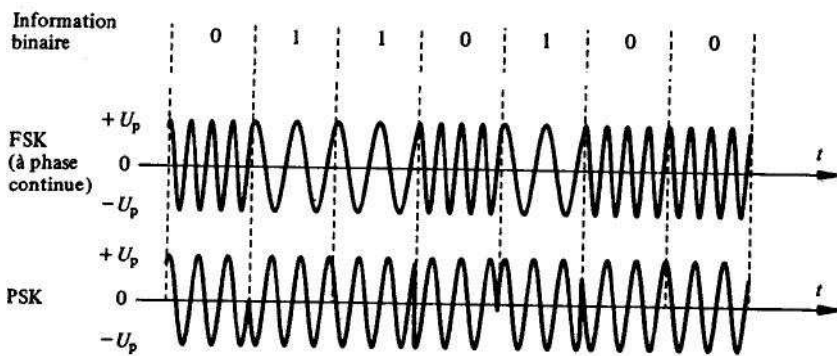
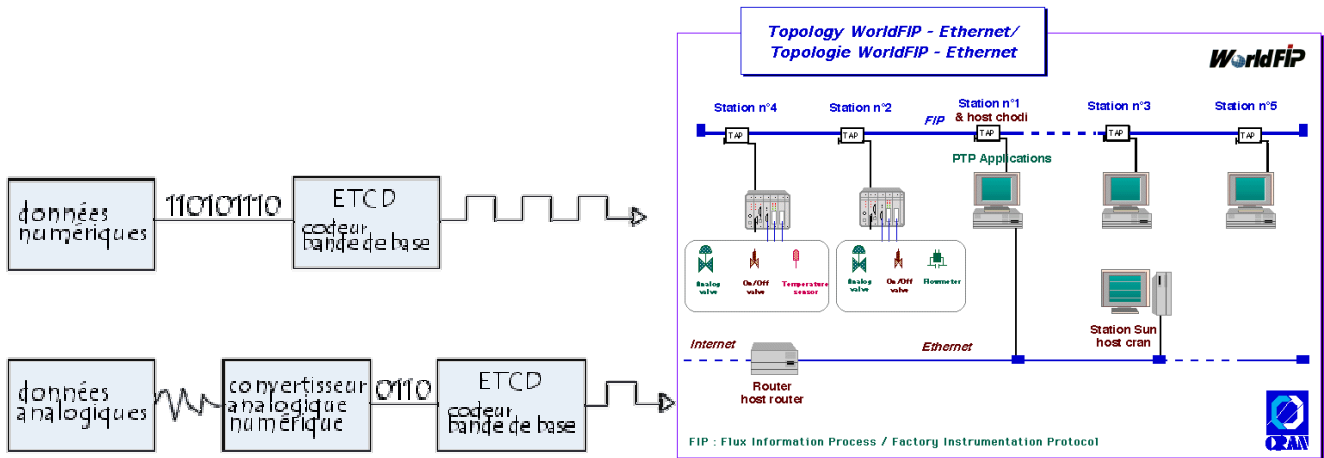


CODAGE ET TRANSMISSION DE L'INFORMATION NUMERIQUE



SOMMAIRE

1. HISTORIQUE	2
2. ORGANISATION D'UNE TRANSMISSION NUMERIQUE.....	3
3. CODAGE D'UNE INFORMATION NUMERIQUE	4
4. FORMAT DE TRANSMISSION (SERIE OU PARALLELE)	4
5. MODES DE TRANSMISSION (SYNCHRONES OU ASYNCHRONES)	5
6. LES TECHNIQUES DE TRANSMISSION	7
7. LE MULTIPLEXAGE	9
8. LES ERREURS DE TRANSMISSION ET LES CODES DETECTEURS D'ERREURS.....	10

1. HISTORIQUE

De tout temps, l'homme a eu besoin de communiquer. En France en 776, à Roncevaux, utilisation du cor, en Amérique, les signaux de fumée, en Afrique et Océanie, le tam-tam.



Le télégraphe de CHAPPE : En 1794 Claude Chappe construit un télégraphe entre Paris et Lille. Il est alors possible de transmettre un message sur une longue distance. Plus tard la ligne passera à Dijon.

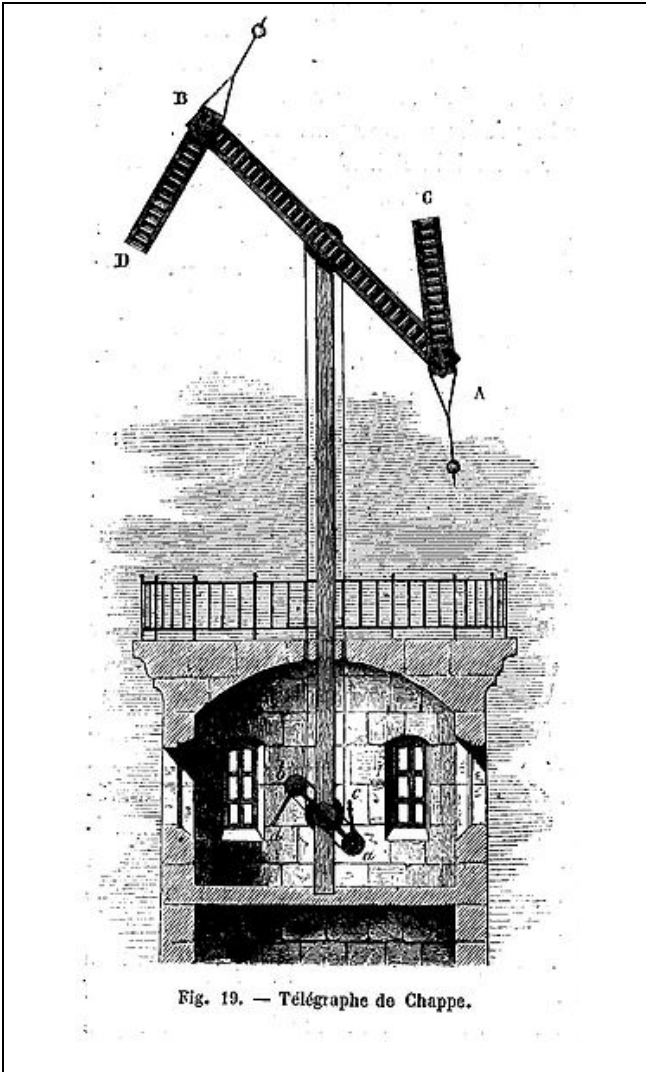


Fig. 19. — Télégraphe de Chappe.

