

Circuit de données - Plan

1. Support de transmission
2. Codage du signal
3. Circuit de données
4. Numérisation
5. Quelques relations utiles



Kim Thai

-1-

Circuit de données - Plan

1. **Support de transmission**
 - ✓ notion de bande passante
 - ✓ les différents types de support
2. Codage du signal
3. Circuit de données
4. Numérisation
5. Quelques relations utiles



Kim Thai

-2-

Problématique



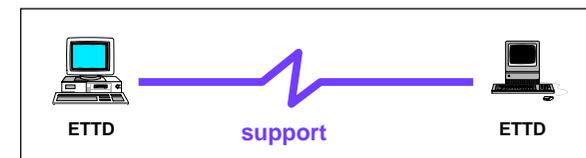
ETTD : Equipement Terminal de Traitement de Données



Kim Thai

-3-

Un support de transmission



- Les différents types
 - les supports électriques
 - les supports optiques
 - les supports aériens
- Les critères de comparaison
 - bande passante
 - atténuation
 - sensibilités diverses
 - coût
 - encombrement
 - poids, etc.



Kim Thai

-4-

Modélisation du support



✓ cas idéal : $x(t) = y(t)$

✓ mais :

- atténuation du signal

- perte d'énergie que subit le signal lorsqu'il se propage : l'amplitude de $y(t)$ est inférieure à celle de $x(t)$
- le signal décroît de façon logarithmique lorsque la distance augmente → l'atténuation est mesurée en dB/km
- toutes les fréquences contenues dans le signal ne sont pas atténuées de la même façon
- généralement connue pour un support donné → utilisation d'amplificateurs
- ↳ le support agit comme un **filtre** : il ne laisse pas passer toutes les fréquences !



Kim Thai

-5-

Modélisation du support

- distorsion de phase

- les fréquences contenues dans le signal ne voyagent pas à la même vitesse

- bruits

- lors de sa propagation sur une ligne, le signal est perturbé par des signaux parasites ; il s'agit d'énergie non voulue en provenance de sources autres que l'émetteur
 - *bruit blanc* : bruit d'agitation thermique permanent dont la puissance est uniformément répartie dans la bande de fréquences utilisée
 - *bruit impulsif* : bruit se présentant sous forme de tensions perturbatrices de valeur élevée mais de durée brève

- mesurés par un rapport signal/bruit

↳ le support génère des **erreurs de transmission** !



Kim Thai

-6-

Modélisation du support



- ✓ Caractérisation **temporelle** du filtre linéaire F

$x(t) \xrightarrow{F} y(t)$, $x(t)$ réelle ou complexe

$a x_1(t) + b x_2(t) \xrightarrow{F} a y_1(t) + b y_2(t)$

$x(t - \delta) \xrightarrow{F} y(t - \delta)$, $\forall \delta \in \mathbb{R}$

- ✓ Caractérisation **fréquentielle** du filtre linéaire F

impulsion de Dirac $\delta(t) \xrightarrow{F}$ réponse impulsionnelle $R(t)$

$R(t) \xleftrightarrow{TF} G(f)$ gain du filtre F

amplification si $|G(f)|^2 > 1$

atténuation si $|G(f)|^2 < 1$



Kim Thai

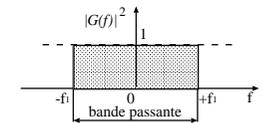
-7-

Notion de bande passante

Bande passante = $\{f \mid |G(f)|^2 \neq 0\}$

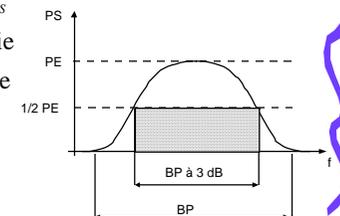
pour F tel que $G(f) = \begin{cases} 1 & \text{si } -f_1 \leq f \leq +f_1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$

la BP est $[-f_1, f_1]$



Bande passante à n dB : $[f_1, f_2]$ tel que $10 \log_{10} \frac{P_E}{P_S} \leq n$

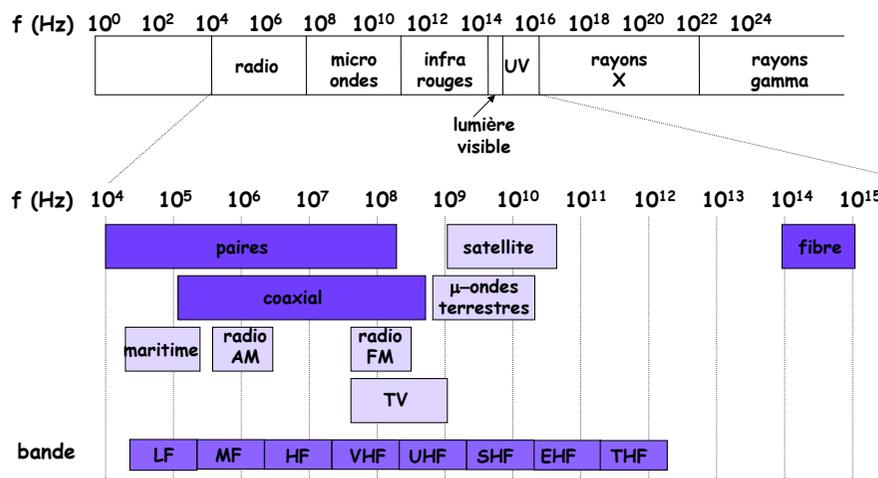
BP à 3 dB : la puissance du signal en sortie est au pire égale à la moitié de la puissance du signal en entrée



Kim Thai

-8-

Le spectre électromagnétique et son utilisation



Les paires torsadées

✓ qu'est-ce c'est ?

