

CHAPITRE 2 :

TRANSMISSION NUMÉRIQUE

Chapitre 2 : Transmission numérique

- ▶ Introduction.
- ▶ Transmission en bande de base.
- ▶ Techniques de transmission en bande de base.
- ▶ Transmission à bande limitée.
- ▶ Transmission à large bande.
- ▶ Techniques de transmission à large bande.

Chapitre 2 : Transmission numérique

Les systèmes de communications numériques véhiculent des informations sous forme binaire où la quantité élémentaire est le bit. Un certain nombre de bits forment un mot pour représenter les caractères ou les symboles selon le code utilisé.

En transmission numérique de données, l'information peut être acheminée en parallèle ou en série. La transmission parallèle est utilisée pour tout échange rapide (par exemple entre l'unité centrale d'un ordinateur et tous ses circuits internes et certains périphériques se trouvant à proximité de la machine). Tous les bits sont acheminés en même temps sur un support de communication composé d'autant de fils que de bits transmis.

Dans la transmission série, les bits sont acheminés les uns après les autres sur un seul fil. Cette transmission est largement utilisée pour la communication entre les équipements se trouvant éloignés les uns des autres.

La transmission série est lente par rapport à la transmission parallèle, mais elle est plus économique, et permet d'acheminer les données sur tous les supports de communication existants.

Chapitre 2 : Transmission numérique

Dans la transmission sérielle, les bits sont transmis soit en mode asynchrone, soit en mode synchrone.

En mode asynchrone, chaque symbole transmis (généralement 1 octet) est précédé par un bit de départ (Start) dont l'état logique est toujours 0 et terminé par un ou deux bits d'arrêt (Stop) dont l'état logique est 1. En l'absence de transmission la ligne se trouve à l'état logique 1. Le temps qui sépare deux symboles est indéfini puisque le récepteur doit attendre l'arrivée du bit de départ pour réagir à l'arrivée d'un nouveau symbole.

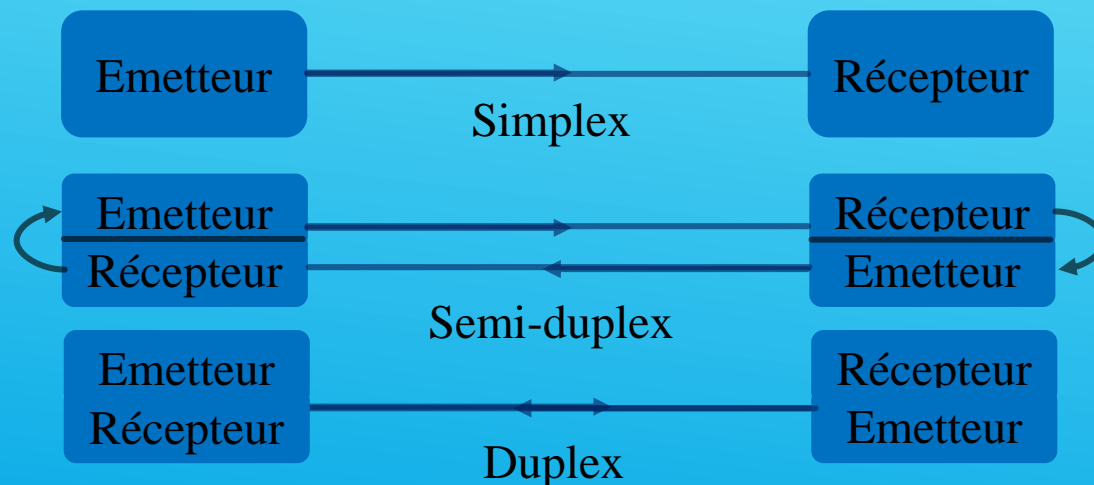
En mode synchrone, tout message ou bloc de message est transmis sans aucune séparation entre les symboles successifs. Aucun bit de départ ou d'arrêt n'est requis. Par contre, au moins deux caractères de synchronisation sont requis au début de chaque bloc de message pour établir la synchronisation entre l'émetteur et le récepteur.

Le mode synchrone est plus rapide et plus efficace que la transmission asynchrone qui nécessite des bits additionnels pour chaque symbole, mais la transmission synchrone nécessite un circuit de réception très complexe permettant de synchroniser l'horloge de réception avec les bits reçus.

Chapitre 2 : Transmission numérique

Le transfert d'informations entre deux systèmes (émetteur/récepteur) s'effectue en fonction des besoins et des caractéristiques des éléments, cela fait suite à trois modes d'exploitation de la liaison : mode simplex, mode semi-duplex, et mode duplex.

La communication simplex est un mode de communication unidirectionnel, les données sont transmises dans un seul sens. Dans le mode semi-duplex les deux systèmes interconnectés émettent et de reçoivent chacun à leur tour. La transmission est alors possible dans les deux sens mais non simultanément. Dans le mode duplex, les données peuvent être émises et reçues simultanément dans les deux sens.

