

Analogique -> Numérique :

Echantillonnage(Sampling) -> Quantification -> Encodage

Echantillonnage : L'opération d'échantillonnage correspond à une multiplication entre le signal information  $I(t)$  et appelé « peigne de dirac »

C'est la discrétisation en temps.

Amplitude : valeur crête ;  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$  ;  $\phi$  = phase à l'origine ; Période du signal :  $T = 1/f$  ;  $f_e$  = fréquence

Nombre de points :  $N = f_e/f$  ;  $F$  = fréquence ; Période d'échantillonnage :  $1/f_e$  ;  $t = t_e \cdot i$  (in range( $N \cdot nT$ )) ;

Sinusoides :  $a \cdot \sin(\omega t + \phi)$  ; Carré :  $a \cdot \sin(\omega t + \phi)$  ; Si  $> 0$  ; 1 ; Si  $= 0$  ; 0 ; Si  $< 0$  ; -1 ;

Dent de scie :  $2 \cdot a \cdot (t/T - \text{math.floor}(t/T) - 1/2)$  ; Triangle :  $a \cdot (4 \cdot |t/T - \text{math.floor}(t/T + 1/2)| - 1)$

Série de fourier :  $s(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n(f) (\cos(2\pi n f t) + i \sin(2\pi n f t))$

Une série de Fourier est une somme infinie de fonctions sinusoïdales ; La sinusoïde de fréquence  $f$  est la **fondamentale**. Les fonctions sinusoïdales de fréquence  $n \cdot f$  sont les **harmoniques** du signal. Ces séries permettent de représenter « tout » signal périodique (de période  $T$ ).

La fréquence d'échantillonnage idéale est de  $2 \cdot f$  la plus haute fréquence présente(ou choisie) dans le spectre du signal.  $f_e \geq 2 \cdot f_{\max}$  ; Fréquence supérieure -> Sur-échantillonnage (trop de débit pour rien) ; Fréquence inférieure -> Sous-échantillonnage (perte de trop d'informations) ;

Signal discret : Signal dont la valeur n'est mesurable qu'à certains instants ; il n'est pas défini/connu pour tout  $t \in \mathbb{R}$ . La période d'échantillonnage est la différence de temps entre 2 échantillons sur le signal

La numérisation : Pulse Code Modulation

Ce langage n'est fait que pour les télécommunications. La numérisation est plus tolérante aux bruits, mais aussi plus compacte et surtout plus simple à implanter électroniquement et donc informatisable. **INCONVENIENTS** de la Numérisation : c'est une approximation d'un signal analogique, ce qui induit une acceptation d'une erreur, qui est un **bruit**

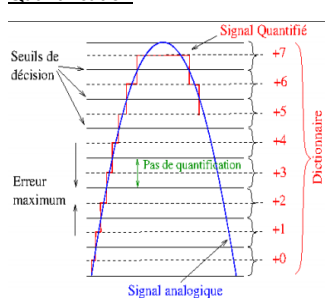
Canaux et débits associés

Téléphone : 300-3400Hz ;  $f_e = 2 \cdot 3400 = 6800$  Hz  $\sim 8$ KHz ; débit :  $8000 \cdot 8$  bits par échantillon = 64Kbps

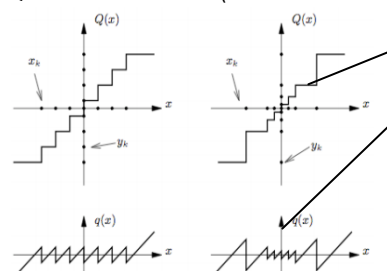
CD : 20KHz ;  $f_e = 20 \cdot 2 = 40$ KHz  $\sim 44.1$ KHz ; débit :  $44.1 \cdot 16$  bits par échantillon = 0.7 Mbps

Télé numérique : 5MHz ;  $f_e = 5 \cdot 2 = 10$ MHz ; débit :  $10 \cdot 8$  bits par échantillon = 80Mbps

Quantification



Quantification sur 3 bits (8 valeurs de dictionnaire) ; pas de quantification ( $\Delta$ ) uniformes ; Quantificateur linéaire :  $S_q = n \cdot \Delta$



La quantification introduit nécessairement une erreur... de quantification !

Non-uniforme :  $\Delta_k = x_{k+1} - x_k$ . Et on fait en sorte que la résolution soit supérieure pour les petites valeurs de signal :  $\Delta_k < \Delta_{k+1}$  ; Erreur de quantification :  $q(x) = Q(x) - x$  Mais l'erreur relative est constante... c'est meilleur !

