou 48 kHz et avec un taux de transfert allant de 32 à 640 kbit/s. Le **Dolby Digital** utilise ce principe de codage, c'est pourquoi on le désigne souvent sous ce nom.
- Le Dolby Digital 5.1 dispose de 6 canaux dont 5 (avant gauche, central, avant droit, arrière gauche et arrière droit) utilisent la totalité de la bande passante (20 Hz à 20 kHz) et le dernier canal optionnel utilise seulement les extrêmes graves (en dessous de 120 Hz) pour alimenter un caisson de grave couramment appelé subwoofer

- DOLBY 2.0
- DOLBY 5.1
- DOLBY Digital EX
- DOLBY Haedphone
- Standard DTS

	HD DVD			Blu-ray			DVD		
Codec	Player support	Channels (max)	Max Bit Rate	Player support	Channels (max)	Max Bit Rate	Player support	Channels (max)	Max Bit Rate
Dolby Digital	Mandatory	5.1	504 kbit/s	Mandatory	5.1	640 kbit/s	Mandatory	5.1	448 kbit/s
Dolby Digital Plus		7.1	3 Mbit/s	Optional	7.1	1.7 Mbit/s	N/A		
Dolby TrueHD		8	18 Mbit/s		8	18 Mbit/s			

La bande passante

- Le but de la transmission:
 - restituer à l'extrémité de la ligne des courants identiques à ceux qui sont émis à l'origine
 - Mais aussi optimiser la bande passante
- En 1938 l'UIT définit la bande passante d'une communication téléphonique:
 - 300 - 3400Hz correspond à 90% de netteté.

Les contraintes de la téléphonie

- La téléphonie est une application **isochrone**: elle doit satisfaire une parfaite synchronisation et respecter un délai de transfert
- Le délai de transmission est soumis à **deux contraintes**:
 - L'interactivité
 - Le phénomène d'écho
 - La Gigue

Les contraintes de la téléphonie

- **contrainte d' interactivité:**

- c'est la durée de transmission maximale pouvant prendre un signal sans avoir l'impression que les deux interlocuteurs sont éloignés.

La valeur limite est de 300ms (ou 600ms A/R)

- Ensuite s'ajoute un **phénomène d'écho:**

- Les signaux analogiques provoquent un écho sur les équipements traversés.
 - **Ils ne sont pas perceptibles à l'oreille si le signal revient en moins de 56 ms.**
- **Écho électrique et l'écho acoustique**

Les contraintes de la téléphonie

- **La Qualité vocale:**
pour mettre en évidence les délais de transmission de la voix → le « comptage collaboratif »
 - Sur une liaison téléphonique: vous entendez votre interlocuteur dire N et vous devez immédiatement dire N+1 . Jusqu'à 25
 - Ensuite vous comparer la durée avec la téléphonie classique.
- Toll quality: Qualité du réseau téléphonique classique
- MOS

Les contraintes de la téléphonie

La Gigue:

- Le temps de traversé d'un paquet IP dans un réseau est caractérisé:
 - Une partie fixe = délais de propagation + délais d'attente moyens
 - Une partie variable (gigue) = correspond à la variation des tailles des files d'attente dans les routeurs et d'autres paramètres.

Les contraintes de la téléphonie

- Les sources de dégradation de la voix dans un réseau IP:
 1. Un réseau IP introduit des pertes de paquets
 2. Les mémoires tampons de compensation de gigue ont une influence sur le délai
 3. Les interfaces acoustiques introduisent de l'écho acoustique
 4. Les interfaces analogiques introduisent de l'écho électrique

exercice 1

- Calculez la distance maximale entre deux interlocuteurs en satisfaisant les contraintes d'interactivité et d'écho.

La vitesse de propagation du signal est de
200 000 km/s.

Solution exercice 1

Il faut respecter un temps de traversé du réseau de 28ms.

Avec une vitesse de propagation 200 000 km/s,

- on obtient une distance maximale de
 $200\,000 * 0,028 = \mathbf{5600\ km.}$

exercice 2

- Expliquez les contraintes de transmission entre une communication GSM et un poste RTC
- Idem entre un poste voIP et RTC

La numérisation

- **Principe:**
 - échantillonnage; quantification; le codage
 - numérisation de la parole téléphonique
- Les différents types de codage de la parole
- Les **techniques de compression de la parole:**
 - waveform coding; source coding; hybrid coding
 - ADPCM; CELP; audio haute définition

La numérisation: principe

- Numériser une information consiste à la représenter sous forme d'une suite de 0 et de 1.
- les artères de transmission moyen et haut débits transportent les informations sous formes numériques : téléphone, TV numérique, Web, données... .
- **Trois opérations successives sont nécessaires à la numérisation:**
 - **phase 1: l'échantillonnage**
 - **phase 2: la quantification**
 - **phase 3: le codage**

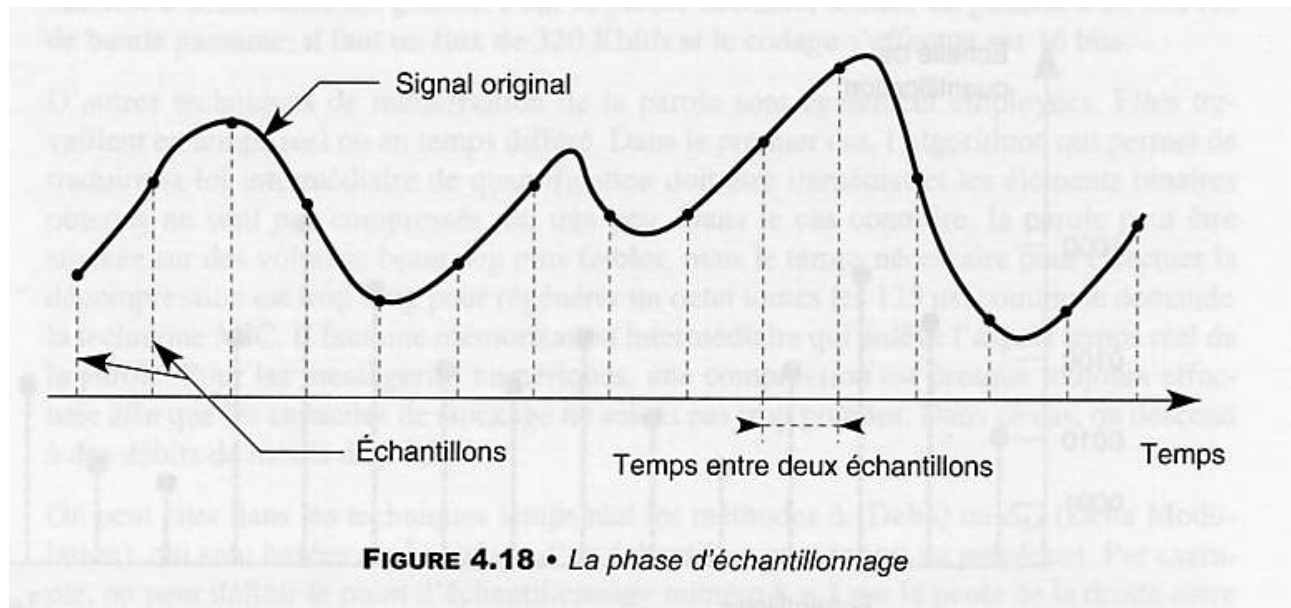
La numérisation: I 'échantillonnage

- Théorème de Shannon sur l'échantillonnage:

