

# **CHAPITRE 3 :**

# **TECHNIQUES DE MULTIPLEXAGE**

# Chapitre 3 : Techniques de multiplexage

- Introduction.
- Frequency Division Multiplexing.
- Time Division Multiplexing.
- Code Division Multiple Access.

# Chapitre 3 : Techniques de multiplexage

Les systèmes de communication doivent tenir compte du fait que plusieurs utilisateurs peuvent utiliser le même canal en même temps. En plus, ils doivent profiter de la bande passante disponibles dans un canal d'une manière optimale, c'est-à-dire transmettre un maximum de données utiles par unités de temps entre l'émetteur et le récepteur.

Il est nécessaire de définir les principes de communication au sein du support pour qu'un grand nombre d'utilisateurs puissent partager le canal avec un minimum de pertes. Ces principes basés sur la technique du multiplexage.



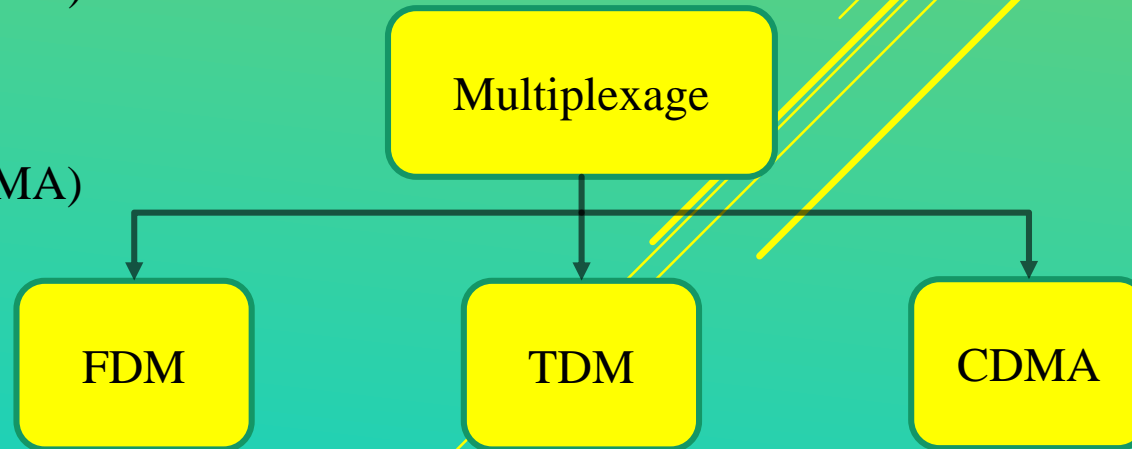
# Chapitre 3 : Techniques de multiplexage

Le multiplexage est un ensemble de techniques permettant la transmission simultanée de plusieurs signaux sur un seul canal, appelée canal haut débit.

La capacité physique d'un canal peut être subdivisée pour obtenir plus de sous-canaux avec une vitesse inférieure. Chaque sous-canal est défini en fonction de paramètres physiques, comme la fréquence, le temps, le code....

Selon ces paramètres, le multiplexage se divise en plusieurs types :

- Frequency Division Multiplexing (FDM)
- Time Division Multiplexing (TDM)
- Code Division Multiple Access (CDMA)



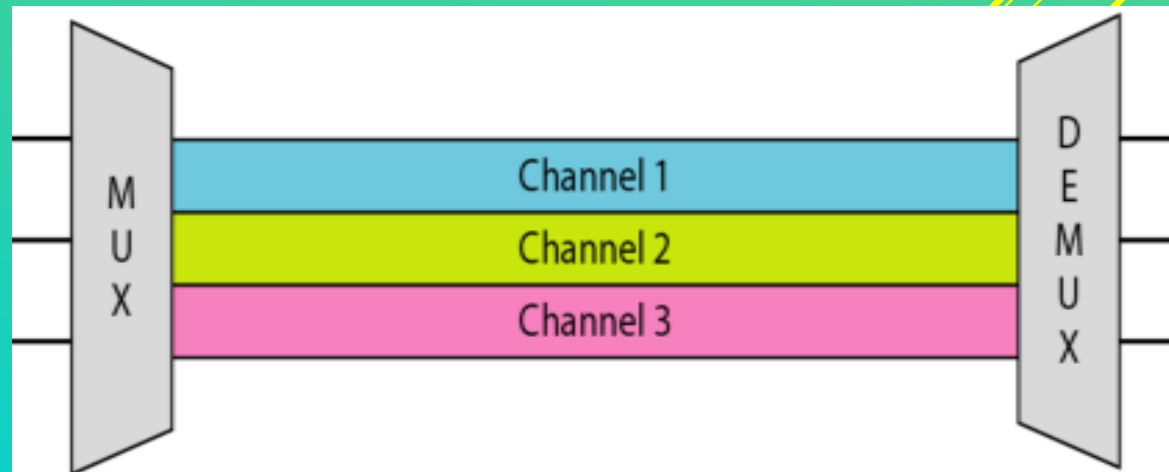
# Frequency Division Multiplexing FDM

Le multiplexage FDM transmet plusieurs signaux analogiques en même temps sur un seul canal. C'est la plus ancienne des techniques de multiplexage.

Plusieurs signaux analogiques peuvent être multiplexés ensemble en modulant chaque signal avec une porteuse différente des autres et en occupant une portion bien définie de la bande passante du canal de communication.

