



TELECOM

Parce que c'est toujours classe d'avoir une page de garde



EPHEC

ANNEE 2016 - 2017

EPHEC 2TI

Table des matières

Table des matières	Erreur ! Signet non défini.
Avant-propos	5
Chapitre 4 : Les modes de transmissions	6
Transmission numérique	6
Transmission analogique	6
Multiplexage	6
Multiplexage fréquentiel FDM	7
Multiplexage temporel TDM	7
Modes de communication bidirectionnelle	8
Communication Half Duplex	8
Transmission à 2 fils	8
Transmission à 4 fils	8
Transmission à 4 fils temporel	8
Passage de 2 à 4 fils	8
Chapitre 5 : Les modulations analogiques	10
Définitions/Acronymes	10
Principes et buts de la modulation	10
Principales techniques de modulation	11
Modulation AM	11
Modulation FM	11
Modulation BLU	12
Modulation MIC (impulsion et codage)	12
Modulation PWM (Pulse Width Modulation)	13
Modulation PPM (Pulse Position Modulation)	13
Exercices	14
Modulation d'amplitude	14
Avantages modulation angulaire	14
Numérisation du son	15
Numérisation et débit binaire	15
Chapitre 6 : Transmissions de données et modems	16
Définitions/Acronymes	16
Principe de transmission en bande de base	16
Techniques de transcodage (bande de base)	16
NRZ	16
Manchester	17

Manchester différentiel.....	17
Delay mode (Miller).....	17
Bipolaire.....	18
HDB(n)	18
Exercices transcodage	19
Durée de transfert d'information.....	19
Caractéristiques d'un modem	19
Débit possible sur un canal TV	20
Transmission de données sur un canal TV	20
Rapidité de modulation.....	20
Rapport Signal/Bruit.....	20
Principe de transmission en large bande	21
Principales techniques de modulation en large bande	21
Modulation d'amplitude ASK	21
Modulation de fréquence FSK.....	22
.....	22
Modulation de phase PSK.....	22
Caractéristiques d'un modem	23
Exercices	24
Chapitre 7 : les protocoles de communications.....	26
Fonction d'un protocole de communication.....	26
La délimitation de données	26
Notion de transparence	26
Contrôle d'intégrité.....	27
Principe et limitations du mode d'échange Send and Wait.....	28
Protocole : contrôle d'échange	29
Efficacité.....	29
Sans erreur : $n_0 = UU + G + K + D * RTT$	29
Exercice.....	30
Les protocoles à anticipation	30
Mode gestion des fenêtres.....	30
Politique de reprise sur erreur	31
Exercices.....	31
Le contrôle de flux.....	33
Crédit d'émission.....	33
Limite du contrôle de flux	33

Signalisation.....	34
Signalisation dans la bande	34
Signalisation hors bande	34
CAS ou CSS.....	35
Principe du protocole HDLC	35
Trames d'information (I)	36
Trames de supervision (S)	36
Trames non numérotées (U) :	36
Fonctionnement de HDLC	36
Chapitre 8 : Le réseau de transport et le Réseau d'accès	37
Définition du réseau de transport.....	37
Mutualisation des ressources.....	37
Intensité du trafic	37
Taux d'activité	37
Exercices	38
Multiplexeurs	39
FDM (Frequency Division Multiplexing)	40
TDM (Time Division Multiplexing)	40
WDM (Wavelength Division Multiplexing).....	40
U-WDM.....	40
Notion de débit de cadrage.....	41
Multiplexage de position et d'étiquette	41
La trame MIC	41
Exercices MIC.....	42
Exercice Multiplexeur	42
Hiérarchie numérique : PDH.....	43
Principe.....	43
Débits.....	43
La Trame E1 (système européen).....	43
La Trame T1 (système NA & japonais).....	44
Hiérarchie synchrone SDH.....	44
Principe.....	44
Organisation des données.....	44
Hiérarchie SDH ou SONET.....	45
Comparaison PDH et SDH.....	45
Boucle locale.....	45

BLR.....	46
Technologies xDSL.....	46
Principe.....	46
Débits.....	46
Chapitre 9 : La téléphonie	47
Réseau numérique RNIS.....	47
Concept d'intégration de services.....	47
Structure du réseau.....	47
Protocole LAP-D.....	47
Trame LAP-D.....	48
Chapitre 10 : Installation d'abonné et réseau privé de téléphone	48
Généralité.....	48
Spécialisation des lignes.....	48
Exercices.....	49
Les autocommutateurs privés (PABX).....	51
Chapitre 11 : communication à l'écrit.....	52
Codage de Huffman.....	52
Acronymes.....	53

Avant-propos

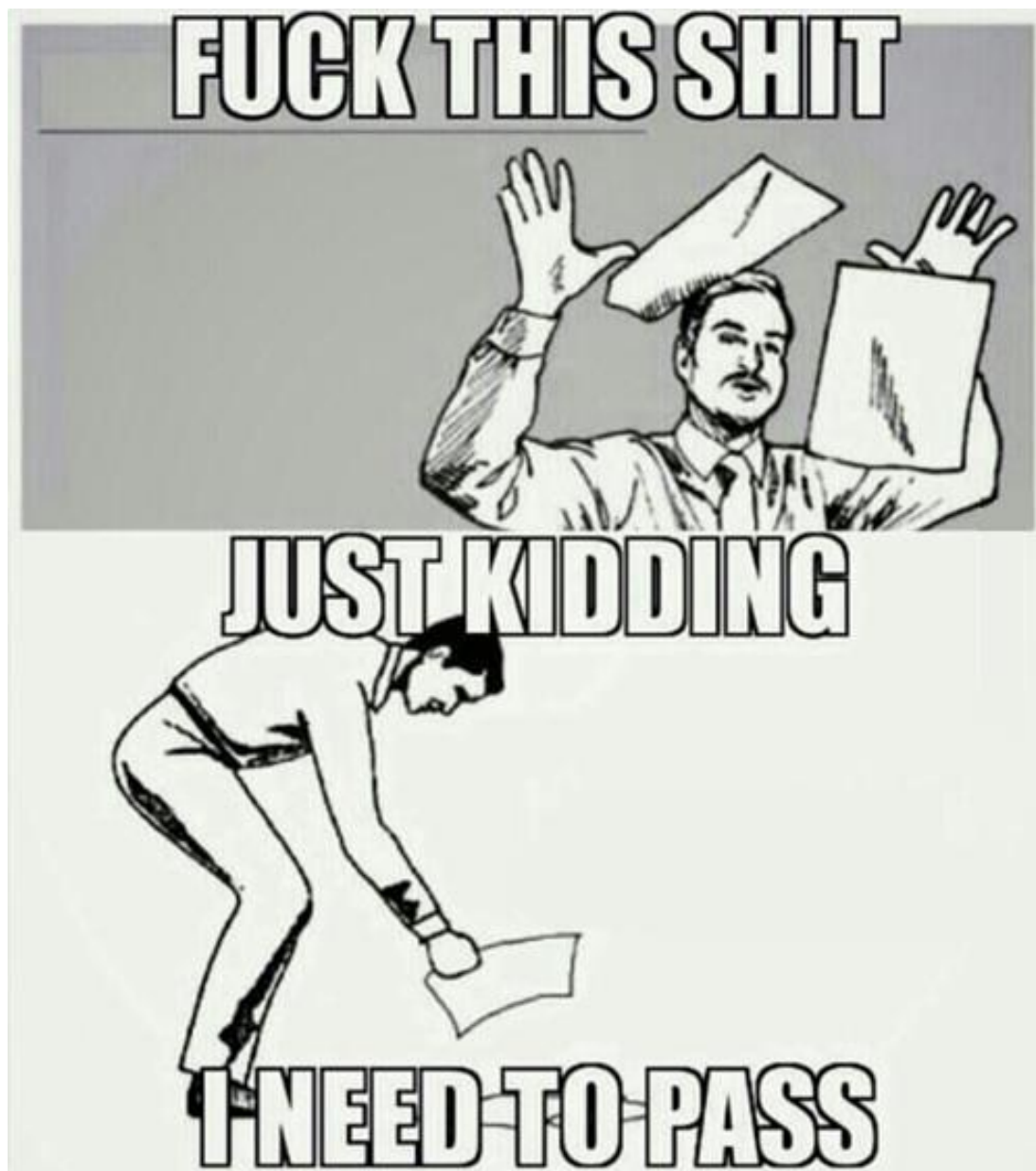
Cette synthèse n'est en aucun cas une science exacte. Des fautes peuvent être présentes, des choses peuvent manquer.

Elle est basée sur base du cours de Télécommunication vu en classe (aussi bien le syllabus que les slides)

D'autres sources tels que des synthèses ou tuyaux des années précédentes sont également présentes dans celle-ci. Les auteurs différents supports me sont inconnus, mais je les remercie pour leur héritage de connaissances : ^)

Les autres sources viennent de mon meilleur ami, j'ai nommé Google et son copain Wikipédia.

Sur ce, bon chance.



Chapitre 4 : Les modes de transmissions

Transmission numérique

1. Qu'est-ce qu'une transmission ?
Une transmission est l'action de transmettre, faire passer quelque chose à quelqu'un.
2. Que signifie numérique ?
L'information est discrète et l'émetteur ne dispose que d'un nombre fini de caractère (alphabet). Les caractères sont une suite de signaux élémentaires de durée **T** et peuvent prendre **N** valeurs.

Transmission analogique

1. Que signifie analogique ?
L'information en provenance de la source est sous forme de variations continues d'un paramètre des signaux transmis. Chaque détail de ce paramètre est porteur d'informations. Ce signal est sensible au bruit.

Multiplexage

1. Qu'est-ce que le multiplexage ?
Opération qui consiste à grouper plusieurs voies sur un seul support physique afin qu'elles puissent transmettre leurs informations sans mélange ou perturbations mutuelle. Il faut néanmoins faire attention à la **diaphonie** qui est la perturbation présente sur des voies multiplexées. Le multiplexage est essentiellement utilisé pour des raisons économiques.
2. Exercice sur le multiplexage :

Exercice : Il s'agit de trouver au-delà de quelle longueur de câble **L_{min}** le multiplexage est économiquement justifié.

On donne :

- **C = 320 € / km** : coût unitaire du câble
- **z = 32** : nombre de voies multiplexées
- **C_{MUX} = 4000 €** : coût du mux/démux 32 voies

$$L_{\min} = \dots\dots$$

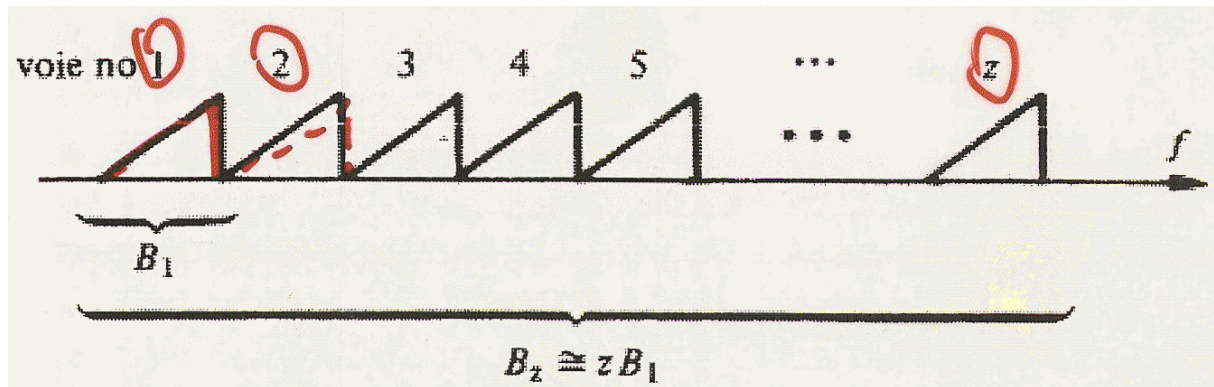
$$\begin{aligned} L * 320 + 4000 &= 32 * 320 * L \\ 4000 &= 320 * L * \left(\frac{32 - 1}{32 - 1}\right) \\ L &= \frac{4000}{320 * 31} = 403 \text{ m} \end{aligned}$$

Si l'on veut savoir le prix au-dessus des 400 mètres, on reprend la Longueur de **403 m**.

$$320 * 0.43 * 32 = 4096 \text{ €}$$

On voit qu'au-dessus des 400 m, la somme serait de 4096€, ce qui dépasse notre coût maximum si l'on veut utiliser un système sans multiplexage.

Multiplexage fréquentiel FDM



Les z voies sont réparties sur l'axe des fréquences :

- Chacune à sa bande fréquence individuelle
- Elle est décalée par rapport aux fréquences voisines

Il y a donc :

- ➔ Juxtaposition fréquentielle des voies
- ➔ Superposition des signaux dans le temps

1. Comment réaliser du FDM ?

On transporte par modulation chaque voie de sa bande de base vers la place qui lui est attribué dans le multiplexage fréquentiel

Le FDM est principalement utilisé en radio et en télévision.

Multiplexage temporel TDM

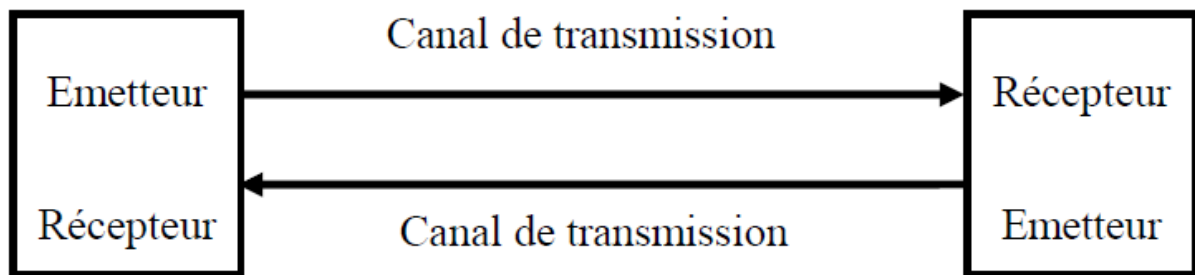
Les z voies sont réparties périodiquement dans le temps via une modulation d'impulsions. Les impulsions correspondant à une voie sont intercalées entre celles des autres voies.