Si un signal $f(t)$ est échantillonné à intervalles réguliers dans le temps et à un taux supérieur au double de la fréquence significative la plus haute, alors les échantillons contiennent toutes les informations du signal original.

- La fonction $f(t)$ peut être reconstituée

La numérisation: l'échantillonnage

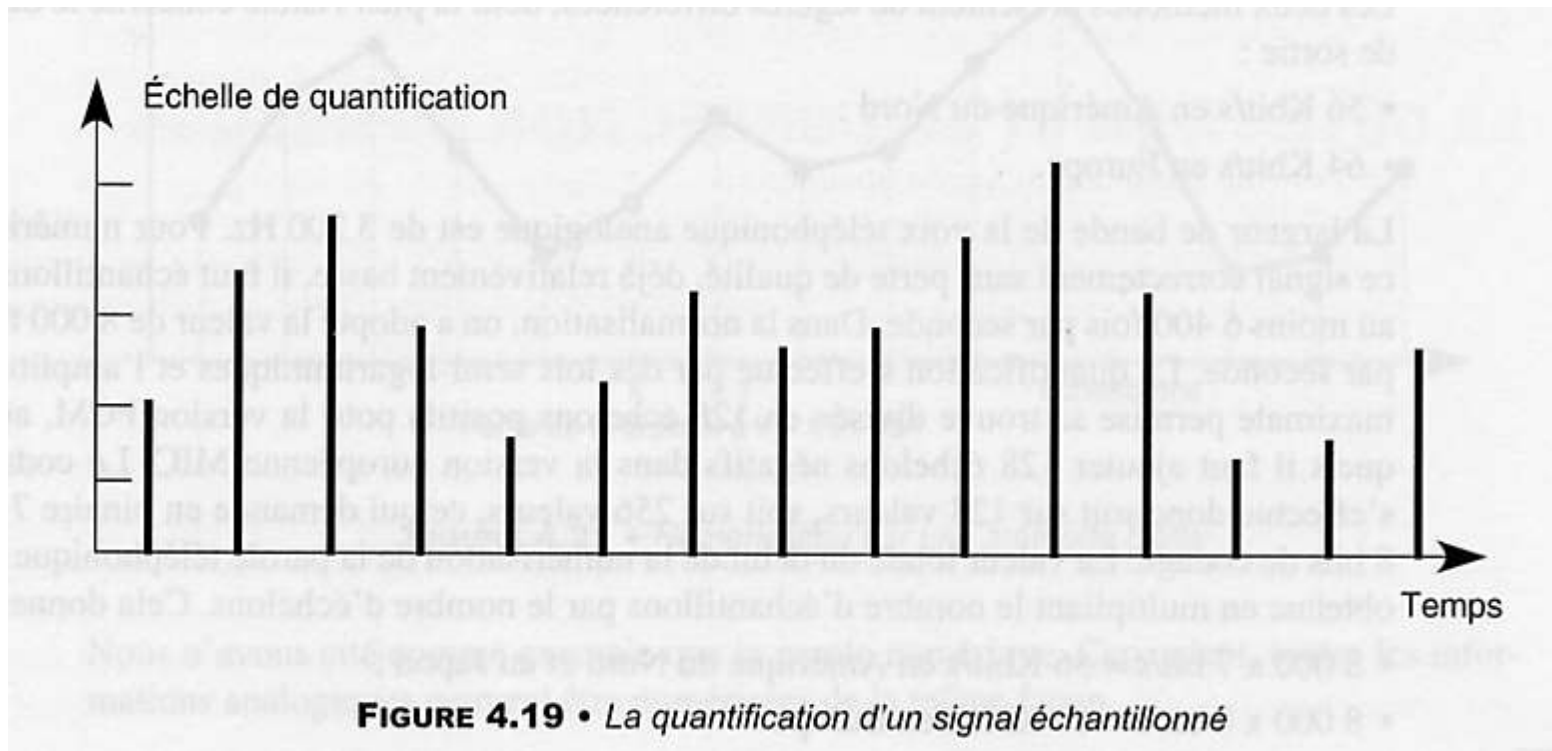


Calculez la vitesse d'échantillonnage pour représenter sous forme numérique un signal de bande passante de 10 000 Hz

La numérisation: la quantification

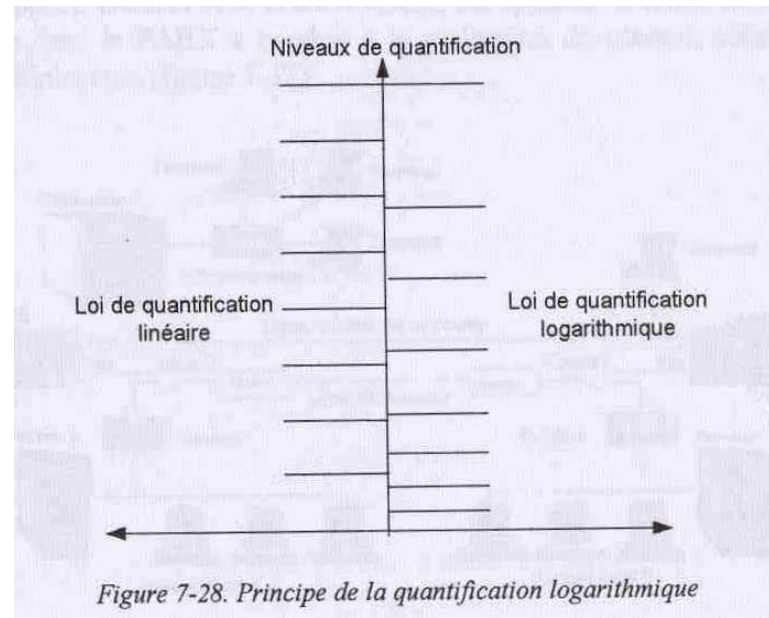
- La **quantification** consiste a définir le **nombre de valeurs numériques** permettant de représenter les échantillons et définir **une loi de correspondance**
- fonction du nombre de bits:
 - Un codage sur 8 bits donne 2 puissance 8 divisions soit 256 segments.
- Bruit de Quantification

