



*Ecole Hassania
des Travaux Publics*

Télécommunications

Atika Cohen
atika.cohen@gmail.com

Objectifs

Fournir les éléments de base pour
comprendre

- ☐ L'évolution des moyens de communication
- ☐ les techniques de représentation de
l'information
- ☐ les techniques de transmission

Plan

☐ Histoire des télécommunications

☐ Concepts généraux:

- ❖ Liaison de Téléinformatique
- ❖ Sens de transmission
- ❖ Transmission synchrone /asynchrone
- ❖ Caractéristiques des supports de transmission

☐ Techniques de Transmission & Codage :

- ❖ Transmission en bande de base
- ❖ Codage / Transcodage
- ❖ Transmission en large bande
- ❖ Modulation

☐ Multiplexage :

- ❖ Temporel synchrone
- ❖ Temporel statistique
- ❖ Fréquentiel

A. Cohen

3

Plan

☐ Protection contre les erreurs de transmission

- ❖ Le contrôle d'intégrité
- ❖ La détection d'erreur
- ❖ La correction d'erreur

☐ Supports de transmission:

- ❖ Câble coaxial
- ❖ Paire torsadée
- ❖ Fibre optique
- ❖ Transmission par satellite
- ❖ Transmission par faisceaux hertziens

☐ Normalisation :

- ❖ UIT
- ❖ ISO
- ❖ IETF
- ❖ V24

A. Cohen

4

Chapitre 0 : Histoire des télécommunications

A. Cohen

5

Chapitre 0 : Histoire des Télécommunications

Histoire des télécommunications

remonte à 1792 → invention du premier télégraphe optique.

- ☐ Plusieurs formes de la communication : auditive, visuelle, chimique, olfactive, etc.
- ☐ L'être humain utilise surtout la communication auditive et visuelle - voix, sifflements, gestes, peintures, écriture, etc.
- ☐ Quelle que soit la forme utilisée, la **distance** et le **temps** sont des obstacles à surmonter.
- ☐ Dès l'Antiquité, la communication à distance a été perçue à la fois comme un besoin mais aussi comme une nécessité (utilisation de torches, phares lumineux, tambours, trompettes ...).

A. Cohen

6

Télécommunications

- ❑ Définition : L'ensemble des outils et technologies numériques capable de transmettre des informations à distance
- ❑ Nous allons parcourir brièvement l'évolution des moyens de communication pour résoudre les problèmes de la distance et du temps entre l'émetteur et le récepteur.

Système Chappe 18 ^{ème} siècle	Samuel Morse - Télégraphe électrique 19 ^{ème} siècle	Alexandre Graham Bell Téléphone 19 ^{ème} siècle	ARPANET 60'S	Téléphonie mobile , Télécoms par satellites , Fibres optiques ...
---	--	--	------------------------	---

A. Cohen

7

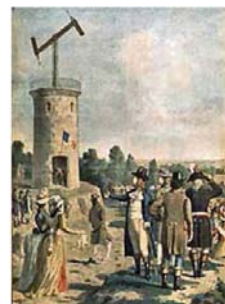
Chapitre 0 : Histoire des Télécommunications

Le télégraphe optique de Chappe

- ❑ C'est l'ancêtre des appareils modernes.
- ❑ Le télégraphe optique d'abord, a été conçu par l'ingénieur français Claude Chappe et ses quatre frères en 1794.
- ❑ Il s'agissait d'une tour au sommet de laquelle un mât désarticulé émettait des signaux que le gouvernement utilisait pour communiquer des ordres à distance.

Obstacle majeur :

- complexité du réseau (nécessité de relais tous les 15 kilomètres).
- Pas de fonctionnement la nuit, ou si mauvaise visibilité.

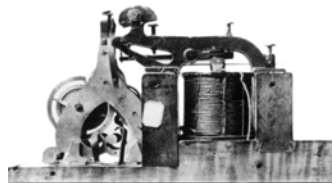
source : http://postagalene.free.fr/images/telegraphe_optique.jpg

A. Cohen

8

Le télégraphe électrique de Morse

- ❑ En 1832 → invention du télégraphe électrique par Samuel Morse, ainsi que l'alphabet propre à son utilisation : le **code Morse**.



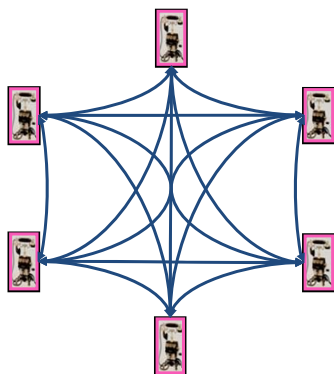
- Le télégraphe électrique marque le début des télécommunications à l'échelle planétaire.
- La nécessité d'accords internationaux aboutit à la fondation, en 1865, de l'**Union Télégraphique Internationale**, ancêtre de l'actuelle **Union Internationale des Télécommunications (UIT)**.

Le téléphone

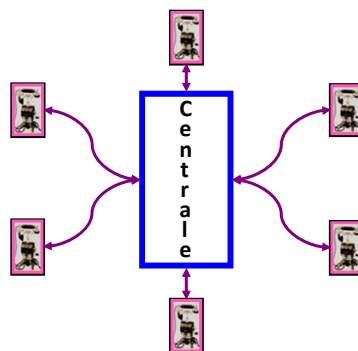
- ❑ En parallèle à la télégraphie, le 19ème siècle connaît une autre grande voie de développement avec le téléphone.
- ❑ En 1875 → première transmission vocale par téléphone.
- ❑ Brevet de Graham Bell avec amélioration par Thomas Edison.
- ❑ Développement du réseau (filaire) téléphonique d'abord par région puis par pays puis international
- ❑ Au début les communications étaient établies par des opératrices
- ❑ En 1891 → invention du commutateur automatique (numéros de téléphone).
- ❑ À la mort de Graham Bell en 1922 : 13 millions de téléphones.
- ❑ Ensuite le réseau téléphonique sert à transmettre images (télécopies) puis des données



Réseaux filaires entre n nœuds



$$\text{Liens} = n \cdot (n - 1) / 2$$



$$\text{Liens} = n$$

La radio

- ❑ Inventée par le physicien italien Guglielmo Marconi
 - en 1895 → Première transmission (à 1500 m)
 - en 1901 → Transmission transatlantique
 - Succès après le naufrage du Titanic en 1912
(envoi d'un des premiers SOS en mer)
 - en 1900 → Première transmission de la voix humaine
 - à partir de 1906 → Radiodiffusion, d'abord par modulation d'amplitude (AM) sur des bandes de fréquence (ondes longues, moyennes courtes) puis en fréquence modulée (FM)
 - dans les années 1940 → Téléphonie mobile par radio, puis 1973, puis 1983 (Motorola)
 - en 1987 → GSM (Global System for Mobile communication).
- ❑ Evolution vers la télévision (E.-U. 1930, Europe 1950)



Le telex

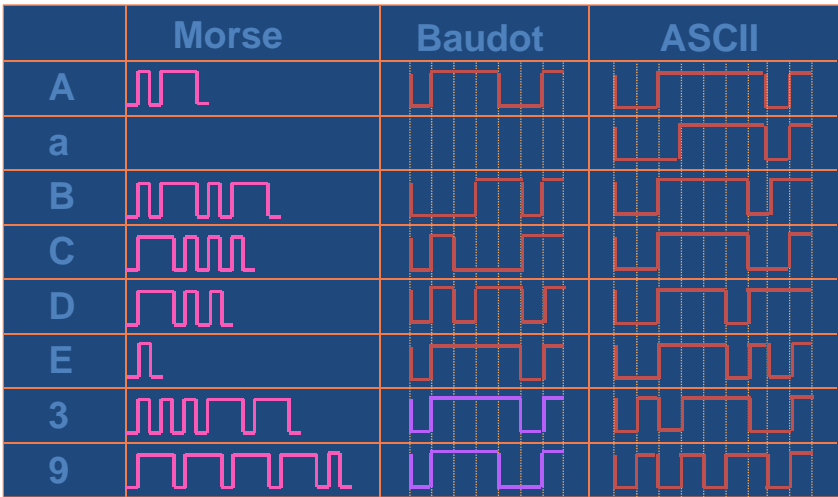
- ❑ Développement dans les années 1930 à 1950.
- ❑ Telegraph Exchange = télégraphie par réseau
- ❑ Plus besoin d'opérateurs Morse grâce à des équipements appelés télécriteurs qui convertissent les informations en signaux électriques et vice versa.
- ❑ À sa création, débit de 45,5 bits par seconde avec le code Baudot
- ❑ Ensuite avec le code ASCII, la vitesse est progressivement passée à 200 bits par seconde.



Code ASCII étendu (8 bits)

032		048	0	064	@	080	P	096	`	112	p	128	Ç	144	É	160	á
033	!	049	1	065	A	081	Q	097	a	113	q	129	ü	145	æ	161	í
034	“	050	2	066	B	082	R	098	b	114	r	130	é	146	Æ	162	ó
035	#	051	3	067	C	083	S	099	c	115	s	131	â	147	ô	163	ú
036	\$	052	4	068	D	084	T	100	d	116	t	132	ä	148	ö	164	ñ
037	%	053	5	069	E	085	U	101	e	117	u	133	à	149	ò	165	Ñ
038	&	054	6	070	F	086	V	102	f	118	v	134	å	150	û	166	ª
038	‘	055	7	071	G	087	W	103	g	119	w	135	ç	151	ù	167	º
040	(	056	8	072	H	088	X	104	h	120	x	136	ê	152	ÿ	168	¿
041	)	057	9	073	I	089	Y	105	i	121	y	137	ë	153	Ö	169	—
042	*	058	:	074	J	090	Z	106	j	122	z	138	è	154	Ü	170	¬
043	+	059	;	075	K	091	[	107	k	123	{	139	ï	155	ç	171	½
044	,	060	<	076	L	092	\	108	l	124	|	140	î	156	£	172	¼
045	-	061	=	077	M	093	]	109	m	125	}	141	ì	157	¥	173	¡
046	.	062	>	078	N	094	^	110	n	126	~	142	Ä	158	P	174	«
047	/	063	?	079	O	095	_	111	o	127		143	Å	159	f	175	»

Remarque codage baudot



Codes alphabétiques

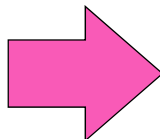
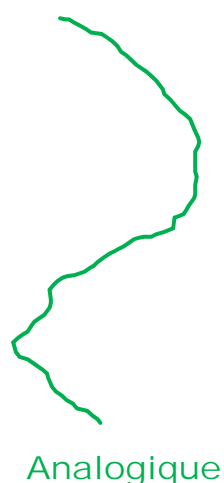
Puisque 32 combinaisons ne suffisent pas pour représenter tous les chiffres et lettres, la même suite binaire est utilisée pour représenter soit une lettre soit un chiffre.
Dans ce cas on va utiliser des caractères spéciaux pour faire cette distinction :
Pour une lettre on envoie d'abord le caractère spécial 1111
Pour un chiffre, on envoie le caractère spécial 11011
Du coup on peut représenter 60 caractères différents.
Donner les suites binaires générées par le code Baudot pour représenter CODE-3A

A lettre 3 - chiffre E D O C lettre
00011 11111 00001 00011 11011 00001 01001 11000 01110 11111

La révolution électronique

- ❑ Tubes (lampes) puis transistors et diodes (1950) puis circuits intégrés ("chips") (1958) puis microprocesseur (1971) rendent l'électronique abordable.
- ❑ Les ordinateurs centraux ("mainframe") deviennent puissants.
- ❑ De plus en plus de données et besoin de les transmettre à distance.
- ❑ Les mini & micro-ordinateurs deviennent populaires après 1981.
- ❑ Les techniques numériques ("Digital") offrent un meilleur rapport prix/performance pour le son, CD ("compact disc", 1980) par Philips (conception du CD, lentilles permettant la lecture) et Sony (format pour numériser la musique et méthode de correction d'erreurs), puis pour l'image, DVD ("digital versatile disc", 1995).



Numérisation de la musique



-096
+057
+164
+210
+219
+216
+165
-003
-117
-183
-138
-067

Numérique (CD)
(44100 mesures/s)

Représentation numérique

- ❑ Comment les nombres sont-ils représentés dans les équipements électroniques ?
- ❑ Les nombres binaires (ou en base 2) sont employés.
- ❑ Un chiffre binaire (bit) peut être représenté par un interrupteur :
 - Valeur 0 : interrupteur ouvert 
 - Valeur 1 : interrupteur fermé 
- ❑ Un nombre de n bits peut prendre 2^n valeurs
 - 2 bits : 4 combinaisons
00 01 10 11
 - 3 bits : 8 combinaisons
000 001 010 011 100 101 110 111
 - 8 bits (= 1 byte) 256 combinaisons
 - 16 bits: 65 536 combinaisons
 - 24 bits: 16 777 216 combinaisons
 - 32 bits: 4 294 967 296 combinaisons

Accès à l'ordinateur à distance

- ❑ Vers 1970, d'abord par lignes spécialisées ou par des lignes téléphoniques avec coupleur acoustique
- ❑ Puis en utilisant des **modems** (modulateur-démodulateur) pour la **conversion numérique-analogique** et vice versa
- ❑ Chez l'utilisateur : terminal (clavier avec écran ou imprimante)
 - Utilisation du système par ligne de commande (« command prompt »)
 - Utilisation du temps partagé (« time-sharing »)
 - Développement de langages de programmation interactifs comme Basic et APL
- ❑ Problème : comment transmettre des masses de données autrement que sur des bandes magnétiques par la poste

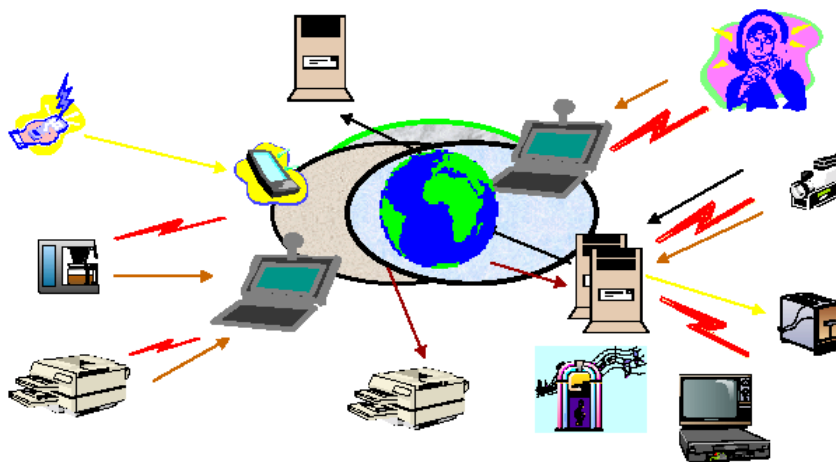
Evolution des modes de transfert

Les différents modes se basent sur des documents pas forcément structurés

- ☐ **Modes nécessitant la saisie de l'information** : téléphone, courrier postal, télécopie, télex
- ☐ **Modes sans nouvelle saisie mais nécessitant le transport et le traitement** : supports magnétiques : disquette, bande
- ☐ **Modes nécessitant seulement le traitement** : réseau de communication
- ☐ Il est possible de transférer des données directement d'un ordinateur à l'autre (EDI = Echange De Données informatisée)

