

CHAPITRE 3

Couche physique

3.1 Introduction

La transmission physique de l'information entre ETTDs (Équipement Terminal de Traitement de Données) nécessite la transformation des séquences binaires échangées (indépendamment de ce qu'elles représentent) en signaux qui vont transiter les supports de transmission soit avec de la lumière soit avec des tensions électriques.

Ce chapitre présente les caractéristiques de base de la transmission et montre comment les signaux électriques, lumineux ou électromagnétiques, se propagent dans des supports comme les câbles ou les fibres optiques et permettent ainsi la communication entre équipements informatiques à distance les uns des autres

3.2 Supports de transmission

3.3 Caractéristiques globales des supports de transmission

3.3.1 Bande passante

La quantité d'informations transmises sur un support de transmission est étroitement liée à la capacité de sa bande passante. Plus cette dernière est large, plus de quantité d'informations est transportée par unité de temps.

La bande passante représente la bande de fréquences dans laquelle se propagent les signaux. Ces derniers sont souvent affaiblis, par conséquent, la probabilité qu'ils soient reconnaissables ou pas à la sortie du support dépend d'une valeur **seuil**. Cette valeur correspondant à un rapport déterminé entre la puissance du signal à l'entrée et celle trouvée à la sortie. La figure 3.1 illustre la notion de bande passante.

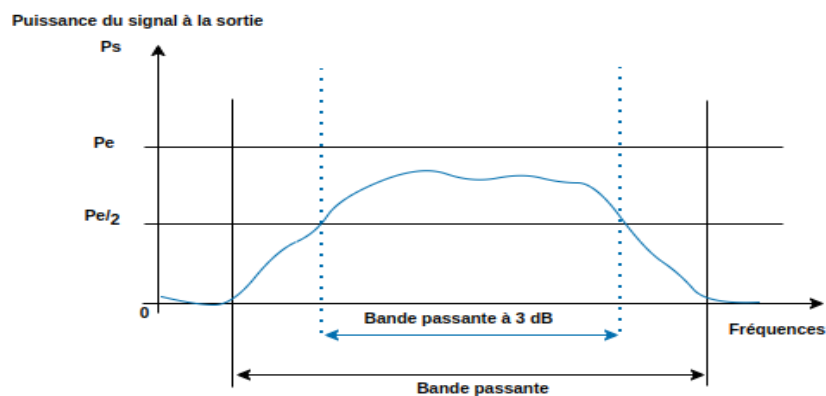


Fig. 3.1 Notion de bande passante.

Comme montre la figure 3.1, les supports de transmission sont caractérisés par leurs bandes passantes à 3 dB (décibels). En d'autres termes, Par la plage de fréquences à l'intérieur de laquelle la puissance trouvée à la sortie est, au plus pire des cas, divisée par deux.

L'affaiblissement du signal, noté A , est exprimé par la formule suivante :

$$A = 10 * \log_{10} \frac{P_e}{P_s} \quad (3.1)$$

où, P_e : c'est la puissance du signal à l'entrée du support.

P_s : c'est la puissance du signal à la sortie du support.

pour $\frac{P_e}{P_s} = 2$, on obtient : $10 * \log_{10} \frac{P_e}{P_s} = 3dB$.

3.3.2 Bruits et distorsions

Les signaux sont souvent déformés par les supports de transmission même dans les meilleures conditions ou ils se propagent dans des fréquences bien adaptées (voir figure 3.1). Les sources de bruit perturbateur provoquant des erreurs de transmission sont de différentes natures:

- Le support lui-même (parasites, diaphonie). Ce type de bruit est dit bruit blanc.
- Bruit d'origine environnemental (foudre, orages, champs électromagnétiques), appelé bruit impulsif.
- La distance est un autre facteur d'affaiblissement, si important pour les liaisons satellitaires.

Ces différentes sortes de distorsions sont souvent gênantes pour la bonne reconnaissance des signaux en sortie. Par exemple, un bit à 1 émis peut-être altéré en zéro à la réception (voir figure 3.2), ce qui provoque des erreurs de transmission.

