

Cours du réseaux et télécoms

Filière STT (S5)
2020/2021

Support de cours R&T,STT (S5)

1

Cours du réseaux et télécoms

CHAPITRE I: Transmission et représentation de donnée.

CHAPITRE II: Les supports de transmission et caractéristiques.

CHAPITRE III: Protocoles de liaison de donnée.

CHAPITRE IV: Réseaux à commutation de paquets.

Support de cours R&T,STT (S5)

2

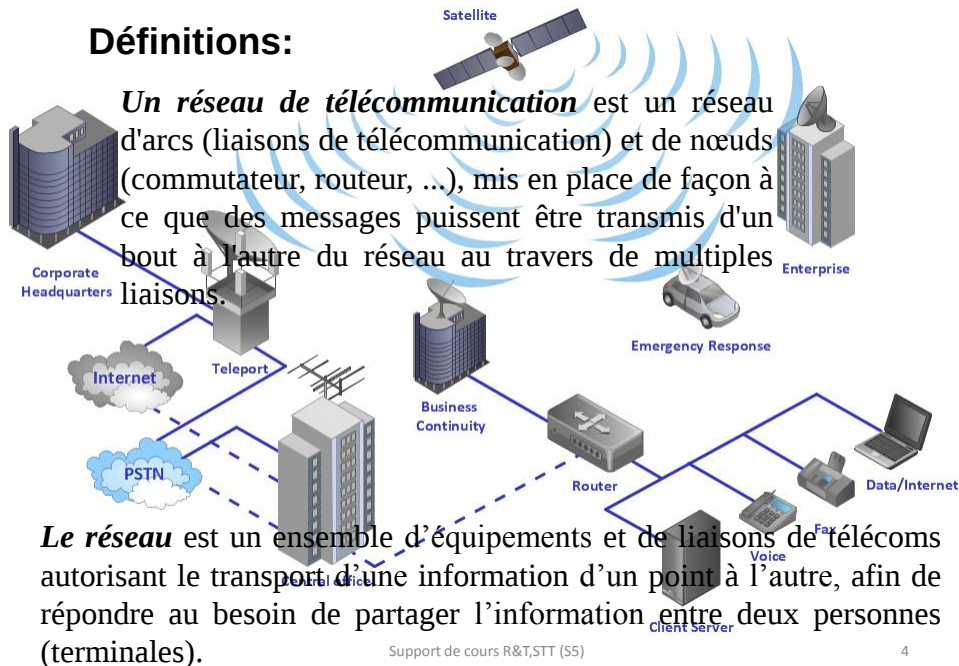
Chapitre I: Transmission et représentation de donnée.

- ❖ Définitions des réseaux de télécommunications.
- ❖ Historique des systèmes centralisés et les réseaux de transmission.
- ❖ Représentation de l'information
- ❖ Nature des transmissions
- ❖ Types des informations transmises
- ❖ Compression de données
- ❖ Définition de la qualité de service

Support de cours R&T,STT (S5)

3

Définitions:



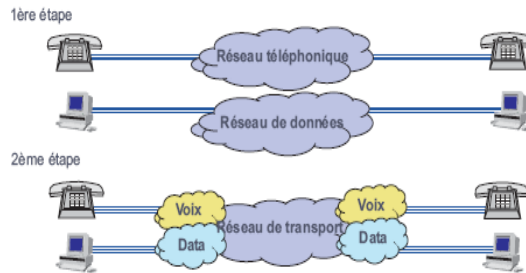
Support de cours R&T,STT (S5)

4

Les systèmes centralisés

Quand les terminaux et l'ordinateur sont au même endroit, le fonctionnement est simple, mais cela limite leur utilisation, C'est le jacobinisme parfait : un ordinateur central était relié à quelques circuits téléphoniques loués aux PTT.

les administrations des Télécommunications offrent la possibilité de transférer automatiquement les données au moyen de lignes spécialisées (télégraphiques, etc...).



Support de cours R&T,STT (S5)

5

Les systèmes centralisés

On cherchait donc à les rentabiliser au mieux en les mettant en commun au service d'un nombre maximal d'utilisateurs dans des systèmes centralisés. La distribution des fonctions au sein d'un tel système était simple : le maximum dans le système central.

Le logiciel du système central assurait le contrôle du partage des ressources (mémoire, fichiers...) entre les différentes applications.

On identifiait à l'époque trois types de réseaux au sein d'une entreprise:

- Le réseau informatique.
- Le réseau bureautique.
- Le réseau téléphonique.

Support de cours R&T,STT (S5)

6

Les systèmes centralisés

Le *réseau informatique* reliait plusieurs terminaux ou mini-ordinateurs à une machine centrale sur laquelle s'exécutaient généralement tous les programmes (informatique de gestion de l'entreprise : paie, factures, bons de commande, gestion de stocks ...).

Cette structure centralisée était calquée sur l'organisation de l'entreprise elle-même et faisait apparaître des matériels souvent homogènes, provenant d'un même constructeur.

Le *réseau bureautique* était constitué de micro-ordinateurs semblables reliés en réseau local pour partager des ressources comme les imprimantes.

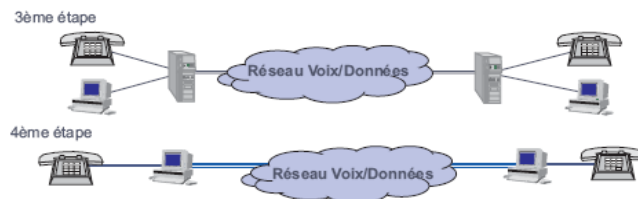
Support de cours R&T,STT (S5)

7

Les systèmes centralisés

Le *réseau téléphonique* était une troisième infrastructure, souvent administrée par une autre direction que celle de l'informatique, utilisant des moyens techniques autonomes.

Devant la très grande variété de produits offerts par les constructeurs, chacun proposant des solutions de communication adaptées à sa propre gamme de machines et généralement incompatibles avec celles des autres, **un besoin très fort de normalisation s'est fait sentir.**



Support de cours R&T,STT (S5)

8

La décentralisation

En 1976 est né un *modèle conceptuel pour l'interconnexion des systèmes ouverts* structuré en sept couches pour construire une architecture de réseaux entre des machines hétérogènes.

Ce modèle, normalisé au plan international par l'ISO (organisation internationale de normalisation), est appelé aussi modèle de référence ou modèle OSI (*Open Systems Interconnection*).

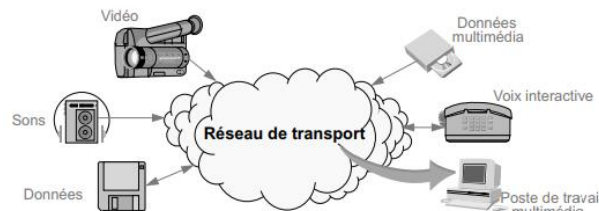


Il s'applique principalement aux réseaux informatiques et bureautiques. Le modèle de référence est alors une solution théorique au problème de l'hétérogénéité des installations réseaux et informatiques.

Flux d'information

Acheminement, dans un même réseau de données informatiques traditionnelles, le texte, de la voix et de la vidéo.

Transporter sur un même système physique des flux d'information de natures différentes nécessite que chacun d'eux ait une représentation physique identique et que le système de transmission ait la capacité de prendre en compte les contraintes spécifiques à chaque type de flux.



Les caractéristiques des réseaux de transmission

Le traitement de l'information emploie une logique « **binaire** ».

Pour y être traitée, l'information doit être traduite en symboles compréhensibles et manipulables par ces systèmes.

Selon le type d'information à transformer, l'opération qui consiste à transformer les données en éléments binaires s'appelle le **codage** ou numérisation.

Le débit binaire mesure le nombre d'éléments binaires transitant sur le canal de transmission pendant l'unité de temps.

système de transmission:



(Débit) $D = V/t$ **bit/s** (bits par seconde), avec V étant le volume à transmettre exprimé en bits, et t la durée de la transmission en seconde.

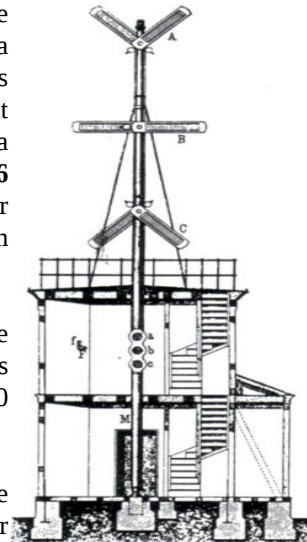
Support de cours R&T,STT (S5)

11

Exemple

Considérant le système de communication télégraphique (Preußischer optischer Telegraf) utilisé entre Berlin et la province de Rhin (été en opération de 1832 à 1849). Les messages officiels et militaires ont été transmis en utilisant des signaux optiques sur une distance de près de 550 km via 62 stations de télégraphe. Chaque station était équipée de **6 bras télégraphiques** chacun avec **4 positions** pour l'encodage. (ci-contre la coupe longitudinale de la station télégraphique no 60, Ehrenbreitstein).

1. Débit de données : Combien de 'bits' peuvent être transmis par seconde lorsqu'un nouveau réglage des bras télégraphiques peut être effectué toutes les 10 secondes?
2. Quel est le temps nécessaire pour transmettre un message de Berlin à Rhin ? Si chaque station a besoin de **30 s** pour l'acheminement, de bout en bout?



Support de cours R&T,STT (S5)

12

Types d'information

Les informations peuvent être réparties en deux grandes catégories, On distingue :

– Les **données discrètes**, l'information correspond à l'assemblage d'une suite d'éléments indépendants les uns des autres (suite discontinue de valeurs) et dénombrables (ensemble fini).

Un texte est une association de mots eux-mêmes composés de lettres (symboles élémentaires).

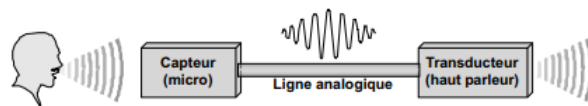
– Les **données continues** résultent de la variation continue d'un phénomène physique : température, voix, etc ...

Un capteur fournit une tension électrique qui varie de manière analogue à l'amplitude du phénomène physique à analyser.

Support de cours R&T,STT (S5)

13

Types d'information



Pour être traitées par des équipements informatiques, les informations doivent être représentées par une valeur binaire (**codage à la source**).