Grille des signaux de correspondance

1	26	47	72
2	27	48	73
3	28	49	74
4	29	50	75
5	30	51	76
6	31	52	77
7	32	53	78
8	33	54	79
9	34	55	80
10	35	56	81
11	36	57	82
12	37	58	83
13	38	59	84
14	39	60	85
15	40	61	86
16	41	62	87
17	42	63	88
18	43	64	89
19	44	65	90
20	45	66	91
21	46	67	92
22		68	
23		69	
24		70	
25		71	

Le message écrit en clair était confié au directeur d'une extrémité d'une ligne. En utilisant un *code* formé de milliers de mots, expressions et phrases (ce qui accélérât la transmission), il traduisait chaque élément en une paire de deux valeurs qu'il notait sous forme de signaux télégraphiques : il codait le message.



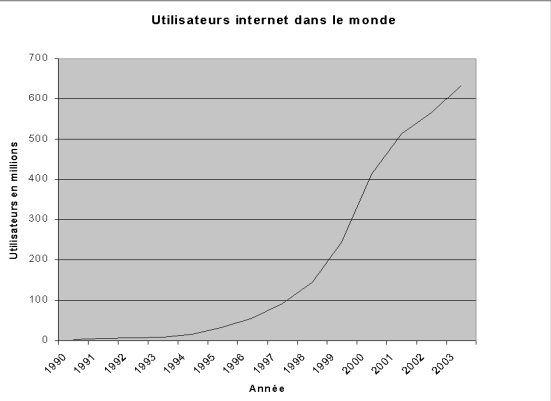
Seuls les directeurs en début et fin de ligne avaient un exemplaire du livre de *code télégraphique*. Cela permettait de transmettre des messages en toute confidentialité.

Le **MORSE** naît en 1832 grâce à Samuel Morse.

Graham Bell en 1876, invente le **téléphone**. La voix peut être transmise. Les vibrations provoquent une variation de l'intensité électrique qui fait vibrer la membrane de l'écouteur.

La communication à distance est désormais possible grâce à une simple paire de fils de cuivre et à une source d'énergie.

Quelques **REVOLUTIONS DU XX^{ème} SIECLE**

<p>La Fibre optique :</p> <p>Le principe de la fibre optique a été développé dans les années 1970.</p> <p>Aujourd'hui, il est possible de transmettre à n'importe quelle distance des milliers de conversations téléphonique en simultanée sur une fibre optique.</p> <p>La fibre optique offre un débit d'informations nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et supporte un réseau « large bande » par lequel peuvent transiter aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques.</p>	<p>Exemple : Débit record de 2,56 Tb/s soit 320 Go/s. L'équivalent d'une soixantaine de DVD transférée en une seconde sur une fibre de 160 kilomètres de long...</p> 																														
<p>Minitel...</p> <p>Le mariage de l'informatique et des télécommunications se fera dans les années 60. On assiste en France à la naissance du Minitel.</p>																															
<p>INTERNET (le réseau des réseaux) :</p> <p>Son architecture technique qui repose sur une hiérarchie de réseaux lui vaut le surnom de réseau des réseaux. Il utilise le protocole de communication IP (<i>internet protocol</i>).</p> <p>L'accès à Internet peut être obtenu grâce à un fournisseur d'accès à Internet via divers moyens de télécommunication : soit filaire par le réseau téléphonique commuté (bas débit et ADSL), ou fibre optique, soit sans fil (WiMAX, Internet par satellite, 3G+...).</p> <p>On estime à 1,3 milliard le nombre d'internautes en 2010. La croissance est exponentielle.</p>	<p>Utilisateurs internet dans le monde</p>  <table border="1"> <caption>Utilisateurs internet dans le monde (en millions)</caption> <thead> <tr> <th>Année</th> <th>Utilisateurs (millions)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1990</td><td>0</td></tr> <tr><td>1991</td><td>0</td></tr> <tr><td>1992</td><td>0</td></tr> <tr><td>1993</td><td>0</td></tr> <tr><td>1994</td><td>0</td></tr> <tr><td>1995</td><td>0</td></tr> <tr><td>1996</td><td>0</td></tr> <tr><td>1997</td><td>0</td></tr> <tr><td>1998</td><td>10</td></tr> <tr><td>1999</td><td>20</td></tr> <tr><td>2000</td><td>50</td></tr> <tr><td>2001</td><td>100</td></tr> <tr><td>2002</td><td>200</td></tr> <tr><td>2003</td><td>400</td></tr> </tbody> </table>	Année	Utilisateurs (millions)	1990	0	1991	0	1992	0	1993	0	1994	0	1995	0	1996	0	1997	0	1998	10	1999	20	2000	50	2001	100	2002	200	2003	400
Année	Utilisateurs (millions)																														
1990	0																														
1991	0																														
1992	0																														
1993	0																														
1994	0																														
1995	0																														
1996	0																														
1997	0																														
1998	10																														
1999	20																														
2000	50																														
2001	100																														
2002	200																														
2003	400																														

2. ORGANISATION D'UNE TRANSMISSION NUMERIQUE

Schéma synoptique d'un système de transmission numérique est donné limité aux fonctions de base.