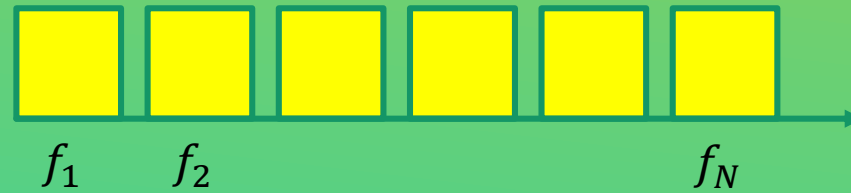
L'utilisation de FDM pour permettre à plusieurs utilisateurs d'utiliser la même bande passante est appelée FDMA (Frequency Division Multiplexing Access).

Le nombre totale des utilisateurs dans un canal qui a une bande passante  $W$  est :  $N = \frac{W - 2 \times B_g}{W_n}$



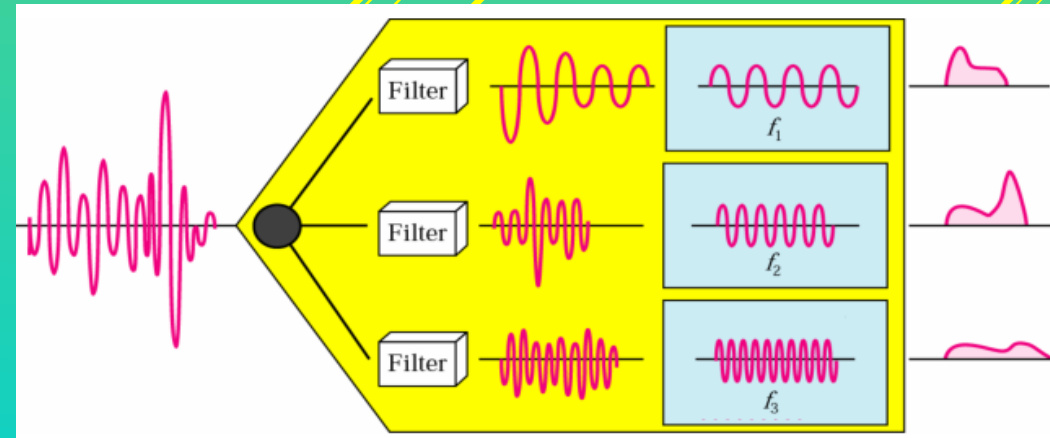
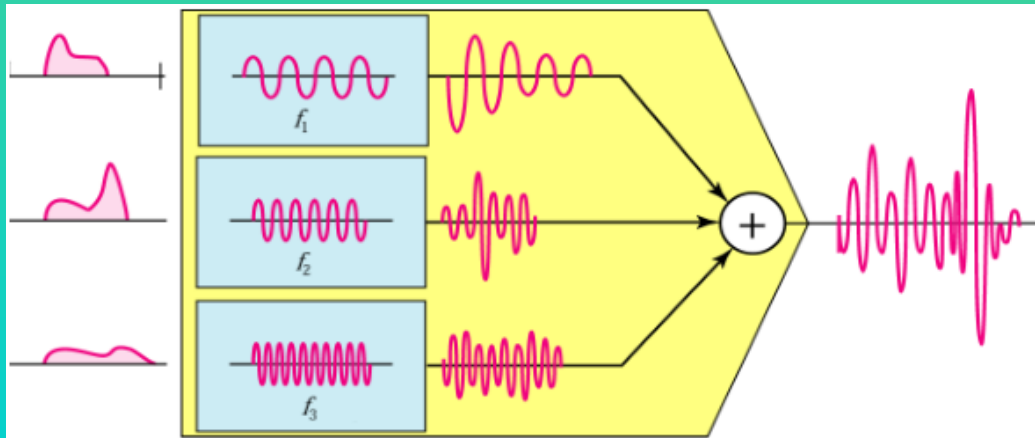
# Frequency Division Multiplexing FDM

La bande passante du canal  $W$  est divisée en sous-canaux, où chaque sous-canal est déterminé par son fréquence, et les communications sont associées à chaque sous-canal.

