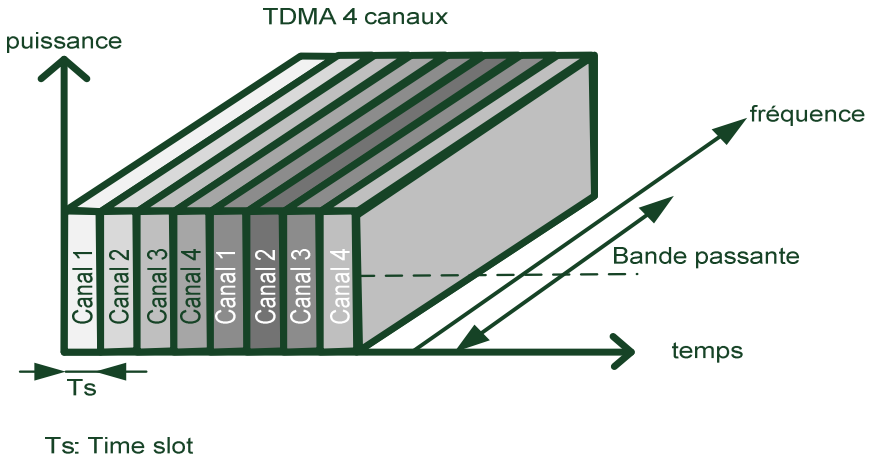
5.2) Le multiplexage temporel (TDMA : Time Division Multiple Acces)

Le TDMA permet de travailler à plusieurs émetteurs sur la même fréquence. Chaque émetteur émet successivement son signal et nécessite une bonne gestion des périodes d'émission.
Ce type de multiplexage est utilisé depuis longtemps sous une forme rudimentaire dans des systèmes simples comme les talkies-walkies où on appuie sur le bouton pour émettre et on relâche pour recevoir.
Le multiplexage temporel est beaucoup utilisé aujourd'hui dans les communications numériques (téléphone numérique d'intérieur DECT, téléphone portable GSM ...) conjointement avec des techniques de compression de débit.



Ts: Time slot

L'inconvénient majeur de cette méthode est la nécessité d'une horloge commune à tous les utilisateurs qui peut poser des problèmes de synchronisation. Associée au FDMA, cette méthode d'accès est utilisée pour la téléphonie mobile GSM.

a) *Exemple 1 : Le réseau GSM*

On va diviser temporellement la trame d'information qui transite sur chacune des fréquences porteuses afin de placer plusieurs téléphones mobiles.
Sur un même canal de fréquence, chaque portable dispose d'un intervalle de temps de 577µs, toutes les 4.61ms, pour émettre.

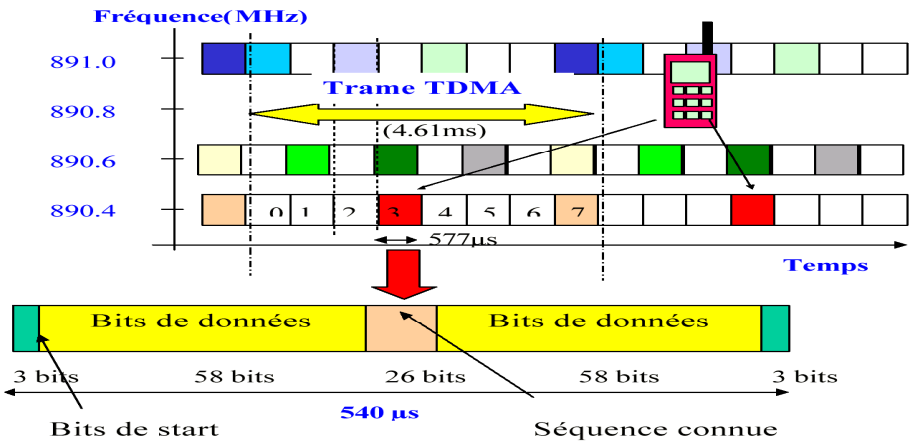
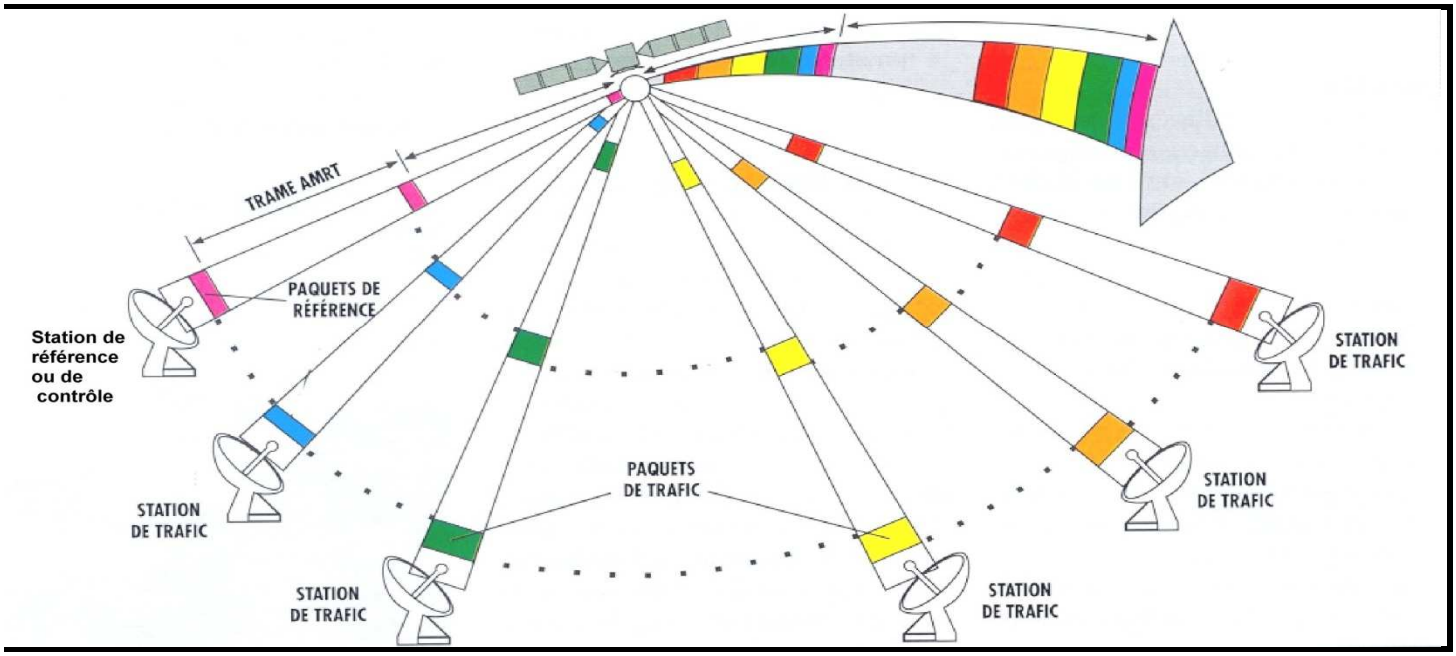