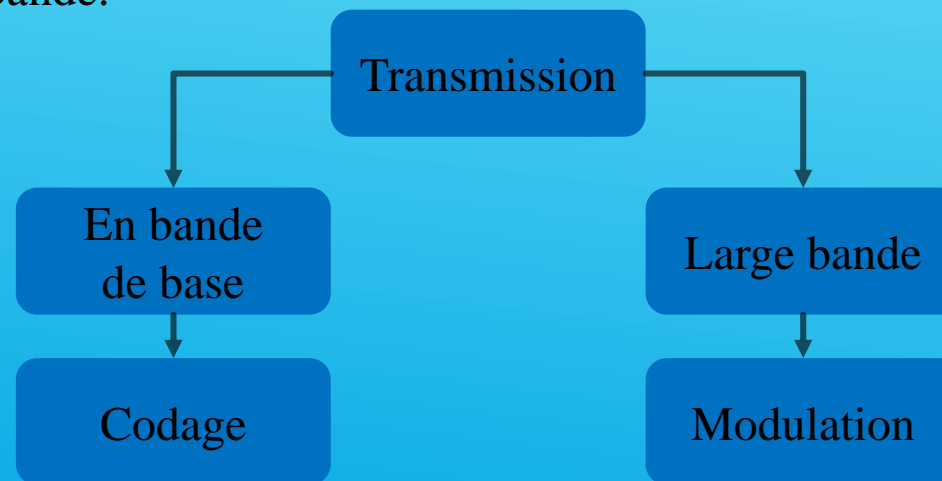


Chapitre 2 : Transmission numérique

Dans la communication numérique, les données sont envoyées sous forme numérique ou analogique sur un support de communication vers un ou plusieurs appareils, en fonction des interfaces utilisées.

Le dernier processus avant l'envoi du message sur le canal dans la chaîne de communication numérique est la modulation/ codage, où la séquence binaire est transformée en un signal électrique (ou signal de luminance) qui peut être transporté par le canal vers le côté récepteur.

Sur la base de ce processus, la transmission est divisée en deux transmissions : la transmission en bande de base et la transmission à large bande.



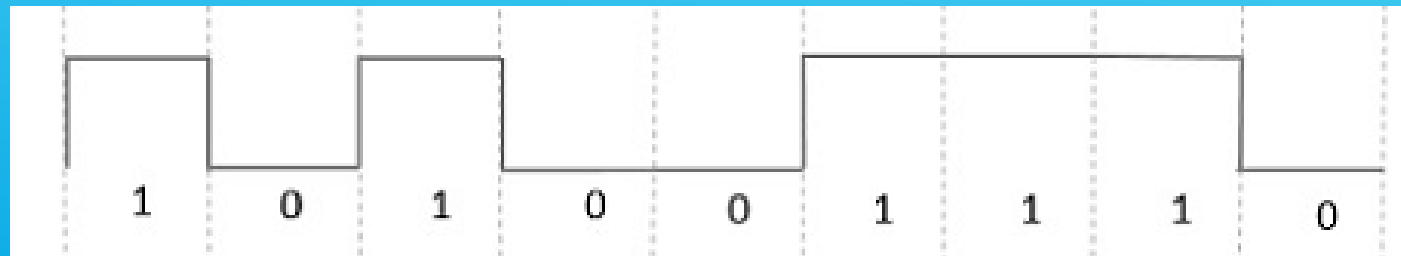
Transmission en bande de base

La transmission en bande de base est une méthode de transmission dans laquelle un signal unique est soit transmis, soit reçu sous forme d'impulsions discrètes (sous forme de trames ou de paquets) d'une fréquence unique sur un canal de communication. Le même canal est utilisé pour transmettre et recevoir des données.

La fréquence des signaux en bande de base n'est pas modifiée et la bande passante du signal est presque nulle. Les systèmes en bande de base n'utilisent pas de décalage de fréquence, donc un seul signal utilise toute la bande passante du système à la fois, ce qui signifie que toute bande passante restante est gaspillée.

Le réseau local (LAN) câblé basé sur Ethernet est une application populaire du signal en bande de base.

La transmission en bande de base est simple à mettre en œuvre et présente de faibles coûts d'installation et de maintenance. Cependant, la couverture du signal est limitée et il ne fonctionne bien que sur de courtes distances.



Transmission en bande de base

Il existe plusieurs codes en ligne utilisés pour transmettre les données, et le critère de choix d'un code en ligne dépend :

- ▶ Le code doit être choisi pour assurer la compatibilité entre le débit binaire du message à transmettre et la bande passante du canal transmission.
- ▶ Certains codes possèdent de meilleures performances que d'autres en présence de bruit.
- ▶ La transmission de la fréquence 0 et 1, c'est à dire la probabilité de bit 0 et la probabilité de bit 1.
- ▶ Certains codes permettent la synchronisation automatique en générant une transition à chaque valeur binaire.

Les codes en ligne sont divisés en deux types : Les codes en ligne à symboles indépendants, et les codes en ligne à symboles dépendants.

Les codes en ligne les plus connus sont : Les codes NRZ, les codes RZ, les codes Manchester, et le code Miller.