- deux brins de cuivre, de diamètre inférieur au millimètre, isolés et agencés en spirale
- une paire = un lien de communication
- 2, 4 ou 8 paires dans une même gaine = un câble
- analogique (téléphone) ou numérique (LAN)
- point-à-point ou multipoint
- bande passante de qq 100 kHz
 - 30 kb/s en analogique (5-6 km)
 - 100 Mb/s en numérique (100 m)
- paires non blindées / blindées



Les paires torsadées

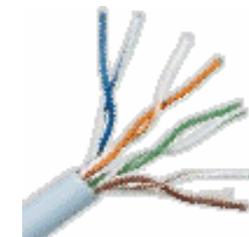
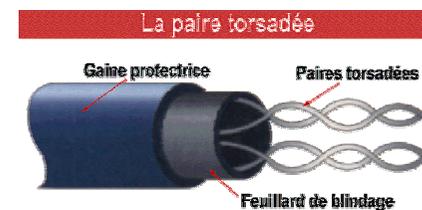
- classification EIA/TIA-568
 - minimums requis pour chaque catégorie de câble
 - bande passante garantie
 - affaiblissement maximum
 - UTP 1 : câble téléphonique traditionnel (transfert de voix mais pas de données)
 - UTP 2 : transmission des données à 4Mbit/s maximum (RNIS). Il est composé de 4 paires torsadées
 - UTP 3 (voice grade)
 - 10 Mbit/s maximum
 - souvent groupées par 4 dans une gaine plastifiée
 - UTP 4
 - 16 Mbit/s maximum
 - 4 paires
 - UTP 5 (data grade)
 - 100 Mbit/s maximum
 - enroulement plus serré et du Teflon pour l'isolation → moins de diaphonie, une meilleure qualité de signal sur de longues distances

catégorie	fréquence (MHz)	affaiblissement (dB/km)		
		100 ohms	120 ohms	150 ohms
UTP 3	16	131	68	45
UTP 4	20	102	73	50,5
UTP 5	100	220	180	125



Les paires torsadées

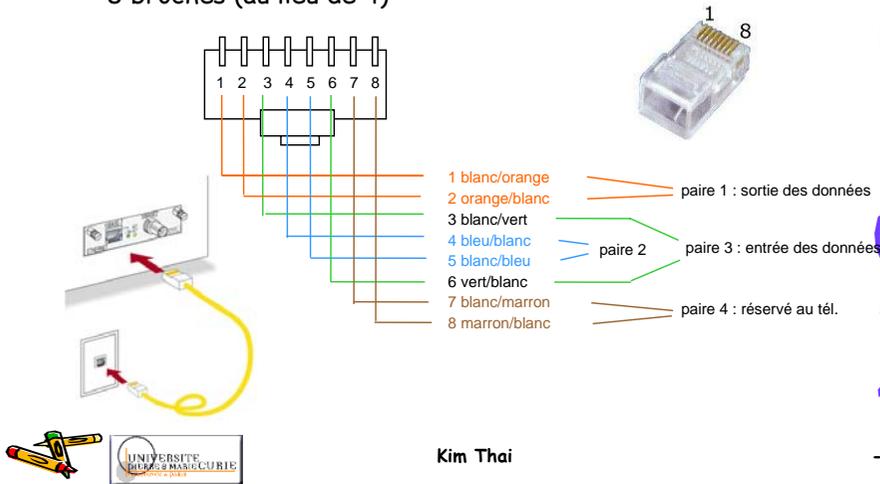
✓ à quoi ça ressemble ?



Les paires torsadées

✓ la connectique : la prise RJ45

- similaire à la prise RJ11 du téléphone, en plus grande et avec 8 broches (au lieu de 4)



-13-

Les paires torsadées

✓ avantages et inconvénients

- ☺ simple
- ☺ économique
- ☺ réutilisation de l'existant
- ☹ sensibilité aux perturbations électromagnétiques
- ☹ atténuation très importante du signal



Kim Thai

-14-

Le câble coaxial

✓ qu'est-ce c'est ?

- deux conducteurs cylindriques de même axe
 - séparés par un isolant diélectrique, le tout étant protégé par une gaine plastique
 - rapport des diamètres = 3,6 → câbles 2,6/9,5 ou 1,2/4,4 mm
- 2 types de câble en fonction de l'impédance
 - le câble 75 Ω, dit "large bande" (*broadband*)
 - transmission analogique : c'est le câble de télévision !
 - le câble 50 Ω, dit "bande de base" (*baseband*)
 - généralement utilisé pour transmettre des signaux numériques
 - largement utilisé par le passé pour le système téléphonique, mais progressivement remplacé par de la fibre ; encore utilisé par quelques LAN
 - point-à-point ou multipoint
 - BP de qq centaines de MHz → débits élevés
 - » des centaines de Mbit/s, voire 1 à 2 Gbit/s sur 1 km en point-à-point
 - » 10 Mbit/s en multipoint
 - 2 diamètres
 - » "thick" (2,6/9,5) : le connecteur est la prise vampire
 - » "thin" (1,2/4,4) : le connecteur est la prise en T

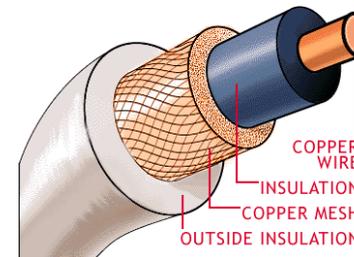


Kim Thai

-15-

Le câble coaxial

✓ à quoi ça ressemble ?



Kim Thai

-16-

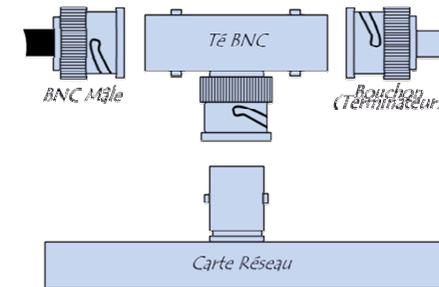
Le câble coaxial

✓ la connectique

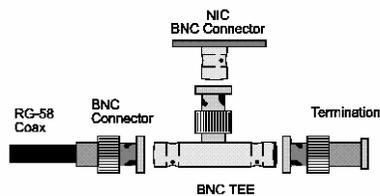
- "thick" (diamètres de 2,6/9,5) :
 - connecteur le plus répandu : la prise vampire (le câble est percé avec le connecteur de manière à réaliser directement la connexion physique et électrique)
- "thin" (diamètres de 1,2/4,4) :
 - connecteur : la prise en T (appelée ainsi car elle ressemble à la lettre "T") (l'une des branches permettant de relier la station, les deux autres étant connectées au deux segments de câble) ;



Le câble coaxial



Le câble coaxial



Le câble coaxial

✓ avantages et inconvénients

- ☺ meilleure qualité de transmission
- ☺ débits plus importants
- ☺ facilité de manipulation (poids, flexibilité)
- ☹ coût plus élevé

↪ a été longtemps un câblage de prédilection, de plus en plus souvent remplacé par de la fibre



La fibre optique

✓ qu'est-ce que c'est ?

