

Caractéristiques d'une voie de transmission

Sommaire :

[Introduction](#)

[Transmission d'une onde sinusoïdale](#)

[Signal quelconque et bande passante](#)

[Rapidité de modulation et débit binaire](#)

[Bruit et capacité](#)

[Trafic](#)

[Les supports de transmission](#)

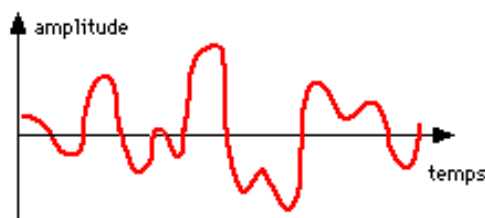
Introduction

L'information qui transite sur les réseaux de télécommunication consiste en messages de types divers : textes, sons, images fixes ou animées, vidéo, etc.... La forme que revêt cette information est commode pour une communication directe et classique (conversation, échange sur papier, ...) lorsque les interlocuteurs sont en présence. Quand ils sont distants l'un de l'autre, l'emploi des réseaux de télécommunication est une manière moderne de résoudre la transmission d'informations. Toutefois, pour les nécessités du transport, la transmission d'un message nécessite un encodage en signaux de type électrique ou électromagnétique :

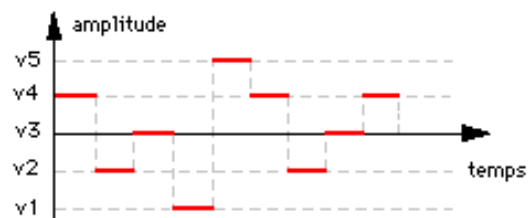


L'émetteur et le récepteur sont, de nos jours, des ordinateurs. La voie de transmission peut être une simple liaison directe entre émetteur et récepteur ou beaucoup plus complexe dans le cadre d'un ou plusieurs réseaux de télécommunications. Les signaux sont les véhicules de transport de l'information.

Les signaux peuvent être **analogiques** ou **numériques**



signaux analogiques : représentés par une grandeur physique variant de manière continue

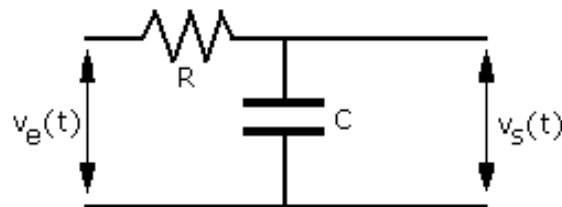


signaux numériques : représentés par une grandeur physique ne prenant qu'un certain nombre de valeurs discrètes

Exercices et tests : [QCM1](#), [QCM2](#)

Transmission d'une onde sinusoïdale

L'onde sinusoïdale, infinie ou réduite à une période, est le plus simple des signaux en ce sens qu'elle est facilement générée, mais son intérêt réside surtout dans le fait suivant : n'importe quel signal peut être exprimé à partir d'ondes sinusoïdales. Ces faits justifient une étude particulière qui va permettre de définir quelques propriétés des voies de transmission. Considérons donc une voie de transmission, supposée point à point sans interruption ou intermédiaire et composée de deux fils métalliques. Un tronçon de voie peut alors être considérée comme un quadripôle (nous négligeons ici les effets d'induction) composé d'une résistance R et d'une capacité C .



Le signal sinusoïdal appliqué à l'entrée du quadripôle (tension entre les deux fils) est :

$$v_e(t) = V_e \sin \omega t$$

avec V_e : amplitude maximale ; ω : pulsation ; $f = \omega/2\pi$: fréquence ; $T = 2\pi/\omega = 1/f$: période.

Le signal de sortie est

$$v_s(t) = V_s \sin (\omega t + \Phi)$$

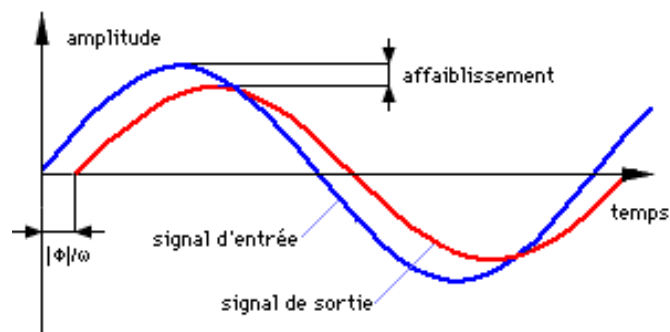
avec : Φ : déphasage.

La tension de "sortie" dépend de la tension d'entrée mais aussi des propriétés physiques du quadripôle. Les lois de l'électromagnétisme montrent que, dans le cas simple considéré :

$$V_s/V_e = (1 + R^2 C^2 \omega^2)^{-1/2}$$

$$\Phi = \text{atan}(-RC \omega)$$

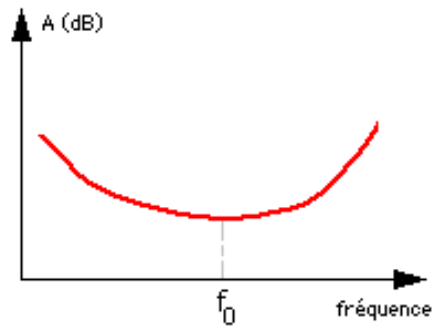
On constate donc que l'amplitude de sortie V_s est plus faible que l'amplitude d'entrée V_e : il y a **affaiblissement** et qu'il apparaît un **déphasage** Φ entre la tension d'entrée et la tension de sortie. Si l'on superpose les deux ondes (entrée et sortie) dans un diagramme temporel, on a le résultat suivant :



L'affaiblissement A (parfois appelé atténuation) du signal est le rapport des puissances P_e/P_s du signal émis, P_e , et du signal reçu, P_s . Chacune des puissances s'exprime en Watts. Toutefois, on préfère utiliser une échelle logarithmique basée sur la définition du décibel :

$$A(\omega) = 10 \log_{10}(P_e/P_s) \quad (\text{en décibels})$$

La figure ci-contre indique une courbe typique d'affaiblissement en fonction de la fréquence pour une voie de transmission quelconque. On notera que la fréquence "optimale" est f_0 et que, si l'on souhaite une faible atténuation d'un signal sinusoïdal envoyé, il faudra que celui-ci possède une fréquence proche de f_0 .



Exercices et tests : [QCM3](#), [QCM4](#), [QCM5](#), [QCM6](#)

Signal quelconque et bande passante

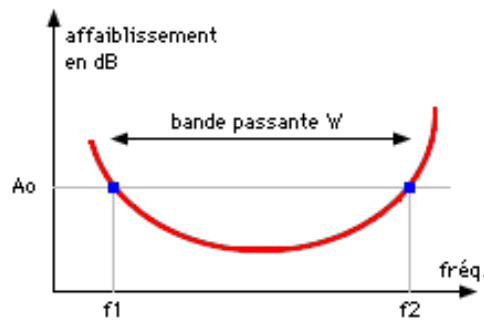
Le théorème de Fourier exprime mathématiquement le fait qu'un signal quelconque peut être considéré comme la superposition d'un nombre fini ou infini de signaux sinusoïdaux. Sans entrer dans les détails mathématiques du théorème, rappelons-en les conséquences pratiques :

- un signal quelconque $x(t)$ est décomposable en une série de signaux sinusoïdaux
- si le signal est périodique, il peut s'exprimer sous forme d'une série de Fourier ; les termes de la série sont des signaux sinusoïdaux dont les fréquences varient comme multiples d'une fréquence de base f_0
- si le signal n'est pas périodique, il peut s'exprimer sous forme d'une intégrale de Fourier (extension continue de la série de Fourier) ; les signaux sinusoïdaux constituants ont des fréquences continûment réparties

[exemple 1](#)

[exemple 2](#)

Puisqu'un signal quelconque peut être considéré comme la superposition d'une série de signaux sinusoïdaux, on peut imaginer que le transport de ce signal complexe équivaut au transport des signaux sinusoïdaux le composant. Comme leurs fréquences sont différentes, ils seront plus ou moins affaiblis et à l'arrivée, certains d'entre eux ne seront plus discernables. Si on se définit un seuil d'"audibilité" A_0 , tous les signaux sinusoïdaux qui ont une fréquence inférieure à f_1 seront considérés comme perdus ; de même ceux qui ont une fréquence supérieure à f_2 seront aussi considérés comme perdus. Seuls seront perceptibles à l'arrivée, les signaux qui ont une fréquence comprise entre f_1 et f_2 . Cette plage de fréquence est appelée la **bande passante** ou **largeur de bande** de la voie.



Autrement dit, étant donné un signal complexe quelconque, ce signal sera relativement bien transmis si ses composants sinusoïdaux ont des fréquences comprises dans la largeur de bande. On peut aussi remarquer que plus la largeur de bande est grande, meilleur est le signal à l'arrivée ce qui explique pourquoi on est très intéressé à utiliser des voies de transmission avec une grande largeur de bande.

exemple : la largeur de bande de la ligne téléphonique est 3100 Hz car les fréquences vocales sont comprises entre 300 Hz et 3400 Hz.

Exercices et tests : [Exercice 2](#), [Exercice 7](#), [QCM7](#), [QCM8](#)

Rapidité de modulation et débit binaire

Un message est constitué d'une succession de signaux (analogiques ou numériques) de durée égale Δ (moment élémentaire). Ces signaux se propagent sur une voie de transmission à la vitesse de la lumière ($3 \cdot 10^8$ m/s dans le vide, pratiquement la même valeur dans une fibre optique, $2 \cdot 10^8$ m/s environ dans des voies filaires métalliques). On peut donc déjà concevoir que la vitesse de propagation n'est pas un facteur contraignant. Le facteur contraignant est la cadence avec laquelle on "met" le signal sur la ligne. Cette cadence est définie par la **rapidité de modulation** :

$$R = 1/\Delta \text{ (en bauds).}$$

Si le message est binaire, chaque signal transporte n bits (quantité d'information). On est alors conduit à définir le **débit binaire** :

$$D = nR \text{ (en bits/s)}$$

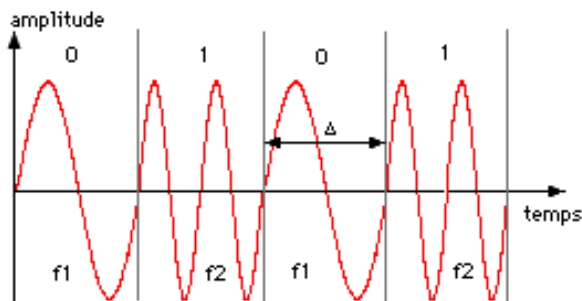
qui correspond à la cadence avec laquelle on "pose" les bits sur la ligne.

exemple : vidéotex (Minitel) : $R = 1200$ bauds et $D = 1200$ bits/s. Ceci signifie qu'un signal élémentaire transporte un seul bit. Un écran chargé a un volume approximatif de 2 Ko ; par suite, en négligeant le temps de propagation, le temps approximatif du transport est 13,3 secondes ce qui est important compte tenu du faible volume de l'information transportée.

Examinons quelques situations pour expliciter et illustrer les définitions relatives à la rapidité de modulation et au débit binaire.

exemple 1 : transmission de données numériques par des signaux analogiques ; on utilise deux types de signaux analogiques, chacun ayant une durée Δ , l'un possède une fréquence f_1 , l'autre une fréquence f_2 (double de f_1 sur le schéma) : les deux signaux sont aisément discernables. On peut convenir que le premier signal transporte un "0" et que le second transporte un "1". La cadence avec laquelle on envoie les signaux sur une voie est égale à la cadence avec laquelle on transmet les bits puisque chaque signal transporte un bit.

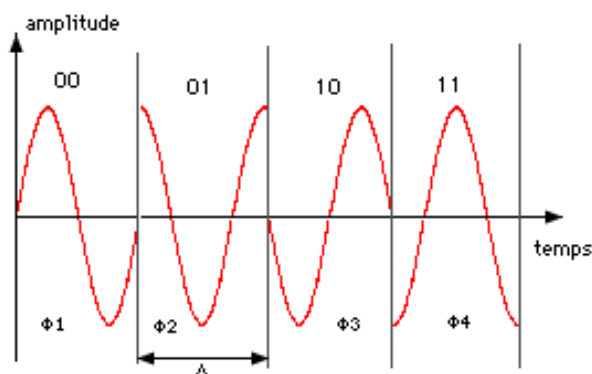
La distinction entre 0 et 1 dépend uniquement de la fréquence du signal sinusoïdal (modulation de fréquence)



$$R = 1/\Delta \quad D = R$$

exemple 2 : transmission de données numériques par des signaux analogiques ; on utilise cette fois 4 types de signaux sinusoïdaux obtenus par déphasage successif de $\pi/4$. Chacun des signaux peut transporter deux bits, soit 00, soit 01, soit 10, soit 11. Il en résulte que le débit binaire est le double de la rapidité de modulation.

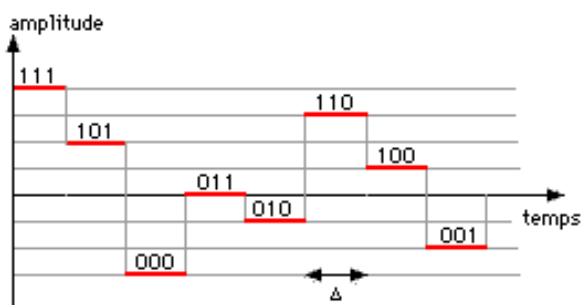
La distinction entre les signaux ne dépend que de la phase du signal sinusoïdal (modulation de phase).



$$R = 1/\Delta \quad D = 2R$$

exemple 3 : transmission de données numériques par des signaux numériques ; imaginons 8 signaux différents par leur amplitude et de même durée Δ . Chacun des signaux peut transporter 3 bits puisqu'il existe 8 combinaisons différentes de 3 bits.

La distinction entre les signaux ne dépend que de leur amplitude (modulation d'amplitude).



$$R = 1/\Delta \quad D = 3R$$

Pour une meilleure performance dans la rapidité de transmission, on cherche à améliorer le débit binaire. Puisque $D = nR$, on cherchera à augmenter le débit binaire en augmentant

- soit n , mais le bruit (voir plus loin) est un frein important (difficulté à discerner les différents niveaux)
- soit R , mais on ne peut dépasser une valeur R_{\max} .

Ce dernier résultat a été démontré par Nyquist (1928) qui établit un rapport entre la rapidité maximum et la bande passante W :

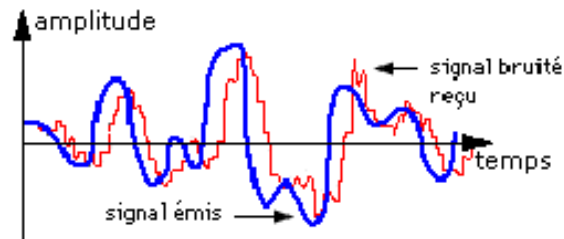
$$R_{\max} = 2W,$$

Ce résultat est théorique et, dans la pratique, $R_{\max} = 1,25W$

Exercices et tests : [Exercice 4](#), [Exercice 8](#), [QCM9](#)

Bruit et capacité

Le bruit consiste en signaux parasites qui se superposent au signal transporté et qui donnent, en définitive, un signal déformé;



On distingue 3 types de bruit :

- bruit déterministe (dépend des caractéristiques du support)
- bruit aléatoire (perturbations accidentelles)
- bruit blanc (agitation thermique des électrons)

Le bruit le plus gênant est évidemment le bruit aléatoire. Il peut modifier notablement le signal à certains moments et produire des confusions entre "0" et "1". Pour cette raison, il faut veiller à ce que la puissance du signal soit supérieure à celle du bruit. Le paramètre correspondant est le rapport "signal sur bruit" S/B défini en décibels par :

$$S/B(\text{en décibels})=10\log_{10}(P_S(\text{Watt})/P_B(\text{Watt}))$$

où P_S et P_B désignent respectivement les puissances du signal et du bruit.

Le théorème de Shannon (1948) exprime l'importance du facteur S/B : ce facteur limite la quantité n de bits transporté par chaque signal

$$n_{\max} = \log_2 \sqrt{1 + \frac{P_S}{P_B}}$$

Par suite, en utilisant le théorème de Nyquist, on en déduit le débit maximum d'une voie :

$$C = D_{\max} = R_{\max} n_{\max} = 2W \log_2 \sqrt{1 + \frac{P_S}{P_B}} = W \log_2 \left[1 + \frac{P_S}{P_B} \right]$$

C , débit maximum, est la capacité de la voie de transmission.

exemple : voie téléphonique de largeur $W = 3100$ Hz et de rapport S/B = 20 dB. En utilisant la formule précédente, on calcule la capacité de la voie téléphonique : $C = 20,6$ Kbits/s environ.

Exercices et tests : [Exercice 1](#), [Exercice 3](#), [Exercice 5](#), [Exercice 6](#), [Exercice 9](#), [Exercice 10](#), [Exercice 14](#), [QCM10](#), [QCM11](#)

Trafic

Le trafic est une notion liée à l'utilisation d'une voie de transmission. Le trafic permet de connaître le degré d'utilisation d'une voie et par conséquent de choisir une voie adaptée à l'utilisation que l'on veut en faire ; il ne servirait à rien, en effet, de posséder des lignes de transmission surdimensionnées, sinon à perdre de l'argent en abonnements.

Pour évaluer le trafic, on considère qu'une transmission ou communication est une session de durée moyenne T (en secondes) ; soit N_c le nombre moyen de sessions par heure. L'intensité du trafic est alors donnée par l'expression :

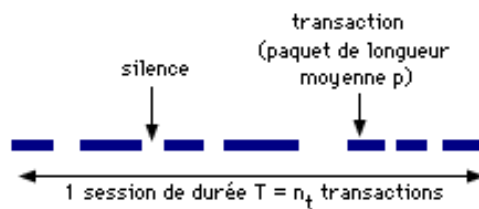
$$E = T N_c / 3600 \text{ (en Erlangs)}$$

Autrement dit, l'intensité du trafic mesure le temps d'utilisation de la voie par heure.

En fait, une analyse plus fine est quelquefois nécessaire car une session comporte un certain nombre de "silences", notamment dans les applications conversationnelles. On peut distinguer les deux cas extrêmes suivants concernant les types de sessions :

- sessions où T est pleinement utilisé (rare)
- sessions où T comprend des "silences"

Dans ce dernier cas, l'intensité du trafic ne donne pas l'occupation réelle du canal. On décompose la session en transactions de longueur moyenne p en bits, entrecoupées par des silences. Soit N_t le nombre moyen de transactions par session.



D étant le débit nominal de la voie, le débit effectif de la voie (pour cette utilisation) est : $d = \frac{N_t p}{T}$

et le taux d'occupation du canal est défini par le rapport : $\theta = \frac{d}{D}$

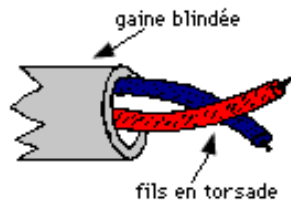
exemple : calcul scientifique à distance : l'utilisateur dialogue avec un ordinateur central ;

$p = 900$ bits, $N_t = 200$, $T = 2700$ s, $N_c = 0.8$, $D = 1200$ b/s d'où $E = 0.6$ Erlangs $\theta = 0.05$ (voie utilisée théoriquement à 60% et effectivement à 5%).

Exercices et tests : [Exercice 11](#), [Exercice 12](#), [QCM12](#), [QCM13](#)

Les supports de transmission

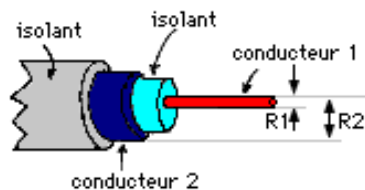
Le support le plus simple est la **paire symétrique torsadée** (UTP : Unshielded Twisted Pairs) . Il s'agit de deux conducteurs métalliques entremêlés (d'où le nom de paire torsadée). Le signal transmis correspond à la tension entre les deux fils. La paire peut se présenter emprisonnée dans une gaine blindée augmentant (comme la torsade) l'immunité contre les perturbations électromagnétiques (STP : Shielded Twisted Pairs).



Pour les paires UTP, nettement moins onéreuses que les paires STP, plusieurs catégories sont définies (de 1 à 5). Les catégories 1 et 2 correspondent à une utilisation en bande étroite, les catégories 3 à 5 (la meilleure) à une utilisation en large bande (100 MHz pour la catégorie 5).

Les deux avantages principaux de ce type de support sont son coût très bas et sa facilité d'installation. Par contre, les inconvénients sont assez nombreux : affaiblissement rapide, sensibilité aux bruits, faible largeur de bande, faible débit. Pour de faibles distances, ce support est relativement utilisé : réseaux locaux, raccordements téléphoniques, notamment.

Le **câble coaxial** constitue une amélioration de la paire torsadée. Ce support constitué de 2 conducteurs à symétrie cylindrique de même axe, l'un central de rayon R_1 , l'autre périphérique de rayon R_2 , séparés par un isolant.



Par rapport à la paire torsadée, le câble coaxial possède une immunité plus importante au bruit et permet d'obtenir des débits plus importants. Une version du câble coaxial, le CATV, est utilisé pour la télévision par câble.

La **fibres optiques** est apparue vers 1972 (invention du laser en 1960). et constitue un domaine en plein développement du fait d'un grand nombre d'avantages :

- faible encombrement : diamètre de l'ordre du 1/10 de mm (les fibres sont en fait groupées en faisceaux)
- légèreté
- largeur de bande de l'ordre du GigaHertz pour des distances inférieures à 1 km ce qui permet un multiplexage composite (TV, HiFi, Téléphone, données informatiques,...)
- faible affaiblissement : à 140 Mbits/s, l'affaiblissement est 3 dB/km pour une longueur d'onde de 0,85 micromètre (régénération tous les 15 km) et de 0,7 dB/km pour une longueur d'onde de 1,3 micromètre (régénération tous les 50 km).
- insensibilité aux parasites électromagnétiques (taux d'erreur approchant 10^{-12})
- matériau de construction simple et peu coûteux (silice pour les fibres en verre)

Les fibres optiques véhiculent des ondes électromagnétiques lumineuses ; en fait la présence d'une onde lumineuse correspond au transport d'un "1" et son absence au transport d'un "0" ; les signaux électriques sont transformés en signaux lumineux par des émetteurs ; les signaux lumineux sont transformés en impulsions électriques par des détecteurs.. Les émetteurs de lumière sont, soit des LED (Light Emitting Diode ou Diode Electro-Luminescente) classiques, soit des diodes lasers (composants plus délicats). Les détecteurs de lumière sont, soit des photodétecteurs classiques, soit des photodétecteurs à avalanche.

La propagation des signaux lumineux s'effectuent par réflexion sur une surface ; en effet, pour une longueur d'onde donnée et une inclinaison du rayon par rapport à la normale à la surface de séparation entre deux milieux, la lumière incidente se réfléchit totalement (pas de réfraction) ce qui signifie que l'on peut "emprisonner" un ou plusieurs rayons à l'intérieur d'un

milieu tubulaire. En fait, il existe actuellement trois types de fibres optiques ; le premier type est appelé monomode (un seul rayon lumineux par transmission), les deux autres sont multimodes (plusieurs rayons transmis simultanément) :

<p> fibre monomode</p> <p>les indices de réfraction sont tels que $n_2 > n_1$. Le rayon laser (longueur d'onde de 5 à 8 micromètres) est canalisé. Cette fibre permet de hauts débits mais est assez délicate à manipuler et présente des complexités de connexion.</p>	<p> fibre multimode à saut d'indice</p> <p>Les rayons lumineux se déplacent par réflexion sur la surface de séparation ($n_2 > n_1$) et mettent plus de temps en déplacement que le rayon de la fibre monomode. L'affaiblissement est de 30 dB/km pour les fibres en verre et de 100 dB/km pour les fibres en matière plastique.</p>	<p> fibre multimode à gradient d'indice</p> <p>L'indice de réfraction croît depuis centre vers les bords du tube. La réflexion est plus "douce" de ce fait.</p>

Il est possible depuis plusieurs années de multiplexer sur une fibre plusieurs messages numériques se différenciant par la longueur d'onde ; la technologie correspondante s'appelle WDM (Wavelength Division Multiplexing).

La fibre optique possède aussi quelques inconvénients qui tendent cependant à s'amenuiser avec le développement technologique :

- matériels d'extrémité délicats et coûteux
- courbures brusques à éviter
- connexion délicate de deux fibres

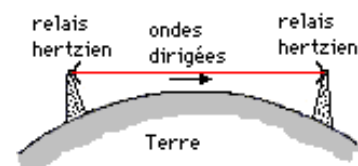
Toutefois, du fait de son grand nombre d'avantages, les réseaux utilisent de plus en plus la fibre optique.

Déjà très utilisées pour la radio et la TV, les ondes électromagnétiques permettent une transmission sans supports matériels. Cette utilisation est dépendante de la fréquence de l'onde.