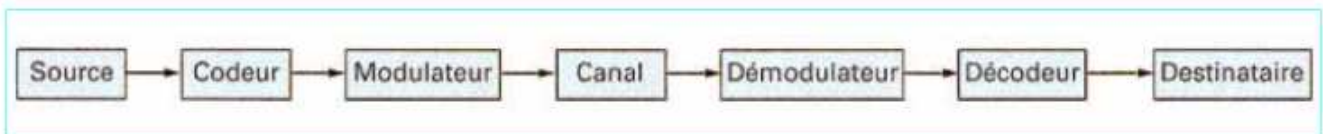


Figure A - Schéma simplifié d'un système de transmission numérique

Les signaux transportés peuvent être soit directement d'origine numérique (données), soit d'origine analogique (parole, image...) mais convertis sous une forme numérique.

La **source** émet un message numérique sous la forme d'une suite d'éléments binaires.

Le **codeur** englobe en général deux fonctions fondamentalement différentes. La première, appelée **codage en ligne**, associe un support physique adéquat aux éléments abstraits émis par la source. La seconde, appelée **codage correcteur d'erreurs**, consiste à introduire de la redondance dans le signal émis en vue de le protéger contre le bruit et les perturbateurs présents sur le canal de transmission.

La **modulation** a pour rôle d'adapter le spectre du signal au **canal** (milieu physique) sur lequel il sera émis.

Le **canal** est le support physique comme le câble, la fibre optique ou encore l'espace (signal radioélectrique).

Enfin, du côté récepteur, les fonctions de **démodulation** et de **décodage** sont les inverses respectifs des fonctions de modulation et de codage situées du côté émetteur.

3. CODAGE D'UNE INFORMATION NUMERIQUE

L'information que l'on désire transmettre doit être adaptée au mode de fonctionnement des éléments utilisés (ordinateur, automate, console de jeu...). Il faut donc la coder.

3.1) Code ASCII sur 7 bits (American Standard Code for Information Interchange).

Créé en 1960, le code ASCII de base représentait les caractères sur 7 bits (c'est-à-dire 128 caractères possibles, de 0 à 127 ou 00 à 7F en hexadécimal.

- Les codes 0 à 31 ne sont pas des caractères. On les appelle *caractères de contrôle* car ils permettent de faire des actions telles que :
 - retour à la ligne (CR)
 - Bip sonore (BEL)
 - Les codes 65 à 90 représentent les majuscules
 - Les codes 97 à 122 représentent les minuscules
- (Il suffit de modifier le 6^{ème} bit pour passer de majuscules à minuscules, c'est-à-dire ajouter 32 au code ASCII en base décimale.).

Binaire				Hexadécimal									
				b6	0	0	0	0	1	1	1	1	
				b5	0	0	1	1	0	0	1	1	
				b4	0	1	0	1	0	1	0	1	
				Décimal	0	16	32	48	64	80	96	112	
b3	b2	b1	b0										
0	0	0	0	0	+0	NUL (DEL)	TC7 (DEL)	SP	0	@	P	.	p
0	0	0	1	1	+1	TC1 (SOH)	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	2	+2	TC2 (STX)	DC2	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1	3	+3	TC3 (ETX)	DC3	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0	4	+4	TC4 (EOT)	DC4	\$	4	D	T	d	t
0	1	0	1	5	+5	TC5 (ENO)	TC8 (NAK)	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	6	+6	TC6 (ACX)	TC9 (SYN)	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	7	+7	BEL (ETB)	TC10 (ETE)	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	8	+8	FE0 (BS)	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	9	+9	FE1 (HT)	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	A	+10	FE2 (LF)	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	B	+11	FE3 (VT)	ESC	+	;	K	[	k	é
1	1	0	0	C	+12	FE4 (FF)	IS4 (FS)	,	<	L	\	l	ù
1	1	0	1	D	+13	FE5 (CR)	IS3 (GS)	-	=	M	]	m	è
1	1	1	0	E	+14	SO	IS2 (RS)	.	>	N	^	n	-
1	1	1	1	F	+15	SI	IS1 (US)	/	?	O	_	o	DEL

3.2) Code « Unicode »

Le code *Unicode* est un système de codage des caractères sur 16 bits mis au point en 1991. Le système Unicode permet de représenter n'importe quel caractère par un code sur 16 bits, indépendamment de tout système d'exploitation ou langage de programmation. Il regroupe ainsi la quasi-totalité des alphabets existants (arabe, arménien, cyrillique, grec, hébreu, latin, ...). Il est compatible avec le code ASCII. L'ensemble des codes Unicode est disponible sur le site <http://www.unicode.org>.

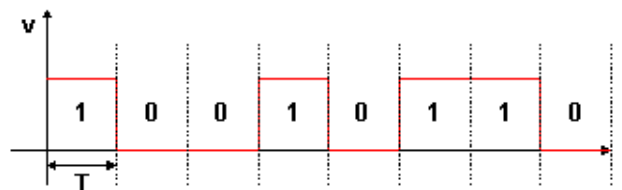
Quelques exemples

Domaine de code	Emploi
0000 007F	Latin de base, code ASCII
0600 06FF	Arabe
2200 22FF	Opérateurs mathématiques
2300 23FF	Signes techniques divers

4. FORMAT DE TRANSMISSION (SERIE OU PARALLELE)

Après codage, les informations sont donc toutes représentées sous forme de 0 ou de 1 (ou élément binaire ou bit). C'est ce que l'on appelle la **numérisation**. Une série de 8 bits est appelé **OCTET**

4.1) En série, les bits sont envoyés les uns à la suite des autres.



T : durée d'un état significatif

4.2) En parallèle, les 8 bits d'un caractère sont envoyés simultanément sur des fils distincts

Les 8 bits d'information sont émis en même temps.