Figure 6: Multiplexage temporel permettant à 8 utilisateurs de partager un même canal de fréquences

b) ***Exemple 2 :***

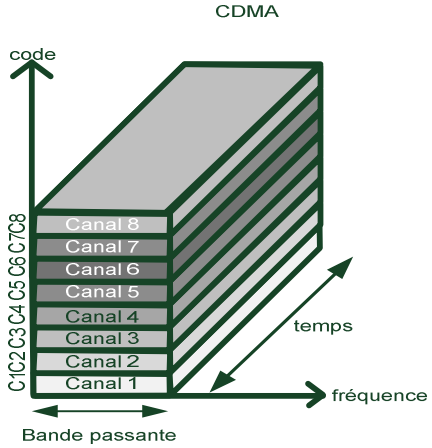
l'avantage est de pouvoir **optimiser l'occupation du spectre** en contrôlant le nombre de paquets que doit envoyer chaque utilisateur, en lui attribuant ou rimant des intervalles de temps selon ses besoins. Le nombre de porteuses utilisant la bande du répéteur est donc réduit ce qui limite les problèmes d'inter modulation. Le répéteur fonctionne également à saturation. Le problème essentiel est le partage par tous de la **même horloge de référence** pour émettre et s'interrompre dans la bonne fenêtre temporelle, et ne pas "parler" en même temps que les autres. Cette difficulté est levée en principe par la mise en place d'une station de référence qui fournit à tout le monde le "top" de référence. En outre, la synchronisation entre émetteur et récepteur **impose pour chaque burst des séquences de synchro** qui **consomment de la bande passante et réduisent le débit utile**. Une station de contrôle effectue de la gestion dynamique de trame et alloue une tranche aux stations qui en font la demande et selon leur besoin.



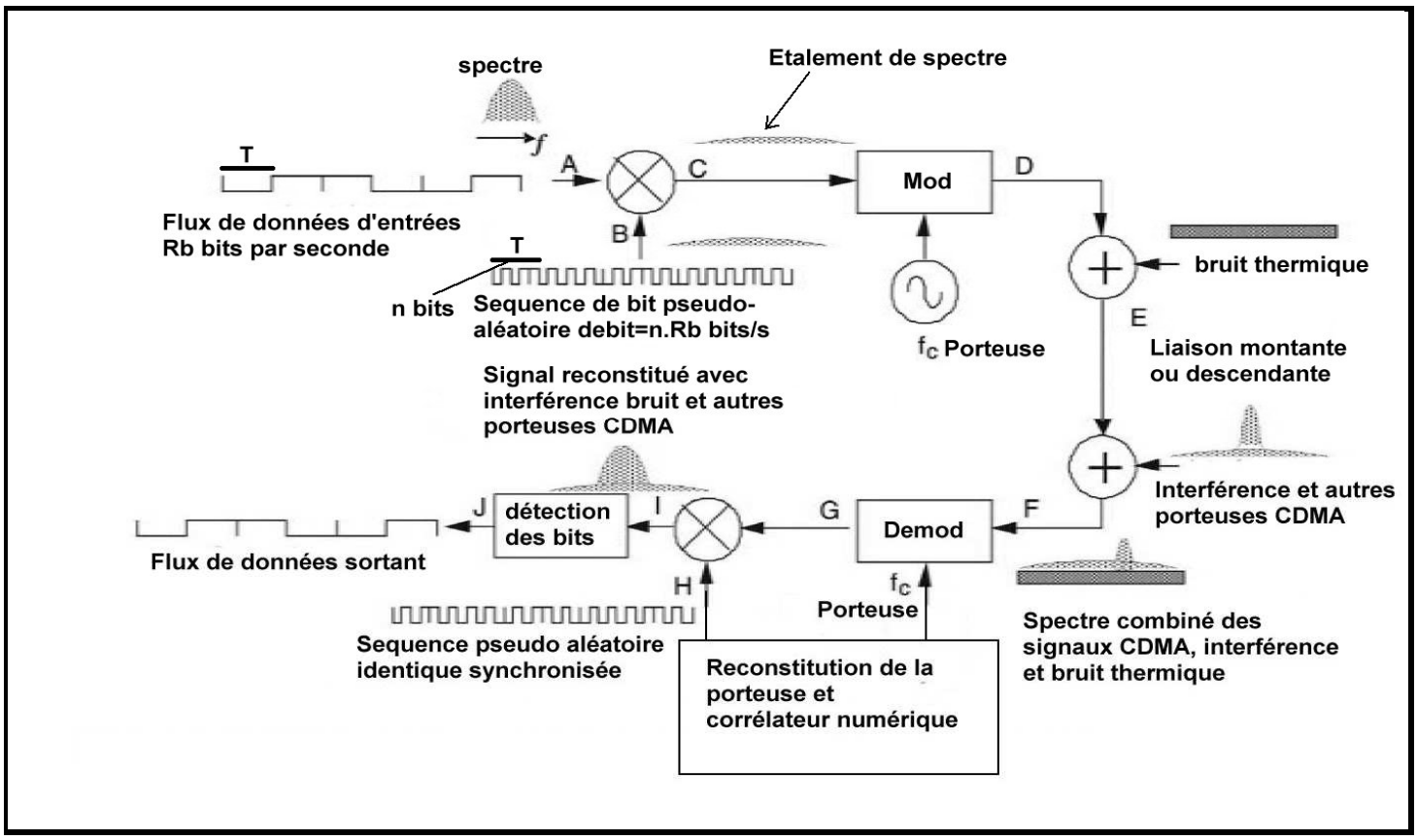
5.3) Le multiplexage par code (CDMA : Code Division Multiple Acces)