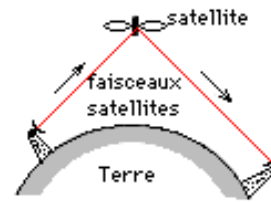
Pour les besoins de transmission, on peut classer les ondes en deux groupes : ondes non dirigées et ondes dirigées.

- ondes non dirigées : l'émission a lieu dans toutes les directions (inondation) : pas vraiment d'intérêt pour des communications personnalisées, sauf dans le cas de la téléphonie cellulaire (captage par relais). Par contre, pour la diffusion d'informations, l'utilisation est courante (radio, télévision, ...)
- ondes dirigées : les utilisations des ondes dirigées, c'est à dire émise dans une direction particulière, sont principalement les faisceaux hertziens terrestres, les transmissions satellite et les réseaux sans fils.

faisceaux hertziens terrestres. Les ondes sont émises d'un relais à l'autre en ligne droite. La courbure de la Terre implique une distance maximum entre les relais (tours hertziennes).



transmission satellite. Le problème de la courbure de la Terre est résolu avec l'utilisation des satellites de télécommunication. Les satellites sont situés sur des orbites géostationnaires et sont donc considérés comme fixes par rapport à la Terre. (distance Terre-satellite : 36 000 km)



réseaux sans fils : ces réseaux locaux (WLAN, Wireless Local Area Networks) sont apparus récemment et permettent de s'affranchir des câbles, souvent inesthétiques et surtout peu commodes. Une première catégorie de réseau utilise des ondes dont les longueurs d'ondes sont situées dans l'infra-rouge. Le principe est bien connu puisque les télécommandes infra-rouge sont maintenant d'un usage banal ; les réseaux à infra-rouge permettent un "câblage" intérieur très fonctionnel (à condition d'éviter les obstacles). À l'extérieur, l'utilisation de l'infra-rouge est plus délicate à cause des perturbations électromagnétiques. Une autre catégorie de réseau sans fils est celle des réseaux à ondes lumineuses (laser) ; le faisceau laser est en effet suffisamment fin pour être dirigé vers un capteur ; cette technique est d'ailleurs utilisée pour relier deux bâtiments voisins sans effectuer de câblage "en dur" (émetteurs et détecteurs sur les toits par exemple). Toutefois la transmission par laser peut être affectée par les conditions météorologiques ; par ailleurs elle est encore coûteuse.

Codage de l'information

Sommaire :

[Numérisation de l'information](#)

[Le texte](#)

[L'image fixe](#)

[Le son et la vidéo](#)

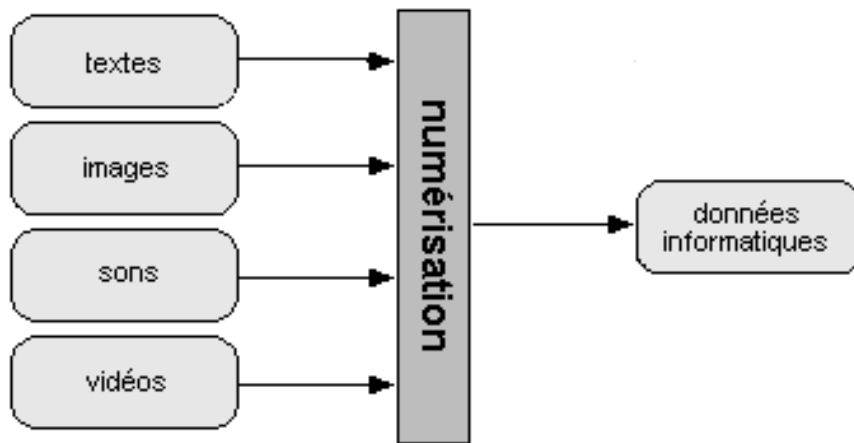
[La protection contre les erreurs](#)

Numérisation de l'information

L'information existe sous des formes diverses. Pour la manipuler et, en particulier, la transporter, on est amené à la coder.

<p>parole : système : téléphone codeur : microphone décodeur : écouteur transmission : signaux analogiques et numériques</p>	<p>image fixe : système : télécopie codeur : scanner décodeur : interpréteur de fichier transmission : signaux analogiques et numériques</p>
<p>données informatiques : système : réseaux de télé-informatique codeur : contrôleur de communication + ETCD décodeur : contrôleur de communication + ETCD transmission : signaux analogiques ou numériques</p>	<p>télévision : système : diffusion hertzienne codeur : caméra décodeur : récepteur TV + antenne transmission : signaux analogiques (et bientôt numériques)</p>

De nos jours, l'information est souvent présentée dans des documents composites, comme une page Web, où simultanément peuvent être présentés un texte, une image fixe, un clip vidéo,.... . L'information est, en effet, présentée sous forme multimédia. Chaque type d'information possède son système de codage, mais le résultat est le même : une suite de 0 et de 1. Le transport de l'information consiste alors à transmettre des bits, quelque soit la signification du train de bits transmis.



Dans les paragraphes qui suivent, on examinera comment il est possible de numériser chaque média.

Le texte

Le premier code relatif au texte est certainement le code Morse, en service bien avant l'utilisation de l'ordinateur. Et pourtant, il s'agit bien d'un code binaire qui aurait pu servir à numériser les textes, puisqu'il est composé de deux symboles seulement : le point et le trait (on pourrait aussi bien dire 0 et 1).

•—	—•••	—•—•	—••	•
A	B	C	D	E
••—•	—•	••••	••	•—
F	G	H	I	J
—•—	•—••	—	—•	—
K	L	M	N	O
•—•	—•—	•—•	•••	—
P	Q	R	S	T
••—	•••—	•—	—••	—•—
U	V	W	X	Y
		—•••		
		Z		

Malheureusement, il souffre de deux inconvénients majeurs :

- il est "pauvre" : peu de caractères peuvent être codés ;
- il utilise des combinaisons de traits et de points de longueur variable ce qui n'est pas commode, notamment pour la numérisation d'éléments ayant des probabilités d'apparition de même ordre.

Pour ces raisons, il n'a pas été utilisé pour le codage numérique de l'information (apparemment, on n'y a peut-être pas pensé !) ; toutefois, compte tenu de son utilisation passée, il méritait d'être mentionné.

Si on se fixe comme règle de trouver un code permettant de représenter numériquement chaque caractère de manière à obtenir un nombre de bits fixe, il est simple de comprendre qu'avec un code à p positions binaires on pourra représenter 2^p caractères. Effectivement, dans le passé, on a utilisé de tels codes, généralement en les définissant par des tables, le code étant divisé en poids faibles et en poids forts :



- code à 5 positions : un de ses représentants est ATI (Alphabet Télégraphique International, utilisé par le Télec)
- code à 6 positions : ISO6 (ce code très employé sur les premiers ordinateurs est aujourd'hui abandonné)
- code à 7 positions : ASCII : la panacée universelle

		poids forts							
		000	001	010	011	100	101	110	111
poids faibles	0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	\	p
	0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
	0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
	0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
	0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
	0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
	0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
	0111	BEL	ETB	,	7	G	W	g	w
	1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
	1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
	1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
	1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
	1100	FF	FS	'	<	L	C	l	ù
	1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
	1110	SO	RS	.	>	N	↑	n	≈
	1111	SI	US	/	?	O	<--	o	DEL

code ASCII

ce code fait apparaître des caractères non imprimables appelés caractères de manœuvre qui provoquent des actions sur des dispositifs informatiques ou qui transportent de l'information de service. Par exemple, FF signifie "passage à la page suivante" ce qui pour une imprimante est une information indispensable.

- code à 8 positions : ASCII étendu, EBCDIC

Le code ASCII est un code sur 7 positions ; comme les ordinateurs stockent l'information dans des mots dont la longueur est un multiple de 8 bits (octets), on complète généralement le code ASCII par un "0" en tête pour former un octet. On peut aussi utiliser ce degré de liberté supplémentaire pour définir des alphabets spéciaux ; dans ce cas, on avertit en mettant un "1" en tête à la place du "0" ce qui correspond au code ASCII étendu ; malheureusement, il y a plusieurs codes ASCII étendus car il n'y a pas encore de normalisation imposée ce qui rend difficile mais pas insurmontable le passage d'un document d'une plateforme à une autre.

Le code EBCDIC est d'emblée un code sur 8 bits ce qui permet d'obtenir 256 caractères représentables contre 128 pour le code ASCII. Il a été utilisé par IBM pour le codage de l'information sur ses machines. Il n'a pas atteint toutefois la popularité du code ASCII.

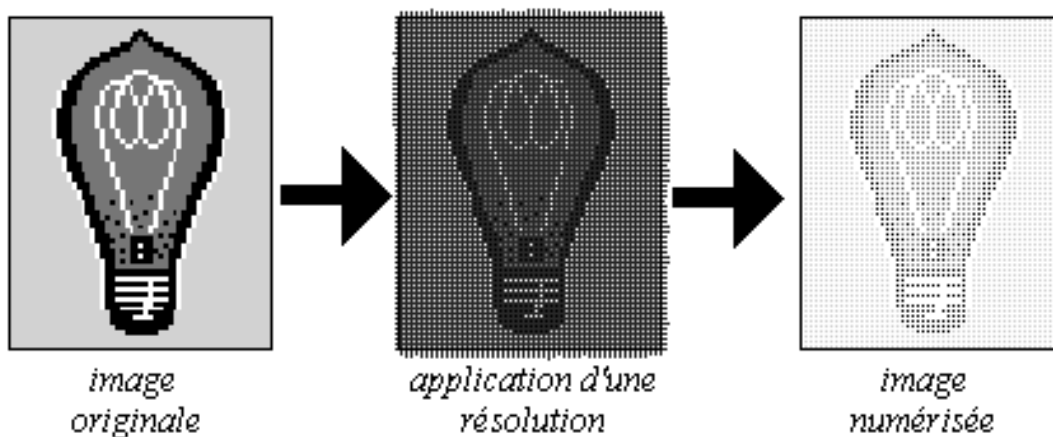
- code à 16 positions : [Unicode](#)

Ce code est récent et a été mis en oeuvre pour satisfaire tous les usagers du Web. Il incorpore presque tous les alphabets existants (Arabic, Armenian, Basic Latin, Bengali, Braille, Cherokee, etc....) ; il est compatible avec le code ASCII. Par exemple le caractère latin A est codé 0x41 en ASCII et U+0041 en Unicode ; le caractère monétaire € est codé 0x80 en ASCII étendu et U+20AC en Unicode.

Exercices et tests : [QCM14](#)

L'image fixe

L'image numérique est usuellement une image décrite en termes de lignes et chaque ligne en terme de points. Une image VGA de résolution 640x480 signifie que l'image est une matrice de 480 lignes, chaque ligne comportant 640 points ou pixels. Une image est alors représentée par un fichier donnant la liste des points ligne par ligne, colonne par colonne.



Un pixel est codé suivant la qualité de l'image :

- image en noir et blanc (image binaire) : un seul bit suffit pour coder le point (0 pour noir, 1 pour blanc) ;
- image en 256 nuances de gris : chaque point est représenté par un octet (8 bits) ;
- image en couleur : on montre que la couleur peut être exprimée comme une combinaison linéaire de trois couleurs de base, par exemple Rouge(R), Vert(V), Bleu(B). Ainsi une couleur quelconque x est exprimée comme

$$x = aR + bV + cB$$

où a, b, c sont des doses de couleurs de base. Usuellement, une bonne image correspond à des doses allant de 0 à 255. Par suite une image couleur de ce type peut être représentée par 3 matrices (une par couleur de base) dont chacune d'elle possède des éléments sur 8 bits, ce qui au total fait 24 bits par pixel.

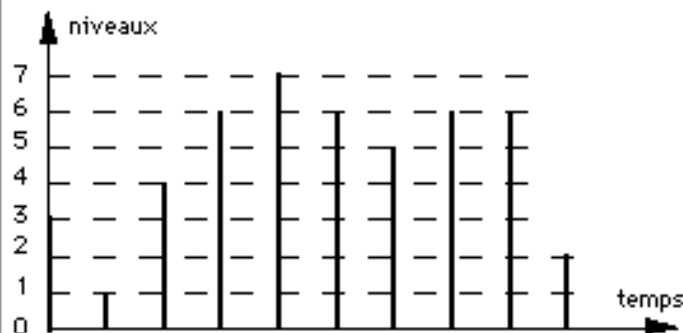
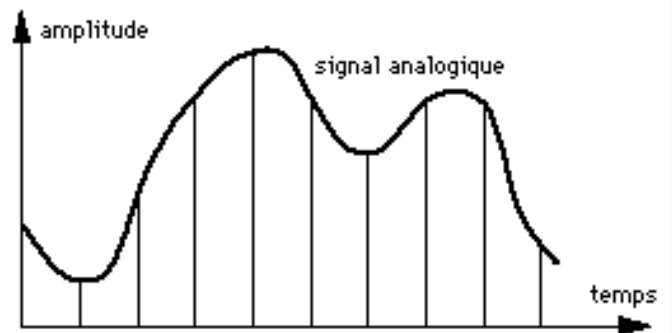
On se rend vite compte du volume atteint pour des images importantes et de bonne définition. Une image 640x480 en couleur (24 bits) occupe un volume de 921 600 octets. On est alors amené à utiliser des techniques de **compression** pour réduire la taille des fichiers d'images. Une des premières techniques est l'emploi de codes de Huffman qui emploie des mots codés de longueur variable : long pour les niveaux de couleur rares, court pour les niveaux de couleur fréquents. Ce type de codage est dit sans perte puisque la compression ne dénature pas l'information. D'autres méthodes permettent d'obtenir des résultats plus performants en terme de réduction de volume ; dans cette catégorie, dite compression avec perte, des détails peu pertinents de l'image disparaissent ; c'est notamment le cas du standard JPEG qui utilise des transformations en cosinus discrets appliquées à des sous-images.

Le son et la vidéo

Les données de type son et vidéo sont à l'origine analogique sous forme de signaux (un ou deux signaux pour le son, 3 signaux pour la vidéo-image). Ces signaux analogiques sont numérisés de la manière suivante :

1 - Échantillonnage

Le signal est échantillonné : à une fréquence donnée f, on mesure la hauteur du signal. On obtient alors une séquence de mesures.



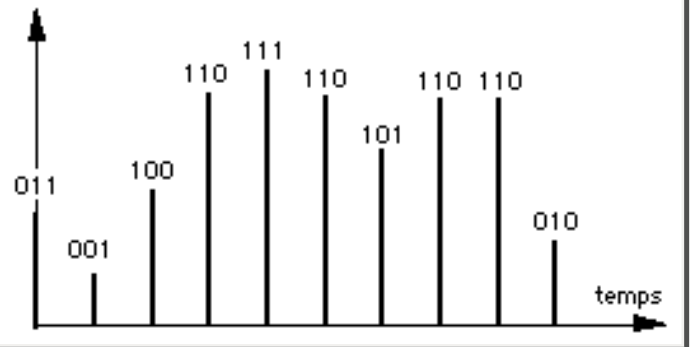
2 - Quantification

On se fixe une échelle arbitraire de valeurs (usuellement suivant une puissance de 2: 2^p valeurs) et on fait correspondre chaque mesure à une valeur dans cette échelle. on est évidemment conduit à faire des approximations ce qui correspond à un bruit dit de quantification

3- Codage

Chaque valeur est transformée en sa combinaison binaire, la suite de ces combinaisons étant placée dans un fichier.

011001100110111110101110110010.....



Le volume des fichiers obtenus après numérisation dépend cruciallement de la fréquence d'échantillonnage f et de la valeur de p (longueur du codage de chaque valeur). La fréquence d'échantillonnage, en particulier, ne peut être choisie arbitrairement. Les résultats en traitement de signal indiquent que la fréquence d'échantillonnage d'un signal doit au moins être le double de la plus grande des fréquences du signal (c'est à dire la plus grande de toutes celles des composantes sinusoïdales - développement de Fourier - composant le signal).

exemple : la parole est transmise usuellement par le réseau téléphonique. Elle correspond à des signaux analogiques dont la fréquence varie entre 300 Hz et 3400 Hz. La plus grande des fréquences est donc 3400 Hz que l'on arrondit à 4000 Hz par précaution. La fréquence d'échantillonnage doit donc être au moins de 8000 Hz. Si l'on choisit cette fréquence d'échantillonnage et si l'on décide de coder sur 8 bits chaque échantillon (cela est suffisant pour la parole), on obtient pour une seconde de parole un volume de 64 000 bits ; une transmission en temps réel de la parole nécessite donc des liaisons à un débit de 64 Kbits/s. C'est notamment le cas du RNIS français (Numéris) qui propose des canaux à 64 Kbits/s.

Comme dans le cas de l'image fixe, mais de manière extrêmement amplifiée, les volumes obtenus sont considérables et il est nécessaire, pour leur stockage comme pour leur transport, de les compresser. Les techniques diffèrent ici, suivant que l'on a un fichier son ou un fichier vidéo.

Pour le son, le système de codage explicité plus haut (codage sur n bits de chaque échantillon) est appelé PCM (Pulse Code Modulation). Il est possible de réduire le volume avec les codages suivants :

- MPCM (Delta PCM) où le codage porte sur les différences entre les valeurs successives échantillonnées,
- ADPCM (Adaptive Differential PCM) où des interpolations sont effectuées afin de diminuer le volume.

La problématique du son (et aussi de la vidéo) est une transmission en "temps réel" ; il est donc nécessaire d'utiliser des systèmes de codage ou **codecs** performants. Les codecs audio sont décrits par des normes standards de l'ITU dont voici quelques exemples :

- codec G.711 : algorithme de codage : PCM ; échantillonnage à 8 KHz, débit nécessité : 64 Kbits/s ;
- codec G.722 : algorithme de codage : ADPCM ; échantillonnage à 7 KHz ; débit nécessité : 64 Kbits/s ;
- codec G.723 : algorithmes de codage MP-MLQ (MultiPulse Maximum Likelihood Quantization) et ACELP (Algebraic Code-Excited Linear Prediction) ; échantillonnage à 8 KHz ; débit nécessité entre 5,3 et 6,3 Kbits/s ;

Pour la vidéo, divers procédés de codage sont employés dans le but de réduire le volume des fichiers. Le plus connu correspond à la série de normes MPEG. Le principe de compression s'appuie sur trois types d'images :

- les images "intra" sont des images peu compressées qui servent de repère (une image intra pour 10

- images successives) ;
- les images "prédites" sont des images obtenues par codage et compression des différences avec les images intra ou prédites précédentes (une image prédite toutes les trois images) ;
 - les images "interpolées" sont calculées comme images intermédiaires entre les précédentes.

L'utilisation de vidéos numériques MPEG nécessite la présence d'une carte de décompression dans le micro-ordinateur d'exploitation. Les principaux standards sont MPEG1 (débit nécessité : 1,5 Mbits/s), MPEG2 (débit nécessité : 4 à 10 Mbits/s), MPEG4 (débit nécessité : 64 Kbits/s à 2 Mbits/s).

Exercices et tests : [Exercice 15](#), [Exercice 21](#), [Exercice 35](#), [Exercice 40](#), [QCM21](#)

Protection contre les erreurs

Lors de la transmission d'un train de bits, des erreurs peuvent se produire, c'est à dire qu'un "1" peut être transformé en un "0" ou réciproquement.

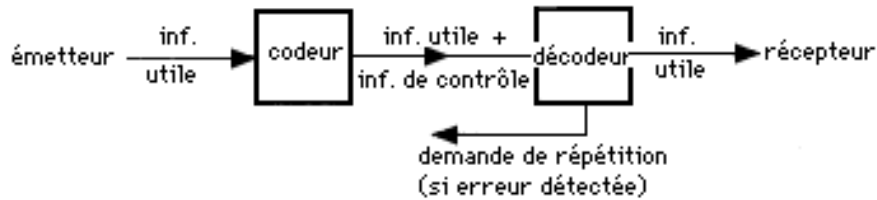
On définit le taux d'erreur par le rapport :

$$\tau = \frac{\text{nombre de bits erronés}}{\text{nombre total de bits}}$$

L'ordre de grandeur du taux d'erreur est de 10^{-5} à 10^{-8} . Suivant le type d'application, une erreur peut avoir des conséquences importantes et c'est pourquoi il convient souvent de mettre en oeuvre des dispositifs permettant de détecter les erreurs et si possible de les corriger. Il convient de noter à ce sujet que le taux d'erreur dépend de la qualité du support de transmission (notamment son immunité au bruit).

Les statistiques indiquent que 88% des erreurs proviennent d'un seul bit erroné, c'est à dire que ce bit erroné est entouré de bits corrects ; 10% des erreurs proviennent de deux bits adjacents erronés. On voit donc que le problème prioritaire à résoudre est la détection d'un seul bit erroné et, si possible, sa correction automatique.

Dans cet ordre d'idées, on utilise des codes détecteurs d'erreurs : l'information utile est encodée de manière à lui ajouter de l'information de contrôle ; le récepteur effectue le décodage et à l'examen de l'information de contrôle, considère que l'information est correcte ou erronée ; dans le dernier cas, une demande de répétition de la transmission est effectuée.



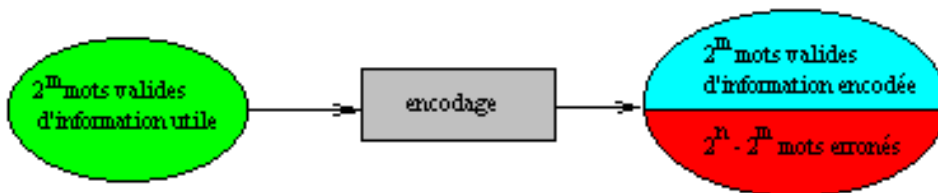
Les codes détecteurs d'erreurs se classent en 2 catégories :

- **codes en bloc** : l'information de contrôle et l'information utile forment un tout consistant. Si le bloc est composé de deux parties distinctes (information utile et information de contrôle) le code est dit **systematique**.



- **codes convolutionnels** ou **récurrents** : la détection des erreurs dans un bloc dépend des blocs précédents. Ils ne seront pas étudiés ici.

Une notion importante dans la recherche de codes détecteurs ou correcteurs est celle de distance de Hamming. Considérons une information utile constituée de mots de m bits : on peut donc construire 2^m mots distincts au total. Définissons l'information de contrôle sous la forme de r bits déduits de manière unique à partir des m bits utiles. L'information "habillée" en résultant est constituée de $n=m+r$ bits et, compte-tenu de l'unicité de la définition des bits de contrôle, on a au total 2^m mots valides de n bits. Cependant, avec n bits, on peut avoir 2^n mots différents. La différence $2^n - 2^m$ indique le nombre de mots erronés.

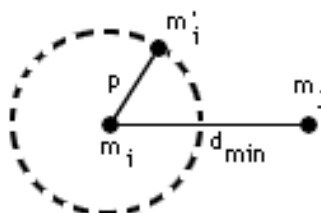


La distance de Hamming de deux mots : $d(m_1, m_2)$ est le nombre de bits différents de même rang

exemple : $m_1 = 10110010$ $m_2 = 10000110$ $d(m_1, m_2) = 3$

2 mots de code seront d'autant moins confondus que leur distance de Hamming sera plus grande ; on peut définir une distance minimum d_{\min} ; si $d(m_1, m_2) < d_{\min}$, alors m_2 est une copie erronée de m_1 .

m_i et m_j sont des mots du code ; m'_i est une copie erronée de m_i



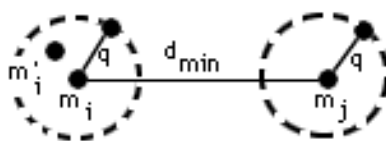
d'où la règle 1 :

Pour détecter p erreurs, il faut que $d_{\min} > p$

exemple : détection des erreurs simples : $d_{\min} > 2$

Intéressons-nous maintenant à la correction des erreurs jusqu'à un ordre q ; chaque mot de code et ses copies "admissibles" doivent être dans des sphères non sécantes :

m_i et m_j sont des mots du code ;
 m'_i est un mot erroné qui doit être assimilé à m_i .



d'où la règle 2 :

Pour corriger des erreurs jusqu'à l'ordre q , il faut que $d_{\min} > 2q$

exemple : la correction des erreurs simples nécessite $d_{\min} > 2$

• codes linéaires

Un code linéaire est un code en bloc systématique (n,m) dans lequel les $r = n - m$ bits de contrôle dépendent linéairement des m bits d'information. Soit l'information utile représentée par le vecteur ligne

$\tilde{X} = (x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m)$; l'information codée est représentée par le vecteur ligne

$\tilde{Y} = (y_1 \ y_2 \ \dots \ y_m \ y_{m+1} \ \dots \ y_{m+r})$ avec

$$y_1 = x_1 \quad y_2 = x_2 \quad \dots \quad y_m = x_m \quad y_{m+1} = a_1 \quad y_{m+2} = a_2 \quad \dots \quad y_{m+r} = a_r$$

où les a_i sont les bits de contrôle, donc $\tilde{Y} = (x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m \ a_1 \ a_2 \ \dots \ a_r)$.