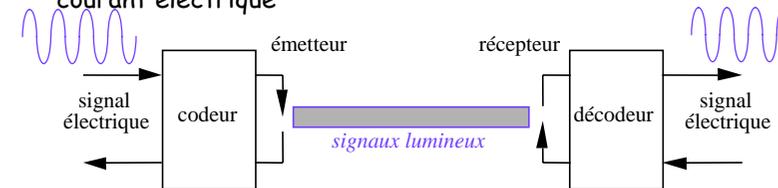
- le support de l'avenir !
- cylindre de verre ou de plastique, extrêmement fin (diamètre ~ μm), recouvert d'un isolant
- un câble = plusieurs fibres réunies au sein d'une même gaine protectrice pour former un câble
- conduit un rayon optique modulé : joue le rôle d'un guide d'ondes lumineuses
 - pour des longueurs d'ondes 850 nm, 1300 nm, 1500 nm
 - dans la gamme des infrarouges : 10^{14} à 10^{15} Hz
- transmission analogique seulement
- en pt-à-pt seulement
- BP de qq 10 MHz à 100 GHz
 - 600 Mbit/s,
 - 2 Gbit/s ou 10, 50 Gbit/s



La fibre optique

▪ une connexion nécessite

- un émetteur optique : diode électroluminescente ou LED, diode laser ou laser modulé
- un récepteur optique : photodiode qui convertit la lumière en courant électrique



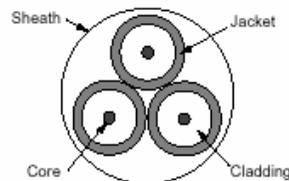
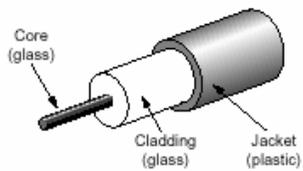
▪ les différents types

- fibre multimode à saut d'indices (50-125 μm) : 40 MHz/km
- fibre multimode à gradient d'indices (50-125 μm) : 500 MHz/km
- fibre monomode (2-8 μm) : 100 GHz/km



La fibre optique

✓ à quoi ça ressemble ?



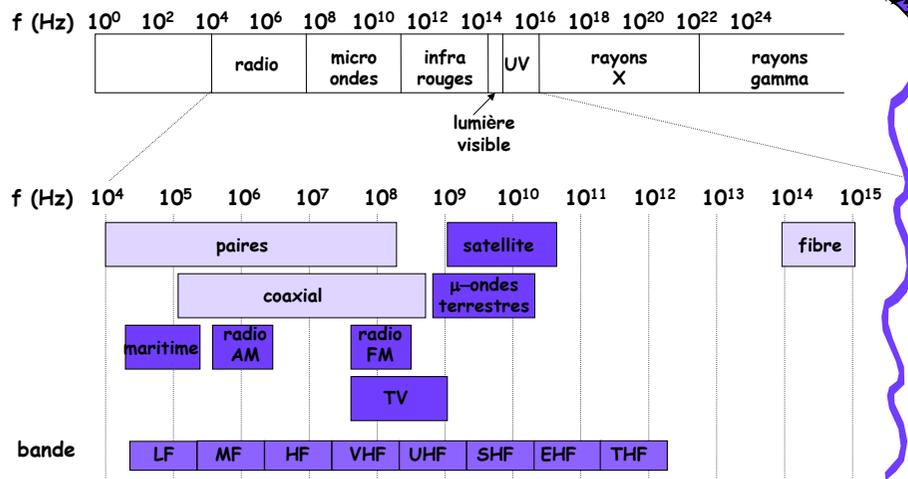
La fibre optique

✓ avantages et inconvénients

- ⊕ bande passante immense → débits très importants
- ⊕ atténuation plus faible
- ⊕ insensibilité aux interférences électromagnétiques
- ⊕ insensibilité aux corrosions chimiques de l'air
- ⊕ faible poids, faible encombrement
- ⊖ fragilité
- ⊖ transmission point-à-point
- ⊖ transmission unidirectionnelle
- ⊖ câblage délicat
- ⊖ coût élevé des interfaces



Le spectre électromagnétique et son utilisation



Attribution des bandes

✓ à un usage

- plus le spectre est large, plus le débit est élevé...
 - au niveau national
 - le gouvernement attribue les bandes : radio AM et FM, TV, téléphones cellulaires, police, militaires, navigation, ...
 - au niveau international
 - l'ITU émet des Recommandations, qui ne sont que des recommandations...

✓ à des opérateurs

- algorithmes
 - sélection sur dossiers
 - enchères
 - loterie
- la bande ISM

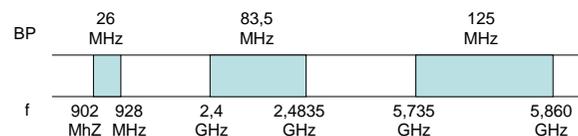
La bande ISM

✓ Industrial, Scientific, Medical

- fours micro-ondes, systèmes d'ouverture des portes de garages, souris d'ordinateurs, téléphones cordless, jouets télécommandés, ...

✓ principe

- n'importe qui peut émettre à volonté, mais la puissance d'émission est limitée
- la position des bandes varie d'un pays à l'autre
 - ex : US, puissance limitée à 1 Watt



- ex : en France, l'ANFR (Agence Nationale des Fréquences) publie le TNRBF (Tableau National de Répartition des Bandes de Fréquences)

La transmission par ondes radio

✓ largement utilisées : indoor et outdoor

- faciles à générer
- omnidirectionnelles
- utilisation réglementée
- sujettes aux interférences avec les équipements électriques

✓ les propriétés dépendent des fréquences

- bandes VLF, LF, MF
 - les ondes suivent la courbure de la Terre
 - les ondes traversent correctement les obstacles
 - la puissance est inversement proportionnelle à la distance
 - faible BP
 - utilisées pour la radio AM
- bandes HF et VHF
 - les ondes voyagent en ligne droite
 - les ondes ont tendance à rebondir sur les obstacles (et sur l'ionosphère)
 - les ondes sont absorbées par la pluie
 - utilisées par les radio-amateurs et les militaires

La transmission par micro-ondes

- ✓ ont été largement utilisées pour la téléphonie longue distance
 - on peut les faire converger et obtenir un bon S/B
 - alignement nécessaire des antennes d'émission et de réception
 - utilisation de répéteurs sur de longues distances
- ✓ les moins
 - ⊗ mauvaise pénétration des bâtiments
 - ⊗ problème de *multipath fading*
 - ⊗ absorption par la pluie
 - ⊗ spectre saturé
- ✓ les plus (vs fibre)
 - ☺ pas de droit de passage
 - ☺ installation plus rapide
 - ☺ installation moins onéreuse



La transmission par infrarouges

- ✓ utilisées pour les communications à faible portée
 - télécommandes (TV, magnétoscopes, Hifi, ...)
 - connexions PC/imprimantes
- ✓ les moins
 - ⊗ ne traversent pas les objets solides
- ✓ les plus
 - ☺ ne traversent pas les objets solides
 - ☺ plus difficiles à pirater que les ondes radio
 - ☺ ne nécessitent pas de licence gouvernementale