Transmission en bande de base

- ▶ Les codes NRZ (No Return to Zero) sont caractérisés par deux niveaux de tensions : l'un pour le bit 0 et l'autre pour le bit 1. Le niveau de tension se maintient pendant toute la durée d'un bit.
- Dans le code NRZ standard, les bits 1 sont représentées par le niveau $+V$, et les bits 0 sont représentées par une absence d'impulsion.
- Dans le code NRZ Level, les bits 1 sont représentées par le niveau $+V$, et les bits 0 sont représentées par le niveau $-V$.
- Dans le code NRZ Mark, les bits 1 sont représentées par un changement de niveau de tension au début d'un intervalle de temps alors que les bits 0 correspondent à l'absence de changement de niveau.
- Dans le code NRZ Space, les bits 0 sont représentées par un changement de niveau de tension au début d'un intervalle de temps alors que les bits 1 correspondent à l'absence de changement de niveau.

Transmission en bande de base

- ▶ Les codes RZ sont caractérisés par une absence d'impulsion pendant un intervalle, cette intervalle peut être la durée complète du bit ou la moitié.
- Dans le code RZ unipolaire, le bit 0 est représentée par une absence d'impulsion pendant l'intervalle de temps alloué à un bit, et le bit 1 est représentée par une tension positive qui occupe la première moitié de la durée du bit , la deuxième moitié étant à zéro.
- Dans le code RZ polaire, le bit 0 est représentée par une tension négative qui occupe la première moitié de la durée du bit , la deuxième moitié étant à zéro, et le bit 1 est représentée par une tension positive qui occupe la première moitié de la durée du bit , la deuxième moitié étant à zéro.
- Dans le code RZ bipolaire, le bit 0 est représentée par une absence d'impulsion pendant l'intervalle de temps alloué à un bit, et le bit 1 passe alternativement de $+V$ à $-V$ qui occupe la première moitié de la durée du bit , la deuxième moitié étant à zéro.

Transmission en bande de base

- ▶ Les codes Biphase ou Manchester sont caractérisés par la transition des tensions. Cette transition facilite le mécanisme de synchronisation des horloges de réception et d'émission
- Dans le code Manchester Standard, le bit 0 est représentée par une tension négative qui occupe la première moitié de la durée du bit , la deuxième moitié est représentée par une tension positive, et le bit 1 est représentée par une tension positive qui occupe la première moitié de la durée du bit , la deuxième moitié est représentée par une tension négative.
- Dans le code Manchester différentiel, les bit 0 et 1 sont représentées par une transition en milieu de la durée du bit. En plus, les bit 0 est représentée par une transition en début de la durée du bit.
- ▶ Le code Miller, ou Delay mode se base aussi sur la transition des tensions. les bits 1 sont représentées par une transition au milieu la durée du bit, et les bits 0 n'ont pas de transition, et à partir de deux 0 successifs ou plus, le signal permute au début de la durée du bit.

Transmission en bande de base

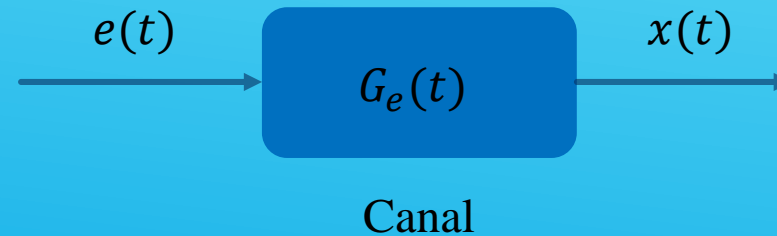
- ▶ Le code MLT3 (Multi Level Transmit 3), est basé aussi sur 3 niveaux comme le code RZ bipolaire . Pour les bits 0, le signal reste constant, et pour les bits 1, le signal oscille successivement entre $+V$, 0 et $-V$.
- Comme les codes NRZ, RZ unipolaire et RZ bipolaire, pour une longue séquence de 0, la synchronisation des horloges peut être perdue.
- ▶ Le code HDBn (Haute Densité Binaire d'ordre n) est une variante du code RZ bipolaire. Il apporte une solution au problème de l'absence transition pour une longue suite de 0.
- Pour les bits 1, le signal oscille successivement entre $+V$, et $-V$, et les bit 0 sont représentés par une absence d'impulsion pendant l'intervalle de temps alloué à un bit. Pour le bits 0 à partir du n+1 zéro successifs, un bit de viol remplace ce zéro par un 1. Ce bit est la dans la même phase que le dernier 1. Cependant, les bits de viols doivent être alternativement positif puis négatif. Pour garantir cette condition, Un bit de bourrage est ajouté en début de séquence afin de rétablir la phase du bit de viol.

Transmission à bande limitée

Dans les transmissions précédentes, il était supposé que la bande passante du support était infinie, ou très grande, et que le signal était donc transmis sans grande distorsion (le cas du canal idéal). Ce canal n'a pas de réalité physique.