Le code est alors simplement défini par la relation matricielle $\tilde{Y} = \tilde{X} \cdot G$ où G est la matrice génératrice du code. La forme générale de G est :

$$G = (\mathbf{1}, \mathbf{g}) = \begin{matrix} & \xrightarrow{\quad n \quad} & \\ \begin{matrix} \left[\begin{array}{cccc|cccc} 1 & 0 & \dots & 0 & g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1r} \\ 0 & 1 & \dots & 0 & g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2r} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & g_{m1} & g_{m2} & \dots & g_{mr} \end{array} \right] \end{matrix} & \begin{matrix} \updownarrow \\ m \end{matrix} \\ \xleftarrow{\quad m \quad} & \xleftarrow{\quad r \quad} & \end{matrix}$$

d'où les bits de contrôle : $a_i = x_1 g_{1i} + x_2 g_{2i} + \dots + x_m g_{mi}$.

exemple : code (6,3) avec

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

information utile : $\tilde{X} = (x_1 \ x_2 \ x_3)$ donc 8 mots possibles

information codée : $\tilde{Y} = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ a_1 \ a_2 \ a_3)$

La relation $\tilde{Y} = \tilde{X} \cdot G$ conduit à

$$a_1 = x_2 + x_3$$

$$a_2 = x_1 + x_3$$

$$a_3 = x_1 + x_2$$

Les mots du code sont :

000000	001110	010101	011011
100011	101101	110110	111000

On constate que $d_{\min} = 3$ ce qui permet la correction des erreurs simples et la détection des erreurs doubles

exemple : code (8,7) avec

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

information utile : $\tilde{X} = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7)$

information codée : $\tilde{Y} = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7 \ a_1)$

La relation $\tilde{Y} = \tilde{X} \cdot G$ conduit à $a_1 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7$ (modulo 2)

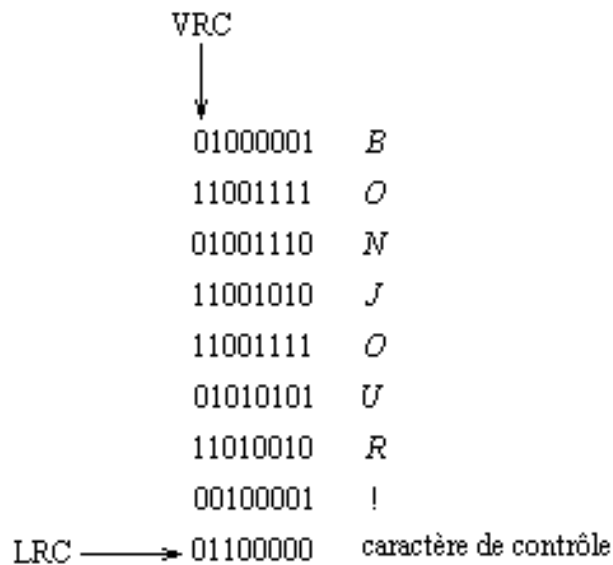
a_1 est appelé bit de parité : les mots du code ont un nombre pair de 1.

On pourra ainsi représenter des caractères sur 8 bits avec 7 bits relatifs au code ASCII et le huitième bit étant le bit de parité (que l'on peut placer, bien sûr, où l'on veut ; la coutume est de le placer en tête) :

01000001	<i>B</i>
11001111	<i>O</i>
01001110	<i>N</i>
11001010	<i>J</i>
11001111	<i>O</i>
01010101	<i>U</i>
11010010	<i>R</i>
00100001	!

↑
bit de parité

Avec ce système, 2 caractères différant par 1 du code ASCII diffèrent aussi par le bit de parité donc $d_{\min} = 2$. Ce code ne permet donc que la détection des erreurs simples. On peut améliorer la protection contre les erreurs en effectuant également un contrôle de parité "longitudinal" par opposition au contrôle de parité précédent appelé "vertical" (LRC = Longitudinal Redundancy Check ; VRC = Vertical Redundancy Check) en ajoutant un caractère de contrôle tous les b blocs :



La transmission série des blocs sera donc :



Avec ce système, deux groupes de blocs différant par 1 bit d'information utile diffèrent aussi par le bit VRC, par le bit LRC et par le bit LRC+VRC. On a donc $d_{\min} = 4$ ce qui permet la détection des erreurs simples et doubles et la correction des erreurs simples.

• **codes polynômiaux**

Les codes polynômiaux sont des codes linéaires systématiques qui permettent la détection des erreurs. Ils sont très utilisés dans les procédures actuelles de transmission de données. Soit un message de m bits utiles :

$$\tilde{X} = (x_0 \ x_1 \ \dots \ x_{m-1})$$

où la numérotation des bits est quelque peu différente de celle utilisée jusqu'à présent (mais traditionnelle dans l'utilisation des codes polynômiaux).. Au message X, on associe le polynôme :

$$X(z) = x_0 + x_1 z + x_2 z^2 + \dots + x_{m-1} z^{m-1}$$

De tels polynômes peuvent être ajoutés (modulo 2) et multipliés suivant les règles booléennes. Un code polynomial est un code linéaire systématique tel que chaque mot du code est représenté par des polynômes Y(z) multiples d'un polynôme H(z) appelé polynôme générateur :

$$Y(z) = Q(z).H(z)$$

Examinons comment on passe de l'information utile (m bits) représentée par un polynôme $X(z)$ à l'information codée (n bits) représentée par le polynôme $Y(z)$. On définira donc un code polynomial (n,m) et on ajoutera à l'information utile $r = n - m$ bits de contrôle. On pose :

$$X(z) = x_0 + x_1 z + x_2 z^2 + \dots + x_{m-1} z^{m-1}$$

$$H(z) = h_0 + h_1 z + h_2 z^2 + \dots + z^r \text{ polynôme générateur de degré } r$$

Le polynôme $z^r X(z)$ est un polynôme de degré $m + r - 1 = n - 1$. Il comporte n termes dont les r premiers sont nuls. Effectuons la division polynomiale de $z^r X(z)$ par $H(z)$:

$$z^r X(z) = Q(z).H(z) + R(z)$$

où $R(z)$ est un polynôme de degré $r-1$, reste de la division. Puisque l'addition modulo 2 est identique à la soustraction modulo 2, on a

$$Y(z) = Q(z).H(z) = z^r X(z) + R(z)$$

$Y(z)$ est le polynôme associé au mot-code. Il comporte n termes et est de degré $n-1$.

exemple : code polynomial (7,4), de polynôme générateur $H(z) = 1 + z + z^3$. Une information utile correspond au polynôme $X(z) = x_0 + x_1 z + x_2 z^2 + x_3 z^3$. La division de $z^r X(z)$ par $H(z)$ conduit aux résultats suivants :

$$Q(z) = x_3 z^3 + x_2 z^2 + (x_1 + x_3)z + x_0 + x_2 + x_3$$

$$R(z) = (x_1 + x_2 + x_3)z^2 + (x_0 + x_1 + x_2)z + x_0 + x_2 + x_3$$

$$Y(z) = x_3 z^6 + x_2 z^5 + x_1 z^4 + x_0 z^3 + (x_1 + x_2 + x_3)z^2 + (x_0 + x_1 + x_2)z + x_0 + x_2 + x_3$$

d'où le mot de code $(x_3 \ x_2 \ x_1 \ x_0 \ a_2 \ a_1 \ a_0)$ avec

$$a_2 = x_1 + x_2 + x_3$$

$$a_1 = x_0 + x_1 + x_2$$

$$a_0 = x_0 + x_2 + x_3$$

d'où la matrice G du code

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Les principaux codes polynomiaux utilisés en téléinformatique sont :

- code CCITT V41, polynôme générateur $H(z) = z^{16} + z^{12} + z^5 + 1$; utilisation dans la procédure HDLC
- code CRC 16, polynôme générateur $H(z) = z^{16} + z^{15} + z^2 + 1$; utilisation dans la procédure BSC, avec codage EBCDIC
- code CRC 12, polynôme générateur $H(z) = z^{12} + z^{11} + z^3 + z^2 + z + 1$; utilisation dans la procédure BSC, avec codage sur 6 bits
- code ARPA, polynôme générateur $H(z) = z^{24} + z^{23} + z^{17} + z^{16} + z^{15} + z^{13} + z^{11} + z^{10} + z^9 + z^8 + z^5 + z^3 + 1$

1

- code Ethernet, polynôme générateur $H(z) = z^{32} + z^{26} + z^{23} + z^{22} + z^{16} + z^{12} + z^{11} + z^{10} + z^8 + z^7 + z^5 + z^4 + z^2 + z + 1$

cas particulier : Un **code cyclique** est un code polynomial (n,m) tel que son polynôme générateur $H(z)$ divise $z^n + 1$

$$z^n + 1 = H(z)\Omega(z)$$

où $\Omega(z)$ est un polynôme de degré n . Les codes cycliques possèdent la propriété fondamentale suivante : une permutation circulaire d'un mot du code est un mot du code.

Exercices et tests : [Exercice 22](#), [Exercice 23](#), [Exercice 24](#), [Exercice 25](#), [Exercice 26](#), [Exercice 27](#), [Exercice 28](#), [Exercice 29](#), [Exercice 30](#), [Exercice 31](#), [QCM24](#), [QCM25](#), [QCM26](#), [QCM27](#), [QCM28](#), [QCM29](#), [QCM30](#)

Modes de transmission

Sommaire :

[Transmissions parallèle et série](#)

[Modes d'exploitation d'une voie de transmission](#)

[Transmissions asynchrone et synchrone](#)

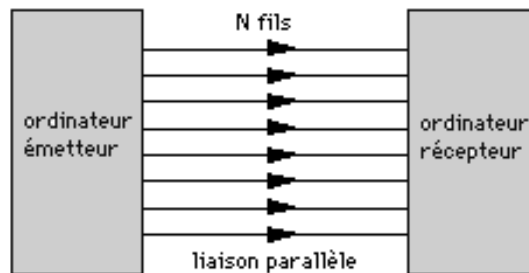
[Transmission par signaux numériques](#)

[Modulation et démodulation](#)

Transmissions parallèle et série

- transmission parallèle

Les ordinateurs manipulent non pas des bits isolés, mais des mots de plusieurs bits aussi bien pour le calcul que pour le stockage. On est donc conduit à imaginer un système de transport dans lequel les différents bits d'un mot sont véhiculés en parallèle. Cela implique que pour des mots de N bits il faut N lignes de transmission.



Cette possibilité comporte des inconvénients évidents :

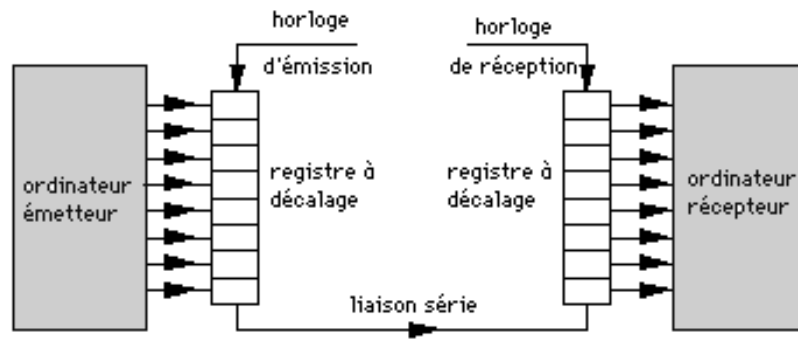
- les lignes nécessitent une masse métallique dérivante à grande distance
- non synchronisation des bits transportés à grande distance

Pour ces raisons, à grande distance, la transmission parallèle n'est pas employée ; elle peut l'être, par contre, entre un ordinateur et des périphériques proches (imprimante parallèle par exemple).

Une autre possibilité, plus sophistiquée, est la transmission parallèle de signaux sur des canaux de fréquences différentes ; en fait, comme on le verra plus loin, cette possibilité correspond au multiplexage en fréquence.

- transmission série

Dans ce mode, les bits sont transmis les uns derrière les autres, ce qui nécessite une "sérialisation" effectuée par une logique de transmission dont la pièce maîtresse n'est autre qu'un registre à décalage dont le fonctionnement est rythmé par une horloge.



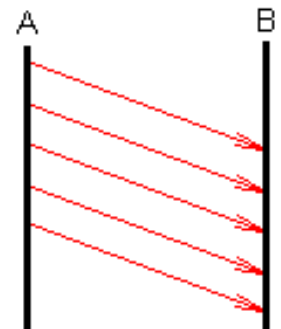
Une difficulté majeure de ce mode de transmission est liée à l'horloge ; en effet, il est nécessaire d'employer une horloge d'émission et une horloge de réception qui doivent fonctionner en synchronisme parfait.

Exercices et tests : [QCM15](#)

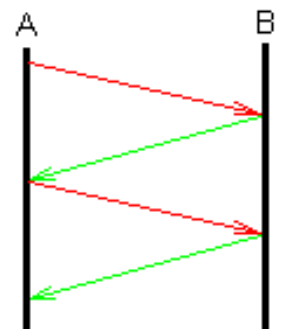
Modes d'exploitation d'une voie de transmission

Trois modes d'exploitation peuvent être définis sur une liaison point à point reliant deux stations émettrices/réceptrices:

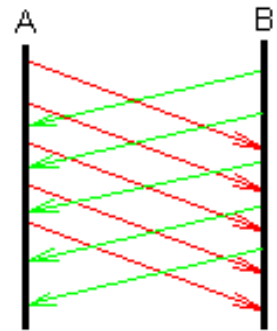
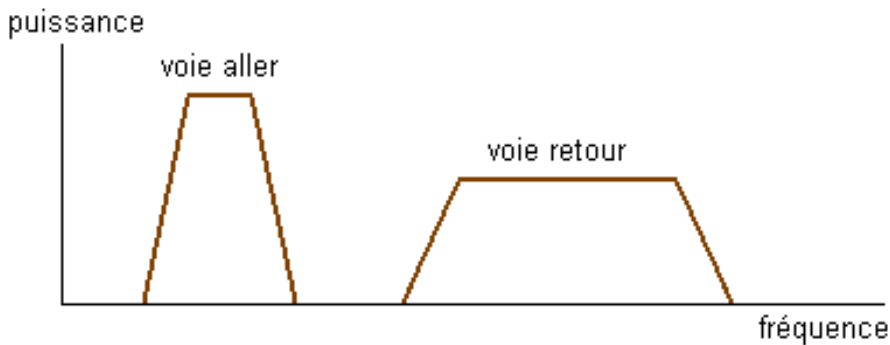
- mode simplex : l'une des stations émet et l'autre reçoit. La communication est donc unidirectionnelle pure.



- mode semi-duplex (half duplex ou alternatif) : la communication est unidirectionnelle, mais le sens de transmission change alternativement : une station émet, l'autre reçoit ; puis c'est la station réceptrice qui devient émettrice et réciproquement ; etc...



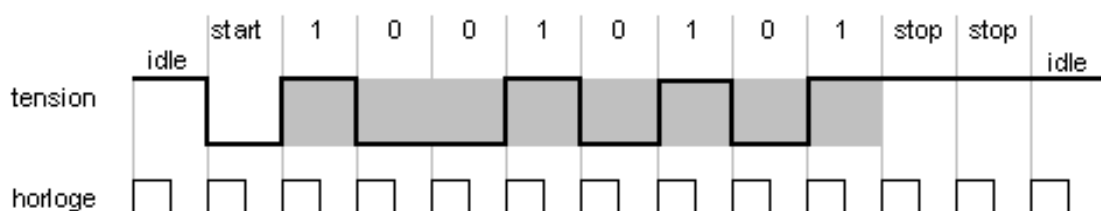
- mode duplex (full duplex) : les deux stations peuvent émettre et recevoir simultanément. Un moyen répandu (mais pas le seul) de permettre cette transmission à double sens est le multiplexage en fréquence : la plage de fréquence comporte deux bandes, l'une pour un sens, l'autre pour l'autre sens :



Transmissions asynchrone et synchrone

- transmission asynchrone

Elle consiste en la transmission d'une succession de blocs courts de bits (1 caractère - en grisé sur la figure ci-dessous) avec une durée indéfinie entre l'envoi de deux blocs consécutifs. Un bit START annonce le début du bloc (polarité inverse de celle de la ligne au repos - idle), un ou deux bits STOP annoncent la fin du bloc (polarité inverse de celle du bit STOP). Un bit de parité est



Pour ce type de transmission, les débits sont normalisés :

- blocs de 11 bits : 110 b/s ;
- blocs de 10 bits : 300, 600, 1200, 2400, 3600, 4800, 9600, 19200 b/s.

- transmission synchrone

Ce type de transmission est bien adapté aux données volumineuses et aux nécessités de transmission rapide. L'information est transmise sous la forme d'un flot continu de bits à une cadence définie par l'horloge d'émission. Le flot de bits est réparti cependant en trames qui peuvent être de longueur variable ou de longueur fixe. Les trames doivent être précédées d'un motif de bits annonçant un début de trame et, éventuellement se terminer par un motif analogue. Ce motif de bits ne doit pas évidemment être confondu avec une portion de la zone de données. On emploie à cet effet la technique du bit-stuffing que nous expliquons sur un cas particulier.

exemple : la procédure synchrone HDLC emploie des trames débutant par le drapeau 01111110 et finissant par le même drapeau. Pour éviter que ce motif ne se retrouve à l'intérieur de la trame, on convient de remplacer chaque groupe de cinq "1" successifs par 11110 ; à la lecture, chaque fois que l'on trouvera le motif 11110, on enlèvera le "0".

Comme nous l'avons déjà signalé, l'horloge de réception doit être synchrone avec l'horloge d'émission. Pour résoudre ce problème on peut envisager deux solutions :

- solution 1 (mauvaise) : transmettre sur deux canaux parallèles l'information et l'horloge ; cette solution est à rejeter car en dehors du fait qu'elle nécessite une bande passante non négligeable, sur longue distance, les signaux des deux canaux se désynchronisent.
- solution 2 (bonne) : intégrer l'horloge à l'information : emploi d'un encodage particulier comme on le verra plus loin.

Exercices et tests : [Exercice 18](#), [QCM16](#)

Transmission par signaux numériques

Après numérisation de l'information, on est confronté au problème de la transmission des "0" et des "1". Une première possibilité est l'utilisation de signaux numériques ce qui paraît logique (on verra que des signaux analogiques peuvent aussi convenir).

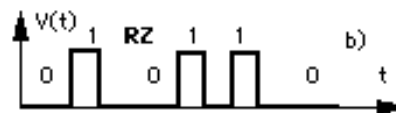
Il s'agit donc de faire correspondre un signal numérique pour le "0" et un autre signal numérique pour le "1". Il y a plusieurs manières de procéder. Nous donnons ci-dessous quelques exemples (du plus simple vers le plus compliqué).

- codes NRZ (Non Retour à Zéro), RZ (Retour à Zéro), bipolaire NRZ et RZ

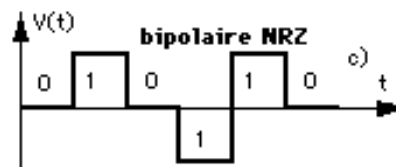
a) NRZ : le codage est simple : un niveau 0 pour le "0", un niveau V_0 pour le "1"



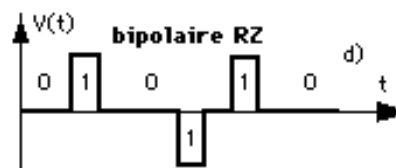
b) RZ : chaque "1" est représenté par une transition de V_0 à 0.



c) bipolaire NRZ : alternativement, un "1" est codé positivement, puis négativement

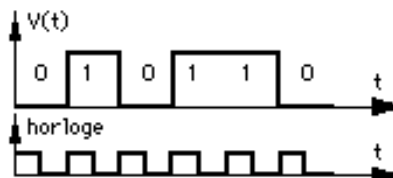


d) bipolaire RZ : même traitement que précédemment.

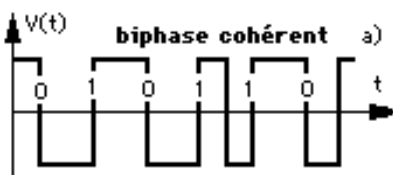


- codes biphasés : le signal d'horloge et le signal de données sont convolués.

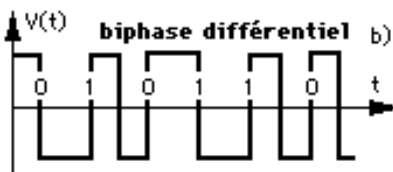
ces codes sont définis sur le schéma ci-contre par comparaison au codage NRZ



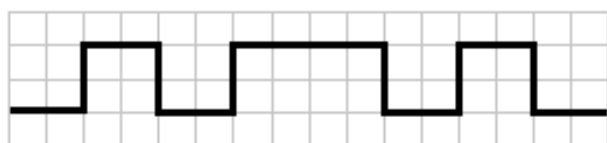
a) codage biphasé cohérent ou Manchester : le "0" est représenté par une transition positive-négative et le "1" par une transition négative-positive.



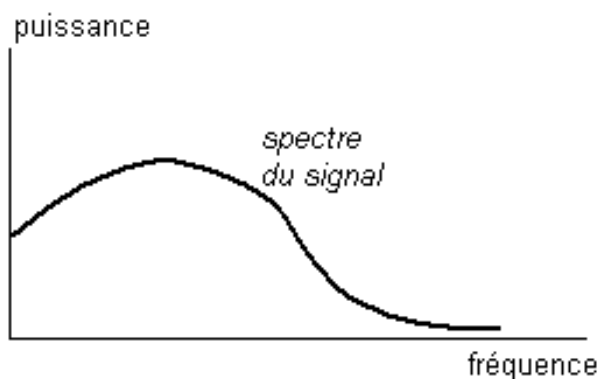
b) codage biphasé différentiel : saut de phase de 0 pour un "0" et saut de phase de π pour un "1"



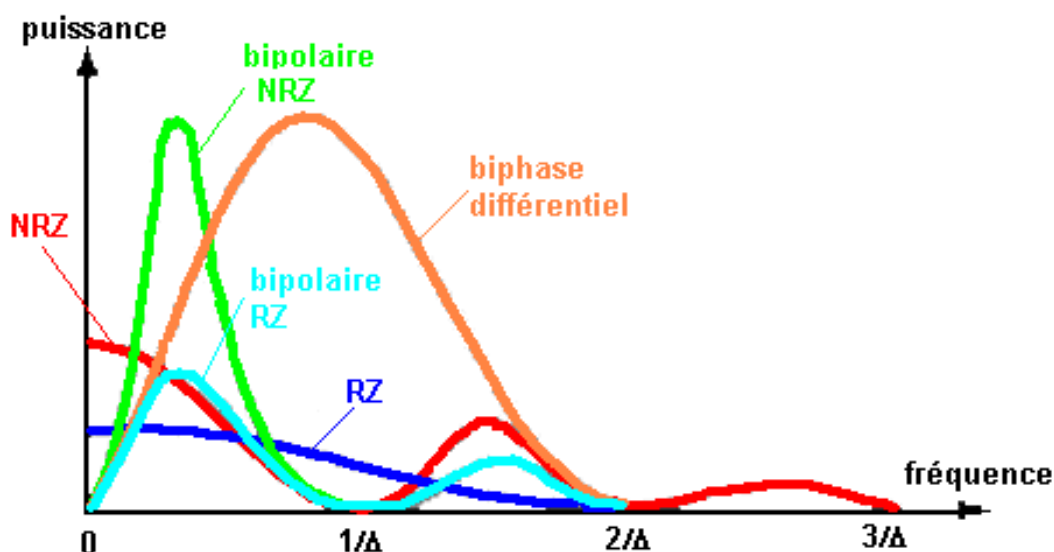
Pour ces codages, il est important de vérifier que les fréquences transportées se trouvent dans la bande passante car ils ne doivent pas subir un trop fort affaiblissement. Pour un codage donné d'une valeur binaire (un octet par exemple), le signal est décomposé en composantes sinusoïdales de Fourier et le spectre des fréquences est établi :



transformée de Fourier



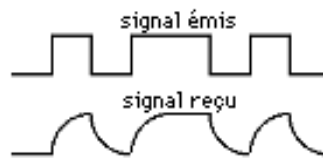
En effectuant cette opération pour toutes les valeurs possibles et en les combinant, on obtient le spectre du code. Quelques allures de ces spectres sont données ci-dessous.



Suivant les voies de transmission utilisées, il est alors possible de voir si le codage convient ou pas. En particulier, les codes NRZ et RZ possèdent l'inconvénient de posséder une harmonique non négligeable à la fréquence zéro

(composante qui passe mal au travers des équipements réseaux).

Par ailleurs et d'une manière générale, les signaux numériques possèdent un très gros inconvénient : ils se déforment à grande distance (effet capacitif des lignes) :



ce qui signifie que le transport par des signaux numériques n'est possible qu'à courte distance. Pour des longues distances, il faut employer une autre méthode : la modulation .