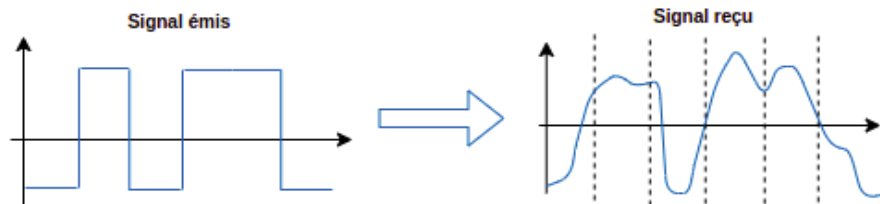


Fig. 3.2 Exemple d'affaiblissement d'un signal rectangulaire.

La table suivante présente les taux d'erreurs (Bit Error Rate) en fonction de chaque support de transmission. Les fibres optiques sont les meilleurs supports de transmission car le taux d'erreurs est très faible.

Supports	Taux d'erreur
Fibres optiques	10^{-12}
Les câbles métalliques (paires torsadées, câbles coaxiaux..., etc)	10^{-10} moins d'un bit erroné sur dix milliards transmis (ex : 1000 Base T, 100 Base T)
Sans fil	10^{-5}

3.3.3 Capacité des supports de transmission

Tout support de transmission est caractérisé par sa bande passante. La quantité d'informations transportées par unité de temps sur un support de transmission représente sa capacité. En effet, la borne

maximale Cap_{Max} de la capacité d'un support de transmission est exprimée selon le théorème de Shannon, en bits par seconde, ainsi :

$$Cap_{Max} = W * \log_2\left(1 + \frac{S}{B}\right) \quad (3.2)$$

où, W est la largeur de la bande passante du support de transmission.

$\frac{S}{B}$: représente la valeur du rapport entre la puissance du signal (S) et la puissance du bruit (B).

3.3.4 La qualité du circuit de données

Différents paramètres techniques permettant de mesurer la qualité d'un circuit de donnée :

3.3.4.1 Le délai d'acheminement

Le délai d'acheminement noté D_a , est le temps qui s'écoule depuis le début de la transmission (l'instant d'envoi du premier bit) jusqu'au moment de la réception du dernier bit. Il est calculé par l'addition deux facteurs suivants :

1. Temps de propagation (T_p) : Est le temps nécessaire à un signal pour parcourir un support d'un point à un autre. Il est calculé ainsi :

$$T_p = \frac{d}{V_p} \quad (3.3)$$

où, d est la distance parcourue.

V_p : est la vitesse de propagation exprimée en m/s.

2. Temps de transmission (T_e): Est le délai que fait un émetteur entre le début et la fin de l'émission d'un paquet numérique sur un canal. Il est calculé ainsi :

$$T_e = \frac{L}{V_t} \quad (3.4)$$

où, L est la taille du message.

V_t : la vitesse de transmission (débit).

Par conséquent,

$$D_a = T_e + T_p \quad (3.5)$$

3.3.4.2 Latence

Pour obtenir le délai total (Latence) de transit d'un paquet d'un point à un autre, deux autres facteurs doivent être pris en considération :

3. Temps d'attente (T_{queue}) : Appelé aussi le temps de mise en file d'attente ou queueing time. Il représente le temps nécessaire pour obtenir l'accès au canal de transmission. Et cela dépend de la congestion au niveau de l'équipement concerné par l'émission.
4. Temps de traitement (processing) : noté T_{proc} , correspond au temps de vérification d'erreurs (CRC), traitement d'entête,... etc.

Enfin, le délai total de transit est exprimé par la formule suivante :

$$Latence = T_e + T_p + T_{queue} + T_{proc} \quad (3.6)$$

Les quatre sources de retard influençant le temps de transit d'un paquet sur un réseau sont illustrées à la figure 3.3.