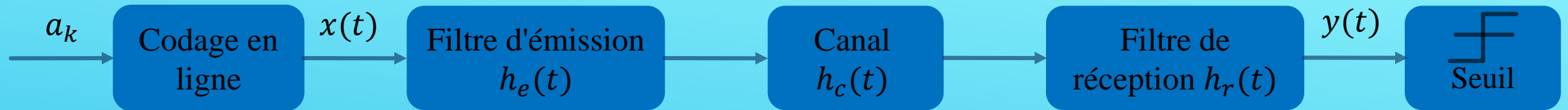
Le cas plus réaliste où le support a une bande de fréquences de largeur W pour transmettre le signal modulé.

Pour une séquence de symboles envoyée dans un support limité, le signal de sortie de ce support est la somme du signal original retardé et de répliques retardées et atténuées de ce signal. Ce chevauchement produit un phénomène appelé interférence entre symboles (IES).

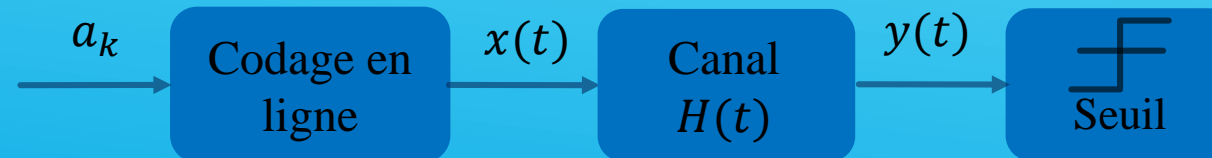


Transmission à bande limitée

La chaîne de transmission à bande limitée comporte deux filtres entre le canal, de plus, le canal est plutôt passe-bas et donc tendance à étaler les formes d'onde du signal émis.



- ▶ Le filtre d'émission est utilisé pour limiter la largeur de bande du signal.
- ▶ Le canal de transmission correspond au milieu de propagation du signal.
- ▶ Le filtre de réception est utilisé pour limiter la puissance du bruit induit par le canal de transmission.



Transmission à bande limitée

- ▶ Pour une suite binaire codé en ligne a_k , le signal transmis est : $x(t) = \sum_n a_n g(t - n T_s)$
- ▶ Le signal obtenu comme entrée du seuil (le signal à la sortie du filtre de réception) est :

$$y(t) = \sum_n a_n h(t - n T_s) + B(t)$$

avec $B(t)$ un bruit, et $h(t) = g(t) * h_e(t) * h_c(t) * h_r(t)$. Le récepteur utilise un échantillonneur à l'instant k , et le signal reçu échantillonné est : $y(kT_s) = \sum_n a_n h((k - n) T_s) + B(kT_s)$

$$y(kT_s) = a_k h(0) + \sum_{n \neq k} a_n h((k - n) T_s) + B(kT_s)$$

le signal reçu échantillonné est la somme de trois signaux:

- ▶ Le premier signal est l'échantillon transmis a_k .
- ▶ Le deuxième signal dépend à tous les autres symboles $a_n (n \neq k)$. Ce signal est appelé interférence entre symboles IES.
- ▶ Le troisième signal représente le bruit sur le canal.

Transmission à bande limitée

Pour ne pas avoir d'interférence entre symboles, il doit avoir :

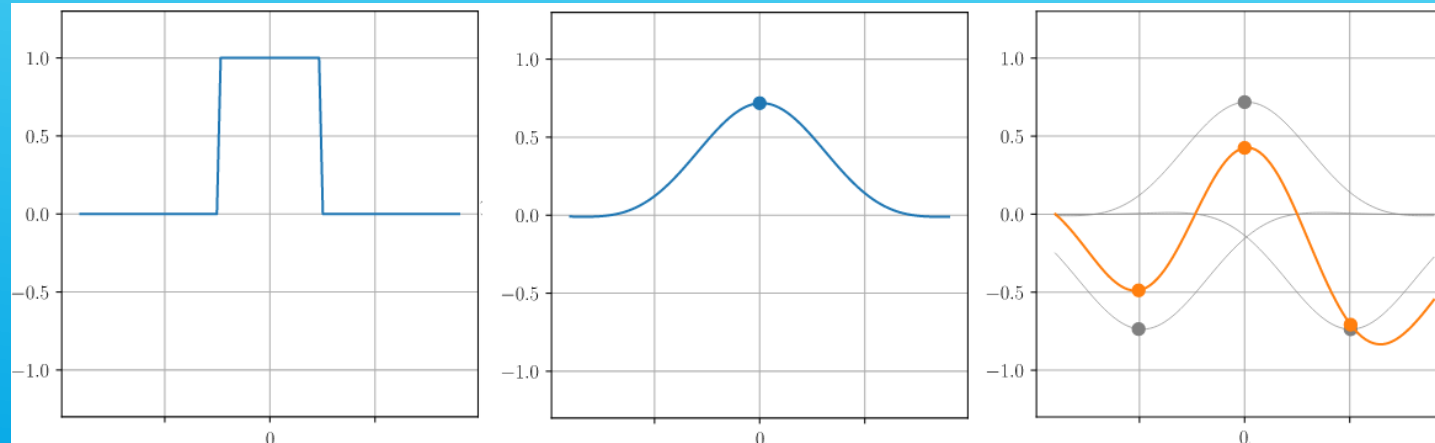
$$h(k T_s) = \begin{cases} 1 & \text{si } k = 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Dans ce cas le signal reçu échantillonné sera : $y(kT_s) = a_k + B(kT_s)$

Ce type de filtre qui élimine les interférences des symboles adjacents à l'instant kT_s appelé filtre de Nyquist. Le réponse des filtres de transmission à bande limitée doit respecter le critère de Nyquist, et la bande passante du canal doit être :

$$W = (1 + \alpha) W_0$$

avec α est appelé le facteur de mise en forme (roll-off) où $0 \leq \alpha < 1$, et W_0 est la bande passante minimale.