La transmission optique

- ✓ technique ancestrale !
 - les signaux de fumée, Paul Revere en avril 1775, le sémaphore optique de l'abbé Chappe en août 1794
 - le laser aujourd'hui
 - relier 2 LAN sur 2 bâtiments en vue directe avec des lasers sur les toits
- ✓ les plus
 - ☺ très grande BP
 - ☺ peu onéreux
 - ☺ facile à installer
 - ☺ utilisation non soumise à autorisation
- ✓ les moins
 - ⊗ nécessite des moyens spécifiques d'alignement
 - ⊗ sensibilité à la pluie, à la neige et au brouillard
 - ⊗ sensibilité aux courants de convection après échauffement



Satellites

- ✓ un peu d'histoire...
 - XVIIe siècle : Newton et Kepler
 - 1945 : Arthur C. Clarke
 - 1957 : Spoutnik 1
 - 1962 : Telstar
- ✓ Ceintures de Van Allen
- ✓ Loi de Kepler
 - la vitesse orbitale varie avec le rayon de l'orbite
 - altitude de 275 km
 - période de 1h30
 - vitesse de 27 860 km/h
 - altitude de 35 840 km
 - période de 23h 56 mn 4s
 - vitesse de 11 050 km/h
 - altitude de 384 000 km
 - période de 1 mois

altitude (km)	type	latitude (deg)	nb de satellites*
200-2000	LEO	200	3
20000	ceinture sup de Van Allen		
15000-50000	MEO	35-65	10
30000	ceinture inf de Van Allen		
0	LEO	1-7	50

* pour un seul sens de communication



Satellites

✓ les applications

- broadcasting
 - ex : TV
- télécommunications
 - ex : extension du réseau public, télécommunications domestiques
- communications mobiles et personnelles
 - ex : GPS, communications maritimes
- services de déploiement rapide
 - ex : services d'urgence (catastrophes naturelles), substitution au câble transocéanique
- observation et exploration
 - ex : météo, géodésie
- militaires



Kim Thai

-33-

Satellites GEO

✓ Geostationary Earth Orbit

- 35 797 km d'altitude, latence de ~270 ms
- jusqu'à 4 tonnes
- jusqu'à 40 transpondeurs (BP de 80 MHz)
- évolution

les premiers	les derniers
simples relais	capacité de traitement
FDM	TDM
un seul faisceau	plusieurs spots



Kim Thai

-34-

Satellites GEO

✓ l'UIT

- réglementation
 - position orbitale des satellites
 - bandes de fréquences utilisables : L, S, C, X, Ku, K, Ka
- en fonction
 - de types de services de communication
 - SFS : Service Fixe par Satellite
 - SMS : Service Mobile par Satellite
 - SRS : Service de Radiodiffusion par Satellite
 - des régions géographiques
 - région 1 (Europe, Afrique, Moyen-Orient et ex-URSS)
 - région 2 (Asie et Océanie)
 - région 3 (Amérique)



Kim Thai

-35-

Les bandes satellites et hertziennes

bande	bande (GHz)	# fréq.	utilisations	problèmes
L	1 – 2		MSS, TV UHF, téléphonie mobile	
S	2 – 4		recherche spatiale, futurs MSS, tél.	
C	4 – 8	4 / 6	appli. commerciales, FSS	saturé
X	8 – 12		météo, FSS militaires	
Ku	12 – 18	11 / 14	FSS, appli. interactives voix/données	pluie
K	18 – 26,5		haut débit, multimédia	pluie
Ka	26,5 - 40	20/30	haut débit, multimédia	pluie, coût

MSS : Mobile Satellite Services
FSS : Fixed Satellite Services

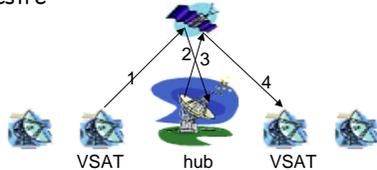


Kim Thai

-36-

Satellites GEO

- ✓ les VSAT (*Very Small Aperture Terminal*)
 - apparus dans les années 1980
 - systèmes basés sur des satellites GEO
 - micro-terminaux terrestres
 - petite antenne parabolique (~1m vs ~10m)
 - faible puissance (~1 Watt vs des centaines de Watts)
 - hub terrestre



- débits : 19,2 kbit/s (uplink), 512 kbit/s-10 Mbit/s (downlink)
- les plus
 - coût relativement faible, indépendant de la distance
 - rapidité de déploiement
- le moins : le délai de propagation (~540 ms)



Kim Thai

-37-

Satellites GEO

- ✓ vs liaisons terrestres
 - délai de propagation : ~270 ms
 - 3 μ s/km pour les micro-ondes
 - 5 μ s/km pour la fibre
 - capacité de diffusion inhérente
 - coût de transmission indépendant de la distance
 - bon taux d'erreurs
 - rapidité de déploiement
 - problèmes de confidentialité et sécurité



Kim Thai

-38-

Satellites MEO

- ✓ Medium-Earth Orbit
 - satellites défilants
 - altitude plus faible que les GEO
 - empreinte plus petite que les GEO
 - besoin de moins de puissance d'émission
 - pas utilisés actuellement pour les communications
 - ex : GPS (*Global Positioning System*)
 - 24 satellites à 18 000 km d'altitude



Kim Thai

-39-

Satellites LEO

- ✓ Low-Earth Orbit
 - satellites défilants
 - altitude plus faible que les MEO
 - constellation plus importante
 - Iridium
 - service de télécommunications à l'échelle mondiale (Motorola)
 - 66 satellites à 750 km d'altitude
 - commutation dans l'espace
 - GlobalStar
 - service de télécommunications à l'échelle mondiale (Alcatel, FT, ...)
 - 48 satellites à 1 414 km d'altitude
 - commutation au sol
 - Teledesic
 - Internet haut débit (Microsoft, ...)
 - 30 satellites à 1350 km d'altitude
 - commutation de paquets dans l'espace



Kim Thai

-40-

Circuit de données - Plan

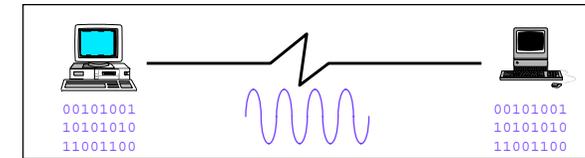
1. Support de transmission
2. **Codage du signal**
 - ✓ le besoin
 - ✓ les différentes techniques
3. Circuit de données
4. Numérisation
5. Quelques relations utiles