Exercices et tests : [Exercice 13](#), [Exercice 20](#), [Exercice 32](#), [Exercice 38](#), [Exercice 39](#), [QCM17](#)

Modulation et démodulation

La modulation consiste à utiliser une onde "porteuse" sinusoïdale :

$$v(t) = V \sin(\omega t + \Phi)$$

dans laquelle on va modifier certains paramètres pour représenter les "0" et les "1" :

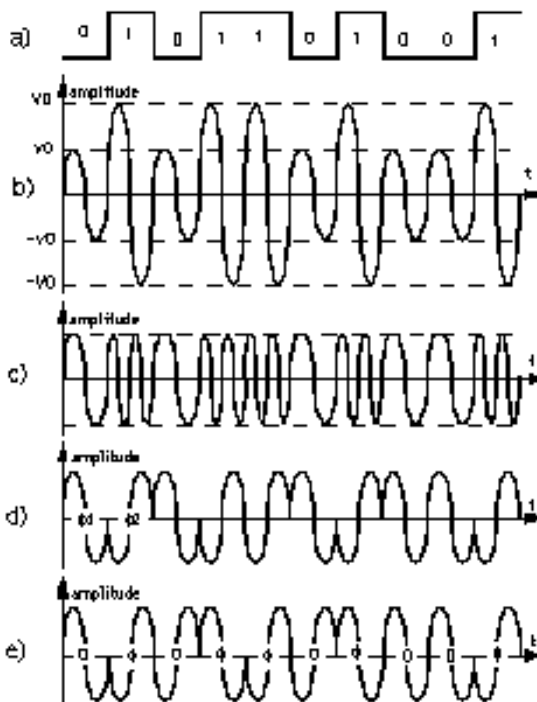
- modification de V (modulation d'amplitude)
- modification de ω (modulation de fréquence)
- modification de Φ (modulation de phase)

a) signal numérique à transporter en NRZ

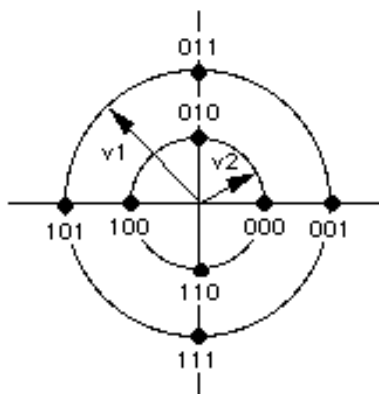
b) modulation d'amplitude

c) modulation de fréquence

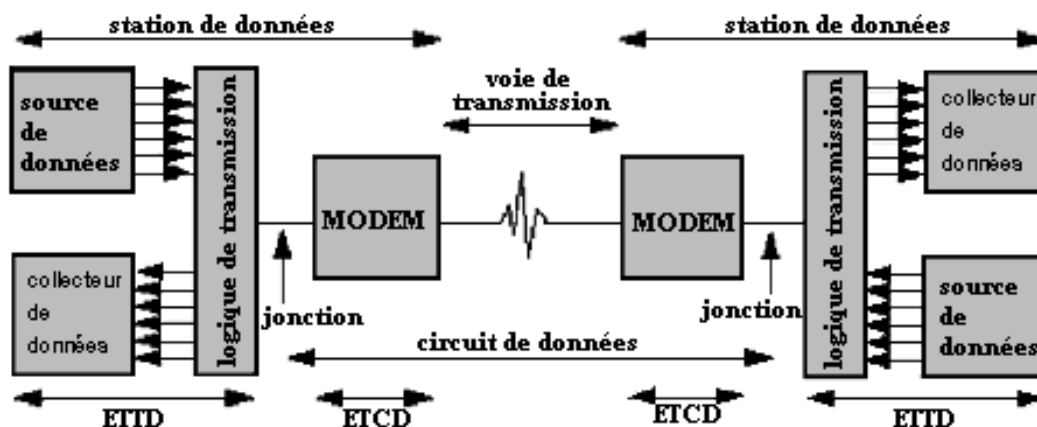
d) et e) modulation de phase



On peut aussi imaginer une combinaison des différents types de modulation, par exemple, la combinaison d'une modulation d'amplitude et d'une modulation de phase (dans la figure ci-dessous, cette combinaison permet d'avoir 8 signaux différents, chaque signal transportant chacun 3 bits) :



Pour les longues distances, la solution de la modulation est quasi-générale. Une liaison télé-informatique classique (en modulation) est représentée ci-dessous :



ETTD : Equipement Terminal de Traitement de Données
ETCD : Equipement Terminal de Circuit de Données

Exercices et tests : [QCM18](#), [QCM19](#), [QCM20](#)

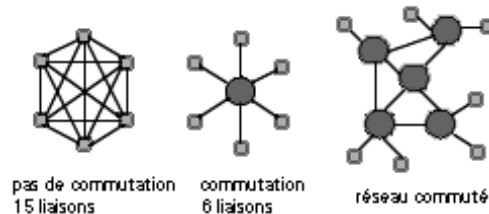
Commutation et Multiplexage

Sommaire :

[Principe de la commutation](#)
[Types de commutation](#)
[Multiplexage](#)
[Voies Numériques Multiplexées](#)

Principes de la commutation

Pour la communication entre usagers, la commutation est essentielle. Il est en effet impensable de relier chaque usager à tous les autres. En effet, si l'on voulait relier n stations directement à chacune d'elles, il faudrait établir $n(n-1)/2$ liaisons ce qui est impensable au niveau planétaire.

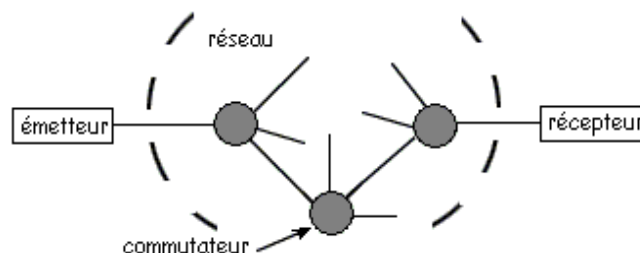


On est conduit logiquement à construire les réseaux à partir de **nœuds de commutation**. Ces nœuds de commutation sont chargés d'acheminer dans la bonne direction les informations qu'ils reçoivent. Cette fonctionnalité est appelée **routage**.

Types de commutation

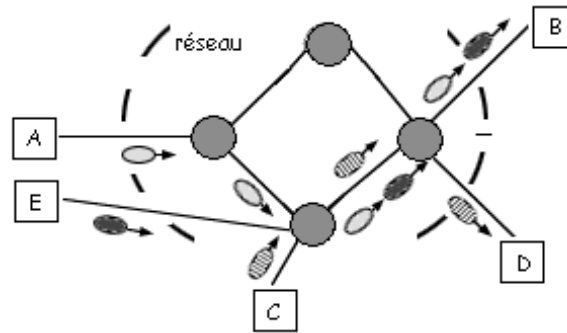
En fait, la commutation peut se concevoir de manières différentes

- **commutation de circuits** : elle consiste à réquisitionner, pour une communication, des tronçons de réseau pour assurer une liaison de bout en bout ; les tronçons sont liés les uns aux autres à chaque nœud de commutation ; la communication terminée, les tronçons sont libérés et disponibles pour une nouvelle commutation. Cette méthode est bien connue en téléphonie.



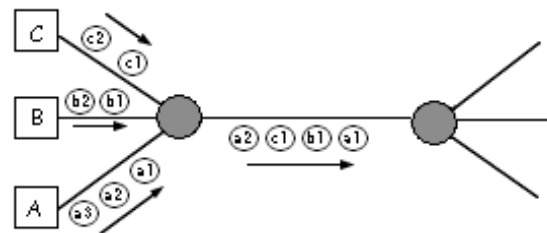
[illustration](#)

- **commutation de messages** : l'information à transmettre est découpée en messages ; les messages circulent sur le réseau à manière du transport automobile. Chaque nœud de commutation sert de routeur mais aussi d'hébergement des messages en situation d'engorgement des tronçons du réseau. Ce mode de commutation a pratiquement disparu au profit de la commutation de paquets.



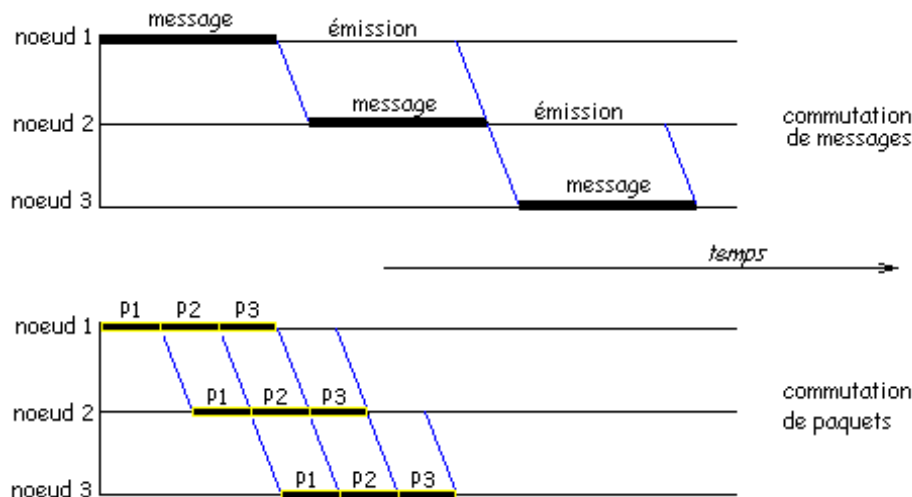
illustration

- **commutation de paquets** : chaque message est découpé en paquets de petite taille qui sont numérotés pour un ré-assemblage éventuel. Les paquets circulent dans le réseau et les nœuds de commutation en effectuent le routage et l'hébergement. Sur un tronçon, les paquets se suivent, même s'ils n'appartiennent pas au même message.



illustration

L'intérêt de la commutation de paquets sur la commutation de messages peut être rendu évident par la figure ci-dessous ; on gagne du temps par la simultanéité de réception et de transfert de paquets différents.



Il existe deux types de commutation de paquets

- le **circuit virtuel** : tous les paquets d'un même message suivent le même chemin défini pour chaque message ; la méthode est similaire à celle de la commutation de circuits.
- le **datagramme** : chaque paquet d'un message peut emprunter un chemin différent des autres ; à l'arrivée, il faut réordonner les paquets du message car des paquets peuvent aller plus vite que d'autres puisqu'empruntant des chemins différents.

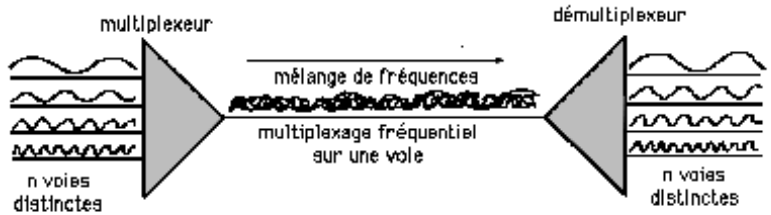
Exercices et tests : [QCM38](#), [QCM39](#)

Multiplexage

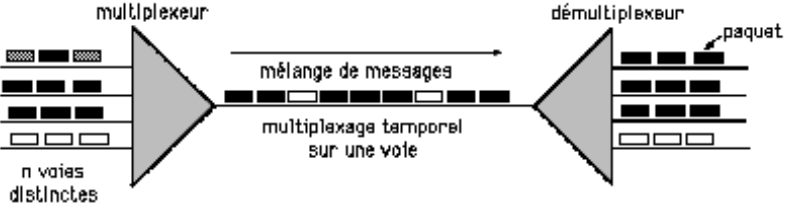
Le multiplexage consiste à faire passer plusieurs messages sur un même tronçon de réseau. On distingue deux types de multiplexage :

- **multiplexage spatial**

La bande passante du canal est divisée en sous-bandes (canaux) chaque message correspond à une sous-bande de fréquence ; un multiplexeur mélange les différents messages ; un démultiplexeur, à l'arrivée, sépare, grâce à un filtrage en fréquence, les messages.



- **multiplexage temporel** : ce type de multiplexage est bien adapté aux réseaux à commutation de paquets. Le multiplexeur n'est autre qu'un mélangeur de paquets, le démultiplexeur est un trieur de paquets.



exemple : liaison à trame MIC offerte par France Télécom ; 1 trame (analogue à un train) comporte 30 IT utilisateurs et 2 IT de service (chaque IT, qui signifie "intervalle de temps", est analogue à un wagon). Chaque IT peut recevoir l'équivalent d'un paquet.

Chaque IT peut recevoir un octet ; une trame transporte donc 32 octets (256 bits). Le débit total est de 2 Mbits/s. Si un usager utilise cette trame en mettant un paquet dans une IT précise dans chaque trame, le débit, pour cet usager, sera de 64 Kbits/s. S'il utilise deux IT par trame, il double son débit.

On constatera qu'une trame est transmise toutes les 125 microsecondes.

Exercices et tests : [Exercice 16](#), [Exercice 17](#), [Exercice 19](#), [Exercice 36](#), [QCM22](#), [QCM23](#)

Voies numériques multiplexées

Les infrastructures de transport de l'information sont de nos jours dédiées au transport de données numériques. L'exemple du paragraphe précédent en est un exemple. Par ailleurs, destinées à transporter de volumineuses quantités de données binaires, elles utilisent la technique du multiplexage.

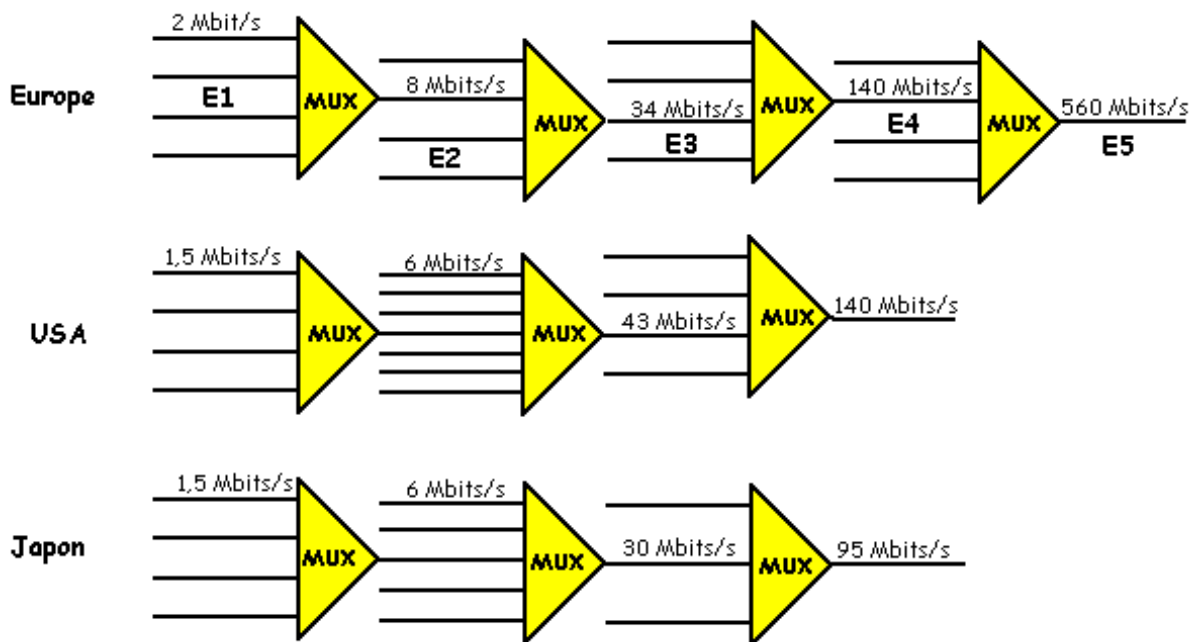
PDH : Plesiochronous Digital Hierachy

Comme précisé précédemment, l'utilisation de trames MIC réalisent le multiplexage de 32 voies (IT) à 64 Kbits/s (l'utilisation de toute la trame correspond à 2 Mbits/s). Il faut noter que deux IT sont réservés pour le service (IT0 et IT16).

- IT0 : sert à délimiter les trames (mot de verrouillage de trame) : trame paire : 10011001 ; trame impaire : 11000000
- IT16 : informations de signalisation

Conçues à l'origine pour transporter la voie numérisée, ces trames sont multiplexées pour un transport d'un grand nombre de communications téléphoniques. Il faut aussi noter une différence de standardisation entre l'Europe (32 voies par trame) et les USA-Japon (24 voies par trame).

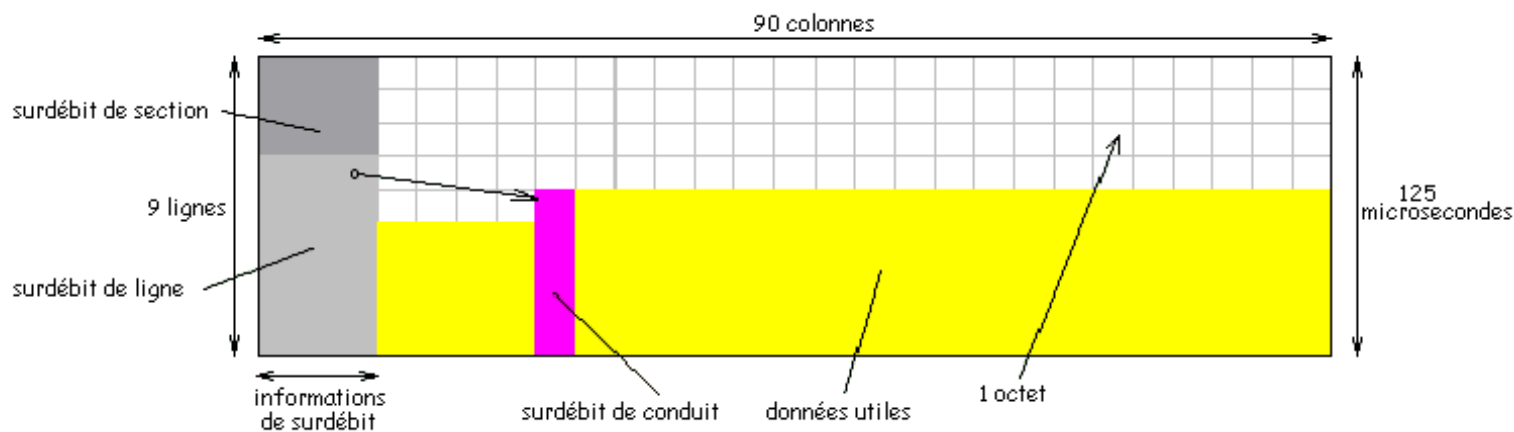
Le multiplexage successif des trames permet d'obtenir de hauts débits. De l'information de contrôle étant entrée à chaque niveau de multiplexage, le débit n'est pas exactement le débit nominal. C'est d'ailleurs pour cette raison que cette hiérarchie est appelée plésiochrone (plésio = presque).



Evidemment, comme cette technologie n'est pas vraiment synchrone, il est nécessaire de démultiplexer complètement pour accéder à une voie. c'est un inconvénient majeur qui a conduit à définir une autre hiérarchie, la hiérarchie synchrone.

SDH : Synchronous Digital Hierachy

La hiérarchie SDH a été développée en Europe tandis qu'une hiérarchie analogue était développée aux USA : SONET (Synchronous Optical Network). Dans ce type de hiérarchie, la trame est plus complexe que dans le cas de PDH. Elle se reproduit 8000 fois par seconde et transporte 810 octets ce qui correspond à un débit de 51,84 Mbits/s ; cela signifie aussi qu'un octet particulier de la trame est transporté à un débit de 64 Kbits/s. La trame est présentée sous forme d'une grille de 9 lignes et 90 colonnes :



Les octets des trois premières lignes et des trois premières colonnes (surdébit de section), ainsi que le reste des trois premières colonnes (surdébit de ligne) sont utilisés pour la synchronisation. Un pointeur indique le début des données (conteneur virtuel) ; les données utiles commencent par un octet de surdébit de conduit. On peut insérer des données n'importe où dans la trame (dans les 87 colonnes suivant les trois premières).

La trame SDH est compatible avec la trame SONET, mais comporte 9 lignes de 270 colonnes (2430 octets). Elle est transmise en 125 microsecondes ce qui correspond à un débit de 155,52 Mbits/s, soit 3 fois le débit nominal de la trame SONET.

Les correspondances entre les niveaux de multiplexage de SDH et de SONET sont données dans le tableau suivant :

SDH	SONET	débit en Mbits/s
	STS1	51,84
STM1	STS3	155,52
	STS9	466,56
STM4	STS12	622,08
	STS18	933,12
	STS24	1244,16
	STS36	1866,24
STM16	STS48	2488,32

Notion de protocole

Sommaire :

[Modélisation et protocoles](#)

[Exemples](#)

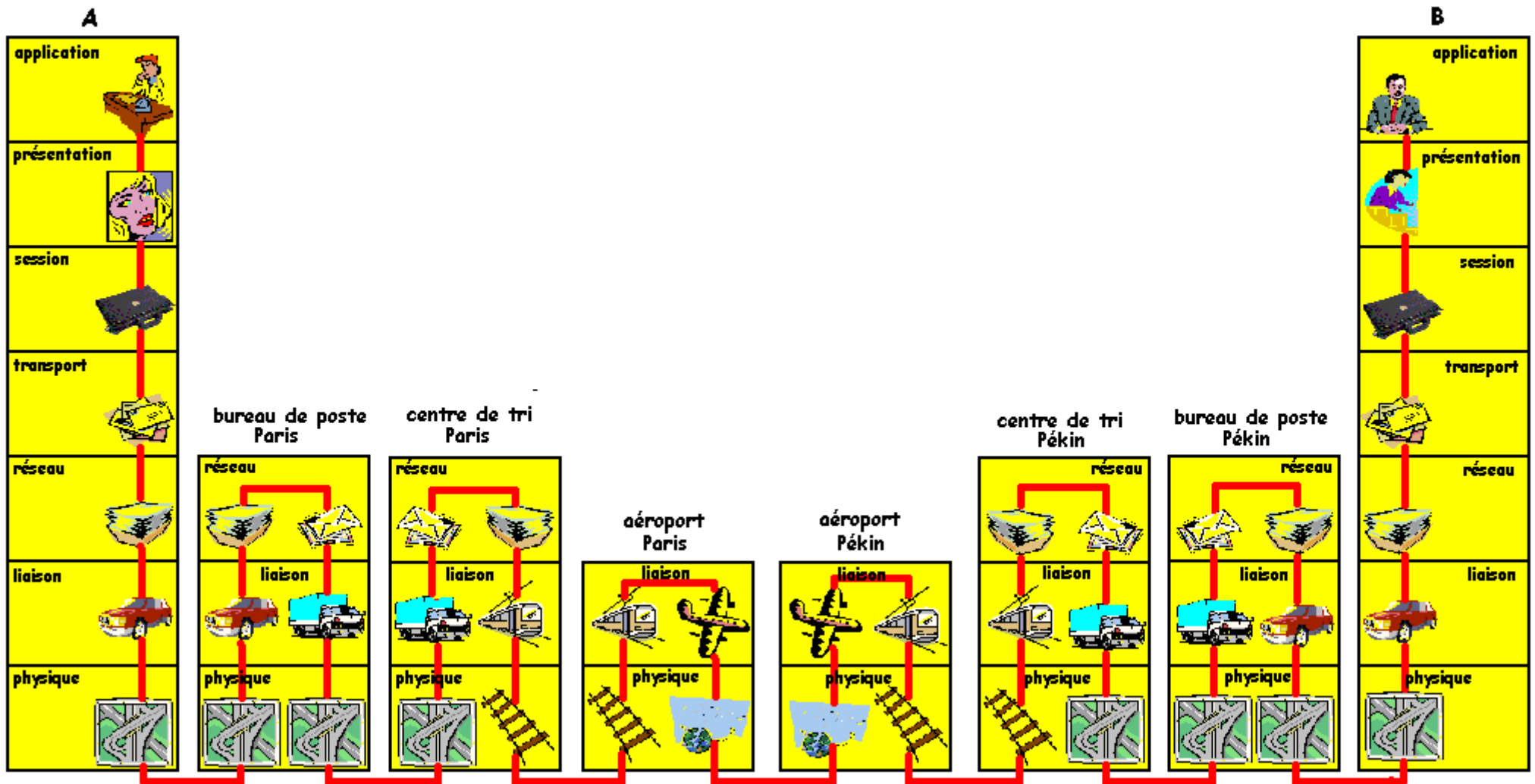
Modélisation et protocoles

Un réseau de transmission de données est souvent exprimé sous la forme d'un modèle en **couches**. Pour faire comprendre ce concept, imaginons une modélisation de la poste internationale. Deux correspondants A, à Paris, et B, à Pékin s'envoient du courrier postal. Comme A ne parle pas le chinois et que B ne parle pas le français, la langue anglaise, supposée compréhensible par un nombre suffisant de personnes, sera choisie pour correspondre. Admettons aussi que ces deux correspondants envoient leur courrier à partir de leur lieu de travail (entreprise par exemple) : leur courrier partira donc en même temps que le courrier de leur entreprise qui est géré par un service courrier.

Imaginons alors la succession d'événements pour que A envoie une lettre à B.