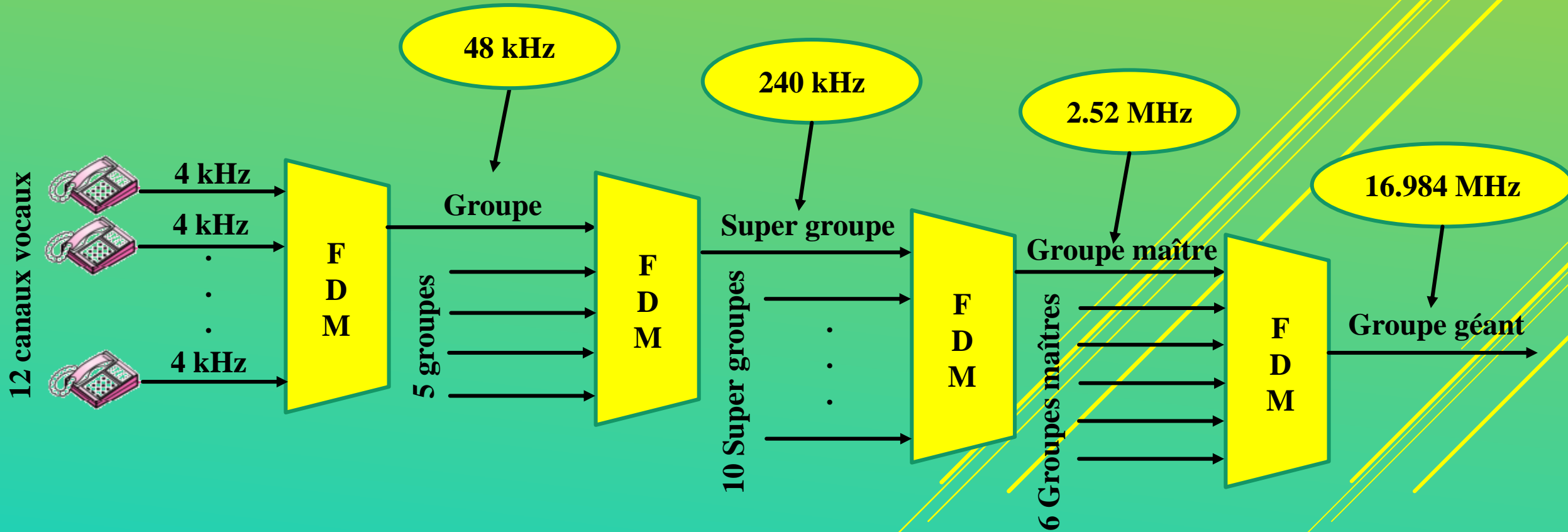


Le signal lié à une communication est filtré puis modulé afin de s'adapter exactement à un sous-canal.

Les fréquences porteuses sont séparées afin que les signaux ne se chevauchent pas. Ce qui signifie que la somme de la bande passante des sous-canaux est inférieure à la bande passante du canal.



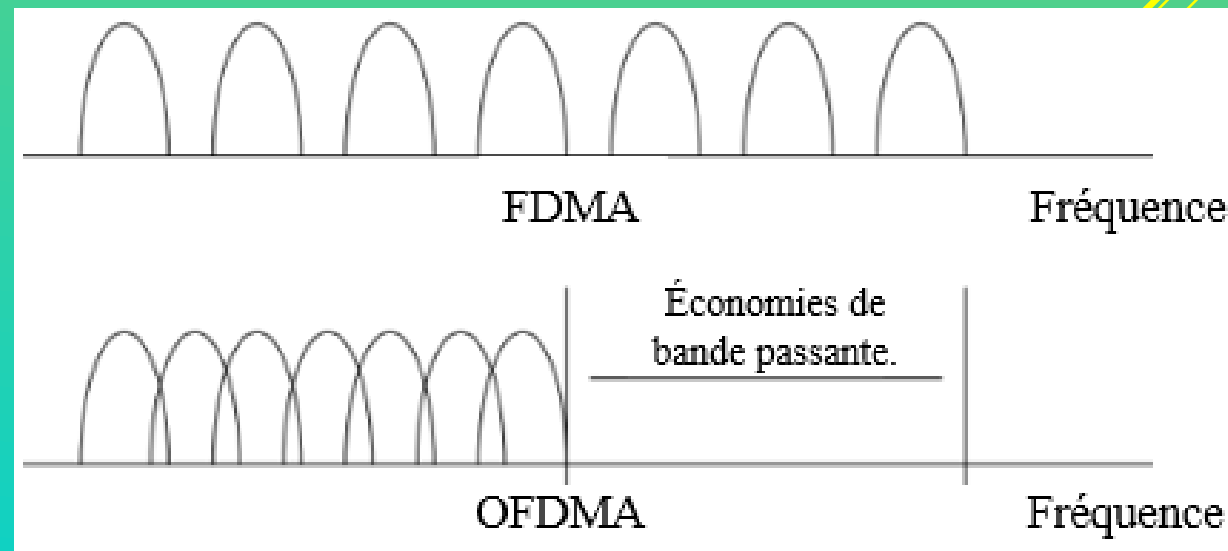
# Frequency Division Multiplexing FDM



# Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDM

Le multiplexage utilisé dans la transmission WIFI et la transmission LTE, et Internet Of Things (IoT) est appelé Orthogonal Frequency Division multiple access OFDMA.

Dans FDM, le flux de données total est divisé sur plusieurs sous-canaux, mais les fréquences des sous-canaux sont plus espacées afin qu'elles ne se chevauchent pas ou n'interfèrent pas. Dans l'OFDMA, les fréquences des sous-canaux sont proches les unes des autres et se chevauchent mais restent orthogonales, ou séparées, dans le sens où elles sont soigneusement choisies et modulées afin que les interférences entre les sous-canaux soient annulées.





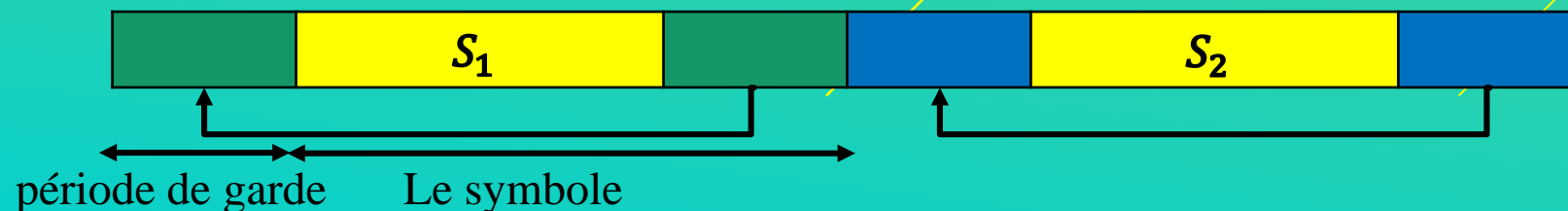
# Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDM

Le canal est divisé en fréquences plus petites appelées unités de ressources (RU), afin que les opérateurs puissent occuper et utiliser efficacement les bandes de fréquences. L'OFDMA est utilisé généralement en transmission numérique.