- ➔ Echantillonnage synchrone des 2 voies
- ➔ Juxtaposition des signaux dans le temps
- ➔ Superposition des spectres dans un domaine fréquentiel

Les voies entrelacées forment une **trame**.

Les TDM exige un point de repère dans le cycle de la trame et le récepteur doit se synchroniser en fonction de ce point de repère ?

Modes de communication bidirectionnelle



La transmission a lieu simultanément dans les 2 sens. C'est-à-dire que l'émetteur peut être interrompu à tout moment pour transmettre une autre information. On l'appelle aussi le **Full Duplex**.

Communication Half Duplex

La transmission a lieu alternativement dans chaque sens :

- Un seul canal de transmission qui doit être bidirectionnel
- Chaque poste est en réception, mais il quitte sa position pour pouvoir émettre
- Contrairement au Full Duplex, l'émetteur ne peut pas être interrompu. (**Discipline de conversation stricte**)

Transmission à 2 fils

- Les vois aller-retour sont physiquement confondues
- Fonctionne avec des supports de transmissions passifs tels que les lignes en cuivre et ondes radio bidirectionnel

Transmission à 4 fils

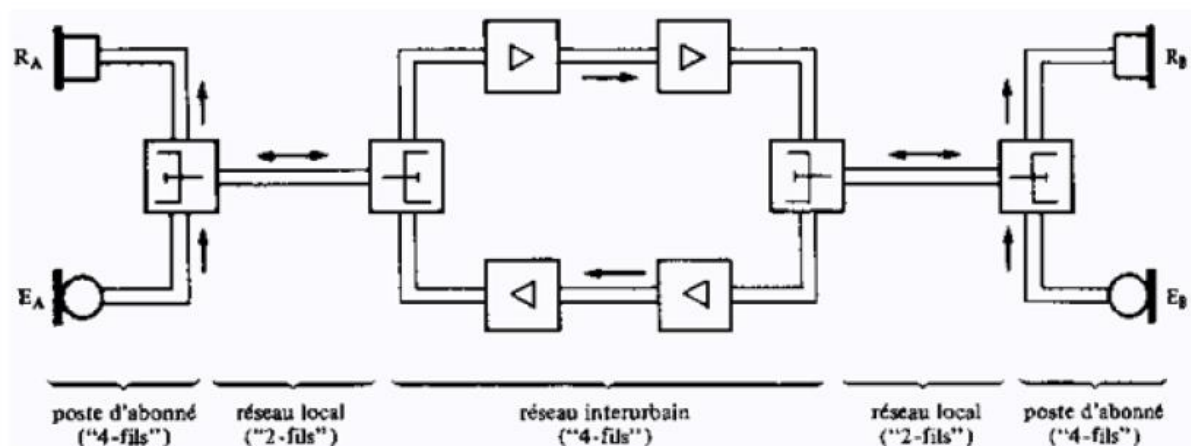
Lorsqu'une distance est trop grande et qu'il faut utiliser un amplificateur unidirectionnel, il faut séparer les voies et consacrer une voie unidirectionnelle pour chaque sens.

Transmission à 4 fils temporel

Transmission alternée périodiquement d'échantillons appartenant à chaque voie.

➔ Multiplexage temporel des 2 sens de transmission

Passage de 2 à 4 fils



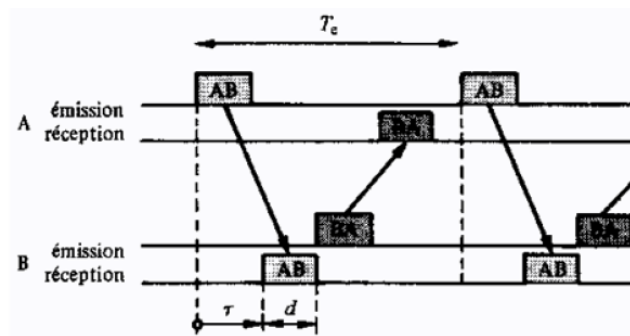
Pour des raisons économiques, on utilise des transmissions à 2 fils et on utilise uniquement des transmissions à 4 fils de bouts à bouts (terminaux finaux tels qu'un téléphone avec ses câbles pour le haut-parleur et pour son microphone.)

Exercice :

L'émetteur et récepteur s'échangent alternativement des trames de 128 bits via un seul support selon le mode pseudo 4-fils temporel. Le temps de traversée du support vaut 100 ms et le débit de transmission est de 4800 bps.

Calculer la fréquence d'émission des trames au niveau de l'émetteur.

Réponse :



$$T_e \geq 2 * (T + d)$$

- T_e = Périodicité des échantillons
- T = Temps de propagation
- D = durée de l'échantillon

Dans le cas présent :

$$d = \frac{\text{longueur trame}}{\text{débit transmission}}$$

Donc :

$$T_e \geq 2 * \left(0.1 + \frac{128}{4800} \right) = 0.25 = 250ms$$

$$F_e = \frac{1}{T_e} = \frac{1}{250} = 4 \text{ trame/s}$$

Chapitre 5 : Les modulations analogiques

Définitions/Acronymes

- **Transmission bande de base** : signaux transmis tels qu'ils sortent du transducteur de la source, c'est-à-dire dans leur bande de fréquence originale. (utilisé quand le milieu de transmission s'y prête et si on peut utiliser un support physique pour chaque communication).

Principes et buts de la modulation

QUESTIONS 1,2 ET 3

La modulation est l'opération qui consiste à transporter un signal représentant une information en un autre signal sans modifier l'information qu'il porte.

- Le **signal modulant** désigne le signal source ou encore le signal à transmettre ;
- La **porteuse** désigne le signal dont les fréquences permettent au signal source de se moduler ;
- Le **signal modulé** désigne le signal dont les fréquences ont été changées pour pouvoir le transporter.

Les 2 buts principaux de la modulation sont :

- **Adaptation aux conditions d'un milieu de transmission :**
 - Canal perturbé : garantit une bonne qualité de transmission ;
 - Transmission par onde : utilise une bande de fréquence où les ondes de propagations sont optimales.
- **Multiplexage**

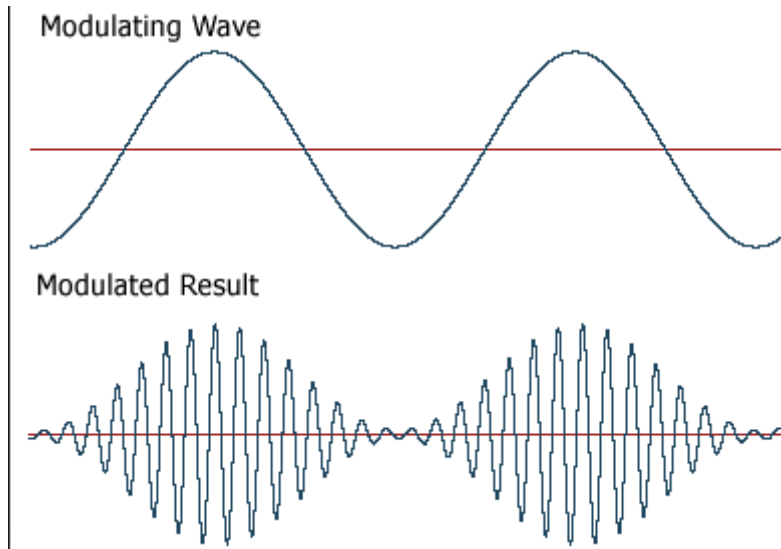
Les modulations analogiques sont classifiées selon 3 critères :

- Forme de la porteuse sinusoïdale ou impulsionnelle ;
- Les paramètres de la porteuse qui fait objet de la modulation :
 - Amplitude
 - Fréquence
 - Phase
 - Durée
- Informations de la porteuse (analogique ou numérique).

Principales techniques de modulation

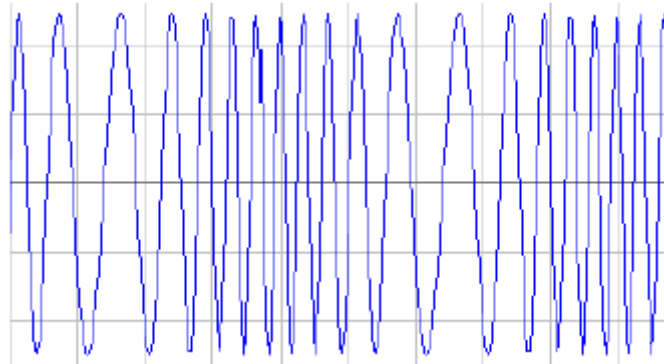
QUESTION 4

Modulation AM



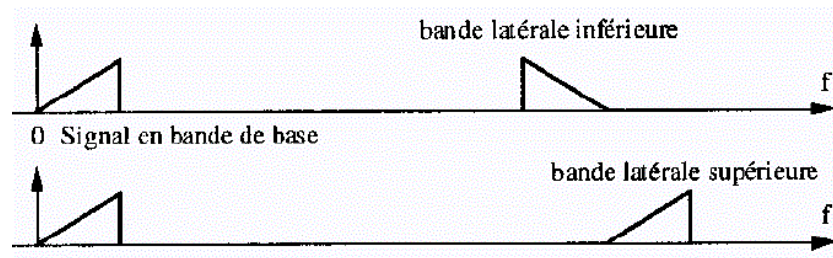
La modulation d'amplitude consiste à faire varier l'amplitude d'un signal de fréquence élevée, le signal porteur, en fonction d'un signal de plus basse fréquence, le signal modulant.

Modulation FM



On parle de modulation de fréquence par opposition à la modulation d'amplitude. En modulation de fréquence, l'information est portée par une modification de la fréquence de la porteuse, et non par une variation d'amplitude. La modulation de fréquence est plus robuste que la modulation d'amplitude pour transmettre un message dans des conditions difficiles (atténuation et bruit importants).

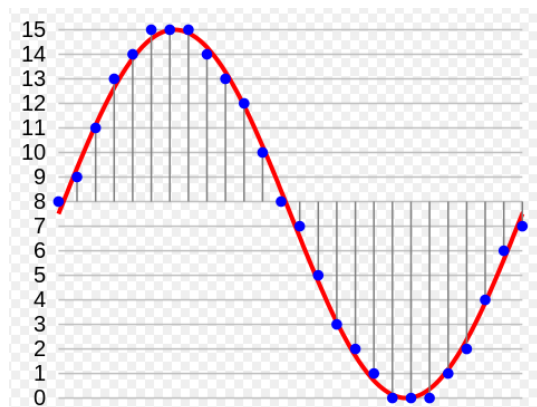
Modulation BLU



Modulation double bande latérale utilise environ la moitié d'une émission AM et grâce à sa courte portée est moins sensible aux perturbations.

- Minimise la puissance et l'encombrement en fréquence du signal modulé.
- Elle transmet l'information avec le maximum de rendement.
- A la base du multiplexage fréquentiel
- Utilisée en onde courtes
- Rendement très médiocre
- Simplicité des récepteurs
- Très utilisée pour les communications avec les navires, mobiles et radioamateurs (onde courte)

Modulation MIC (impulsion et codage)



Technique utilisée par les opérateurs de télécommunications consistant à transformer la parole téléphonique analogique en signal numérique par le biais d'un codec.

Modulation PWM (Pulse Width Modulation)



- a. **Impulsion de hauteur fixe** générée ; impulsion dont la largeur dépend de l'amplitude du signal échantillonné. Il s'agit d'une modulation liée à la durée de l'impulsion.
- b. **Avantages :**
 - Pas sensible aux bruits/atténuations.
 - Signal traité avec des circuits logiques.
- c. **Inconvénient :**
 - Signal analogique

Modulation PPM (Pulse Position Modulation)



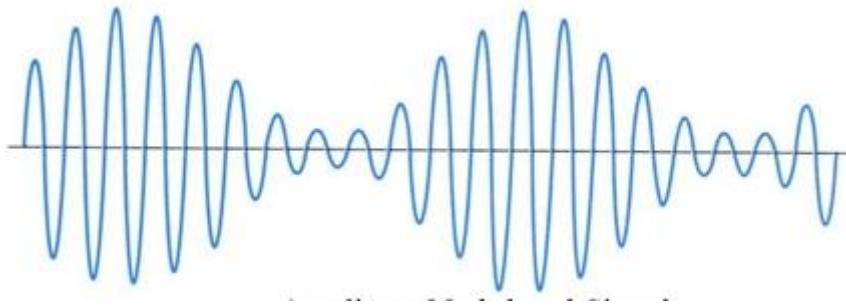
- a. **Impulsion de hauteur et largeur fixe** générée ; Le retard de l'impulsion par rapport à l'instant d'échantillonnage dépend de l'amplitude du signal. L'**information** est contenue **dans le retard de chaque impulsion** (en rapport à l'échantillonnage).
- b. **Avantages :**
 - Pas sensible aux bruits/atténuations,
 - Fonctionne à basse puissance
- c. **Inconvénients :**
 - Complexe à mettre en place (position de référence)

Impossible de transmettre des signaux à composante continue.

Exercices

Modulation d'amplitude

- a. Dessiner et expliquer l'allure d'un signal AM
- b. Citer les inconvénients de la AM



La porteuse est modulée par le signal modulant où la fréquence reste constante et où l'amplitude est reliée linéairement au signal modulant.

- Très sensible au bruit
- Plage de fréquences disponible très limité
- Le signal récupéré après la démodulation n'est pas fidèle

Avantages modulation angulaire

- La puissance de la porteuse est constante
- Meilleur rendement
- L'amplitude du signal reçu ne contient pas d'informations
- Le signal démodulé ne dépend pas de la puissance reçue = pas de fluctuations en amplitudes du canal de transmission
- Utilisé dans les communications mobiles, télécommandes, etc.
- Contrôle le gain de réception en fonction de la puissance de la porteuse

Numérisation du son

Les CD audio échantillonnent le son à 44,1 kHz et le quantifient sur 16 bits. Pour améliorer la qualité de restitution, deux nouvelles technologies s'affrontent. Le DVD audio qui échantillonne à 192 kHz et quantifie sur 24 bits, tandis que le SACD analyse le son à raison de 2,8224 MHz et quantifie la variation sur 1 bit.