a) Principe

La CDMA permet à plusieurs utilisateurs ou canaux de travailler simultanément sur la même bande de fréquence. La bande disponible (typiquement de 1,23 MHz dans les téléphones portables US) est partagée et à l'intérieur de cette bande plusieurs utilisateurs ou canaux peuvent travailler simultanément.



Le signal du canal à transmettre est mélangé à un code binaire au débit beaucoup plus rapide, ce qui donne une émission à spectre relativement large. A chaque émission ou canal est associé un code différent, ce qui permet à la réception de récupérer le signal à condition de connaître le code utilisé à l'émission. Il est ainsi possible actuellement de faire travailler jusqu'à 64 utilisateurs ou canaux différents simultanément sur la bande de fréquence.



L'inconvénient réside dans le fait que la corrélation de l'information avec le code induit une certaine redondance de l'information et donc diminue le débit réel, c'est pourquoi la bande utilisée est beaucoup plus large que la bande nécessaire. Par contre, la décorrélation lors de la réception permet de récupérer l'information même si elle est fortement bruitée. Cela permet d'émettre avec des puissances plus faibles, noyant ainsi l'information dans le bruit et rendant le système moins perturbateur. Grâce au code, cette méthode est sécurisée.

b) Le code d'étalement

Chaque utilisateur possède un code différent pour que le récepteur puisse reconnaisse l'information qui lui est envoyé. Pour dissocier un utilisateur d'un autre il faut absolument que les codes soient orthogonaux entre eux.
On parle de l'OVSF (*Orthogonal Variable Spreading Factor*). C'est un ensemble de codes orthogonaux générés à partir d'une structure en arbre.
Le choix des codes d'étalement est directement influencé par leurs propriétés de corrélation, et par leurs propriétés d'autocorrélation et d'intercorrélation :

_ L'autocorrélation est une mesure de la correspondance entre un code et une version décalée de celui-ci.

$$Rxx = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \times x(t-\tau) d\tau$$