Les données sont transmises en parallèle sur les différentes porteuses, ce qui signifie qu'elles sont divisées en un certain nombre de sous-flux parallèles. Le débit global est celui du flux d'origine, mais celui de chacun des sous-flux est bien inférieur et les symboles sont plus espacés dans le temps.

Il existe plusieurs techniques utilisées pour maintenir l'orthogonalité temporelle entre les symboles, comme le préfixe cyclique. Cette technique permet d'éviter les interférences causées par les effets des trajets multiples.

Le préfixe cyclique consiste à insérer une période de garde avant chaque symbole, où les données de la fin du symbole sont copiées pour remplir la période de garde



# Frequency Division Multiplexing FDM

La technique de multiplexage FDM a des avantages suivants :

- Le multiplexage FDM n'a pas besoin de synchronisation entre son émetteur et son récepteur.
- Grâce au multiplexage FDM, les données multimédia peuvent être transférées avec une très grande efficacité et un faible bruit et distorsion.
- Un grand nombre de signaux peuvent être transmis simultanément en utilisant le même canal.
- Le multiplexage FDM est utilisé pour les signaux analogiques, ce qui signifie qu'il est utilisé pour la transmission longue distance.
- Le multiplexage FDM a un démultiplexage plus simple et facile.

Cependant, la technique de multiplexage FDM a des inconvénients suivants :

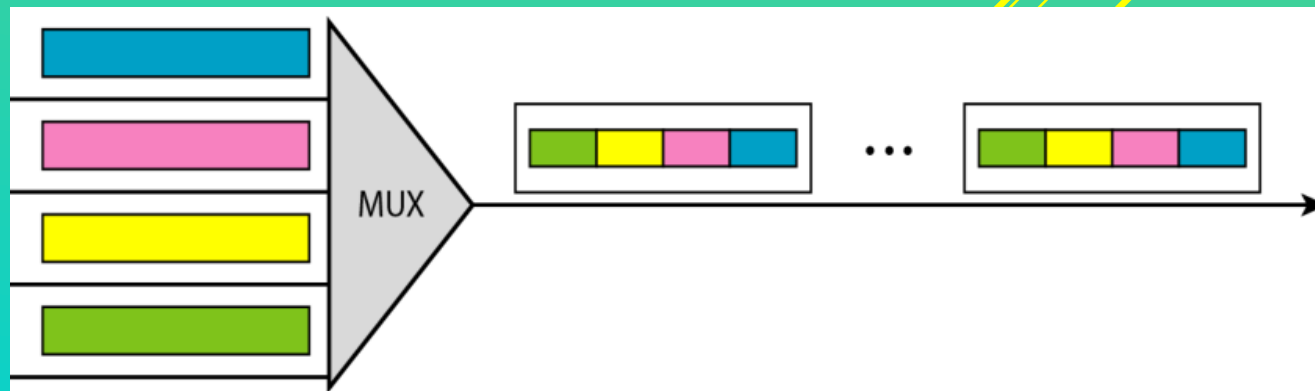
- Afin de limiter les interférences entre sous-canaux adjacents, il est nécessaire de prévoir un intervalle de garde entre les sous-canaux qui réduit la bande de fréquence utile.
- Le multiplexage FDM nécessite un signal porteur pour chaque sous-canal. De plus, un grand nombre de modulateurs et de filtres sont nécessaires.
- La communication qui utilise le multiplexage FDM doit avoir une très grande bande passante.

# Time Division Multiplexing TDM

Le multiplexage TDM est une technique de multiplexage numérique qui combine plusieurs canaux à bas débits en un canal à haut débit. Il permet de transmettre plusieurs signaux numériques en série à grande vitesse sur un seul canal de transmission. Cette technique est plus moderne et mieux adaptée à la transmission numérique que FDM.

Le signal de sortie du multiplexage TDM est divisé en plusieurs trames, et chaque trame est divisée en durées très courtes appelées slots, où chaque slot est dédié à une source. Chaque source ne peut utiliser que son slot à chaque fois pour envoyer ses données.

Les slots sont pré-assignés aux sources et sont fixes, et ces temps ne doivent pas nécessairement être réparties uniformément entre les sources.



# Time Division Multiplexing TDM

Le choix de la durée du slot est très important (c'est un paramètre choisi lors de la conception du système de slot) :