On vous demande de calculer :

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

Formule générale :

$(1) \text{ Fréquence} * \text{période} * \text{débit} = \text{débit temps réels}$ $(2) \text{ Débit temps réels} * 3600 \text{ (pour une heure)}$

CD audio :

- (1) $44\,100 * 1 * 16 = 705\,600 \text{ bits} / s = 88.2 \text{ ko/s}$
- (2) $88\,200 * 3600 = 317.5 \text{ Mo}$

DVD audio

- (1) $192\,000 * 1 * 24 = 4\,608\,000 \text{ bits} / s = 576 \text{ ko/s}$
- (2) $576\,000 * 3600 =$

SACD

- (1) $28\,224\,000 * 1 * 1 = 28.224 \text{ Mbits/s} = 3.528 \text{ Mo/s}$
- (2) $28\,224\,000 * 3600 = 101,606 \text{ Tbits/s} = 12.7 \text{ To/s}$

Numérisation et débit binaire

La télévision analogique occupe une largeur de bande de 6.75 MHz pour l'information de luminance et une bande réduite de moitié pour les informations de chrominance. Chaque signal étant quantifié sur 8 bits, on vous demande :

- (1) Quel débit binaire serait nécessaire pour transmettre ces images ?
- (2) Quel est le nombre de couleurs de l'image ainsi numérisée ?

- (1) $(6.75 \text{ MHz} * 8 \text{ bits}) + (3.375 \text{ MHz} * 8 \text{ bits}) = 54 + 27 = 81 \text{ Mbits} / s$
- (2) *Codé en 8 bits donc il y a une possibilité de 256 couleurs*

Chapitre 6 : Transmissions de données et modems

Définitions/Acronymes

- **Codage de source** : opération qui fait correspondre à un symbole appartenant à un alphabet, une représentation binaire.
- **Transcodage** : opération qui fait substituer au signal numérique (binaire) un signal électrique adapté à la transmission.

Principe de transmission en bande de base

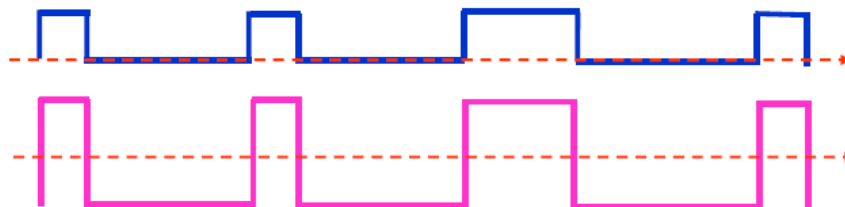
Elle n'effectue qu'une simple transformation du signal (transcodage).

On utilise le transcodage pour :

- Transformer le signal numérique en un autre, de tel à ce que la composante continue soit réduite à son minimum.
NB : la composante continue ne transporte aucune information et provoque un échauffement de la ligne.
- Choisir une méthode de codage pour que le spectre du signal soit le mieux adapté aux caractéristiques du support de transmission.
NB : la bande passante
- Maintenir la synchronisation, assurer un minimum de transitions (lors de longues séquences de 1 et de 0).

Techniques de transcodage (bande de base)

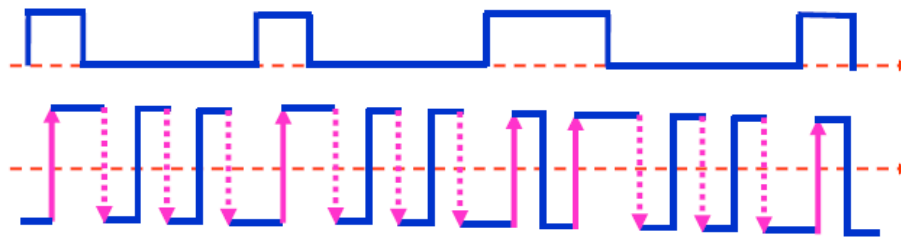
NRZ



Consiste à transformer les 1 en +5V et les 0 en -5V. Le signal n'est donc jamais nul.

- **Avantages**
 - Facile à mettre en œuvre
- **Inconvénients**
 - Composante continue non nulle ;
 - Perte de synchronisation si longue suite de 0 et 1 ;
 - Erreur de lecture si inversion des fils au récepteur

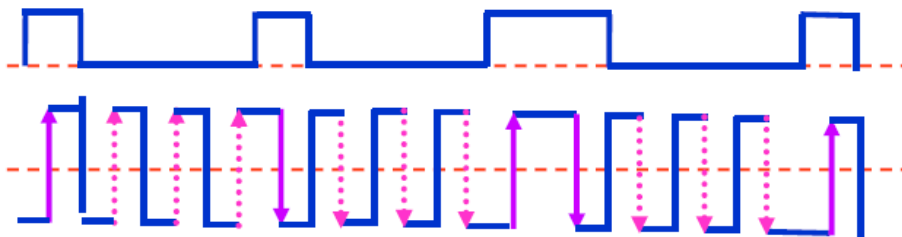
Manchester



Transition au milieu de chaque temps bit. Transition croissante pour un bit à 1 et décroissante pour le bit à 0.

- **Avantages**
 - Facile à mettre en œuvre
- **Inconvénients**
 - Erreur lecture si inversion fils récepteur
 - Bande passante doublée

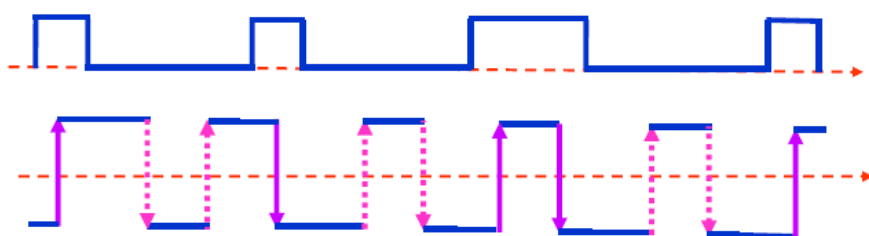
Manchester différentiel



La transition est codée par rapport à la précédente. Lorsque le bit est codé à 0, la transition est la même que la précédente. Si le bit est codé à 1, on inverse le sens de transition.

- **Avantages**
 - Aucune erreur en cas d'inversement de fils récepteur
- **Inconvénients**
 - Bande passante élevée

Delay mode (Miller)



Transition (montant ou descendant) au milieu du bit 1.

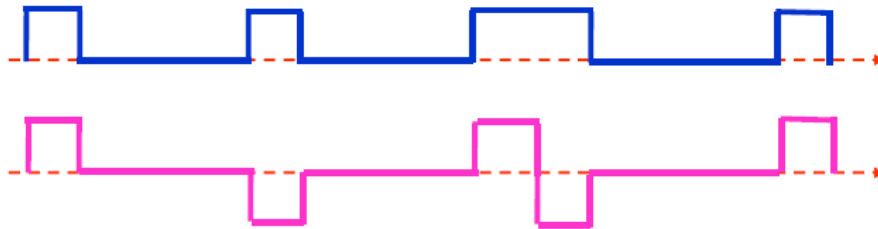
Pas de transition au milieu du bit 0

Transition en fin de bit 0 si suivit d'un autre 0

- **Avantages**

- Mise en œuvre simple ;
- Bande passante réduite ;
- Pas de perte de synchronisation

Bipolaire



Code uniquement un seul type de bits. On alterne les polarités de ces bits +V et -V
Ligne mise à 0V pour les bits non codés

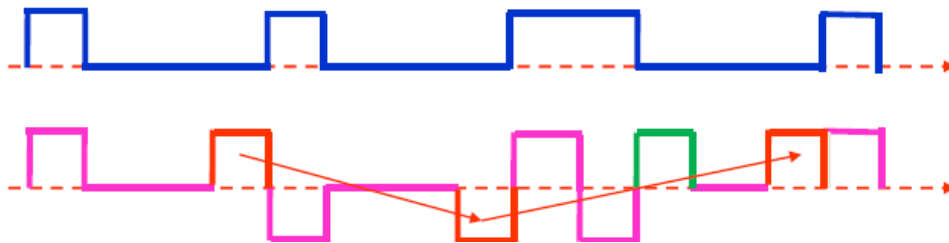
- **Avantages**

- Bande passante réduite

- **Inconvénients**

- Risque perte synchronisation sur longue suite de bits à 0

HDB(n)



1. Les bits à 1 sont codés comme en bipolaire
2. Au n° bit à 0 consécutif, ajout d'un **bit de viol de parité**, de même polarité que le 1 précédent
3. Les bits de viol doivent être alternés
4. Si conditions 2 & 3 non satisfaites, on ajoute un **bit de bourrage** pour rétablir la condition de viol

- **Avantages**

- Bande passante réduite
- Pas de perte de synchronisation

- **Inconvénients**

- Codage & décodage plus compliqués
- Longueur du code variable

Exercices transcodage

Durée de transfert d'information

Une entreprise désire réaliser la sauvegarde de ses données sur un site distant. Le volume de données à sauvegarder est estimé à 10 Go/jour. La sauvegarde doit s'effectuer la nuit de 22 h 00 à 6 h. Les deux sites sont reliés par une ligne à 2 Mbit/s. On demande de vérifier si cette solution est réalisable et le cas échéant de proposer une solution qui permet cette sauvegarde. Pour ce problème on admettra que 1 ko = 1000 octets.

$$1 \text{ heure} = 3600 \text{ secondes} \rightarrow 3600 * 2 \text{ Mo} = 7,2 \text{ Gb}$$

$$8 \text{ heure} = \frac{7,2 \text{ Gb} * 8}{8} = 7,2 \text{ Gb (On divise par 8 pour avoir en octet)}$$

Cette solution n'est pas réalisable pour le client.

Il vaut mieux prendre une sauvegarde incrémentale (sauvegarde uniquement ce qui a changé)

Caractéristiques d'un modem

Un modem V.29 fonctionne à 9600 bit/s sur un canal de bande passante (BP) de 500 à 2900 Hz. On utilise une modulation de phase à 8 états avec une amplitude bivalente pour chaque état. Calculez :

- la valence du signal modulé ;
- la rapidité de modulation possible et celle utilisée;
- le rapport signal à bruit pour garantir le fonctionnement correct de ce modem.

(a) La valence du signal calculé est 16, car on possède 8 états avec une amplitude bivalente.

Formules générales

$$D = R_{\max} * \log_2 * \frac{1}{p}$$

$$D_{\max} = 2 * BP * \log_2 \left(\frac{1}{p} \right) \text{ ou } v$$

$$BP_{\text{moyenne}} = BP_{\max} - BP_{\min}$$

(b) Rapidité de modulation théorique :

$$R = \frac{9600}{\log_2(16)} = 2400 \text{ bauds}$$

$$D_{\max} = 2 * 2400 * 4 = 19200 \text{ bps}$$

$$R_{\max} = \frac{19200}{\log_2(16)} = 4800 \text{ bauds}$$

Le canal permet un débit plus important que le débit demandé par le V29

(c)

$$\text{Débit} = BP * \log_2 \left[1 + \frac{S}{N} \right]$$

Le débit doit être de 9600 bps

$$9600 = 2400 * \log_2 \left[1 + \frac{S}{N} \right]$$

$$\log_2 \left[1 + \frac{S}{N} \right] \text{ soit égale à 4. Rapport } \frac{S}{N} \text{ max de 15.}$$

Débit possible sur un canal TV

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

$$D = 2 * BP * \log_2(V)$$

$$D = 2 * 6000000 * \log_2(4) = 24Mbps$$

Transmission de données sur un canal TV

Pour effectuer la transmission de données sur un canal de télévision, on dispose des lignes 2 à 22 et 325 à 344, lignes durant lesquelles aucune information d'image n'est transmise. Une image comporte 625 lignes. Chaque ligne dure 64 µs, dont seulement 52 sont utilisables pour la transmission de données. Compte tenu d'une bande passante de 6 MHz, déterminer le débit binaire (D) réalisable si on effectue une transmission à valence n = 2.

- De 3 à 22 lignes = 20 lignes
- De 325 à 344 lignes = 20 lignes
- On dispose donc de 40 lignes

- BP pour 625 lignes = 6 MHz
- BP pour 40 lignes = 384 kHz

- Durée ligne = 64 µs
- Duré transmission = 52 µs

- $(52/64) * 384\ 000 = 312\ kHz$
- $D = 2 * 312\ 000 * \log_2(2) = 624\ kbps$

Rapidité de modulation

Quelle est la rapidité de modulation en bauds du signal sur un réseau local 802.3 10base 5 (Ethernet, codage Manchester) Lorsqu'il émet une suite continue de 1 et 0)

$$10BASE-5 = 10\ Mbps$$

$$R = 2 * BP = 20\ Mbauds$$

Rapport Signal/Bruit

Appliqué la relation de Shannon à un circuit téléphonique et déterminé la capacité maximale théorique du canal, sachant que la bande passante est de 300 à 3400 Hz et le rapport signal/bruit est de 30 dB

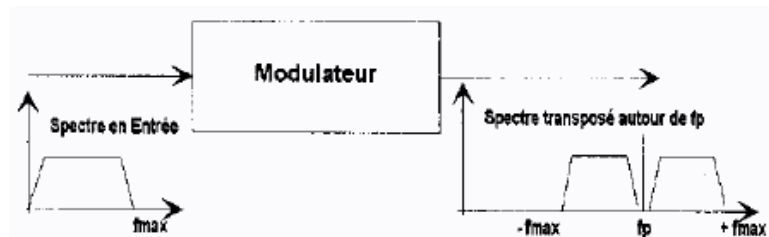
$$D = BP * \log \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Principe de transmission en large bande

Cette transmission tente de régler les 2 principaux problèmes de la transmission en bande de base en :

- Diminuant la bande passante du signal transmis ;
- Autorisant le multiplexage.

On utilise alors des techniques de modulation. Les fonctions de modulation et démodulation sont assurées par des modems.