Transmission à bande limitée

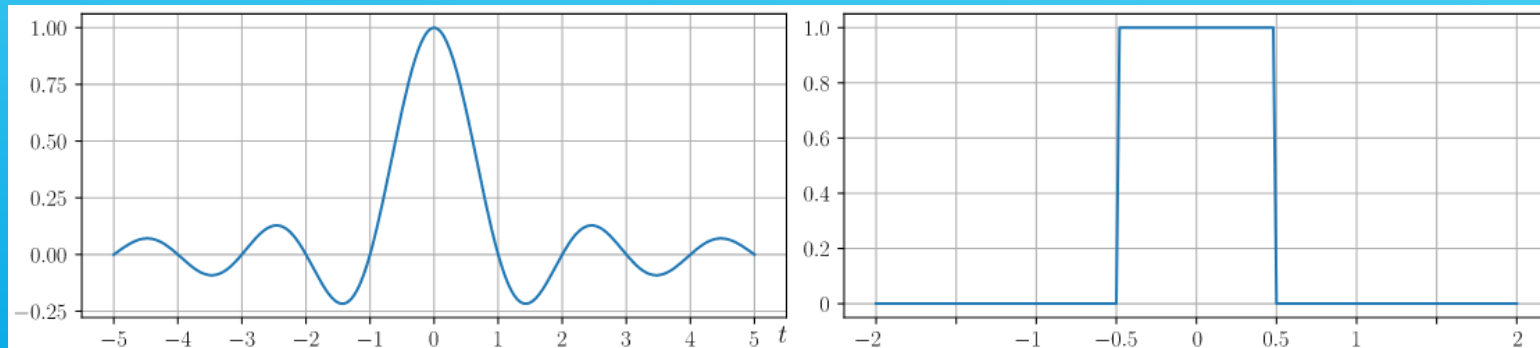
- ▶ Un signal qui répond au critère de Nyquist est le sinus cardinal :

$$h(t) = \text{sinc} \left(\frac{t}{T_s} \right)$$

- ▶ La transformée de Fourier de ce signal est :

$$h(f) = \begin{cases} T_s & \text{si } |f| \leq \frac{1}{2T_s} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- ▶ Cependant, le sinus cardinal n'est pas utilisé en pratique pour deux raisons. il y a de nombreuses oscillations pour créer le sinus cardinal, et le deuxième raison, les temps d'échantillonnage sont très précis pour une bonne récupération.



Transmission à bande limitée

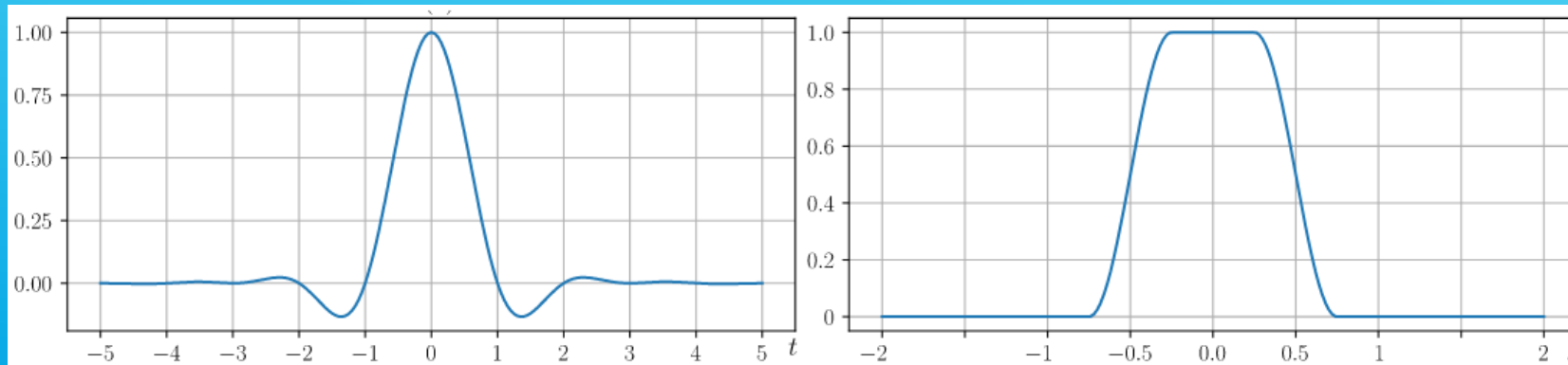
- ▶ Une solution généralement retenue dans le transmission à bande limitée est le filtre en cosinus surélevé (raised cosine) donné par :

$$h(t) = \frac{1}{T_s} \operatorname{sinc}\left(\frac{t}{T_s}\right) \frac{\cos\left(\pi\alpha \frac{t}{T_s}\right)}{1 - \left(\frac{2\alpha t}{T_s}\right)^2}$$