- A écrit la lettre en français avec son stylo.
- A donne sa lettre à une secrétaire anglophone qui la traduit en anglais, la met dans une enveloppe et écrit l'adresse de B
- La personne chargée du ramassage du courrier passe dans le service de A pour ramasser le courrier.
- Le service courrier effectue un tri du courrier et l'affranchit avec une machine à affranchir.
- Le courrier est déposé au bureau de poste.
- Le courrier est chargé dans une voiture qui l'emmène au centre de tri
- Le courrier pour la Chine est emmené à l'aéroport de Paris par train
- Le courrier pour la Chine est transmis par avion à l'aéroport de Pékin
- Le courrier est transmis par train de l'aéroport de Pékin au centre de tri de Pékin
- Le courrier pour l'entreprise de B est transmis à l'entreprise par voiture
- Le service courrier de l'entreprise de B trie le courrier arrivé par service
- Le courrier est distribué à heure fixe aux destinataires et en particulier au service de B
- La secrétaire de B ouvre le courrier et traduit en chinois le contenu de la lettre destinée à B
- B lit la lettre que lui a envoyée A.

On peut résumer par un schéma la succession des événements afin de mettre en évidence un modèle en couches et les noeuds du réseau:



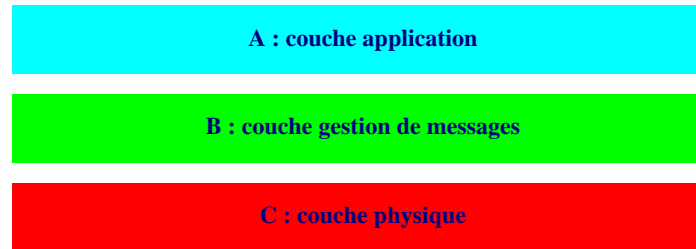
La dénomination des couches est conforme à un standard appelé OSI (Open System Interconnect) qui sera étudié plus loin. Sur cet exemple, à but uniquement pédagogique, basé sur un réseau postal (imaginaire !), explicitons les fonctionnalités de chaque couche.

- couche application : écriture/lecture de la lettre
- couche présentation : traduction, mise en forme, ouverture de lettre
- couche session : relevé/distribution du courrier dans les services
- couche transport : action du service courrier
- couche réseau : action du bureau de poste ou du centre de tri
- couche liaison : acheminement de la lettre entre deux noeuds consécutifs du réseau
- couche physique : utilisation des supports de communication

Dans cette modélisation, chaque couche est bâtie sur la couche inférieure. Par exemple, le transport routier (couche liaison) a besoin de l'infrastructure routière (couche physique).

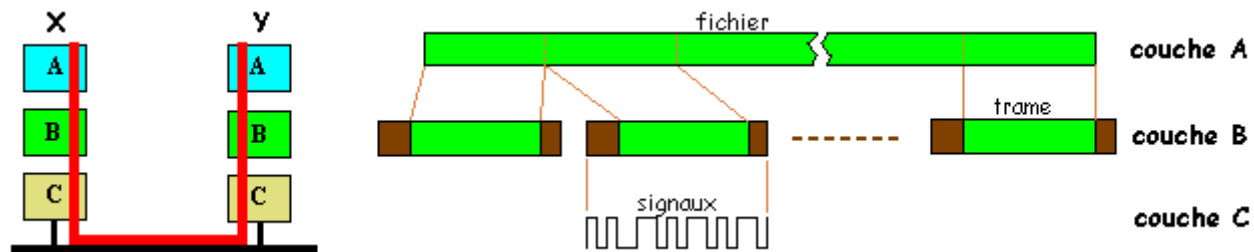
Pour chacune des couches, des fonctionnalités (ici très résumées) sont définies qui sont des services rendus aux couches supérieures. Les lignes rouges du schéma indiquent la suite de services rendus par les différentes couches. Par ailleurs, les fonctionnalités de chaque couche correspondent à des règles appelées **protocoles**.

Prenons maintenant un exemple plus "télécommunications" en envisageant un transfert de fichier entre un ordinateur X et un ordinateur Y reliés par un câble série. On peut envisager une modélisation à 3 couches :



- L'utilisateur désirant transférer un fichier fait appel à la couche A à l'aide d'une primitive du type envoyer_fichier (nom du fichier, destinataire).
- La couche A découpe le fichier en messages et transmet chaque message à la couche B par une primitive du type envoyer_message (numéro de message, destinataire).
- La couche B effectue la gestion de l'envoi de message, éventuellement en découpant le message en unités intermédiaires (trames) ; l'envoi des trames entre X et Y obéissent à des règles (protocoles) : cadence d'envoi, contrôle de flux, attente d'un accusé de réception, contrôle de erreurs.
- La couche B fournit à la couche C un train de bits qui sera acheminé, indépendamment de sa signification, via une voie de transmission physique, vers le destinataire.

L'information est transmise par une voie de communication plus ou moins complexe et chemine, au niveau du destinataire dans le sens inverse de ce qui vient d'être décrit: émetteur et récepteur possède des couches identiques.

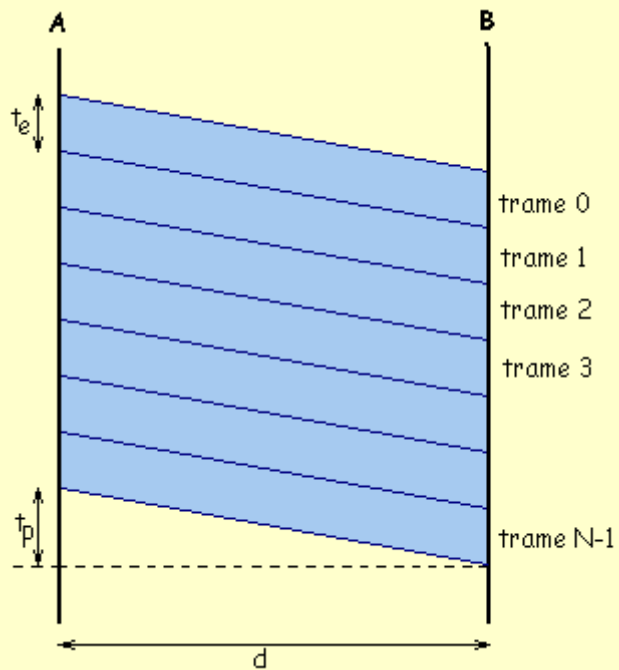


On notera aussi que les unités d'information diffèrent suivant les trois couches. Pour la couche A, l'unité est un fichier, c'est à dire une suite importante de bits. Pour la couche B, l'unité d'information est la trame qui possède une structure définie (information utile + information de service). Pour la couche C, l'unité d'information est le signal transmis sur le support physique de communication.

Exemples

Prenons comme étude de cas l'envoi de trames sur une liaison entre 2 noeuds A et B consécutifs d'un réseau. On admettra que l'information est envoyée sous forme de blocs successifs appelés trames. On suppose que ces trames ont une longueur fixe L , que les noeuds sont distants de d , que la vitesse de propagation des signaux sur le support de communication est v , que le débit est D , que chaque signal transporte 1 bit.

exemple 1 : la voie de communication est parfaite et il ne peut y avoir d'erreur de transmission ; on suppose que la transmission est unidirectionnelle de A vers B ; les noeuds ont des capacités de traitement et de mémoire infinies : ils peuvent envoyer ou recevoir à tout moment. Les trames sont envoyées les unes après les autres. La chronologie des événements est indiquée ci-dessous :



Une trame est émise (et est reçue) en un temps $t_e = L/D$. Le temps nécessaire à l'envoi de N trames est donc Nt_e .

Mais la dernière trame étant émise, il faut laisser le temps aux signaux de se propager jusqu'à B, d'où le temps de propagation d'un bit (ou d'un signal) : $t_p = d/v$

En définitive, le temps total de transmission de N trames est

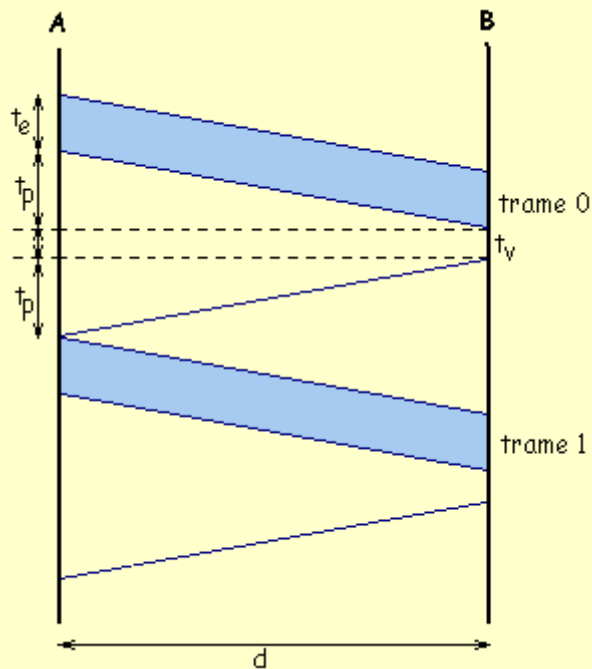
$$T = Nt_e + t_p$$

Le protocole est ici réduit à sa plus simple expression : définition de la longueur d'une trame et envoi successif des trames.

exemple 2 : On reprend les hypothèses de l'exemple précédent avec les modifications suivantes :

- on suppose maintenant qu'il peut y avoir des erreurs de transmission et que ces erreurs peuvent être détectées par le destinataire. Le mécanisme de détection suppose qu'un champ erreur soit incorporé à la trame.
- un acquittement est envoyé de B vers A sous forme d'un message de 1 bit (0 si la trame est correcte, 1 si la trame est erronée). A n'envoie de trame que si l'acquittement de la trame précédente a été reçu.
- si un acquittement négatif revient vers A, celui-ci doit ré-envoyer de nouveau la trame.
- les trames comporte un champ dont la valeur est le numéro de trame.
- le temps de traitement (vérification de la trame) est supposé constant et égal à t_v

Le schéma chronologique est maintenant le suivant (dans l'hypothèse où il n'y a pas d'erreur).



Le temps nécessaire à l'acheminement complet d'une trame est $t_e + 2 t_p + t_v$ où t_e et t_p ont les mêmes définitions que dans l'exemple 1. Le temps nécessaire à l'acheminement de N trames est donc

$$T = N(t_e + 2 t_p + t_v)$$

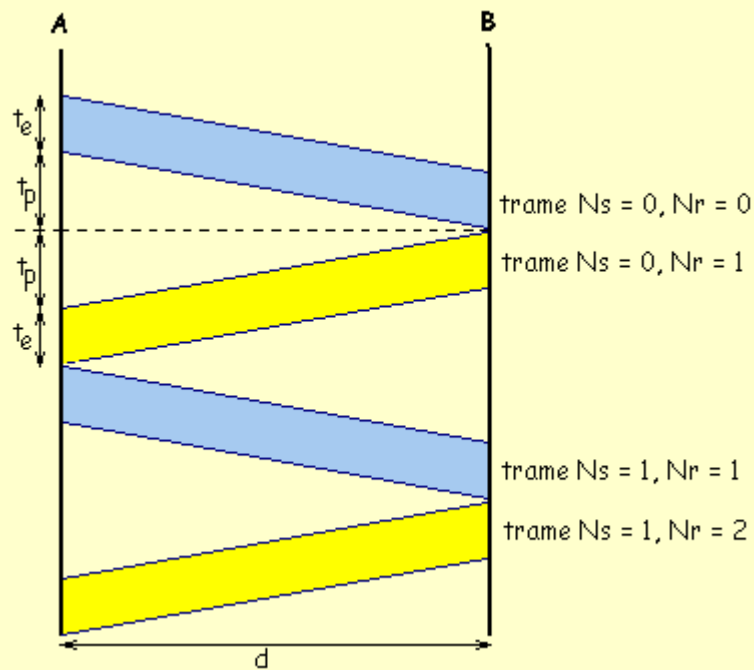
On notera que puisque l'acquittement ne comporte qu'un seul bit, le temps d'émission de cet acquittement est négligeable.

Questions : Le protocole ci-dessus possède un inconvénient majeur ; lequel ? Quelle doit être la longueur du champ relatif à la numérotation des trames ?

exemple 3 : On modifie maintenant les hypothèses de la manière suivante

- la transmission est bi-directionnelle ; chacun son tour X et Y envoient des trames
- chaque trame comporte, outre le champ détecteur d'erreur, un champ comportant 2 numéros : le numéro de trame N_s et le numéro de la prochaine trame attendue N_r de la part du correspondant. Si X reçoit une trame avec $N_r = 5$, il doit émettre la trame numéro 5 et il est sûr que la trame 4 a été reçue sans erreur (et situation analogue pour Y).
- on néglige le temps de vérification des erreurs de transmission.

Le chronologie des évènements est indiquée ci-dessous dans le cas où il n'y a pas d'erreur de transmission.



Le temps nécessaire d'envoi d'une trame est $t_e + 2 t_p$, mais on doit attendre un temps t_e (le temps de recevoir une trame) avant d'envoyer la prochaine trame ; le temps nécessaire à l'envoi de N trames est donc

$$T = 2N(t_e + t_p)$$

Questions : Quel est l'intérêt de la double numérotation des trames ? Ce protocole possède-t-il un inconvénient ?

Application numérique : Examinons les performances de ces trois protocoles sous les hypothèses suivantes :

- valeurs des paramètres de base : $d = 1000$ m ; $L = 1024$ bits ; $D = 64$ Kbits/s et 155 Mbits/s ; $v = 3 \cdot 10^8$ m/s ;
- pour l'exemple 2, les champs numérotation et erreurs ont une longueur totale de 11 octets , le temps de vérification des erreurs est de 10^{-5} secondes; pour l'exemple 3, ces champs ont une longueur totale de 12 octets.

On s'intéressera aux critères de performance suivants : temps nécessaire à l'acheminement d'un message de longueur 1 Mo et temps d'occupation en émission par X de la voie de communication.

le tableau ci-dessous donne les résultats des calculs :

exemples	temps d'acheminement		taux d'occupation	
	D = 64 Kbits/s	D = 155 Mbits/s	D = 64 Kbits/s	D = 155 Mbits/s
exemple 1	125 s	0,05 s	1	1
exemple 2	133 s	0,28 s	0,99	0,28
exemple 3	269 s	0,17 s	0,50	0,33

Le cas de l'exemple 1 est sans intérêt car non réaliste (liaison parfaite) ; dans l'exemple 2, on a de bonnes performances pour un débit de 64 Kbits/s, par contre pour le débit de 155 Mbits/s, le taux d'occupation devient assez mauvais (ne pas oublier que les liaisons ne sont pas gratuites !) ; pour l'exemple 3, le taux d'occupation n'est pas extraordinaire, mais il faut prendre en considération que la ligne est bidirectionnelle et, en fait, le taux devrait être multiplié par 2.

Exercices et tests : [Exercice 33](#), [Exercice 34](#), [Exercice 37](#), [Exercice 41](#), [QCM31](#), [QCM32](#), [QCM33](#), [QCM34](#), [QCM35](#), [QCM36](#), [QCM37](#)

Bibliographie

D. BATTU	Télécommunications, Principes, Infrastructures et services	Dunod Informatiques
P. LECOY	Technologie des Télécoms	Hermes
C. SERVIN	Telecoms 1, de la transmission à l'architecture de réseaux	Dunod Informatiques
W. STALLINGS	Data and Computer Communications	Prentice Hall
G. BOUYER	Transmissions et réseaux de données	Dunod
M.MAIMAN	Télécoms et Réseaux	Masson
P. ROLLIN, G. MARTINEAU, L. TOUTAIN, A. LEROY	Les Réseaux, principes fondamentaux	Hermes
A. TANENBAUM	Réseaux	InterEditions
P-G. FONTOLLIET	Systèmes de télécommunications, bases de transmission	Dunod

Exercices et Tests

sommaire :

[Enoncés](#)

[Solutions](#)

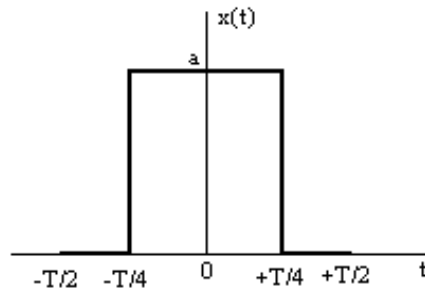
[QCM](#)

Exercice 1

- 1) Une image TV numérisée doit être transmise à partir d'une source qui utilise une matrice d'affichage de 450×500 pixels, chacun des pixels pouvant prendre 32 valeurs d'intensité différentes. On suppose que 30 images sont envoyées par seconde. Quel est le débit D de la source ?
 - 2) L'image TV est transmise sur une voie de largeur de bande 4,5 MHz et un rapport signal/bruit de 35 dB. Déterminer la capacité de la voie.
-

Exercice 2

Un signal numérique de forme "créneau", de période T , est envoyé sur une voie de transmission.



- 1) Décomposer le signal en série de Fourier
 - 2) La voie ayant une bande passante allant de la fréquence $4/T$ à $8/T$, quel est le signal reçu en bout de ligne (en négligeant le bruit, l'amortissement et le déphasage).
-

Exercice 3

Quelle est la capacité d'une ligne pour téléimprimeur de largeur de bande 300 Hz et de rapport signal/bruit de 3 dB ?

Exercice 4

Un système de transmission numérique fonctionne à un débit de 9600 bits/s.

- 1) Si un signal élémentaire permet le codage d'un mot de 4 bits, quelle est la largeur de bande minimale nécessaire de la voie ?
 - 2) Même question pour le codage d'un mot de 8 bits.
-

Exercice 5

Une voie possède une capacité de 20 Mbits/s. La largeur de bande de la voie est de 3 MHz. Quel doit être le rapport signal/bruit ?

Exercice 6

Si l'affaiblissement est de 30 dB, quel est le rapport $|V_e/V_s|$ des ondes sinusoïdales d'entrée et de sortie d'une portion de voie de transmission ?

Exercice 7

La décomposition en série de Fourier d'un signal périodique conduit à une superposition de signaux sinusoïdaux de fréquences $f, 3f, 5f, 7f, \dots$. Sachant que la bande passante est $[5f, 25f]$, combien de signaux sinusoïdaux élémentaires seront détectés à l'arrivée ?

Exercice 8

Une voie de transmission véhicule 8 signaux distincts ; sa rapidité de modulation est $R = 1200$ bauds. Quel est le débit binaire de

cette ligne ?

Exercice 9

Une voie de transmission véhicule 16 signaux distincts. Quelle est la quantité d'information binaire maximale pouvant être transportée par chaque signal ?

Exercice 10

Le rapport signal sur bruit d'une voie de transmission est de 30 dB ; sa largeur de bande est de 2 MHz. Quelle est, approximativement, la capacité théorique de cette voie ?

Exercice 11

Sur une voie de transmission, on constate que le nombre de communications par heure est de 1,5 et que chaque communication a une durée moyenne de 360 secondes. Quel est le trafic correspondant ?

Exercice 12

Sachant que pour une voie de transmission, le nombre de transactions par communication est de 4000, la longueur moyenne d'une transaction est de 12000 bits, la durée moyenne d'une communication est 3600 secondes, le débit binaire est 64 Kbits/s, donner le taux d'occupation de la voie.

Exercice 13

On envoie la suite de bits : 01001110.

Quels sont les signaux correspondants en NRZ, RZ, bipolaire NRZ, bipolaire RZ, biphase cohérent, biphase différentiel ?

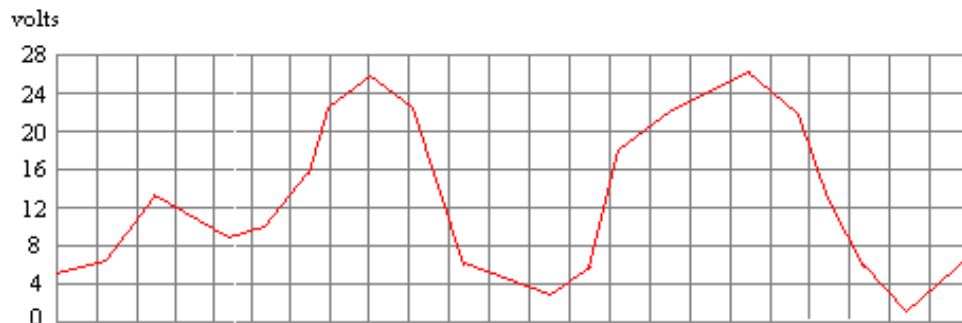
Exercice 14

On considère un signal audio dont les composantes spectrales se situent dans la bande allant de 300 à 3000 Hz. On suppose une fréquence d'échantillonnage de 7 KHz.

- 1) Pour un rapport signal sur bruit S/B de 30 dB, quel est le nombre n de niveaux de quantification nécessité ? On donne la relation : $S/B = 6n - a$. On prendra $a = 0,1$.
- 2) Quel est le débit nécessité ?

Exercice 15

Soit le signal audio suivant :



Le codage étant effectué sur 8 niveaux et l'échantillonnage étant défini sur la figure ci-dessus, en déduire le codage binaire de ce signal.

Exercice 16

4 trains d'information analogique sont multiplexés sur une ligne téléphonique de bande passante 400 - 3100 Hz. La bande passante de chaque train est de 500 Hz. Expliciter le processus de multiplexage.

Exercice 17

3 lignes sont multiplexées sur une liaison à commutation de paquets de longueur 1200 bits. Chaque ligne transporte des messages de longueur respective : 3600 bits, 12000 bits, 4800 bits. Le débit de la liaison commutée est de 4800 bits/s. Décrire le processus de multiplexage.

Exercice 18

Des caractères ASCII sur 8 bits sont envoyés sur une voie de transmission de débit nominal D.

- 1) On effectue la transmission en mode asynchrone avec un bit start et un bit stop. Exprimer en fonction de D le débit utile.
 - 2) On effectue la transmission en mode synchrone avec des trames comportant un drapeau de début et un drapeau de fin, chacun de 8 bits, un champ de contrôle de 48 bits et un champ d'information de 128 bits. Exprimer en fonction de D le débit utile.
 - 3) Même question que b) mais avec un champ d'information de longueur 1024 bits.
-

Exercice 19

Trois voies à 1200 bits/s sont multiplexées sur une voie à 2400 bits/s. Ces trois voies véhiculent des paquets de même longueur. Pour un paquet, quel est le débit apparent sur la voie multiplexée ?

Exercice 20

Dans la liste suivante apparaissent des codages en bande de base ; lesquels ?

RZ ISO6 TCP HTTP NRZ RVB

Exercice 21

Pour numériser un son mono analogique, on utilise une fréquence d'échantillonnage de 22 KHz et on code le un codage de valeurs sur 8 bits. Pour 1 minute de son, quel est le volume correspondant en bits (on suppose qu'il n'y a pas de compression) ?

Exercice 22

On divise le polynôme $x^7 + x^5 + 1$ par le polynôme générateur $x^3 + 1$. Quel est le reste obtenu ?

Exercice 23

On considère des mots de 3 bits et un codage linéaire de matrice G. Déterminer les mots codés.

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Exercice 24

Un code cyclique utilise la matrice H définie ci-dessous :

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Cette matrice H est l'équivalent de la matrice G et est définie par la relation $H.Y = 0$ où Y est le vecteur "codé" comportant les bits utiles et les bits de contrôle ; la matrice H est toujours de la forme $(h, 1)$ et possède r lignes (r étant le nombre de bits de contrôle). Quel est l'algorithme de codage ?

Exercice 25

Un code utilise le polynôme générateur $x^2 + x + 1$. Quel est l'encodage du message 11011 ?

Exercice 26

On considère le code ci-dessous

<u>mots</u>	<u>mots code</u>
00	10011
01	10100
10	01001
11	01110

Ce code permet-il

- 1) de détecter toutes les erreurs doubles ?
- 2) de corriger toutes les erreurs simples ?

Exercice 27

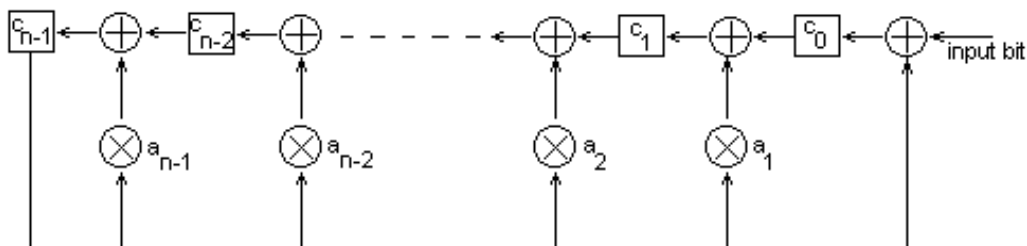
Un message de longueur 11 bits est encodé avec 4 bits de contrôle par un code polynômial basé sur l'utilisation du polynôme générateur

$$H(z) = z^4 + z^3 + 1.$$

- 1) Déterminer l'algorithme de calcul des bits de contrôle.
- 2) Soit le mot utile suivant : $M = 10011011100$; encoder ce mot.