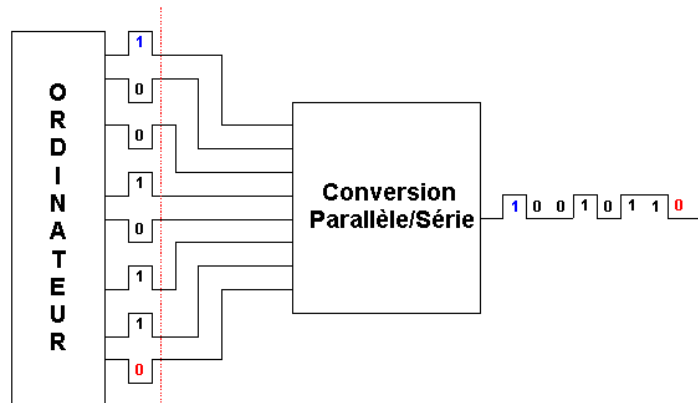
Ce type de transmission suppose autant de fils que de bits plus des liaisons de dialogue (synchronisation).

Elle est surtout utilisée pour des liaisons de courtes distances, à l'intérieur d'un ordinateur par exemple.

1 octet

4.2) Conversion de parallèle en série (sérialisation)

Si l'information est sous forme parallèle (sortie d'un CAN par exemple), on peut la transmettre sur un seul fil. Cette opération, appelée **sérialisation**, est réalisée par des registres à décalage.



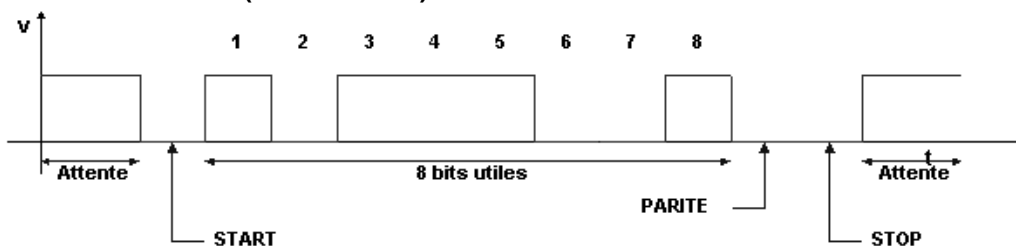
La transmission se fait en commençant par le bit de poids le plus faible, et le registre est décalé de 1 bit vers la droite, au rythme d'un signal d'horloge. A la réception, le chargement se fait de façon inverse pour restituer les informations sous forme parallèle.

5. MODES DE TRANSMISSION (SYNCHRONES OU ASYNCHRONES)

En télétransmission, les équipements qui sont aux extrémités d'une liaison ne peuvent échanger des informations que s'ils utilisent les mêmes règles. On dit aussi **le même mode**.

5.1) MODES ASYNCHRONES (BIT DE START / BIT DE STOP)

Les modes asynchrones sont simples, mais nécessitent de définir un ordre de début de transmission ou **bit de START** et de fin de transmission (**BIT DE STOP**). Le schéma est le suivant :



Les BIT DE START et STOP sont des bits de service, il ne représente pas une information utile.

Vitesse de transmission en bit par seconde (b/s ou bps)

CI12 CODAGE ET TRANSMISSION DE L'INFORMATION NUMERIQUE

Il faut convenir d'une nouvelle règle, la vitesse de transmission des bits. Une transmission 3200 bits par seconde (notée 3200b/s ou 3200bps), envoie 1 bit tous les 1/3000ème de seconde.

Les équipements doivent bien sûr fonctionner à la même vitesse, sinon l'émetteur enverra par exemple ses bits plus rapidement que le récepteur ne pourra les lire.

La synchronisation est déclenchée par le bit de start et maintenue jusqu'à la lecture du bit de stop. Après ce bit, il y a désynchronisation jusqu'à l'arrivée du caractère suivant.

5.2 MODES SYNCHRONES (SIGNAL D'HORLOGE)

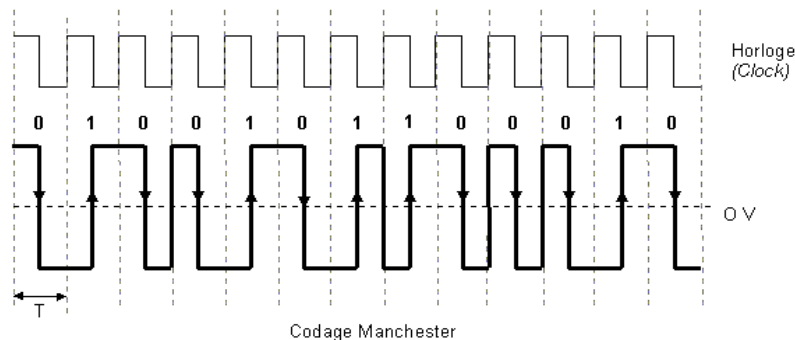
Dans le mode synchrone, **même en l'absence de transmission, le récepteur est toujours calé sur l'émetteur en recevant en permanence l'information d'horloge.**

On dispose de deux moyens pour y parvenir :

- *Transporter* le signal d'horloge sur un support séparé reliant l'émetteur et le récepteur (technique utilisée sur des courtes distances).
- *Reconstituer le signal d'horloge à partir du signal reçu.* Cette solution est très utilisée pour résoudre le problème de synchronisation lorsque l'émetteur et le récepteur sont séparés par de longues distances.

Le **codage Manchester** fait partir de cette seconde catégorie.

- Chacun des fronts donne le top d'horloge (indépendamment de son sens montant ou descendant).
- Le sens du front (montant ou descendant) donne la valeur du bit.



Les tops d'horloge sont donc présents même si les bits d'information restent en permanence à 0 ou à 1.

Il existe 2 modes synchrones :

- **En mode caractère**, l'information utile est transmise sous la forme **d'un nombre entier d'octets**.
- **En mode bit**, l'information est transmise sous forme d'un **nombre quelconque de bits** (trames de bits).