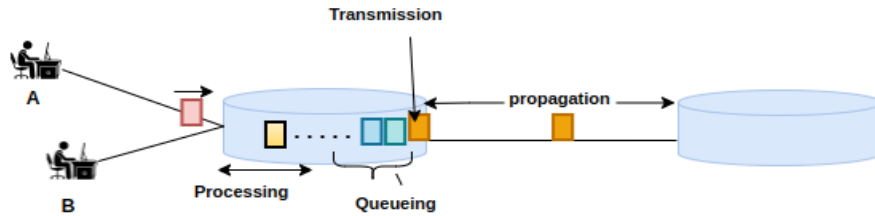


Fig. 3.3 Les différentes sources de retard de transmission.

3.3.4.3 La rapidité de modulation

La rapidité de modulation notée R , représente le nombre de symboles transmis par unité de temps. Elle est exprimée en **bauds**, et calculée ainsi :

$$R = \frac{1}{\Delta} \text{ bauds} \quad (3.7)$$

où, Δ représente la durée (en secondes) d'un **moment élémentaire** (l'intervalle de temps séparant deux valeurs significatives du signal)

3.3.4.4 Valence d'un signal

La valence d'un signal notée V , indique le nombre d'impulsions (états) de base pouvant former un signal. La figure 3.4 illustre un codage de la suite binaire 10011100 en quatre impulsions de base.

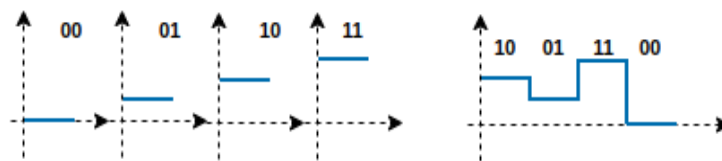


Fig. 3.4 Exemple d'un codage à base de quatre impulsions (4 états) de base.

Le rapport entre la valence V et le nombre de bit par impulsion, noté n , est exprimé ainsi :

$$V = 2^n \text{ donc, } n = \log_2 V \quad (3.8)$$

3.3.4.5 Le débit binaire

Le débit binaire noté D , représente le nombre de bits transmis par unité de temps (une seconde). Il est exprimé en bits par seconde (bit/s, b/s ou bps), et calculé selon la formule suivante :

$$D = \frac{N}{T} \quad (3.9)$$

où, N est la quantité d'information à transmettre.

T : le temps de la transmission.

Le débit peut être exprimé en fonction de la rapidité de modulation et la valence du signal ainsi :

$$D = R * \log_2 V = \frac{1}{\Delta} * n = \frac{1}{T_{bit}} \quad (3.10)$$

Le débit peut aussi être exprimé en fonction de la bande passante du support de communication :

$$D_{max} = W * \log_2 \left(1 + \frac{S}{B}\right) \quad (3.11)$$

Exemple : On considère une ligne téléphonique d'une bande passante $W=3000\text{Hz}$. Trouver le débit maximum de la ligne si on considère un rapport $S/B = 20$.

Selon le théorème de Shannon, le débit maximal est de 13176 Bit/s (13.18 kBit/s).

3.3.4.6 Le taux d'erreurs (Bit Error Rate)

Étant donné que le signal est souvent affecté par des effets d'atténuation, bruit et de filtrage, des erreurs dans l'information transmise sont souvent introduites. Le rapport entre le nombre de bits erronés et le nombre de bits transmis représente ce qu'on appelle le taux d'erreur (Noté T_e).

$$T_e = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits transmis}} \quad (3.12)$$

3.3.5 Techniques de transmission des informations

La transmission des informations sur un circuit de données consiste à fabriquer un signal portant de cette information. Cette opération est assurée par des équipements spécifiques placés aux extrémités du support. Ils sont appelés des équipement de terminaison du circuit de données (ETCDs) et leur fonction principale est la fabrication des signaux en émission et leur récupération en réception. Un ETCD peut être un modem (modulateur-démodulateur) ou un codec (codeur-décodeur), et leur choix dépend de la technique de transmission utilisée.

Pour résumer, les données transmises sont fournies par des équipements terminaux de traitement des données (ETTDs) aux ETCDs qui à leur tour les émettent sous forme de signal au support de transmission. La figure 3.5 montre l'ensemble des équipements constitutifs d'un circuit de données.