Infrastructure informatique en réseau

Any data, Any where, Any time, Any device



Transmission analogique ou numérique



Analogique

- ☐ Nombre d'états quasi illimité
- ☐ Les perturbations externes ne peuvent pas être distinguées du signal original (bruit superposé)
- ☐ L'information se dégrade dans les lignes



Numérique

- Nombre fini et petit d'états
- La plupart des perturbations externes sont distinguables du signal original
- L'Information peut être restaurée dans des relais

ISDN = Integrated Services Digital Network

- ☐ Première tentative pour intégrer la voix et les données
- ☐ Voix numérisée à 64 Kbits/s (8000 mesures/s, 8 bit)
- ☐ Connexion numérique à 64 Kbits/s excellente pour connecter un terminal à un ordinateur central
- ☐ Mais facturation au temps inadéquate pour les données
- ☐ Autres possibilités de lignes de données plus rapides (X25, ...)
- ☐ Le débit des lignes est augmenté grâce au **multiplexage** (superposition de plusieurs signaux grâce à des ondes porteuses distinctes)

Réseaux locaux

- ☐ A partir de 1970 mais surtout de 1980 avec le développement des micro-ordinateurs
- ☐ Les LAN ("Local area network) ont été initialement introduits pour
 - le partage d'imprimantes
 - le partage de fichiers (sauvegarde)
 - ...
- ☐ Utilisation de plus en plus fréquente de l'Ethernet
- ☐ Mais encore besoin d'accéder à des ordinateurs à distance
- ☐ Donc intégration LAN-WAN ("**Wide Area Network**")

Besoin de réseaux ouverts

- ☐ Au début des années 1970 :
- ☐ Le CCITT (Comité Consultatif International pour le Téléphone et le Télégraphe, devenu ITU pour International Telecommunication Union en 1993) et l'Organisation internationale de normalisation ISO commencent des travaux de normalisation pour des systèmes d'interconnexion ouverts de manière à connecter ensemble des équipements les plus variés, projet OSI "Open Systems Interconnection"
- ☐ ARPA ("Advanced Research Project Agency") finance :
 - un réseau WAN pour la recherche ARPANET (1969-1976)
 - des recherches sur l'interconnexion de LANs
- ☐ La combinaison des deux efforts ARPA résultera en l'**INTERNET** en 1983
- ☐ Parmi les premières utilisations : la **messagerie électronique**

Le résultat

☐ TCP/IP + ensemble de protocoles d'application

- ☐ Ensemble de normes de communication pour l'interopérabilité de la plupart des marques d'ordinateurs.
- ☐ Applicable à :
 - Local Area Networks
 - **Wide Area Networks**
 - **Interconnexion** de LANs par des WANs
- ☐ Internet
 - Facilite la communication pour la communauté scientifique
 - Financé par le gouvernement des E.-U.

Le World Wide Web

- ☐ Inventé au CERN à Genève en 1989
- ☐ Donc à ne pas confondre avec l'Internet né en 1983 !
- ☐ Combinaison de réseaux informatiques et du concept d'hypertexte : pour faciliter la consultation de documents (articles scientifiques notamment) et de données
- ☐ Liens qui relient des pages des sites entre elles
- ☐ Protocole **HTTP** et langage **HTML** (« HyperText Markup Language »)
- ☐ Au début en mode texte puis en mode graphique (multimédia)
- ☐ Conséquence : ouverture de l'internet au grand public en 1994

Chapitre 0 : Histoire des Télécommunications

Cette partie historique est extraite de

http://www.eduki.ch/fr/doc/dossier_11_histo.pdf

Les extraits sonores sont ceux du professeur Jacques Tiberghien

Chapitre I: Concepts généraux

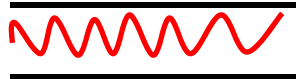
Chapitre I: Concepts généraux

Représentation des données

Données continues
(analogiques)



signal provenant de la
variation d'un phénomène
physique (voix,..)



Données discrètes
(numériques)



assemblage d'une suite
d'éléments indépendants
les uns des autres (mots
d'une phrase)



Les types d'information diffèrent selon leur nature et les transformations à
subir pour être traitées par les systèmes informatiques et envoyer sur un
réseau de télécommunication

Transmission de données(1)

- ☐ **Transmission** de données: déplacement d'un message
(ensemble de signes) entre deux points caractéristiques de
l'espace.
- ☐ Communication : Elle comprend trois moments spécifiques :
l'émission, la transmission, la réception.
- ☐ Les informations à échanger entre les entités communicantes :
C'est un ensemble de signes de symboles qui peuvent être de
natures très variées.

Question



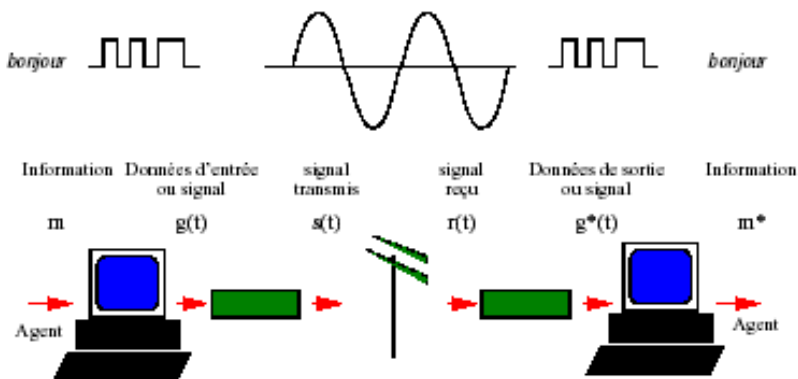
Quels sont les types de données que l'on peut envoyer sur un réseau ?

Transmission de données(2)

- ☐ Pour établir une communication, il faut avoir un moyen pour transmettre les données (Téléphonie, Radio, Télévision...)
- ☐ Problèmes majeurs
 - ✓ Codage de l'information
 - ✓ Numériser l'information
 - ✓ Adapter les signaux aux supports physiques de transmission

Transmission de données(3)

Exemple:
 Texte
 transmis
 par un
 modem

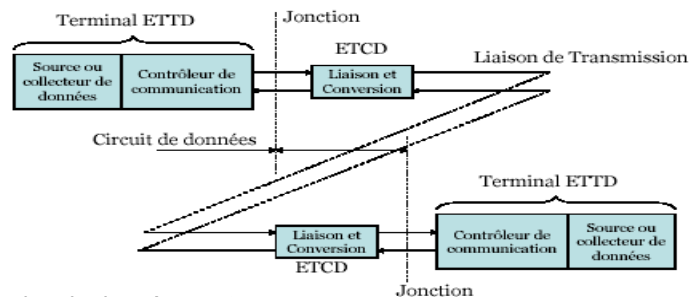


m texte écrit sur un ordinateur / $g(t)$ suite de bits générée par le clavier
 $s(t)$ signal audio modulé, généré par le modem / $r(t)$ signal audio reçu par le modem
 $g^*(t)$ signal démodulé: suite de bits (possiblement erronée)
 m^* texte affiche sur l'écran

Notion de protocole

- ☐ Le protocole est l'ensemble des règles qui sont nécessaires à l'établissement, au maintien et à la terminaison d'une communication.
- ☐ Il s'agit d'un ensemble de conventions préétablies pour réaliser un échange de données fiable entre un émetteur et un récepteur.
- ☐ Lors de l'échange de données, le protocole de transfert prend en charge les tâches suivantes :
 - La délimitation des blocs de données
 - Le contrôle de l'intégrité des données
 - L'organisation et le contrôle de l'échange
 - Le contrôle de la liaison éventuellement

Liaison de Téléinformatique



Une transmission de données met en œuvre :

- les ordinateurs d'extrémité qui communiquent, appelés les ETDD (Equipement terminal de traitement de données) ou DTE
- les équipements d'adaptation appelés ETCD (Equipement terminal de circuit de données) ou DCE, réalisent l'adaptation entre les ordinateurs d'extrémité et la ligne de transmission
- l'interface (jonction) entre DTE et DCE
- la ligne (ou support) de transmission est un élément essentiel de la liaison

ETTD

ETTD: Équipement Terminal de Traitement de Données.

- ☐ C'est l'ensemble des appareils qui permettent la communication entre les processus de traitement, les systèmes de stockage, et un équipement terminal de circuits de données.
- ☐ En général, c'est un ordinateur, un automate programmable, une station de travail
- ☐ On appelle en général ETTD : Station, Site, Machine, Hôte (Host), Nœud

ETCD

ETCD : Équipement Terminal de Circuits de Données

- ❑ C'est l'ensemble des appareils d'une station situé entre la ligne et l'équipement terminal de traitement de données.
- ❑ On appelle en général un ETCD : modem (modulateur-démodulateur), transceiver (Transmitter-Receiver)



Jonction

- ❑ C'est l'interface entre un ETTD et ETCD
- ❑ Spécification des signaux nécessaires aux échanges et à la synchronisation entre deux appareils
- ❑ Une spécification de connecteur (Norme RS232 par exemple).



Ligne de transmission

- ❑ Support de transmission = ligne de transmission, peut comporter aussi
 - amplificateur : pour compenser l'atténuation des signaux, ou amplifier leur tension ou leur courant,...;
 - atténuateur : ayant le rôle inverse;
 - correcteur : pour éliminer les signaux parasites;
 - filtre (correcteur élaboré) : laisser passer ou bloquer certains éléments des signaux;
 - ...

Canal

- ❑ Si le média a une réalité bien physique, le canal est un concept logique, il représente le lien établi entre émetteur et récepteur.
- ❑ Un canal est généralement composé de plusieurs médias successifs.
 - ❑ Une communication téléphonique par Internet entre la Belgique et les USA va utiliser un grand nombre de circuits et de techniques différentes depuis le micro de l'émetteur jusqu'aux hauts-parleur du récepteur :

USB - RESEAU LOCAL - MODEM ADSL - ATM
 SATELLITE
 ATM - CABLE NETWORK - USB - CARTE SON

- ❑ Inversement, un seul média peut supporter plusieurs canaux, c'est le **multiplexage**. Un seul câble de télédistribution propose plus de 30 canaux TV.

Sens de transmission

- ❑ L'exploitation d'un canal de transmission peut s'effectuer suivant différents modes

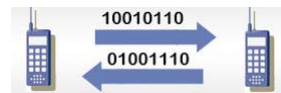
❖ soit dans un seul sens,



❖ soit dans un sens ou dans l'autre



❖ dans les deux sens simultanément



Sens de transmission: Simplex

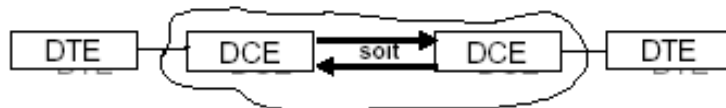
- ❑ **Simplex:** Dans ce mode de transmission les données ne circulent que dans un seul sens sur la ligne de transmission.



- Exemple : radio / télévision/Souris vers PC
- Ce mode présente l'inconvénient de ne pas savoir si tout a été reçu par le destinataire sans erreur

Sens de transmission: Half Duplex

- ❑ **Half Duplex (H.D)** ou Bidirectionnel à l'alternat : Ce mode de transmission n'est plus guère utilisé. Il consiste à utiliser la ligne de transmission pour transmettre des données alternativement dans un sens, puis dans l'autre.



Exemples :

- voie ferrée,
- Talkie-Walkie : l'utilisateur est à l'écoute et il doit couper l'écoute s'il désire parler.

Par rapport aux transmissions simplex, il est nécessaire de disposer de transmetteur (émetteur) et récepteur aux deux extrémités

Sens de transmission: Full-Duplex

- ❑ **Full-Duplex(F-D)** ou Bidirectionnel ou bilatéral simultané: Dans ce mode la transmission des données peut se faire dans les deux sens à la même vitesse, la bande passante divisée par deux ou doublement du support. Ce mode est actuellement le plus utilisé au niveau des transmissions utilisant de lignes téléphoniques et des modems.



- Exemple : téléphone

Sens de transmission: Voie de Retour

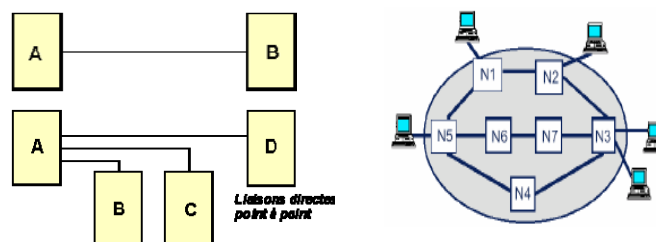
- ❑ **Voie de Retour** ou Voie secondaire ou Voie de supervision:
 Dans ce mode, la transmission des données peut se faire dans les deux sens mais à des vitesses différentes.
 - ✓ Le sens utilisant la vitesse de transmission la plus élevée est appelée **Voie principale**.
 - ✓ Le sens utilisant la vitesse la plus faible est appelée **Voie de retour**.

Types de liaison: point à point

❑ Liaison point à point

Les réseaux point à point sont caractérisés par un canal de communication ne reliant que deux machines (station ou nœud). Pour arriver à sa destination, l'information doit transiter par plusieurs systèmes intermédiaires (nœuds de transfert).

On parle de réseaux **maillés**.

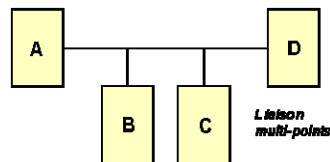


Types de liaison: multipoints

❑ Liaison multipoints

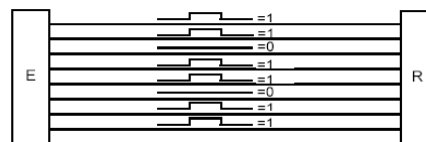
Un canal est dit multipoint lorsque toutes les machines (au moins 3) sont interconnectées directement via un même et unique support de transmission. Ce type de canal implique la mise en œuvre de deux mécanismes :

- l'identification du destinataire, on parle d'**adressage physique** ;
- une méthode d'**accès au support**.



Types de transmission : Parallèle

- ❑ On désigne par liaison parallèle la transmission simultanée de N bits. Ces bits sont envoyés simultanément sur N voies différentes (une voie étant par exemple un *fil*, un câble ou tout autre support physique).