- ▶ La transformée de Fourier de ce signal est :

$$h(f) = \begin{cases} T_s & \text{si } |f| \leq \frac{1-\alpha}{2T_s} \\ \frac{T_s}{2} \left(1 + \cos\left(\left(|f| - \frac{1-\alpha}{2T_s}\right) \frac{\pi T_s}{\alpha}\right) \right) & \text{si } \frac{1-\alpha}{2T_s} \leq |f| \leq \frac{1+\alpha}{2T_s} \\ 0 & \text{si } |f| \geq \frac{1+\alpha}{2T_s} \end{cases}$$

- ▶ L'avantage du cosinus surélevé est qu'il a une décroissance plus rapide que le sinus cardinal..



Transmission large bande

La transmission en bande de base présente plusieurs limitations telles que :

- ▶ La transmission en bande de base utilise des câbles comme support de communication, c'est-à-dire que la transmission en bande de base ne peut pas être utilisée dans les communications sans fil.
- ▶ Atténuation du signal forte sur de longues distances, nécessite une régénération par des répéteurs.
- ▶ La transmission en bande de base ne permet pas d'envoyer plusieurs données en même temps en utilisant un seul canal.

Fort de ces problèmes, la transmission à large bande envoie des données sous forme de signaux analogiques (un signal sinusoïdal est introduit dans le signal numérique, appelé modulation numérique-analogique).

La transmission à large bande permettant d'envoyer des signaux à plusieurs fréquences simultanément (de nombreux signaux de fréquences différentes envoient des données sur un seul canal en même temps).

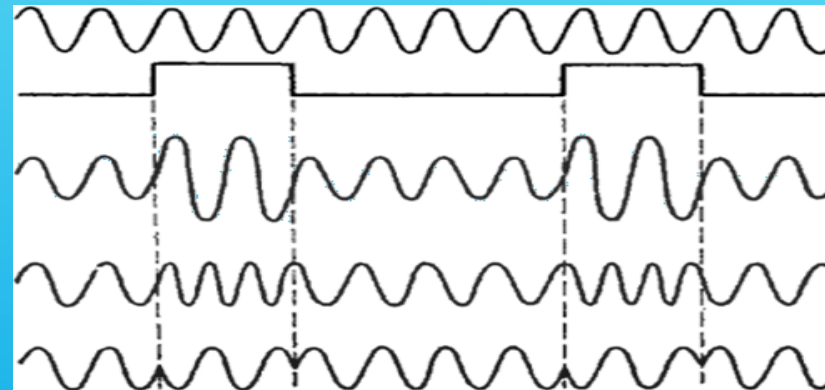
La transmission large bande offre une vitesse rapide pour la transmission des données, et peut s'effectuer sur une grande distance. Cependant, la maintenance et le coût sont élevés, en plus, il nécessite du matériel supplémentaire pour les transmissions de données, comme les multiplexeurs.

Transmission large bande

La modulation consiste à faire varier un paramètre d'une onde sinusoïde, appelée onde porteuse, en fonction du signal qui contenant l'information à transmettre, appelé signal modulant. Chaque symbole est constitué par une ou plusieurs périodes d'une sinusoïde dont on a modifié l'un des paramètres. L'information est définie par l'ensemble (amplitude, fréquence, phase) que l'on appelle un état. Chacun de ces paramètres ne peut prendre qu'un nombre limité de valeurs discrètes.

L'onde porteuse est un signal sinusoïdal $p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + \varphi)$. Le principe de la modulation est d'appliquer le signal $s(t)$ à transmettre sur l'une des composantes de la porteuse. Il y a 3 types de modulations :

- ▶ Modulation d'amplitude (Amplitude Shift Keying).
- ▶ Modulation de fréquence (Frequency shift keying).
- ▶ Modulation de phase (Phase shift keying).



Amplitude shift keying ASK

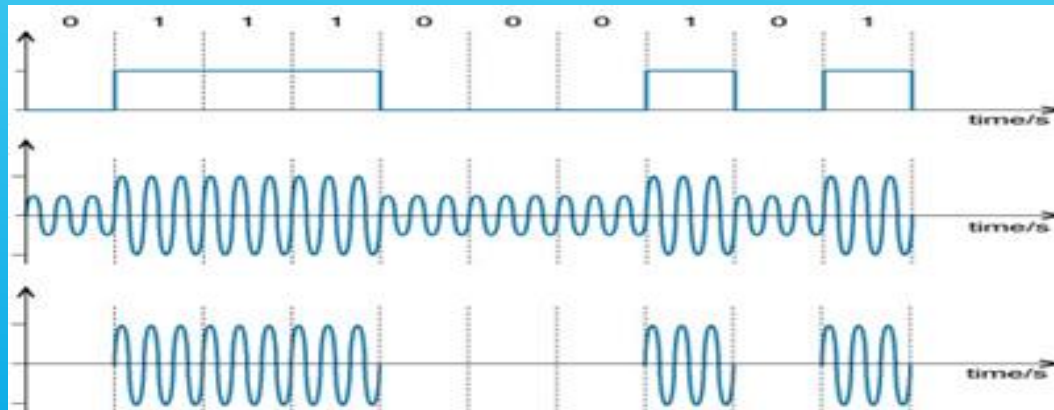
La modulation ASK consiste à affecter pour chaque état une valeur de l'amplitude de la porteuse, c'est-à-dire l'amplitude de la porteuse est modifiée de manière à coder les données :