Exercice 28

Dans le cas d'un codage polynômial, on peut automatiser le calcul des bits de contrôle avec un circuit intégré basé sur un registre à décalage et des portes XOR. L'architecture d'un tel circuit est décrite par le schéma ci-dessous.



pour un polynôme générateur du type $H(z) = 1 + a_1z + a_2z^2 + \dots + a_{n-1}z^{n-1} + z^n$. Les bits à encoder sont envoyés un par un à l'entrée du registre à décalage, suivis de n zéros. Ce qui reste dans le registre à décalage après cette opération est le champ de contrôle.

- 1) Imaginer la structure du circuit d'encodage pour le cas de l'exercice 6.

2) Appliquer le circuit au mot utile : $M = 10011011100$ et en déduire le champ de contrôle.

Exercice 29

Quelle est la distance de Hamming entre $m1 = (11010101)$ et $m2 = (10110101)$?

Exercice 30

Soit un code linéaire (6,3) dont la matrice est

$$H = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Quelle est l'information codée correspondant à l'information utile 101 ?

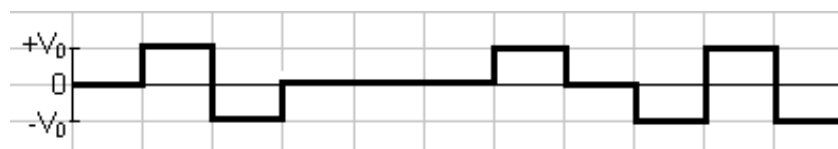
Exercice 31

Dans le cas de l'exercice 30, quelle est la matrice G ?

Exercice 32

Dans les trames normalisées E1, on utilise le code Bipolar AMI qui consiste à coder un 0 par une absence de tension électrique et un 1 par une tension alternativement positive et négative.

- 1) Quelle est la suite binaire codée de la figure ci-dessous ?



2) Sachant qu'une trame E1 correspond à un débit de 2 Mbits/s, quelle est la durée d'un moment élémentaire (durée d'un signal numérique) ?

Exercice 33

On utilise dans la transmission de trames d'un émetteur A vers un récepteur B un protocole défini de la manière suivante.

- a) l'émetteur envoie successivement trois trames puis attend leur acquittement de la part de B.
- b) quand cet acquittement arrive, l'émetteur envoie les trois trames suivantes et attend un nouvel acquittement.
- c) les trames sont composées de 1024 bits dont 80 bits de service
- d) les acquittements sont composés de 64 bits
- e) le débit de la voie est de 2 Mbits/s et la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques est de $3 \cdot 10^8$ m/s sur la voie de 10 km reliant A et B.

- 1) Quelle est la durée nécessaire à l'expédition confirmée d'une trame ?
 - 2) Quel est le taux d'occupation de la voie ?
 - 3) Un message de 1 Mo est envoyé de A vers B par utilisation du protocole précédent. Quelle est la durée totale de la transmission de ce message ?
-

Exercice 34

Deux machines A et B sont reliées par un réseau utilisant le protocole de liaison HDLC. La machine A reçoit de la machine B une trame correcte portant les numéros $N(R)=5$, $N(S)=4$. La machine A, à son tour, envoie à la machine B une trame comportant les numéros $N(S)$ et $N(R)$. Quelles sont les valeurs de $N(S)$ et $N(R)$?

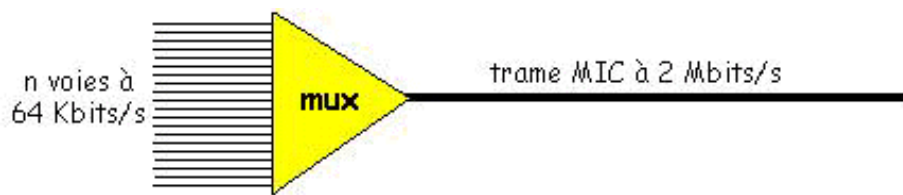
Exercice 35

On désire transporter du son numérique sur une voie de transmission. La largeur de bande de la voix humaine est supposée bornée supérieurement à 4000 Hz. En appliquant le théorème de l'échantillonnage, le son est numérisé à 8000 Hz et codé sur 8 bits.

Quel doit être le débit de la ligne utilisée ?

Exercice 36

La trame MIC permet de multiplexer plusieurs voies à 64 Kbits/s.



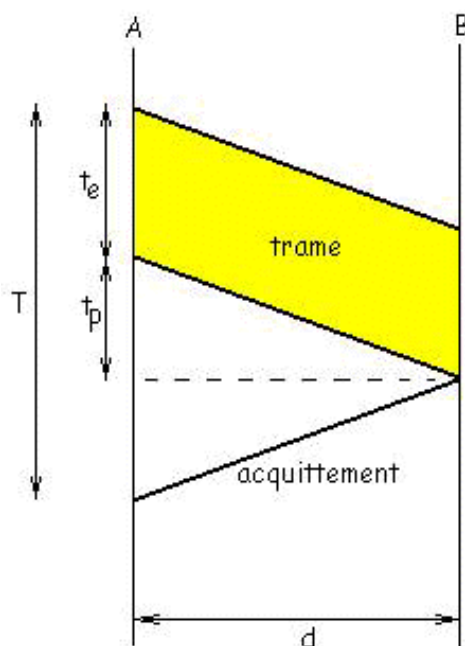
- a) Sachant que la trame MIC correspond à un débit de 2 Mbits/s, combien de voies peuvent-elles ainsi être multiplexées dans une trame MIC ?
- b) Une application particulière, comme la visioconférence, nécessite un débit de 192 Kbits/s. Indiquer comment, avec une trame MIC, il est possible d'atteindre ce débit.

Exercice 37

On imagine un protocole de transmission obéissant aux règles suivantes :

- le débit est D
- à la suite de l'envoi d'une trame par la station A, un acquittement est renvoyé à A par la station B destinataire de la trame. On considérera que cet acquittement peut être réduit à 1 bit.
- la longueur L de la trame est fixe

On désigne par d la distance entre les stations A et B et par v la vitesse de propagation d'un signal (correspondant ici à un bit) dans la voie reliant A et B.



- a) Exprimer le temps total de transmission d'une trame T (depuis l'émission du premier bit jusqu'à la réception de l'acquittement) en fonction de L , D , d , v .

b) En déduire en fonction du rapport $a = t_p/t_e$ le taux d'occupation θ de la voie (rapport du temps d'émission t_e d'une trame sur le temps total de transmission T) ; t_p désigne le temps de propagation d'un bit entre A et B.

c) Application numérique : Calculer θ pour $L=1024$ bits ; $D = 64$ Kbits/s ; $d = 1000$ m ; $v = 2.10^8$ m/s

d) Application numérique : Calculer θ pour $L = 53$ octets ; $D = 155$ Mbits/s ; $d = 1000$ m ; $v = 2.10^8$ m/s (situation présentant des analogies avec l'ATM).

e) A partir des résultats des deux applications numériques précédentes, quelles conclusions pouvez-vous en tirer ?

Exercice 38

On envisage plusieurs types de codage pour transmettre des données binaires par des signaux numériques. Les principaux codes sont définis par le tableau ci-dessous :

code	définition											
NRZL	0 : niveau haut ; 1 : niveau bas											
NRZI	0 : pas de transition ; 1 : transition											
Bipolar AMI	0 : pas de signal ; 1 : alternativement niveau positif ou négatif											
Pseudoternaire	0 : alternativement niveau positif ou négatif ; 1 : pas de signal											
Manchester	0 : transition haut-bas au milieu de l'intervalle ; 1 : transition bas-haut au milieu de l'intervalle											
Differential Manchester	toujours une transition au milieu de l'intervalle ; 0 : transition au début de l'intervalle ; 1 pas de transition au début de l'intervalle											
B8ZS	Comme Bipolar AMI mais toute suite de 8 zéros est remplacée par une suite comme indiqué : voltage précédent négatif : 00000000 devient 000-+0+ voltage précédent positif : 00000000 devient 000+-0-+											
HDB3	Comme Bipolar AMI mais toute suite de 4 zéros est remplacée par une suite comme suit <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">polarité du niveau précédent</th> <th colspan="2">nombre de 1 depuis la dernière substitution</th> </tr> <tr> <th>impair</th> <th>pair</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>négatif</td> <td>000-</td> <td>+00-</td> </tr> <tr> <td>positif</td> <td>000+</td> <td>-00-</td> </tr> </tbody> </table>	polarité du niveau précédent	nombre de 1 depuis la dernière substitution		impair	pair	négatif	000-	+00-	positif	000+	-00-
polarité du niveau précédent	nombre de 1 depuis la dernière substitution											
	impair	pair										
négatif	000-	+00-										
positif	000+	-00-										

1) Représenter la suite binaire 01001100011 dans les codes NRZL, NRZI, Bipolar AMI, Pseudoternaire, Manchester, Differential Manchester.




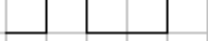
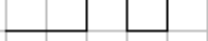

binaire	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1
NRZL											
NRZI											
Bipolar AMI											
Pseudoternaire											
Manchester											
Differential Manchester											

2) Représenter la suite 110000000110000010 par les codes Bipolar AMI, B8ZS, HDB3 :

binaire	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
Bipolar AMI																			
B8ZS																			
HDB3																			

Exercice 39

Les réseaux locaux rapides utilisent des codages spécifiques. C'est le cas du codage 4B/5B utilisé dans 100BaseX et FDDi sur fibre optique : Chaque suite de 4 bits est codée sur 5 bits suivant le schéma suivant :

mot de 4 bits	codage	signal
0000	11110	
0001	01001	
0010	10100	
0011	10101	
0100	01010	
0101	01011	
0110	01110	
0111	01111	
1000	10010	
1001	10011	
1010	10110	
1011	10111	
1100	11010	
1101	11011	
1110	11100	
1111	11101	
idle	11111	
start 1	11000	
start 2	10001	
end 1	01101	
end 2	00111	
error	00100	

Déterminer quel est le codage en signaux utilisé et compléter le tableau ci-dessus.

Exercice 40

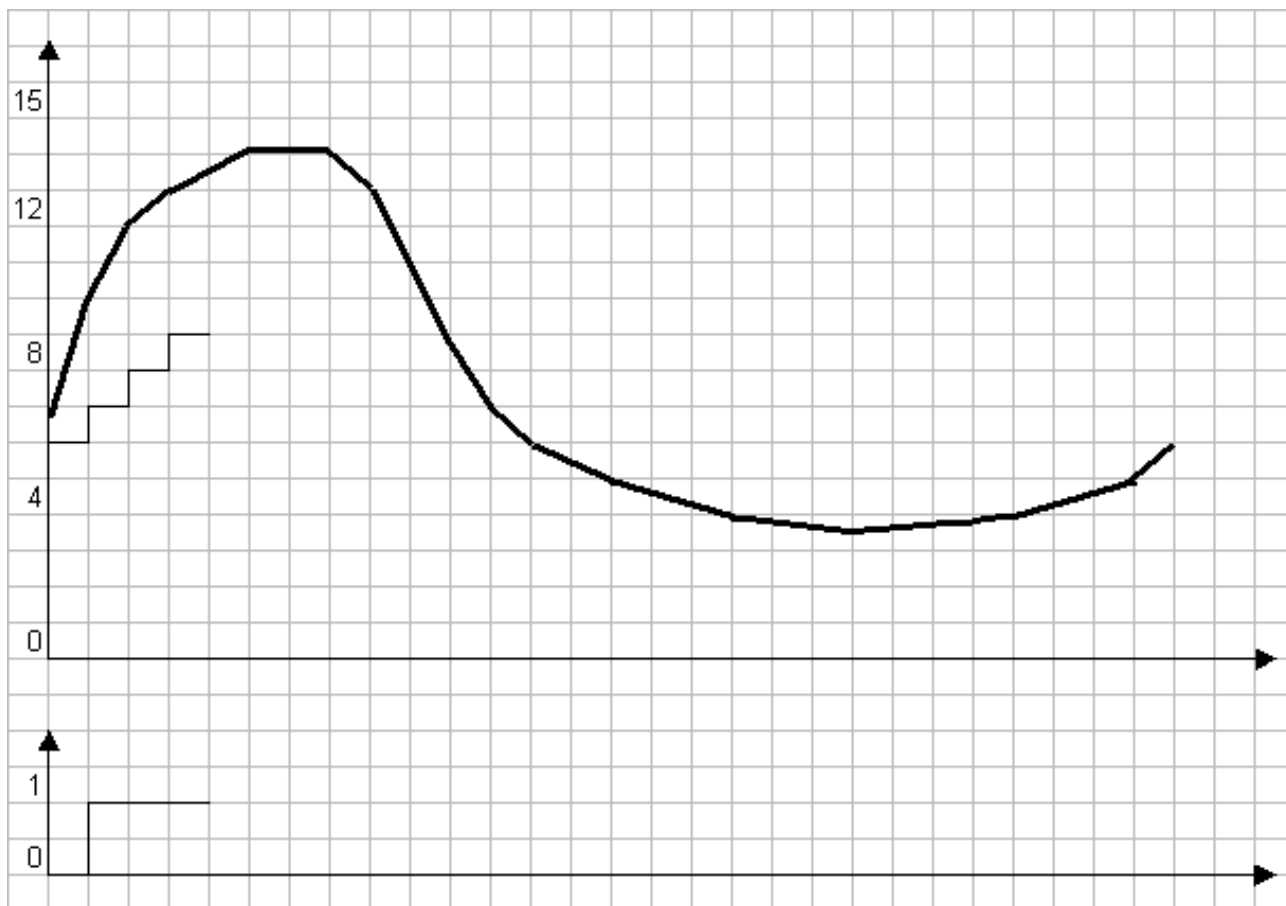
1) Dans le cadre de l'échantillonnage de données analogiques, on peut utiliser le codage ordinaire PCM (Pulse Code Modulation) qui

consiste à coder sur n bits chaque valeur mesurée de la donnée (avec approximation de quantification : on va au plus près par exemple).

Soit la donnée analogique suivante que l'on désire coder sur 4 bits (les lignes verticales indiquent les instants d'échantillonnage). En déduire le fichier binaire correspondant.



2) On peut aussi utiliser la méthode de codage appelée Modulation Delta. Cette méthode consiste à monter d'un pas de quantification à chaque échantillonnage, vers le haut si on est au-dessous de la courbe analogique, vers le bas si on est au-dessus de la courbe analogique. Le codage résultant est binaire : transition si on change de sens, pas de transition si le sens ne change pas. Le schéma ci-dessous indique le début de codage. Compléter le codage et donner le fichier binaire résultant.



Exercice 41

1) On considère une ligne half-duplex entre deux stations S_1 et S_2 fonctionnant suivant le mode Stop and Wait :

S_1 envoie une trame f_1 et attend ; S_2 à la réception de f_1 envoie un acquittement ; S_1 reçoit l'acquittement

S_1 envoie une trame f_2 et attend ; S_2 à la réception de f_2 envoie un acquittement ; S_1 reçoit l'acquittement

 S_1 envoie une trame f_n et attend ; S_2 à la réception de f_n envoie un acquittement ; S_1 reçoit l'acquittement

a) Exprimer le temps total d'expédition d'une trame depuis l'envoi du premier bit jusqu'à la réception du dernier bit de l'acquittement. On utilisera les durées suivantes :

t_{prop} : temps de propagation d'un bit entre S_1 et S_2

t_{frame} : temps d'émission d'une trame

t_{proc} : temps de traitement de données reçues

t_{ack} : temps d'émission d'un acquittement

On considère que t_{proc} est négligeable devant les autres durées et que la taille d'un acquittement est négligeable devant la taille d'une trame de données. En déduire une approximation de la durée d'expédition de n trames.

On pose $a = t_{\text{prop}} / t_{\text{frame}}$ Exprimer le taux d'occupation de la ligne θ en fonction de a .

Si D est le débit binaire de la ligne, d , la distance entre les stations, v la vitesse de propagation des ondes sur la ligne, L la longueur d'une trame en bits, exprimer a en fonction des grandeurs précédentes.

b) On suppose que $t_{\text{frame}} = 1\text{s}$, d'où $t_{\text{prop}} = a$.

Suivant que $a < 1$ ou $a > 1$, indiquer ce qui se passe aux instants $t = 0, 1, a, 1+a, 1+2a$.

c) On considère 3 types de liaisons :

c1) liaison véhiculant des cellules ATM (53 octets) ; débit 155,52 Mbits/s ; fibre optique. Calculer a pour une distance de 1000 km et θ . Conclusion.

c2) liaison de réseau LAN ; trames de 1000 bits ; débit 10 Mbits/s ; $v = 2 \cdot 10^8$ m/s dans les conducteurs de cuivre. Calculer a pour une distance de 1 km, puis θ . Conclusion.

c3) liaison téléphonique à 28,8 Kbits ; trames de 1000 bits ; Calculer a pour une distance de 1000 m et de 5000 km. Calculer θ . Conclusion.

2) On envisage une méthode de fenêtre glissante. On considère que la largeur vde la fenêtre est N ($N = 2^n - 1$ où n est le nombre de bits servant au codage du numéro de trame). Supposons que $t_{\text{frame}} = 1$

Etudier ce qui se passe aux instants $t = 0, a, a+1, 2a + 1$. On envisagera les deux cas $N > 2a+1$ et $N < 2a + 1$

En déduire l'expression du taux d'occupation θ .

Donner la représentation graphique de θ en fonction de a , pour $N=1, N=7, N=127$.

3) On envisage un contrôle d'erreur.

a) On désigne par P la probabilité pour qu'une trame soit erronée et par r le nombre de fois où on transmet la même trame (sans erreurs $r=1$). Montrer que $r = 1/(1-P)$.

b) Montrer que le taux d'occupation pour la méthode Stop and Wait est, dans le cas d'un contrôle d'erreur donné par $\theta = (1-P)/(1+2a)$.

c) On considère la méthode SR-ARQ (Selective Reject-Automatic Repeat Request) : dans une rafale de trame, seule la trame erronée est retransmise. Déterminer l'expression de θ .

d) On considère la méthode GBN-ARQ (Go Back - Automatic Repeat Request) : dans une rafale de trames, on retransmet toutes les trames à partir de la trame erronée. Si K est le nombre de trames à retransmettre, donner l'expression de r en fonction de P et K (r est le nombre moyen de trames transmises pour transmettre avec succès une trame de la séquence). En considérant les deux cas $N > 2a + 1$ et $N < 2a + 1$, quelle est la valeur de K ? En déduire l'expression de θ .

Solution de l'Exercice 1

1) Volume $V = 33\,750\,000$ bits ; le débit D est $D = 33,75$ Mbits/s.

2) Appliquons la relation $C = 2W \log_2(1 + S/B)^{1/2}$. Toutefois, il faut faire attention que dans cette relation S/B est exprimée en rapport de puissances et non en décibels. On écrira donc de préférence

$$C = 2W \log_2(1 + P_S/P_B)^{1/2}$$

$$P_S/P_B = \exp[(\ln(10)/10) \cdot S/B] = 3162 \text{ d'où } C = (9/2) \cdot (\ln(3163)/\ln(2)) = 52 \text{ Mbits/s.}$$

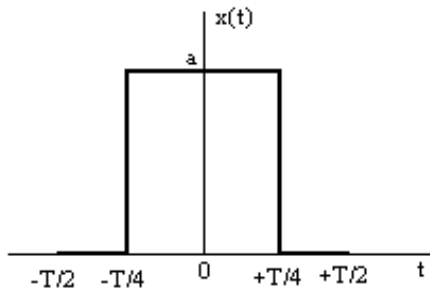
A noter que avec $S/B = 30$ dB, on aurait $C = 44,8$ Mbits/s et que avec $S/B = 20$ dB, on aurait $C = 29,96$ Mbits/s.

Solution de l'Exercice 2

1) Le développement en série de Fourier est

$$x(f) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 f + b_n \sin n\omega_0 f) \quad \text{avec } \omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

et comme le signal est pair, on n'a pas de termes en sinus.



$$x(f) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 f)$$

Les coefficients sont

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} x(f) dt = \frac{a}{2} \quad a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} x(f) \cos n\omega_0 f dt = \frac{2a}{n\pi} \sin n \frac{\pi}{2}$$

Cette dernière relation peut encore s'écrire

$$a_{2k+1} = \frac{2a}{(2k+1)\pi} (-1)^k \quad a_{2k} = 0 \quad \text{d'où} \quad x(f) = \frac{a}{2} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{2a(-1)^k}{(2k+1)\pi} \cos(2k+1)\omega_0 f$$

2) Il ne reste que

$$x'(f) = \frac{2a}{5\pi} \cos 5\omega_0 f - \frac{2a}{7\pi} \cos 7\omega_0 f$$

On constatera qu'il ne reste que peu de choses à l'arrivée !

Solution de l'Exercice 3

En reprenant les considérations de l'exercice 3, on obtient $C = 475,5$ bits/s.

Solution de l'Exercice 4

1) Puisqu'un signal transporte 4 bits, la rapidité de modulation est $R = D/4 = 1200$ bauds.

La rapidité de modulation maximale est $R_{\max} = kW$ avec $k = 1,25$. Donc $R < 1,25 W$ et par suite

$W > R/1,25$ soit $W_{\min} = 2400/1,25 = 1920$ Hz.

2) Dans ce cas un signal transporte 8 bits, donc $W_{\min} = 1200/1,25 = 960$ Hz.

Solution de l'Exercice 5

En reprenant les considérations de l'exercice 3, on a $1 + P_S/P_B = \exp [C \cdot \ln(2)/W] = 101$, d'où $P_S/P_B = 100$.

En décibels, $S/B = 10 \log_{10}(P_S/P_B) = 20$ dB.

Solution de l'Exercice 6

L'affaiblissement est donné par la relation $A = 10 \log_{10}(P_e/P_s)$ où P_e et P_s désignent les puissances électriques d'entrée et de sortie ; on a $P_e = V_e I = V_e^2/Z$ et de même $P_s = V_s^2/Z$ d'où $A = 20 \log_{10}(V_e/V_s)$. On a donc dans les conditions de l'énoncé : $V_e/V_s = 10^{3/2} = 31,62$

Solution de l'Exercice 7

On voit que la superposition ne comprend que des signaux dont la fréquence est un multiple impair de f ; entre $5f$ et $25f$ (bornes comprises, il y a 11 valeurs, donc 11 signaux.

Solution de l'Exercice 8

1 signal transporte 3 bits (8 combinaisons possibles) ; donc $D = 3R = 3600$ bits/s

Solution de l'Exercice 9

Avec 4 bits on peut former 16 combinaisons différentes auxquelles correspondent les 16 signaux distincts. Donc la quantité d'information binaire transportée par signal est 4 bits.

Solution de l'Exercice 10

$C=19,93.10^6$ bits/s.

On emploie la relation $C = W \log_2(1+(S/B)_W)$ et la relation $(S/B)_{dB} = 10 \log_{10}((S/B)_W)$ qui convertit le rapport des puissances en Watts S/B en son équivalent en décibels.

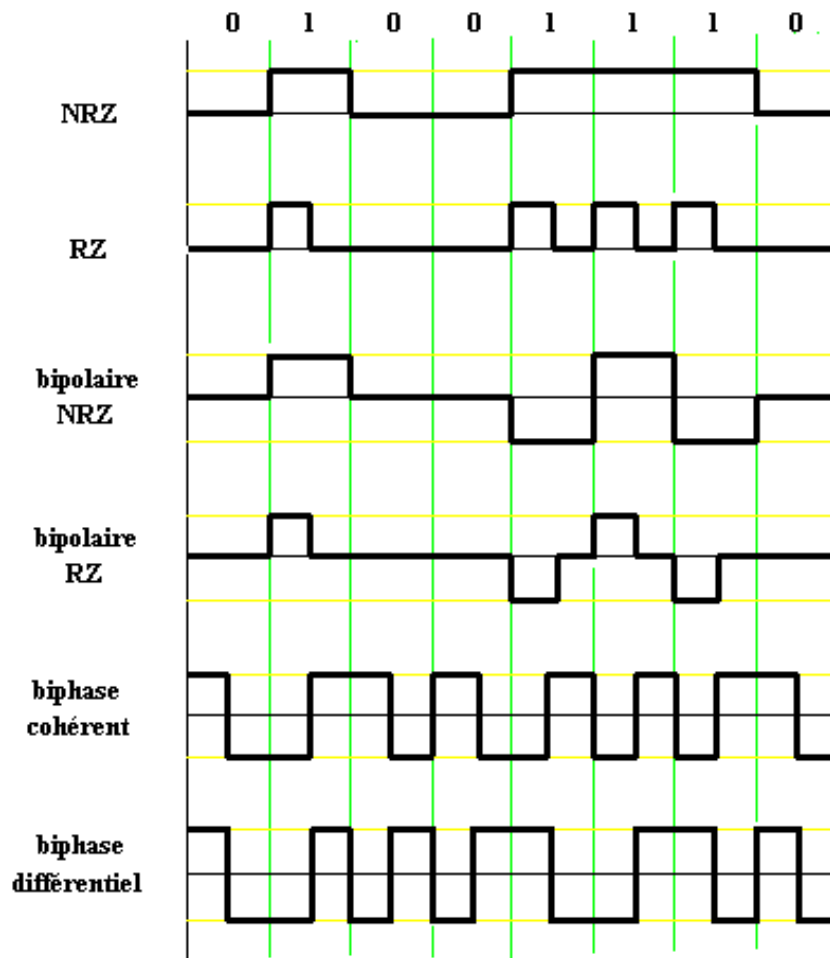
Solution de l'Exercice 11

La relation à employer est la définition du trafic : $E = N.T/3600 = 1,5 \times 360/3600 = 0,15$ Erlang

Solution de l'Exercice 12

Le débit effectif est $d = 4000 \times 12000/3600 = 13\,333,333$ et le taux d'occupation est le rapport $\theta = d/D = 0,20$

Solution de l'Exercice 13



Solution de l'Exercice 14

1) Appliquons la formule de l'énoncé pour trouver le nombre de niveaux :

$n = (S/B + a)/6 = 5$ environ. La puissance de 2 la plus proche est 4. On prendra donc 4 niveaux, ce qui signifie un codage de chaque échantillon sur 2 bits.