Principales techniques de modulation en large bande

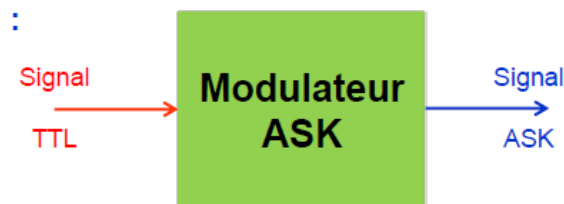
Une porteuse $u(t) = A_0 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi_0)$ avec $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0$

Un des paramètres de la porteuse est modulé :

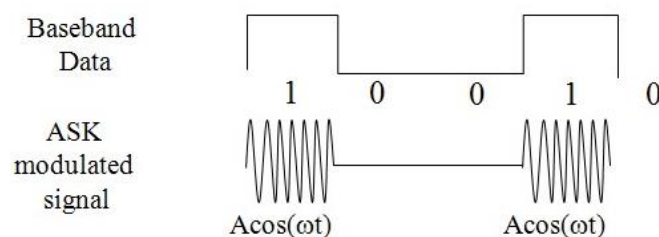
- Amplitude A_0 , **Modulation d'amplitude ou ASK**
 - Transmissions à débit moyen
- Fréquence f_0 , **Modulation de fréquence ou FSK**
 - Transmissions à faible débit
- Phase φ_0 , **Modulation de phase ou PSK**
 - Transmissions à haut débit

Le spectre final et la sensibilité au bruit dépendent du type de modulation choisi

Modulation d'amplitude ASK



- Elle est très sensible aux bruits parasites
- Elle n'est utilisée qu'avec la modulation de phase PSK

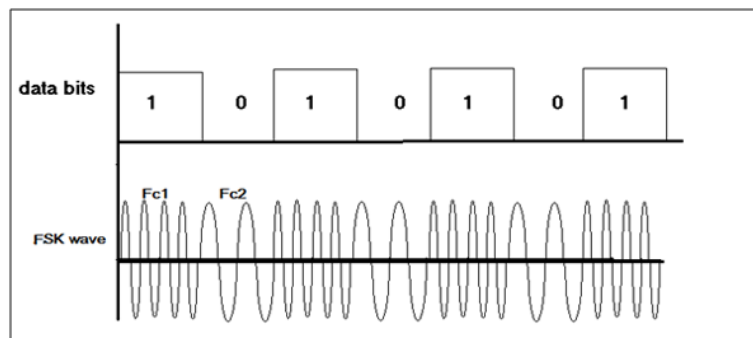


Modulation de fréquence FSK



On assimile à la valeur binaire une fréquence particulière, à la réception un filtre restitue cette valeur binaire d'origine.

- Simple à mettre en œuvre ;
- Grande largeur de spectre → Faible débit.

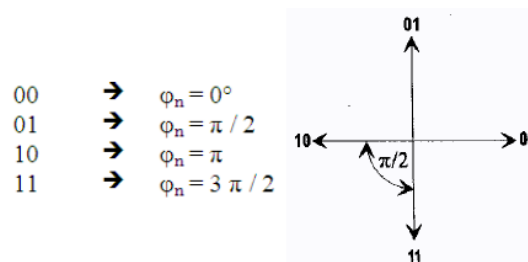


Modulation de phase PSK

Principe :

On associe une valeur binaire ou un signal multi-niveau à un déphasage par rapport à un signal de référence.

$$u(t) = U_0 \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_n)$$



$$\begin{aligned} 0 &\rightarrow \varphi_n = 0 \\ 1 &\rightarrow \varphi_n = \frac{\pi}{2} \end{aligned}$$

- Limitée par l'erreur de phase introduite par le bruit ;
- On combine ASK et PSK pour atteindre des hauts débits ;
- La modulation en amplitude en quadrature (MAQ) est un cas particulier de la modulation PSK.

Caractéristiques d'un modem

- Mode de travail : bande base ou large bande ;
- Type de transmission : asynchrone ou synchrone ;
- Débit binaire ;
- La rapidité de modulation
- Support pour lequel il est prévu : RTC, liaison 2 ou 4 fils ;
- Mode de fonctionnement : simplex, half duplex, full duplex ;
- Le type de codage utilisé ;
- Le type de jonction (interface ETD, ECD).

V22, V22bis, V32, V32bis, V34	Transmission de données
V29	Communications entre grand systèmes et pc to pc
V27ter, V29 et V33	Télécopie (fax)
V90	Vieux modem pour accès internet 56k

Transmission synchrone : L'émetteur et le récepteur sont synchronisés en permanence. Le signal de synchro peut être transmis sur une ligne spécial ou déduit des transitions de la séquence binaire qui est transmis. Il est possible de transmettre des blocs de taille importante. Chaque bloc transmis précédé d'une séquence de synchronisation est un délimiteur de début et de fin de bloc.

Transmission asynchrone : Les horloges de l'émetteur et du récepteur sont indépendantes. Il faut d'abord synchroniser les horloges avant l'envoi de suite binaire. Cette transmission ne convient que pour la transmission d'une courte séquence binaire : le **caractère**.

- Chaque caractère émis est précédé d'un signal de synchro : le **bit Start**.

Entre caractères successifs pour garantir la détection du **bit de Start**, la ligne est remise à l'état de repos pendant 1 à 2 temps bits, pour constituer les **bits stop**.

Exercices

Les utilisateurs nomades d'une entreprise accèdent au réseau de celle-ci via le réseau téléphonique (RTC). L'établissement est relié au réseau téléphonique par une liaison numérique. Ce mode de liaison, lors de la transmission de données, permet l'économie d'une numérisation du signal, principale source de bruit (bruit de quantification). La liaison réalisée est dissymétrique, le bruit de quantification n'intervient que dans le sens Usager/Entreprise, ce procédé est mis en œuvre dans les modems V.90.

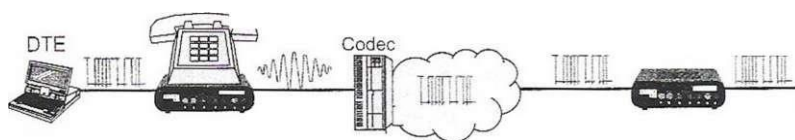
Dans toute liaison, chacun des composants participe au rapport signal sur bruit de l'ensemble. Pour cet exercice, on supposera que le rapport signal sur bruit de chacun des éléments constituant la liaison est indiqué dans le tableau suivant :

Elément	Rapport S/B
Boucle locale analogique (DCE-Codec)	$2 \cdot 10^5$
Bruit de quantification du Codec (transformation analogique/numérique)	$1 \cdot 10^3$
Réseau de transport (RTC)	$1 \cdot 10^x$
Boucle locale numérique (Réseau-DCE hybride ou MIC/PCM)	$2 \cdot 10^n$

Le schéma ci-dessous représente la liaison Utilisateur nomade/Entreprise.

DCE

DCE Hybride



Utilisateur nomade (accès analogique)

Entreprise (accès MIC)

Liaison dissymétrique de type V.90.

Dans cette liaison le modem utilisateur nomade (modem analogique) génère un signal analogique et reçoit un signal modulé G.711. Le modem hybride, ou numérique, génère un signal G.711 et reçoit un signal analogique numérisé par le Codec source du bruit de quantification.

1. Sachant que le rapport signal sur bruit d'une liaison composée de n éléments est donné par la relation :

$$[S/B]^{-1} = [S1/B1]^{-1} + [S2/B2]^{-1} + \dots + [Sn/Bn]^{-1}$$

Calculer :

- Le rapport S/B (signal/bruit) dans le sens Nomade/Entreprise ;
- Le rapport S/B dans le sens Entreprise/Nomade, on arrondira les valeurs à la puissance de 10 entière la plus faible.

2. Sachant, qu'un filtre passe-haut, en amont du Codec (Codeur/Décodeur) limite la bande passante de la liaison à 3400 Hz, on demande :

- de déterminer la rapidité de modulation envisageable sur cette liaison dans les deux sens ;
- de calculer le débit maximal admissible dans chacun des deux sens ;
- dans le sens Utilisateur/Entreprise le modem est classique et utilise une modulation de type MAQ, quel est le nombre d'états de celle-ci pour le débit normalisé maximal envisageable (on arrondira le \log_2 à la valeur entière la plus proche) ?
- en admettant qu'il en soit de même dans le sens Entreprise/Utilisateur quel serait alors le nombre d'états ?

1.

Chapitre 7 : les protocoles de communications

Fonction d'un protocole de communication

Un **protocole** est un ensemble de conventions préétablies pour **réaliser un échange fiable** de données entre deux entités.

Le **protocole** doit assurer :

- La **délimitation des blocs** de données échangés ;
- Le **Contrôle de l'intégrité** des données reçues ;
- L'**organisation** et le **contrôle de l'échange** ;
- Le **contrôle de liaison**.

La délimitation de données

Transmission synchrone sont délimitées par les **fanions** :

1. Délimiter les données ;
2. Maintenir la synchronisation de l'horloge réception ;
3. Traduire le flot de bits reçus en un flot d'octets.

Notion de transparence

Si une combinaison binaire identique au fanion (un **faux fanion**) se trouve dans le champ des données ?

Fanion	Début des données	Faux fanion	Suite des données	Fanion
--------	-------------------	-------------	-------------------	--------

2 mécanismes de transparence :

1. Transparence au caractère, si le fanion est un caractère :
 - On utilise un **caractère d'échappement(ESC)**, on balise le faux fanion par un caractère.
 - On utilise le bit de bourrage

Contrôle d'intégrité

Le but du contrôle d'intégrité est d'assurer que les données n'ont pas été altérées durant la transmission.

Les risques d'altérations de données sont :

- **Facteur humain** : sécurité de données ;
- **Facteur physique** : contrôle d'erreur.

Il existe **4 techniques de détection d'erreurs** :

- Détection d'erreur par écho : utilisé en transmission asynchrones
- Détection d'erreur par répétition : utilisée dans les milieux de sécurisés et applications temps réel
- Détection d'erreur par clé calculée
- Détection d'erreur par code

Détection erreur par clé calculée

frame : 10 100 10 111

polynôme générateur : $G(x) = x^4 + x^2 + x + 1$
 $\rightarrow 10111$

Degré $G(x) = 4$ \rightarrow ajout de 4 zéros

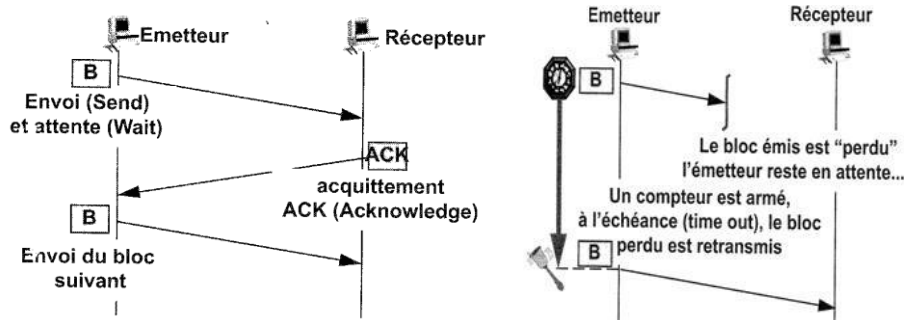
10100101110000	10111
10111	
00011101	
10111	
010101	
10111	
00010100	
10111	
0001100	

Le reste CRC est 1100

Le message à transmettre est

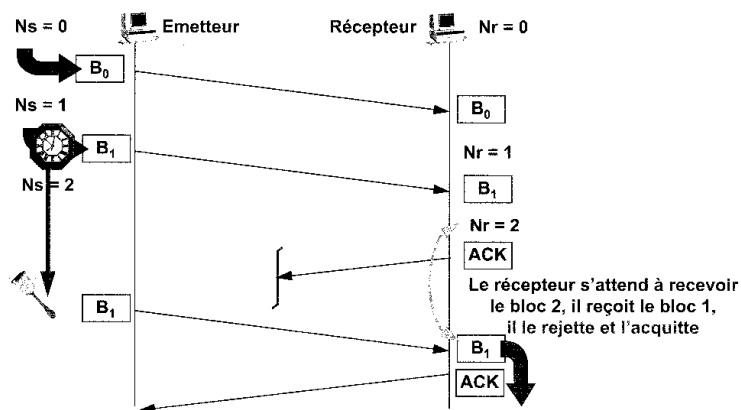
$P(x) + R(x) : \underbrace{1010010111}_{P(x)} \underbrace{1100}_{R(x)}$

Principe et limitations du mode d'échange Send and Wait

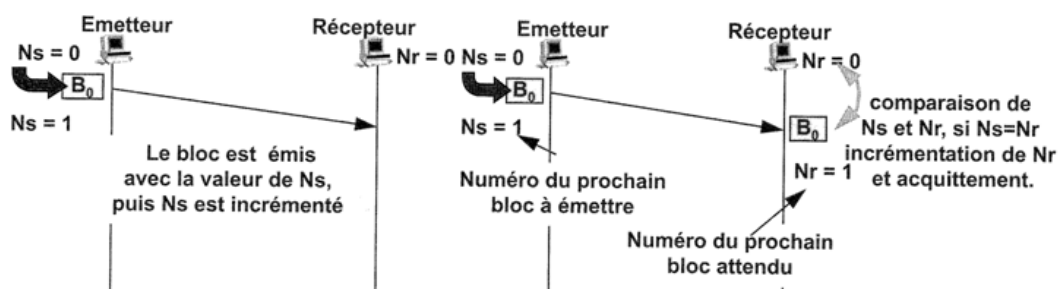


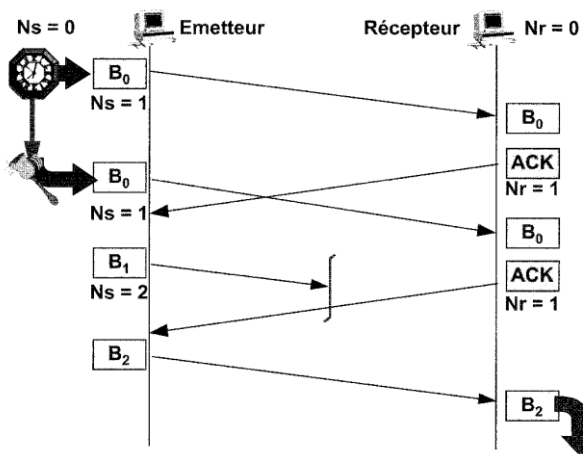
Solution :

- A l'émission de chaque bloc de données, l'émetteur arme un timer ;
- Time out, si aucun ACK, l'émetteur retransmet le bloc non acquitté.