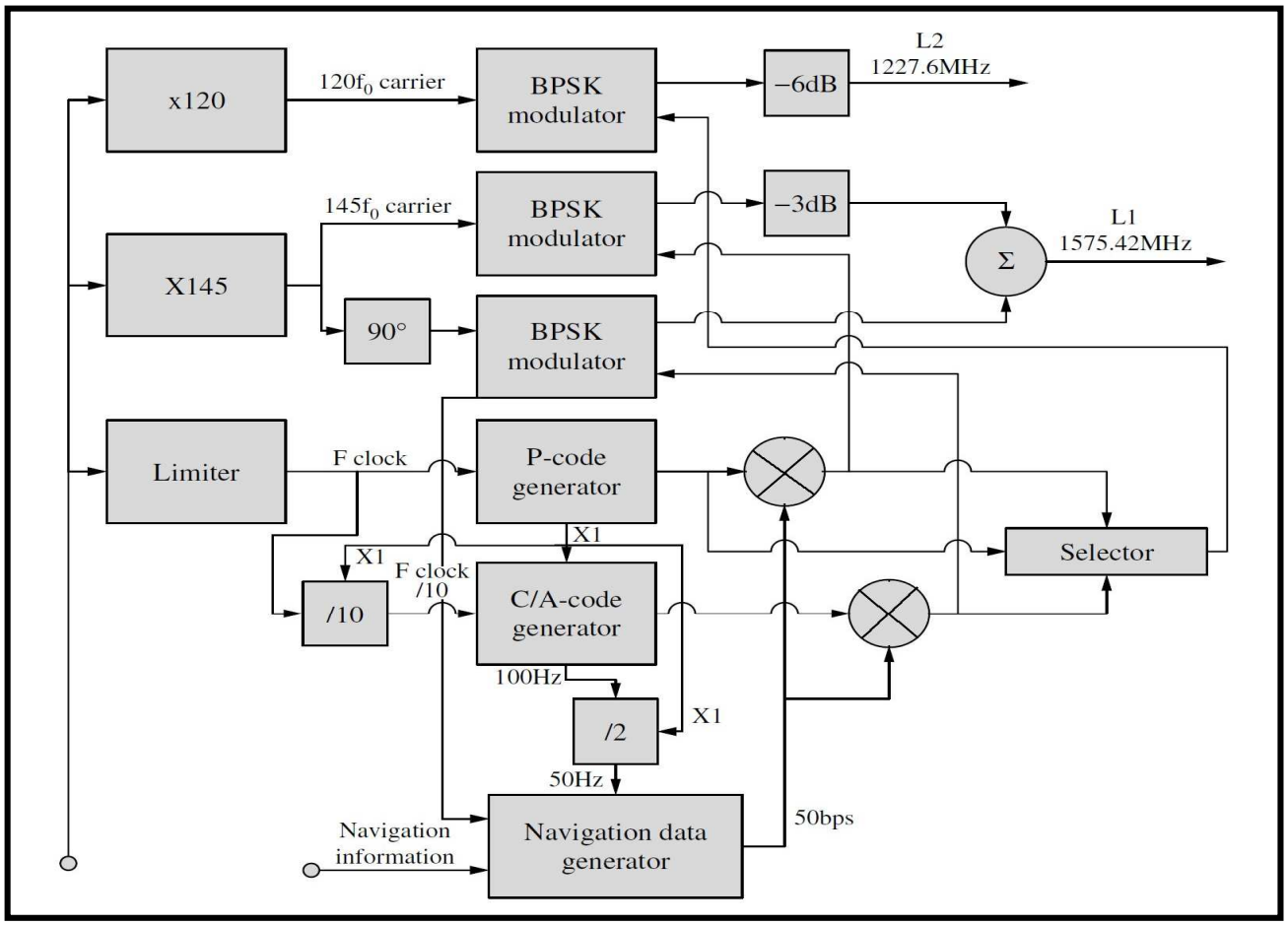
_ L'intercorrélation représente le degré de correspondance entre deux codes différents.

$$Rxy = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \times y(t-\tau)d\tau$$

Si la fonction d'intercorrélation entre deux codes différents C_i et C_j satisfait $RC_iC_j=0$, on dit que les codes sont orthogonaux.
Si les codes ne sont pas complètement orthogonaux, un « résidu » d'intercorrelation apparaît entre le code utilisateur qui nous intéresse et ceux des autres utilisateurs dans la cellule. Ces « résidus » sont des interférences nommées « interférence d'accès multiple » ou en anglais des MAI (*Multiple Access Interference*). Les codes utilisés pour effectuer le processus d'étalement sont de deux types : code de Walsh- Hadamard ou « orthogonaux » et codes « pseudo-aléatoires ».

c) ***Exemple d'un émetteur GPS***

Le code pseudo aléatoire C/A est le code civil, Le code pseudo aléatoire P est le code militaire



Les avantages de la CDMA sont :

- Une Intégration de nouveaux usagers aisée, il suffit d'y attribuer un code,
- Protection contre les brouilleurs à bande étroite

- Discrétion car la densité spectrale du signal est faible.

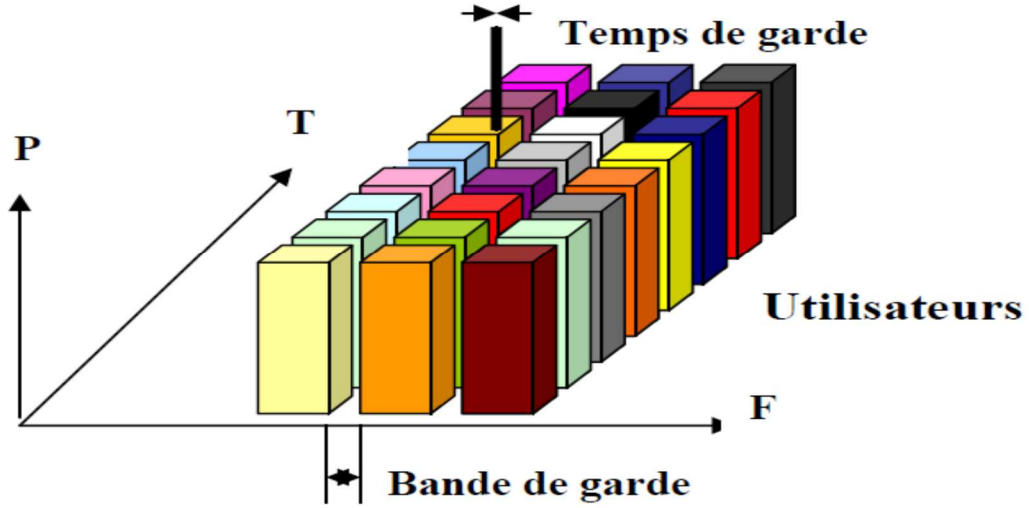
Les Inconvénients de la CDMA sont :

- Pour être efficace le codage doit être rapide, aléatoire et long (longueur de la séquence)
  ➡ Synchronisation précise en réception (quelques nano seconde)
- Complexité de la synchronisation et du matériel.
- Bruit d'intermodulation important du fait de la richesse spectrale

5.4) La combinaison de ces multiplexages

a) La F/TDMA combinaison entre FDMA et TDMA

Les deux techniques sont souvent combinées pour optimiser la capacité d'utilisation du répéteur.
La bande totale est partagée en plusieurs sous bandes Ni (FDMA) pour Xi stations.
L'accès à une sous bande pour Xi stations se fait par multiplexage temporel (TDMA)