La numérisation: La quantification



La numérisation: La quantification

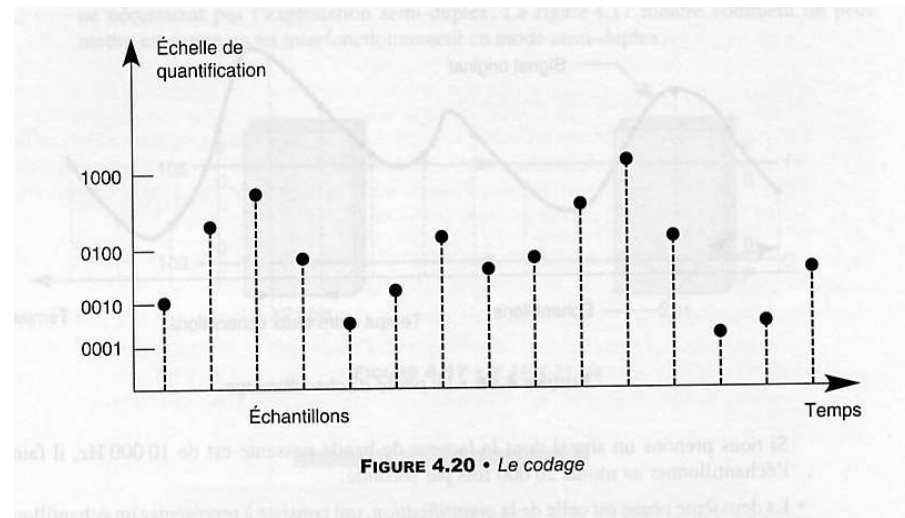
- Loi de correspondance:



- En téléphonie, on ne prendra pas une loi avec des segments égaux mais plutôt de type semi logarithmique donnant une meilleure précision. Il existe deux lois: **la loi A en Europe** et la **loi μ en Amérique du Nord**.

La numérisation: Le codage

- La troisième phase est le codage, qui consiste à **attribuer une valeur numérique aux échantillons** obtenus lors de la première phase. Ce sont ces valeurs qui seront transportées dans le signal numérique.



La numérisation de la voix

- Numérisation de la voix téléphonique:
PCM (Pulse Code Modulation) ou MIC
(Modulation par Impulsion et Codage)

- **en Europe**

débit de 64 Kbit/s. $2 * 4\text{Khz} * 8 \text{ bits} = 64 \text{ Kbit/s}$

- **Version Américaine**

seulement 7 bits: $8000 * 7 \text{ bits} = 56 \text{ Kbit/s}$

La numérisation: l'audio haute définition

- **CD audio avec un son numérique**

Lancé par Sony et Philips en 1982

- Caractéristiques:

- Codage PCM
- bande passante de **20 à 20 KHz**
- Une **fréquence d'échantillonnage à 44,1 KHz**
- codage sur **16 bits**

- Le débit de transmission:

- $44,1 * 16 * 2 \text{ canaux} = \mathbf{1,411 \text{ Mbit/s}}$

- 1 heure de musique: 5,08 Gbit soit 635 Mo (sans compression)

La numérisation de la voix

- Exercices:

- 1/ Calculez le **débit numérique** nécessaire pour transmettre la parole sur une bande passante de **10 000hz** avec un codage à 8 bits.
- 2/ Calculez **l'espace occupé** (Mo) **de trois minutes de musique sur un CD**
- 3/ Un **CD audio enregistre sous forme numérique** un signal d'une bande passante de **100 000 Hz** et la capacité du **CD est de 500 MiB**.

Calculez la **durée de l'enregistrement** possible en supposant qu'il y a pas de compression et un codage sur 16 bits

La numérisation de la voix

- **Exercice 1:**

échantillonnage 20 000 Hz

codage sur 8 bits

soit $20\,000 * 8 = 160 \text{ Kbit/s}$

- **Exercice 2:**

3 Minutes = 180 secondes

$180 \text{ sec} * 44\,100 \text{ échantillon/s} * 2 \text{ canaux} = 15\,876\,000 \text{ échantillons}$

$15\,876\,000 * 2 \text{ Octets} = 31,7 \text{ Mo}$

La numérisation: exercice

- **Exercice 3:**
- *Un signal de 100 000 hz nécessite un échantillonnage de **200 000 échantillons par seconde**.*
- *Le codage s'effectue sur 16 bits ou 2 Octets, le débit nécessaire est de **400 000 Octets par secondes**.*
- *La capacité du CD est de 500 Mo soit 524 288 000 Octets*
- *on obtient une durée de $524\,288\,000 / 400\,000 =$ **1310 s** soit environ **21 minutes**.*

Numérisation: les différents formats

<u>Compression vidéo</u>	<u>ISO/CEI</u>	MJPEG · Motion JPEG 2000 · MPEG-1 · MPEG-2 · MPEG-4 ASP · MPEG-4/AVC
	<u>UIT-T</u>	H.120 · H.261 · H.262 · H.263 · H.264
	Autres	AMV · AVS · Bink · Dirac · Indeo · Pixlet · RealVideo · RTVideo · SheerVideo · SmackerSmacker · Snow 1 · VP6 · VP7 · WMV
<u>Compression audio</u>	<u>ISO/CEI</u>	MPEG-1 Layer III (MP3) · MPEG-1 Layer II · MPEG-1 Layer I · AAC · HE-AAC
	<u>UIT-T</u>	G.711 · G.719 · G.722 · G.722.1 · G.722.2 · G.723 · G.723.1 · G.726 · G.728 · G.729 · G.729.1 · G.729a
	Autres	AC3 · AMR · Apple Lossless · ATRAC · CELT · FLAC · iLBC · Monkey's Audio · μ-law · Musepack · Nellymoser · OptimFROG · RealAudio · RTAudio · SHN · Siren · Speex · TAK · Vorbis · WavPack · WMA
<u>Compression d'image</u>	<u>ISO/CEI/UIT-T</u>	JPEG · JPEG 2000 · JPEG-LS · JBIG · JBIG2 · PNG · WBMP
	Autres	BMP · GIF · ICER · ILBM · PCX · PGF · TGA · TIFF · JPEG XR / HD Photo
<u>Format conteneur</u>	Général	3GP · ASF · AVI · Bink · DMF · DPX · FLV · Matroska · MP4 · MXF · NUT · Ogg · Ogg Media · QuickTime · RealMedia · Smacker · RIFF · Vob
	Audio	AIFF · AU · WAV · BWF · CAF