Kim Thai

-41-

Adaptation du signal au support



1. **sérialisation** du flux de données
2. **transformation** du flux binaire en un signal "transmissible"
3. **transmission**
4. **désérialisation** du signal de données



Kim Thai

-42-

Adaptation du signal

- ✓ le support est caractérisé (fréquentiellement) par sa BP
 - ✓ quid du signal ?
 - $x(t)$: caractérisation temporelle
 - et en fonction des fréquences ???
- ↳ Transformées et Séries de Fourier



Kim Thai

-43-

Caractérisation du signal de données

Le *spectre de puissance* d'un signal

- définit la répartition de la puissance du signal en fonction de la fréquence
- est déterminé par décomposition en
 - une paire de transformées de Fourier pour un signal non périodique
 - une série de Fourier pour un signal périodique

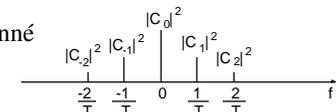
$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} C_k \cdot e^{2\pi i f_k t} \quad \text{coefficient de Fourier } C_k = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) e^{-2\pi i f_k t} dt$$

$$f_k = \frac{k}{T} \quad \begin{cases} k=0 & f_0 \text{ fréquence fondamentale} \\ k \neq 0 & f_k \text{ fréquence harmonique} \end{cases}$$

- La puissance P de $x(t)$ est répartie sur l'axe des fréquences aux points f_k

suivant les valeurs de $|C_k|^2$: $P = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} |C_k|^2$

- Le spectre de puissance de $x(t)$ est donné par l'ensemble des $|C_k|^2$

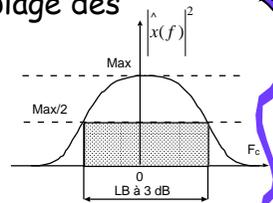


Kim Thai

-44-

Caractérisation du signal de données

- la **largeur de bande** du signal est la plage des fréquences qu'il utilise
- notion de largeur de bande à n dB
 - idem bande passante



↳ adéquation du signal au support ?

$$\begin{array}{ccc}
 x(t) & \xrightarrow{?} & y(t) \\
 \downarrow & & \uparrow \\
 x(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k \cdot e^{2\pi i f_k t} & & y(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k \cdot G(f_k) \cdot e^{2\pi i f_k t} \\
 \left\{ |C_k|^2 \right\} & \longrightarrow & \left\{ |G(f_k)|^2 \cdot |C_k|^2 \right\}
 \end{array}$$

⊗ le plus souvent, la LB du signal n'est pas comprise dans la BP du support !!!



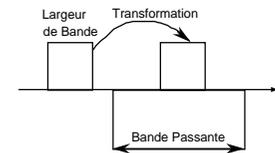
Techniques de codage

- ✓ problème : les signaux de suites de symboles binaires sont impropres à la transmission
 - le spectre est illimité et concentré autour de $f=0$
 - la valeur moyenne est de $\frac{1}{2}$
 - la restitution du signal d'horloge est difficile

✓ but du codage

✓ 2 familles de codage

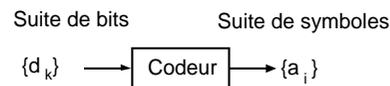
- en bande de base
- par modulation d'une onde porteuse



Codage en bande de base

✓ Principe

- Le codage BdB transforme une suite binaire $\{d_k\}$ en une suite de **symboles** $\{a_j\}$



- les symboles a_j appartiennent à un alphabet fini de q éléments $\{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q\}$
- les symboles a_j ont tous la même durée Δ , égale à ou multiple de T (durée d'un bit)
- les θ_i sont les **niveaux** du signal
- q est la **valence** du signal (nombre de niveaux du signal)



Codage en bande de base

✓ Les codages existants utilisent

- 2 niveaux $(-X, +X)$
- 3 niveaux $(-X, 0, +X)$

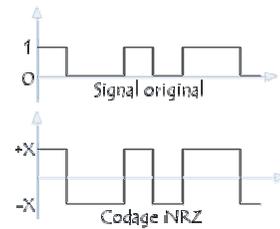
✓ Chacun d'entre eux présente des qualités :

- d'adaptation à un support
 - LB résultante plus ou moins large
 - valeur moyenne du signal
- de résistance aux bruits
 - le nombre de niveaux
- de facilité de récupération du signal d'horloge
 - possibilité ou non pour le signal de rester à un niveau constant



Codage NRZ

- ✓ No Return to Zero
- ✓ Principe
 - $dk = 0 \rightarrow$ le signal vaut $-X$
 - $dk = 1 \rightarrow$ le signal vaut $+X$
- ✓ Avantages et inconvénients
 - ☺ la détection de la présence ou non du signal
 - ☺ $q = 2$: bonne résistance aux bruits
 - ☹ spectre de puissance concentré autour de la fréquence nulle, coupée par de nombreux supports
 - ☹ la présence d'un courant continu lors d'une suite de 0 ou de 1, gênant la synchronisation entre émetteur et récepteur



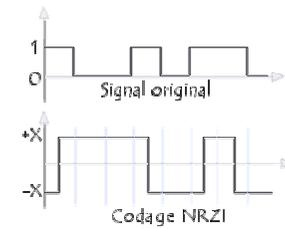
-49-



Kim Thai

Codage NRZI

- ✓ Principe
 - $dk = 1 \rightarrow$ le signal change d'état après le top de l'horloge
 - $dk = 0 \rightarrow$ le signal ne subit aucun changement d'état
- ✓ Avantages et inconvénients
 - ☺ la détection de la présence ou non du signal
 - ☹ la présence d'un courant continu lors d'une suite de 0, gênant la synchronisation entre émetteur et récepteur



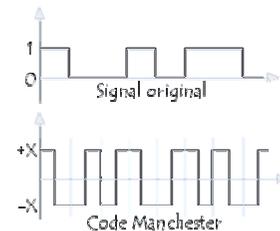
-50-



Kim Thai

Codage de Manchester

- ✓ Principe
 - $dk = 0 \rightarrow$ front montant
 - $dk = 1 \rightarrow$ front descendant
- ✓ Avantages et inconvénients
 - ☺ spectre ne contenant pas la fréquence nulle
 - ☺ le non passage par zéro, rendant possible par le récepteur la détection d'un signal
 - ☺ au moins une transition par intervalle
 - ☹ un spectre occupant une large bande



-51-



Kim Thai

Codage de Manchester différentiel

- ✓ Principe
 - $dk = dk-1 \rightarrow$ le signal est un front montant
 - $dk \neq dk-1 \rightarrow$ le signal est un front descendant
 - Convention : bit d0 d'initialisation nécessaire, par ex. $d0 = 1$
- ✓ Avantages et inconvénients
 - idem Manchester