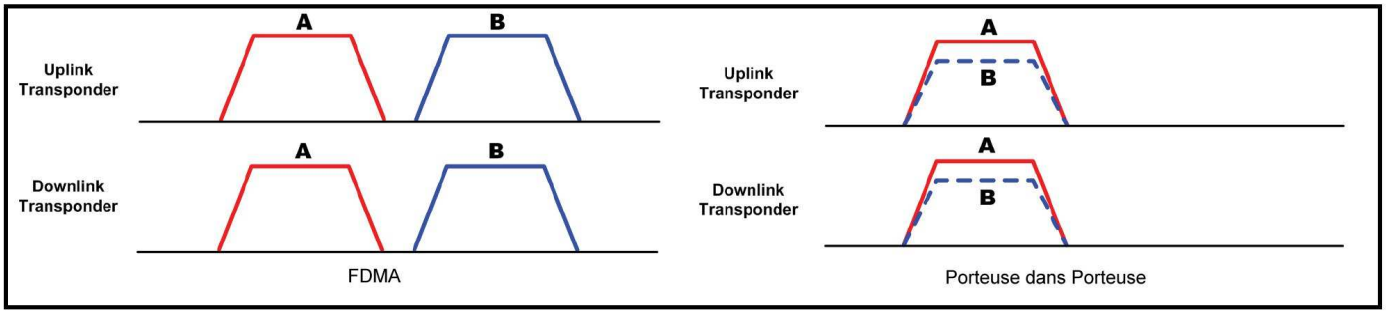
b) Exemple le système

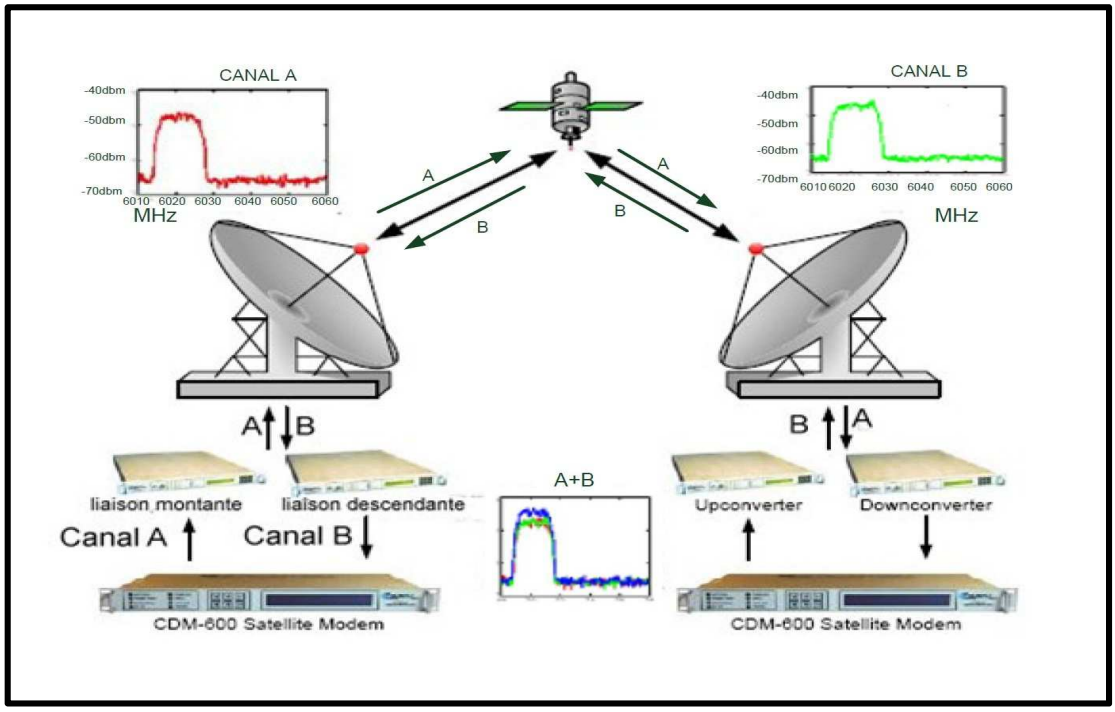
Dans les systèmes de télécommunication, on peut associer ces différentes techniques de partage de l'information aux différents canaux :