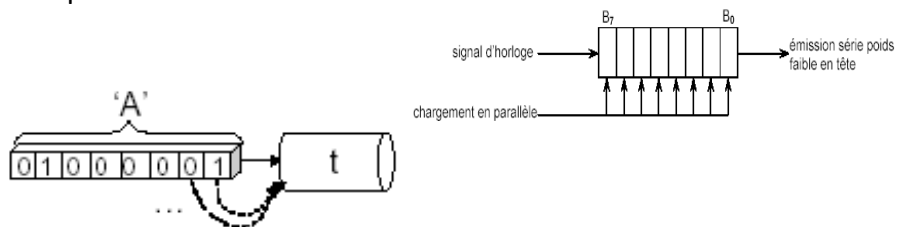


La transmission parallèle autorise :

- une grande vitesse de transmission mais un coût élevé (nombre de conducteurs)
- une distance franchissable limitée (réservée pour les liaisons processeur à processeur)
- Problèmes de synchronisation

Types de transmission : Série

- ❑ Dans une liaison en série, les données sont envoyées bit après bit sur la voie de transmission.



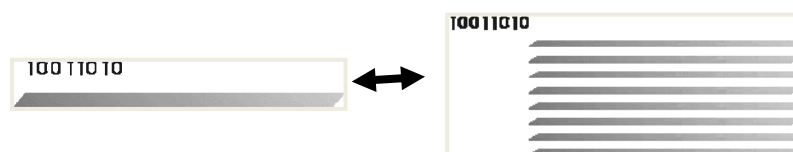
Ex : code ASCII (7 bits)

Le mot à transmettre est 1001111 , les bits transmis sont 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1.

- ❑ Pour transmettre en série des informations, il y a deux modes : **synchrone** et **asynchrone**.

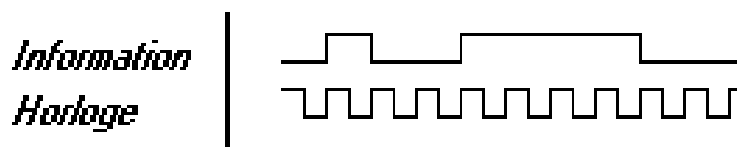
Remarque

- la carte réseau communique avec le réseau via une connexion série et avec l'ordinateur par le bus interne de celui-ci.
- C'est la carte réseau qui prend en charge la sérialisation des bits en émission (conversion parallèle/série) et leur dé-sérialisation en réception (conversion série/parallèle).



Transmission série synchrone

- ❑ On transmet, en plus de l'information, une ligne spéciale appelée **horloge**, qui synchronise la transmission. A l'émission les bits sont transmis sur le front descendant de l'horloge.
- ❑ Aucun bit de contrôle n'est rajouté à l'information. La synchronisation se passe au niveau du bit.

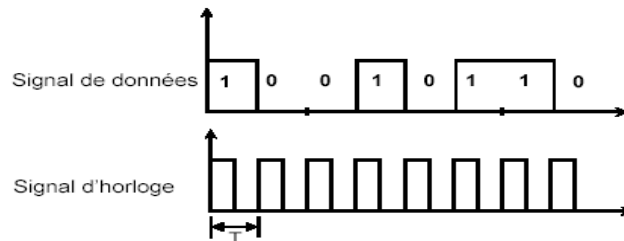


Transmission série synchrone

En mode synchrone, on travaille toujours en mode bloc
 La synchronisation est assurée par l'envoi d'une séquence de bits contenant des transitions .
 Le bloc est délimité par des caractères spéciaux (fanions de début et de fin) et comporte plusieurs octets de service selon le protocole qui sera utilisé



Transmission série synchrone



- ❖ Les bits sont émis d'une façon *régulière*, sans séparation entre les caractères;
- ❖ pour cela un signal d'horloge périodique de période T fonctionne pendant toute la durée de l'émission.

Transmission série synchrone

❑ Avantages :

- ❖ La longueur des trames n'est plus limitée à un caractère.
- ❖ sans trop de risque de pertes

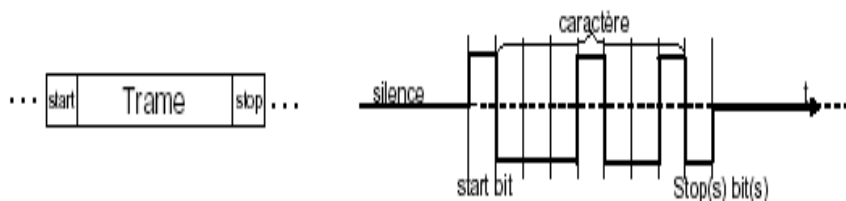
❑ Inconvénients :

- ❖ on doit transmettre deux lignes : l'information et l'horloge

Transmission série asynchrone

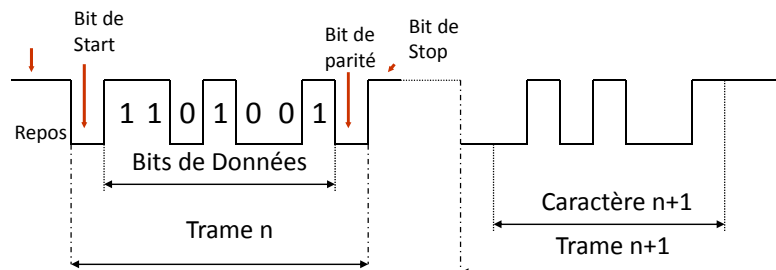
- ❑ caractère par caractère
- ❑ La synchronisation s'effectue à chaque émission de caractère
- ❑ Structure de la transmission asynchrone
 - ❖ 1 bit **start** (toujours à 0)
 - ❖ 7 ou 8 bits de données (en général)
 - ❖ 1 bit de parité
 - ❖ 1 bit **stop** (toujours à 1).
- ❑ Exemple : protocoles d'échange de données entre **modems**

Transmission série asynchrone



- ❑ Pas de relation préétablie entre l'émetteur et le récepteur;
- ❑ Nécessité de reconnaître le début et la fin des caractères;
 - Start bit et stop bit;
 - Permet de reconnaître un caractère en tout temps.

Transmission série asynchrone



- **Etat Repos** : Niveau Logique haut sur la ligne
- **Bit de Start** : Niveau logique bas, sert à indiquer au récepteur qu'un caractère arrive
- **Bit de Stop** : Niveau logique haut, indique la fin du caractère. C'est la durée minimale entre l'émission de 2 caractères.
- **Bit de parité** : Détection d'erreurs.
- **Longueur d'un caractère** : 7 ou 8 bits, suivant le codage.

Débit binaire

- ❑ **Débit binaire**: Le nombre d'éléments binaires (bits) émis par seconde sur le support de transmission. L'unité est le bit par seconde (bits/s).

$$D = 1/T \text{ bit/s ;}$$

T = temps pris pour transmettre un élément binaire.

- ❑ En d'autres termes c'est le nombre de bits transmis par seconde

1 octet = 8 bits

1 Ko = 1024 octets

1 Mo = 1024 Ko

1 Go = 1024 Mo

1 TO = 1024 Go

Exemple

❑ Exemple:

On possède un fichier de 5 Go.

- Combien y'a-t-il de Mo?
- Combien y'a-t-il de Ko?
- Combien y'a-t-il de Kb?

Temps de propagation

❑ Temps de propagation → T_p

- On parle aussi de délai : Temps nécessaire pour que le signal parcourt le support d'un point à un autre de la liaison.
- Pour parvenir au récepteur, le premier bit doit parcourir la distance qui le sépare de l'émetteur.
- Ce temps dépend de plusieurs paramètres :
 - nature du support
 - la distance
 - la fréquence du signal

•câble paire torsadée (réseau téléphonique)

$$T_p \approx 4\mu\text{s} / \text{km}$$

•câble coaxial (réseau local)

$$10\mu\text{s} \leq T_p \leq 40\mu\text{s}$$

•satellite

$$T_p \approx 270 \text{ ms}$$

Temps de transmission

❑ Temps de transmission $\rightarrow T_t$

Temps nécessaire pour que le message soit envoyé (totalement) sur la ligne. Il dépend du débit du canal.

$$T_t = \frac{\text{Nombre de bits du message}}{\text{Capacité du canal}}$$

Exemple :

Soit un message de 10 000 bits sur un réseau Ethernet à 10 Mbit/s

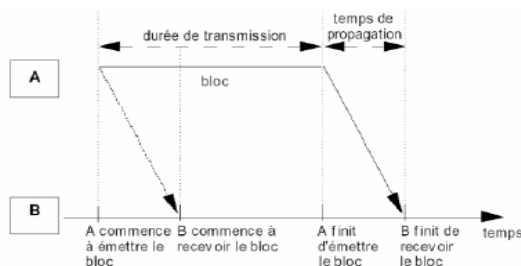
$$T_t = 10000 / 10 \cdot 10^6 = 1 \text{ ms}$$

Temps de transfert

❑ Temps de transfert $\rightarrow T_r$

Temps total nécessaire à la transmission d'un message entre deux équipements sur une liaison est donc la somme du temps d'émission du message et du délai d'acheminement d'un bit.

$$T_r = T_p + T_t$$



Calcul du temps de transfert

↳ Exemple :

Calculons le temps de transfert d'un fichier de 20 koctets sur un réseau Ethernet (10 Mbit/s) avec une topologie bus et un support de transmission de type coaxial de longueur 100 m.

- $T_p \approx 4\mu\text{s} / \text{km} \rightarrow T_p \approx 4/10 \mu\text{s} = 0.4 \mu\text{s}$ (pour 100 m)
- $T_t = (20 \times 1024 \times 8) / (10 \cdot 10^6) = 16.4 \text{ ms}$

donc le temps de transfert est $T_r = 16.4 \text{ ms}$

Exercice : calcul du temps de transfert

- Si une fibre optique a un débit $D = 155 \text{ Mb/s}$ et une longueur $L = 3000 \text{ km}$, combien de temps faut-il pour recevoir à l'autre bout la fin d'un paquet de 512 octets ? $V = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

- A présent, on utilise une paire torsadée de débit $D = 2 \text{ Mb/s}$. Comparer les résultats en utilisant la même vitesse de propagation.

Affaiblissement

- ❑ Un canal de transmission atténue l'amplitude du signal. Ce phénomène correspond à une *perte d'énergie du signal pendant sa propagation sur le canal, et s'accroît avec la longueur de celui-ci*
- ❑ L'affaiblissement s'exprime par le rapport P_s/P_e où
 - P_s : puissance du signal reçu (= puissance du signal à la sortie du canal)
 - P_e : puissance du signal émis (= puissance du signal à l'entrée du canal)
- ❑ Il est courant d'exprimer l'atténuation en décibels (dB) sous la forme :

$$A_f \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \frac{P_s}{P_e}$$

Déphasage

❑ déphasage :

Le déphasage, encore appelé distorsion de phase, implique un retard du signal reçu par rapport au signal émis dû au temps de propagation de ce signal de l'émetteur vers le récepteur.

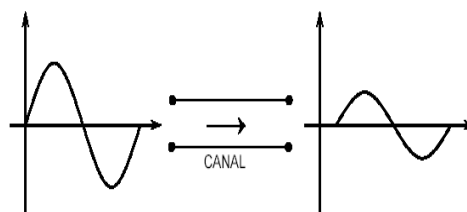


Illustration des phénomènes d'atténuation et de retardement subis pour un signal sinusoïdal traversant un canal

Bande Passante (BP)

- ❑ Dans un système de transmission, les signaux sont transmis avec une distorsion faible dans une bande de fréquence comprise entre une fréquence basse (fréquence de coupure basse) et haute (fréquence de coupure haute). Au-delà de ces fréquences, tous les signaux sont fortement atténués.
- ❑ On appelle **Bande Passante (BP)** d'un système l'espace de fréquence tel que tout signal appartenant à cet intervalle, ne subisse qu'un affaiblissement déterminé par rapport à un niveau de référence.

Largeur de bande passante

- ❑ La largeur de bande passante d'un signal est la bande passante minimale que le système doit posséder pour restituer correctement l'information.

$$W = F_{max} - F_{min}$$

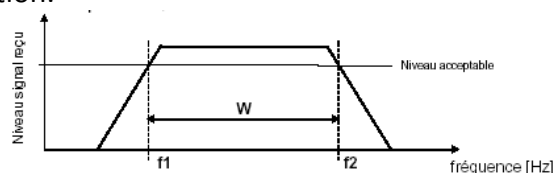
Unité : Hertz (Hz)

Exemple :

ligne téléphonique
 $F_{min} = 300 \text{ Hz}$

$$F_{max} = 3400 \text{ Hz}$$

→ Bande Passante $BP = 3100 \text{ Hz}$



Le terme bande passante (BP) est utilisé :

- pour désigner un espace de fréquence → BP est exprimée en Hz
- Pour qualifier le débit binaire du système → BP est exprimée en bits/s

Rapidité de modulation

- ❑ Il existe une relation étroite entre le nombre maximal de symboles (impulsions électriques) que le système peut admettre et la bande passante de celui-ci.
 - **rapidité de modulation** = R_{\max} = le nombre maximal de transitions qu'un système peut supporter
 - F_{\max} = fréquence de coupure du système (assimilée à la bande passante BP du canal)

Critère de Nyquist → $R_{\max} \leq 2.BP$

- ❑ La **rapidité de modulation** s'exprime **en baud** et est appelée aussi **la vitesse de signalisation** sur le support.

Application au canal téléphonique

- ❑ La voie téléphonique est caractérisée par une bande passante (BP) allant de 300 à 3400 Hz.

$$BP = 3400 - 300 = 3100 \text{ Hz}$$

- ❑ La rapidité de modulation maximale est

$$R_{\max} = 2 \cdot BP = 2 \cdot 3100 = 6200 \text{ bauds}$$

- ❑ Si durant un intervalle de temps significatif, le symbole de peut prendre que les valeurs 0 ou 1 :

→ le débit binaire = rapidité de modulation

Rapidité de Modulation et débit binaire

- ❑ Il se peut que durant un temps élémentaire, le symbole prenne plusieurs états, la quantité d'information transportée par un symbole est supérieure à 1 bit.

➔ Le débit binaire se calcule en prenant en compte la **valence** du signal :

v = **valence** du signal = nombre d'états que peut prendre le signal durant un temps élémentaire

$$\rightarrow D_{\max} = R \cdot \log_2 v = 2 \cdot BP \cdot \log_2 v$$

Remarque

Si m est le **moment** = nombre de bits de codage de l'information

$$\rightarrow v = 2^m$$

Exemple

- ❑ On désire transmettre par paires, les huit éléments de la suite 00100111. Nous disposons de 4 niveaux de tension : V_0, V_1, V_2, V_3 .

- ❑ Calculer le moment, la valence

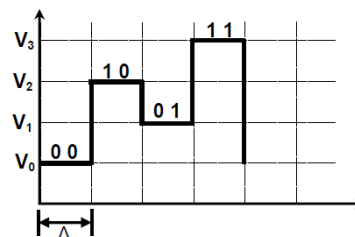
On transmet des dibits, donc 2 bits de codage $\Rightarrow m = 2$.

Avec 2 bits de codage, il est possible d'avoir quatre états $\Rightarrow v = 2^m = 4$.