$$T_i = \frac{n_i}{C}$$

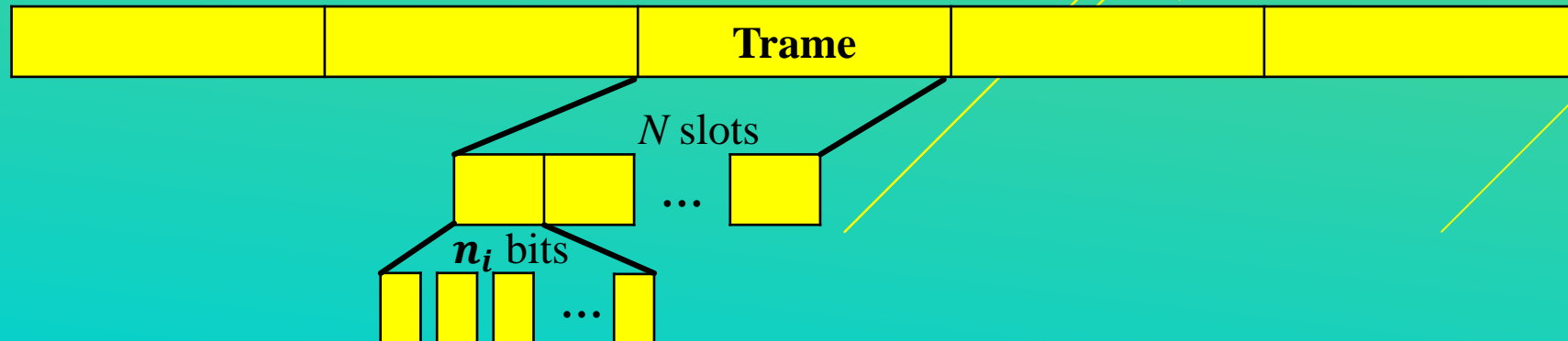
Où  $n_i$  est le nombre de bits par slot, et  $C$  est la capacité de canal.

Donc, la durée d'une trame qui contient un slot de chaque source est :

$$T_F = N \times T_i$$

La capacité du sous-canal  $c_i$  ne dépend pas de temps  $T_i$  mais uniquement du nombre des slots  $N$  :

$$c_i = \frac{C}{N}$$



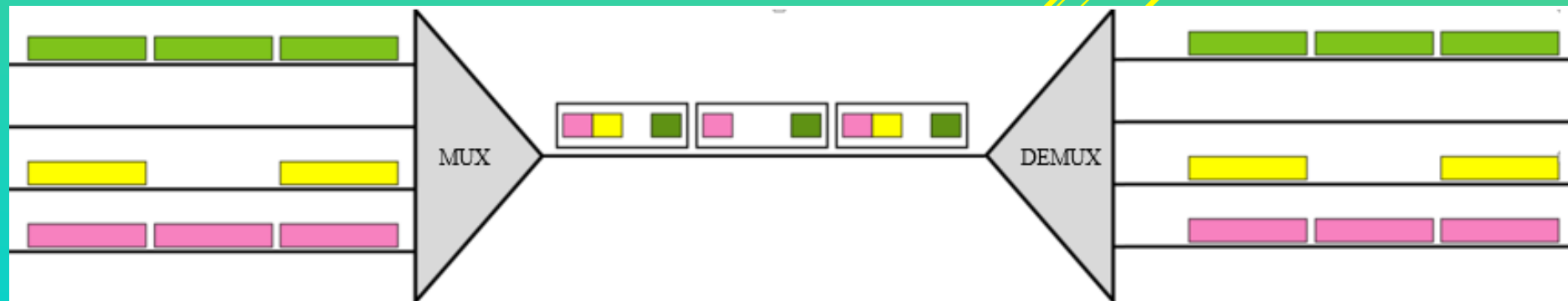
# Time Division Multiplexing TDM

Le multiplexage TDM est divisé en deux types : TDM synchrone et TDM asynchrone.

Dans TDM synchrone, chaque source reçoit le même temps de slot pour transmettre des données, et il ne tient pas compte si la source contient des données ou non (si une source ne contient pas de données, son slot reste vide).

De plus, les plages slots sont dédiées à certains utilisateurs, ce qui signifie que les autres utilisateurs ne peuvent pas accéder à ce multiplexage.

Dans TDM synchrone, le débit des données source est  $n$  fois plus rapide et la durée des données est  $n$  fois plus courte.



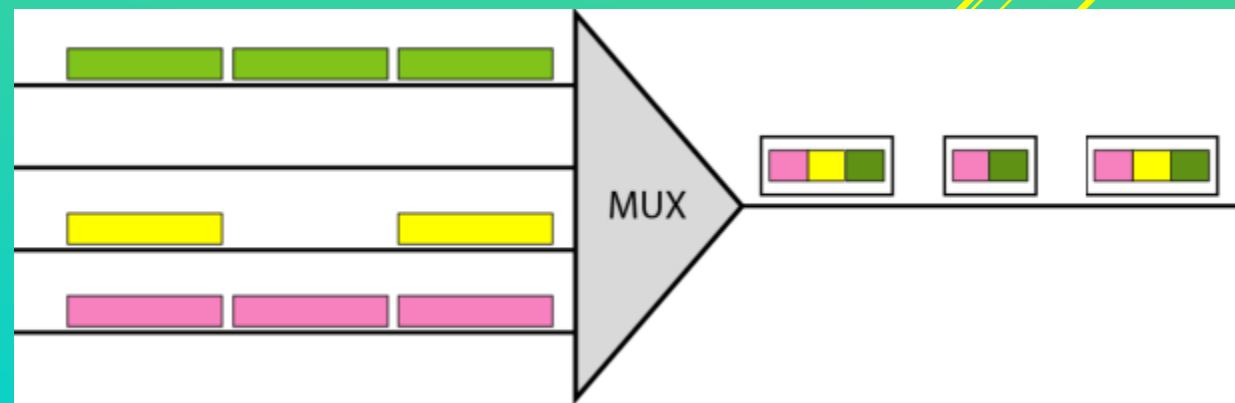
# Time Division Multiplexing TDM

Dans le TDM synchrone, de nombreux des slots sont gaspillés si une source ne contient pas de données.