Le codage à la source est plus spécifiquement appelé codage de l'information pour les informations discrètes et numérisation de l'information pour les informations analogiques.

1bit = permet de stocker 2 états; (0 ou 1) = 2^1
 Avec **n bits**, on code **2^n états**. 2bits = permet de stocker 4 états, = 2^2 ; (00,01,10,11)
 4bits = permet de stocker 16 états, = 2^4 (0000 → 1111)
 8bits = permet de stocker 256 états, = 2^8 etc...

Un ensemble de **8bit** forment **1Octet**, **1024Octets** forment **un kilo-octet (Ko)**.
 1024 Ko forment un Mega-Octet (**Mo**). **1024Mo=1Go** et **1024Go=1To**.

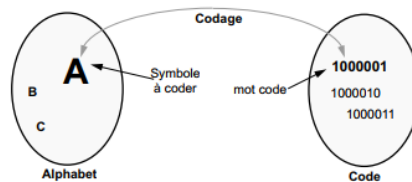
Support de cours R&T,STT (S5)

14

Le codage des informations

Coder l'information consiste à faire correspondre (bijection) à chaque symbole d'un alphabet (élément à coder) une représentation binaire (mot code). L'ensemble des mots codes constitue le code.

- Des chiffres de la numérotation usuelle [0..9] ;
- Des lettres de l'alphabet [a..z, A..Z] ;



- Des symboles français [é, è,...] ;
- Des symboles de ponctuation [, ; : . ? ! ...] ;
- Des commandes système [saut de ligne, saut de page, etc.]

Support de cours R&T,STT (S5)

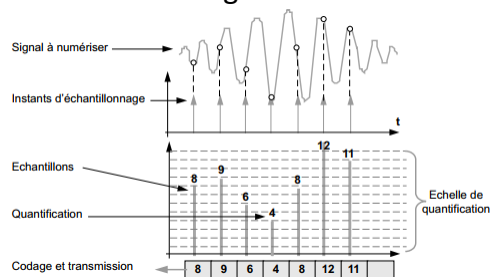
15

Numérisation de l'information

Numériser une grandeur analogique consiste à transformer la suite continue de valeurs de la grandeur analogique en une suite de valeurs discrètes finies.

À cet effet, on prélève, à des instants significatifs, un échantillon du signal et on exprime son amplitude selon le pas de quantification.

À partir des valeurs transmises, le récepteur reconstitue le signal d'origine. Une restitution fidèle du signal nécessite le respect du théorème de Shannon.

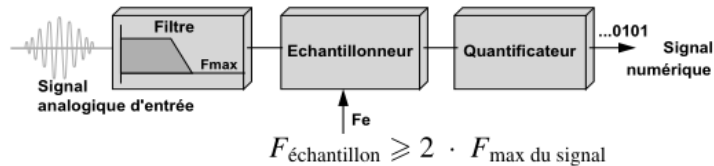


Support de cours R&T,STT (S5)

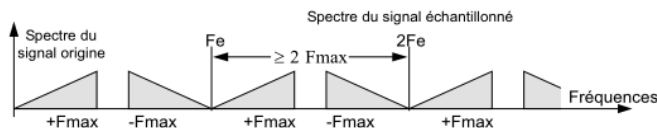
16

Numérisation de l'information

La structure élémentaire d'un convertisseur analogique/numérique



Le spectre d'échantillonnage:



Support de cours R&T,STT (S5)

17

Numérisation de l'information

Un canal téléphonique utilise une plage de fréquence ou la largeur de bande s'étendant de 300 Hz à 3 400 Hz. Pour garantir un espace suffisant entre les différents sous-ensembles du spectre, on prend alors 4 000 Hz comme fréquence de coupure du filtre d'entrée, la fréquence d'échantillonnage minimale est de :

$$F_e \geq 2 \cdot F_{\text{max}} = 2 \cdot 4\,000 = 8\,000 \text{ Hz}$$

En codant chaque échantillon sur **8 bits**, il est nécessaire d'écouler :
 $8\,000 \cdot 8 = 64\,000$ bits par seconde (bit/s ou bps) sur le lien.

Le transport de la voix ayant été le premier transfert d'information réalisé, c'est naturellement lors de la numérisation des réseaux que le débit de **64 kbit/s** est devenu le débit unitaire de référence.

Les débits offerts par les réseaux numériques vont de 64 kbit/s à un **multiple** entier de **64 kbit/s**.

Support de cours R&T,STT (S5)

18

Exemple de Numérisation du son:

Les CD audio utilisent la technique PCM mais échantillonnent le son à **44,1 kHz** (bande passante **20 Hz** à **20 kHz**) et le quantifient sur **16 bits**. Pour améliorer la qualité de restitution, deux nouvelles technologies s'affrontent. Le DVD audio utilise aussi la technique PCM mais échantillonne à **192 kHz** et quantifie sur **24 bits**, tandis que le SACD (*Super Audio CD*) analyse le son à raison de **2,8224 MHz** (la technique *DSD*, bande passante **100kHz**) et quantifie la variation de l'échantillon par rapport à son précédent sur **un bit** (1 valeur croissante, 0 valeur décroissante).

1. Calculez le **débit** nécessaire pour qu'une ligne transmette en temps réel les flux audio.
2. Calculez le **volume** à stocker pour une œuvre musicale d'une durée d'une heure en négligeant les données de service (correction d'erreur, index...)

Support de cours R&T,STT (S5)

19

Exemple de Numérisation du son:

Solution :

1) Débit binaire nécessaire

CD audio $44,1 \cdot 10^3 \times 16 = \mathbf{705,6 \text{ kbit/s}}$.

DVD audio $192 \cdot 10^3 \times 24 = \mathbf{4,608 \text{ Mbit/s}}$.

SACD $2,8224 \cdot 10^6 \times 1 = \mathbf{2,8224 \text{ Mbit/s}}$

2) Volume à stoker pour une heure de musique

CD audio $705,6 \cdot 10^3 \times 3\,600 / 8 \times 1\,024 = 310\,078,125 \text{ ko} = 302 \text{ Mo}$.

DVD $4,608 \cdot 10^6 \times 3600 / 8 \times 1024 = 2025000 \text{ ko} = 1\,0977,53 \text{ Mo} = 1,9311 \text{ Go}$.

SACD $2,8224 \cdot 10^6 \times 3\,600 / 8 \times 1024 = 1\,240\,312,5 \text{ ko} = 1,182 \text{ Go}$.

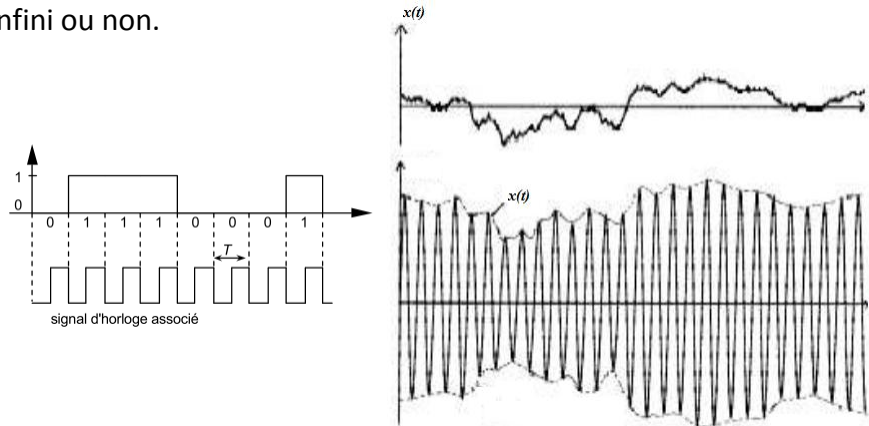
Remarque: Ces résultats concernent une voie, il est nécessaire de les multiplier par deux en cas des enregistrements en **stéréophonie**.

Support de cours R&T,STT (S5)

20

Nature des transmissions

La transmission des informations sur un support peut être **analogique** ou **numérique** selon que le signal transporté varie de manière **continue** ou **discrète** dans le temps, et que son espace de valeurs est infini ou non.



Support de cours R&T,STT (S5)

21

Les avantages de la numérisation

- **la fiabilité de la transmission** : l'information transmise étant une séquence binaire (ensemble discret et finie). Ainsi, contrairement à une source d'information analogique, on utilise des techniques à seuil lors de la déformation du signal transmis.
- **la banalisation de l'information transmise** : indépendamment de la source, l'information transmise correspond à des séquences binaires. Ainsi, le support véhicule des bits. Ces derniers représentent aussi bien du texte, de la parole, de l'image (fixe ou animée).
- **la compression & le cryptage** : les algorithmes de compression et les techniques de cryptage sont utilisés dès la phase de numérisation terminée (manipulation sur les données, effets spéciaux,...).
- **la protection contre les erreurs** : lorsque l'application le permet des techniques de protection contre les erreurs sont mises en œuvre.

Support de cours R&T,STT (S5)

22

Données alphanumériques

Les codes usuels sont le code Baudot, ASCII (appelé aussi CCITT N°5 encore IA5), EBCDIC, Unicode, UCS(ou ISO 10646).

Le **code Baudot**, code télégraphique à cinq moments ou alphabet international N°2 ou encore CCITT N°2, est utilisé dans le réseau télex. Le code Baudot autorise 2^5 soit 32 caractères, ce qui est insuffisant pour représenter toutes les lettres de l'alphabet (26), les chiffres (10) et les commandes (fin de lignes, etc...).

Le **code ASCII** (American Standard Code for Information Interchange, 1963), est le code générique des télécommunications. Code à sept moments, il autorise 128 caractères (2^7). Les 32 premiers symboles correspondent à des commandes utilisées dans certains protocoles de transmission pour en contrôler l'exécution.