On transmet dans ce cas 2 bits par intervalle significatif

Codage :

- V_0 pour 00
- V_1 pour 01
- V_2 pour 10
- V_3 pour 11



Débit possible sur un canal TV

- ❑ Si un canal de TV a une bande passante de 6 MHz, quel est le débit binaire possible en bit/s si on utilise un encodage de valence 4

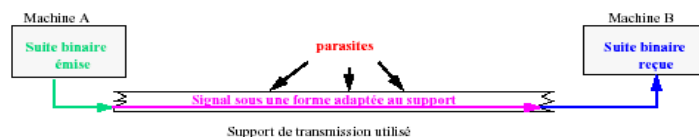
$$D = 24 \cdot 10^6 \text{ bits/s}$$

Notion de bruit

Les signaux transmis sur un canal peuvent être perturbés par des phénomènes électriques ou électromagnétiques appelés **bruit**.

❑ Bruit impulsionnel

- C'est un signal parasite sur le canal de transmission et qui provoque une altération d'un bloc de données.



❑ Bruit Blanc

C'est le bruit naturel occupant un large spectre mais il est moins gênant. En effet, c'est un bruit dont la puissance est uniformément répartie dans toute la bande passante du canal

Notion de rapport signal sur bruit

- ❑ La quantité de bruit présente sur un canal de transmission, est exprimé par le rapport de la puissance du signal transmis sur la puissance de bruit et prend le nom de *rapport signal sur bruit*,
- ❑ Le rapport s'écrit S/N et s'exprime en dB.
- ❑ On a coutume de l'exprimer sous la forme

$$S/N_{dB} = 10 \log_{10} S/N \text{ (en valeur)}$$

Capacité d'un canal perturbé

- ❑ Sur base des travaux de Nyquist, Shannon a montré qu'en milieu perturbé, le nombre maximal d'états discernables ou valence est donné par la relation :

$$v = \sqrt{1 + \frac{S}{N}}$$

- ❑ la capacité maximale de transmission d'un canal soumis à du bruit (= débit théorique maximum) s'obtient par la formule

$$C = 2.BP.\log_2 n = BP \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

- C : capacité maximale de transmission / débit théorique
- BP : la largeur de bande (en Hz)
- S/N : représente le rapport signal sur bruit du canal.

A retenir

❑ Théorème de Nyquist (ligne non bruitée) : $D_{\max} = 2.BP . \log_2 v$

❑ Théorème de Shannon (ligne bruitée) : $C = BP \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$

❑ Relation entre débit binaire et rapidité de modulation : $D = R . \log_2 v$

❑ Conversion des décibels : $x = y \text{ dB} \Rightarrow y = 10 . \log_{10} x$

- D_{\max} = débit maximal sur une ligne non bruitée
- v = valence du signal / BP = largeur de bande passante
- C = capacité maximale sur une ligne bruitée
- S/N = rapport en puissance signal sur bruit (pas en dB).

Rappels sur les logarithmes :

- $\log_b(x) = \frac{\log(x)}{\log(b)}$
- $x = b^{\log_b(x)}$
- $y = \log_b(x) \iff b^y = x$

Caractéristiques d'une voie de transmission

⇒ **Exemple1 :**

RTC avec $S/N = 100$ et une vitesse de modulation de 14400 bit/s. Calculer le débit théorique maximum?

⇒ **Exemple 2 :**

Une ligne téléphonique [300 à 3400 Hz] admettant un rapport signal sur bruit de 30 dB. Calculer le débit théorique maximum?

Caractéristiques d'une voie de transmission



Exercice :

Calculez le débit maximal théorique d'une transmission sur une paire torsadée catégorie 5 (bande passante de 100 MHz) :

- ❖ lorsque la puissance du signal émis est de l'ordre de 100 fois la puissance du bruit émis,
- ❖ lorsque la puissance du signal émis est de l'ordre de 10 fois la puissance du bruit émis,
- ❖ lorsque le rapport signal sur bruit est de 6dB.

Théorème de Shannon : $D = C \log_2(1+S/N)$, $S/N \text{ (dB)} = 10\log_{10}(S/N)$.

Rappel de conversion

$$\log_2(x) = N \log_{10}(x) \text{ soit } N = \log_2(x) / \log_{10}(x)$$

Avec $x=2$

$$N = 1/\log_{10}(2) = 1/0,30109 = 3,32$$

Chapitre II: Techniques de Transmission & Codage

Chapitre II: Techniques de Transmission & Codage


Remarque

- ☐ les communications analogiques ont cédé la place aux communications numériques
- ☐ La plupart des systèmes et réseaux de communication transportent aussi bien les signaux analogiques que les données numériques.
- ☐ Dans un système de communication numérique, les informations doivent être codées en binaire où chaque caractère ou symbole correspond à une suite binaire unique.
- ☐ La suite binaire est acheminée sous forme d'impulsions dont plusieurs types existent pour mieux les adapter aux caractéristiques des différents liens de communication.

Le codage

- ☐ Les réseaux informatiques se fondent sur la numérisation de l'information (=représentation des informations par des suites de 0 et de 1). Ils englobent la transmission de ces données, leur mémorisation et leur utilisation.
- ☐ La première étape : ramener les informations à échanger à un ensemble d'informations binaires.
- ☐ On procède alors soit au **codage** de l'information ou à sa **numérisation**

Codage de l'information

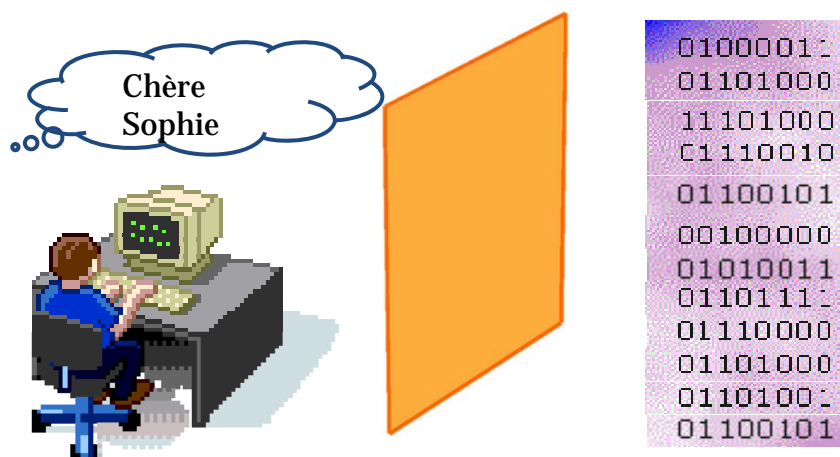
- ☐ Coder l'information  faire correspondre à chaque symbole une représentation binaire (chiffres, lettres d'un alphabet, lettres accentuées, symboles de ponctuation)
- ☐ La longueur des codes va dépendre du nombre de caractères à représenter.
- ☐ Questions :
 - combien de bits sont nécessaires pour représenter toutes les lettres de l'alphabet ?
 - (en binaire avec n bits on peut représenter 2^n symboles)
- ☐ Quels sont les codes de longueur fixe que vous connaissez ?

Codage de longueur fixe

Plusieurs codes ont été normalisés afin de rendre compatibles des équipements informatiques d'origines diverses :

- ☐ **Code Baudot** : code télégraphique à 5 moment (5 bits)
- ☐ **ASCII** ("American Standard Code for Information Interchange"): (7 bits + 8^{ème} pour bit de parité, soit 128 caractères disponibles).
- ☐ **ASCII étendu**: 8 bits, variantes nationales pour agencements 128 à 255
- ☐ **EBCDIC** ("Extended Binary Decimal Interchange Code") (8 bits)
- ☐ **ANSI** (American National Standards Institute)
 - 8 bits, à partir d'ASCII également / employé dans Windows
- ☐ **Unicode**: code à 16 bits, permet de représenter tous les caractères internationaux dans un seul système de codage (code indépendant de la plateforme)

Exemple de codage



A. Cohen

90

Codage de longueur variable

- ☐ utilisés principalement pour la compression des données afin de minimiser la taille de la représentation de l'information
- ☐ Exemple
 - **code de Huffman** : le nombre de bit pour chaque symbole est inversement proportionnel à l'occurrence d'apparition du symbole à coder

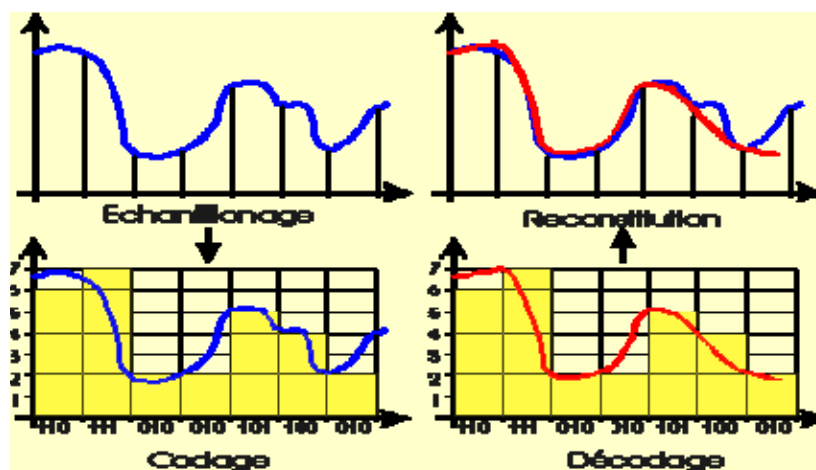
A. Cohen

91

Numérisation de l'information

- ❑ La **numérisation** est l'opération qui consiste à transformer un signal analogique en des données numériques afin de les traiter par des équipements de transmission numériques. ici, c'est un capteur qui fournit une tension électrique proportionnelle à l'amplitude du phénomène physique analysé
- ❑ Echantillonnage, quantification et codage sont les trois étapes de la numérisation :
 - **échantillonner** : prélever à des instants significatifs un échantillon à intervalle régulier (= période d'échantillonnage)
 - puis **quantifier** : faire correspondre à l'amplitude de chaque échantillon une valeur, cette valeur est transformée en valeur binaire (= **codification**)
 - Ce sont ces valeurs qui sont transportées dans le signal numérique
- ❑ Question :
 - combien de niveaux peut-on représenter (=coder) à l'aide de 7 bits ?

Illustration



Numérisation de la voix téléphonique

- ☐ La méthode la plus classique pour transformer un signal analogique en numérique par échantillonnage est :
 - MIC (Modulation par Impulsion et Codage) en Europe
 - PCM (Pulse Code Modulation) en Amérique du Nord
- ☐ Cette opération est effectuée grâce à un codec
- ☐ La différence entre les deux méthodes est le nombre de bits pour codifier chaque échantillon
- ☐ En Europe, le codage s'effectue sur 256 valeurs (8bits) et conduit à un débit de $8000 * 8$ soit 64000 bits/s
- ☐ En Amérique du Nord et au Japon, le codage est sur 7 bits et conduit à un débit de $8000 * 7$ soit 56000 bits/s
- ☐ Dans les deux cas, un échantillon a lieu toutes les 125 μ s

Autres méthodes



- ☐ D'autres techniques de numérisation de la parole existent :
 - En temps réel : les méthodes Δ (Delta) et Δ_M (Delta Modulation) : techniques basées sur le codage d'un échantillon par rapport au précédent
 - En temps différé, technique basée sur la compression de la parole, elle occupe moins de place pour le stockage mais le temps nécessaire pour la décompression est trop long pour générer un octet toutes les 125 μ s
- ☐ Grâce à ces méthodes, la parole numérique peut être transportée avec un débit de 32 voire 16 kb/s. On peut descendre jusqu'à 2 kb/s mais la parole perd de sa qualité (on obtient une parole synthétique)

Autres informations analogiques

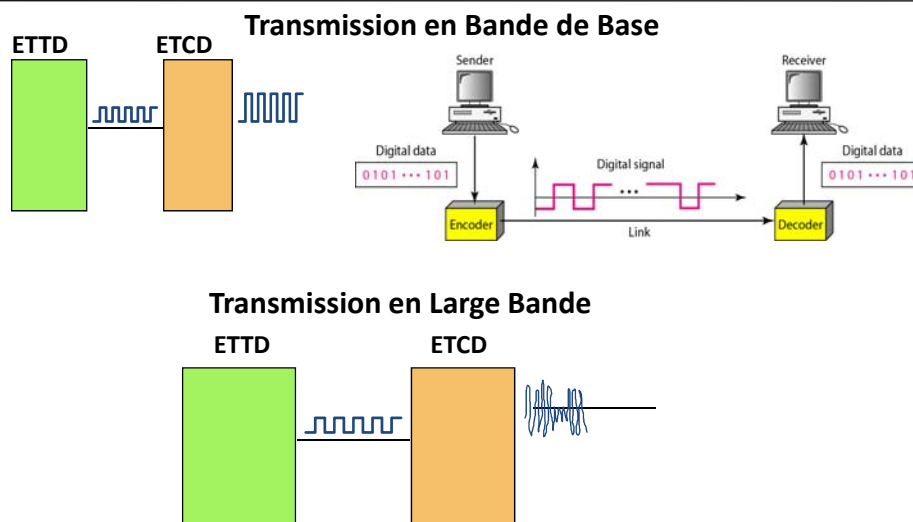


- ☐ Toutes les autres informations analogiques peuvent être numérisées selon le même principe : image animée, vidéo
- ☐ C'est dans le domaine de la compression où les plus grands progrès sont actuellement réalisés.
- ☐ Ils permettent de réduire considérablement le débit à transporter
- ☐ Question :
 - Comment calculer le temps de transmission d'un fichier ?

Les transmissions dans les réseaux

- ☐ Pour transmettre des informations binaires sur un support de transmission, il est nécessaire de les transformer au préalable en un signal électrique mieux adapté aux contraintes physiques du système de transmission.
- ☐ Deux techniques sont envisageable :
 - la transmission dite en **bande de base** qui n'effectue qu'une simple transformation du signal,
 - et la transmission en **large bande** qui réalise une translation du spectre (modulation).

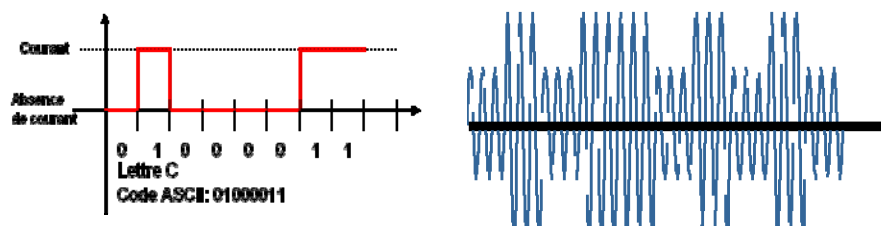
Techniques de transmission



A. Cohen

98

Les deux techniques de transmission...



bande de base (numérique) : niveaux binaires traduits en niveaux de courant de tension différente.

large bande (analogique) : Le signal a un aspect sinusoïdal. La modulation se fait selon l'amplitude, la phase ou la fréquence. Il est possible de coder 2 bits (ou plus) en même temps.