-52-



Kim Thai

Codage de Miller

✓ Principe

- $dk = 1 \rightarrow$ le signal est un front montant ou descendant
- $dk = 0 \rightarrow$ si suivi de 1, pas de transition, sinon transition à la fin de l'intervalle
- Convention : initialisation de la première transition, par ex. par un front montant

✓ Avantages et inconvénients

- ☺ spectre de puissance réduit
- ☺ spectre ne comportant pas la fréquence nulle
- ☺ génère moins de transitions que le codage de Manchester



-53-

Kim Thai



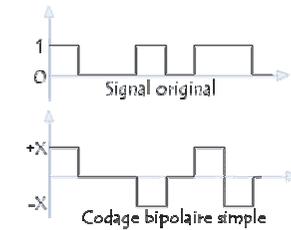
Codage bipolaire simple

✓ Principe

- proche Manchester
- $dk = 1 \rightarrow$ le signal est à $+X$ et $-X$ alternativement
- $dk = 0 \rightarrow$ le signal est à 0
- Convention : initialisation du premier bit à 1, par ex. une amplitude $+X$

✓ Avantages et inconvénients

- ☺ spectre limité
- ☺ plus sensible au bruit que les codages à 2 niveaux
- ☹ problèmes d'horloge avec les suites de 0



-54-

Kim Thai



Codage par modulation

✓ Principe

- La transmission est faite par modulation d'une onde porteuse caractérisée par :
 $A \sin(2\pi f t + \varphi)$
- Ses paramètres varient en fonction du signal de données (le signal modulant) :
 - en modulation d'amplitude : A varie
 - en modulation de fréquence : f varie
 - en modulation de phase : φ varie
- Ces différents types de modulation sont combinables



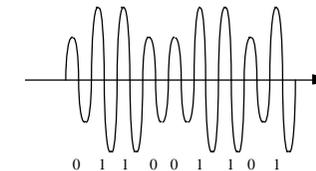
-55-

Kim Thai



Codage par modulation d'amplitude

- ✓ La modulation d'amplitude associée à chaque symbole (ou élément de signal) à coder une amplitude différente
- ✓ ex : $A = A_0$ pour 0, et $A = 2 A_0$ pour 1



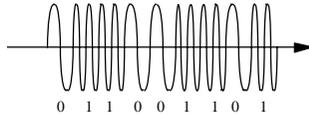
-56-

Kim Thai



Codage par modulation de fréquence

- ✓ La modulation de fréquence associe à chaque symbole à coder une fréquence différente
- ✓ ex : $f = f_0$ pour 0, et $f = 2 f_0$ pour 1

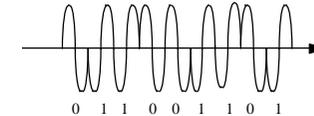


Kim Thai

-57-

Codage par modulation de phase

- ✓ La modulation de phase associe à chaque symbole à coder une phase différente
- ✓ ex : $\varphi = 0$ pour 0, et $\varphi = \pi$ pour 1



Kim Thai

-58-

Circuit de données - Plan

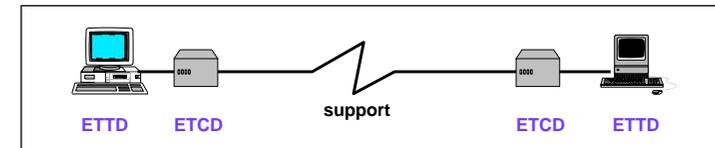
1. Support de transmission
2. Codage du signal
3. **Circuit de données**
 - ✓ définitions
 - ✓ interfaces ETTD/ETCD
 - ✓ modems
4. Numérisation
5. Quelques relations utiles



Kim Thai

-59-

Définitions



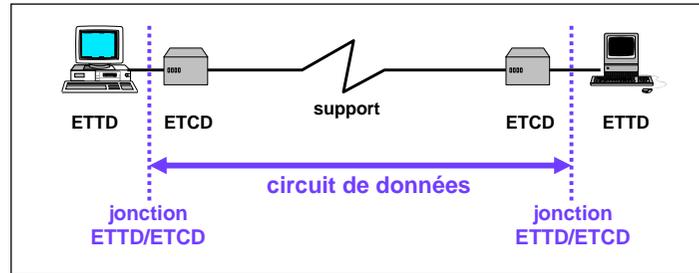
- **ETTD** (Equipement Terminal de Traitement de Données)
 - effectue les traitements sur les données (ainsi que la supervision de la transmission de données)
 - il s'agit d'une station (console, télétype, serveur, poste de travail, etc.)
- **ETCD** (Equipement de Terminaison du Circuit de Données)
 - adapte le signal numérique délivré par l'ETTD aux caractéristiques du support.
 - L'adaptation de l'information consiste en :
 - un codage / décodage bande de base (codec)
 - une modulation / démodulation (modem)



Kim Thai

-60-

Définitions



- Le **circuit de données** est composé par l'ensemble des moyens (physiques) permettant le transport d'un signal de données
- La **jonction ETTD/ETCD** spécifie les caractéristiques de la connexion (interface) physique entre l'ETTD et l'ETCD



Rôle de l'interface ETTD/ETCD

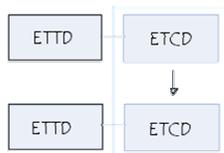
- La normalisation s'impose !
 - pouvoir raccorder un ETTD (PC) à des ETCD (modems) différents...
- La jonction spécifie les caractéristiques de la connexion physique selon 4 aspects
 - Mécanique**
 - concernent les spécificités du connecteur (nombre de broches, affectation des circuits, agencement du verrouillage du connecteur, des montages, etc.)
 - ex : IS 2110 pour un connecteur à 25 broches pour des interfaces de réseaux publics de données
 - Electrique**
 - impédances, résistances, tensions, etc.
 - ex : V.28 pour des circuits de liaison à débits inférieurs à 19,2 kbit/s
 - Fonctionnel**
 - classification des circuits : circuits de données, de contrôle, de base de temps (horloge), terres
 - ex : V.24 pour l'accès à un réseau analogique, X.24 pour l'accès à un réseau numérique
 - Procédural**
 - concernent l'ensemble des procédures d'utilisation des circuits
 - ex : V.24 pour l'accès à un réseau analogique, X.21 pour l'accès à un réseau numérique