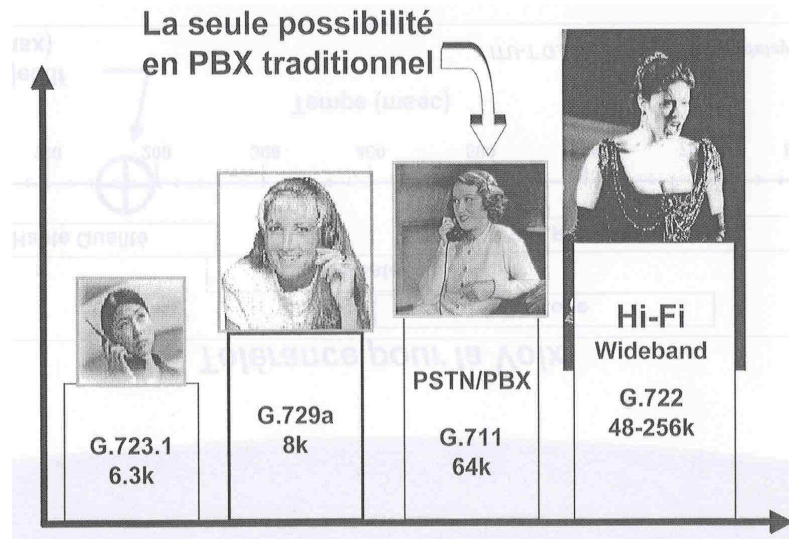
La numérisation: l'audio haute définition

- Au-delà du CD:
 - Les formats compressés du type **MP3** pour la souplesse
 - **Les chaînes Surround:**
 - **DVD Audio** développé par Panasonic, JVC, Kenwood, Toshiba et Technics
 - **SACD** développé par Sony et Philips en 1999
 - **Système 5.1**

	CD audio	SACD	DVD-A
Capacité	650 MB	4,7- 8,5 GB	4,7- 8,5 -17 GB
Canaux	2	2-6	2-6
Durée	80 min.	110 min.	70-260 min.
Echantil-lonnage	44,1 kHz	2 822,4 kHz	Surround 96 kHz , Stéréo 192 kHz
Résolution (quantification)	16 bits	1 bit	16, 20, 24 bits
Aigus	22 kHz	100 kHz	96 kHz
Dynamique	96 dB	120 dB	Jusqu'à 144 dB

La numérisation: les codages

Le MIC ou G711 est le codage de base de la téléphonie



La numérisation: les techniques de compression

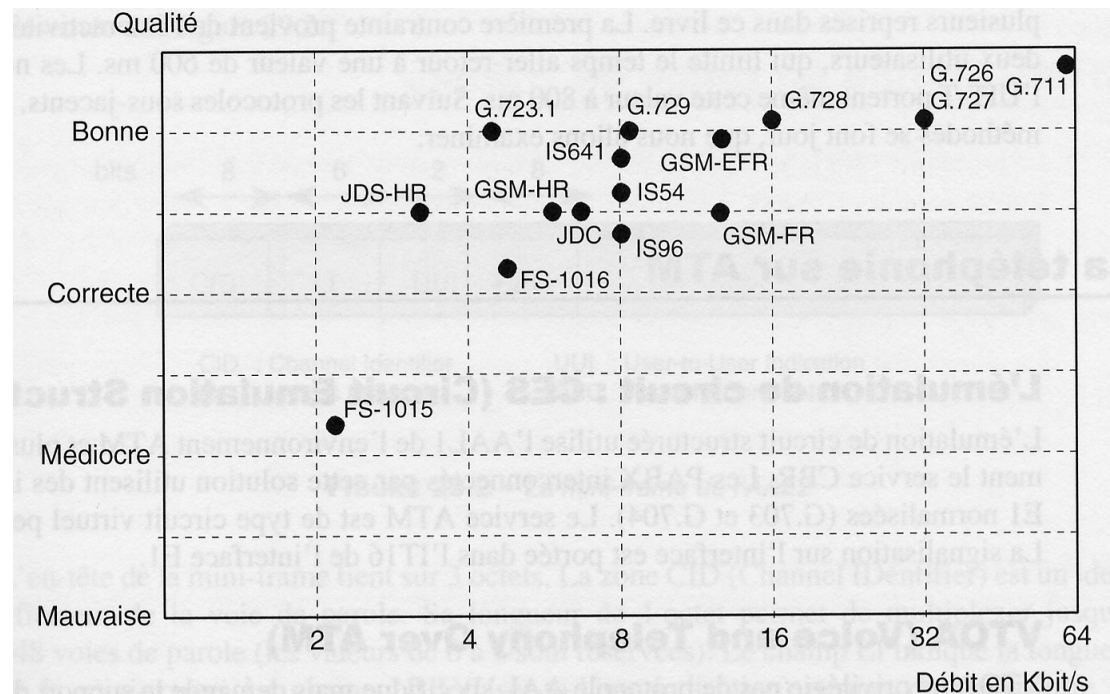
Les techniques de compression sont regroupées en trois catégories:

- **Waveform coding**
- **Source coding**
- **Hybrid coding**

Le MOS → Unité de mesure de Qualité

La numérisation: les techniques de compression

Coding Type	ITU-T Rec.	Bit Rate
PCM	G.711	64kbit/s
ADPCM	G.726	40kbit/s
ADPCM	G.726	32kbit/s
ADPCM	G.726	24kbit/s
ADPCM	G.726	16kbit/s
EADPCM	G.727	40kbit/s
EADPCM	G.727	32kbit/s
EADPCM	G.727	24kbit/s
EADPCM	G.727	16kbit/s
LD-CELP	G.728	16kbit/s
G.723.1	G.723.1	6.3kbit/s
G.723.1	G.723.1	5.3kbit/s
CS-ACELP	G.729	8kbit/s



La numérisation: les techniques de compression

- **Waveform coding**
 - le codeur travaille sur le signal
 - simple à implémenter
 - efficace jusqu'à 16 Kbit/s
- **exemple: MIC, PCM, ADPCM**
(Adaptative Differential Pulse Code)