Pour éviter la duplication des données, il est nécessaire de numéroter les blocs. A cet effet, l'émetteur et le récepteur entretiennent des compteurs.



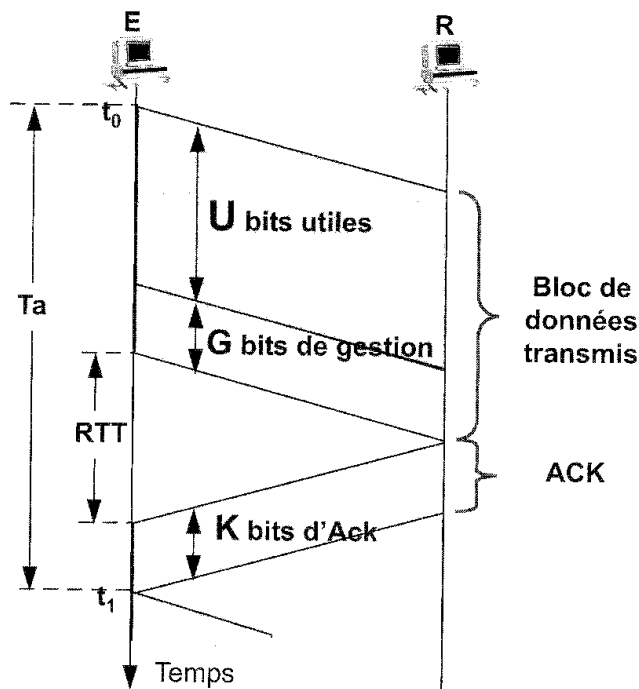


B1 se perdre, l'émetteur à la réception du second ACK considère que cet ACK est relatif au bloc B1, il envoie le bloc suivant (B2). Ce bloc comporte un Ns différent du numéro attendu, il est rejeté.

Pour éviter cette confusion d'interprétation, il est aussi **nécessaire de numéroté les ACK**.

Protocole : contrôle d'échange

1. Temps d'émission des bits de données utiles (**U**) et bits gestion (**G**) → (**U+G**) bits.
 2. RTT (Round Trip Time) : Temps de transit aller-retour sur le support et temps de traitement des données reçues par le récepteur.
 3. Temps de réception de l'ACK → **K** bits
- **Ta** est le temps d'attente séparant l'émission du 1^{er} bit de 2 trames différentes.



Efficacité

Sans erreur : $\eta_0 = \frac{U}{U+G+K+(D*RTT)}$

Avec erreur : $M_{err} = M_0 * (1 - Ta)^{U+G+K}$ ou $\eta_{err} = \eta_0 * (1 - te)^U * (1 - te)^G * (1 - te)^K$

Exercice

Soit une transmission avec :

- Un débit de 4800 bits/s
- Trames de 128 octets de données utiles (*8 pour avoir des bits)
- 6 octets de gestion par trame
- 6 octets pour l'ACK
- RTT de 50 ms
- Taux d'erreur $t_e = 10^{-4}$

$$\eta_0 = \frac{128 \cdot 8}{8 \cdot 128 + 8 \cdot 6 + 8 \cdot 6 + (4800 \cdot (50 \cdot 10^{-3}))} = 0.75$$

$$\eta_{err} = 0.75 \cdot (1 - t_e)^N \cdot (1 - t_e)^K \rightarrow N = U + G$$

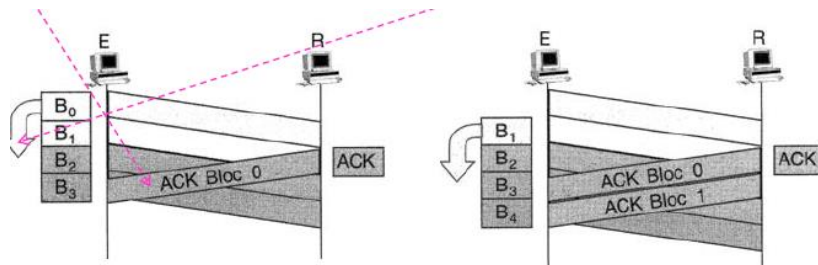
$$N = (128 + 6) \cdot 8 = 1072$$

$$\rightarrow 0.75 \cdot (1 - 0.0001)^{1072} \cdot (1 - 0.9999)^{48}$$

$$\eta_{err} = 0.75 \cdot 0.89 \cdot 0.995 \\ = 0.67$$

Les protocoles à anticipation

La faiblesse du protocole Send and Wait est l'attente de l'ACK. Pour combler ce problème, il faut émettre les blocs suivants sans attendre la réception des ACK. Ce processus se nomme **protocole à anticipation**.



L'émetteur envoie des blocs $B(n)$ en continu et **mémore chaque bloc émis** dans un **buffer**. Lorsque que l'ACK est reçu, l'émetteur libère le buffer utilisé par le bloc.

L'efficacité du protocole sera maximale lorsqu'il n'y pas d'arrêt d'émission pendant le temps d'attente de l'ACK.

La **fenêtre d'anticipation** notée **W** représente le nombre de blocs pouvant être mémorisé avant la réceptions des ACK.

Aucun arrêt d'émission si : $W \cdot T_b \geq T_a$

Taille optimale de la fenêtre : $W \geq \frac{T_a}{T_b}$

Mode gestion des fenêtres

Voir chapitre 7 : slides 29, 30, 31.

Syllabus pages 65, 66

Politique de reprise sur erreur

- **Rejet sélectif** : récepteur mémorise les blocs reçus hors séquençement.
→ L'émetteur ne retransmet que le bloc erroné.
 - + Optimise le temps de transmission.
 - – Mémoire tampons
 - Si le temps de transit dans le système de transmission est important le rejet sélectif s'impose
- **Go Back N ou rejet simple** : le récepteur rejette tous les blocs reçus hors séquençement.
→ L'émetteur reprend la transmission à partir du bloc perdu.
 - + Mémoire optimisée
 - + Puissance de calcul récepteur minimisée
 - -Prends plus de temps pour retransmettre les blocs hors séquençement.
 - Si on veut minimiser la mémoire, le rejet simple est généralement utilisé.

Exercices

Supposons 2 systèmes de transmissions. L'un utilise un réseau terrestre, l'autre une liaison satellitaire. Calculons, les conséquences d'une reprise d'erreur dans le cas d'utilisation du jet simple.

Informations :

- Taille moyenne des unités de données 128 octets ;
- Débit des liaisons 64 kbit/s ;
- Réception ACK négligeable ;
- L'erreur affecte le premier bloc de la fenêtre.



Pour déterminer l'influence de la reprise sur erreur, il nous faut connaître le nombre de blocs qui seront retransmis, ce qui correspond à la taille de la fenêtre ($W \geq T_a/T_b$) :

- Temps d'émission d'un bloc $T_b = (128 \cdot 8) / 64000 = 16 \text{ ms}$
- Temps d'attente :
 - Liaison terrestre 50 ms ;
 - Liaison satellitaire 500 ms.
- Fenêtre :
 - Liaison terrestre $W \geq 50/16 = 4 \text{ blocs}$
 - Liaison satellitaire $W \geq 500/16 = 32 \text{ blocs}$

Données	Terrestre	Satellite
Temps d'accès :	50 ms	500 ms
Retransmission :	$4 \cdot 16 = 64 \text{ ms}$	$32 \cdot 16 = 512 \text{ ms}$
Temps transit :	25 ms	250 ms
Temps total :	139 ms	1262 ms

- **Rejet sélectif – Satellite** : Le taux d'erreur sur voies hertziennes est important.
- **Rejet simple – Terrestre** : Le temps d'émission n'est pas négligeable.

Déterminer la fenêtre (W) d'un réseau haut débit en formulant les hypothèses suivantes :

- La distance inter-nœud est **100 km** ;
- Le débit des liens est de **155 Mbits/s** ;
- Longueur moyenne de blocs données **100 octets** ;
- **ACK** négligeable.

Temps d'émission de blocs

$$Tb = \frac{Volume}{Débit}$$
$$Tb = 100 * \frac{8}{155 * 10^6} = 5 \text{ } \mu s$$

Temps d'attente

$$Ta = \frac{Distance \text{ } AR}{Vitesse}$$
$$Ta = 2 * \frac{10^5}{2 * 10^6} = 10^{-3}$$

Fenêtre

$$W \geq \frac{Ta}{Tb}$$
$$W \geq 1 * \frac{10^{-3}}{5 * 10^{-6}} = 200 \text{ } blocs$$

Le contrôle de flux

La fenêtre d'anticipation optimise la transmission mais ne prend pas en compte les **capacités de réceptions du récepteur**.

Si le récepteur ne vide pas ses buffers rapidement, des blocs transmis peuvent être perdu.

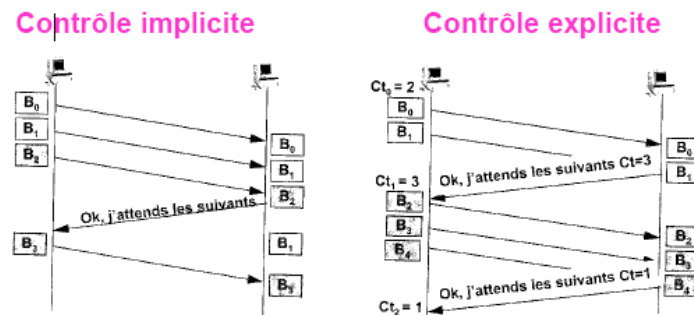
Le contrôle de flux consiste à asservir les cadences d'émission de l'émetteur sur les capacités de réception du récepteur.

Crédit d'émission

Il s'agit du nombre de blocs que l'émetteur est autorisé à transmettre.

Deux politiques de gestion de contrôle de flux :

- **Contrôle de flux implicite** : crédit prédéterminé. Constant durant toute la transmission.
 - Le récepteur n'est pas sûr de recevoir les n blocs du crédit.
 - Pas d'évolution en fonction de la capacité de réception
- **Contrôle de flux explicite/dynamique** : Lorsque le récepteur informe en permanence l'émetteur sur ses capacités de réception



Limite du contrôle de flux

La saturation du système peut intervenir avant que le crédit ne soit épuisé.

➔ Le protocole doit prévenir l'émetteur d'arrêter l'émission.

Signalisation

Transfert de données :

- Etablir une liaison ;
- Contrôler la liaison durant l'échange ;
- Libérer les ressources monopolisées en fin de communications.

L'ensemble de ces informations de **supervision de la liaison** constitue la **signalisation**.

Il existe **2 types de signalisations** :

1. Signalisation dans la bande ;
2. Signalisation hors bande ou canal dédié

Signalisation dans la bande

Informations de signalisation utilisent le même canal de communications que les données.

Il existe **2 techniques** :

1. Infos de signalisation transportées dans une structure de trame identique à celle des données.
 - a. Informations (1^{er} bit à 1) ;
 - b. Données (1^{er} bit à 0)

Autres données de contrôle	En-tête protocolaire	Autres données de contrôle
0 x x x x x x x		1 x x x x x x x
Données à transférer	Champ d'information	Informations de signalisation
CRC	Contrôle d'erreur	CRC

2. Substituer à des **bits de données**, des **bits de signalisation** (signalisation dite par vol de bits).
Ce système n'altère pas la qualité de transmission.

	1	...	8
Octet 1 de la voix	<u>msb</u>	...	<u>lsb</u>
Octet 2 de la voix	<u>msb</u>	...	<u>lsb</u>
	<u>msb</u>	...	<u>lsb</u>
	<u>msb</u>	...	<u>lsb</u>
	<u>msb</u>	...	<u>lsb</u>
Octet 6 de la voix	<u>msb</u>	...	<u>lsb</u>
			1 bit de signalisation

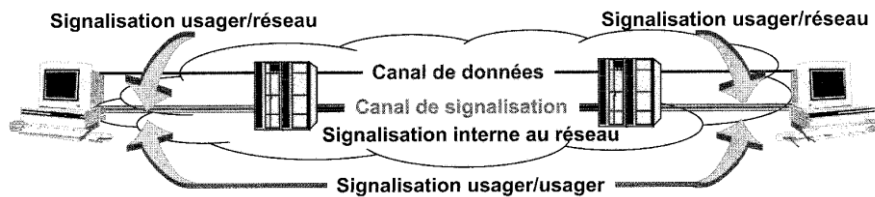
Téléphonie US : On substitue, tous les 6 IT, au bit de poids faible de parole 1 bit de signalisation

Signalisation hors bande

Il y a un canal dédié pour la signalisation. Il y a donc une communication sur 2 voies :

- **Un canal de données**, établi uniquement lors de la transmission de données ;
- **Un canal de signalisation**, établi en permanence.

La signalisation hors bande utilise **un protocole propre à la signalisation**. On distingue **3 signalisations différentes** :



1. **Usager/réseau** : établissement de la liaison entre l'utilisateur et le réseau et sa supervision.
2. **Interne au réseau** : établissement d'une liaison à travers le réseau (routage) et son contrôle durant l'échange.
3. **Usager/usager** : Permet aux entités distantes de s'échanger des informations hors du protocole de transmission. Echange d'informations sans communications établies.

CAS ou CSS

Lorsque le support de communication est capable d'acheminer plusieurs communications, la signalisation des différentes communications peut être acheminée :

- Par un canal associé à chaque voie de communication. On parle alors de **signalisation voie par voie** ou **CAS**, *Channel Associated Signalling*.
- Dans un canal commun à toutes les voies de communication, on parle alors de signalisation par canal sémaphore ou CCS, *Common Channel Signalling*.

Principe du protocole HDLC

- **HDLC (High Level Data Link Control)** est un protocole point à point ;
- L'unité est la **trame** ;
- Chaque trame est délimitée par un caractère spécifique : **fanion F** ;
- Les fanions sont envoyés durant les silences pour synchroniser, formater et délimiter les trames ;
- HDLC utilise la signalisation dans la bande CAS.