2) A la fréquence de 7 KHz, on a 7000 échantillons par seconde, soit 14 000 bits par seconde qui est donc le débit nécessaire.

Solution de l'Exercice 15

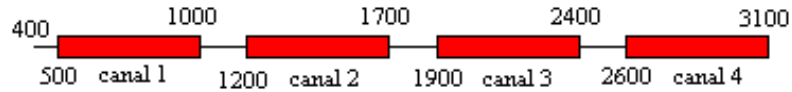
En redéfinissant l'échelle verticale par des graduations allant de 0 à 7 (8 niveaux), on obtient la "hauteur" de chacun des échantillons (en allant au plus près) :

1 2 3 3 2 2 3 6 6 6 3 1 1 1 4 5 6 6 6 5 2 1 1 2

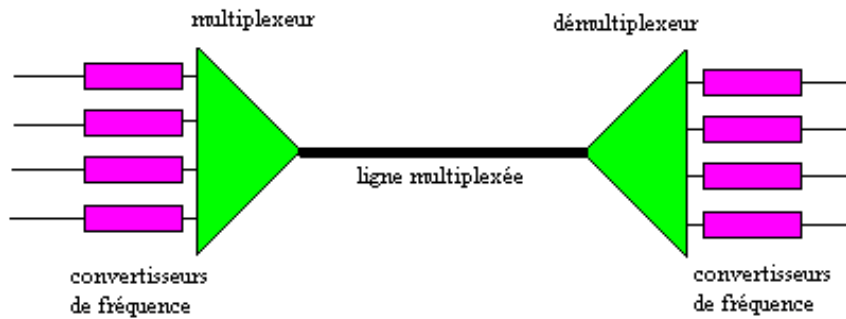
soit après codage

Solution de l'Exercice 16

Sachant que l'on a 4 canaux à définir sur la plage 400-3100 Hz, on peut découper celle-ci de la manière suivante :

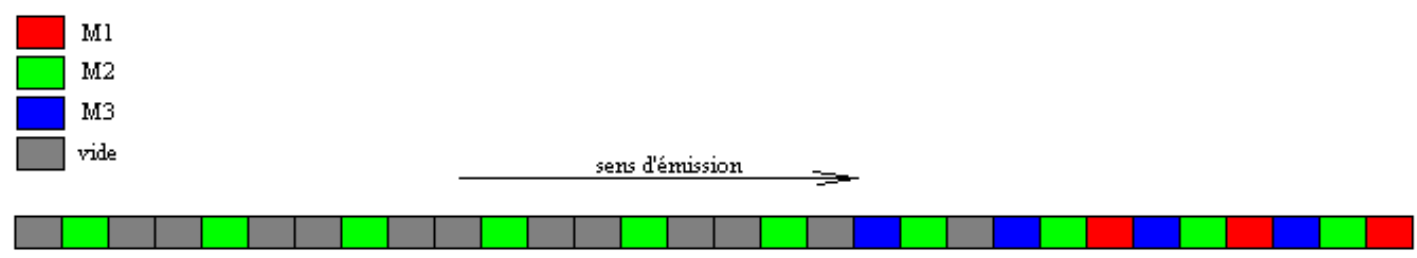


Les quatre trains d'information sont affectés chacun à un canal ; un adaptateur (homothétie en fréquence) est nécessaire au départ comme à l'arrivée ; le multiplexeur mélange les fréquences ; le démultiplexeur, à l'aide de filtres permet la séparation de quatre trains.



Solution de l'Exercice 17

Les trois messages M1, M2, M3 correspondent respectivement à 3, 10, 4 paquets. Le multiplexage correspond à l'intercalage des paquets:



Le débit par message est le débit nominal divisé par trois, soit 1600 bits/s.

Solution de l'Exercice 18

1) Soit d la durée d'émission d'un bit. Alors $D = 1/d$. Un caractère correspond à 10 bits, soit une durée d'émission de $10d$.

Le débit utile est alors $U = 8/10d = 0,8 D$ en supposant que les caractères sont envoyés les uns derrière les autres.

2) Une trame compte 192 bits dont 128 utiles. Le débit utile est donc $U = 128/192d = 0,66 D$

3) Une trame compte 1088 bits dont 1024 utiles. Le débit utile est donc $U = 1024/1088d = 0,94 D$

Solution de l'Exercice 19

Le débit sera trois fois plus faible puisque un paquet sur trois appartient au même message.

Solution de l'Exercice 20

Les bons sigles sont RZ et NRZ

Solution de l'Exercice 21

1 minute = 60 secondes . Par seconde, on effectue 22 000 mesures codées chacune sur 8 bits.

On a donc un volume de $60 \times 22\,000 \times 8 = 10\,560\,000$.

Solution de l'Exercice 22

$$\begin{array}{r} x^7 + \\ 0 + \end{array} \quad \begin{array}{r} x^5 + \\ x^5 + x^4 \\ 0 + x^4 \\ + \end{array} \quad \begin{array}{r} + x^2 + \\ + x^2 + x + \end{array} \quad \begin{array}{r} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{array} \left| \begin{array}{l} x^3 + 1 \\ \hline x^4 + x^2 + x \end{array} \right.$$

On obtient donc : $Q(x) = x^4 + x^2 + x$ et $R(x) = x^2 + x + 1$.

NB: ne pas perdre de vue qu'en addition modulo 2, $1+1 = 1-1 = 0$.

Solution de l'Exercice 23

Il y a 3 bits utiles et 1 bit de contrôle, soit 4 bits pour un mot du code. La relation $Y \sim X \cdot G$ permet de déterminer l'algorithme de calcul du bit de contrôle :

$$(y_1 \ y_2 \ y_3 \ y_4) = (x_1 \ x_2 \ x_3) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_1+x_2+x_3)$$

Donc on aura le codage suivant :

mot non codé	mot codé
000	0000
001	0011
010	0101
011	0110
100	1001
101	1010
110	1100
111	1111

Solution de l'Exercice 24

H possède $r=3$ lignes et $n=6$ colonnes, donc il y a $m=6-3=3$ bits utiles.

En posant $X \sim (x_1 \ x_2 \ x_3)$ et $Y \sim (y_1 \ y_2 \ y_3 \ y_4 \ y_5 \ y_6) = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ a_1 \ a_2 \ a_3)$ et en calculant HY qui doit être égal à 0, on obtient :

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 + x_2 + x_3 + a_1 \\ x_2 + x_3 + a_2 \\ x_1 + x_2 + a_3 \end{pmatrix}$$

donc

$$\begin{aligned} a_1 &= x_1 + x_2 + x_3 \\ a_2 &= x_2 + x_3 \\ a_3 &= x_1 + x_2 \end{aligned}$$

Le tableau ci-dessous donne, avec cet algorithme, le code de tous les mots utiles :

mot non codé	mot codé
000	000000
001	001110
010	010111
011	011001
100	100101
101	101011
110	110110
111	111100

Solution de l'Exercice 25

$H(z)=z^2+z+1$: le degré de ce polynôme est 2, donc il y a 2 bits de contrôle. Par ailleurs le mot utile proposé comporte 5 bits, donc le code porte sur des mots utiles de $m=5$ bits. On en déduit le nombre de bits des mots codés : $n=7$.

On pose :

$$X(z) = x_0 + x_1 z + x_2 z^2 + x_3 z^3 + x_4 z^4$$

$$z^2 X(z) = x_0 z^2 + x_1 z^3 + x_2 z^4 + x_3 z^5 + x_4 z^6$$

$$\begin{array}{r}
 x_4 z^6 + x_3 z^5 + x_2 z^4 + x_1 z^3 + x_0 z^2 \\
 0 + (x_3+x_4)z^5 + (x_2+x_4)z^4 + x_1 z^3 + x_0 z^2 \\
 0 + (x_2+x_3)z^4 + (x_1+x_3+x_4)z^3 + x_0 z^2 \\
 0 + (x_1+x_2+x_4)z^3 + (x_0+x_2+x_3)z^2 \\
 0 + (x_0+x_1+x_3+x_4)z^2 + (x_1+x_2+x_4)z \\
 0 + (x_0+x_2+x_3)z + x_0+x_1+x_3+x_4
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 z^2 + z + 1 \\
 \hline
 x_4 z^4 + (x_3+x_4)z^3 + (x_2+x_3)z^2 \\
 + (x_1+x_2+x_4)z + x_0+x_1+x_3+x_4
 \end{array} \right.$$

On a donc :

$$Q(z) = x_4 z^4 + (x_3+x_4)z^3 + (x_2+x_3)z^2 + (x_1+x_2+x_4)z + x_0+x_1+x_3+x_4$$

$$R(z) = (x_0+x_2+x_3)z + x_0+x_1+x_3+x_4$$

$$Y(z) = z^2 X(z) + R(z) = x_4 z^6 + x_3 z^5 + x_2 z^4 + x_1 z^3 + x_0 z^2 + (x_0+x_2+x_3)z + x_0+x_1+x_3+x_4$$

$$\text{soit } a_1 = x_0+x_2+x_3 \quad a_0 = x_0+x_1+x_3+x_4$$

Ainsi le mot 11011 est codé 1101100.

Solution de l'Exercice 26

Pour le code fourni, la distance minimale de Hamming est $d_{\min}=3$.

- détection de $p=2$ erreurs : d'après la règle 1, on a $d_{\min}>p$, soit $3>2$, donc cette détection est possible.
- correction de $q=1$ erreur : d'après la règle 2, on a $d_{\min}>2q$, soit $3>2$, donc cette correction est possible.

On peut le vérifier sur le code fourni : Dans la colonne des mots codés, les colonnes de bits 2 et 3 redonnent les bits utiles, la colonne de bits 1 est l'inverse de la colonne de bits 2 ; de même la colonne de bits 5 est l'inverse de la colonne de bits 3 ; enfin la règle de parité impaire est appliquée aux colonnes de bits 1,4,5. On a donc trois bits de contrôle (a_1 pour la colonne 1, a_2 pour la colonne 4, a_3 pour la colonne 5) :

$$a_1 = x_1+1 \quad a_2 = a_1 + a_3 + 1 \quad a_3 = x_2 + 1$$

où x_1 et x_2 désigne les bits du mot non codé.

Ainsi Soit le mot 01 qui est codé en 10100. Supposons que dans la transmission se produise une erreur et que le mot reçu soit 00100. Avec les règles ci-dessus, il est clair que l'on peut détecter et corriger cette erreur simple.

De même si 2 erreurs se produisent, par exemple 10100 est transformé en 00000, on détecte facilement l'erreur double en utilisant a_1 et a_3 .

Solution de l'Exercice 27

1) Le mot utile étant $(x_{10}, x_9, x_8, x_7, x_6, x_5, x_4, x_3, x_2, x_1, x_0)$, le mot à encoder sera de la forme $(x_{10}, x_9, x_8, x_7, x_6, x_5, x_4, x_3, x_2, x_1, x_0, a_3, a_2, a_1, a_0)$.

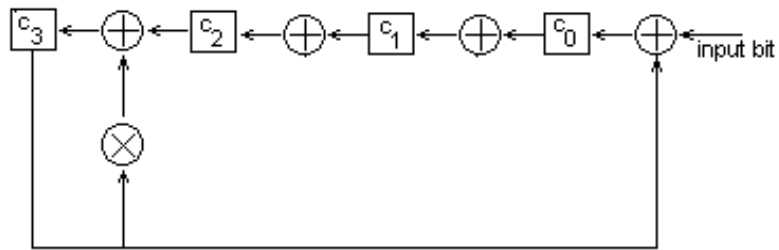
En utilisant la relation $Y(z) = Q(z)H(z)+R(z)$, on obtient :

$$\begin{aligned} a_3 &= x_0 + x_1 + x_2 + x_4 + x_6 + x_7 + x_{10} \\ a_2 &= x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_7 + x_9 + x_{10} \\ a_1 &= x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_6 + x_8 + x_9 \\ a_0 &= x_0 + x_1 + x_2 + x_3 + x_5 + x_7 + x_8 \end{aligned}$$

2) Le mot encodé sera 100110111001101

Solution de l'Exercice 28

1) Le circuit est le suivant :



2) La suite de décalages est indiquée ci-dessous : le champ de contrôle est 1101.

c3	c2	c1	c0	entrée
0	0	0	0	
0	0	0	1	1
0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	1	0	1	0
0	0	1	0	1
0	1	0	1	1
1	0	1	1	1
1	1	1	1	0
0	1	1	1	0
1	1	1	0	0
0	1	0	1	0
1	0	1	0	0
1	1	0	1	0

Solution de l'Exercice 29

La distance de Hamming est le nombre de bits de même rang qui diffèrent. Soit ici 2.

Solution de l'exercice 30

On emploie la relation $HY=0$:

$$H \cdot Y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 + x_3 + a_1 \\ x_1 + x_3 + a_2 \\ x_1 + x_2 + a_3 \end{bmatrix}$$

d'où $a_1 = x_2 + x_3$ $a_2 = x_1 + x_3$ $a_3 = x_1 + x_2$

On obtient donc 101101.

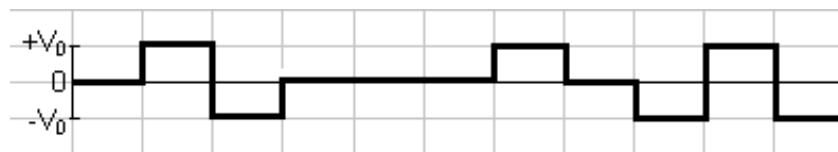
Solution de l'Exercice 31

On emploie la relation

$$\tilde{Y} = \tilde{X} \cdot G \text{ soit } [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_2 + x_3 \ x_1 + x_3 \ x_1 + x_2] = [x_1 \ x_2 \ x_3] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Solution de l'Exercice 32

1)



bits	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1

2) Un signal transporte un bit. La rapidité de modulation R et le débit D ont la même valeur . Comme $R = 1/D$, on a

Durée Δ :	0,5 microseconde
------------------	------------------

Solution de l'Exercice 33

1) $T = 3t_e + 2t_p + t_{ack}$ avec $t_e = 1024/(2.10^6) = 0,5. 10^{-3} \text{ s}$; $t_p = 10^4/(3.10^8) = 0,033.10^{-3} \text{ s}$; $t_{ack} = 64/(2.10^6) = 0,032. 10^{-3} \text{ s}$

Durée :	$T = 1,598.10^{-3} \text{ s}$
---------	-------------------------------

2) $q = 3t_e / T$

Taux d'occupation :	0,94
---------------------	------

3) nombre de trames = $(8.10^6)/(1024 - 80) = 8475$ trames ce qui nécessite 2825 rafales, donc $4514 \text{ s} = 75 \text{ min} = 1,25 \text{ h}$

Durée totale de transmission :	1,25 h
--------------------------------	--------

Solution de l'Exercice 34

N(S) =	5
N(R) =	5

Solution de l'Exercice 35

Par seconde, on a 8000 mesures du signal et chaque mesure est codée sur 8 bits ; il faut donc un débit de $8 \times 8000 = 64\ 000$ bits/s

Débit :	64 Kbits/s
---------	------------

Solution de l'exercice 36

a) Le nombre de voies (appelées IT) est $2 \text{ Mbits/s} / 64 \text{ Kbits/s} = 32$ voies (en fait 2 sont utilisées pour la gestion de la liaison)

b) Il suffit de prendre 3 canaux (3 IT) de la trame MIC.

Solution de l'Exercice 37

a) En se basant sur le dessin, on voit que $T = t_e + 2t_p$.

$$t_e = L/D \text{ et } t_p = d/v \text{ d'où } T = L/D + 2d/v$$

$$b) \theta = t_e/T = t_e/(t_e + 2t_p) = 1/(1 + 2a) \text{ avec } a = dD/Lv$$

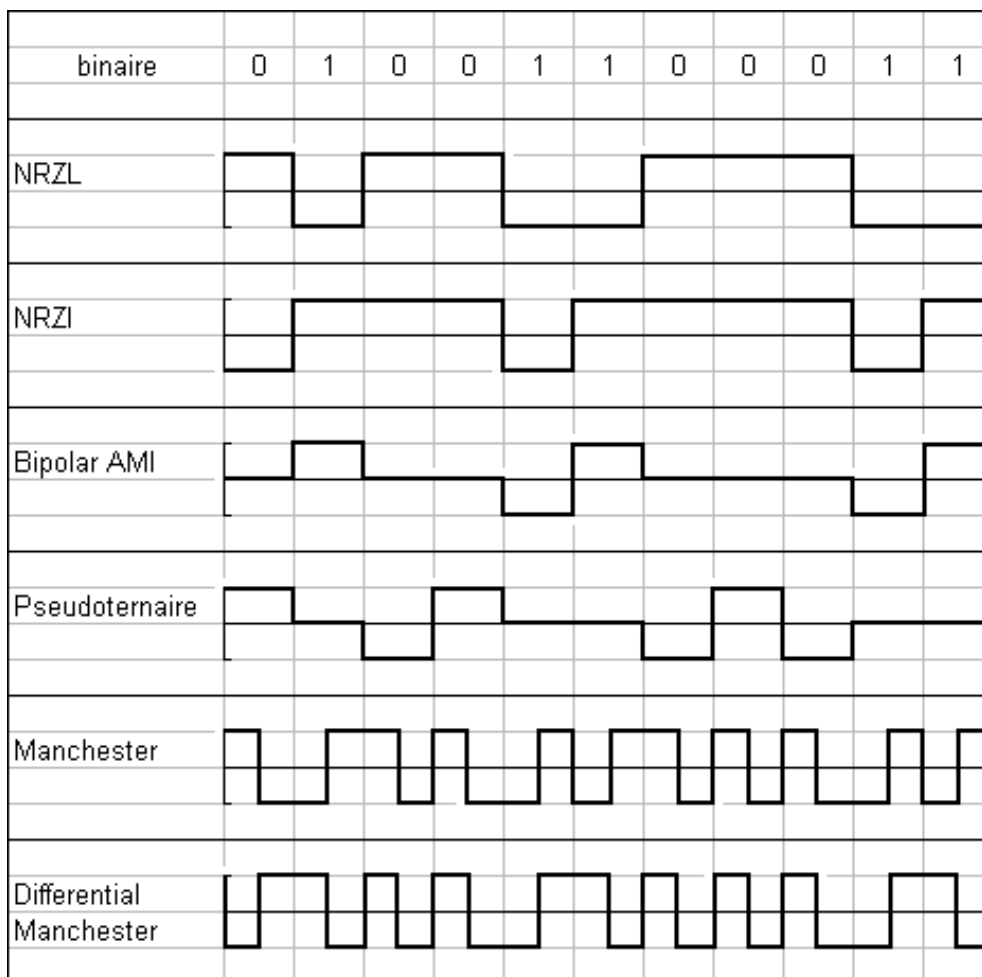
$$c) a = 10^3 \times 64 \times 1024 / (1024 \times 2 \times 10^8) = 32 \times 10^{-5} \quad \text{On en déduit que pratiquement, } \theta = 1$$

$$d) a = 10^3 \times 155 \times 10^6 / (53 \times 2 \times 10^8) = 14,6 \quad \text{On en déduit } \theta = 0,03$$

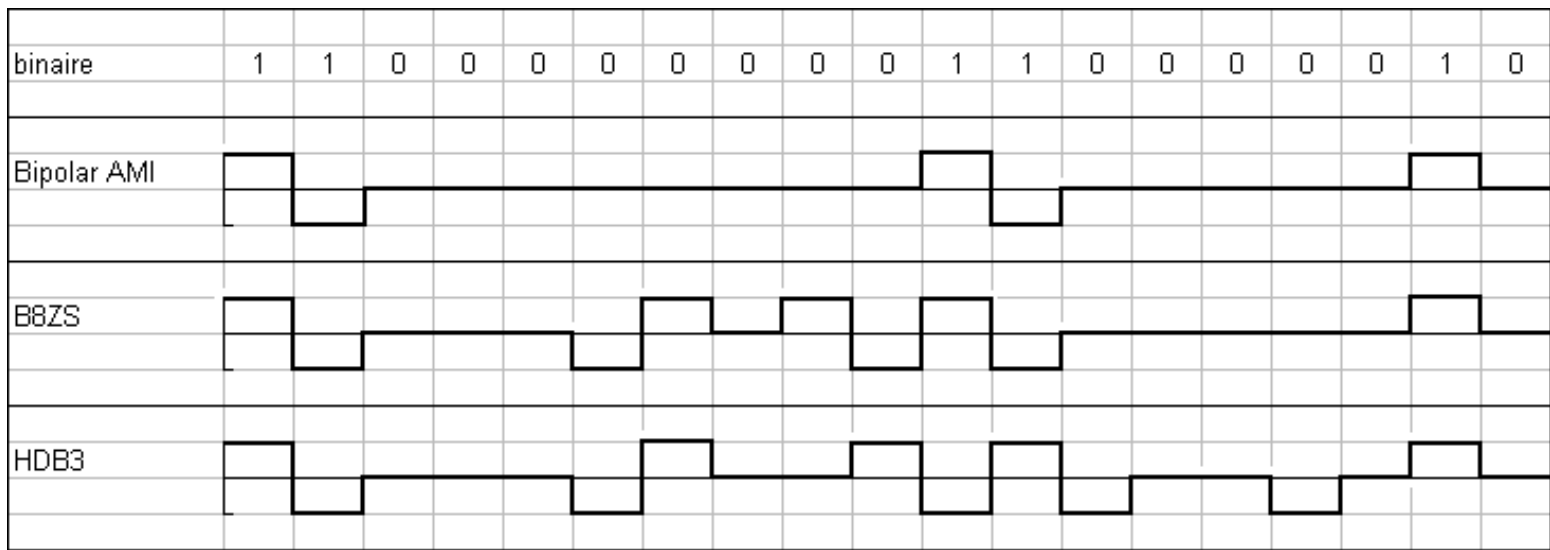
e) Pour des débits moyens, le protocole fonctionne bien ; pour des débits élevés, le protocole est quasi inutilisable.