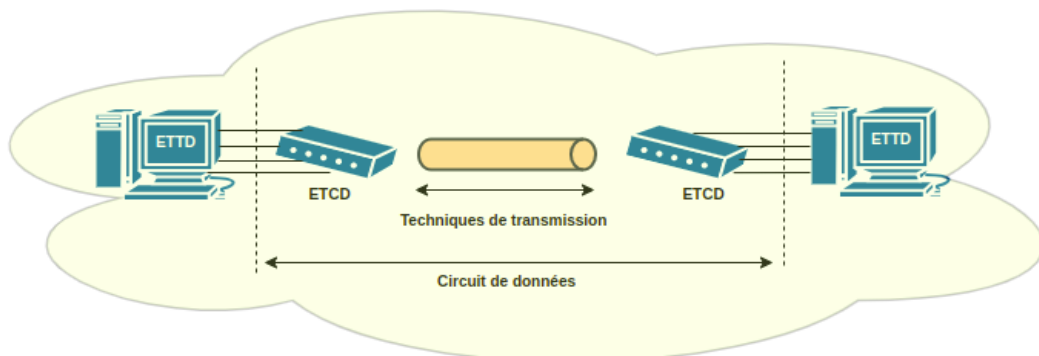


Fig. 3.5 Circuit de données.

3.3.5.1 Transmission en bande de base

La transmission en bande de base est une technique de transmission d'un signal électrique rectangulaire, sur un support physique, sans aucune opération de modulation. Le signal à transmettre est une suite d'éléments binaires (0 et 1) dont la durée de chacun est la durée d'un bit (appelé aussi temps élémentaire).

Il existe plusieurs codes des signaux rectangulaires qui se différencient par la forme de leurs impulsions de base. Ces codes sont présentés dans la suite :

1. **Tout ou rien** : Dans ce type de codage le « 0 » est représenté par une tension nulle pendant une période complète, tandis que le « 1 » est représenté par une tension positive.
2. **Non retour à zéro (NRZ)** : Ce type de codage est connu par le fait que le signal ne revient jamais à zéro. Le « 0 » est représenté par un courant négatif, alors que le « 1 » est représenté par un courant positif.
3. **Bipolaire** : Le code bipolaire est codé de la même manière que le codage "tout ou rien", sauf que le bit « 1 » est déterminé alternativement par une tension positive ou négative afin d'éviter de maintenir des tensions continues.

Remarque : Si la suite binaire à transmettre contient une longue suite de 0 et 1, les codes présentés précédemment peuvent engendrer un problème de perte de **synchronisation** pour l'ETCD récepteur. Autrement dit, les signaux gardent la même tension pendant longtemps, provoquant ainsi la perte de repères temporels.

4. **Biphase** : Appelé aussi code Manchester, il est représenté par deux polarités opposées. La première est appelée front montant (transition vers le haut) représentant par exemple le bit « 0 », et la seconde dite front descendant (transition vers le bas) permet de représenter le bit « 1 ». Les changements de transition sont effectués au milieu de l'intervalle de temps élémentaire. De ce fait, une transition à chaque intervalle de temps est assurée, ce qui garantit une bonne synchronisation entre les ETCDs communicants.
5. **Manchester différentiel** : Ce type de codage est similaire au codage Manchester, c'est-à-dire, qu'il est représenté par deux polarités opposées capables de changer leur transition pendant un intervalle de temps élémentaire. De plus, une règle propre à ce type de codage est à considérer : afin de représenter le bit « 0 » on doit utiliser une transition dans le même sens que la précédente au début de l'intervalle. Tandis que, une transition dans le sens inverse de la précédente au milieu de l'intervalle est utilisée pour représenter le bit « 1 ».

La figure 3.6 montre un codage de la suite binaire 11010 selon les cinq signaux susmentionnés.