La numérisation: les techniques de compression

- **Source Coding**

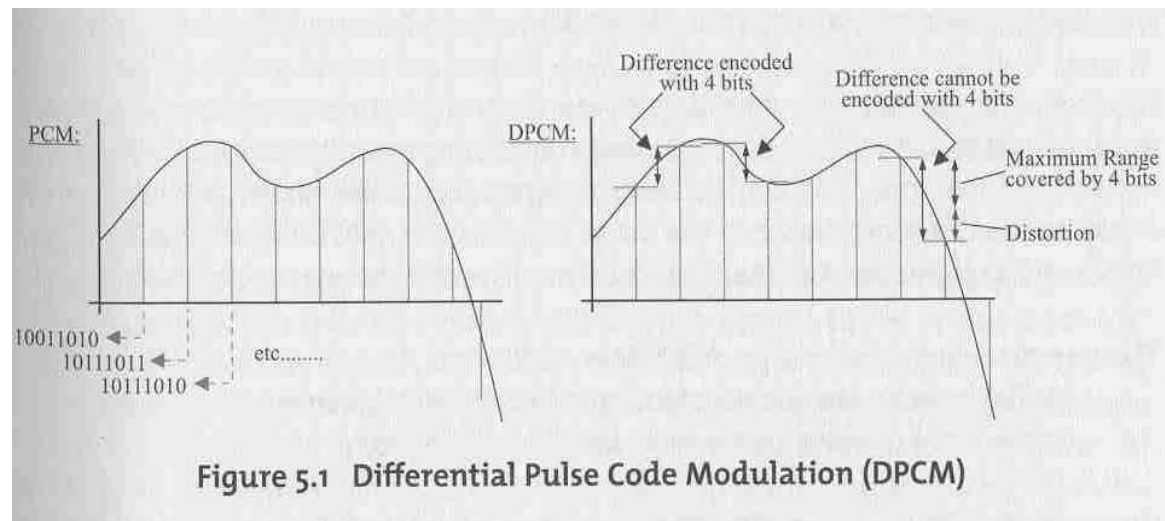
- permet de faire de la compression jusqu 'à 2,4 Kbit/s
- Le signal de **la voix est analysé et un modèle de la source sera généré**
- essentiellement utilisé dans **les applications militaires**

La numérisation: les techniques de compression

- **Hybrid Coding**
 - c'est un **mélange des deux techniques précédentes**. Le 'waveform' pour la qualité et le 'source coding' pour des débits très bas.
- Les codeurs disposent d'un **jeu de modèles** et le codeur source cherchera celui qui se rapproche au mieux du signal. Il **communiquera au destinataire le modèle sélectionné** pour pouvoir reconstruire le signal.
- Exemple: **les codeurs CELP** (Codeur Excited Linear Prediction)

La numérisation: le codeur ADPCM

- C'est le codeur « waveform coding » le plus utilisé:



- Norme G726 couvre les débits 16, 24, 32 et 40 Kbit/s

La numérisation: le codeur CELP

- Les **codeurs CELP** « hybrid coding » sont utilisés aujourd'hui pour des **débits inférieurs à 16 Kbps**.
- L'IUT a normalisé:
 - **LD-CELP G728**
 - **CS- ACELP G729**
- Ils présentent des **inconvenients**:
 - introduction d'un **délai significatif** de **50 à 100 ms**
 - ce sont des **algorithmes pour la voix humaine** donc pas adapté pour la transmission de données et le fax.

La numérisation: les codeurs

- **Transmission discontinue** pour réduire de débit:
 - VAD: Voice Activity Detection
 - CNG: Confort Noise Generation
- **Codeurs adaptatives** au support de transmission
 - Codeurs AMR (Adaptative Multi Rate)
- Le développement est aujourd'hui orienté vers des **codages de haute qualité**

La numérisation: les codeurs

- Comparatif des codeurs:

	Codeurs G711	G729	G723	GMS 6.10	GSM 6.60
débit (kbit/s)	64	8	6,3/5,3	13	12,2
MIPS	0,1	22	16/18	2,5	15,4
trame (ms)	0,125	10	30	20	20
Qualité (MOS)	4,2	4	3,9/3,7	3,6	4,1

La transmission

- La transmission **analogique**
- La transmission **numérique**
- Les liaisons **permanentes** et **commutées**
- Les perturbations

La transmission

- On distingue la **transmission analogique et numérique**:
 - **Analogique**: Des déformations sont importantes
 - **Numérique**: une bande passante plus grande

La transmission: analogique

- aujourd'hui seulement utilisé:
 - sur la **boucle locale la partie téléphonie RTCP**.
 - **CATV** (câble d'antenne TV) remplacé par la norme Docsis
 - Diffusion analogique TV remplacé par la diffusion TNT
 - Diffusion analogique SAT remplacé par le satellite numérique

La transmission: analogique

- Les réseaux urbains: **la Boucle Locale**

- correspond aux lignes de rattachement des abonnés au commutateur (CL ou CAA)
- généralement une paire de cuivre de 4,6,8,10 dixième de mm² et il y a souvent un découpage des liaisons.
- Une ligne correspond électriquement à un **Quadripole élémentaire**

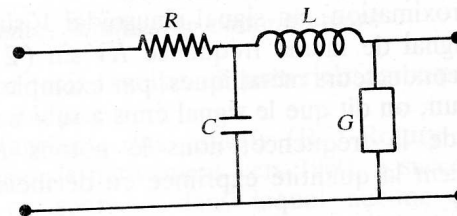
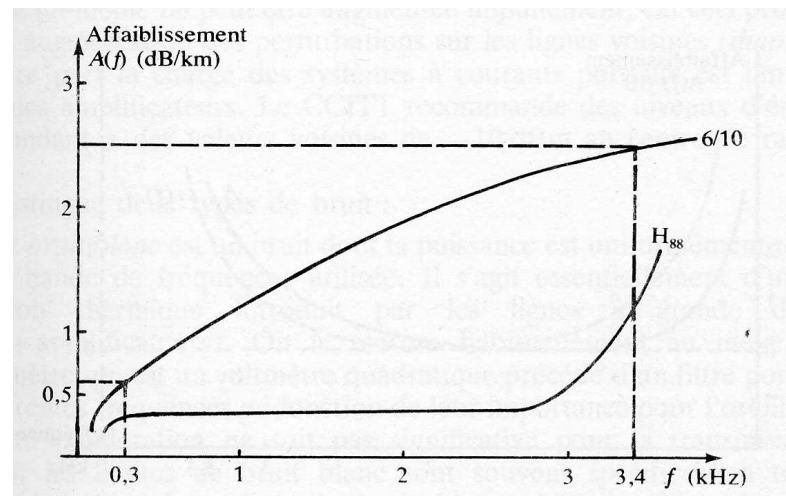


Fig. 2.6. Quadripole élémentaire (ligne métallique).