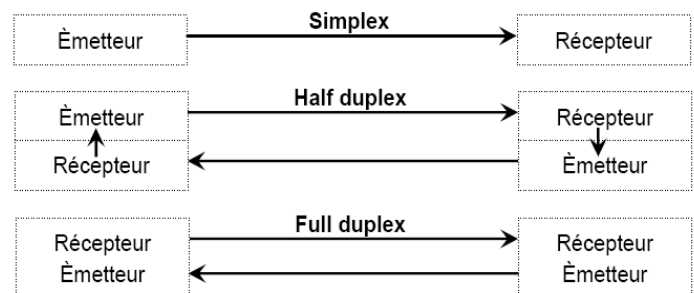
5.3 COMPARAISON DES MODES SYNCHRONE ET ASYNCHRONE

- Le **mode asynchrone** est simple et peu coûteux mais il utilise mal la liaison car il y a beaucoup de bits de service par rapport au nombre de bits utiles.
- Le **mode synchrone** est plus complexe et plus coûteux mais il utilise mieux la liaison; il est pratiqué pour des transmissions de grande vitesse.

5.4) SENS DES LIAISONS (SIMPLEX, DUPLEX...)

Pour transmission entre deux points, la plupart du temps, il faut traiter un dialogue et non un monologue. Il faut donc une convention pour fixer le sens de la transmission.

- Dans un seul sens : **liaison simplex**.
- Dans les 2 sens non simultanément : **liaison half duplex**.
- Simultanément dans les deux sens : **liaison full duplex ou duplex intégral**.



6. LES TECHNIQUES DE TRANSMISSION

L'information étant codée (ex code ASCII), le mode de synchronisation étant défini (mode synchrone ou asynchrone), il faut définir le mode de transmission des signaux dans le canal ou liaison (câble, espace, fibre optique...).

L'objectif est d'exploiter au mieux le support et sa bande passante.

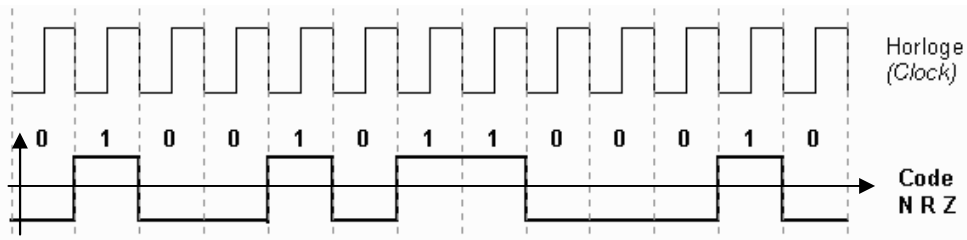
6.1) LA MODULATION EN BANDE DE BASE

La méthode la plus simple quand on dispose d'un support matériel (fil ou fibre) consiste à émettre des signaux (courants ou tensions) qui reflètent directement les bits des caractères à émettre. Les signaux sont émis en ligne sous forme d'impulsions électriques carrées. *En téléphonie classique, la modulation de la voie est directement transmise sous forme d'un signal électrique analogique.*

Cette méthode est appelée bande de base.

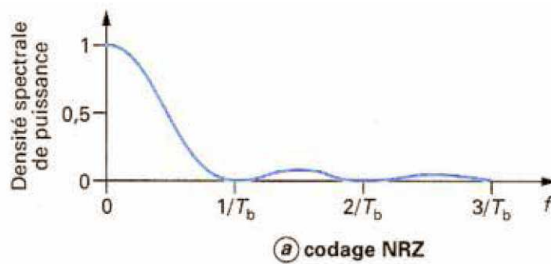
Exemple 1 : Le code NRZ (*Non Return to Zero, le signal ne comportant pas de transition "retour vers zéro"*)

Dans ce code, on utilise des impulsions positives (1 logique) ou négatives (0 logique) en tension ou courant.



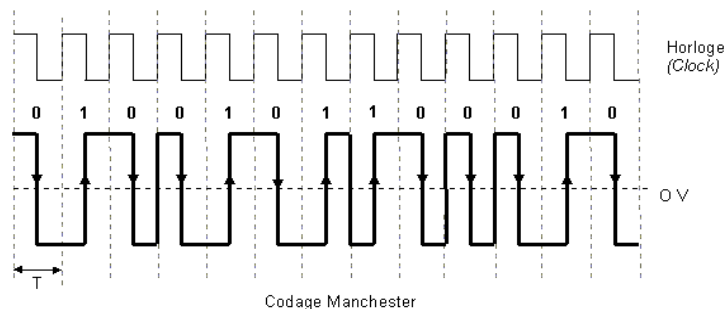
L'inconvénient majeure est de ne pas retrouver l'information d'horloge coté réception pour des suites de 0 ou 1. Il faut donc prévoir un moyen de synchronisation.

Le spectre de ce codage est essentiellement concentré à $f < 1/T_b$. Il est étroit et sa composante continue est non nulle (valeur moyenne du signal émis). Cette dernière est difficilement transmise par certains composants d'un réseau.



Exemple 2 : Codage Manchester (ou codage Bi-phase) :

Le codage Manchester est obtenu par le **mélange** (opération logique OU-exclusif) d'un signal **horloge** et d'un signal **NRZ**. De cette manière on peut, par exemple, matérialiser un "1" logique par une transition **montante** en milieu de période bit (T) et le "0" logique par une transition descendante.

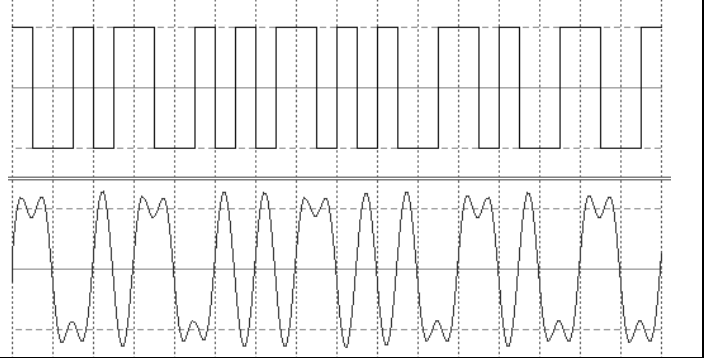


Il permet de transmettre l'information d'horloge coté réception par la position des fronts du signal reçu, et sa valeur moyenne est nulle. Le spectre de ce codage est plus large, par exemple pour un débit de 2400 bits/s il faudrait une bande passante de $1,5 \times 2400 \text{ Hz} = 3600 \text{ Hz}$.