Le TDM asynchrone ou TDM statistique alloue des slots de manière dynamique en fonction de la demande des sources existantes.

Les slots sont libérées une fois qu'une source se déconnecte du système, permettant ainsi à d'autres sources d'accéder à ces mêmes slots.

Le multiplexeur analyse les lignes d'entrée et collecte les données jusqu'à ce que la trame soit pleine. Cela permet d'utiliser entièrement les slots, ce qui conduit à un temps de transmission plus court et à des utilisations pratiques du volume du support.

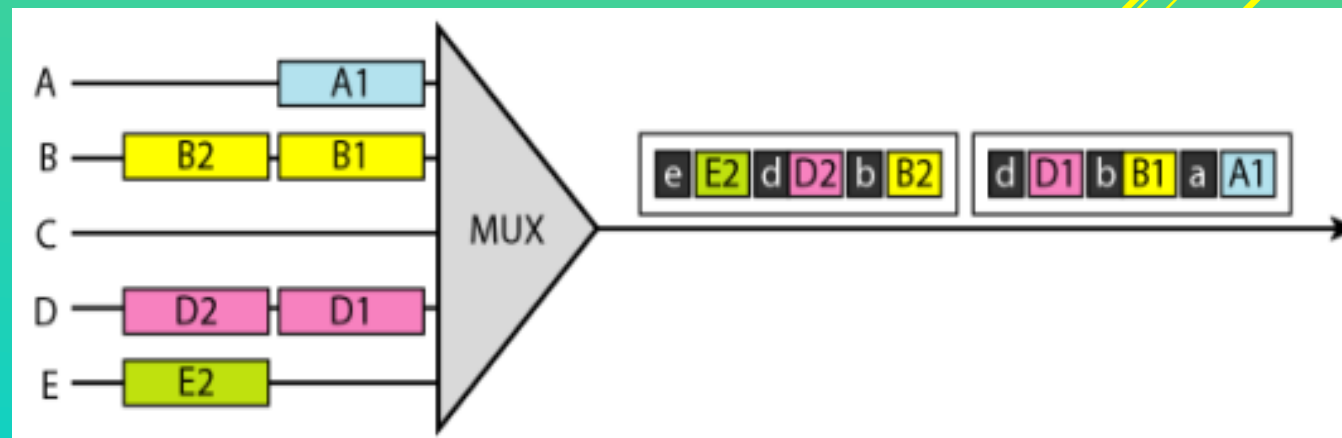


# Time Division Multiplexing TDM

Tous les sources peuvent envoyer des données dans tous les slots, et ces slots sont variables. Le récepteur ne peut donc pas identifier les caractères en les comptant.

Dans le TDM asynchrone, les données de chaque slot doivent avoir une partie adresse, qui reconnaît la source des informations.

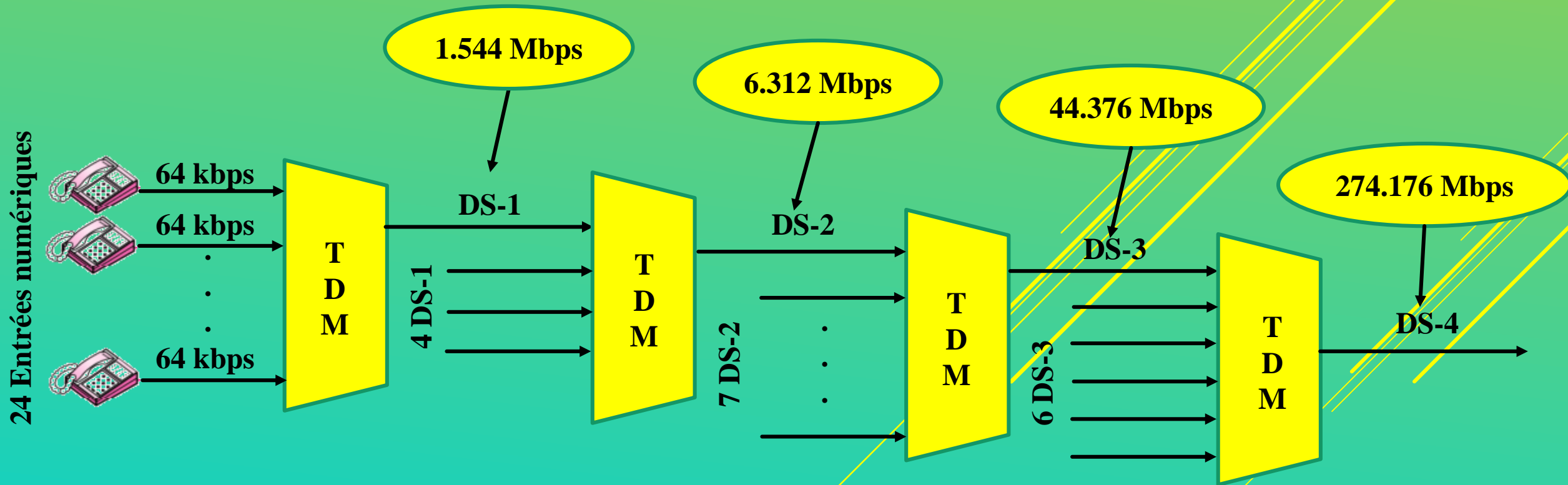
Le multiplexage TDMA (Time Division Multiplexing Access) est basé sur la méthode asynchrone. Dans cette technique, les signaux multiplexés peuvent provenir de sources différentes.