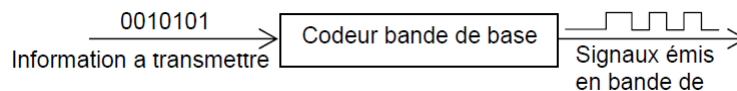
A. Cohen

99

Transmission en bande de base

❑ Principe:

- Transmission sans transposition de fréquences
- ➔ Les informations (données) sont transmises sans transformation du signal numérique en signal analogique.
- Ce principe est rencontré principalement dans les réseaux locaux.
- Ceci permet d'avoir :
 - Des circuits de données à grand débit et faible portée
 - Ex: débits supérieurs à 100 Kbit/s pour des distances < 1 km (câble coaxial ou paires torsadées).
- Utilité de transmettre en bande de base : débits élevés et Simplicité de mise en œuvre (peu coûteux)



A. Cohen

100

Procédé de transcodage

Que se passe-t-il si on transmettait directement le message de données sur la ligne de transmission ?

- Problèmes :
 - Comment distinguer une longue suite de 1 d'une longue suite de 0
 - Comment extraire l'information horloge à partir du signal reçu



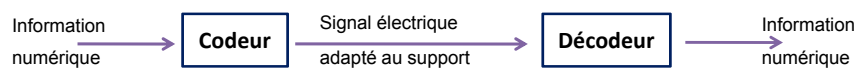
Nécessité de remplacer la suite de symboles par une autre pour supprimer la composante continue et pour créer des transitions pour rendre possible la récupération d'horloge

A. Cohen

101

Ne pas confondre codage et transcodage

- ☐ **Codage** : opération qui fait correspondre à un caractère une représentation binaire. On parle de codage à la source (A => 01000001)
- ☐ **Transcodage** (=codage en ligne) : opération qui consiste à représenter les suites binaires par un signal électrique mieux adapté à la transmission. Cette transformation est réalisée par un Codeur/Décodeur bande de base (on parle aussi de **ERBdB** = Emetteur Récepteur Bande de Base)



Principe du codage en ligne

Types de codage / transcodage

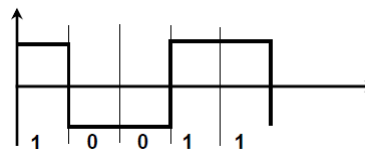
Différents codage sont utilisés pour transmettre les données en bande de base

- ☐ **Codage des 1 et des 0**
 - ☐ NRZ (Non Return to Zero)
 - ☐ NRZI (NRZ Inverted)
 - ☐ Manchester
 - ☐ Manchester différentiel
- ☐ **Codage des 1 ou des 0**
 - ☐ Miller
 - ☐ Bipolaire simple
- ☐ **Substitution d'un ensemble de n bits à un ensemble de m bits**
 - ☐ Codes multi-niveaux

Le code NRZ

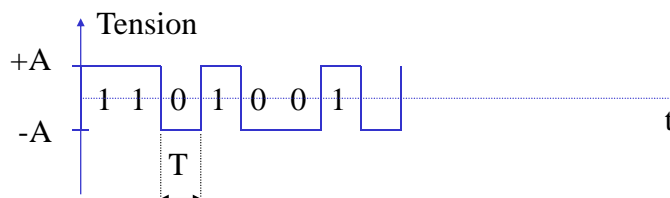
- ❑ Le codage NRZ (Non Return to Zéro, non retour à zéro) utilise une tension négative pour représenter un '0' binaire, et une tension positive pour un '1' binaire.
- ❑ On symétrise ainsi le signal par rapport au potentiel de référence (0 volt)
- ❑ Inconvénient : pas de transitions lorsque de longues successions de 0 ou de 1 \Rightarrow difficulté de synchronisation des horloges

→ Représentation de la suite binaire
10011



Le code NRZ

Le signal binaire est simplement transposé en tension (pas de valeurs nulles).



T: durée d'un bit

Le code BIPHASE ou MANCHESTER

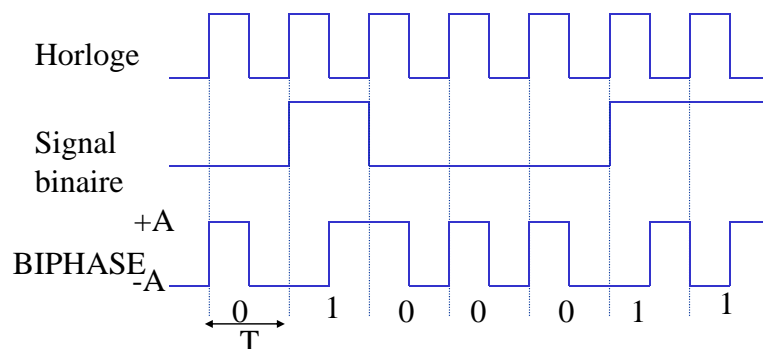
Le principe de ce codage est de diviser la période de transmission de bit 'T' en deux intervalles égaux, ainsi chaque période de transmission comporte une transition en son milieu, ce qui facilite la synchronisation entre l'émetteur et le récepteur

- Bit de donnée à 0 : un front descendant
- Bit de donnée à 1 : un front montant

- Avantage : Permet une meilleure synchronisation du récepteur.
- Utilisation : Ethernet 10Base5, 10Base2, 10BaseT, 10BaseFL

Le code BIPHASE ou MANCHESTER

- Une opération XOR est réalisée entre l'horloge et les données (plus transposition en tension). 0 (+A,-A) et 1 (-A,+A)



Code MANCHESTER différentiel



☐ On parle aussi de BIPHASE différentiel

☐ Principe :

- Une transition est introduite au milieu de l'intervalle significatif
- Bit de donnée à 0 : une transition au début de l'intervalle
- Bit de donnée à 1 : pas de transition au début de l'intervalle

☐ Avantage : meilleur immunité au bruit

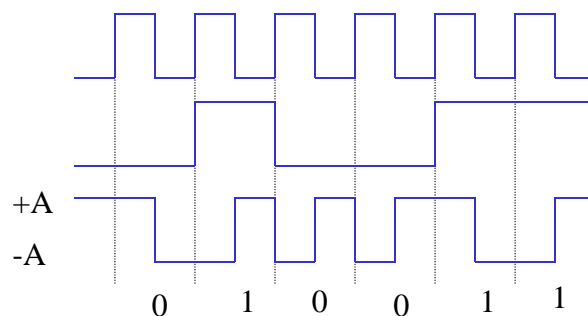
En d'autres termes :

'0' on répète le signal précédent / '1' on inverse le signal précédent.

Code MANCHESTER différentiel



- ☐ A un "0" est associé une période d'horloge ayant la même phase que la période d'horloge associée au symbole précédent.
- ☐ A un "1" est associé une période d'horloge opposition de phase avec celle de la période d'horloge associée au symbole précédent





Le Code MANCHESTER différentiel

☐ Exemple:

Coder en Manchester différentiel 10100011101.

☐ Réponse:

Remarque : Le codage Manchester ou sa version Manchester différentiel sont utilisés dans la plupart des réseaux locaux et notamment dans les réseaux Ethernet.



Le code BIPOLAIRE

☐ Codage à 3 niveaux

☐ Principe:

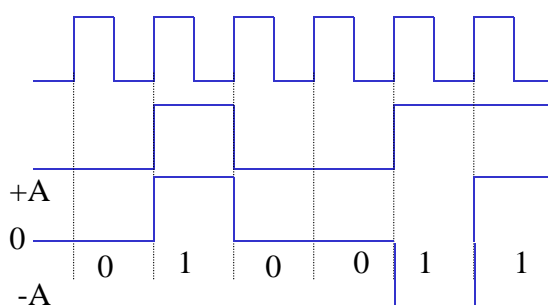
- Bit de donnée à 0 : niveau 0 volt
- Bit de donnée à 1 : niveau +a volts et -a volts en alternance

☐ Permet de grandes vitesses de transmission mais sensible au bruit.



Le code BIPOLAIRE

- ☐ Le "0" du signal binaire est codé en 0.
- ☐ Le "1" du signal binaire est codé alternativement en $+A$ ou $-A$ par rapport au "1" précédent.



Le code BIPOLAIRE

- ☐ Exemple : donner le signal correspondant à l'envoi du message 1100110101 avec le code Bipolaire.



Code MLT3

❑ Principe:

- Le Bit « 0 » on conserve le niveau précédent.
- Le Bit « 1 » on a un changement de niveau, il se fait dans l'ordre suivant :

... -V 0 +V 0 -V 0 +V ...



❑ Des séquences telles que -V +V ou +V -V sont interdites et elles permettent donc de détecter des erreurs de transmission.

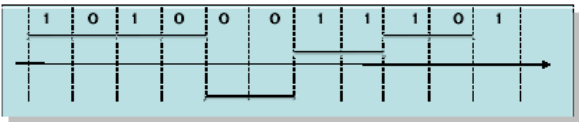


Code 2B1Q

❑ Principe

Le code 2B1Q fait correspondre à un groupe de deux éléments un créneau de tension dit symbole quaternaire pouvant endosser quatre valeurs différentes suivant la table ci-dessous :

Groupe de 2 Bits	Niveau de tension
00	-3
01	-1
11	+1
10	+3



Codes nBmB

☐ Principe

- Il s'agit d'un codage par bloc. On utilise une table de transcodage pour coder un groupe de n bits en m bits, avec $n < m$.
- Ce type de transcodage est utilisé dans les réseaux à haut débit.
- Le choix de 2^n valeurs parmi 2^m permet de résoudre les problèmes de composante continue, de largeur de spectre et parfois autorisent une autocorrection.

G. 4 bit	4B5B	G. 4 bit	4B5B	G. 4 bit	4B5B	G. 4 bit	4B5B
0000	11110	0100	01010	1000	10010	1100	11010
0001	01001	0101	01011	1001	10011	1101	11011
0010	10100	0110	01110	1010	10110	1110	11100
0011	10101	0111	01111	1011	10111	1111	11101

Codes nBmB

- ☐ Le codage 4B5B augmente la fréquence du signal. Par exemple 125Mhz pour 100Mbps. Il est utilisé dans les réseaux de type Ethernet à 100 Mbits/s et FDDI
- ☐ Par ailleurs ce type de codage laisse un nombre important de mots de 5 bits inutilisés. Même en éliminant les groupes pouvant poser des problèmes de transmission comme 00000. par exemple, il reste des mots pouvant être utilisés pour le contrôle de la transmission ou d'autres fonctions comme début ou fin de paquet.
- ☐ L'idée du précodage est de transformer des suites de bits qui peuvent donner lieu à des codages physiques sans transition, en suites de bits avec transition.

☐ Symbo

Idle : 11111, Start : 11000, 10001,
Error : 00100, End : 01101, 00111

Intérêt

- ❑ L'intérêt de substituer à une combinaison binaire de N bits une autre combinaison généralement de $N+1$ ou $N+2$ bits permet de résoudre facilement les problèmes de composantes continue, de largeur de spectre et parfois autorise une autocorrection.
- ❑ Les combinaisons binaires sont choisies de telle manière qu'au moins une transition soit assurée pendant un intervalle de temps t dépendant de l'horloge de réception.

A. Cohen

123

Chapitre II: Techniques de Transmission & Codage

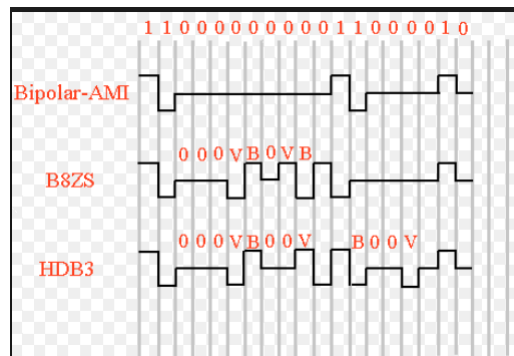
Utilisation des codes Lignes

Code	Utilisation
Code NRZ	Fast Ethernet (100BaseFX), FDDI
Code MLT	Fast Ethernet (100BaseTX, 100BaseT4), ATM,
Codage 2B1Q	RNIS/ISDN, HDSL
Code Manchester	Ethernet 10Base5, 10Base2, 10BaseT, 10BaseFL
Code Manchester différentiel	Token Ring
Code Bipolaire	Lignes DS1/T1
HDB 3	E1, E3
Codage nB / mB	4B/5B : Fast Ethernet ; 8B/10B : Gigabit Ethernet

A. Cohen

124

Illustration HDB3 : high density bipolar



A. Cohen

125

Chapitre II: Techniques de Transmission & Codage

En conclusion

- ☐ La bande passante, la rapidité de modulation et le rapport signal sur bruit limitent les possibilités de transmission en bande de base.
- ☐ La transmission bande de base occupe tout le canal empêchant l'utilisation des techniques de **multiplexage**.
- ☐ Néanmoins, les techniques "bande de base" restent utilisées sur des liaisons spécialisées privées, les liaisons louées par les opérateurs aux entreprises pour mettre en place des réseaux privés, les liaisons d'accès aux réseaux des opérateurs et les réseaux locaux d'entreprise. La distance maximale d'utilisation est de l'ordre de 5 Km.
- ☐ Sur des distances plus longues, on utilise un signal qui oscille en permanence, nommée *porteuse*. Ce signal est de forme *sinusoïdale*.

A. Cohen

126

La transmission en large bande

- ❑ Le spectre du signal numérique est translaté autour d'une fréquence centrale appelée **porteuse**. Cette technique résout les deux problèmes rencontrés en bande de base :
 - Dispersion du spectre (étalement du signal)
 - Monopolisation du support interdisant le multiplexage.
- ❑ Pour mettre en oeuvre l'opération de modulation on utilise
 - (en amont du canal) un organe appelée *modulateur*,
 - à la sortie du canal on utilise un organe effectuant l'opération inverse de la modulation (séparation du signal en bande de base de la porteuse), cette opération s'appelle *démodulation* et l'organe qui l'effectue s'appelle *démodulateur*.

Transmission en Modulation

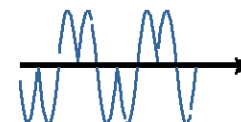
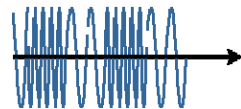
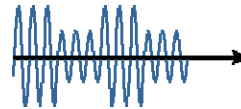
- ❑ Le modulateur transforme un signal initial quelconque $a(t)$ en un signal $s(t)$ adapté au support de communication employé.
- ❑ Le signal $s(t)$ est obtenu en faisant varier les paramètres d'une onde généralement sinusoïdale

$$A[t] = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Les signaux analogiques peuvent être transmis à des fréquences variables.
Les solutions large bande supportent plusieurs canaux sur des bandes de fréquences différentes.

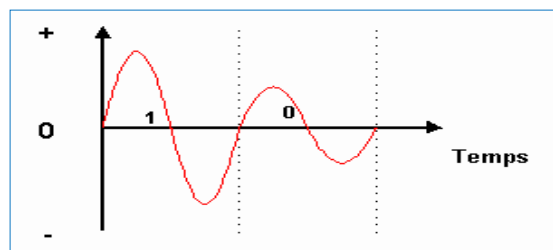
Types de modulation

- Modulation d'amplitude :
 - une valeur A1 représente le 1 et une valeur A2 le 0.
- Modulation de fréquence :
 - se réduit souvent à un décalage de fréquence FSK : Frequency Shift Keying).
- Modulation de phase :
 - les déphasages les plus utilisés sont 0, 90, 180 et 270°, chacun permettant de représenter une valeur.