La transmission: analogique

- Les réseaux inter-urbains analogiques
 - la limitation du câble cuivre est l'**affaiblissement** quand le diamètre diminue et la distance augmente
 - Une solution pour diminuer l'affaiblissement consiste à **insérer une bobine de charge**



La transmission: analogique

- **Cette technique du câble chargé ou pupinisé a autrefois constitué l'ossature du réseau à grande distance**
- **Le type de câble le plus courant était:**
 - câble de 9/10 mm
 - inductance de 88 millihenrys tous les 1830m
- **inconvénient: réduit la bande passante**
 - et l'objectif sur le réseau inter-urbains est la transmission de plusieurs communications téléphoniques.

La transmission: analogique

- le **multiplexage analogique**
 - Sur un même support on transmet **plusieurs communications téléphoniques**
 - **multiplexage en fréquence**
- C'est une technique utilisée
 - sur le réseau téléphonique grande distance
 - sur les **CATV**
 - mais aussi sur la **boucle locale téléphonique** avec l'ADSL

La transmission: analogique

- multiplexage téléphonique
 - **Groupe primaire** de base: 12 voies
 - **groupe secondaire**: 5 groupes primaires 60 voies
 - **groupe tertiaire**: 5 groupes secondaires 300 circuits
 - **groupe quaternaire**: 3 tertiaires 900 circuits
- Il existe des ondes pilotes servant de référence:
 - dans le groupe primaire **84,140 Khz**

La transmission: analogique

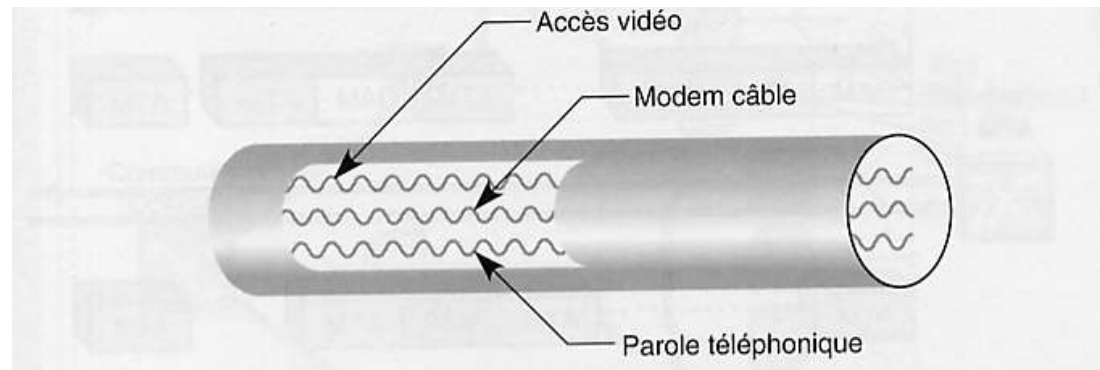
- **multiplexage téléphonique**
 - Sur les grandes distances le multiplexage analogique est réalisé avec du câble coaxial. 1er câble transatlantique en 1956



- 1 câble par sens de transmission
- Les amplificateurs alimentés par le câble avec un courant alternatif de 50hz

La transmission analogique

- Les CATV
 - **multiplexage en fréquence** de plusieurs canaux
 - bande passante de **800 Mhz**
 - un canal occupe **5 Mhz**

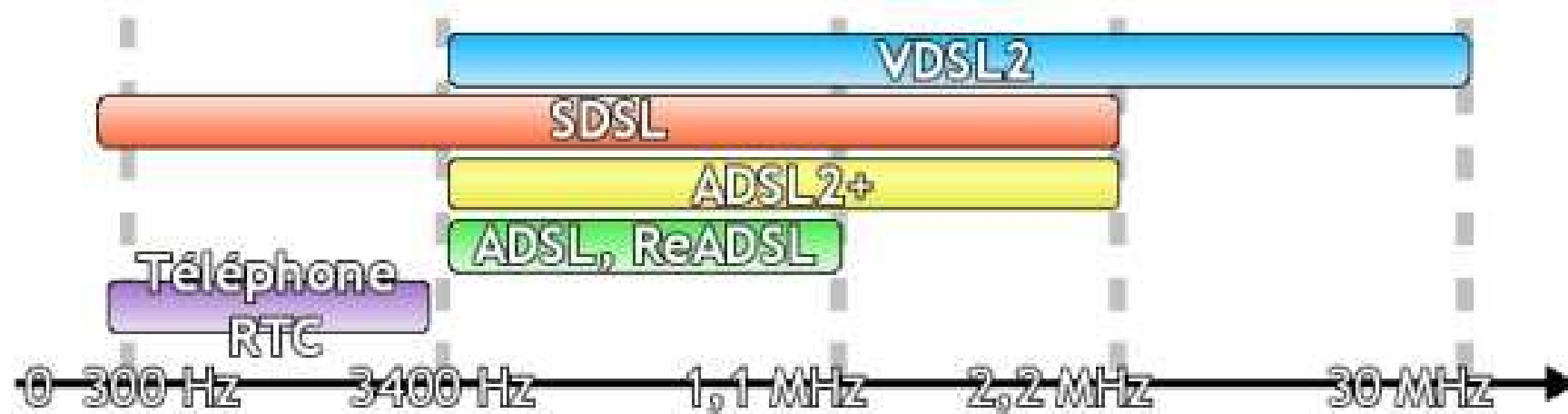


La transmission analogique

- Les CATV
 - **inconvenients**
 - les services sont indépendants, il n'y a pas d'intégration des services
 - il faut un modem pour chaque bande transportée
- Aujourd'hui:
 - utilisation de la **technique HFC** (Hybrid Fiber Coaxial)
 - en mode numérique avec la norme **DOCSIS v3**
 - Débit de 160Mbit/s en descendant et 120Mbit/s montant