# Time Division Multiplexing TDM

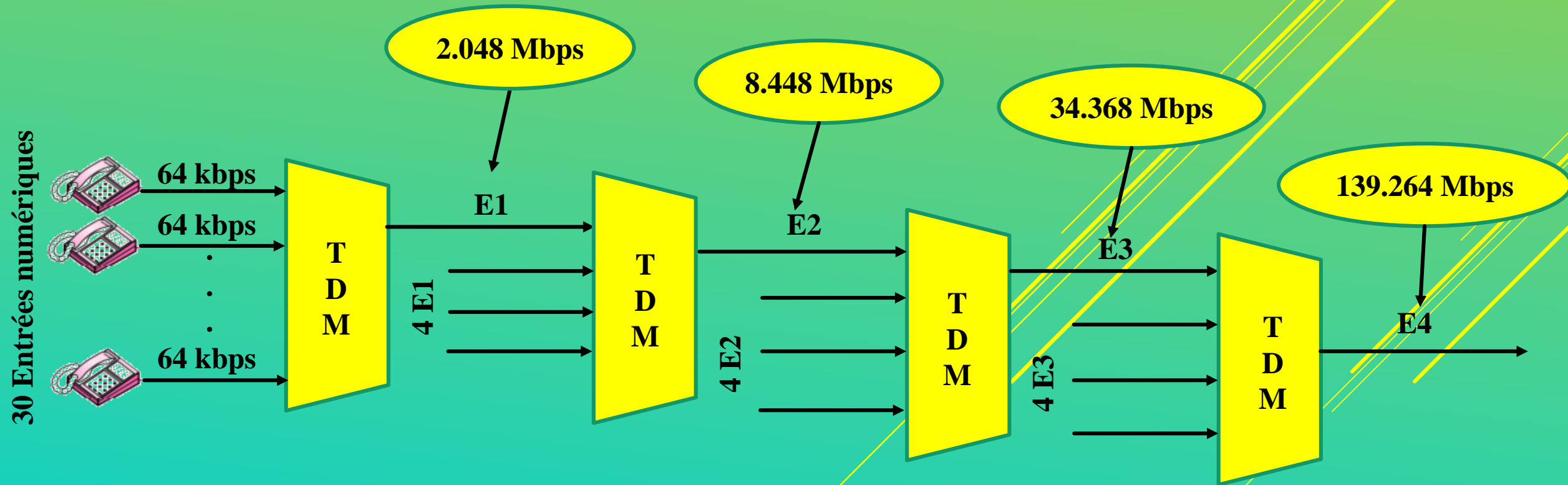
Dans les systèmes nord-américains, pour la synchronisation, un bit est ajouté au début de chaque trame :





# Time Division Multiplexing TDM

Dans les systèmes internationaux (ITU-T), au début de toutes 15 slots, une slot de synchronisation est ajoutée avec la même longueur que les slots.



# Time Division Multiplexing TDM

La technique de multiplexage TDM a des avantages suivants :

- Le TDM peut prendre en charge un grand nombre de signaux sur un seul canal de communication, ce qui le rend idéal pour les applications où de nombreux signaux doivent être transmis.
- Le TDM sépare les utilisateurs en fonction du temps et garantit qu'il n'y aura aucune interférence due à la transmission simultanée.
- Le signal est transmis en utilisant la bande passante maximale du canal.
- Les systèmes TDM ne nécessitent pas de signal porteur comme les systèmes FDM, ce qui signifie qu'ils peuvent partager une seule fréquence porteuse avec plusieurs utilisateurs.

Cependant, la technique de multiplexage TDM a des inconvénients suivants :

- Il nécessite une synchronisation du signal entre l'émetteur et le récepteur pour éliminer les slots indésirables et extraire les messages.
- Un slot fixe est alloué à chaque station, et dans le cas où cette station n'a aucune donnée à envoyer, les autres stations doivent attendre la fin du slot de la station vide pour envoyer leurs données.

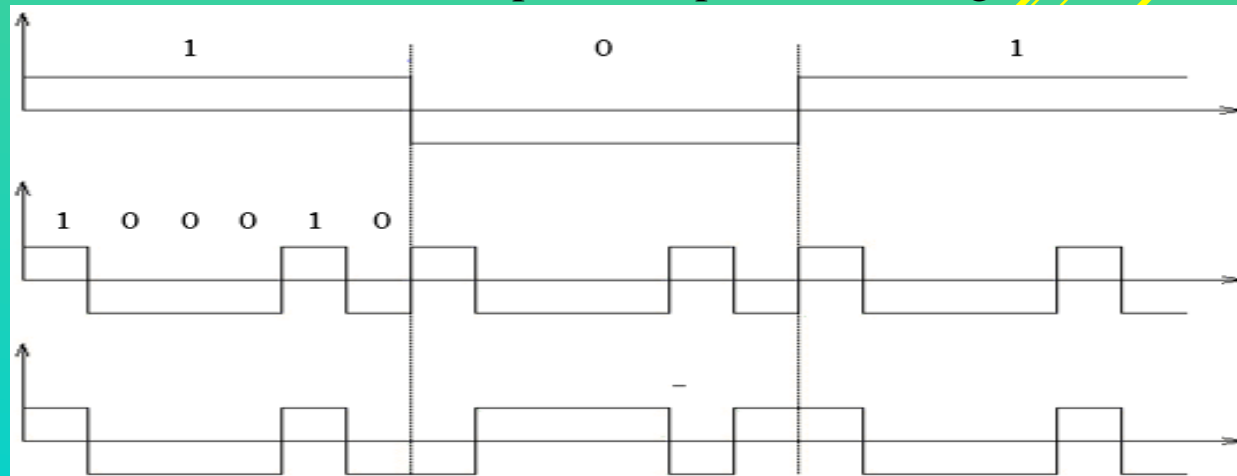
# Code Division Multiple Access CDMA

Le système CDMA est très différent du multiplexage temporel et fréquentiel. Dans ce système, un utilisateur a accès à toute la bande passante pendant toute la durée.