Modulation d'amplitude

- (ASK = Amplitude Shift Keying)
- l'amplitude de la porteuse est modifiée de manière à représenter les données. Par exemple, une amplitude élevée peut représenter un '1' binaire, et une amplitude basse un '0' binaire.



Exemple de porteuse modulée en amplitude

Modulation d'amplitude

❑ Utilisation:

- ❖ Ce n'est pas une technique de modulation très efficace pour les réseaux informatiques, c'est cependant celle qui est utilisée pour transmettre des données numériques sur fibre optique

❑ Avantage:

- ❖ Technique électroniquement simple

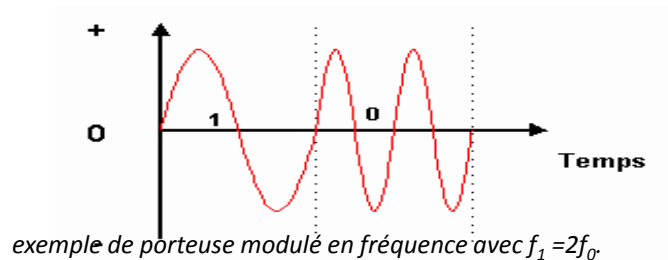
❑ Inconvénient:

- ❖ sensible au bruit.

Modulation de fréquence

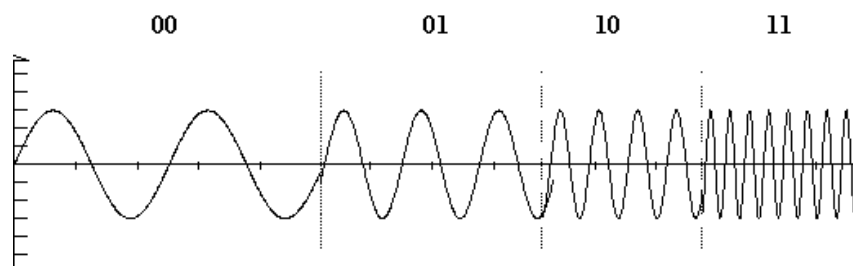
❑ FSK (Frequency Shift Keying)

- ❑ La modulation de fréquence consiste à modifier la fréquence de la porteuse pour représenter les données. Par exemple, on associe une fréquence f_0 pour un '0' binaire et la fréquence f_1 pour un '1' binaire. .



Modulation de fréquence à deux niveaux

- ❑ Pour augmenter encore la vitesse de transmission, on peut coder 2 bits à la fois : associer par exemple une fréquence à 00, une à 01, une à 10 et une à 11.

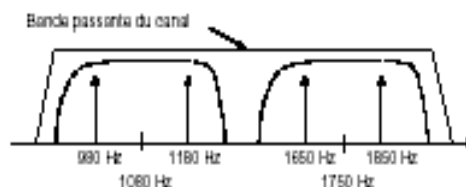


A. Cohen

134

Modulation de fréquence

- ❑ Liaison "full-duplex":
Émission / Réception simultanée
=> on partage la bande passante du canal
+ une voie à l'émission $F1 \pm f1$
+ une voie à la réception $F2 \pm f2$



A. Cohen

135

Modulation de fréquence

❑ Utilisation:

- ❖ transmissions à faible débit sur le réseau téléphonique commuté.
- Utilisée par la technique de multiplexage fréquentiel.

❑ Avantage:

- ❖ Peu sensible au bruit;

❑ Inconvénient:

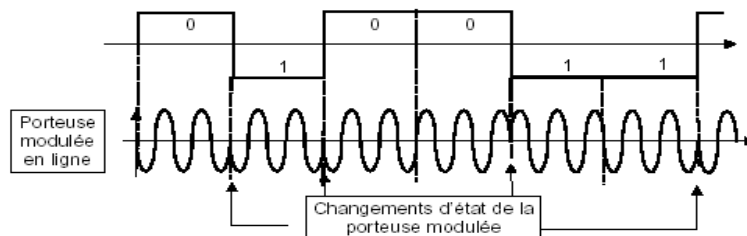
- ❖ Difficulté à maintenir la phase.
- ❖ Exigeante en bande passante

Modulation de phase : Saut de phase



❑ Modulation de phase ou PSK (Phase Shift Keying):

- ❖ Si deux bits consécutifs représentent le même état logique le saut de phase est égal à 0.
- ❖ Si deux bits consécutifs représentent deux états logiques différents le saut de phase est égal à 180°.





Modulation de phase

☐ Utilisation:

- ❖ transmissions à faible débit sur le réseau téléphonique commuté.

☐ Avantage:

- ❖ Les dispositifs de (dé)modulation de phase permettent de coder facilement plus de deux états.

☐ Inconvénient:

- ❖ Système de démodulation non trivial.



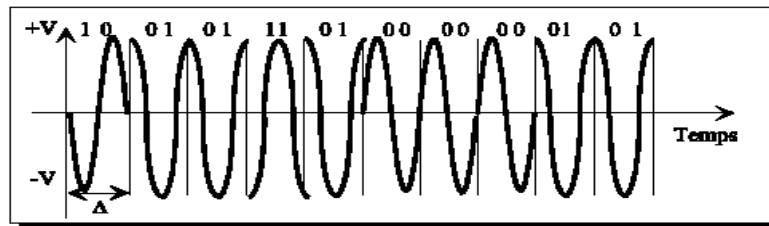
Modulation hybride

- ☐ Il est possible de combiner les différents types de modulation que nous venons de présenter à fin de transmettre un nombre important de bits par secondes. Il est ainsi fréquent d'utiliser à la fois une modulation d'amplitude et une modulation de phase
- ☐ Exemple : La modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ou modulation d'amplitude en quadrature de phase est une technique qui emploie une combinaison de modulation de phase et d'amplitude.
- ☐ Elle est largement employée par les modems pour leur permettre d'offrir des débits binaires élevés.



Modulation amplitude/phase (QAM)

- ❑ Exemple : modulation de phase à 4 moments (codage de 2 bits avec les combinaisons 00, 01, 10, 11).



Conclusion

- ⇒ La transmission en bande de base s'appuie sur un signal numérique : les informations circulent au moyen d'impulsions discrètes sur un médium de communication.
- ⇒ La transmission en large bande s'appuie sur un signal analogique : en usage dans la radio et le téléphone vocal. Les informations voyagent sous forme d'onde variable de manière continue.

Chapitre III: Multiplexage

Chapitre III: Multiplexage

A. Cohen

144

Rôle du multiplexage

- ❑ Multiplexage = *Transmission simultanée de plusieurs signaux*
- ❑ Rôle : Recevoir des données de plusieurs émetteurs par des liaisons spécifiques, pour les transmettre **ensemble** sur une liaison unique (= voie composite). À l'autre extrémité de la liaison, il faut récupérer à partir des informations arrivant sur la voie composite, les données des différents utilisateurs, et les envoyer sur les bonnes voies de sortie, cette tâche nécessite un **démultiplexeur**.



A. Cohen

145

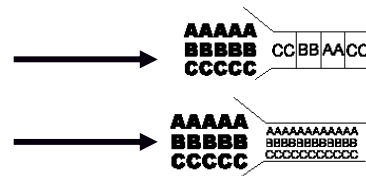
La technique du **multiplexage** est très utilisée dans les réseaux d'ordinateurs et particulièrement dans le cas des réseaux étendus.

Deux techniques de multiplexages sont principalement utilisées : le multiplexage temporel et le multiplexage fréquentiel.

⇒ Les transmissions sont soit :

séparées dans le temps
(multiplexage par division de temps)

séparées dans l'espace
(multiplexage par division de l'espace).



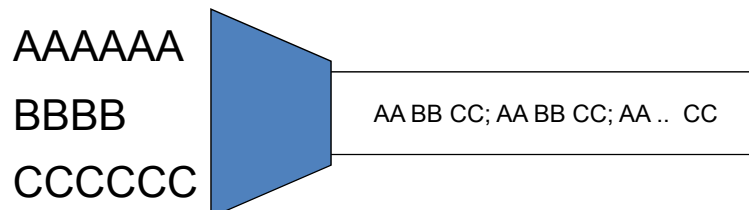
Multiplexage Temporel

- ❑ Le multiplexage temporel consiste à découper le temps en tranches qui sont affectées régulièrement à chaque émetteur.
- ❑ Les différentes sources émettrices utilisent différents intervalles de temps (IT) constants.
- ❑ Ce type de multiplexage est utilisé :
 - pour la transmission de signaux numériques,
 - en considérant la possibilité de transmettre 1 bit ou 1 caractère par IT.

Selon la méthode d'allocation du temps, on distingue le multiplexage temporel synchrone (en anglais STDM, Synchronous Time Division Multiplexing) et le multiplexage statistique

Multiplexage Temporel synchrone

- ❑ Dans le multiplexage temporel synchrone, toutes les sources émettrices ont accès au support de transmission durant un intervalle de temps égal même si la source n'est pas autorisée à émettre.

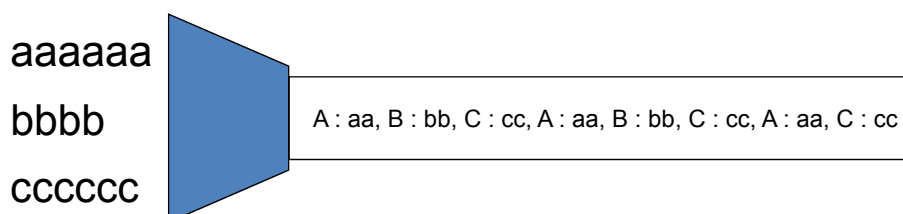


- ❑ Un canal inutilisé consomme de la BP.

Multiplexage Temporel Statistique



- ❑ Alternance des signaux sur le canal, allocation selon les besoins !



- ❑ Créneaux inoccupés → Récupérés
- ❑ Transmission du numéro de canal avec chaque donnée

Exemple: Codage MIC

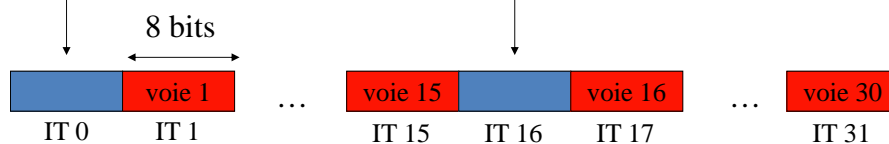
- ❑ Un codage MIC permet d'effectuer la transmission d'un signal analogique (par exemple, la voix) sur liaison numérique.
- ❑ Un multiplexage MIC de base est constitué en Europe (technique E1) de :
 - 30 voies basse vitesse,
 - 1 voie de synchronisation,
 - 1 voie de signalisation.

Exemple: Codage MIC

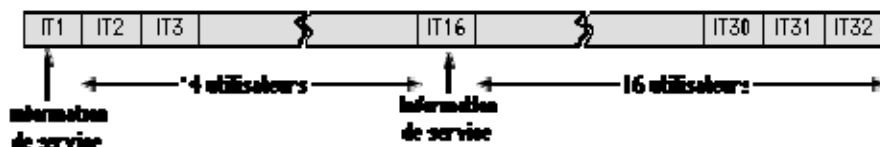
- ❑ La structure de la trame MIC est définie comme suit :

verrouillage de trame
= synchronisation

signalisation



Exemple: Codage MIC



- 1 frame comporte 30 IT utilisateurs et 2 IT de service (chaque IT, qui signifie "intervalle de temps" peut recevoir l'équivalent d'un paquet).
- 1 frame transporte donc 32 octets (256 bits). Le débit total est de 2 Mbits/s.
- Si un usager utilise cette frame en mettant un paquet dans une IT précise dans chaque frame, le débit, pour cet usager, sera de 64 Kbits/s.

Exercice

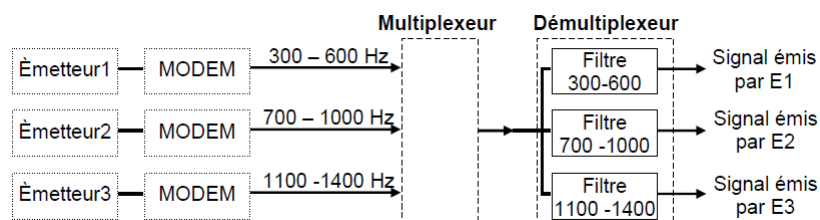
- ☐ Pour une transmission MIC sur une ligne 2048 Kbit/s, Quel est le débit de chaque voie?
- ☐ Correction:

Multiplexage Fréquentiel

- ❑ La bande passante de la ligne à haut débit est divisée en plusieurs bandes de plus faible largeur. Chacune des ces sous-bandes est affectée à un utilisateur qui devra donc émettre dans cette bande.
- ❑ Pour limiter les interférences, et assurer une bonne transmission, on laisse une bande de fréquence non utilisée entre chaque sous-bande (on parle de bande de garde). Il s'agit surtout d'empêcher les chevauchements de signaux appartenant à des bandes voisines.
- ❑ Ce type de multiplexage est utilisé :
 - pour la transmission de signaux analogiques, par câble ou voie hertzienne,
 - pour des applications telles que le téléphone, la radio ou la télévision.

Multiplexage Fréquentiel

- ❑ 1 canal physique → n bandes distinctes
 - Ex : Télévision → Plusieurs Chaînes

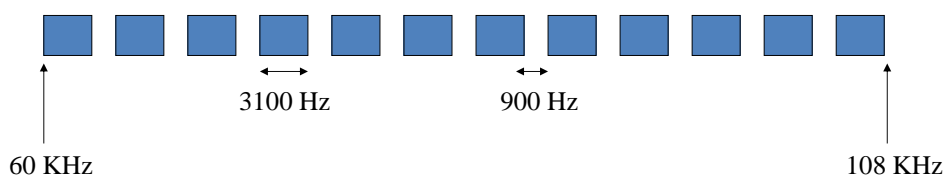


Exemple de multiplexage fréquentiel

Exemple



- ☐ Le groupe primaire du RTC correspond à un multiplexage de 12 voies.