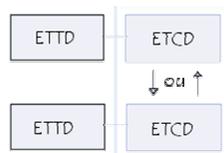
Caractéristiques du circuit de données

- ✓ Sens des échanges

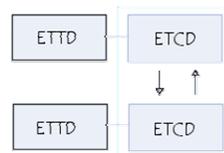
circuit simplex



circuit half-duplex



circuit full-duplex

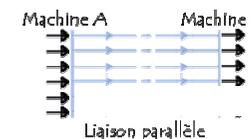


Caractéristiques du circuit de données

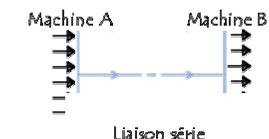
- ✓ Mode de transmission

- concerne le nombre de bits pouvant être simultanément transmis par le canal de communication

transmission parallèle



transmission série

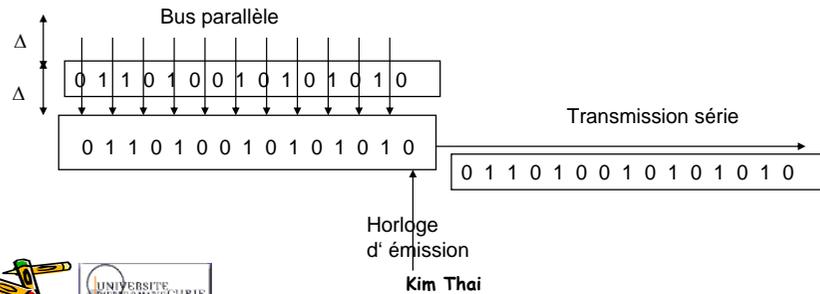


Caractéristiques du circuit de données

✓ sens de transmission

▪ transformation parallèle-série

- Dans la machine, les informations sont transmises en //, mots par mots, synchronisés sur l'horloge
- Dans les réseaux, les informations sont transmises en série, bit par bit, synchronisés sur l'horloge d'émission (qui est rarement transmise)



Caractéristiques du circuit de données

✓ Synchronisation entre l'émetteur et le récepteur sur une liaison série

▪ La liaison asynchrone

- dans laquelle chaque caractère est émis de façon irrégulière dans le temps (par exemple un utilisateur envoyant en temps réel des caractères saisis au clavier). Ainsi, imaginons qu'un seul bit soit transmis pendant une longue période de silence... le récepteur ne pourrait savoir s'il s'agit de 00010000, ou 10000000 ou encore 00000100...
- Afin de remédier à ce problème, chaque caractère est précédé d'une information indiquant le début de la transmission du caractère (l'information de début d'émission est appelée *bit START*) et terminé par l'envoi d'une information de fin de transmission (appelée *bit STOP*, il peut éventuellement y avoir plusieurs bits STOP).
- Le principal inconvénient de la transmission asynchrone est la reconnaissance des informations au niveau du récepteur, car il peut exister des différences entre les horloges de l'émetteur et du récepteur. C'est pourquoi chaque envoi de données doit se faire sur une période assez longue pour que le récepteur la distingue. Ainsi, la vitesse de transmission ne peut pas être très élevée dans une liaison asynchrone.

▪ La liaison synchrone

- dans laquelle émetteur et récepteur sont cadencés à la même horloge. Le récepteur reçoit de façon continue (même lorsqu'aucun bit n'est transmis) les informations au rythme ou l'émetteur les envoie. C'est pourquoi il est nécessaire qu'émetteur et récepteur soient cadencés à la même vitesse. De plus, des informations supplémentaires sont insérées afin de garantir l'absence d'erreurs lors de la transmission



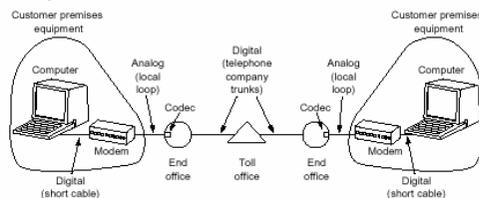
Modems

✓ acronyme de *modulateur-démodulateur*

✓ fonctions de base

- la fonction *modulateur* transforme des signaux binaires appliqués en entrée en signaux à fréquence vocale que l'on peut envoyer sur une ligne téléphonique
- la fonction *démodulateur* restitue les signaux binaires à partir des signaux sonores reçus

↳ pour que 2 correspondants puissent échanger des données via RTC, chacun doit placer un modem entre son ordinateur et sa ligne téléphonique



Modems

✓ fonctions supplémentaires

- choix entre plusieurs débits d'émission, utilisation de codes correcteurs d'erreurs, etc.
- autres services avancés



Modems

✓ 3 familles de modems

- **modems internes**
 - cartes d'extension qui s'installent sur les ports PCI et ISA de la carte mère
 - assurent les communications Internet, Minitel et fax
 - ne peuvent assurer aucune fonction lorsque l'ordinateur est hors tension
- **modems externes**
 - coffrets séparés ayant leur propre alimentation électrique, munis de diodes indiquant leur état de fonctionnement
 - offrent les mêmes fonctions que les précédents
- **modems autonomes**
 - peuvent assurer des services alors que l'ordinateur est hors tension
 - capacité mémoire : stockage possible de messages électroniques et de fax
 - répondeur enregistreur, téléphone mains libres
 - certains peuvent être programmés pour envoyer des fax et des mails à des heures prédéterminées



-69-



Kim Thai

Modems

✓ normalisation UIT

- V.90
 - vitesse de transmission théorique de 56 kbit/s dans les 2 sens
 - en pratique : 34,4 en émission et entre 42 et 52 en réception
- pour des débits plus importants, voir les modems RNIS et ADSL

✓ connexion ordinateur-modem externe/autonome

- via un câble reliant le modem au port série du PC
- via une connexion à un port USB du PC
- sans fil : le modem est scindé en 2 parties
 - l'une est reliée à la prise téléphonique
 - l'autre est reliée au PC via le port série ou le port USB
- ↳ le PC et le modem peut être éloigné du modem d'une distance allant jusqu'à 50 m



-70-



Kim Thai

Circuit de données - Plan

1. Support de transmission
2. Codage du signal
3. Circuit de données
4. **Numérisation**
 - ✓ analogique vs. numérique
 - ✓ les étapes de la numérisation
5. Quelques relations utiles



-71-



Kim Thai

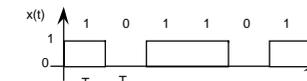
Données analogiques vs. numériques

- ✓ **données** = entités qui transportent une signification
- ✓ **données analogiques**
 - espace de temps continu, espace de valeurs continu
 - ex : voix, vidéo, données collectées par des capteurs