Toutes les transmissions peuvent donc circuler en bande de base directement sur les lignes et c'est la solution la moins coûteuse.

Néanmoins, **une ligne se comporte comme un filtre passe bas**, la dégradation des signaux est rapide et importante, suivant la distance.

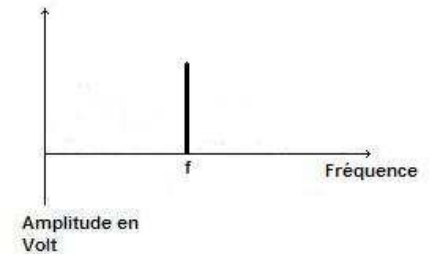
La courbe ci-contre montre l'allure du signal Manchester après passage dans une liaison ayant une fréquence de coupure de $1.6 \times 1/T_b$.



Pour des liaisons longue distance (et dans l'espace), les signaux ne sont pas transmis en bande de base; ils sont transformés en signaux sinusoïdaux. **On utilise donc une porteuse.**

6.2) LA MODULATION PAR PORTEUSE

Un signal sinusoïdal est à spectre étroit, est plus facilement transportable sur une ligne et se déforme beaucoup moins que des signaux carrés de spectres plus encombrants.



Un signal sinusoïdal $v(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ est caractérisé par :

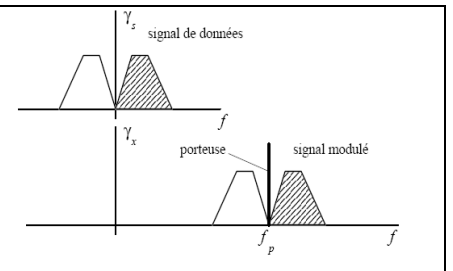
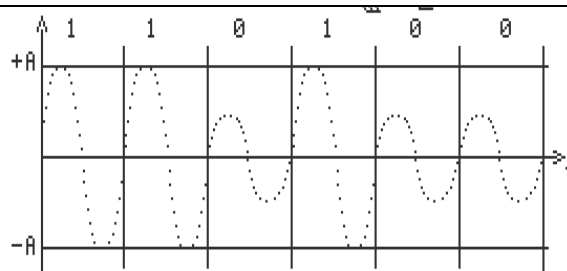
- son amplitude A ,
- sa fréquence $f = \omega/2\pi$
- sa phase φ .

La modulation consiste à faire varier dans le temps l'une (voire 2) des trois caractéristiques du signal sinusoïdal. Il y a donc 3 types de modulation :

- modulation d'amplitude
- modulation de fréquence
- modulation de phase

6.2.1) Modulation d'amplitude.

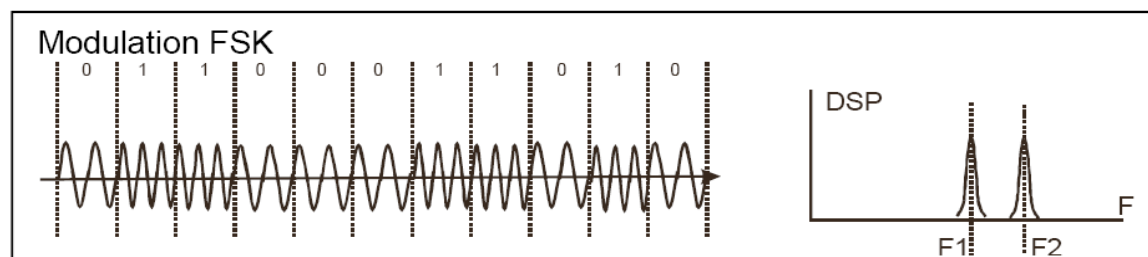
La distinction entre le 0 et le 1 est obtenue par une différence d'amplitude du signal.



La modulation d'amplitude est simple, mais elle est très sensible aux parasites et imperfections des lignes.

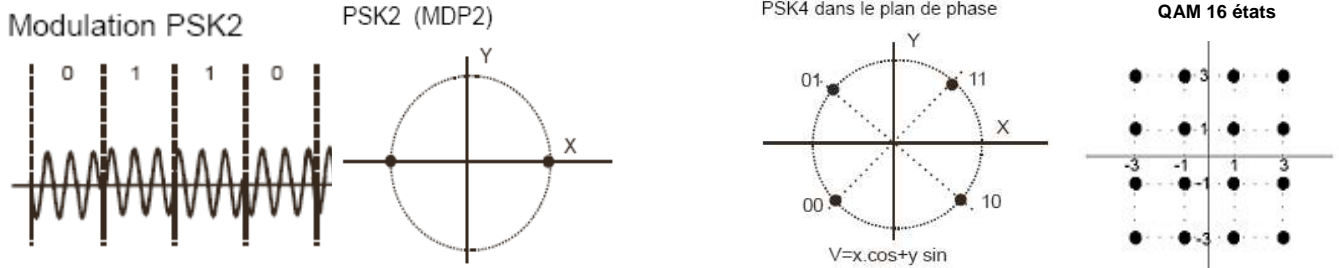
6.2.2) Modulation de fréquence ou par saut de fréquence FSK (Fréquence Shift Keying).

L'émetteur change la fréquence d'envoi des signaux suivant que l'élément binaire à émettre est 0 ou 1.



6.2.3) Modulation de phase ou par saut de phase PSK (Phase-Shift Keying).

Dans la modulation de phase à 2 états (PSK2), la distinction entre 0 et 1 est effectuée par un signal qui commence à des endroits différents de la sinusoïde.