Exemple



- ☐ Le RTC possède une structure hiérarchique donnée par le tableau suivant :

Groupe	Nombre de voies	Bande passante
primaire	12	60-108 khz
secondaire	60 (12*5)	312-552 khz
tertiaire	300 (60*5)	812-2044 khz
quaternaire	900 (300*3)	8616-12338 khz

Remarques

- ☐ La transmission en large bande est **unidirectionnelle**.
- ☐ Pour permettre à la fois l'envoi et la réception, deux solutions :
 - scinder la bande passante en 2 sous bandes une par direction,
 - utiliser deux câbles un pour l'émission et l'autre pour la réception,
- ☐ Dans chaque cas, il faut une paire de multiplexeur/démultiplexeur sur chaque extrémité de la voie.
- ☐ La technologie des réseaux étendus se sert de la transmission à large bande
- ☐ Cas particulier : le **multiplexage à longueur d'onde** (WDM, Wavelength Division Multiplexing) utilisé dans la transmission par fibre optique

Chapitre IV: Protection contre les erreurs de transmission

Chapitre IV: Protection contre les erreurs de transmission

La notion d'intégrité

- ☐ Durant la transmission de données, il se peut que les données reçues soient altérées.
- ☐ La modification des données est soit :
 - D'origine humaine → le contrôle d'intégrité concerne la sécurité des données
 - D'origine physique → le contrôle d'intégrité porte le nom de contrôle d'erreur

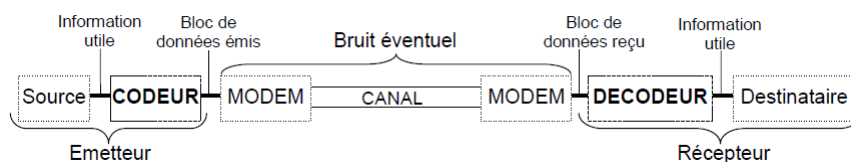
Taux d'erreur binaire

- ☐ Les perturbations propres au système (distorsions, bruit, ..) peuvent modifier les informations transmises (des modifications des positions binaires, des disparitions, des adjonctions ou des inversions de bits).
- ☐ Dans la pratique, on mesure la qualité d'une liaison numérique par le taux d'erreur (BER = Bit Error Rate).
- ☐ T_e = nombre de bits erronés / nombre de bits transmis
- ☐ T_e = **Taux d'erreur** = probabilité qu'un bit soit erroné
- ☐ $1 - T_e$ = probabilité de recevoir un bit correct
- ☐ Si bloc de N bits :

$$P_c = (1 - T_e)^N = \text{probabilité de recevoir le bloc correct}$$

Contrôle d'erreurs

- ❑ Chaque suite de bits (trame) à transmettre est augmentée par une autre suite de bit dite de redondance ou de contrôle.
- ❑ Pour chaque suite de k bits transmis, on ajoute r bits. On dit alors que l'on utilise un code $C(n; k)$ avec $n = k + r$.
- ❑ À la réception, on effectue l'opération inverse et les bits ajoutés permettent d'effectuer des contrôles à l'arrivée.
- ❑ Ces techniques utilise un *codeur à l'émission et un décodeur à la réception*.

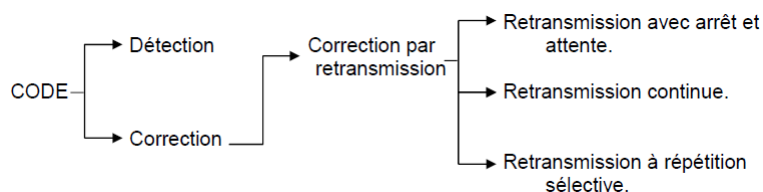


A. Cohen

162

Détection et/ou Correction d'erreur

- ❑ Il existe deux catégories de codes :
 - les codes **détecteurs d'erreurs** / les codes **correcteurs d'erreurs**.
- ❑ Le code de **Hamming** : un code détecteur et correcteur d'erreurs.
- ❑ Le **CRC** (Cycle Redundancy Check) : uniquement un code détecteur d'erreurs mais très fiable.
- ❑ Lorsque le code *ne peut que détecter des erreurs, il est nécessaire de retransmettre le bloc de données pour réaliser la correction*, on dit que la stratégie est une *correction par retransmission*.



A. Cohen

163

Détection d'erreur : Parité simple

- ☐ **Parité simple** : à chaque caractère, un bit est ajouté.
- ☐ Exemple :

0011010 **0** parité impaire
 0011010 **1** parité paire

- ☐ Dans ce cas, on est capable de détecter une erreur de parité, mais pas de la localiser.

Détection d'erreur : Parité Double

- ☐ A chaque bloc de caractères, on ajoute un champ de contrôle supplémentaire (LRC : Longitudinal Redondancy Check, VRC : Vertical Redondancy Check)
- ☐ Exemple : pour les données 0011010 1100101 010101

0011010**1**
 1100101**0** parité LRC et VRC paire
 0101010**1**
 1010101**0**

- ☐ La combinaison de LRC et VRC permet de détecter 2 erreurs dans un seul mot ou de corriger 1 erreur.

Exemple

- ❑ Soit la suite de caractères *L*, *2*, *M* à transmettre, codée en CCITT n° 5 par les valeurs hexadécimales *4C*, *32* et *4D*. En parité paire, les bits de parité (en gras dans le texte) pour chaque caractère valent respectivement 1, 1 et 0. Le caractère de parité longitudinale est calculé comme suit :

1 1 0 0 1 1 0 0 caractère L + parité VRC ;
 1 0 1 1 0 0 1 0 caractère 2 + parité VRC ;
 0 1 0 0 1 1 0 1 caractère M + parité VRC ;
 0 0 1 1 0 0 1 1 caractère du LRC à ajouter à la fin du bloc de données comme caractère de contrôle.

- ❑ La suite des éléments binaires émise est donc 0011 0011 0100 1101 1011 0010 1100 1100, si on transmet les caractères les uns derrière les autres, en commençant par les poids faibles de chaque caractère.

Le code de Hamming : Principe général

- ❑ La structure d'un mode de code de Hamming =
 m bits du message à transmettre + n bits de contrôle de parité.
- ❑ longueur totale : $2^n - 1$ / longueur du message : $m = (2^n - 1) - n$
- ❑ on parle de code x-y où $x = n + m$ et $y = m$.
- ❑ Exemple de code de Hamming :
- un mot de code 7-4 a un coefficient d'efficacité de $4/7 = 57\%$,
 - un mot de code 15-11 a un coefficient d'efficacité de $11/15 = 73\%$,
 - un mot de code 31-26 a un coefficient d'efficacité de $26/31 = 83\%$,
- ❑ Les bits de contrôle de parité C_i sont en position 2^i pour $i=0,1,2,\dots$
- ❑ Les bits du message D_j occupent le reste du message.

D3	D2	D1	C2	D0	C1	C0
7	6	5	4	3	2	1

Comment retrouver une erreur

- ☐ Si les bits de contrôle de réception $C_2C_1C_0$ valent 0, il n'y a pas d'erreurs sinon la valeur des bits de contrôle indique la position de l'erreur entre 1 et 7.
- ☐ Si C_0 vaut 1, les valeurs possibles de $C_2C_1C_0$ sont 001, 011, 101, 111, c'est-à-dire 1, 3, 5, 7.
- ☐ Si C_1 vaut 1, les valeurs possibles de $C_2C_1C_0$ sont 010, 011, 110, 111, c'est-à-dire 2, 3, 6, 7.
- ☐ Si C_2 vaut 1, les valeurs possibles de $C_2C_1C_0$ sont 100, 101, 110, 111, c'est-à-dire 4, 5, 6, 7.

➔ Il s'agit là des positions possibles pour une erreur.

Exemple calcul d'un code de parité

- ☐ Émission pour un contrôle de parité pair.
 - C_0 est calculé par rapport aux bits d'indice 7, 5, 3 et sa valeur 1.
 - C_1 est calculé par rapport aux bits d'indice 7, 6, 3 et sa valeur 2.
 - C_2 est calculé par rapport aux bits d'indice 7, 6, 5 et sa valeur 4.
- ☐ On souhaite envoyer le message 1010, compléter le mot de Hamming correspondant :

1	0	1	—	0	—	—
7	6	5	4	3	2	1

Exemple calcul d'un code de parité

- ☐ C_2 vaut 0 pour pouvoir rendre pair $1+0+1$ (les bits d'indices 7, 6, 5)
- ☐ C_1 vaut 1 pour pouvoir rendre pair $1+0+0$ (les bits d'indices 7, 6, 3)
- ☐ C_0 vaut 0 pour pouvoir rendre pair $1+1+0$ (les bits d'indices 7, 5, 3)

1	0	1	0	0	1	0
7	6	5	4	3	2	1

Exercice(1)

- ☐ Soit un mot de Hamming de longueur 15

1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

- ☐ Quels sont les bits de contrôle de parité ?
- ☐ Quel est le message reçu ?
- ☐ Est-ce que le message reçu correspond au message transmis ?
- ☐ Quel a été le message transmis ?

Exercices

- ☐ On utilise le code correcteur de Hamming 7/4, on transmet 7 bits utiles avec 3 bits de contrôle. On transmet 1100001. Quelle est la suite effectivement transmise ?
- ☐ On veut envoyer le mot 1011, quels bits dois-je adjoindre et quelle séquence transmettre ?
- ☐ y a-t-il une erreur dans le mot suivant 1101101 ?
- ☐ Sachant que la valeur reçue : 10110001001, contient une seule erreur, retrouver où elle a eu lieu et la suite de bits initialement transmise.

polynôme générateur

- ☐ Un mot de code est représenté sous forme polynomiale dans laquelle la suite de bits à transmettre $M=m_1m_2\dots m_n$ est représentée par:

$$M(x) = u_1 + u_2x + \dots + u_nx^{n-1}$$

- ☐ Par exemple 1100101 est représenté par:

$$1x^6 + 1x^5 + 0x^4 + 0x^3 + 1x^2 + 0x + 1$$

$$x^6 + x^5 + x^2 + 1$$

Polynôme générateur

❑ En émission :

on ajoute au message à émettre un code contrôle tel le polynôme correspondant au message plus le code de contrôle soit divisible par le polynôme générateur.

❑ En réception :

le message reçu qui contient les données et le CRC doit être divisible par le polynôme générateur. On vérifie donc par une division euclidienne en base 2 que le reste de la division est nulle.

polynôme générateur

❑ Principe de détection :

- ❑ On utilise le reste $R(x)$ de la division polynomiale $M(x)$ par un polynôme diviseur $G(x)$ qui donne un quotient $Q(x)$.
- ❑ $R(x)$ est calculé par l'émetteur puis transmis au récepteur. Le récepteur fait le même calcul $R'(x)$ en divisant $M(x)+R(x)$ (message + contrôle).
- ❑ Si $R'=0$ alors pas d'erreur, si $R'\neq 0$ alors erreur.
 - $M(x) - R(x)$ est divisible par $G(x)$ est équivalent à $M(x) + R(x)$ modulo 2.

Les standards

Les polynômes générateurs utilisés font l'objet de normalisation. Le degré du polynôme est d'autant plus important que la probabilité d'apparition d'une erreur l'est, ou que la longueur du bloc à protéger est importante. Les principaux polynômes employés sont :

- ❑ CRC 12 : $1 + X + X^2 + X^3 + X^{11} + X^{12}$
- ❑ CRC-CCITT : $1 + X^5 + X^{12} + X^{16}$ permet de détecter toutes les séquences d'erreurs de longueur égal ou inférieur à 16 bits.
- ❑ CRC 32 : $1 + X + X^2 + X^4 + X^5 + X^7 + X^8 + X^{10} + X^{11} + X^{12} + X^{16} + X^{22} + X^{23} + X^{26} + X^{32}$ utilisé dans les réseaux locaux.

Exemple

- 2 octets précédents : 01001101 01101111
- $M(x) = x^{14} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$
- $x^8 M(x) = x^{22} + x^{19} + x^{18} + x^{16} + x^{14} + x^{13} + x^{11} + x^{10} + x^9 + x^8$ (on multiplie par x^8 pour faciliter la division)
- $x^8 M(x) / (x^8 + 1) =$

$x^{22} + x^{19} + x^{18} + x^{16} + x^{14} + x^{13} + x^{11} + x^{10} + x^9 + x^8$	$\begin{array}{r} x^8 + 1 \\ \hline x^{14} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^5 + x^2 + x + 1 \\ \hline \end{array}$
$-x^5 - x$	
$\text{ou } +x^5 + x$	
- $R(x) = x^5 + x \rightarrow \mathbf{00100010}$ on trouve comme précédemment !!
- On transmet donc : 01001101 01101111 **00100010**
- Le récepteur divise le message reçu par $x^8 + 1$ pour vérifier qu'il n'y a pas d'erreur.

Représentation polynomiale

$$M(X) = m_0 + m_1 X^1 + m_2 X^2 + \dots + m_{k-1} X^{k-1}$$

$$X^r \cdot M(X) = Q(X) \cdot G(X) + R(X)$$

$$T(X) = X^r \cdot M(X) + R(X)$$

- ❑ Le récepteur divise $T(X)$ par $G(X)$ et examine le résultat. Si le résultat est différent de 0 alors une procédure de récupération d'erreur est lancée

Exercice d'application

On utilisera le polynôme générateur $x^4 + x^2 + x$.

1. On souhaite transmettre le message suivant : 1111011101, quel sera le CRC à ajouter ?
2. Même question avec le mot 1100010101.
3. Je viens de recevoir les messages suivants :
1111000101010, 11000101010110,
sont-ils corrects ?

Correction : quel CRC à ajouter avant d’émettre le message 1111011101 ?

1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0									
0	1	0	0	0	1								
1	0	1	1	0									
0	0	1	1	1	1	1							
			1	0	1	1	0						
			0	1	0	0	1	0					
				1	0	1	1	0					
				0	0	1	0	0	1	0			
					1	0	1	1	0				
						0	0	1	0	0	1	0	
							1	0	1	1	0		
								0	0	1	0	0	0
									1	0	1	1	0
										0	0	1	1
											0	0	0

Le CRC est donc 1100 et le mot à transmettre 1111011101 1100

Correction : quel CRC à ajouter avant d’émettre le message 1111011101 ?

x^{13}	x^{12}	x^{11}	x^{10}		x^8	x^7	x^6		x^4		x^4	$+x^2$	$+x$
x^{13}		x^{11}	x^{10}										
	x^{12}		x^{10}	x^9		x^8	x^7	x^6	x^4		x^9	$+x^8$	$+x^6$
		x^{10}	x^9		x^8	x^7	x^6	x^4			$+x^5$	$+x^3$	$+x^2$
			x^{10}			x^8	x^7				$+x$		
				x^9			x^6	x^4					
				x^9		x^7	x^6						
					x^7			x^4					
					x^7		x^5	x^4					
						x^5							
						x^5		x^3	x^2				
							x^3	x^2					

Chapitre IV: Protection contre les erreurs de transmission

Correction : quel CRC à ajouter avant d’émettre le message 1100010101 ?

1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	
1	0	1	1	0										
<hr/>														
0	1	1	1	0	1									
	1	0	1	1	0									
<hr/>														
	0	1	0	1	1	0								
		1	0	1	1	0								
<hr/>														
			0	0	0	0	1	0	1	0	0			
							1	0	1	1	0			
<hr/>														
								0	0	0	1	0	0	0

Le CRC est donc 1000 et le mot à transmettre 1100010101 1000.

A. Cohen184

Chapitre IV: Protection contre les erreurs de transmission

Correction : le message reçu 1111000101010 est-il correct ?