Bruit

Le bruit est tout ce qui interfère avec la récupération d'un message ; Le bruit est mesuré en "énergie" : L'énergie d'un signal,  $s(t)$ , sur l'intervalle  $[t_1, t_2]$  :

$W_s(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} |s(t)|^2 dt$  ; ou pour un signal discret,  $x(n)$  sur l'intervalle  $[N_1, N_2]$  :

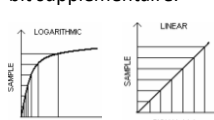
$W_x(N_1, N_2) = \sum_{n=N_1}^{N_2} |x(n)|^2$  ; Le bruit est, par définition, imprévisible : Il est aléatoire. Comme toute fonction aléatoire, le bruit est caractérisé par une densité de probabilité.

La quantification crée un "bruit de quantification" relativement au signal original.

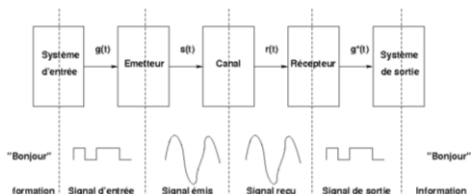
Rapport signal/bruit (SNR)

Pour  $x(t) = s(t) + n(t)$ , le snr est défini par :  $SNR_x = W_s/W_n$  où  $W_s$  est l'énergie du signal  $s(t)$  ;  $W_n$  est l'énergie du bruit  $n(t)$ . Le SNR est souvent représenté avec une échelle logarithmique (ce qui "comprime" la représentation de la dynamique) appelée décibel et noté dB :  $SNR_x = 10 \log_{10} x$  en dB. Un accroissement de 3 dB du SNR est équivalent à une multiplication par 2 de  $x$ ... ce qui est plutôt l'objectif ! **Plus y a de bits de quantification, plus le bruit sera petit, plus le snr sera grand.**

Soit un signal  $x(nT)$  de moyenne zéro et d'écart type  $\sigma_x$  et un quantificateur uniforme :  $\geq$  Si le bruit de quantification suit une loi uniforme,  $\geq$  Si la plage utile  $V$  du signal est décomposée en  $V/q = 2^B$  intervalles de largeur  $q$ , alors le snr de  $x(n)$  :  $SNR(x, q) = 6 \cdot B + 10.8 - 20 \cdot \log_{10}(V/\sigma_x)$  en dB. Ainsi, pour un CAN, où  $B$  représente le nombre de bits des valeurs de sortie, le rapport signal sur bruit (en dB) d'une quantification varie linéairement avec  $B$  en décibel, et plus précisément augmente de 6 dB avec chaque bit supplémentaire.



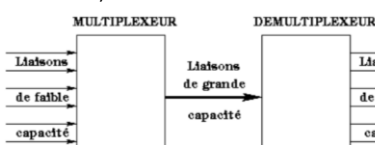
Modèle d'une liaison de télécommunication



regroupées/rassemblées/acheminées sur une liaison "de grande" capacité.

Permettre à plusieurs utilisateurs de se partager un même support physique de transmission, si possible en transparence c'est à dire en ayant l'impression d'être le seul à utiliser ce support !

Le multiplexage par répartition dans le temps (multiplexage temporel ou Time Division Multiplexing) consiste à transmettre sur un même canal plusieurs signaux (sous canaux) en accordant une tranche de temps fixe à chacun.

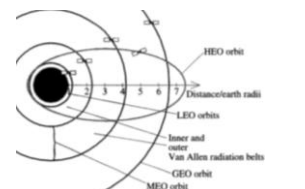


Satellites

LEO : low earth orbit : [700, 2000]Kms ; MEO : medium earth orbit : [8000, 20000]Kms ; GEO : geostationary earth orbit : 35786Kms ; HEO : highly elliptical earth orbit : <42000Kms

1 seul transpondeur = 1 seul cône de diffusion ; plusieurs transpondeurs : cônes de diffusion multiples. Célérité d'une onde électromagnétique :  $\Rightarrow$  vide = 300000Km/s =  $3 \cdot 10^8$ m/s,  $\Rightarrow$

câble coaxial = 2.108m/s,  $\Rightarrow$  paire torsadée  $\in [0, 5 \cdot 10^8, 2 \cdot 10^8]$  m/s.



OSI : Application, Présentation, Session, Transport, Réseau, Liaison de données, Physique

Le signal subit une distorsion lors de sa transmission : signal émis -> canal de transmission idéal -> bruit -> distorsions -> signal reçu

Débit et Délai de transmission :  $\geq$  Le débit de transmission est défini comme le nombre de bits par seconde que peut transporter la ligne.  $\geq$  Le retard est le temps nécessaire pour qu'un bit présenté à l'entrée de la ligne (émission) soit délivré à l'autre extrémité de la ligne (réception).

un retard pur  $\tau$  est inévitable à cause du temps de propagation  $s(t) = e(t - \tau)$

L'atténuation est la réduction de l'amplitude et de l'énergie d'un signal à travers le médium qu'il traverse

Atténuation dB =  $10 \log_{10} P_s/P_e = 10 \log_{10} V_s^2/V_e^2 = 20 \log_{10} V_s/V_e$

Coefficient d'atténuation La nature du médium influe sur l'atténuation au travers d'un coefficient propre au milieu : le "coefficient d'extinction" (en dB/Km).  $\geq$  Il est aussi appelé coefficient d'atténuation.