Cela se fait en utilisant différents codes pour distinguer les différents utilisateurs. En plus, ces codes permettent de sécuriser les données.

Les techniques généralement utilisées sont la modulation à spectre étalé par séquence directe (DS-CDMA), où un signal est généré à l'aide d'un code appelé code d'étalement.

Dans ce système, le signal transmis est étalé à partir d'un code indépendant du message d'information. En décodage, le récepteur doit utiliser ce même code pour récupérer le message.



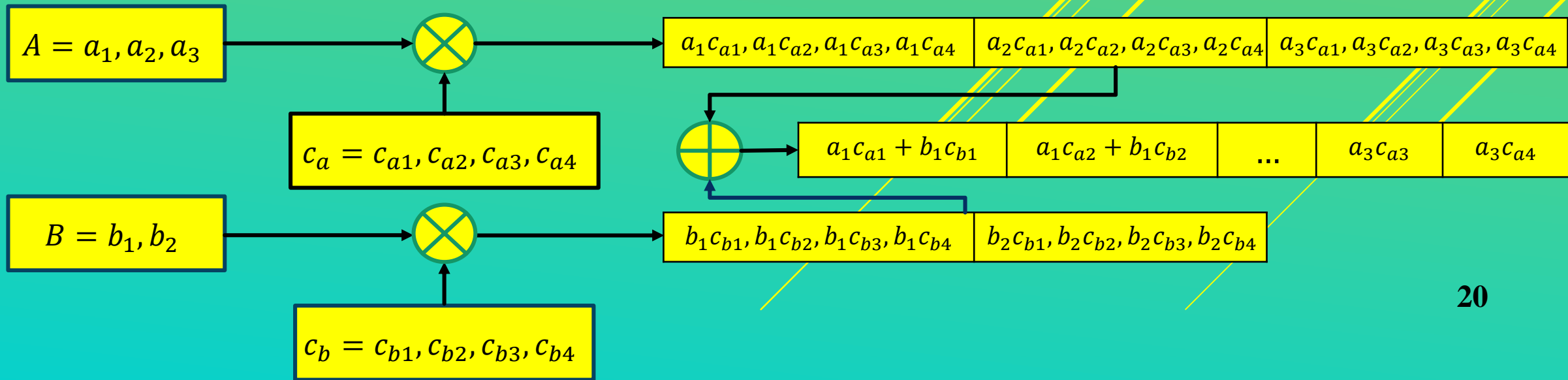
# Code Division Multiple Access CDMA

Dans le multiplexage CDMA, les utilisateurs doivent avoir des codes différents entre eux, et ces codes sont orthogonaux les uns aux autres pour permettre la récupération des messages.

Deux codes  $c_1$  et  $c_2$  sont orthogonaux si :

$$\sum c_{1i} \times c_{2i} = 0$$

Dans le démultiplexage, le signal reçu est multiplié par le code, puis divisé par la longueur du code pour obtenir le message.



# Code Division Multiple Access CDMA

Plusieurs méthodes sont utilisées pour générer les codes (appelées séquence d'étalement) :

- Les codes numériques pseudo-aléatoires (code PN) peuvent être générés très facilement à l'aide d'une équation ou d'un schéma déterministe. L'avantage des codes PN est que si le code PN est décalé dans le temps, ils deviennent alors orthogonaux et peuvent être utilisés dans un système CDMA. Les codes Glod sont la technique la plus utilisée qui basée sur le LFSR.
- Les codes de Walsh sont la technique la plus utilisée dans le multiplexage CDMA. Ils peuvent être générés par la matrice Hadamard. Cette matrice est formée de 1 et -1 dont les lignes et colonnes sont orthogonales.

La matrice Hadamard de degré 2 est égale à :  $H_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$  et pour le cas générale :  $H_{2^n} = \begin{pmatrix} H_{2^{n-1}} & H_{2^{n-1}} \\ H_{2^{n-1}} & -H_{2^{n-1}} \end{pmatrix}$

Les séquences d'étalement dans les codes de Walsh sont soit les lignes de la matrice Hadamard, soit ses colonnes.

# Code Division Multiple Access CDMA

La technique de multiplexage CDMA a des avantages suivants :

- Le CDMA prend en charge beaucoup plus d'utilisateurs que le TDMA ou le FDMA..
- Impossible pour les hackers de déchiffrer le code envoyé sans connaître les codes.
- Le signal est transmis en utilisant la bande passante maximale du canal.
- Le signal à transmettre se propage sur la large bande passante grâce aux codes d'étalement qui rendent le signal robuste contre l'évanouissement et les environnements bruyants.

Cependant, la technique de multiplexage TDM a des inconvénients suivants :

- Une synchronisation précise du code est nécessaire pour récupérer le signal d'origine.
- Le temps d'envoi et de réception du signal est plus long que les autres systèmes.
- Le système CDMA est plus compliqué que les autres systèmes.