5.5) La technique de multiplexage : Porteuse dans Porteuse

a) Concept

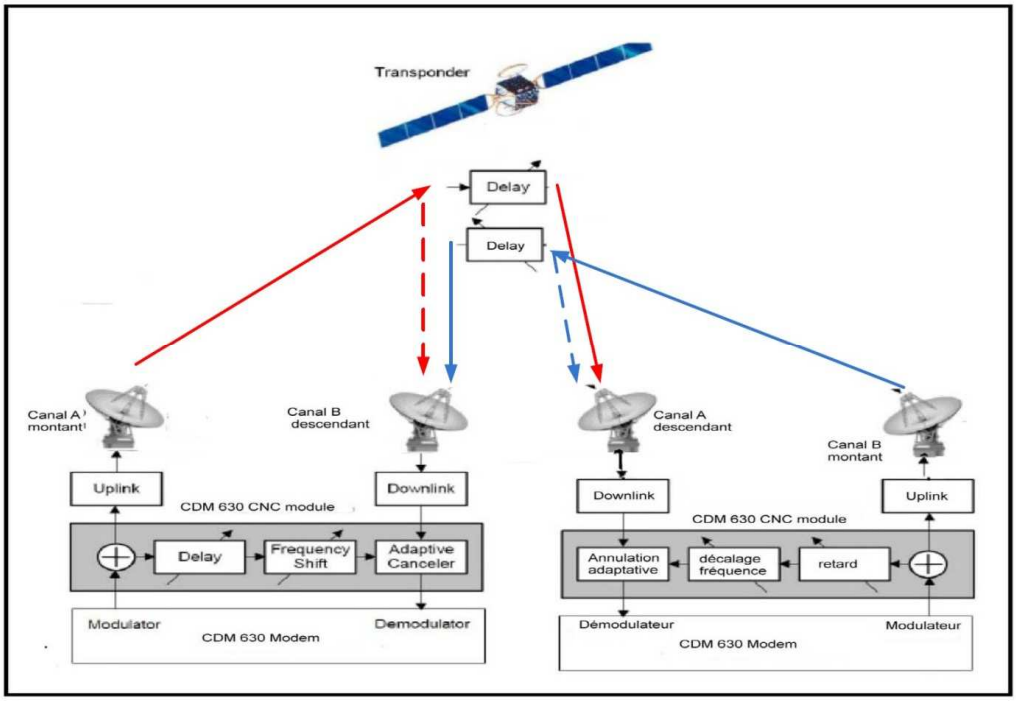
Le CDM-630 option DoubleTalk Carrier-en-Carrier utilise un algorithme de traitement de signal mis au point par Applied Signal Technology, Inc qui permet en même temps à deux porteuses aller et retour de partager le même segment de bande passante du répéteur, en utilisant la technique de suppression adaptative.





b) Principe

Le répéteur descend un signal composite contenant à la fois les deux porteuses celle qui a été envoyé (loopback boucle de retour) et celle de l'autre canal. la porteuse interférente est supprimée par le CDM-625 en utilisant une version retardée de la porteuse transmise pour l'annuler adaptativement à partir de la réception du signal composite. La porteuse désirée qui reste après le processus d'annulation est remise au démodulateur et le décode pour récupérer les données.



La seule réserve à cet égard est que la forme d'onde doit être "suffisamment aléatoire". Parce que l'acquisition de l'offset du retard et de la fréquence de la porteuse interférente est fondamentalement une opération de corrélation, tout déterminisme de la porteuse interférente (au sein de la fenêtre de corrélation de l'algorithme) sont susceptibles de produire des faux pics de corrélation et des résultats incorrects de retards et / ou de fréquence. Normalement, ce n'est pas un problème, car les techniques de dispersion d'énergie sont utilisées dans la grande majorité des modems commerciaux et militaires. Toutefois, il est quelque chose qui faut garder à l'esprit lors du dépannage d'un système qui utilise la DoubleTalk ® Carrier-en - Carrier ® technique de suppression de signal. Une façon d'atténuer les pics de faux est de réduire la fenêtre de corrélation. Par exemple, si vous savez que le retard est de l'ordre de 240ms, réglez le délai minimum de recherche de 230ms et le délai maximum de recherche à 250 ms.
La Mesure de la qualité de la réception est donnée par le ratio CNC, plus ce paramètre est faible meilleur est la qualité de la réception.

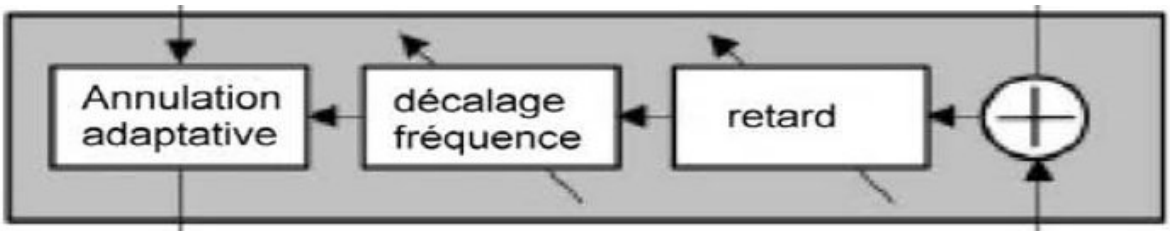
Ratio CNC = densité spectrale de puissance interférente – densité spectrale de puissance de la porteuse désirée + 10 log (débit symbole interférente / débit symbole désirée) dB

c) Les Contraintes et limites du système

• le lien doit être **en full duplex**.
• Le CDM-630 doit être **utilisé à chaque extrémité du lien** où la suppression de la porteuse interférente à lieu.
• **Le transpondeur est géré comme Loopback**. Chaque extrémité du lien doit être en mesure de voir une copie de son propre signal en retour (descendante) de la voie satellite. Le signal émission de retour est alors soustrait ce qui laisse le signal de la station distante.

• **Le transpondeur doit être transparent,** c'est à dire pas de traitement bord, démodulation, régénération ne peut être employée. Démodulation /remodulation ne préserve pas l'association linéaire entre l'aller et retour de signaux et la reconstitution résultante de l'onde empêche la récupération des signaux d'origine.

L'étage d'annulation de la porteuse interférent est donnée ci-dessous



Cette performance est obtenue grâce à des algorithmes avancés de traitement de signaux qui offrent une suppression supérieure tout en suivi de compensation pour les dépréciations des liens communs suivants :

1) **Temps de retard variable**. En plus des retards de la statique de l'électronique et temps de transit liés à la propagation vers le satellite, il ya un temps variable due au mouvement du satellite. Le module CNC suit et compense cette variation

2) **Fréquence de décalage et dérive**. Les sources sont l'effet Doppler du satellite, dérive des convertisseurs de fréquence et d'autres dérives associés à la dérive de l'électronique dans le CDM-625 lui-même. Le CNC module pistes et compense ses décalages en fréquence et ses dérives.