Il existe **3 types de trames HDLC** :

- Les **trames I** pour le **transfert de données/d'informations** ;
- Les **trames S** pour la **supervision de l'échange** ;
- Les **trames U** pour la **supervision de la liaison/signalisation**.

Le type de trame émise est distingué par une combinaison de bits. Cette combinaison de bits est dite **champ de commande** ou de **contrôle**.

Fanion	Adresse	Commande	Informations	FCS	Fanion
--------	---------	----------	--------------	-----	--------

- **Fanion** :
 - 8bits : 01111110
 - Séparateur de trames
 - Transparence réalisée selon la technique **bit de bourrage**
- **Adresse** :
 - Adresse du terminal qui adresse les données ou à qui les données sont adressées
 - Champ unique dans une trame HDLC
- **FCS** : Champ contrôle d'erreur. 2 octets contenant le CRC du message transmis.

Trames d'information (I)

- **N(s)** variant de 0 à N, utilisé pour numéroté les trames émises.
- **N(r)** variant de 0 à N+4, utilisé pour l'acquittement, contient le numéro de la prochaine trame à être acquittée.
- Un bit de contrôle de la liaison **P/F** :
 - P = 1 par le maitre en attendant une réponse de l'esclave ;
 - L'esclave répond avec un F=1 à la sollicitation du maitre.
 - Exemple : en fin de fenêtre, le maitre met **p=1** pour obliger la réponse de l'esclave par acquittement avec **F=1**.

Trames de supervision (S)

- **N(r)** permet d'identifier la trame acceptée ou refusée
- Bits **S** identifient la commande :
 - **RR** (Receive Ready)
 - **RNR** (Receive Not Ready)
 - **REJ** (Reject)

Trames non numérotées (U) :

- Bits **U** identifient la commande :
 - **SABM** (Set Asynchronous Balanced Mode) : Commande permettant le passage en mode équilibré, il n'y a pas de notion de primaire et de secondaire. Chaque station peut émettre sans autorisation.
 - **SABME** (Set Asynchronous Balanced, Mode Extended)
 - **DISC** : Disconnect
- Réponses :
 - **UA** (Unnumbered Acknowledge) : Acquitte une trame non numérotée ;
 - **FRMR** (Frame Reject) : réception d'une trame non acceptée
 - **DM** (Disconnect Mode) : indique que la station est déconnectée.

Fonctionnement de HDLC

1. Taille du champ de commande
 - a. Mode standard – champ de commande de 8 bits. Autorise une fenêtre de 8 trames.
 - b. Mode étendu – champ de commande de 16 bits. Autorise une fenêtre de 16 trames
2. La capacité d'initiative des stations secondaires
 - a. Mode normal (maitre/esclave)
 - b. Mode asynchrone SABM : pas de maitre/esclave

Revoir les slides 55 à 60 (pages 77 à 82)

Chapitre 8 : Le réseau de transport et le Réseau d'accès

Définition du réseau de transport

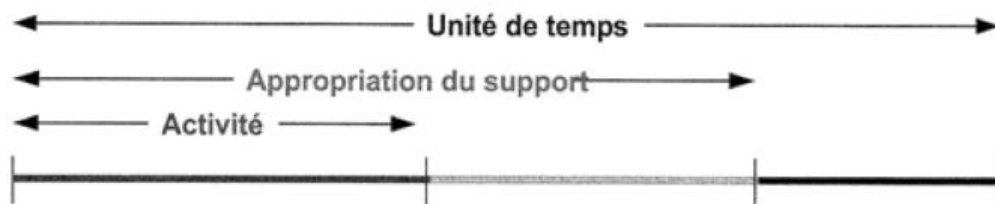
La meilleure solution pour avoir un réseau de transport en termes d'efficacité et de coût est :

- **Dimensionnement des ressources** (nombres de lignes et terminaux)
- **Taux de transfert** (réduction du volume transmis → compression de données)
- **Protocoles efficaces** (HDLC → Frame Relay)
- **Mutualisation des ressources** (évite la monopolisation des ressources)
- **Quantification du trafic**

Mutualisation des ressources

Il existe 2 types mutualisations de ressources :

1. **Commutation** : la durée d'une session est limitée dans le temps, après le temps imparti, le support est libéré et donc utilisable par quelqu'un d'autre ;
2. **Concentration de trafic** : Le support n'est pas en permanence utilisé durant une session, alors pendant les temps de silence, le support est disponible pour d'autres utilisateurs.



Intensité du trafic

Mesure le temps d'appropriation du support :

$$E = \frac{\text{Activité}}{\text{Unité de temps}}$$

Taux d'activité

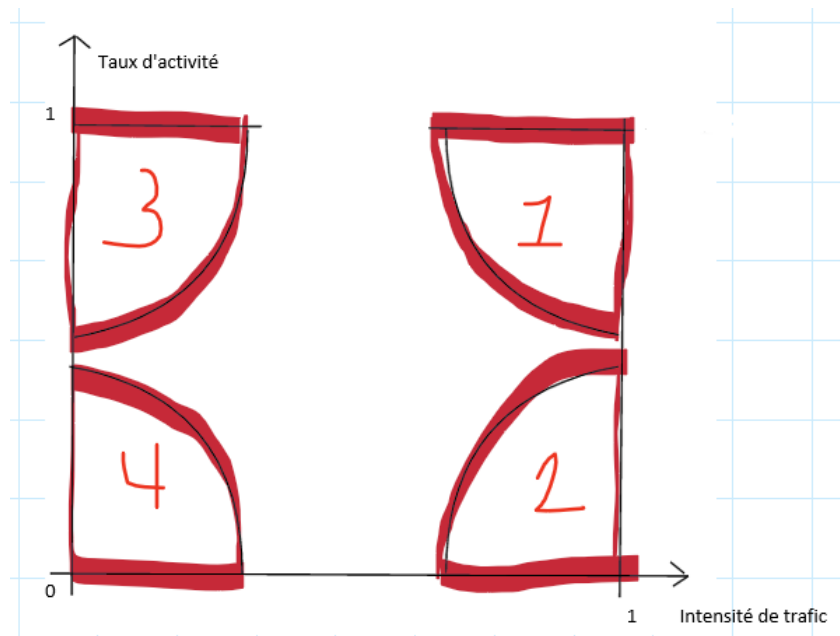
Mesure l'utilisation effective du support :

$$\theta = \frac{\text{Activité}}{\text{Appropriation du support}}$$

Exercices

Intensité de trafic et taux d'activité

En prenant une échelle de 0 à 1 pour l'intensité de trafic (E) et de 0 à 1 pour le taux d'activité (Θ), on obtient 4 zones. Déduisez-en une solution de mutualisation des ressources dans chaque zone, et donnez une application type.



Zone	Type de ligne	Partage ?	Service	Exemple
Aire 1	Ligne occupée en permanence	Baud utilisé → pas de partage	Ligne louée	Télémesure Codage de processus
Aire 2	Une liaison permanente et nécessaire	Baud peu utilisé → partage possible	- Réseau de transport de données - Local, MUX	- Système transactionnel - Réseau bancaire
Aire 3	Ligne occupée faiblement, pas besoin de ligne permanente. → Commutation possible	Durant l'utilisation, la bande est totalement occupée → pas de partage	Réseau téléphonique	Transfert de fichiers
Aire 4	Ligne occupée faiblement, pas besoin de ligne permanente. → Commutation possible	Durant l'utilisation, la bande n'est pas totalement occupée → double concentration possible	Accès téléphonique à un réseau de transfert de données	Minitel

Application numérique (E et Θ)

Caractériser une liaison de données sachant que :

- Nombre de sessions à l'heure de point est de 1 ; (n)
- Durée d'une session = 10 minutes (T) en s
- L'échange concerne des messages qui au total représentent 120 000 caractères (8 bits) ; (L)
- Le débit de la ligne est de 2400 bits/s (D)

Déterminez :

1. L'intensité de la ligne (E)

$$E = n * \frac{T}{3600}$$
$$E = 1 * \frac{10}{60} = 0.166 \text{ erlangs}$$

2. Le taux d'activité (Θ)

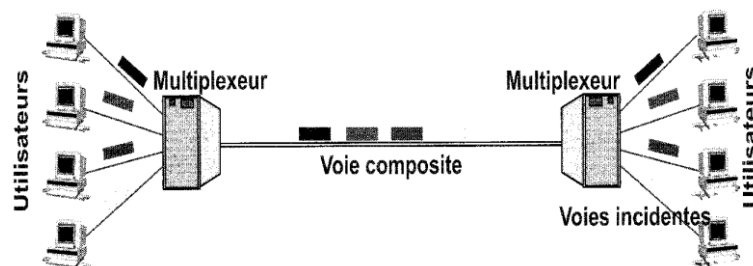
$$\Theta = n * \frac{L}{D * T}$$
$$\Theta = 1 * \frac{120000 * 8}{2400 * 600} = 0.666$$

3. Le type d'application possible

Le taux d'activité Θ est important et l'intensité du trafic E est faible → Transfert de fichier utilisant le TRC à 2400 bps → Application de zone 3.

Multiplexeurs

Ils mettent en relation un utilisateur avec un autre par l'intermédiaire d'un support partagé par plusieurs utilisateurs.



Un multiplexeur est un système symétrique, il s'agit d'un simple aiguillage (comparé à la passerelle)

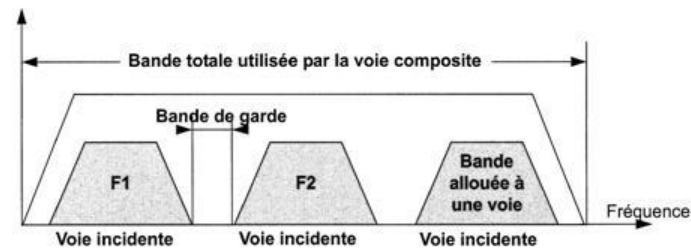
Le partage de la voie peut être un partage :

- De la bande disponible, chaque voie dispose de sa fraction de la bande disponible, on parle alors de **Multiplexage fréquentiel FDM ou spatial** ;
- Du temps d'utilisation, chaque voie utilise pendant un certain temps l'entièreté de la bande disponible, on parle de **Multiplexage temporel TDM**.

FDM (Frequency Division Multiplexing)

- Juxtaposition fréquentielle des voies ;
- Superposition des signaux dans le temps.

- La bande passante du support est divisée en plusieurs voies (canaux).
- Chaque voie est modulée par une porteuse différente



TDM (Time Division Multiplexing)

- Juxtaposition des signaux dans le temps
- Superposition des spectres dans un domaine fréquentiel

- Utilisé durant les silences (quand le taux d'activité est inférieur à 1)
- Le multiplexeur temporel relie une voix d'entrée à une voie de sortie durant un intervalle de temps (IT) prédéterminé.
- A chaque IT est associé une position dans la trame, c'est le **multiplexage de position**.
- Une IT de signalisation permet d'identifier le début de trame, il assure la synchronisation de la lecture des différentes voies.
- L'ensemble des différentes voies et de l'IT de synchro forme la trame multiplexée, appelée le **multiplex**.

WDM (Wavelength Division Multiplexing)

Le multiplexage de longueur d'onde.

Utilisé en fibre optique.

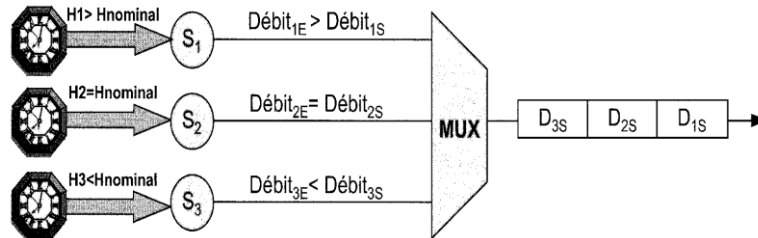
U-WDM

Multiplexage de longueur d'onde multicanaux

- Liaisons de 3000 Gb/s avec 300 canaux optiques de 10 Gb/s

Notion de débit de cadrage

Dans un système de transmission, chaque source est indépendante. Il est donc impossible de garantir que les horloges de chaque système soient identiques. (Même si on utilise une horloge unique pour une distribution d'horloge.)



- Inégalités de débit incident de chaque source et du débit correspondant dans le multiplex.
- Prévoir dans le multiplex de sortie, un surdébit pour permettre le cadrage des données

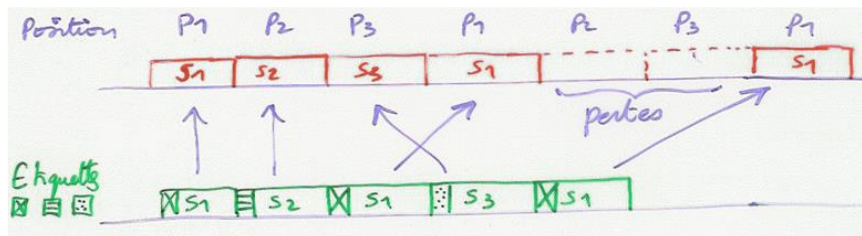
Multiplexage de position et d'étiquette

Le **multiplexage de position** lie le débit de la source et celui du multiplex.
Le mode de transfert est synchrone (**STM**, Synchronous Transfer Mode).

- La bande non utilisée est perdue.

Le **multiplexage d'étiquette** identifie les données par un **label** ou une **étiquette**. Les données sont émises au rythme de la source, elles ne sont donc pas repérées par leur position.
Le mode de transfert est asynchrone (**ATM**, Asynchronous Transfer Mode)

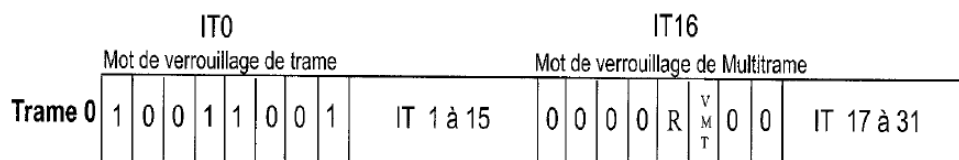
- Permet une meilleure rentabilisation du système.