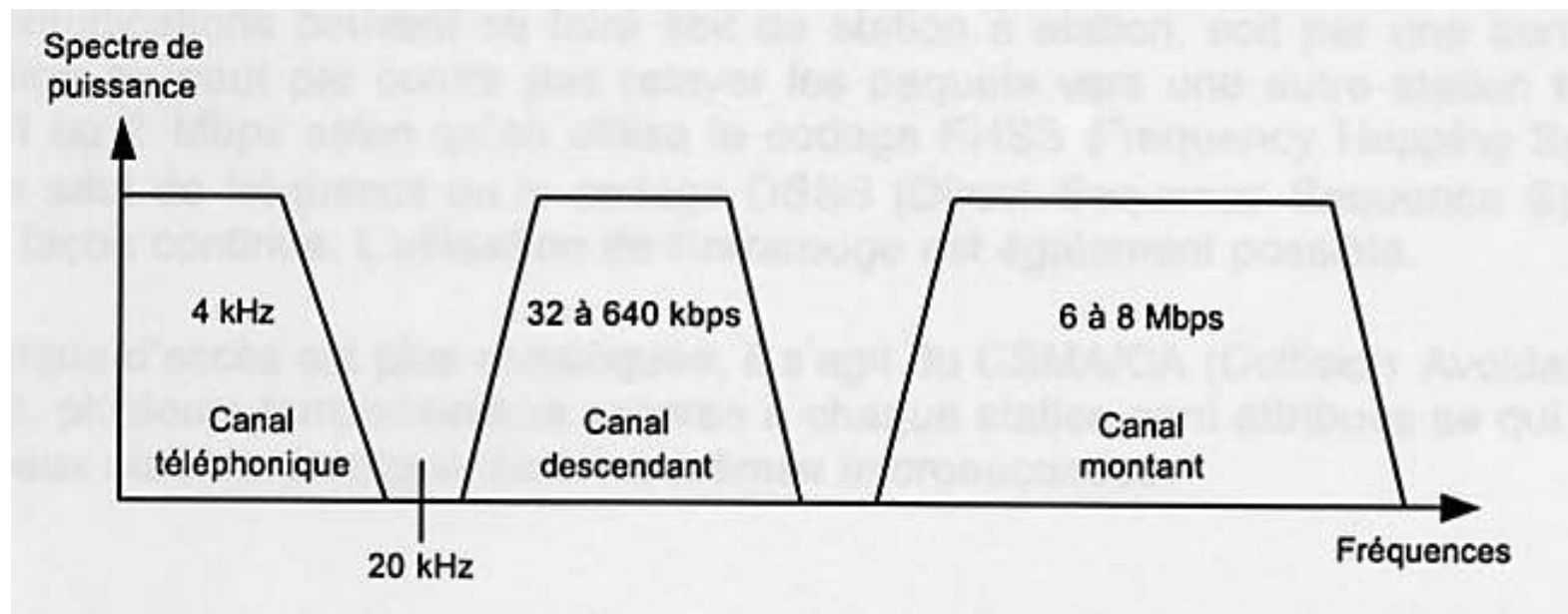
Transmission numérique et analogique sur le même support