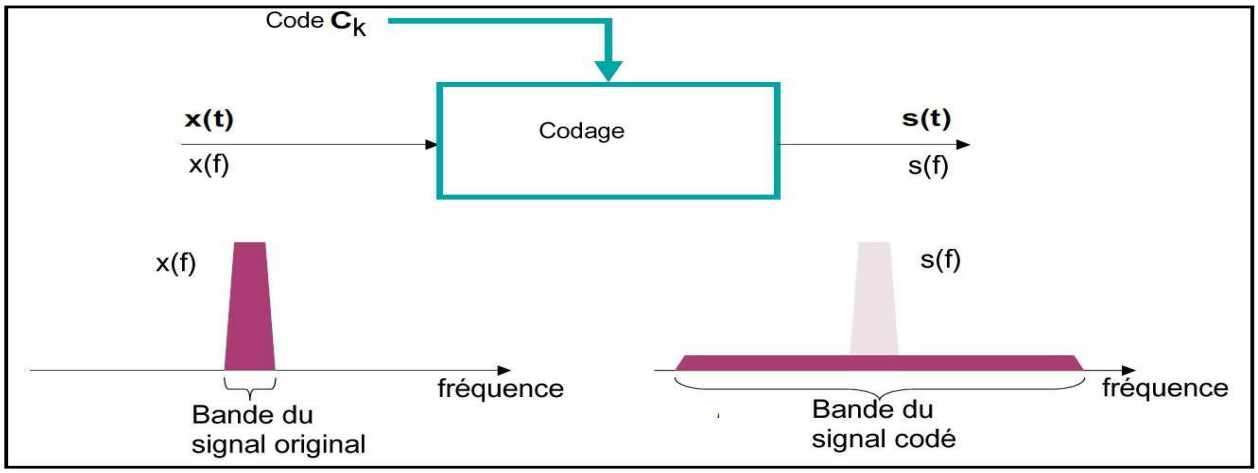
3) **effets atmosphériques**. Fading et scintillation peuvent affecter l'amplitude, la phase, et la composition spectrale du signal et le niveau avec lequel il est corrélé avec le signal original. Le CNC module pistes et compense ces altérations atmosphériques

4) **Lien Asymétriques**. Plusieurs asymétries variables dans le lien aller retour peuvent produire des différences dans la puissance relative des deux composantes du signal reçu. Ceux-ci peuvent être tant déterminés (statiques) ou aléatoires (changement de durée). Un exemple de la première serait les différences résultant de la taille de l'antenne / gain variations entre les deux extrémités de la liaison. Un exemple du dernier serait des différences de puissance passagères en raison des niveaux différents de disparition atmosphérique dans les liaisons terre-satellite. CNC compense les asymétries, jusqu'à un certain point.

6) Les techniques d'étalement de spectre

Les procédés de modulation à spectre étalé se proposent de réduire la probabilité d'interception et de brouillage d'une liaison en diminuant la densité spectrale d'énergie de manière à réaliser un signal ayant un spectre analogue à celui du bruit.

L'étalement spectral consiste à élargir la bande de fréquences normalement occupée autour de la porteuse en introduisant une modulation par un code pseudo-aléatoire en phase à l'émission et à la réception. Un récepteur connaissant le code pseudo-aléatoire peut détecter les données transmises en utilisant un dispositif de corrélation.



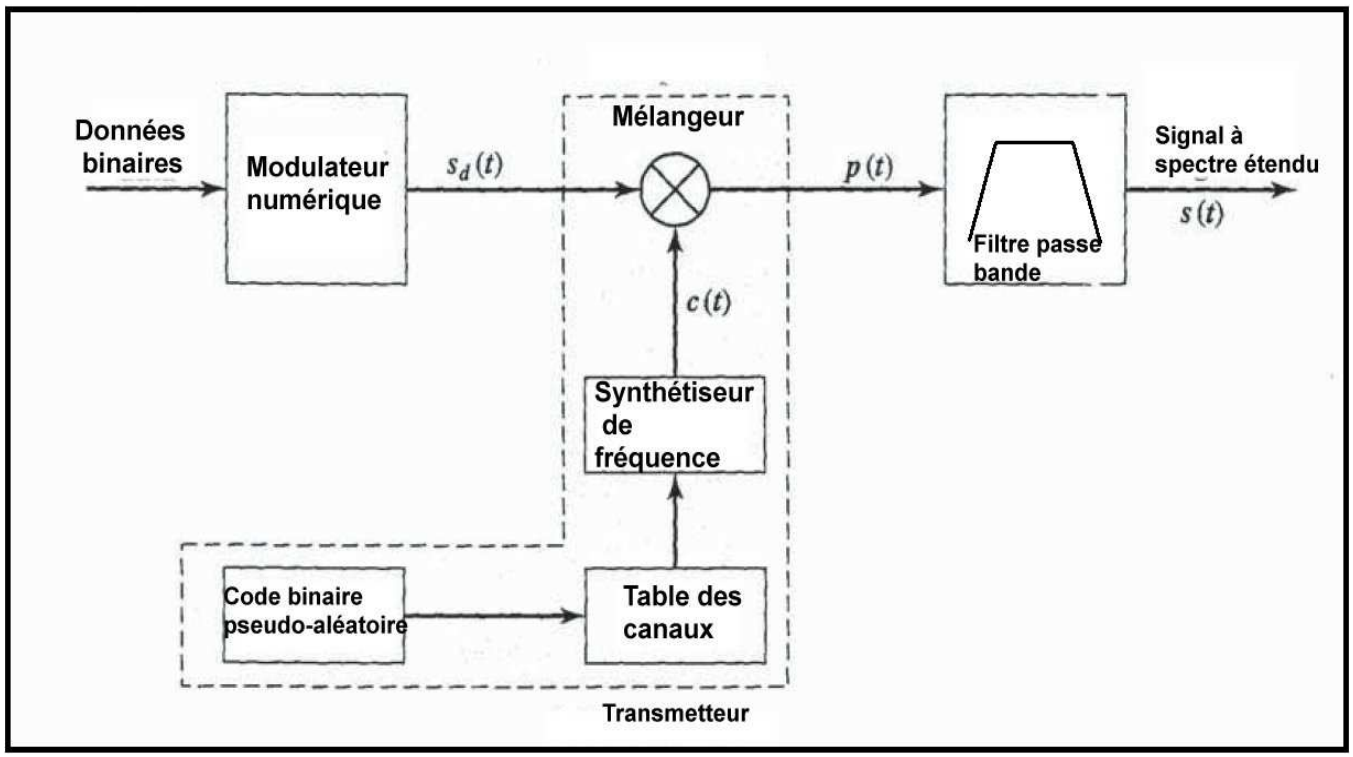
L'étalement de spectre confère différents avantages :