Support de cours R&T,STT (S5)

23

Données alphanumériques

Caractères nationaux

Jeu de commandes

BITS					b ₇	0	0	0	0	1	1	1	1
					b ₆	0	0	1	1	0	0	1	1
					b ₅	0	1	0	1	0	1	0	1
					b ₄	0	1	2	3	4	5	6	7
0 0 0 0					0	NUL	DLE	SP	0	à	P		p
0 0 0 1					1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0 0 1 0					2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0 0 1 1					3	ETX	DC3	£	3	C	S	c	s
0 1 0 0					4	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0 1 0 1					5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0 1 1 0					6	ACK	SYN	'	6	F	V	f	v
0 1 1 1					7	BEL	ETB	(	7	G	W	g	w
1 0 0 0					8	BS	CAN	)	8	H	X	h	x
1 0 0 1					9	HT	EM	.	9	I	Y	i	y
1 0 1 0					A	LF	SUB	:	:	J	Z	j	z
1 0 1 1					B	VT	ESC	,	;	K		k	é
1 1 0 0					C	FF	ES	<	<	L	ç	l	ù
1 1 0 1					D	CR	GS	"	"	M	§	m	è
1 1 1 0					E	SO	RS	>	>	N	^	n	~
1 1 1 1					F	SI	US	/	?	O	-	o	DEL

Support de cours R&T,STT (S5)

24

Données alphanumériques

Le codage ASCII (**7 bits**) ou ISO-646 ne permet de coder que 128 symboles; il ne réserve que sept valeurs pour prendre en compte les particularités nationales.

L'internationalisation des communications, notamment avec Internet, a mis au premier plan les problèmes de codage des textes et a révélé les insuffisances du codage ASCII.

Une première extension a été réalisée par la norme **ISO-8859-x (8 bits)**.

Support de cours R&T,STT (S5)

25

Données alphanumériques

ISO-8859-x utilise les 128 premiers caractères du code ASCII (32 codes de commandes et 96 codes de caractères), le symbole x renvoie vers des tables qui complètent le jeu originel autorisant ainsi les écritures à base de caractères latins, cyrilliques, arabes, grecs et hébraïques.

Le codage **ISO-8859-x** doit être préféré, sur Internet, à tout autre code chaque fois que cela est possible. Le décodage d'un texte nécessite que le destinataire connaisse et identifie le code utilisé.

Ceci a conduit à définir l'**Unicode** sur **16** ou **32** bits permettant la représentation de quasiment toutes les langues écrites du monde (**ISO 10646**).

Unicode est un standard informatique qui permet des échanges de textes dans différentes langues, à un niveau mondial. Il est développé par le Consortium Unicode, qui vise au codage de texte écrit en donnant à tout caractère de n'importe quel système d'écriture un nom et



Support de cours R&T,STT (S5)

26

Transmission du «Texte »

La transmission de données alphanumériques répond à de multiples besoins. Dans le cadre du courrier électronique, on cherche à transmettre le plus souvent de courts textes constitués de caractères.

La méthode la plus simple pour le codage associe à chaque caractère un mot de 7 ou 8 bits comme avec le code ASCII.

Si un caractère est codé par un octet, un courrier électronique de **40 lignes de 40 caractères** tient en **1600 octets**, soit **12,8 kbit**.

On voit donc que la taille de l'information peut considérablement varier. Dans certains cas, il est intéressant d'utiliser des techniques de **compression** pour réduire la taille des données à transmettre.

Transmission de la « Voix »

Si on néglige le temps de propagation du message sur le support, le temps de transmission ou temps de transfert d'un message a pour expression :

$$T_t = \text{Longueur du message (en bits)} / \text{débit de la liaison (en bits/s)}$$

Pour un même contenu sémantique, ce temps sera d'autant plus faible que la longueur du message sera petite ou que le débit sera élevé.

L'augmentation du débit se heurte à des problèmes technologiques et de coûts.

Il peut donc être *intéressant* de réduire la longueur du message sans en **altérer** le contenu du message : c'est la **compression** de données.

Les techniques de compression se répartissent en deux familles : les algorithmes **réversibles** ou *sans perte*, dits aussi sans bruit, et les algorithmes **irréversibles**, dits *avec perte*.

Transmission de la « Voix »

Les premiers restituent à l'identique les données originelles. Ils s'appliquent aux données informatiques. Le taux de compression obtenu est voisin de 2.

Les seconds, dits aussi codes à réduction de bande, autorisent des taux de compression pouvant atteindre plusieurs centaines au détriment de la fidélité de restitution. Utilisés pour **la voix**, **l'image** et **la vidéo**, ils s'apparentent plus à des procédés de codage qu'à des techniques de compression.

$$\text{Le quotient de compression } Q = \frac{\text{Taille avant compression}}{\text{Taille après compression}}$$

$$\text{Le taux de compression } T = 1/Q$$

$$\text{Le gain de compression } \% \quad G = (1 - T) \times 100$$

Support de cours R&T,STT (S5)

29

Transmission de la « Voix »

Les premiers restituent à l'identique les données originelles. Ils s'appliquent aux données informatiques. Le taux de compression obtenu est voisin de 2.

Les seconds, dits aussi codes à réduction de bande, autorisent des taux de compression pouvant atteindre plusieurs centaines au détriment de la fidélité de restitution. Utilisés pour **la voix**, **l'image** et **la vidéo**, ils s'apparentent plus à des procédés de codage qu'à des techniques de compression.

$$\text{Le quotient de compression } Q = \frac{\text{Taille avant compression}}{\text{Taille après compression}}$$

$$\text{Le taux de compression } T = 1/Q$$

$$\text{Le gain de compression } \% \quad G = (1 - T) \times 100$$

Support de cours R&T,STT (S5)

30

Exemple de compression

Soit la suite de données binaires issue de la numérisation d'un document papier. Chaque **pixel blanc** est codé par **0**, chaque **pixel noir** est codé par **1**. Les données sont regroupées par octets pour faciliter la lecture.

```
00000000 00000000 00000000 00000000 00001000 00011100 00000000 00000000 00000000
00000000 00000000 00000000 00000000 00001000 00011000 00000000 00000000 00000000
00000000 00000000 00000000 00000000 00000100 00010000 00000000 00000000 00000000
00000000 00000000 00000000 00000000 00000110 00010000 00000000 00000000 00000000
00000000 00000000 00000000 00000000 00000011 00010000 00000000 00000000 00000000
00000000 00000000 00000000 00000000 00000001 10010000 00000000 00000000 00000000
00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 11100000 00000000 00000000 00000000
00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 01100000 00000000 00000000 00000000
```

Il y a huit lignes de neuf octets.

Quel est le nombre de bits utilisés pour le codage de cette petite surface ?

Support de cours R&T,STT (S5)

31

Exemple de compression

Remarquant que cette suite de données contient beaucoup de zéros, on choisit de la compresser de la façon suivante :

On remplace la suite des données par la concaténation des longueurs de plages de zéros consécutifs. Ainsi la première ligne devient 36, 6 , 0 , 0 , 26 qui se comprend : 36 zéros, 1 un, 6 zéros, 1 un, 0 zéro, 1 un, 0 zéro, 1 un, 26 zéros.

Donner de la même façon les sept lignes restantes.

Combien de plages de zéros trouve-t-on, en moyenne par ligne ?

Support de cours R&T,STT (S5)

32

Exemple de compression

Les huit lignes.

ligne 1 : 36, 6, 0, 0, 26

ligne 2 : 36, 6, 0, 27

ligne 3 : 37, 5, 28

ligne 4 : 37, 0, 4, 28

ligne 5 : 38, 0, 3, 28

ligne 6 : 39, 0, 2, 28

ligne 7 : 40, 0, 0, 29

ligne 8 : 41, 0, 29

Combien de plages de zéros trouve-t-on, en moyenne par ligne ?

$5+4+3+4+4+4+4+3=31/8 =$ approximativement 4 plage par ligne

Exemple de compression

Supposons que les données stockées sont codées en binaire des avec la règle suivante :

Les longueurs comprises entre **0 et 30** sont codées en binaire naturel sur **5 bits**, les longueurs entre **31 et 63** sont codées sur **10 bits** dont les 5 premiers sont toujours **11111** et les cinq suivants représentent le codage en binaire naturel de **longueur -31**,etc.

Ainsi la première ligne devient : **11111 00101 00110 00000 00000 11010**

← 36 → ←6→ ←0→ ←0→ ←26→

Donner les autres lignes? quel est le nombre total de bits nécessaire à cette représentation?

Déduire le **taux** et le **gain** de la **compression** réalisé ? Pourquoi est elle **efficace**.

Exemple de compression

Les huit lignes.

- **ligne 1 : 30 bits (10+5+5+5+5)**
- **ligne 2 : 25 bits (10+5+5+5)**
- **ligne 3 : 20 bits (10+5+5)**
- **ligne 4 : 25 bits (10+5+5+5)**
- **ligne 5 : 25 bits (10+5+5+5)**
- **ligne 6 : 25 bits (10+5+5+5)**
- **ligne 7 : 25 bits (10+5+5+5)**
- **ligne 8 : 20 bits (10+5+5)**

Le nombre de bits nécessaires pour cette représentation est **195 bits**.

Le gain obtenu est alors $(576 - 195) / 576 = 66\%$

Remarque : cette compression est d'autant plus **efficace** que le fichier initial contient beaucoup de blanc (**pixel 0**).

Support de cours R&T,STT (S5)

35

Codage de l'« Image »

Une image est une information de type analogique facilement numérisable par découpage en pixels « **Pictures Element** » puis association d'un niveau de gris ou d'une couleur à chaque pixel.

La taille d'un pixel est de $21 \times 21 \mu\text{m}^2$ pour rendre la numérisation non détectable (résolution utilisée par les journaux). Une photographie de $15 \times 10 \text{ cm}^2$ contient donc 7000×4700 pixels environ.

La représentation la plus simple, appelé bit-map, associe à chaque pixel un niveau de gris ou une couleur.

En supposant la couleur codée sur 8 bits, notre photographie tient sur 260 Mbit environ ! des techniques de compression sont possibles.

Support de cours R&T,STT (S5)

36

Codage de l'« Image »

La norme **JPEG** (**J**oint **P**hotographic **E**xperts **G**roup) représente des images fixes de qualité photographique en réduisant la taille de l'image d'un facteur 20 par rapport à une représentation bit-map.

TIFF 2
PNG 2,7
JPEG 16



BMP 696 KB



TIFF-LZW 378KB



PNG 258KB



JPEG 43,3KB

Support de cours R&T,STT (S5)

37

La qualité de service QOS

Garantir un transfert de données qui respecte les contraintes spécifiques à chaque type de flux de données , c'est assurer à celui-ci une certaine qualité de service ou QoS (Quality of Service).

Il existe essentiellement deux modes d'approche de la qualité de service.