Le problème majeur de la transmission en bande de base est l'affaiblissement des signaux en fonction de la distance parcourue. Cela nécessite l'utilisation des régénérateurs de signal (répéteurs) pour lui permettre de s'étendre le plus loin possible. Dans le cas échéant, l'utilisation de cette technique de transmission ne peut être possible que sur les liaisons de très courtes distance.

3.3.5.2 Transmission par modulation

Cette technique de transmission est réservée pour les liaisons de longues distances. Elle consiste à convertir un signal rectangulaire en un autre signal sinusoïdale (onde porteuse). Plus précisément, elle assure le **décalage** du spectre de fréquence d'un signal initial (qui ne se coïncide pas avec la bande passante) en un autre spectre de fréquence qui s'adapte parfaitement avec la bande passante du support.

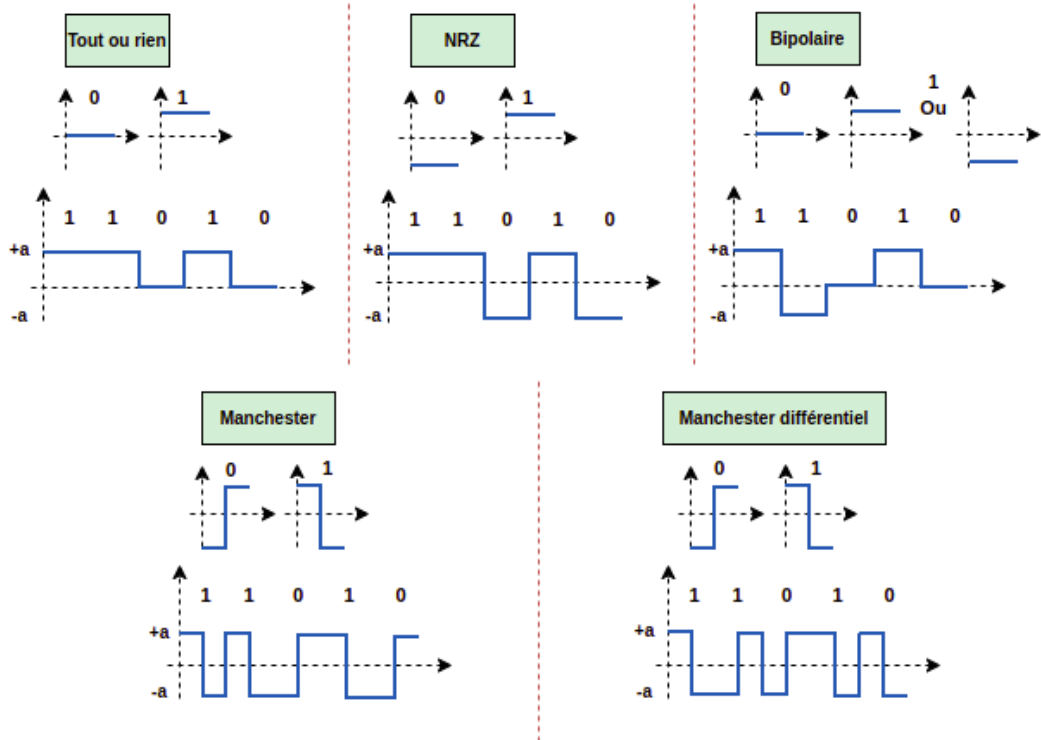


Fig. 3.6 Exemples de modulations de la suite binaire 11010 selon les trois types de modulation de base.

La modulation (de même pour la démodulation) est effectuée par les ETCDS (Modulateur/ Démodulateur) à travers le changement d'un ou plusieurs paramètres de la porteuse (fréquence, phase ou amplitude).

On distingue trois types de modulation de base : modulation d'amplitude, modulation de phase et celle de fréquence :

1. **Modulation d'amplitude** : Elle permet de varier l'amplitude (A) du signal transmis, pendant tout intervalle de temps élémentaire, en fonction des données échangées.
2. **Modulation de fréquence** : Elle permet de varier la fréquence (f) de l'onde porteuse, pendant tout intervalle de temps élémentaire, en fonction des données échangées.
3. **Modulation de phase** : Elle permet de varier la phase (ϕ) du signal transmis, pendant tout intervalle de temps élémentaire, en fonction des données échangées.
4. **Modulation hybride** : Consiste à modifier, pendant tout intervalle de temps élémentaire, deux ou les trois paramètres de base susmentionnés.