Si on choisit 4 états de phase (PSK4), chaque état transporte donc l'information d'un mot de 2 bits. Il est représentable par un point parmi 4 dans le plan complexe avec codage Gray. Les 4 états de phase peuvent être $k\pi/2$ ($k=0 1 2 3$).

On trouve des modulations PSK allant jusqu'à 8, au delà le taux d'erreur est trop élevé.

TNT (télévision numérique terrestre) et modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) :

En combinant modulation de phase en quadrature, et modulation d'amplitude (modulation QAM) on augmente le débit de la liaison. En France, la télévision numérique terrestre TNT utilise le 64 QAM.

Un des 64 points dans le plan complexe possède un angle et un module, il représente à lui seul un code de $n = 6$ bits, puisque $2^6 = 64$. Le débit est donc très élevé.

7. LE MULTIPLEXAGE

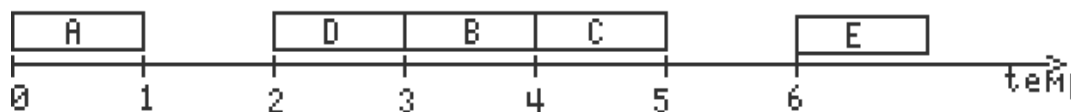
Multiplexer consiste à partager le même support de données entre plusieurs utilisateurs.

7.1) Le multiplexage temporel TDM (TDM Temporel Division Multiplexing).

Le multiplexage temporel ou TDM partage dans le temps l'utilisation d'une ligne. Les fréquences sont identiques et **chaque utilisateur émettra à son tour**.

C'est équivalent à un commutateur qui, réglé par une horloge connecterait l'utilisateur à la ligne.

Pour 3 équipements (E1, E2 et E3) on alloue des quanta de temps égaux à chaque équipement.



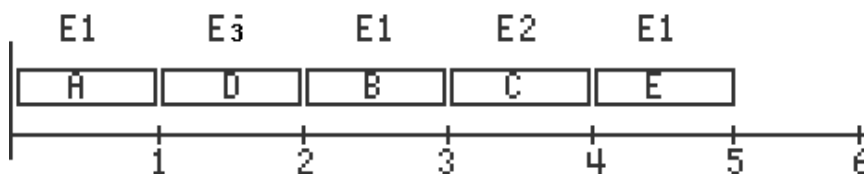
Même si un équipement n'a rien à transmettre, son quantum de temps lui reste acquis. On peut dire qu'il y a synchronisation entre les équipements et le multiplexeur. **Ce type de multiplexage est dit synchrone.**

Le multiplexeur synchrone travaille comme un commutateur piloté par une horloge.

La **période de scrutation** correspond au temps de chaque quantum multiplié par le nombre d'équipements.

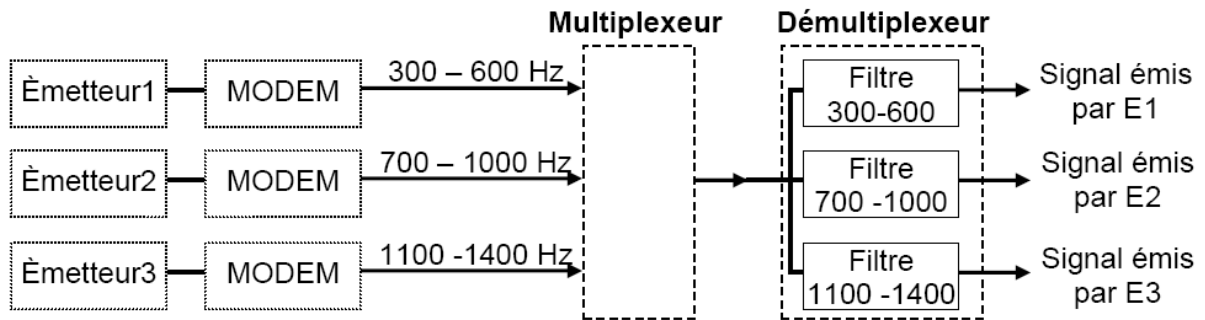
Dans le **multiplexage temporel asynchrone ou statistique**, les quantum de temps sont également alloués mais un émetteur n'ayant rien à transmettre laisse son tour au suivant.

Il n'y a pas de perte de temps mais des bits supplémentaires doivent préciser à qui est alloué chacun des quantum.



7.2) Le multiplexage fréquentiel FDM (Frequency Division Multiplexing)

Une ligne de données a une bande passante de 300 à 1400 Hz. Le principe est de partager cette bande entre les différents terminaux. **Chacun utilisera une fréquence différente.**



Pour éviter le mélange, on assure 100 Hz de bande de garde. Cette technique est simple mais présente l'inconvénient d'être coûteuse, peu efficace et limitée en vitesse.

C'est pourquoi elle est utilisée pour de courtes distances. Le découpage des fréquences se fait par des filtres, plus précisément des filtres passe-bande qui ont pour but de découper le spectre du signal de chaque côté.

8. LES ERREURS DE TRANSMISSION ET LES CODES DETECTEURS D'ERREURS

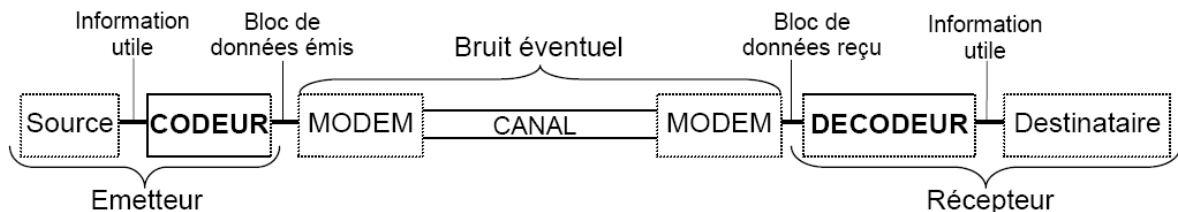
Entre les deux extrémités d'une liaison, la présence des imperfections du support de transmission (affaiblissement, déphasage), et la présence de bruit électromagnétique, perturbent de façon aléatoire les données transmises.