La première se contente **d'augmenter la bande passante** du réseau, la seconde plus pragmatique consiste à **gérer la bande passante** en allouant à chaque flux ce dont il a besoin.

La qualité de service dans un réseau ne crée pas de bande passante, elle assure un traitement différencié à un flux donné.

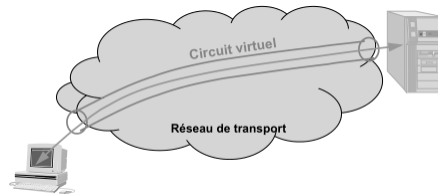
Support de cours R&T,STT (S5)

38

La qualité de service QOS

Dans un système à bande passante limitée, les solutions adoptées sont toutes du deuxième type.

Deux techniques s'opposent, la première consiste à rechercher un chemin dans le réseau (circuit virtuel) qui satisfasse les exigences du flux transmis. C'est l'approche traditionnelle des protocoles réseaux comme le **Frame Relay** et l'**ATM** (Asynchronous Transfer Mode), tandis que les protocoles plus anciens comme TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) ont été adaptés et enrichis pour en tenir compte.



Support de cours R&T,STT (S5)

39

La qualité de service QOS

La grande réussite des télécommunications est celle de la transparence : l'utilisateur final ne connaît pas la nature des supports de transmission utilisés, il n'est concerné que par la qualité du service qui lui est offert et exprime des exigences dans ce domaine.

Quelques éléments de qualité de service peuvent être donnés :

- la disponibilité des moyens de transfert.
- le taux d'erreur maximal BER.
- le débit et le délai de transfert.

La qualité de service n'est pas une notion absolue. Elle est généralement liée à la nature des informations transmises et du type de besoin.

Support de cours R&T,STT (S5)

40

Cours du réseaux et télécoms

Chapitre I: Transmission et représentation de donnée.

Chapitre II: Les supports de transmission et caractéristiques.

Chapitre III: Protocoles de liaison de donnée.

Chapitre IV: Réseaux à commutation de paquets.

Support de cours R&T,STT (S5)

41



Support de cours R&T,STT (S5)

42

PAIRES TORSADÉES

Une paire torsadée non blindée (UTP, Unshielded Twisted Pair) se compose de deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe de symétrie du conducteur métallique.



Certains constructeurs proposent des paires torsadées blindées (STP, Shielded Twisted Pair). Enrobées d'un conducteur cylindrique, elles sont mieux protégées des rayonnements électromagnétiques parasites.

L'utilisation la plus courante de la paire torsadée est le raccordement des usagers au central téléphonique (la *boucle locale*). Son principal inconvénient est l'affaiblissement des courants transmis, d'autant plus important que le diamètre des conducteurs est faible.

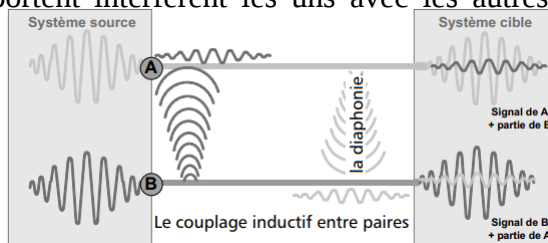
Support de cours R&T,STT (S5)

43

PAIRES TORSADÉES

Les paires torsadées contiennent, à intervalles réguliers, des éléments appelés *répéteurs* qui régénèrent les signaux transmis.

Quand plusieurs paires sont rassemblées dans un même câble, les courants qu'elles transportent interfèrent les uns avec les autres. Ce phénomène est appelé : *diaphonie*.



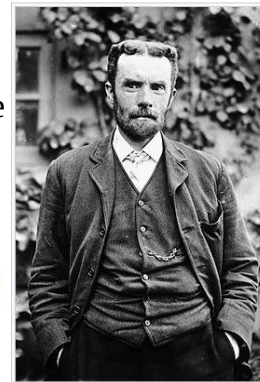
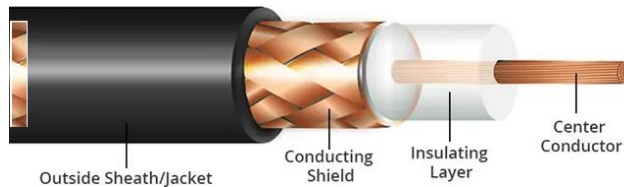
Pour les réseaux locaux d'entreprise, où les distances se limitent à quelques kilomètres, la paire torsadée peut suffire. Ses avantages sont nombreux : technique maîtrisée, facilité de connexion et d'ajout de nouveaux équipements, faible coût.

Support de cours R&T,STT (S5)

44

CÂBLES COAXIAUX

Deux conducteurs métalliques cylindriques de même axe séparés par un isolant. Le tout forme un ensemble appelé câble coaxial.



In his 1880 British patent, Oliver Heaviside showed how coaxial cable could eliminate signal interference between parallel cables.

Ce câble présente de meilleures performances que la paire torsadée en terme d'affaiblissement, transmission de signaux de fréquences plus élevées, le taux d'erreur est très faible.

En transmission numérique, notamment dans les réseaux locaux, on utilise des câbles d'impédance 50 Ω à des débits pouvant atteindre 10Mbit/s sur des distances de l'ordre du kilomètre.

Support de cours R&T,STT (S5)

45

CÂBLES COAXIAUX

En transmission analogique, le câble coaxial est utilisé pour réaliser des liaisons longues distances. Son impédance est de 75 Ω . Ce câble, similaire au câble coaxial utilisé en télévision, est souvent dénommé CATV.



La BP est d'environ 300 MHz à 1 GHz. Le CATV présente une bonne immunité aux parasites, mais cher et exigeant en contraintes d'installation (rayon de courbure...), il n'est plus utilisé que dans des environnements perturbés ou dans les systèmes sécurisés.

Dans les réseaux locaux, il est remplacé par la paire torsadée et dans les liaisons longues distances par la fibre optique.

Support de cours R&T,STT (S5)

46

FIBRE OPTIQUE

Une fibre optique est constituée d'un fil de verre très fin. Elle comprend un cœur, dans lequel se propage la lumière émise par une diode électroluminescente ou une source laser et une gaine optique dont l'indice de réfraction garantit que le signal lumineux reste dans la fibre.



Les avantages de la fibre optique sont nombreux : le diamètre extérieur est de l'ordre de 0,1 mm, son poids de quelques grammes au kilomètre.

Support de cours R&T,STT (S5)

47

FIBRE OPTIQUE

Cette réduction de taille et de poids la rend facilement utilisable. En outre, sa très grande capacité permet la transmission simultanée de très nombreux canaux de télévision, de téléphone etc...

Les points de régénération des signaux transmis sont plus éloignés, du fait de l'atténuation plus faible de la lumière. Enfin, l'insensibilité des fibres aux parasites EM constitue un avantage très apprécié, puisqu'une fibre optique supporte sans difficulté la proximité d'émetteurs radioélectriques.

On peut donc les utiliser dans des environnements très perturbés (avec de puissants champs EM, par exemple)

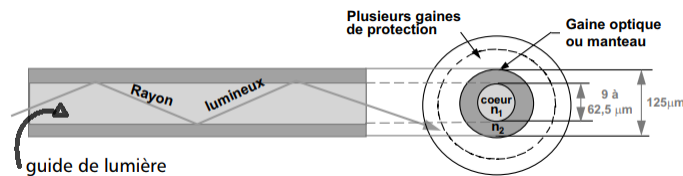
Support de cours R&T,STT (S5)

48

FIBRE OPTIQUE

Une fibre optique est composée d'un « fil » de silice étiré de telle manière que l'on distingue deux structures d'indice de réflexion différent, l'une appelée cœur, l'autre qui « l'entoure » appelée gaine optique ou manteau, l'ensemble étant protégé par une enveloppe dite de protection.

La réflexion totale est assurée par des valeurs d'indices proches, tel que $n_1 > n_2$ où n_1 est l'indice du cœur et n_2 celui de la gaine.



Support de cours R&T,STT (S5)

49

FIBRE OPTIQUE

❑ Un émetteur de lumière (transmetteur), constitué d'une LED (Light Emitting Diode) ou d'une diode LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), qui transforme les impulsions électriques en impulsions lumineuses.

❑ un récepteur de lumière, constitué d'une photodiode de type PIN (Positive Intrinsic Négative) ou de type PDA (à effet d'avalanche) qui traduit les impulsions lumineuses en signaux électriques.

❑ une fibre optique.



Principe d'une liaison optique.

Support de cours R&T,STT (S5)

50

Support de transmission guidés

Factor	UTP	STP	Co-axial	Fiber optics
Cost	Low	Moderate	Moderate	Highest
Installation	Easy	Fairly easy	Fairly easy	Difficult
Data rate	1 to 155 mbps	1 to 155 mbps	500 mbps	2 GBPS
Attenuation	High (100's of meter)	High (100's of meter)	Lower (range of few km's)	Lowest (10 Km's)
EMI	Most vulnerable	Less vulnerable than UTP	Less vulnerable than UTP	Not effected by EMI
Bandwidth	Low	Moderate	Moderately high	Very high
Signals	Electrical	Electrical	Electrical	Light

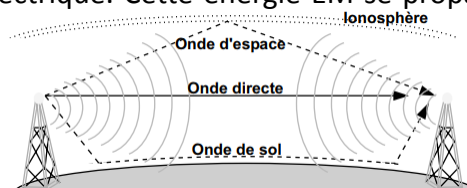
	Frequency Range	Typical Attenuation	Typical Delay	Repeater Spacing
Twisted pair (with loading)	0 to 3.5 kHz	0.2 dB/km @ 1 kHz	50 μ s/km	2 km
Twisted pairs (multipair cables)	0 to 1 MHz	0.7 dB/km @ 1 kHz	5 μ s/km	2 km
Coaxial cable	0 to 500 MHz	7 dB/km @ 10 MHz	4 μ s/km	1 to 9 km
Optical fiber	186 to 370 THz	0.2 to 0.5 dB/km	5 μ s/km	40 km

Support de cours R&T,STT (S5)

51

TRANSMISSIONS SANS FIL : liaisons hertziennes

Un conducteur rectiligne alimenté en courant haute fréquence ou radiofréquence RF peut être assimilé à un circuit oscillant ouvert. Un tel circuit ou antenne d'émission rayonne une énergie, ou onde, électromagnétique (OEM), qui résulte de la combinaison d'un champ magnétique et électrique. Cette énergie EM se propage sans support matériel.