À la réception, l'ETCD récepteur mesure l'amplitude, la phase ou la fréquence de la porteuse reçue et en déduit la valeur de l'information transmise.

La modulation de la suite binaire 11010, selon les trois types de modulation présentés au-dessus, est illustrée à la figure 3.7

3.3.6 Transmission série et parallèle

Nous distinguons deux modes de transmission de l'information binaire :

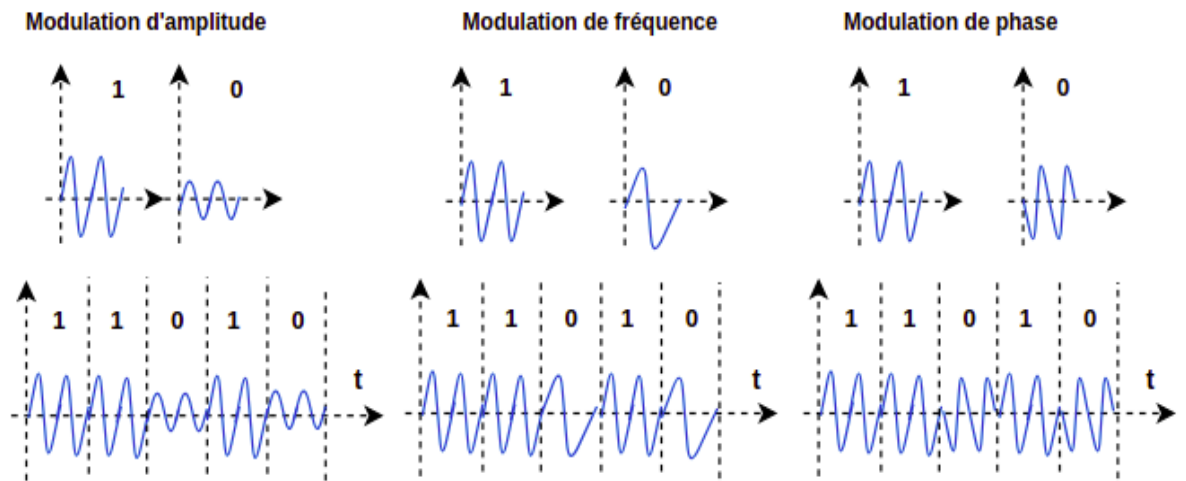


Fig. 3.7 Exemples de modulations de la suite binaire 11010 selon les trois types de modulation de base.

3.3.6.1 Transmission parallèle

Les informations s'envoient de manière parallèle, simultanément, sur des canaux différents. Cette technique permet de réduire considérablement le délai de transfert. Cependant, elle n'est pas praticable dans un circuit long distancé à cause de la variation du temps de propagation sur les différents canaux, ce qui interdit la réception simultanée des bits transmis (voir figure 3.8).

3.3.6.2 Transmission série

Les informations (bits) s'envoient de manière séquentielle, l'une après l'autre, sur un seul canal physique. C'est le mode de transmission le plus utilisé dans le monde des réseaux informatiques (voir figure 3.8).