Les technologies xDSL

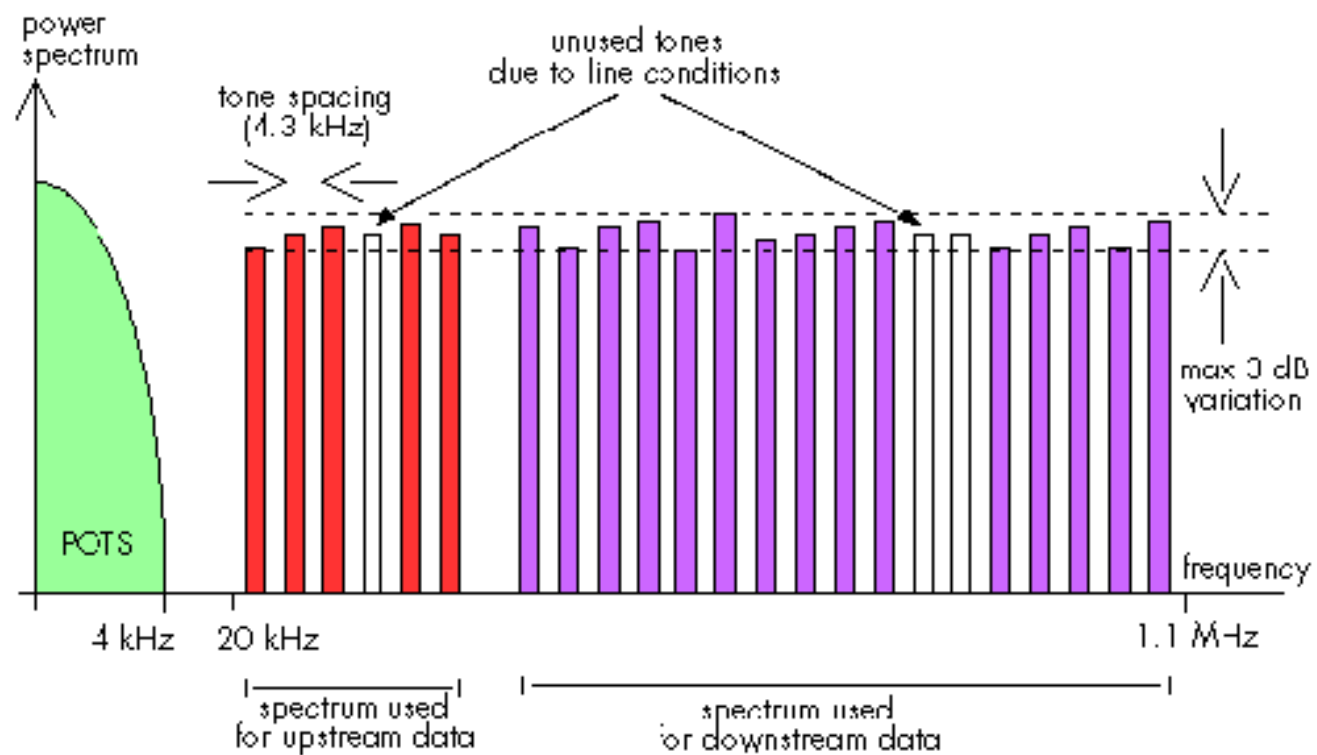


Transmission numérique et analogique sur le même support

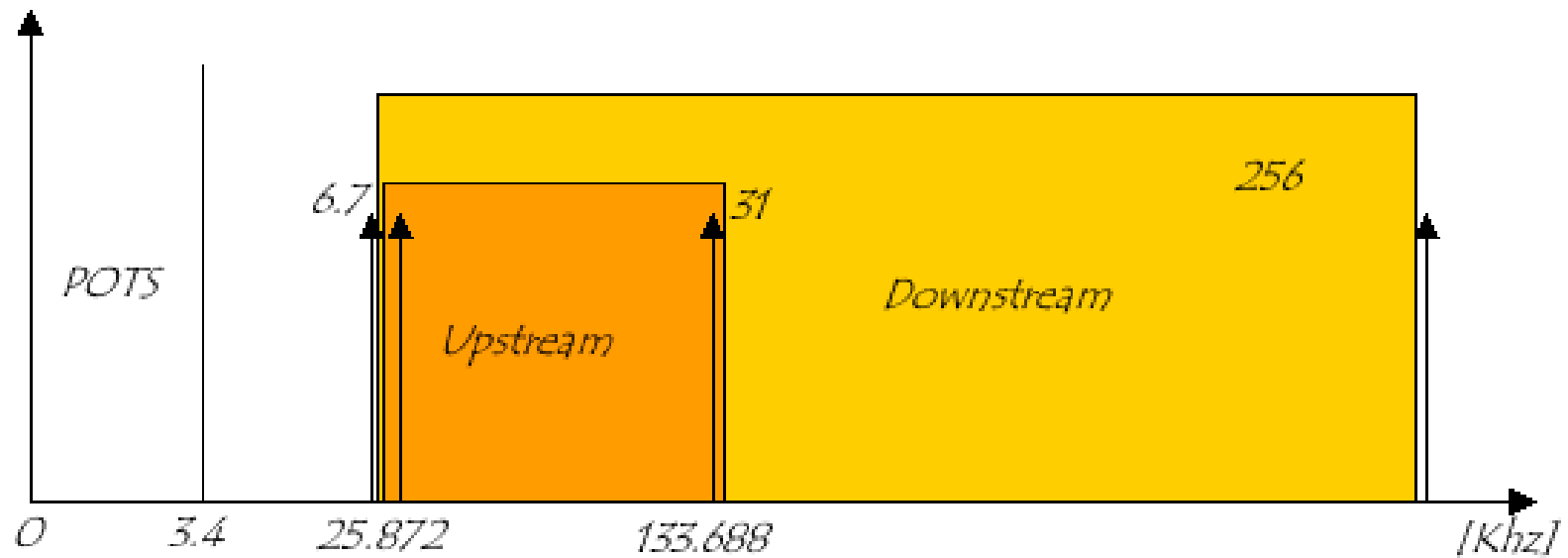
- ADSL: multiplexage analogique et numérique.
 - la partie analogique concerne le canal téléphonie



ADSL

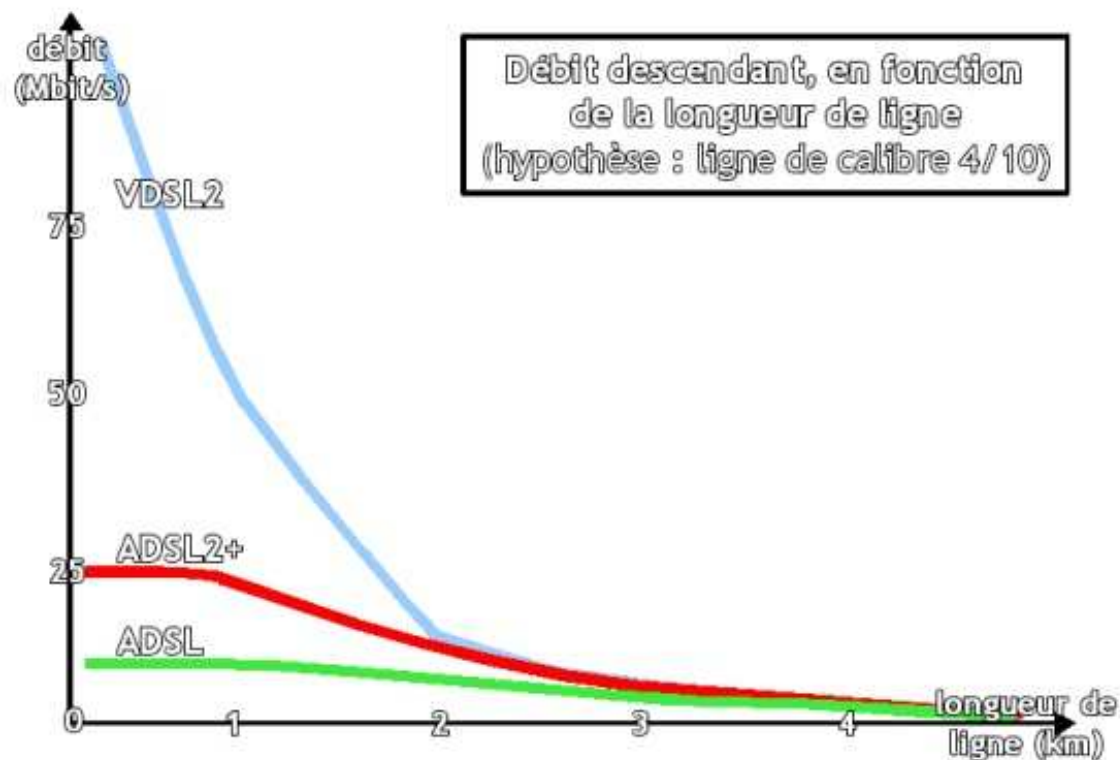


ADSL



Transmission numérique et analogique sur le même support

- ADSL: multiplexage analogique et numérique.



La transmission: numérique

- **Le débit**
- **En 1948, Claude SHANNON démontre la limite fondamentale du débit binaire sur un canal de transmission:**

Pour un canal de transmission de bande passante H soumis au bruit dont le rapport signal sur bruit est S/N .

La capacité de transmission maximale C , en bit/s, est donnée par l'équation:

- **$$C = H \log_2 (1 + S/N)$$**

La transmission: numérique

- **exercice:**

Avec une bande passante de 4 KHz et un rapport S/B de 1000, calculez le débit binaire max de cette liaison

La transmission: numérique

*Un canal de bande passante de 4000 Hz
et un rapport S/N de 1000 on obtient
40 000 bit/s.*

*C'est une valeur typique pour le réseau
téléphonique analogique.*

La transmission: numérique

- **Rapidité de transmission**
 - en **Baud**
 - Et ne correspond pas nécessairement au débit binaire
- **Baud:** nombre de temps élémentaire, ou top d 'horloge, par seconde
- **Valence:** nombre d'états possible par temps élémentaire

NB: le temps nécessaire à la transmission d'un caractère dépend à la fois de la méthode de codage et de la rapidité de transmission.

la transmission: numérique

- Exercice:
- On considère une ligne de communication à **2400 bauds de capacité.**

Dans **quelle condition**, la vitesse, exprimée en bit/s, peut être égale à 2400 ?