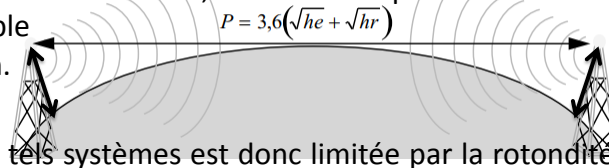
Les OEM sont sensibles aux perturbations atmosphériques et leur propagation s'effectue selon plusieurs modes qui dépendent de la fréquence.

Support de cours R&T,STT (S5)

52

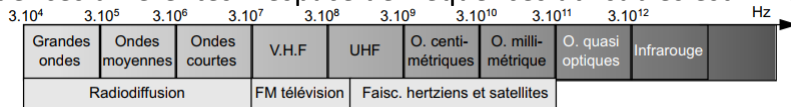
Liaisons hertziennes

Les systèmes de transmission de données basés sur des systèmes radio utilisent des fréquences dont le mode de propagation principal est la propagation par l'onde directe, c'est-à-dire que l'antenne de réception doit être visible de l'antenne d'émission.



La portée (P en **km**) de tels systèmes est donc limitée par la rotondité de la terre et la hauteur des antennes (he et hr exprimées en **m**).

Chaque type de liaison ou d'application utilise des bandes de fréquences différentes. L'espace de fréquences utilisables est limité.



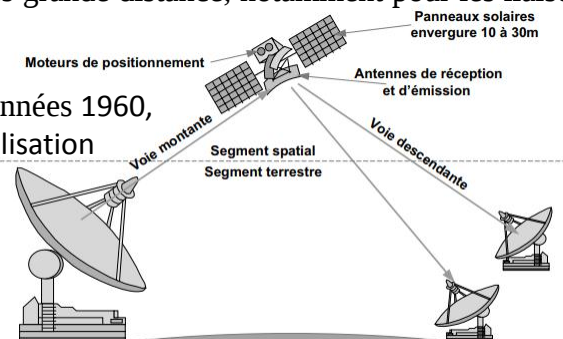
Support de cours R&T,STT (S5)

53

Liaisons satellitaires

La nécessité de disposer de stations relais rend difficile la réalisation de liaisons hertziennes à très grande distance, notamment pour les liaisons transocéaniques.

C'est pourquoi, dès les années 1960, on s'est orienté vers l'utilisation de satellites relais.



Les satellite géostationnaire sur des orbites d'environ **36 000 km** a permis de réaliser des liaisons permanentes avec des satellites fixes par rapport à un observateur terrestre.

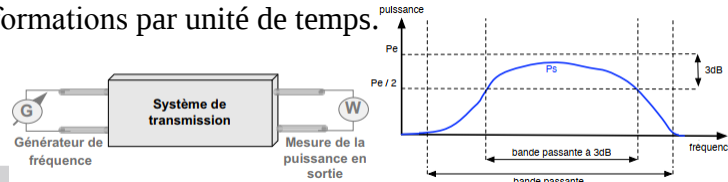
Support de cours R&T,STT (S5)

54

Caractéristiques des supports de transmission: BANDE PASSANTE

Les supports ont une *bande passante* limitée. Certains signaux s'y propagent correctement (ils sont affaiblis mais reconnaissables à l'autre extrémité), alors que d'autres ne les traversent pas (ils sont tellement affaiblis ou déformés qu'on ne les reconnaît plus à la sortie).

Intuitivement, plus un support a une bande passante large, plus il transporte d'informations par unité de temps.



Remarque

En général, on caractérise un support par sa bande passante à 3 dB (décibels), c'est-à-dire par la plage de fréquences à l'intérieur de laquelle la puissance de sortie est, au pire, divisée par deux. En notant P_s la puissance de sortie, et P_e la puissance d'entrée, l'affaiblissement A en dB est donné par la formule :

$$A = 10 \cdot \log_{10} P_e / P_s. \text{ Pour } P_e / P_s = 2, \text{ on trouve : } 10 \cdot \log_{10} P_e / P_s = 3 \text{ dB.}$$

Support de cours R&T,STT (S5)

55

BRUITS ET DISTORSIONS

Diverses sources de bruit peuvent perturber les signaux : parasites, diaphonie, perturbations de l'environnement introduisent également des bruits (foudre, orages pour le milieu aérien, champs EM dans des ateliers pour les supports métalliques...)

La distance est aussi un facteur d'affaiblissement, particulièrement important pour les liaisons par satellite. Ces déformations, peuvent être gênantes pour la bonne reconnaissance des signaux.

Les fibres optiques sont les meilleurs supports, avec un taux d'erreur très faible : 10^{-12} . Les câbles et les supports métalliques présentent des taux d'erreur moyens. Les liaisons sans fil ont un taux d'erreur variable, sensible aux conditions météorologiques.

Support de cours R&T,STT (S5)

56

CAPACITÉ DES SUPPORTS DE TRANSMISSION

La capacité d'un support de transmission mesure la quantité d'informations transportée par unité de temps. L'ensemble des caractéristiques que nous venons de voir fait que la capacité d'un support est limitée. Un théorème dû à Shannon l'exprime, en **bit par seconde**, la borne maximale de la capacité Cap_{Max} d'un support de transmission :

$$Cap_{Max} = W * \log_2 (1 + S/B).$$

W est la largeur de la BP du support de transmission exprimée en Hertz, S/B représente la valeur du rapport entre la puissance du signal et du bruit; la base 2 du logarithme sert à exprimer la quantité d'informations en bits.

CAPACITÉ LIMITÉE DES SUPPORTS DE TRANSMISSION

Exemple:

Soit la liaison téléphonique dont la BP a une largeur de 3 100 Hz et un rapport S/B correspondant à 32 dB, **Calculez Cap_{Max}** ?

Solution:

Sur une liaison téléphonique dont la bande passante a une largeur de 3 100 Hz et un rapport S/B correspondant à 32 dB (valeurs courantes), on obtient :

$$10 \log_{10} S/B = 32 \text{ donc } \log_{10} S/B = 3,2 \text{ soit } S/B = 1585 ;$$

$$Cap_{Max} = 3100 * \log_2 (1 + 1585) ;$$

$$\text{comme } 1586 = 2^{10,63}, Cap_{Max} = 3100 * 10,63 = 33\,000 \text{ bit/s.}$$

Exemple

le décibel est une unité logarithmique qui exprime le rapport d'une grandeur (A) par rapport à une autre grandeur de même nature prise comme référence (B). La relation est de la forme :

$$A/B \text{ dB} = 10 \log_{10} (A/B)$$

Valeur en décibel	Rapport en nombre naturel
3 dB	
10 dB	
100 dB	

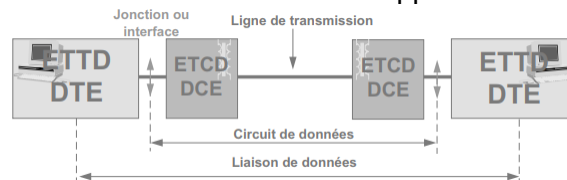
Un poste téléphonique émet avec un niveau de puissance de **2 dBmW**. Quelle est la puissance émise en **mW** ?

Solution:

$P_{\text{dB}} = 10 \log_{10} (P_2/P_1)$ avec P_1 la puissance de référence et valant **1 mW**
 Soit: $2 = 10 \log_{10} (P_2) \rightarrow 0,2 = \log_{10} (P_2)$ ce qui donne $P_2 = 1,58 \text{ mW}$.

Modes d'adaptation au support

Une transmission de données met en œuvre les calculateurs d'extrémité et des éléments d'interconnexion dont les appellations et fonctions sont codifiées.



Les équipements terminaux **ETTD** (Équipement terminal de traitement de données), appelés aussi **DTE** (*Data Terminal Equipment*), ce sont les calculateurs d'extrémité. Ces calculateurs sont dotés de circuits particuliers pour contrôler les communications (contrôleur de transmission).

L'ETTD réalise la fonction de contrôle du dialogue.

Modes d'adaptation au support

✓ L'**ETCD** (Équipement de terminaison de circuit de données), ou **DCE** (Data terminating Circuit Equipment), qui réalisent l'**adaptation** entre les **calculateurs d'extrémité** et le **support de transmission**.

✓ Ces éléments remplissent essentiellement des fonctions électroniques, ils assurent un meilleur transport sur la ligne de transmission. Ils modifient la **nature** du signal, mais pas sa **signification**.

✓ La jonction qui constitue l'interface entre ETTD (DTE) et ETCD (DCE) permet à l'ETTD de gérer l'ETCD afin d'assurer le déroulement des communications (établissement du circuit, initialisation de la transmission, échange de données et libération du circuit).

Support de cours R&T,STT (S5)

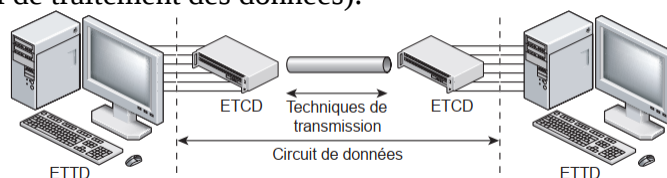
61

Modes d'adaptation au support

✓ L'ISO et l'ITU ont attribué des appellations génériques normalisées aux équipements qui émet ou reçoit les données.

✓ Ainsi, le **Modem** et le **Codec** appartiennent à la famille des **ETCD**

✓ **L'ordinateur** ou **l'imprimante** font partie des **ETTD** (équipement terminal de traitement des données).