1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	0								
<hr/>												
0	1	0	0	0	0							
	1	0	1	1	0							
<hr/>												
	0	0	1	1	0	0	1					
			1	0	1	1	0					
<hr/>												
		0	0	1	1	1	1	0				
				1	0	1	1	0				
<hr/>												
				0	1	0	0	0	1			
					1	0	1	1	0			
<hr/>												
						0	1	0	1	1	0	
							1	0	1	1	0	
<hr/>												
								0	0	0	0	0

Le reste est nul ⇒ il n’y a pas d’erreur dans le mot transmis.

A. Cohen185

Correction : le message reçu 11000101010110 est-il correct ?

1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	0									
<hr/>													
0	1	1	1	0	1								
	1	0	1	1	0								
<hr/>													
	0	1	0	1	1	0							
		1	0	1	1	0							
<hr/>													
			0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
								1	0	1	1	0	
<hr/>													
								0	0	0	1	1	1
											0		

Le reste est 1110 \Rightarrow il y a une erreur dans le mot transmis.

Correction d'erreur

- ☐ La détection d'erreur suivie d'une retransmission est la solution la plus utilisée dans les réseaux informatiques.
- ☐ Des mécanismes *d'accusés de réception (acquittements)* permettent de confirmer à l'émetteur que les données transmises sont bien arrivées sans erreur.
- ☐ Divers types de politiques d'acquittement et de retransmission peuvent être adaptés :
 - Retransmission avec arrêt et attente
 - Retransmission continue
 - Retransmission à réception sélective

Chapitre V: Supports de transmission



A. Cohen

188

Chapitre V : Supports de transmission

Transmission des signaux

- ☐ La transmission est le transport des signaux électriques ou autres d'un point à un autre
- ☐ Ces signaux représentent l'information :
 - » Parole,
 - » Image (fixe ou animée),
 - » Donnée,
 - » Texte.

A. Cohen

189



Application de la transmission

☐ Le réseau téléphonique commuté (RTC)

- Il est composé de nœuds (les commutateurs), raccordés par des liens (les artères de transmission).
- Depuis fin 1996, les réseaux de Maroc Télécom sont entièrement numériques, mais les liaisons commutateurs / abonnés restent en grande partie analogiques.

☐ Le réseau numérique à intégration de service (NUMERIS)

- L'information est numérisée de bout en bout, jusque chez les abonnés.
- Une ligne d'abonné peut véhiculer ainsi plusieurs canaux (1 canal à 64kbit/s est nécessaire pour transporter la voix numérisée).

☐ Le réseau Maghrebpac et Frame Relay

- pour la monétique et le paiement par carte
- pour constituer des réseaux d'entreprises
- pour échanger des courriers et des fichiers intra- et inter-entreprises à grande vitesse

☐ Le Réseau GSM

Les supports de transmission

☐ La transmission utilise un phénomène de propagation de :

- Courant électrique dans des conducteurs (Câbles à paires symétriques (PS) ou Basse fréquence (BF)),
- Onde électromagnétique dans un milieu guidé (Câble Coaxial),
- Onde radio Radioélectrique dans l'espace libre (Faisceaux Hertzien (FH), Satellite),
- Onde électro-lumineuse dans un guide (Fibre Optique (FO))

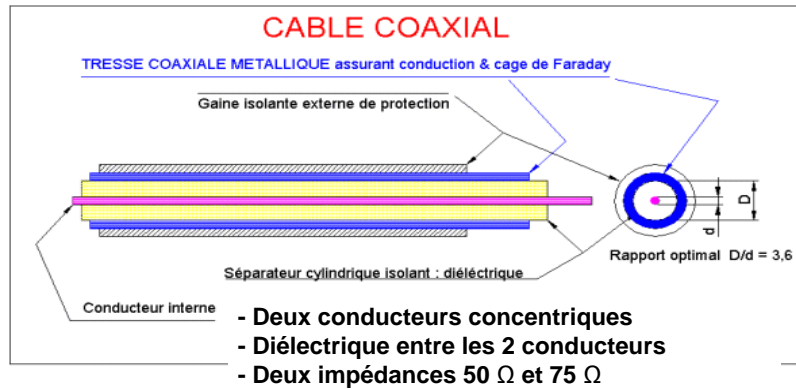
Transmission des signaux

- ☐ Les supports de transmission:
 - Permettent de "véhiculer" le signal.
- ☐ Deux types :
 - supports avec guide physique : les câbles électriques (métalliques et coaxiaux), les fibres optiques, ...
 - supports sans guide physique : les ondes radio-électriques, les ondes lumineuses, les ondes hertziennes (très courtes)

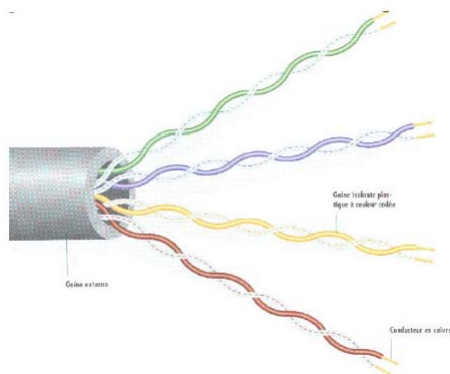
Câble coaxial

- ☐ Peu coûteux, facilement manipulable
- ☐ Peut être utilisé sur de longues distances
- ☐ Débit jusqu'à 10Mbit/s
- ☐ Construction :
 - **Gaine** : protection du câble (caoutchouc, PVC ou téflon)
 - **Blindage** : partie métallique entourant le câble diminuant le bruit due aux parasites
 - **Isolant** : (diélectrique) évite le contact (court-circuit) entre l'âme et le blindage
 - **Âme** : brin de cuivre ou brins torsadés transportant les données

Câble coaxial



Les paires torsadées



Les paires torsadées

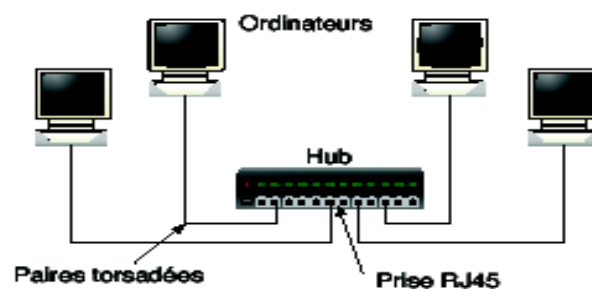
- ☐ Franchissement de la limite des 10Mbits/s
- ☐ Plus de bande passante
- ☐ Possibilité de travailler en Full Duplex
- ☐ Gestion plus aisée
- ☐ Permet d'avoir un câblage multi-usage (universel)
 - Téléphone
 - Fax
 - Données...
- ☐ Inconvénients:
 - Plus de câbles qu'avec le coaxial
 - Câblage plus cher et prend plus de place dans les gaines
 - techniques

Les paires torsadées

- ☐ Existence de 6 catégories qui normalisent le connecteur, la bande passante du câble et le nombre max. de paires pouvant être utilisées:
 - 1 : téléphone traditionnel (voix)
 - 2 : transmission des données 4Mbit/s (RNIS) [4 paires torsadées]
 - 3 : 10 Mbit/s max. [4 paires torsadées et de 3 torsions par pied]
 - 4 : 16 Mbit/s max. [4 paires torsadées en cuivre]
 - 5 : 100 Mbit/s max. [4 paires torsadées en cuivre]
 - 5e : 1 Gbit/s max sur 100m, utilisation des 4 paires torsadées des câbles en classe D
 - 6 : 2.5 Gbit/s sur 100m, 10 Gbit/s sur 25m

Un exemple: le réseau Ethernet en paire torsadée

- ☐ Câble UTP5: 1 paire utilisée en entrée, 1 paire en sortie
- ☐ Concentrateurs (ou Hub) centralisés dans une armoire de brassage pour faciliter l'administration et la maintenance
- ☐ Réseau en étoile



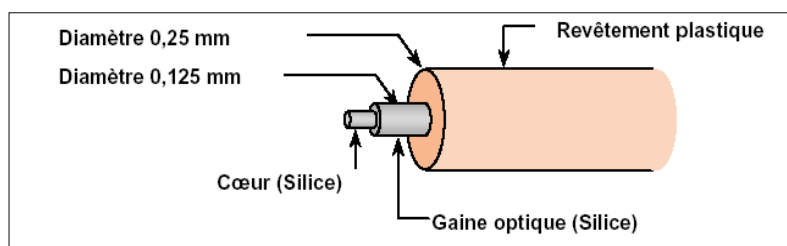
La fibre optique

- ☐ La fibre optique présente, en termes de transmission :
 - une faible atténuation
 - une très grande bande passante
 - multiplexage de plusieurs signaux (Fibre multimodes);
 - Un faible poids, une très petite taille, une grande souplesse.

La fibre optique

❑ Une fibre optique est composée de 3 éléments principaux :

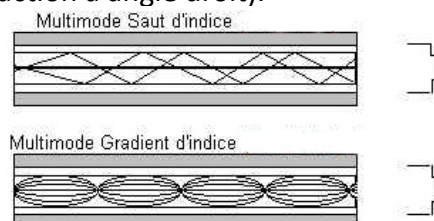
- Le **cœur** dans lequel se propage les ondes optiques : Le signal lumineux est propagé dans et à proximité du cœur.
- La **gaine optique** d'indice de réfraction inférieur à celui du cœur, qui confine les ondes optiques dans le cœur (sert essentiellement à amener le diamètre à 125μm pour des raisons mécaniques)
- Le **revêtement de protection** assure la protection mécanique de la fibre



Type de fibres : multimode

❑ Il existe deux grands types de fibres :

les fibres **multimodes** (les rayons de lumière suivent plusieurs chemins) **généralement utilisées pour de courte distance**, a pour émetteur une diode électroluminescente et des performances d'environ un gigabits/Km dont on distingue deux groupes, celles à gradient d'indice (onde de forme sinusoïdale) et celle à saut d'indice (réfraction à angle droit).



Type de fibres : monomode

- ❑ Dans le cas des fibres **monomodes** (les rayons suivent un seul chemin). Ces performances sont d'environ 100 gigabits/km, l'indice de réfraction peut être constant ou décroissant.
- ❑ Les dimensions de cette fibre sont pour le cœur de 5 à 10 microns. En conséquence, la lumière transite le long de l'axe du câble, d'où une atténuation très faible et une dispersion minimum.
- ❑ **Les fibres optiques monomodes peuvent donc être utilisées sur de plus grandes distances.**

Transmission sans guide physique

- ❑ **Transmission par satellite:**
 - Satellites géostationnaires (orbite à 36 000 km au dessus de l'équateur)
 - Bandes de fréquences attribuées :

➤ 3.7	→	4.2 GHz
➤ 5.925	→	6.425 GHz
➤ 12	→	14 GHz
➤ 20	→	30 GHz
 - Débits accessibles aux utilisateurs : plusieurs Mbit/s
 - Délai de transmission relativement important (~250 ms)
 - Puissance :
 - < 10 W (satellites télécom.)
 - > 500 W (satellites télédiffusion)
 - Technique de cryptage indispensable (maintien de la confidentialité)

Transmission sans guide physique

❑ Transmission par Faisceaux Hertziens

- Dizaines de km (en fonction de la hauteur des antennes,...)
- Ondes radio
- Type de transmission
 - transposition de fréquence
 - plage de fréquences pour la porteuse : 2 à 40 GHz
- Émetteurs faible puissance (1 W)
- Utilisation de technique de cryptage (maintien de la confidentialité)

Critères de performance des différents supports

Support de transmission	Câble	Paire torsadée	Fibre optique
Vitesse de transmission	500 – 5000 Mbps	100 – 1000 Mbps	10 – 100 Gbps
Bande passante	350 MHz	250 MHz	10 GHz
Distance entre les répéteurs	2 – 10 km	1 – 10 km	10 – 100 km



Chapitre VI: Normalisation

A. Cohen

224

Chapitre V I: Normalisation

Normes et standards : le besoin

☐ Bénéfices

- ☐ permettre à des équipements hétérogènes de communiquer
- ☐ accroître le marché des produits adhérant aux standards

A. Cohen

225

L'UIT et ses recommandations

❑ Union Internationale des Télécommunications

- ❑ **rôle** : émettre des recommandations techniques sur les interfaces pour le télégraphe, le téléphone, la communication de données
- ❑ 1865 : création de l'Union Télégraphique Internationale
- ❑ 3 secteurs de normalisation
 - UIT-R (radiocommunications)
 - UIT-D (développement)
 - UIT-T(télécommunications) : ex-CCITT de 1956 à 1993

L'UIT

❑ types de membres

- ❑ administrations des états membres (189)
- ❑ opérateurs privés reconnus
- ❑ organisations régionales de télécommunications
- ❑ organisations régionales ou internationales autres
- ❑ organisations scientifiques ou industrielles
- ❑ organisations intergouvernementales opérant des
- ❑ Satellites, autres organisations intéressées

❑ fonctionnement :

- ❑ groupes d'étude /de travail /d'experts

L'ISO et ses normes

☐ International Organization for Standardization

- rôle: favoriser le développement de la normalisation et des activités connexes dans le monde, en vue de faciliter entre les nations les échanges de biens et de services et de développer la coopération dans les domaines intellectuel, scientifique, technique et économique
- organisation non gouvernementale, créée en 1947

L'ISO

- ☐ fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (140 pays), à raison d'un membre par pays
 - ☐ comité membre : plein droit de vote Afnor (France), ANSI (US), DIN (Allemagne), BSI (GB), JISC(Japon), MSB (Maurice), ...
 - ☐ membre correspondant : pays dont l'activité de normalisation n'est pas totalement développée Liban, Seychelles, ...
 - ☐ membre abonné : pays à économie très limitée Palestine, Cambodge, ...
- ☐ fonctionnement : 2850 comités techniques/ sous-comités/WG
- ☐ JTC 1/SC 6/WG 7:Technologies de l'information /Téléinformatique /Couche réseau et couche transport
- ☐ <http://www.iso.ch>

L'IETF et ses RFC

Internet Engineering Task Force

- rôle: développement et ingénierie des protocoles de l'Internet
- créé formellement en 1986
- communauté internationale ouverte
 - concepteurs
 - opérateurs
 - équipementiers
 - chercheurs
- organisation : domaines / groupes de travail
- fonctionnement:
 - mailing lists
 - meetings (3 fois/an)

Références bibliographiques

- ❑ Servin C., "Télécoms, de la transmission à l'architecture de réseaux", Masson, 2003.
- ❑ Tanenbaum A., "Computer Networks, Third Edition", Prentice Hall, 1996.
- ❑ Halsall F., "Data Communications, Computer Networks and Open Systems", 4ème édition, Addison-Wesley, 1996.
- ❑ G. Pujolle, "Les Réseaux", Eyrolles, édition 2008
- ❑ http://www.eduki.ch/fr/doc/dossier_11_histo.pdf
date de consultation 19/12/2012
- ❑ Certaines parties ont été rédigées en collaboration avec M. Maizate