✓ données numériques

- espace de temps discret, espace de valeurs discret
- ex : texte, entiers



-72-



Kim Thai

Signal analogique vs. numérique

- ✓ Les **signaux** résultent du codage d'un flux de données sous forme d'une onde électrique ou électromagnétique
- ✓ **signal analogique** : onde électrique ou électromagnétique variant de façon continue dans le temps
- ✓ **signal numérique** : onde électrique "carrée" variant de façon discontinue dans le temps



Transmission analogique vs. numérique

- ✓ La **transmission** est l'opération qui consiste à transporter le signal d'une machine vers une autre, sur un support donné
- ✓ **transmission analogique**
 - transport d'un signal analogique sans se préoccuper de son contenu (le signal pouvant représenter des données numériques ou analogiques)
 - sur un ensemble varié de supports (ex : supports métalliques, fibres optiques, supports non guidés)
 - nécessite, sur de longues distances, des **amplificateurs**
- ✓ **transmission numérique**
 - transport d'un signal numérique (ou analogique, mais codant des données numériques)
 - sur un support métallique
 - ne peut être mise en œuvre que sur de courtes distances et nécessite sinon des **répéteurs**



Signaux et transmissions

	transmission analogique	transmission numérique
signal analogique	s'applique sur des données analogiques ou numériques le signal est propagé via des amplificateurs	s'applique sur des données numériques le signal est propagé via des répéteurs qui le régénèrent
signal numérique	non utilisée	s'applique sur des données analogiques ou numériques le signal est propagé via des répéteurs qui le régénèrent



Données et signaux

	signal analogique	signal numérique
données analogiques	ex : téléphone sur la boucle locale techniques simples et peu coûteuses la modulation permet de déplacer la LB d'un signal vers une portion de la BP du signal : multiplexage en fréquence possible	ex : téléphone à l'intérieur du RTC utilisation d'équipements modernes de transmission et de commutation
données numériques	ex : modem certains supports (fibre, non guidés) ne véhiculent que des signaux analogiques	ex : codeur BdB équipements d'encodage moins complexes et moins chers que les équipements de modulation



La numérisation

- ✓ Avantages du numérique sur l'analogique
 - facilités de stockage, de traitement et de restitution
 - intégration (multimédia)
 - faible taux d'erreurs des liaisons numériques par rapport aux liaisons analogiques (répéteurs vs. amplificateurs)
 - coût des composants (équipements) numériques inférieur à celui des composants analogiques.
- ↪ la tendance : traiter des données numériques et les véhiculer par un signal numérique : le *tout numérique*.
- ✓ La **numérisation** est une technique qui vise à numériser des données qui sont de nature analogique afin de permettre leur traitement par des équipements numériques
 - processus en 3 étapes

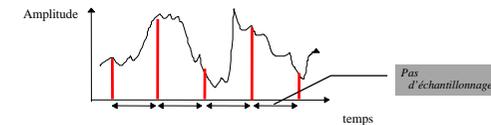


Kim Thai

-77-

L'étape d'échantillonnage

- ✓ consiste à prélever périodiquement la valeur du signal analogique
 - transformation d'un signal continu en un signal discret
 - Théorème de **Shannon**
La numérisation d'un signal analogique de fréquence maximum f_{max} est sans perte si la fréquence d'échantillonnage est :
 $f_e \geq 2.f_{max}$
- ↪ L'échantillonnage produit une représentation discrète du signal : on a une suite $\{a_i\}$ de réels *quelconques*

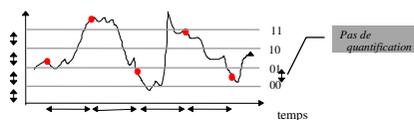


Kim Thai

-78-

L'étape de quantification

- ✓ consiste à représenter un échantillon par une valeur numérique appartenant à une échelle de quantification
 - introduit une erreur de quantification (d'autant plus importante que le niveau de quantification est faible et que le pas de quantification est grand)
 - ↪ utilisation d'échelles logarithmiques.
- ↪ La quantification donne une suite $\{a_i\}$ de valeurs appartenant à un ensemble de cardinal fini

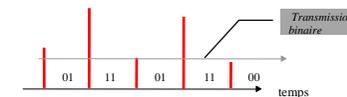


Kim Thai

-79-

L'étape de codage

- ✓ consiste à remplacer la suite $\{a_i\}$ d'échantillons par une suite binaire
 - s'il y a $q = 2^n$ niveaux de quantification, il faut n bits pour coder toutes les valeurs possibles d'échantillons quantifiés



Kim Thai

-80-

Exemple

- ✓ codage MIC (Modulation par Impulsion et Codage) à 2^8 niveaux (256 niveaux)
- ✓ application à la voix téléphonique
 - LB de la voix téléphonique analogique est de [300, 3400 Hz]
 - échantillonnage correct (sans perte de qualité) au moins à 6800 Hz, valeur "arrondie" par la normalisation à 8000 Hz, soit un échantillon prélevé toutes les 125 μ s
 - échantillon codé sur 8 bits \rightarrow il faut un débit de 64 kbit/s pour transférer de la voix numérique



-81-



Kim Thai

Circuit de données - Plan

1. Support de transmission
2. Codage du signal
3. Circuit de données
4. Numérisation
5. Quelques relations utiles



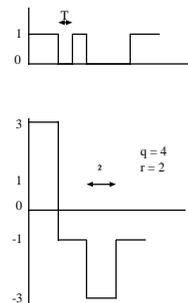
-82-



Kim Thai

Quelques relations utiles

- ✓ *débit binaire* (D) : nombre maximum d'éléments binaires transmis par seconde
 - T étant la durée d'un élément binaire, on a
 $D = 1/T$ bit/s
- ✓ *rapidité de modulation* (R) : vitesse (maximum) à laquelle les changements de niveaux du signal s'effectuent.
 - Δ étant l'intervalle significatif (i.e. la durée d'un niveau du signal (symbole θ_i)), on a
 $R = 1/\Delta$ bauds



-83-



Kim Thai

Quelques relations utiles

- ✓ soit r le nombre de bits codés par symbole θ_i et q la valence
 - on a : $r = \log_2 q$ ou $q = 2^r$
- ✓ relation liant D et R
 - $D = R \cdot r = R \cdot \log_2 q$
- ✓ formule de Shannon
 - $D_{max} = W \cdot \log_2 (1 + P_S/P_B)$
 - D_{max} est la capacité maximum théorique du support
 - W est la largeur de la bande passante (en Hz)
 - P_S/P_B est le rapport des puissances signal à bruit (sans unité)
 - $S/B = 10 \cdot \log_{10} (P_S/P_B)$
 - S/B en dB



-84-



Kim Thai

Etat de notre architecture