Définition

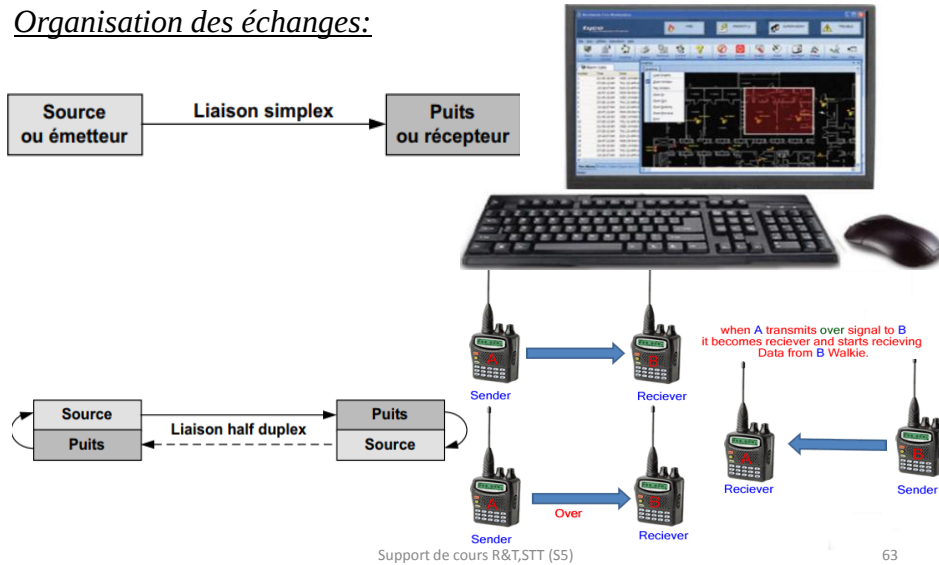
Le *circuit de données* est une entité capable d'envoyer ou de recevoir une suite de données binaires, à un débit donné, dans un délai donné et avec un taux d'erreur dépendant du support utilisé.

Support de cours R&T,STT (S5)

62

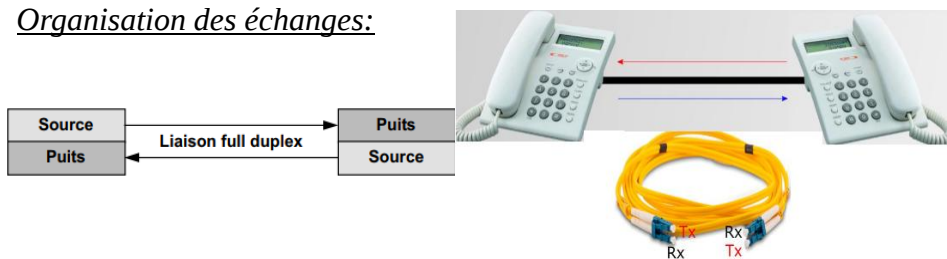
ORGANISATION FONCTIONNELLE

Organisation des échanges:



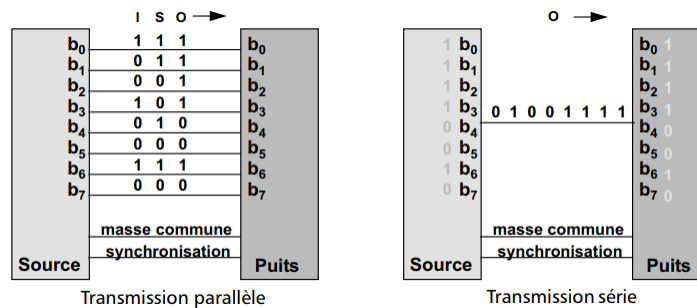
ORGANISATION FONCTIONNELLE

Organisation des échanges:



Transmission SP

Si on désigne par **temps bit** le temps d'émission d'un bit sur le support, et en considérant que ce temps est identique pour la transmission parallèle et série, on constate qu'il faut seulement trois temps bit pour transmettre le mot « ISO » en transmission parallèle, alors que la transmission série nécessite huit temps bit pour transmettre la seule lettre « O ».



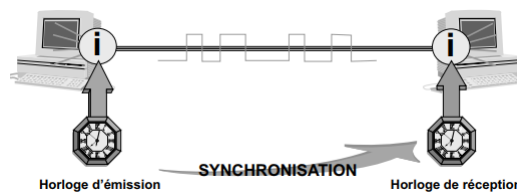
Support de cours R&T,STT (S5)

65

Transmission synchrone

L'opération qui consiste à asservir l'horloge de réception sur celle d'émission s'appelle la **synchronisation**.

Les bits sont émis sur la ligne à une certaine cadence. Cette cadence est définie par l'**horloge** d'émission.



Pour décoder correctement la suite de bits reçus, le récepteur doit examiner ce qui lui arrive à la même cadence que celle de l'émission des bits sur le support.

les instants d'analyse des niveaux électriques sur la ligne doivent être les mêmes pour les deux éléments (ils doivent être en phase).

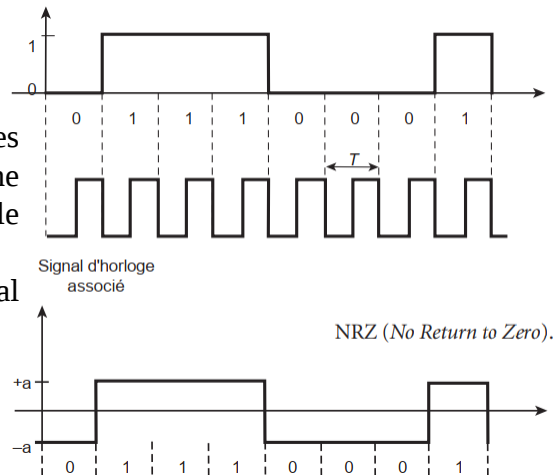
Support de cours R&T,STT (S5)

66

Transmission NRZ

Le message de données synchrone utilise une représentation conventionnelle de l'information.

La plus habituelle est un signal binaire **sans retour à zéro**:



Support de cours R&T,STT (S5)

67

Transmission en bande de base

Pour garantir une bonne synchronisation entre les deux ETCD et faciliter le travail de décision du récepteur.

Le code Manchester est Aussi fréquemment employé dans les transmissions numériques. Il s'utilise en particulier dans les réseaux locaux Ethernet.

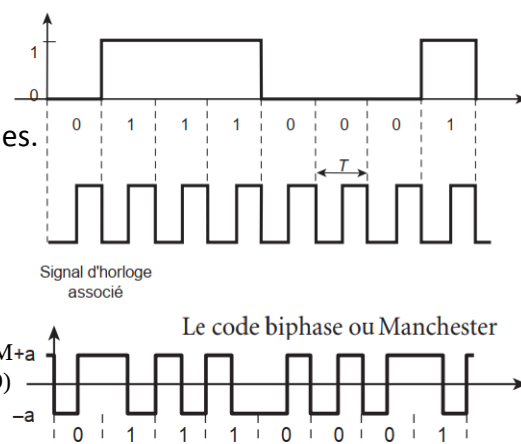
Exemple:

BSC, Binary Synchronous Communication

SDLC, Synchronous Data Link Control IBM

HDLC, High Level Data Link Control (ISO)

PPP, Protocol Point to Point



Support de cours R&T,STT (S5)

68

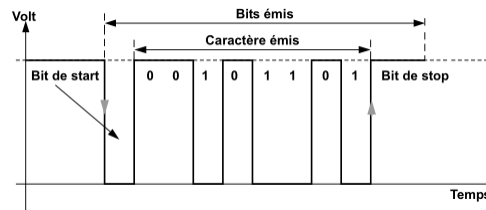
Transmission asynchrone

Dans les transmissions asynchrones, les horloges émetteur et récepteur sont indépendantes.

En transmission asynchrone, les caractères émis sont donc précédés d'un signal de synchronisation :

L'émetteur envoie, avant toute suite binaire, un signal spécifique d'asservissement, c'est le bit **→ start**.

Retour au niveau de repos (un à deux temps bit), il constitue le ou les bits **→ stop**



Support de cours R&T,STT (S5)

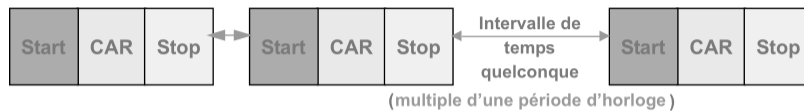
69

Transmission asynchrone

Les transmissions asynchrones s'effectuent selon un ensemble de règles régissant les échanges (protocole).

On distingue deux types de protocoles asynchrones.

Asynchrone en mode caractère



Asynchrone en mode bloc



XON-XOFF

X, Y et Z-Modem

SLIP (Serial Line Internet Protocol)

PPP (Point to Point Protocol)

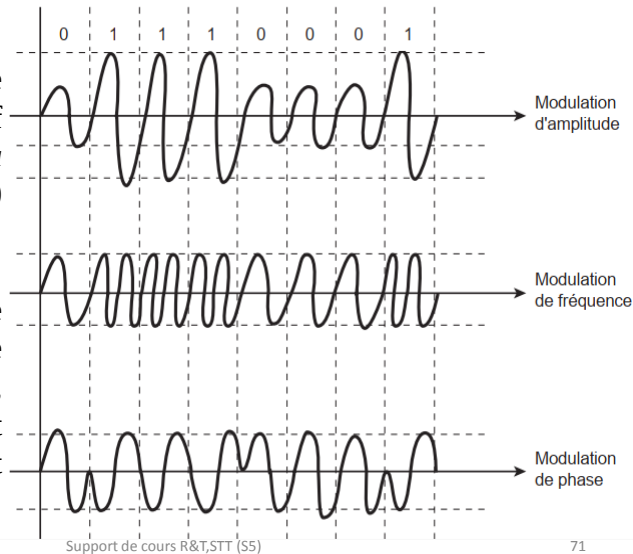
Support de cours R&T,STT (S5)

70

Transmission par modulation

Soit $a.\cos(2\pi f_0 t + \varphi)$
et Δ l'intervalle de
temps significatif
pendant lequel la
donnée binaire vaut 0
ou 1.

Ici l'ETCD modifie
l'un des paramètres de
la porteuse (*fréquence*,
phase ou *amplitude*) et
émet le signal produit
pendant l'intervalle Δ .



71

Interface ETTD/ETCD

L'interface série entre l'ETTD et l'ETCD, ou jonction, est le point de raccordement physique entre *l'équipement* informatique et le **modem**.

Les spécifications de cette jonction sont mécaniques (la forme du connecteur et le nombre de broches), électriques (les niveaux de tension utilisée) et fonctionnelles (signification des informations véhiculées sur chaque fil).

L'interface la plus courante est la jonction V24 (ou RS232C). Elle correspond à un connecteur ISO 2110 à 25 broches. Elle a une portée maximale de **50 m** et un débit inférieur ou égal à **20 kbit/s**.

À chaque broche correspond un fil (ou circuit). Chaque fil possède un numéro et joue un rôle dans l'échange de données.