$$s(t) = A_1 \cos(w_p t) \text{ ou } s(t) = A_2 \cos(w_p t) \quad \dots \quad s(t) = A_m \cos(w_p t).$$

Le cas le plus simple et le plus employé en modulation d'amplitude est la modulation binaire OOK (On Off Keying), Dans ce cas, un seul bit est transmis pendant la période ($M = 2$).

Dans la démodulation de ASK, une simple détection d'enveloppe permet de retrouver le signal en bande de base.

La modulation ASK est sensible aux bruits et n'est pas une technique de modulation très efficace pour les réseaux informatiques, elle est utilisée pour transmettre des données numériques sur fibre optique.



Frequency shift keying FSK

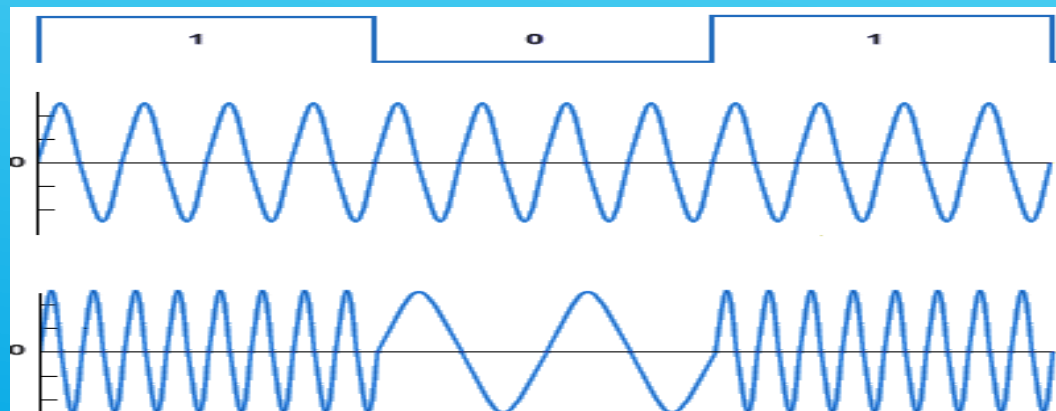
La modulation FSK consiste à affecter pour chaque état une fréquence de la porteuse, c'est-à-dire la fréquence de la porteuse est modifiée de manière pour représenter les données :

$$s(t) = A_p \cos(w_1 t) \text{ ou } s(t) = A_p \cos(w_2 t) \quad \dots \quad s(t) = A_p \cos(w_m t).$$

La différence de la fréquence instantanée correspondant à l'émission de deux symboles adjacents est appelée l'excursion de fréquence $\Delta f = \frac{f_2 - f_1}{2}$.

Dans la démodulation, les fréquences sont séparées par un filtre passe-bande. Puis une simple détection d'enveloppe permet de retrouver le signal en bande de base.

La modulation FSK est moins sensible au bruit, mais sa vitesse de transmission est faible, et sa bande passante est élevée. Par conséquent, cette modulation est moins utilisée par rapport aux autres modulations.



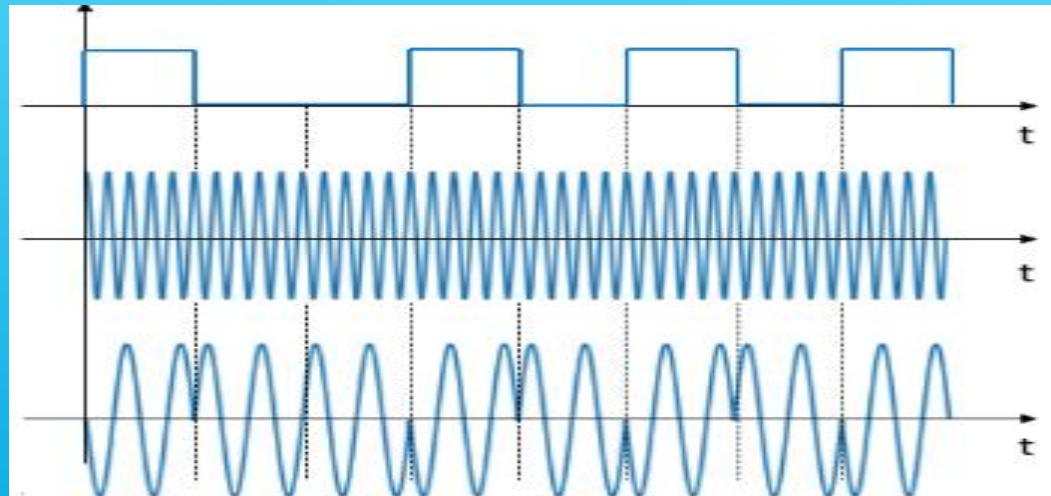
Phase shift keying PSK

La modulation PSK consiste à affecter pour chaque état une phase de la porteuse, c'est-à-dire la phase de la porteuse est modifiée de manière pour représenter les données numériques :

$$s(t) = A_p \cos(w_p t) \text{ ou } s(t) = A_p \cos(w_p t + \varphi_1) \quad \dots \quad s(t) = A_p \cos(w_p t + \varphi_{m-1}).$$