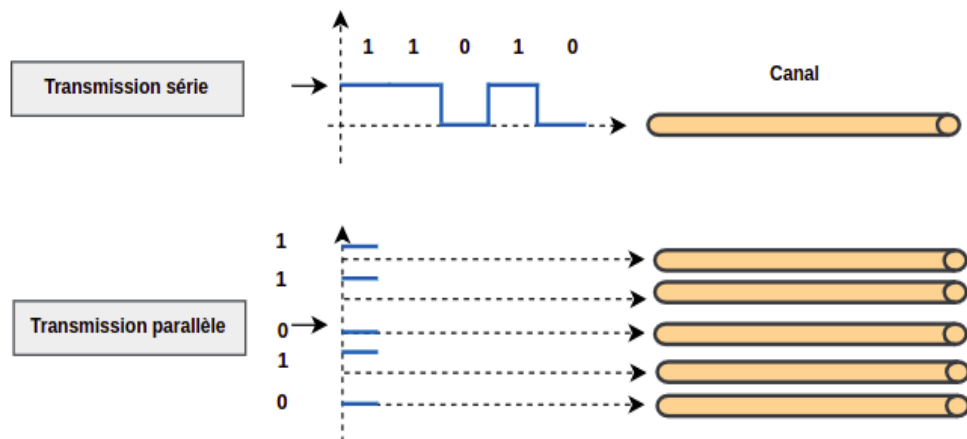


Fig. 3.8 Transmission série et parallèle.

3.3.7 Multiplexage

L'optimisation des performances d'un réseau informatique est un facteur essentiel qui doit être toujours pris en considération pour répondre aux besoins des clients.

Le principe du **Multiplexage** consiste à faire transiter sur une seule liaison (dite liaison haute vitesse) des communications (appelées basses vitesses) appartenant à plusieurs périphériques. Autrement dit,

quand la bande passante d'une voie haute vitesse est largement supérieure au spectre du signal à transmettre, il est très optimal d'utiliser cette voie pour transmettre simultanément plusieurs communications.

Nous distinguons deux techniques principales : le multiplexage fréquentiel (spatial) et le multiplexage temporel.

3.3.7.1 Multiplexage Fréquentiel (FDM : Frequency Division Multiplexing)

Cette technique garantit la juxtaposition des signaux, transportés sur des fréquences porteuses disjointes, dans la même bande passante du support à large bande. Autrement dit, elle consiste à diviser la bande passante de la voie (HV) en un ensemble de sous bandes de spectres disjointes. Ces sous-bandes sont exploitables simultanément par les voies BV y affectées (voir figure 3.9 a).

3.3.7.2 Multiplexage Temporel (TDM : Time Division Multiplexing)

Contrairement au multiplexage fréquentiel, le TDMA ou AMRT (accès multiple à répartition dans le temps) consiste à partager l'utilisation de la voie HV par l'ensemble des voix basses vitesses d'une manière périodique (voir successive). Le principal inconvénient de cette technique est la synchronisation (horloge) qui doit être partagée pour que les extrémités de communication puissent s'échanger leurs données (recéens ou émis) sans interférences (voir figure 3.9 b).

3.3.7.3 Multiplexage Statistique

C'est une amélioration du multiplexage temporel où seulement les voies BVs, qui ont des données prêtes à émettre, sont autorisées à accéder à la voie HV.

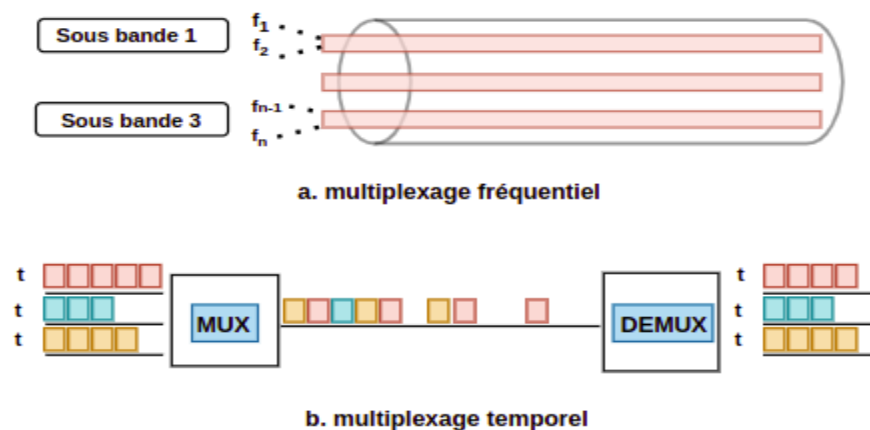


Fig. 3.9 Principe de multiplexage.