Support de cours R&T,STT (S5)

72

Interface ETTD/ETCD

- ✓ Une interface mécanique qui décrit le connecteur physique.
- ✓ Une interface électrique qui détermine les niveaux électriques des signaux qui transitent par la jonction.
- ✓ Une interface fonctionnelle qui précise les fonctions remplies par telle ou telle broche : le transfert de données, les signaux de commande, les signaux de synchronisation et les masses.
- ✓ Une interface procédurale qui définit les procédures de commande et d'échange.

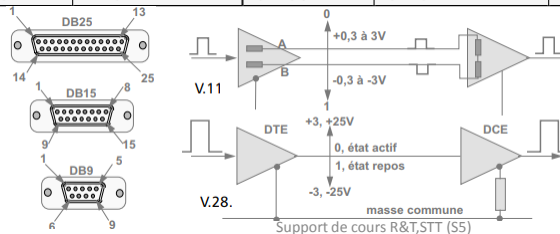
La normalisation des interfaces provient essentiellement de deux organismes : l'EIA (RS 232, RS 449, RS 422, RS 423A...) et l'UIT (V.24, X.21, X.21bis...).

Support de cours R&T,STT (S5)

73

Les principales interfaces normalisées.

Appellation	Interfaces			Portée	Débit nominal
	Mécanique	Electrique	Fonctionnelle		
V.24/RS 232	ISO 2110 DB25	V.28	V.24	12 m	2,4 à 19,2 kbit/s
V.35	ISO 2593 DB34	V.11/V.10	V.24	15 m 10 m	48 à 64 kbit/s 128 à 256 kbit/s
V.36	ISO 4902 37 points	V.11/V.10	V.24	15 m 10 m	48 à 64 kbit/s 128 à 256 kbit/s
X.24/V.11	ISO 4903 DB15	V.11	X.24	100 m 50 m	64 à 1 024 kbit/s 1 920 kbit/s
G.703	ETSI 300.166	G.703	G.703	300 m	2 048 kbit/s
G.703/704	DB9	G.703	G.704	300 m	256 à 1 984 kbit/s



Support de cours R&T,STT (S5)

74

QUALITÉ DU CIRCUIT DE DONNÉES

- Le *taux d'erreurs* est le rapport entre le nombre de bits erronés, sur le nombre total de bits transmis **BER**.
- La *disponibilité* permet d'évaluer la proportion de temps pendant lequel la transmission est possible (absence de panne ou de coupure). On peut s'intéresser également au nombre d'incidents et à leur durée cumulée, afin de déterminer la durée moyenne et le coût d'une panne.
- Le *débit binaire D* représente le nombre de bits transmis par seconde. On peut préciser, en outre, que le débit est en mode duplex intégral, semi-duplex ou en simplex.
- Le *délai de propagation* définit le temps matériellement nécessaire au signal pour traverser le support. Par exemple, il faut environ un **quart de seconde** à un signal dans le cas des satellites GEO).

Support de cours R&T,STT (S5)

75

QUALITÉ DU CIRCUIT DE DONNÉES

La *rapidité de modulation R*, exprimée en bauds, indique le nombre de symboles transmis par unité de temps. Soit Δ de l'intervalle de temps séparant deux valeurs significatives du signal: **$R = 1/\Delta$ bauds.**

Remarque

La formule : $D = R \cdot \log_2 V$ exprime la relation liant la rapidité de modulation au débit binaire. Pour des modulations simples – des signaux de valence 2 – chaque intervalle Δ transporte 1 bit. Les valeurs numériques du débit binaire et de la rapidité de modulation sont alors égales.

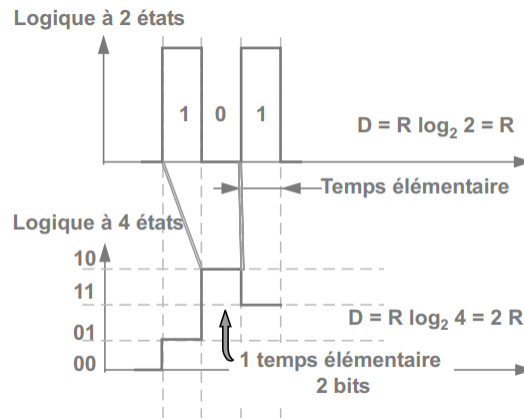
Remarque

Pour un support de transmission, la rapidité de modulation maximale dépend de sa bande passante (critère de Nyquist). La rapidité de modulation maximale $R_{\max}$ est égale au double de la fréquence la plus élevée disponible sur le support : $R_{\max} = 2F_{\max}$.

Support de cours R&T,STT (S5)

76

Signaux de valence 2 et 4



Support de cours R&T,STT (S5)

77

Exemple

1. Exprimez et comparez les valeurs du débit binaire et de la rapidité de modulation du modem **V23** et du modem **V29**. Le modem V23 fonctionne à **1200bps** avec une modulation de fréquences à deux valeurs. Le modem V29 offre un débit binaire de **9600bps** et utilise une modulation combinée d'amplitude et de phase (modulation d'amplitude à **2 valeurs** et modulation de phase à **8 valeurs**).
2. Proposez un codage simple des données binaires transmises par le modem V29.

Solution:

1. La rapidité de modulation du modem **V23** est égale à son débit binaire soit **1 200 bauds**.
2. Appliquant la formule : $D = R \cdot \log_2 V$, ($D = 9600$ et $V = 16$). **2400 bauds**.
3. Le modem transmet une valeur parmi les 16 possibles (soit 4 bits par intervalle de temps)

Support de cours R&T,STT (S5)

78

Conclusion

Pour relier deux équipements informatiques éloignés l'un de l'autre, on utilise un circuit de données constitué par un **support de transmission, des modems et une interface série**.

Les **caractéristiques** intrinsèques des supports conditionnent leur **limite d'utilisation**. Cependant, les progrès importants réalisés par l'électronique numérique **reculent** de plus en plus **ces limites**.

La **bande passante** et le **taux d'erreur** qu'il introduit dans les signaux transportés sont les principales caractéristiques d'un support. À chaque **extrémité**, des **modems** ou des **codecs** transmettent des signaux **adaptés** à la nature du support. (transmission en bande de base ou par modulation)

Cours du réseaux et télécoms

Chapitre I: Transmission et représentation de donnée.

Chapitre II: Les supports de transmission et caractéristiques.

Chapitre III: Protocoles de liaison de donnée.

Chapitre IV: Réseaux à commutation de paquets.

Introduction et Définitions

Le circuit de données pouvant modifier les informations transportées, le **protocole** de liaison de données le supervise et définit un ensemble de **règles** pour assurer la fiabilité des échanges sur une liaison de données.

→ il spécifie le format des unités de données échangées (**les trames**):

- La délimitation des données (début et fin).
- Les moyens de contrôler leur validité (parité, code polynomial...)
- Le mode de correction des erreurs détectées.
- Fixer les règles du dialogue entre les deux extrémités de la liaison.
- Le contrôle de flux, mécanisme vérifiant le rythme d'envoi des trame
- La gestion des acquittements (mécanisme validant la réception des trames).

Introduction et Définitions

Définition

Un *protocole* est un ensemble de règles et de formats de données à respecter pour échanger des données dans de bonnes conditions entre deux équipements ou deux programmes. Un protocole de liaison de données a pour objet de rendre fiable le circuit de données.

Pour faire communiquer des machines identifiées par leurs **adresses**, il faut définir:

le protocole de liaison de données.

Un programme (logiciel de communication), installé sur les équipements qui doivent communiquer à distance, l'exécute. Afin d'assurer un maximum d'interopérabilité entre équipements à l'échelle internationale.

MISE EN FORME DES DONNÉES

Une séquence spécifique, appelée **fanion (flag)**, sert à indiquer le début et la fin des trames. En général, il se compose de l'octet **01111110**.

✓ À l'émission: ajout d'un bit 0 après 5 (1) consécutif (bit de **bourrage**: bit **stuffing**).

✓ À la réception: destruction d'un bit 0 après 5 (1) consécutif.

■ Suite binaire à transmettre :

010010000011111101111100

■ Suite binaire après adjonction des bits de transparence (**stuffing**) :

010010000011111101011111000

■ Trame transmise avec ses délimiteurs (**fanions**) :

01111110 010010000011111101011111000 01111110

■ En réception : suppression des bits de transparence et des fanions.

Support de cours R&T,STT (S5)

83

Bit de Bourrage (bit Stuffing)

Soit la suite de données binaires située dans le champ d'information d'une trame :

011110111110011111100011.

1. Quelle est la suite réellement fournie au support de transmission pour ces données ?

01111110 01111011111000111110100011 01111110

2. Que se passe-t-il si le douzième bit de la suite réellement transmise a été mal reconnu par le récepteur (les Fanion écartés)?

Support de cours R&T,STT (S5)

84

CONTRÔLE DE VALIDITÉ

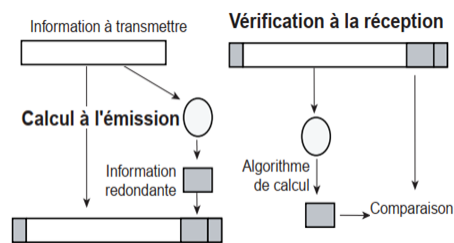
Le contrôle d'erreurs consiste à vérifier la validité des données transmises, c'est-à-dire détecter d'éventuelles erreurs puis les corriger.

Pour cela, on ajoute à l'information transmise des informations de contrôle calculées par un algorithme spécifié dans le protocole à partir du bloc de données (redondance).

À la réception, on exécute le même algorithme pour vérifier si la redondance est cohérente.

Si c'est le cas, on considère qu'il n'y a pas d'erreur de transmission et l'information reçue est traitée.

Sinon, on est certain que l'information est invalide et elle est ignorée.



Support de cours R&T,STT (S5)

85

Protection au niveau du code

Ce type de protection est possible lorsque l'émission des données se fait par caractère (ajout à chaque caractère un bit de parité VRC (Vertical Redundancy Check)).

Pour chaque caractère, si le nombre de bits **1** est **pair**, on ajoute **0** à la fin du caractère, et si le nombre de bits **1** est **impair**, on ajoute **1**.

Exemple du VRC: fréquemment utilisé avec le code CCITT N°5 sur les liaisons asynchrones.