La trame MIC

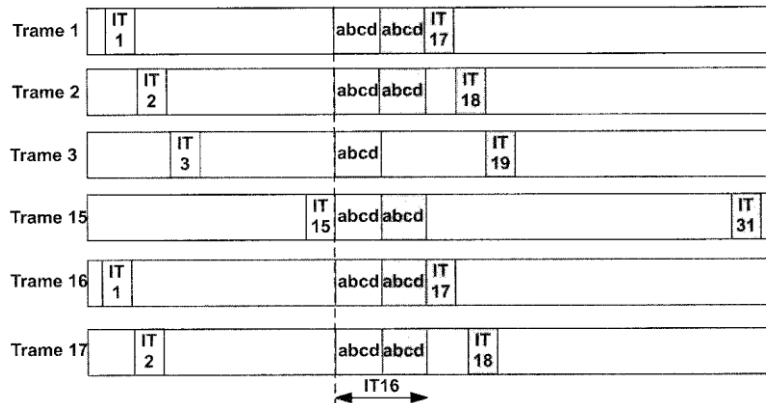
Regroupe 30 voies téléphoniques dans un conduit de 2048 kbit/s, correspondant à un multiplex de 32 voies de 64 kbit/s. (Longueur d'une trame = 125 μ s)

- **IT0** ou **MVT** (Mot Verrouillage Trame) permet le repérage des IT dans les trames ;
- **IT16** de la trame contient les infos de **supervision de la trame et de cadrage pour les multiplex d'ordre supérieur** ;
- **IT16** d'autre trames transportent la signalisation de communications (info état canal)



Exercices MIC

La trame MIC comporte 32 IT, l'ITO sert à la synchronisation de la trame, 1TT16 au transport de la signalisation téléphonique.



L'IT16 est scindée en 2 quartets (bit a, b, c, d). Le premier quartet de la trame 1 transporte la signalisation téléphonique de la voie 1 (IT1), le second celle de la voie 17 (IT 17). De même, le premier quartet de la trame 2 transporte la signalisation téléphonique de la voie 2 (IT2), le second celle de la voie 18 (IT18). Cette signalisation est dite par canal associé ou voie par voie (CAS).

- Quelle est la fréquence de récurrence d'une trame ?
- Déduisez-en le débit d'une voie, si le signal de voix échantillonnée est supposé être quantifié sur 256 niveaux.
- Quelle est la fréquence de récurrence du motif de signalisation ?
- Déduisez-en la bande allouée à la signalisation d'une voie.

- $\frac{64 \text{ kbit}}{8 \text{ bit}} = 8000 \text{ trames/s}$ OU $\frac{1\text{s}}{125\mu\text{s}} 8000 \text{ trames /s}$
- Quantification 256 niveaux: $8 \text{ bits } (2^8 = 256)(8000 \text{ trames} * 8 \text{ bits}) = 64 \frac{\text{kbits}}{\text{s}}$
- $800/16 = 500 \text{ trames}$ (16 car 2 bits par trame de signalisation 32/2)
- $500 * 4 \text{ (quartets)} = 2\text{kbits/s}$

Exercice Multiplexeur

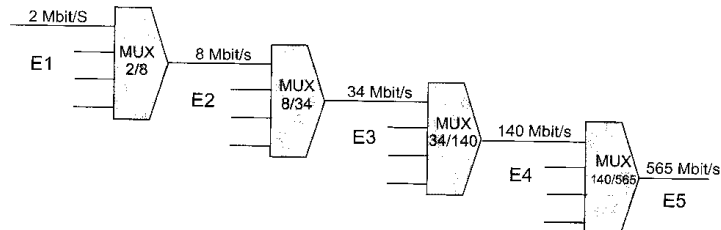
Un multiplexeur temporel (par intervalle de temps ou IT) supporte « N » voies basses vitesse à 64kbits/s chacune.

- Sachant que les informations véhiculées résultent d'une numérisation du son sur 256 niveaux de quantification, déterminez la longueur de FIT sur la liaison composite.
 - Sachant que l'on souhaite transmettre en simultané 30 communications, déterminez le rythme d'occurrence des trames et leur longueur (l'ITO est utilisée pour la signalisation de la trame, l'IT16 pour celle des communications).
 - Quel est le débit de la liaison multiplexée correspondante ?
 - Quelle est l'efficacité de multiplexage ?
- $2^8 = 256 = 8 \text{ bits}$
 - Rythme = 8000 trames
Longueur de $32 * 8 = 256 \text{ bits}$
 - $8000 * 256 = 2.048 \text{ Mbps}$
 - $30 \text{ voies}/32 \text{ voies} = 93\%$

Hiérarchie numérique : PDH

Principe

- Apparue avec la numérisation de la voix et la nécessité de transporter plusieurs canaux téléphoniques en même temps sur un même support
- Regroupe des canaux téléphoniques de 64kbit/s ;
- Pas les mêmes regroupements en Europe, USA et Japon \neq hiérarchie PDH
- Chaque IT peut transporter un échantillon de voix ou toute autre information numérique.



Débits

Niveau	Pays	Débit en kbit/s	Nombre de voies	Avis de l'UIT-T
Niveau 1	Europe (E1)	2 048	30	G.704
	Japon	1 544	24	
	États-Unis (T1)	1 544	24	
Niveau 2	Europe (E2)	8 448	120	G.742
	Japon	6 312	96	
	États-Unis (T2)	6 312	96	
Niveau 3	Europe (E3)	34 368	480	G.751
	Japon	33 064	480	
	États-Unis (T3)	44 736	672	
Niveau 4	Europe (E4)	139 264	1 920	G.751

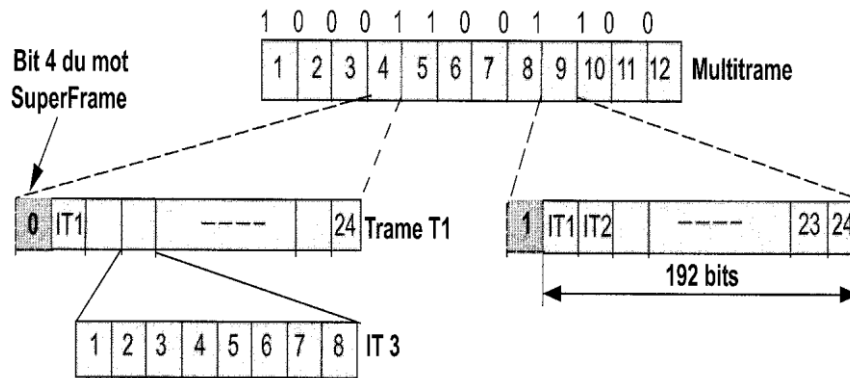
- Inconvénients de PDH :
 - Surdébit de justification → consommation inutile de bande passante ;
 - Obligation de démultiplexeur complètement le train à haut débit pour reconstituer un lien à base débit.

La Trame E1 (système européen)

- Regroupe 30 voies (IT) de communication et 2 voies (IT) de services sur 8 bit ;
- 1^{er} IT MVT balise le début de la trame de 32 voies ;
- Regroupage **multitrane** = 2 sous-groupes de 16 trames numérotée de 0 à 31 ;
- Permet le contrôle d'erreur dans le premier bit de IT0 ;
- Les bits **P & D** sont des trames impaires, elles transportent une information d'**alarme** ;
- **IT16** de la **trame 0** sert de fanion pour indiquer le début d'une séquence de 16 trames.

La Trame T1 (système NA & japonais)

- La trame T1 regroupe 24 voies (IT) de 64 kbit/s
 - Débit utile de 1536 kbit/s et débit total de 1544 kbit/s (signalisation et téléphonique)
- **Multiframe** de premier niveau regroupe 12 trames de base T1



- Trame de base précédée d'un bit (Signalisation de supervision) ;
- Ces 12 bits forment un mot (SuperFrame) représentant une séquence binaire 100011001100 et identifiant la trame ;
- Signalisation téléphonique de chaque voie est réalisée par **vol**, **toutes les 6 trames** du bit de poids faible dans l'IT ;
- La signalisation (CAS, dans la bande) est efficace en téléphonie car elle économise un IT.

Hiérarchie synchrone SDH

Principe

- Distribution de la même horloge à tous les niveaux du réseau.
- Pas besoin de surdébits de justification pour compenser des différences d'horloges
- Débits de transferts sont plus importants

Organisation des données

- Les signaux sont encapsulés dans un **containeur**.
- Chaque containeur est associé à un surdébit (**SOH** – Section OverHead) destiné à l'exploitation de celui-ci.
- Un **pointeur** (dans SOH) point sur la charge utile de la trame.
- Ces **pointeurs** permettent d'**insérer** ou **extraire** n'importe quel affluent sans être contraint de reconstituer la hiérarchie de multiplexeurs.
- Idem écriture/lecture des données en mémoire RAM
- Avantage par rapport à la hiérarchie PDH.

Rangée	SOH 9 octets	AU 261 octets	
1			
2			
3			
4	Pointeur		Données
5		Données	
6		Données	
7		Données	
8		Données	
9			

Chacune des 9 rangées de la trame est divisée en 2 champs :

- Un champ de **surdébit de 9 octets** par rangée contenant les informations de supervision, avec les pointeurs (SOH) ;
- Un champ de **données utiles de 261 octets**

La trame SDH de base comporte donc $270 \times 9 = 2430$ octets émis avec une fréquence de 8kHz, soit un **débit de 155, 52 Mbits/s**.

Hiérarchie SDH ou SONET

- SDH → 155, 52 Mbits/s → Europe
- SONET (Synchronous Optical Network) → USA
 - OC1(Optical Carrier – lv1) → 51.84 Mbits/s

Comparaison PDH et SDH

PDH	SDH
<ul style="list-style-type: none"> • ≠ Normes dans le monde ; • Débit maximum de 4*140 Mbps ; • Nécessité de démultiplexer toute la liaison HD pour extraire un affluent BD ; • Routage et modification de route difficile ; • QoS évaluée par tronçon ; • Mise en œuvre sur câble coaxiale et ondes Hertz ; • Fiabilité moyenne. 	<ul style="list-style-type: none"> • Une seule norme mondiale ; • Débit de 155 Mbps à 10 Gbps ; • On peut extraire/insérer du BD sans démultiplexer ; • Reconfiguration des routes facile et rapide ; • QoS évaluée de bout à bout ; • Mise en œuvre sur fibre optiques et ondes Hertz ; • Grande fiabilité.

Boucle locale

Ensemble des moyens mis en œuvre par un opérateur pour collecter les trafics des utilisateurs. Elle a également servi à la distribution de la voix dans le passé. Elle est actuellement partagée entre les accès aux réseaux voix et les accès aux réseaux de données.

1. Accès aux réseaux d'opérateurs
2. Moyens fournis à l'utilisateur pour raccorder ses propres sites informatiques et ainsi réaliser un réseau privé.

BLR

- Réalisation et accès au réseau en cuivre == onéreux
- Mise en œuvre de liaisons radios

La **BLR** est l'ensemble des technologies permettant à un particulier ou une entreprise d'être reliée à son opérateur (fixe, internet, télévision) via les ondes radio.

Cette technologie est particulièrement bien adaptée aux zones semi-urbaines à densité de population intermédiaires.

- Bande de fréquences de 2.5 GHz, 3.5 GHz, 26-29 GHz et 31 GHz
- Autorise des débits de quelques Mbits/s à quelques dizaines de Mbits/s.

Technologies xDSL

Principe

DSL (Digital Subscriber Line ou Ligne numérique d'abonné) regroupe différentes techniques de transmission de données sur une ligne téléphonique classique.

Les données sont transposées en fréquence selon un **codage** spécifique dit **DMT** (Discrete MultiTone) qui divise chacun de spectres haut débit en sous-canaux (porteuses/tonalités) espacés de 4,3125 kHz

Débits

Technologie xDSL	Signification	Mode de transmission	Débit opérateur vers utilisateur	Débit utilisateur vers opérateur	Distance Maximale
HDSL	High bit rate DSL	Symétrique 2B/1Q Annulation d'écho	1.5 Mbps	1.5 Mbps	4.5 Km
SDSL	Symetric DSL	Symétrique 2B/1Q Annulation d'écho	768 Kbps	768 Kbps	3.6 Km
HDSL 2	High bit rate DSL 2	Symétrique 2B/1Q Annulation d'écho	1.5 Mbps	1.5 Mbps	4.5 Km
ADSL	Asymetric DSL	Asymétrique CAP FDM	1.5 à 9.0 Mbps	16 à 640 Kbps	5.4 Km
RADSL	Rate Adaptive DSL	Asymétrique CAP FDM	0.6 à 7.0 Mbps	0.128 à 1.0 Mbps	5.4 Km
VDSL	Vey high data rate DSL	Asymétrique CAP FDM	13.0 à 53.0 Mbps	1.5 à 2.3 Mbps	1.5 Km

Chapitre 9 : La téléphonie

Réseau numérique RNIS

La **numérisation du réseau** nécessite une conversion analogique vers numérique en entrée de réseau et l'inverse en sortie.

- La numérisation autorise le **multiplexage**.

Concept d'intégration de services

Un raccordement permet :

- Services voix (téléphonie) ;
- Services vidéo (téléconférence) ;
- Transmission de données en mode paquets (internet) ;
- Transmission de l'écrit (fax).

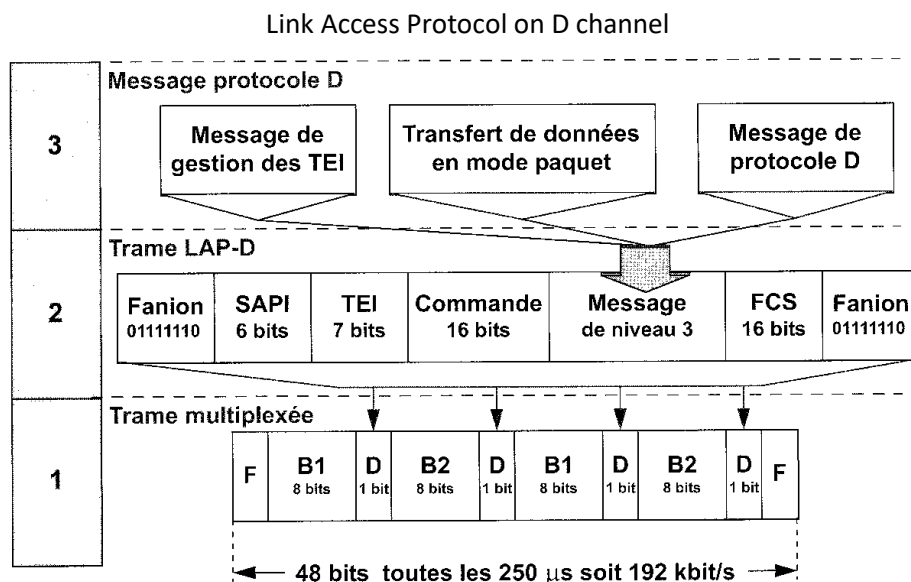
Il y a une signalisation spécifique et enrichie permettant l'identification du terminal et le type de service requis.