Solution de l'exercice 38

1)



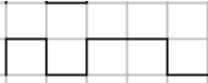
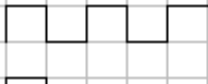
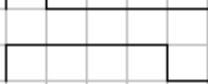

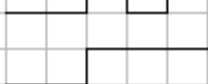
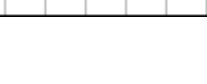

2)



Solution de l'exercice 39

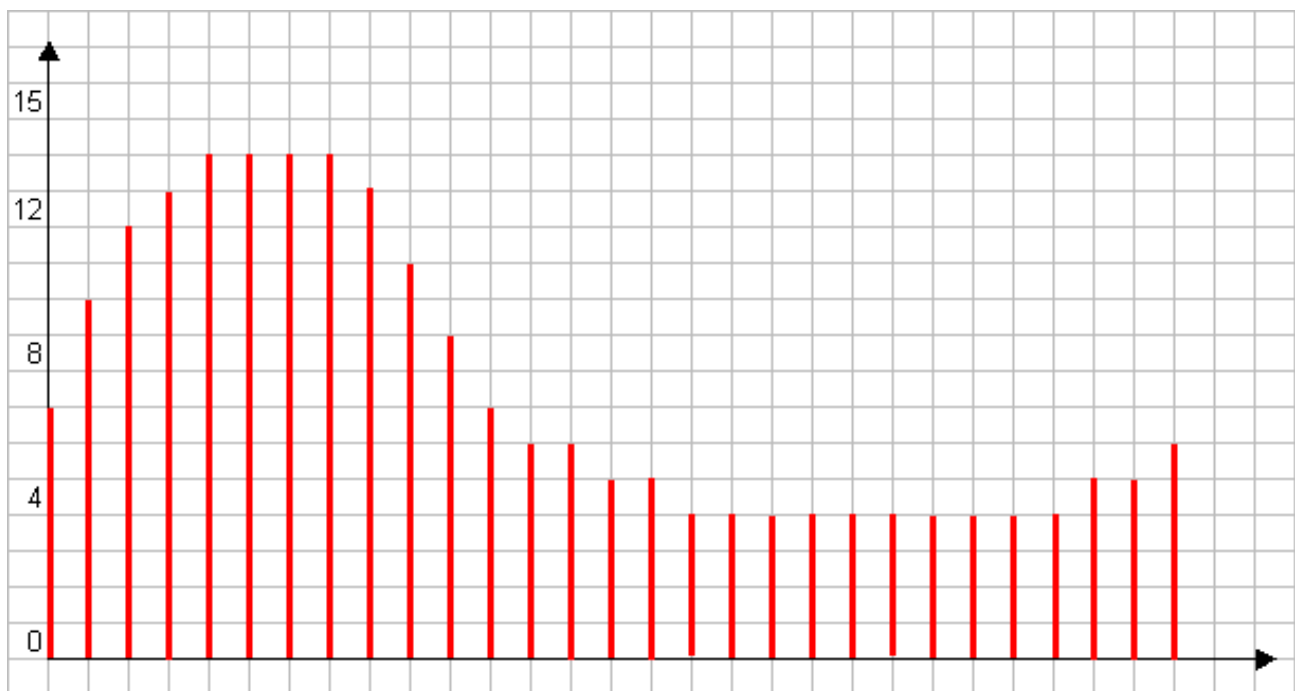
On vérifie aisément que le codage utilisé est NRZI.

mot de 4 bits	codage	signal
0000	11110	
0001	01001	
0010	10100	
0011	10101	
0100	01010	
0101	01011	
0110	01110	
0111	01111	
1000	10010	
1001	10011	
1010	10110	
1011	10111	
1100	11010	
1101	11011	
1110	11100	
1111	11101	

1111	11101	
idle	11111	
start 1	11000	
start 2	10001	
end 1	01101	
end 2	00111	
error	00100	

Solution de l'exercice 40

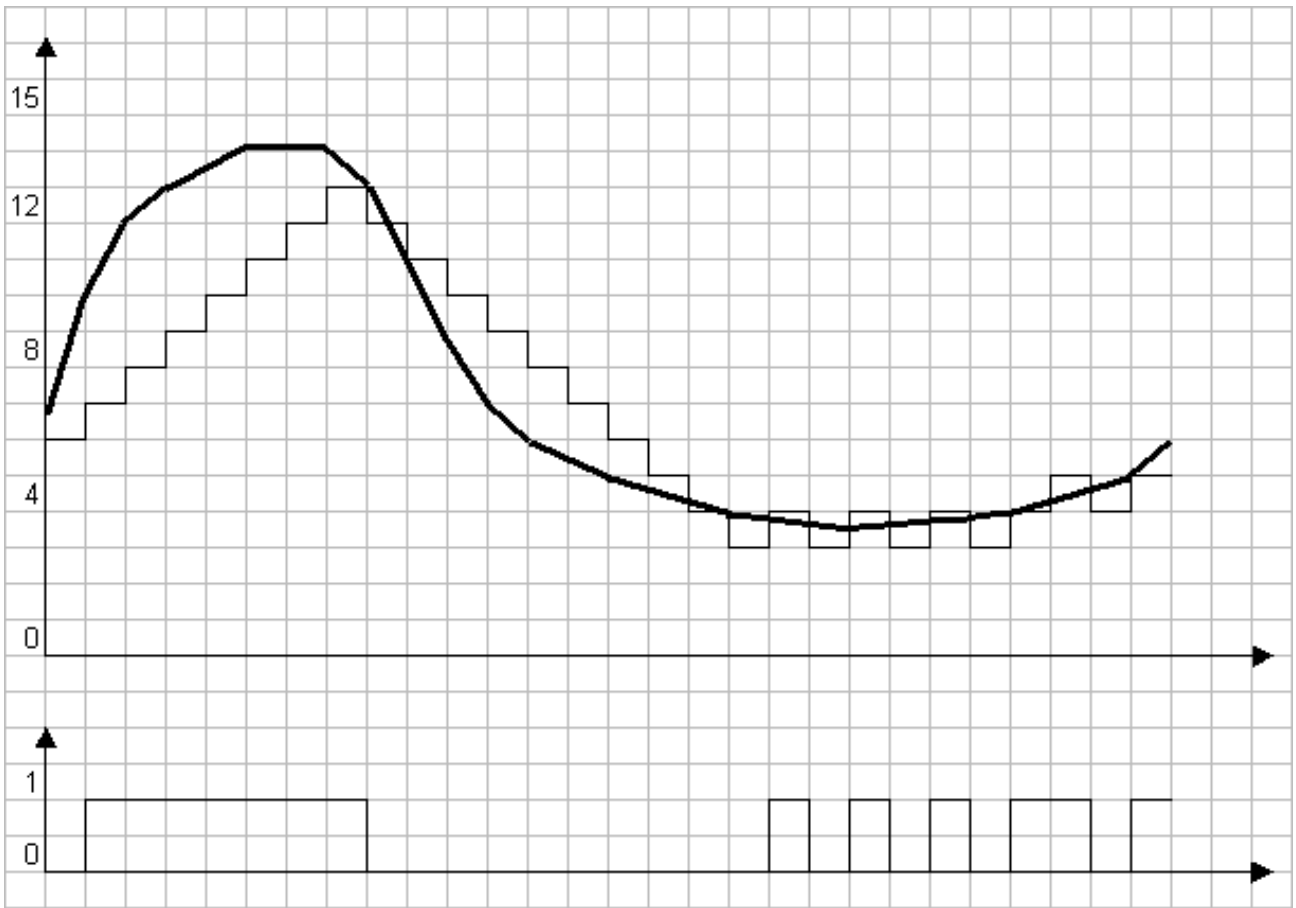
1) Après échantillonnage et quantification, on obtient une série de mesures :



d'où le codage de la donnée analogique (chaque mesure sur 4 bits) :

```
0111 1010 1100 1101 1110 1110 1110 1110
1101 1011 1001 0111 0110 0110 0101 0101
0100 0100 0100 0100 0100 0100 0100 0100
0100 0100 0101 0101 0110
```

2)



Le codage est donc :

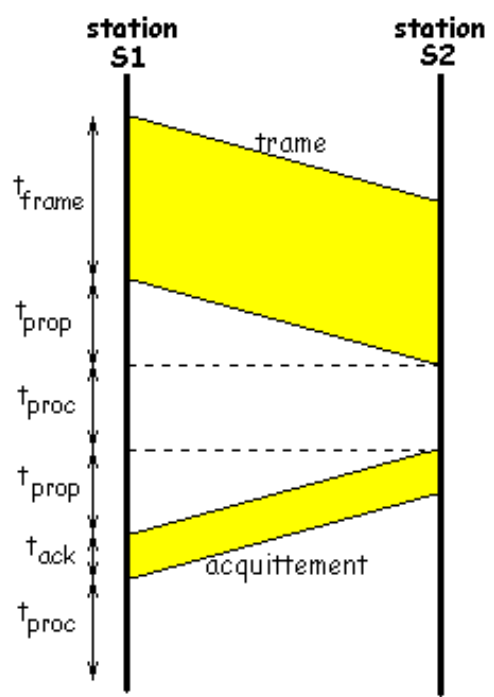
```
01111111000000000001010101101
```

Solution de l'exercice 41

1a)

En se basant sur le schéma ci-contre, on en déduit très aisément :

$$T = t_{prop} + t_{frame} + t_{proc} + t_{prop} + t_{ack} + t_{proc}$$



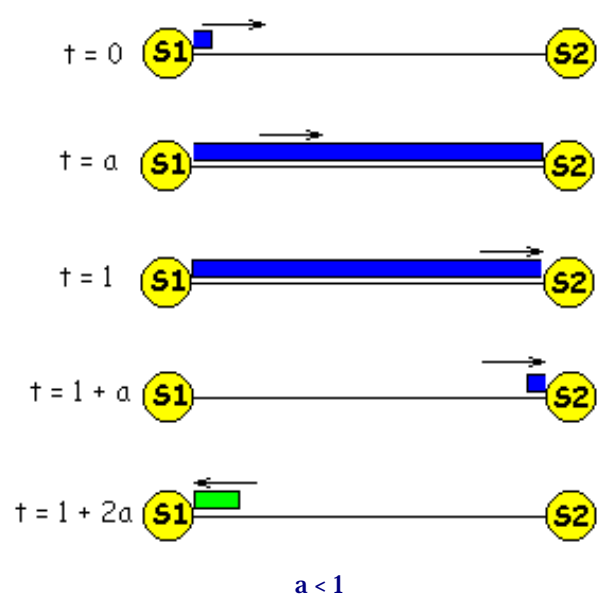
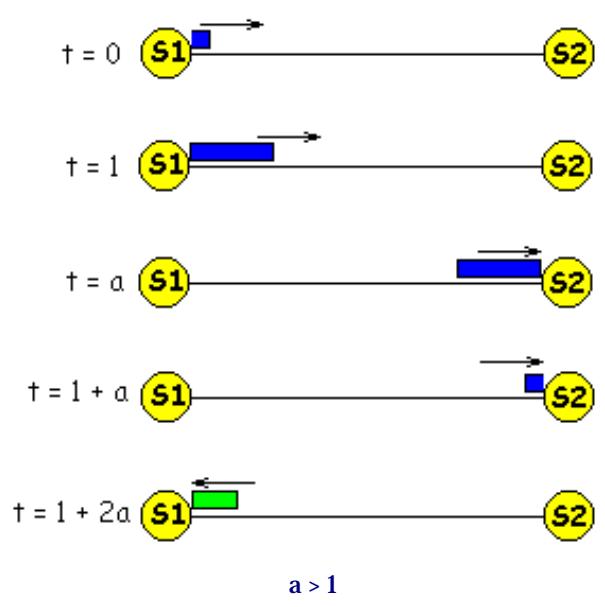
On peut négliger tous les termes de la somme précédente sauf t_{frame} et t_{prop}

d'où : $T_n = n T = n(2t_{prop} + t_{frame})$

$\theta = 1/(2a+1)$

$t_{prop} = d/v$ $t_{frame} = L/D$ d'où $a = (dD)/(vL)$

1b)



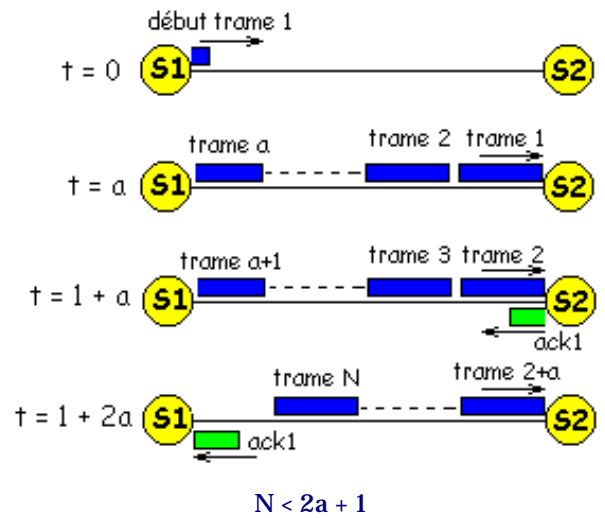
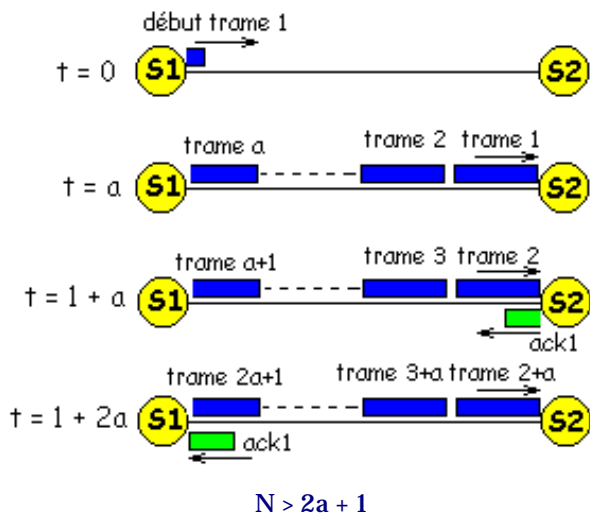
1c1)

$t_{frame} = (8 \times 53)/(155,52 \times 10^6) = 2,7$ microsecondes. Pour la fibre optique $v = 3.10^8$ m/s et $t_{prop} = 0,33 \times 10^{-2}$ s. $a = 1200$ et $\theta = 0,0004$ (désastreux).

1c2) $t_{frame} = (1000/10^7) = 10^{-4}$ s. $t_{prop} = 1000/(2.10^8) = 0,5 \times 10^{-5}$ s. $a = 0,05$ et $\theta = 0,9$ (très satisfaisant)

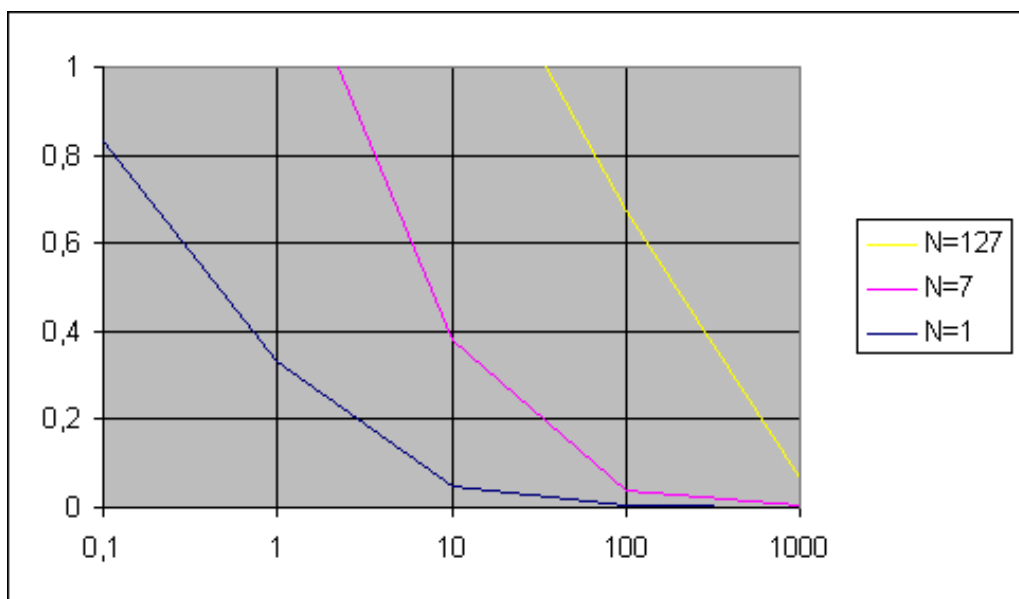
1c3) $d = 1000$ m $a = 1,44 \times 10^{-4}$ $\theta = 1$ (très bon)
 $d = 5000$ km $a = 0,72$ $\theta = 0,4$ (efficacité moyenne)

2)



Dans le cas où $N > 2a + 1$, la ligne est toujours occupée donc $\theta = 1$

Dans le cas où $N < 2a + 1$, la durée d'émission est N pendant le temps $2a + 1$, donc $\theta = N / (2a + 1)$



3a)

Imaginons que l'on effectue k tentatives pour transmettre une trame : les $k-1$ premières sont erronées et la dernière est bonne ; la probabilité de cette situation est donc $p_k = P^{k-1}(1-P)$. Le nombre moyen r est donc :

$$r = \sum_{k=1}^{\infty} k p_k = \sum_{k=1}^{\infty} k P^{k-1} (1-P) = (1-P) [1 + 2P + 3P^2 + 4P^3 + \dots] = (1-P) \frac{d}{dP} [P + P^2 + P^3 + \dots] = (1-P) \frac{d}{dP} [1 + P + P^2 + P^3 + \dots - 1]$$

$$= (1-P) \frac{d}{dP} \left[\frac{1}{1-P} - 1 \right] = (1-P) \frac{d}{dP} \left[\frac{1}{1-P} - 1 \right] = (1-P) \frac{d}{dP} \left[\frac{P}{1-P} \right] = (1-P) \cdot \frac{1}{(1-P)^2} = \frac{1}{1-P}$$

3b)

Le facteur $1+2a$ qui représente le temps d'expédition d'une trame est à remplacer par $r(1+2a)$, puisqu'on effectue r tentatives. Donc, le taux d'occupation est :

$$\theta = (1-P) / (1+2a)$$

3c)

La méthode est la même ; il faut remplacer θ par θ/r d'où

$$\theta = 1 - P \text{ pour } N > 2a+1$$

$$\theta = N(1-P)/(1+2a) \text{ pour } N < 2a+1$$

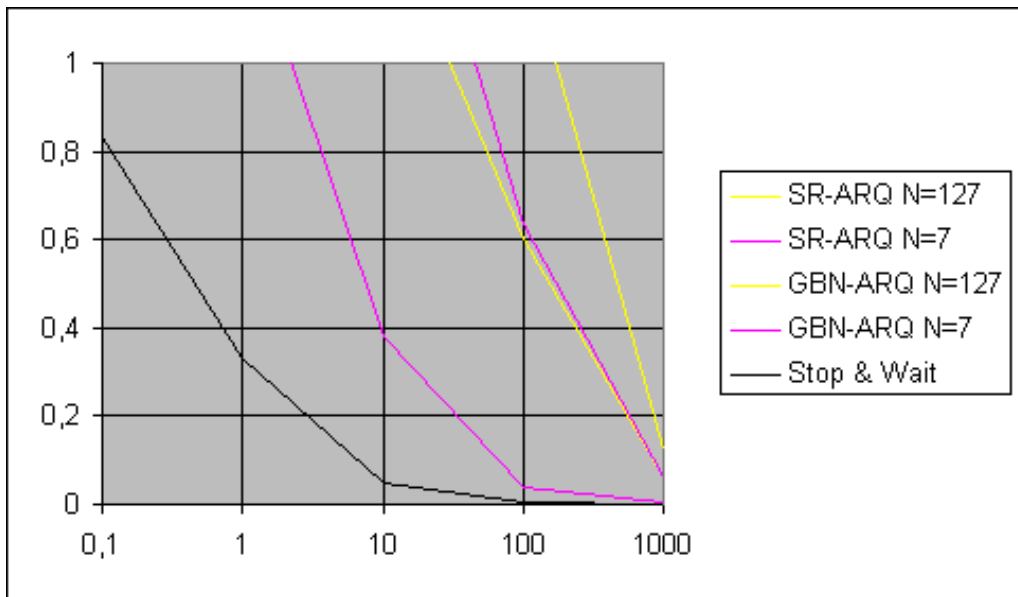
3d) Pour chaque erreur, il faut retransmettre K trames. Dans le cas de k tentatives, on a une transmission de trame puis k-1 fois la transmission de K trames ; donc en définitive, pour k tentatives, le nombre de trames à transmettre est $1 + (k-1)K$ (au lieu de k dans le cas précédent). La valeur moyenne de r est donc :

$$r = \sum_{k=1}^{\infty} [1 + (k-1)K] P^{k-1} (1-P) = \sum_{k=1}^{\infty} [1 - K + Kk] P^{k-1} (1-P) = (1-P) \left[(1-K) \sum_{k=1}^{\infty} P^{k-1} + K \sum_{k=1}^{\infty} k P^{k-1} \right] = (1-P) \left[\frac{1-K}{1-P} + K \frac{1}{(1-P)^2} \right] = 1 - K + \frac{K}{1-P} = \frac{1-P+KP}{1-P}$$

En se basant sur la question 2, on considérera que l'on a $K = 2a+1$ pour $N > 2a+1$ et $K=N$ pour $N < 2a+1$.

Donc, on a $\theta = (1-P)/(1+2aP)$ pour $N > 2a+1$

$$\theta = N(1-P)/((1+2a)(1-P+NP))$$



A noter que les méthodes Stop & Wait, GBN-ARQ N=1 et SR-ARQ N=1 donnent le même résultat.

QCM

1) Un signal analogique est représenté par une grandeur physique

•

- -
 -
 -
-

2) Un signal numérique est représenté par une grandeur physique

- -
 -
 -
 -
-

3) Une grandeur sinusoïdale est caractérisée par une amplitude, une fréquence et

- -
 -
 -
 -
-

4) Une voie de transmission élémentaire est un quadripôle contenant une résistance et

- -
 -
 -
 -
-

5) L'affaiblissement d'une ligne se mesure en

- -
 -
 -
 -
-

6) Si l'affaiblissement est de 20 db, le rapport $|V_e/V_s|$ des ondes sinusoïdales d'entrée et de sortie est de

- -
 -
 -
 -
-

7) La décomposition en série de Fourier d'un signal conduit à une superposition de signaux sinusoïdaux de fréquences f , $3f$, $5f$, $7f$, ... Sachant que la bande passante est $[5f, 15f]$, combien de signaux sinusoïdaux élémentaires seront détectés à l'arrivée ?

- -
 -
 -
 -
-

8) La ligne téléphonique pour le transport de la voix possède une largeur de bande de l'ordre de

- -
 -
 -
 -
-

9) Une voie de transmission véhicule 16 types de signaux distincts ; sa rapidité de modulation est $R = 1200$ bauds. Quel est le débit binaire de cette ligne ?

- -
 -
 -
 -
-

10) Une voie de transmission véhicule 8 types de signaux distincts. Quelle est la quantité d'information binaire transportée par chaque signal ?

- -
 -
 -
 -
-

11) Le rapport signal sur bruit d'une voie de transmission est de 20 dB ; sa largeur de bande est de 3100 Hz. Quelle est, environ, la capacité théorique de cette voie ?

- -
 -
 -
 -
-

12) Sur une voie de transmission, on constate que le nombre de communications par heure est 2 et que chaque communication a une durée moyenne de 3600 secondes. Quel est le trafic correspondant ?

- -
 -
 -
 -
-

13) Sachant que, pour une voie de transmission, le nombre de transactions par communication est de 4200, la longueur moyenne d'une transaction est de 1200 bits, la durée moyenne d'une communication est de 3600secondes, le débit binaire est de 64 Kb/s, donner le taux d'occupation de la voie.

- -
 -
 -
 -
-

14) Avec le code ASCII simple, on peut représenter

- -
 -
 -
 -
-

15) Une transaction série entre deux ordinateurs nécessite

-
-
-

- -
-

16) En transmission asynchrone, il s'écoule entre deux transmissions d'information

- -
 -
 -
 -
-

17) L'un des codes suivants est un code utilisé en transmission en bande de base

- -
 -
 -
 -
-

18) Pour transformer un signal numérique en un signal analogique, il faut utiliser

- -
 -
 -
 -
-

19) ETCD signifie

- -
 -
 -
 -
-

20) Dans ETTD, le dernier D signifie

-
-

- -
 -
-

21) Pour numériser un son analogique, on effectue un échantillonnage, puis

- -
 -
 -
 -
-

22) Lorsqu'on partage une voie de transmission entre plusieurs communications de messages de manière à partager la bande passante entre les diverses communications, on effectue

- -
 -
 -
 -
-

23) Pour effectuer un multiplexage temporel, il faut

- -
 -
 -
 -
-

24) Les erreurs les plus fréquentes observées dans une transmission de message sont

- -
 -
 -
 -
-

25) La distance de Hamming entre $m_1 = (10101010)$ et $m_2 = (10111110)$ est

-

-
-
-
-

26) Pour détecter 3 erreurs il faut que la distance de Hamming minimale soit

-
-
-
-
-

27) Pour corriger des erreurs jusqu'à l'ordre 2, il faut que la distance de Hamming minimale soit :

-
-
-
-
-

28) Pour corriger des erreurs jusqu'à l'ordre 1 et détecter des erreurs jusqu'à l'ordre 2, il faut que la distance de Hamming minimale soit

-
-
-
-
-

29) Soit un code linéaire (6,3) dont la matrice est

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Quelle est l'information codée correspondant à l'information utile 111 ?

-
-
-

- -
-

30) Soit le polynôme générateur $x^3 + x + 1$ du code (7,4). Donner le codage de l'information utile 1111.

- -
 -
 -
 -
-

31) Dans la procédure HDLC, un fanion a pour code

- -
 -
 -
 -
-

32) Dans HDLC, une demande de connexion s'effectue avec

- -
 -
 -
 -
-

33) Dans la procédure HDLC, le champ de détection d'erreur s'appelle

- -
 -
 -
 -
-

34) Dans la procédure HDLC, le polynôme générateur est

-
-

- -
 -
-

35) Dans la procédure HDLC, une trame I comporte deux numéros, le numéro de trame et

- -
 -
 -
 -
-

36) Dans la procédure HDLC, si on émet une trame I de numéros $N(S) = 3$ et $N(R) = 2$, la trame reçue de numéro 1 est- elle acquittée ?

- -
 -
 -
 -
-

37) Dans la procédure HDLC, si on émet une trame de numéros $N(S) = 3$ et $N(R) = 2$, quel est le numéro de la prochaine trame attendue ?

- -
 -
 -
 -
-

38) Dans la technique du datagramme, les paquets

- -
 -
 -
 -
-

39) Dans la méthode du circuit virtuel

-
-
-
-
-