Dans le cas d'une transmission filaire, l'atténuation est fonction de la section (diamètre) du fil de cuivre.  $\geq$  Plus la section est faible, plus la ligne sera sensible à l'atténuation.

Altération du signal

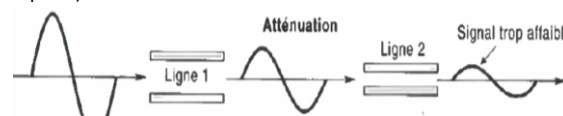
Les effets du canal sur le signal sont divers : Au final, des erreurs de transmission ; Le support physique atténue l'amplitude et élimine les composantes de fréquence élevées : perte d'infos .

Emetteur

Son rôle est de mettre en adéquation le message et le canal.  $\geq$  Il doit être capable de transformer l'information en un signal supporté ou adapté au médium utilisé pour la transmission.

Modes d'exploitation

Il existe 3 modes d'exploitation d'une liaison : simplex : "unidirectionnelle" Les données sont transmises dans une seule direction. half duplex : "bidirectionnelle à l'alternat" Les données sont transmises dans les deux directions, mais il n'y a qu'un émetteur à tout instant. full duplex : "bidirectionnelle simultanée" Les données sont transmises dans les deux directions, et il peut y avoir plusieurs émetteurs simultanés.

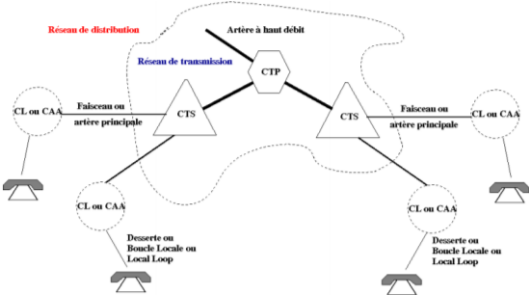


Modulation

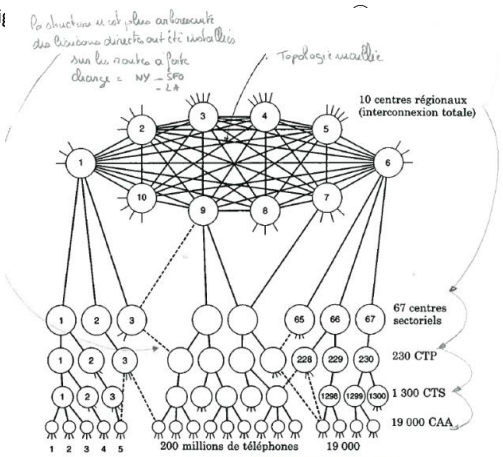
$V_p = A \cos(\omega t + \phi)$  avec  $f_p = \frac{\omega}{2\pi}$  On modifie une des caractéristiques de  $V_p$  ( $A, f_p, \phi$ ) au rythme du signal à transmettre.

Les trois possibilités sont donc : ① amplitude  $A$  du signal porteur : modulation d'amplitude ② fréquence  $f_p$  du signal porteur : modulation de phase

Réseau France Telecom



Réseau AT&T



ADSL/xDSL

Les procédés DSL (Digital Subscriber Line) permettent (sous conditions) de faire transiter de l'information numérique sur la "boucle locale" avec un débit atteignant ou dépassant le mégabits par seconde (Mbps). Sous l'appellation xDSL on regroupe de nombreuses variantes, dont trois seulement émergent sur le marché. ① Le procédé HDSL ("High bit rate DSL") permet d'atteindre 1,5 Mbps dans les deux sens, en utilisant deux paires de cuivre. → Il est utilisé par les compagnies de téléphone pour réaliser des lignes T1 sans avoir à poser des répéteurs. ② Le procédé SDSL ("Symmetric DSL"), plus récent que le précédent, permet d'obtenir le même débit, mais avec une seule paire de cuivre. → Il est utilisé de manière ponctuelle sur des sites industriels. ③ Le procédé ADSL ("Asymmetric DSL") tire son nom du fait que le débit descendant (c'est à dire vers l'utilisateur) est très supérieur au débit montant. → Favorable aux applications du type client/serveur : consultation d'Internet, accès à distance (télétravail), et vidéo à la demande . . . Quand on dispose d'une bande de fréquence large d'un MHz, on peut la diviser en :  $1000/4 = 250$  canaux (de 4 kHz chacun) et donc si un canal permet de faire passer 33,6 Kbps (ce que fournit un modem analogique branché sur une ligne téléphonique traditionnelle), on dispose d'un débit total d'environ 250 modems :  $250 \times 33,6 = 8,4$  Mbps