Ceci se traduit au niveau de l'information reçue, soit par des disparitions, soit par des adjonctions, soit par des inversions ('0 en 1' ou '1 en 0').

La vérification systématique par répétition ou écho, la répétition sur demande, le contrôle de parité (somme paire ou impaire des bits des octets), les CRC (Cyclic Redundancy Check) constituent des moyens classiques utilisés en détection d'erreur.

Des solutions plus fiables en transmission ont permis d'alléger les processus de détection d'erreur. Aujourd'hui, les aspects de sécurité soulèvent les points d'authentification, de non répudiation, de non intrusion, d'intégrité, de chiffrement et de sécurité des paiements.

La technique adoptée dans la plupart des systèmes de détection d'erreurs, consiste à ajouter des bits supplémentaires (dit redondants) à chaque bloc de données avant de le transmettre sur le support de transmission.

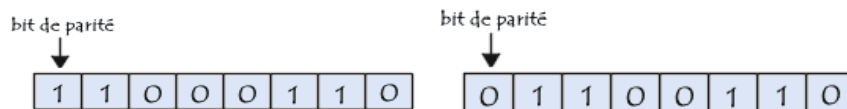


Ces techniques utilisent un codeur à l'émission et un décodeur à la réception, comme le montre la figure ci-dessus.

Contrôle de parité

Il existe deux types de contrôle de parité (pair et impair) et il est indispensable que l'émetteur et le récepteur s'entendent sur le type à utiliser pour l'ensemble de la transmission.

Parité paire : Lorsque le nombre de '1' dans les données envoyées est impaire, le bit de parité (bit de contrôle) est placé à '1' de manière à ce que le nombre total de '1' soit pair y compris le bit de parité. Dans le cas contraire, le bit de parité est placé à '0'.



Parité impaire : Elle correspond au système inverse.

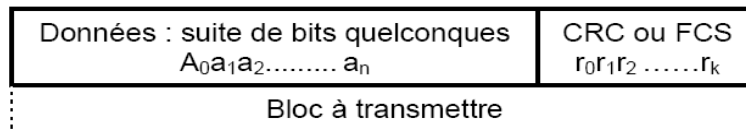
CI12 CODAGE ET TRANSMISSION DE L'INFORMATION NUMERIQUE

Quelle que soit la parité choisie, si un bit est modifié au cours de la transmission, les calculs de parité effectués par l'émetteur et par le récepteur différeront.

Cette méthode est peu performante, le contrôle fonctionne correctement seulement si le nombre de bits modifiés est impair.

Contrôle par redondance cyclique (CRC)

Pour vérifier la précision d'une transmission, les réseaux recourent en général à une méthode de détection d'erreurs appelée CRC (Cyclic Redundancy Check ou Contrôle de Redondance Cyclique). Cette méthode permet de détecter plus d'erreurs que le contrôle de parité. Elle nécessite l'ajout de bits redondants r_0 à r_k , calculés à partir des données a_0 à a_n . Les polynômes CRC ou FCS obéissent à des normes suivant les protocoles de transmission.



Notion de taux d'erreurs

Dans la pratique, on mesure la qualité d'une liaison numérique (qualité de transmission) par le taux d'erreur appelée BER (Bit Error Rate), il est donné par le nombre de bits erronées rapporté au nombre total de bits transmis.

$$T_e = \frac{\text{nombre de bits erronées}}{\text{nombre de bits transmis}}$$

Le taux d'erreurs varie en pratique de 10^{-4} (ligne téléphonique) à 10^{-9} (réseaux locaux).

Le taux d'erreurs est devenu très satisfaisant descendant souvent sous la barre des 10^{-9} et cela provient de techniques de codage plus performantes et de l'utilisation de support de transmission de très bonnes qualités comme la fibre optique.

9. EXERCICES DE COMPREHENSION

Calcul des débits nécessaire en bits/s pour les liaisons numériques.

9.1 Codage PCM de la voix : G.711

Utilisation en téléphonie avec une fréquence d'échantillonnage $f_E = 8$ kHz et une amplitude codées sur 8 bits.

- Déterminer la période d'échantillonnage T_E et le nombre de combinaisons N de codage d'un échantillon.
- Indiquer la fréquence théorique maxi du signal transmissible avec le théorème de Shannon puis en retenant coefficient de 4 entre la fréquence maximale du signal transmis et f_E .
- Calculer le débit nécessaire en bits/s et en Byte/s ou octet/s
- Calculer la taille de la mémoire de stockage en koctets* pour une conversation de 1min.

**La Norme définit un 1ko = 1000 octets mais on utilise encore 1ko = $2^{10} = 1024$*

9.2 Codage qualité CD

C'est une utilisation musicale avec un codage linéaire qui respecte la musique en amplitude et fréquence avec un codage 2 voies ou stéréo.

L'échantillonnage se fait à $f_E = 44,1$ kHz par voie, avec une amplitude codée sur 16 bits.

On estime la bande passante auditive humaine comprise entre 10 et 20 000 Hz

- Le théorème de Shannon est il satisfait ?
- Calculer le débit nécessaire en bits/s et en Byte/s ou octet/s, lors de la lecture du CD,
- Calculer la taille de la mémoire de stockage en koctets pour un enregistrement de 55 min.

9.3 TVHD TELEVISION HAUTE DEFINITION

En THD l'image est de 1920x1080 pixels avec un rafraichissement théorique de 60 images par seconde.

Chaque pixel nécessite un codage en couleur RVB et luminance sur 16 bits.

Calculer le débit théorique maxi si :

- chaque pixel est rafraichi à chaque image,
- le taux de compression (assimilation d'un certain nombre de pixels ou surface élémentaire à la même valeur) est de 80%.