Le caractère M codé par **1001101**, le bit de parité vaut **0**. On transmet dans cet ordre **10110010** (les 7 bits de données en commençant par les poids faibles puis le bit de parité).

Support de cours R&T,STT (S5)

86

Protection au niveau de la trame

La protection au niveau des trames consiste à rajouter une redondance à chaque trame, en fonction de l'ensemble des éléments binaires qui la constituent. Parmi les techniques les plus utilisées:

- la parité longitudinale **LRC (Longitudinal Redundancy Check)**.
- le contrôle polynomial **CRC (Cyclic Redundancy Check)**.
- **Checksum**

Exemple LRC: Soit la suite de caractères L, 2, M à transmettre, codée en CCITT N°5 par les valeurs hexadécimales 4C, 32 et 4D.

1 1 0 0 1 1 0 0	caractère L + parité VRC
1 0 1 1 0 0 1 0	caractère 2 + parité VRC
0 1 0 0 1 1 0 1	caractère M + parité VRC
0 0 1 1 0 0 1 1	LRC à ajouter à la fin
La suite des éléments binaires émise est donc	
0011 0011 0100 1101 1011 0010 1100 1100	

Support de cours R&T,STT (S5)

87

Exemple

Calculez le **VRC** et le **LRC** du message HELLO en utilisant la parité et précisez l'ordre de transmission du message construit.

Solution :

	<i>MSB</i>	<i>LSB</i>
H	<u>0</u>	1001000
E	<u>1</u>	1000101
L	<u>1</u>	1001100
L	<u>1</u>	1001100
O	<u>1</u>	1001111
LRC	01000010	
Le message transmis (bits de poids faible en premier) :		
LRC + O + L + L + E + H	01000010 1 1001111 1 1001100 1 1001100 11000101 01001000	

Support de cours R&T,STT (S5)

88

Protection au niveau de la trame

Exemple LVRC:

On désire transmettre la suite de 16 bits de données : **2BE3** (en hexadécimal), le premier bit transmis correspondant au bit de poids faible du chiffre 2.

La protection contre les erreurs se fait par parité verticale et longitudinale.

Donnez la suite de bits des quatre caractères et la suite binaire complète transmise au récepteur pour ce bloc de données.

En supposant que, par suite d'une erreur de transmission, le 19^{ème} bit de la suite trouvée à la question précédente soit modifié, expliquer comment détecter et corriger l'erreur au niveau du récepteur.

Support de cours R&T,STT (S5)

89

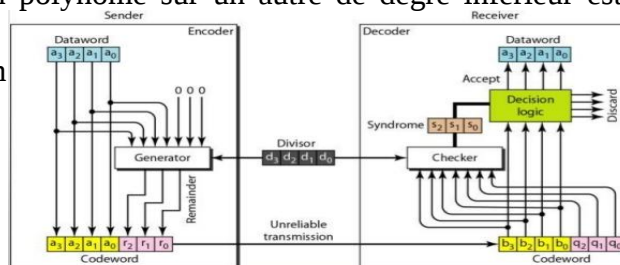
Protection au niveau de la trame

le contrôle polynomial CRC: il est très utilisé dans les protocoles modernes car il permet de détecter les erreurs sur plusieurs bits.

La génération du CRC consiste à dériver les bits associés à chaque

$$\begin{aligned} \text{polynôme: } C(x) &= x^3 + x^2 + 1 &= 1101 \\ P(x) &= x^{10} + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + 1 &= 10010110101 \end{aligned}$$

Puis effectuer la division binaire en rajoutant $(d-1)*0$ au message à transmettre (diviser un polynôme sur un autre de degré inférieur est similaire à la division binaire avec la fonction logique **XOR**) et le **reste** de la division est le **CRC (d-1)bits**.



Support de cours R&T,STT (S5)

90

INPUT		OUTPUT
A	B	A XOR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



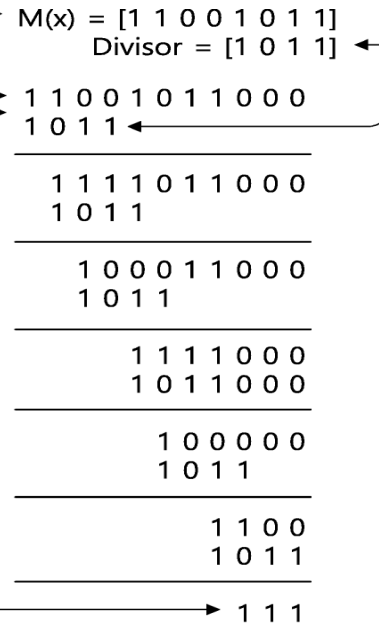
Exemple du génération du CRC:

Soit le message $M(x)$ à transmettre et le diviseur du décodeur est **1011**, ç-à-dire $d=4\text{bits}$. Alors $d-1=3\text{bits}$

On rajoute **trois** zéros au $M(x)$

On effectue la division binaire.

Le message à transmettre par le codec soit $M(x)+\text{Reste}$



Code Word = $[1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1]$

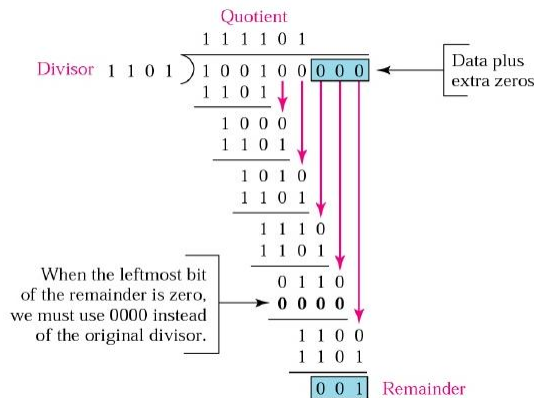
Support de cours R&T,STT (S5)

91

Exemple

Générer le **CRC** du polynôme suivante: $x^5 + x^2$ en utilisant un diviseur de quatre bits : **1101**. Quel est le message transmis.

Solution :



Support de cours R&T,STT (S5)

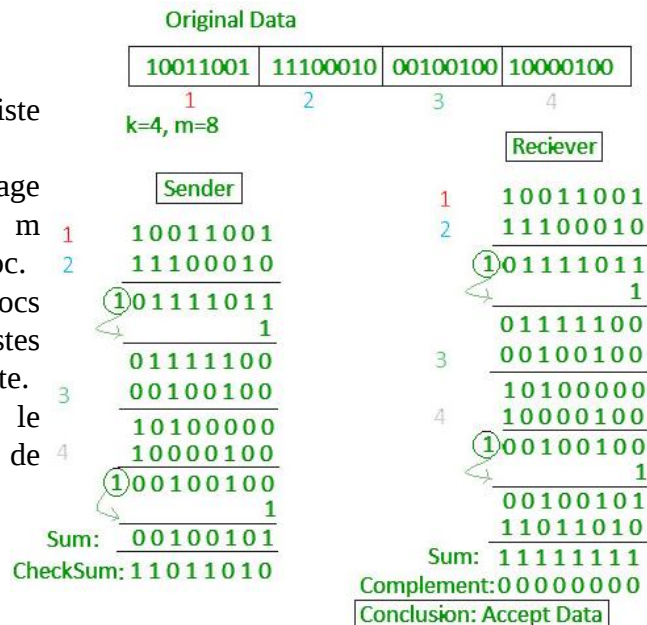
92

Checksum

Cette méthode consiste à:

1. Diviser le message en k blocs avec m bits sur chaque bloc.
2. Sommer les k blocs et rajouter les restes sur m bits s'il existe.
3. enfin réaliser le complément à 1 de cette somme.

Le résultat est votre code **checksum**.

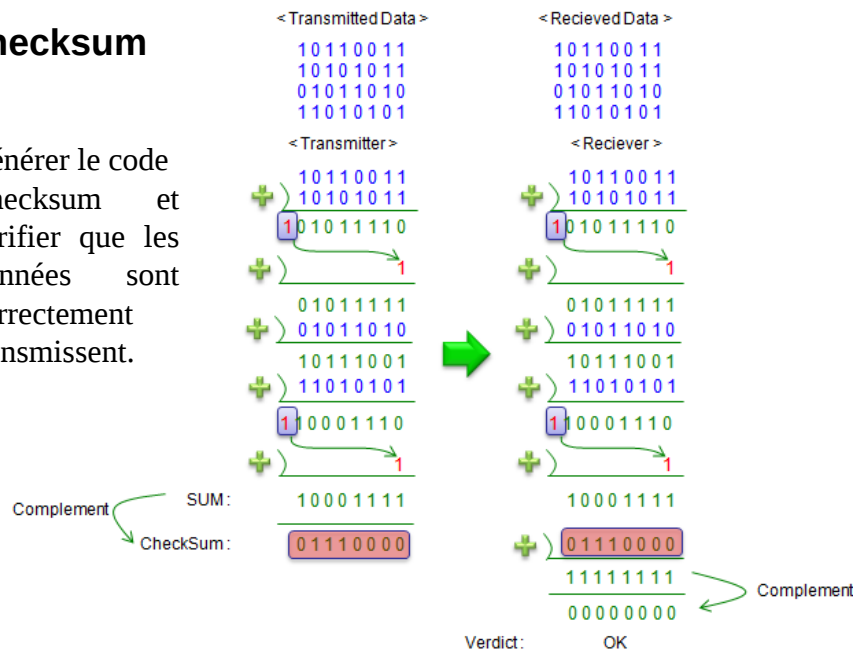


Support de cours R&T,STT (S5)

93

Checksum

Générer le code Checksum et vérifier que les données sont correctement transmises.



Support de cours R&T,STT (S5)

94

Détectez et corriger l'erreur ?

	column 1	column 2	column 3	column 4	column 5	column 6	column 7	column 8
byte 1	1	0	1	0	0	1	1	0
byte 2	1	0	1	0	1	1	0	0
byte 3	1	0	1	0	1	1	1	1
byte 4	1	0	1	1	0	1	1	1
byte 5	1	0	1	0	0	0	1	1
byte 6	0	0	1	0	1	0	0	0
byte 7	0	0	1	0	0	1	0	1
byte 8	1	0	1	1	0	0	1	0
byte 9	1	0	1	1	0	1	0	0
parity byte	1	0	1	1	1	1	1	0