Structure du réseau

RNIS utilise 2 connexions :

- Une **connexion commutée** à un **canal B** (Bearer Channel) utilisé pour le transport d'informations utilisateur à 64 kbits/s (voix, données, images) ;
- Une **connexion permanente** sur le **canal D** de **signalisation** (Data Channel) de 16 ou 64 kbits/s selon le nombre de canaux B disponibles.
 - Grâce au canal D, il n'y a plus de notion de terminal occupé. La bande non utilisée pour la signalisation est utilisée pour le transfert de données (paquets)

Protocole LAP-D



Trame LAP-D

Elle est composée de 2 sous-champs qui sont :

- Le sous-champ **SAPI** de 6 bits qui indique le type de message transporté dans le champ information de la trame. 32 à 47 réservés pour les usages nationaux.
- Le sous-champ **TEI** de 7 bits identifie le terminal. Il y a plusieurs **TEI** en fonction de l'utilisation du terminal. (1TEI pour le téléphone, 1TEI pour le transfert de données)

Chapitre 10 : Installation d'abonné et réseau privé de téléphone

Généralité

L'installation d'abonné est l'action qui consiste à prolonger, dans une entreprise, des services utilisés dans un réseau public tels que la téléphonie, le fax et le transfert de données.

L'installation téléphonique comporte 3 phases :

1. Dimensionnement de l'installation de raccordement au réseau public ;
2. Définition de l'équipement local ;
3. Définition des services à offrir aux utilisateurs.

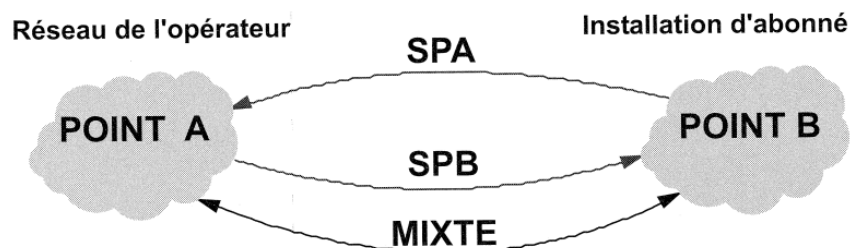
Le choix de l'équipement local dépend de :

- La nature des services à offrir aux utilisateurs ;
- Nombre de postes à raccorder ;
- Puissance de commutation nécessaire.

Spécialisation des lignes

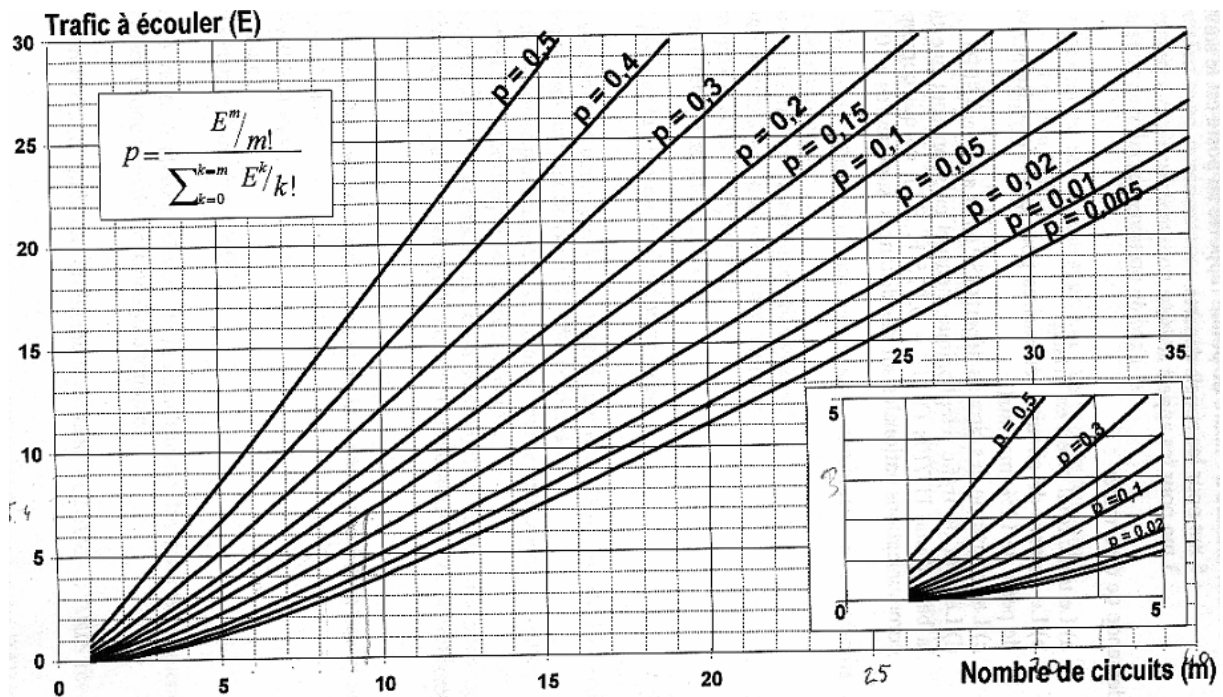
On appelle une liaison d'abonné, la ligne entre le réseau public et l'installation abonnés. On distingue **3 types de lignes** :

- **Ligne SPA** (Spécialisée Arrivée point A) : achemine uniquement les appels sortants.
- **Ligne SPB** (Spécialisée Arrivée Point B) : achemine uniquement les appels entrants.
- **Ligne mixte** achemine dans les deux sens.



Exercices

Un système à refus dispose de M circuits. Quel est le trafic à soumettre pour un taux de perte 1 %, 10 %, 50 %, lorsque M est respectivement égal à 5, 10 ou 15 ? Déterminer pour chaque valeur, le trafic soumis, écoulé et perdu.



Probabilité de perte	1%			10%			50%		
Nombre de circuits	S	P	E	S	P	E	S	P	E
5	1,3E	0,013	1,287	3 E	0,3	2,7	8,5 E	4,25	4,25
10	4,4 E	0,044	4,356	7,5 E	0,75	6,75	18,4 E	9,2	9,2
15	8 E	0,08	7,92	12,6 E	1,26	11.34	28,4 E	14,2	14,2

Soumis (S)	Voir Abaques
Perdu (P)	S * Probabilité
Ecoulé (E)	Soumis - Perdu

Trafic sur un faisceau

Deux systèmes de commutation sont reliés par deux faisceaux de 10 circuits chacun. En supposant un taux de perte de 5 %, on demande :

- Le trafic autorisé par chaque faisceau ainsi que le rendement par ligne ; - le trafic total autorisé par les deux faisceaux ;
- On regroupe les deux faisceaux en un seul de 20 circuits, en supposant le même taux de perte, quels sont le nouveau trafic autorisé et le rendement par ligne ?
- Utilisation d'une liaison SPA & SPB



Probabilité de perte	5%			
Nombre de circuits	Soumis	Perdu	Ecoulé	Rendement
10 (SPA)	6,2E	0,3	5.9E	59%
10 (SPB)	6,2E	0,3	5.9E	59%
20 (Mixte)	15.2 E	0.76 E	14.44	72.2%

Raccordement d'un PABX

Une entreprise a un parc de téléphones en service de 120 postes dont 100 seulement ont accès à l'extérieur. Sachant qu'un utilisateur normal a un trafic téléphonique de 0,12 E (norme) se répartissant comme suit :

- 0,04 E en trafic sortant,
- 0,04 E en trafic entrant,
- 0,04 E en trafic interne à l'entreprise.

On demande de définir :

- La capacité de commutation totale, en erlang, du PABX ;
- Le faisceau SPA (appel sortant) sachant que lorsque le faisceau est occupé, les appelants la tonalité d'occupation (le taux d'échec ne doit pas dépasser 10 %)(REFUS)
- Le faisceau SPB (appel entrant) sachant que lorsque le poste appelé est occupé, l'appelant entend une musique d'attente (le taux d'échec ne doit pas dépasser 2 %)(ATTENTE)
- Capacité totale : $120 * 0.12 = 14.4 \text{ Erlangs}$
- Capacité SPA : $100 * 0.04 = 4 \text{ Erlangs}$
- Capacité SPB : $100 * 0.04 = 4 \text{ Erlangs}$

Les autocommutateurs privés (PABX)

Le PABX (Private Automatic Branch eXchange) est une interface privée entre le réseau téléphonique et les utilisateurs.

Sa fonction essentielle consiste à mettre temporairement 2 usagers en relation. Cette relation peut être locale ou établie à travers le réseau téléphonique public ou privé

Chapitre 11 : communication à l'écrit

Codage de Huffman

Codage huffman du mot : ABRACADABRA

Calcul de longueur de code Huffman :

$$H = \text{Somme} (\pi * \log_2 \left(\frac{1}{\pi} \right))$$

$$H = 5 * \log_2 \left(\frac{1}{5} \right) + 2 * \log_2 \left(\frac{1}{2} \right) + 2 * \log_2 \left(\frac{1}{2} \right) + 1 * \log_2 (1) + 1 * \log_2 (1)$$

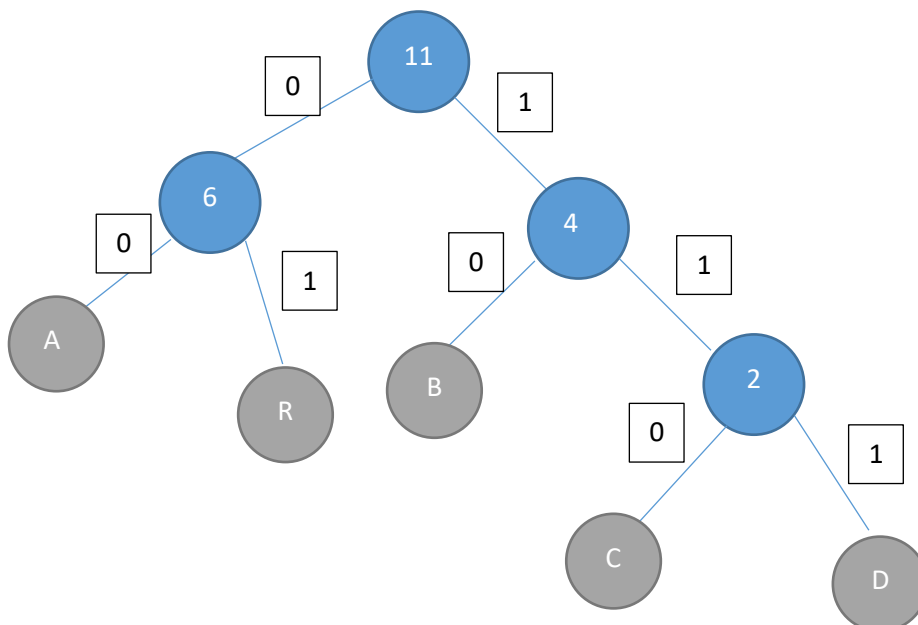
Longueur moyenne du code :

$$H = \text{Somme} (\pi * \text{nb bits symbole})$$

Concurrence :

- A = 5 → 00
- B = 2 → 10
- C = 1 → 110
- D = 1 → 111
- R = 2 → 01

Arbre Huffman :



ABRACADABRA → 00/10/01/00/110/00/111/00/10/01/00

Taux de compression : $r = \frac{(11*5)}{24} = 2.4$

Acronymes

	Signification	Utilisation en télécom
V90	<i>Modem dissymétrique</i>	Transformation numérique/analogique. Réseau téléphone commuté
HDB4	<i>Haute Densité Binaire 4</i>	Eviter une longue séquence de bit égale après cinq 0, on ajoute un 1.
SAPI	<i>Service Access Point Identifier</i>	Identifie le service sollicité
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>	Protocole pour transmission numérique en haut débit
CCBT	<i>Circuit Commuté B Transparent</i>	Service numérique utilisé pour les faibles et moyens débits
UMTS	<i>Universal Mobile Télécommunication System</i>	Réseau GPS
WLL	<i>Wireless Local Loop</i>	Permet une liaison radio au lieu du cuivre
V11	<i>Modem symétrique</i>	Communication de données réseau téléphonique 10Mbits
HDB3	<i>Haute Densité Binaire 3</i>	Eviter une longue séquence de bit égale après quatre 0, on ajoute un 1.
TEI	<i>Terminal End point Identifier</i>	Identifie l'adresse du terminal
LAP-D	<i>Protocole canal D</i>	Réseaux numérique (RNIS)
CCBNT	<i>Circuit Commuté B Non Transparent</i>	Service téléphoniques traditionnels
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>	Protocole réseau mobile pour le gsm (2G)
BLR	<i>Boucle Local Radio</i>	Permet une liaison radio au lieu du cuivre
ETTD	<i>Equipement Terminal Traitement de données</i>	Contrôle dialogue
ETCD	<i>Equipement Terminal Circuit Donnée</i>	Adaptation entre calculateurs d'extrémité et support de transmission.
HPPI	<i>High Performance Parallel Interface</i>	Mode de transmission
SLIP	<i>Serial Line Internet Protocol</i>	Protocole orienté blocs
PPP	<i>Point to Point Protocol</i>	Protocole orienté blocs
HDLC	<i>High Level Data Control</i>	Protocole synchrone
SDLC	<i>Synchronous Data Link Control</i>	Protocole Synchrone
CSMA/CR	<i>Carrier Sense Multiple Access Contention Resolution</i>	Protocole qui résout les problèmes d'accès au canal D
PDH	<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i>	Technologie en réseau télécom pour véhiculer les voies téléphones numériques