Dans la démodulation, Le signal modulé est multiplié par un signal porteur. Ensuite, un filtre passe-bas est utilisé pour obtenir le signal en bande de base.

La modulation PSK est la méthode la plus efficace pour la transmission de données à travers un canal analogique, car elle a une bande passante similaire à la modulation ASK et une vitesse de transmission plus élevée que la modulation FSK.

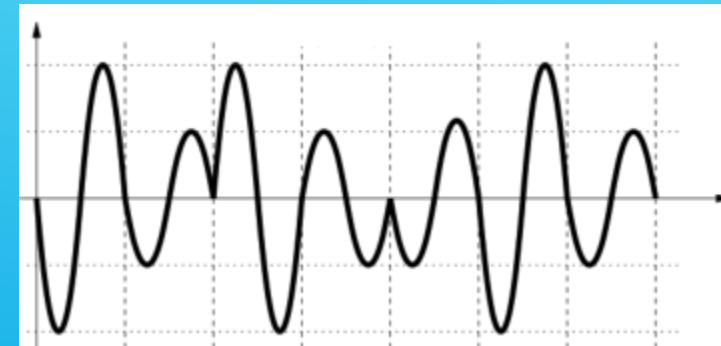
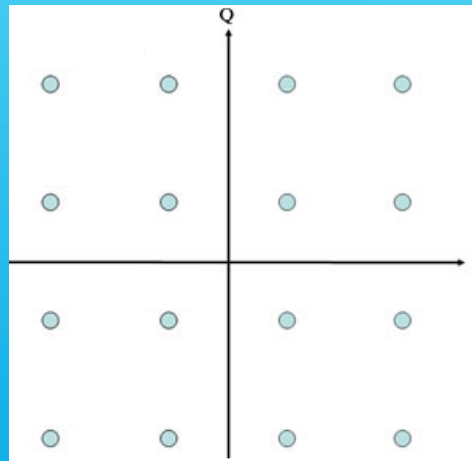
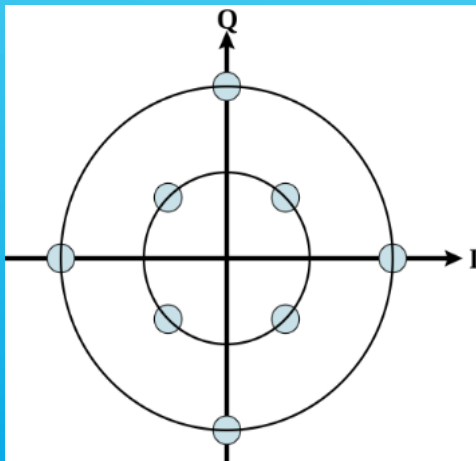


Quadrature amplitude modulation QAM

Pour obtenir des vitesses de transmission encore plus élevées dans une modulation PSK, on peut mélanger 2 types de modulation, la modulation ASK et la modulation PSK.

Dans les communications numériques, la modulation QAM utilise la modulation d'amplitude et la modulation de phase d'une manière qu'elles dépendent l'une de l'autre: le signal modulé est séparé en deux composants, I ("In-phase") et Q ("quadrature"), qui correspondent aux parties réelle et imaginaire du signal.

Le principal avantage des variantes de modulation QAM est l'utilisation efficace de la bande passante, en représentant un plus grand nombre de bits par porteuse. Cependant, les états sont plus proches, donc la modulation QAM est plus sensible au bruit.



Évaluation des systèmes de transmission numériques

Tout système de communication numérique est créé en fonction de plusieurs facteurs :

- ▶ Une description du canal telle que la puissance reçue, la bande passante disponible, les statistiques de bruit et d'autres dégradations telles que l'atténuation.
- ▶ Détermination des exigences du système telles que le débit et performances d'erreurs.

Donc, les objectifs du constructeur d'un système de communication numérique peuvent être les suivants :

- ▶ Minimiser la bande passante du signal à transmettre pour un flux binaire donné.
- ▶ Maximiser l'efficacité spectrale (permet de mesurer du débit binaire transmis dans un canal de communication donné) :

$$\eta = \frac{D}{W_s} \quad (\text{bit/s/Hz})$$

- ▶ Minimiser le taux d'erreurs binaire : qui est le rapport entre le nombre des bit erroné et le nombre de bits transmis.

$$TEB = \frac{\text{nombre des bit erroné}}{\text{nombre de bits transmis}}$$

- ▶ Minimiser la complexité du système de communication numérique