- *Une densité spectrale de puissance plus faible* : la puissance moyenne du signal reste la même, mais elle est étalée sur toute la bande de fréquence. Cette propriété entraîne une densité spectrale de puissance plus faible. Ainsi, les autres systèmes de communication seront moins perturbés par ce type de communication.
- *L'immunité aux interférences* : le système ne verra pas les autres signaux codés différemment et ne sera pas gêné par les signaux en bande étroite.
- *L'immunité aux effets de multitrajets* : si l'on considère que les ondes retardées arrivant sur le récepteur sont des interférences, le système ne verra pas non plus ces ondes.
- *Le caractère privé de l'information* : l'information ne pourra pas être interceptée par un utilisateur ne possédant pas le code.
- *Un adressage par code* : en donnant un code à un seul récepteur ou à un groupe de récepteurs, ils seront adressés individuellement ou par groupe vis à vis des autres utilisateurs.
- *Un risque de collision plus faible* : il ne peut y avoir collision que si deux utilisateurs utilisent le même code et parlent en même temps.
- le rapport signal sur bruit du système augmente

6.1) L'étalement de spectre par évasion de fréquence FH-SS

FH-SS Frequency-hopping spread spectrum

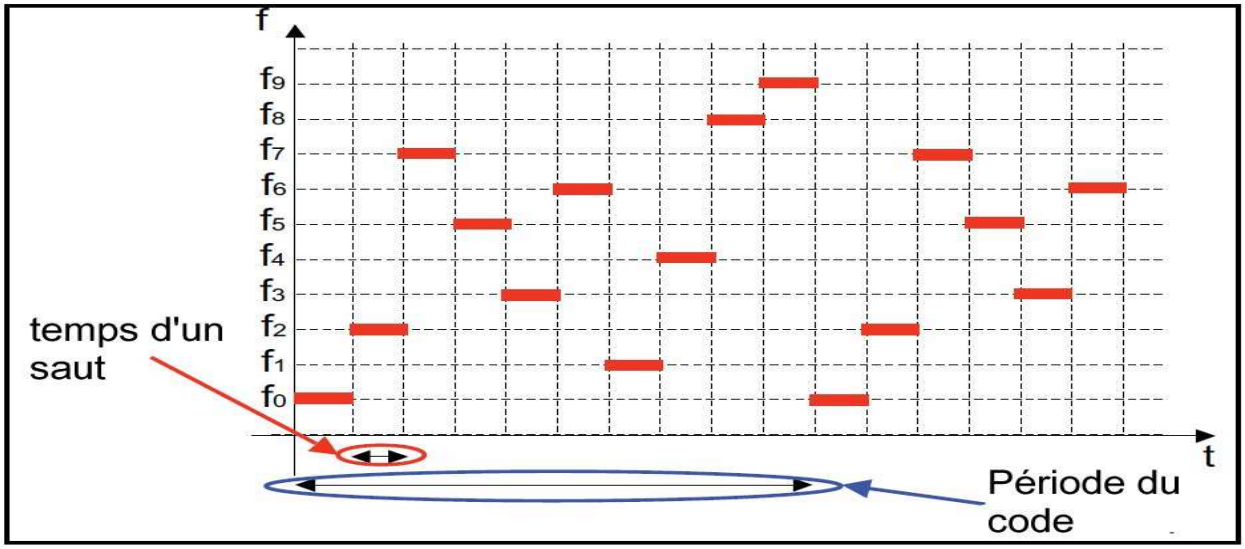
Au lieu d'étaler la bande par l'utilisation d'une séquence de chips combinées avec le message, on change la fréquence à un rythme plus élevé que celui des bits de message.



La séquence des fréquences constitue le code. La durée pendant laquelle la fréquence est maintenue (durée du chip) peut être plus courte que la durée d'un bit : fast hopping ou plus longue slow hopping.

Un exemple de l'utilisation civile du FH-SS est la norme Bluetooth.

Bluetooth permet la transmission d'information aux débits élevés pour de petites distances dans l'intervalle de fréquence autour de 2,4 GHz sans licences.



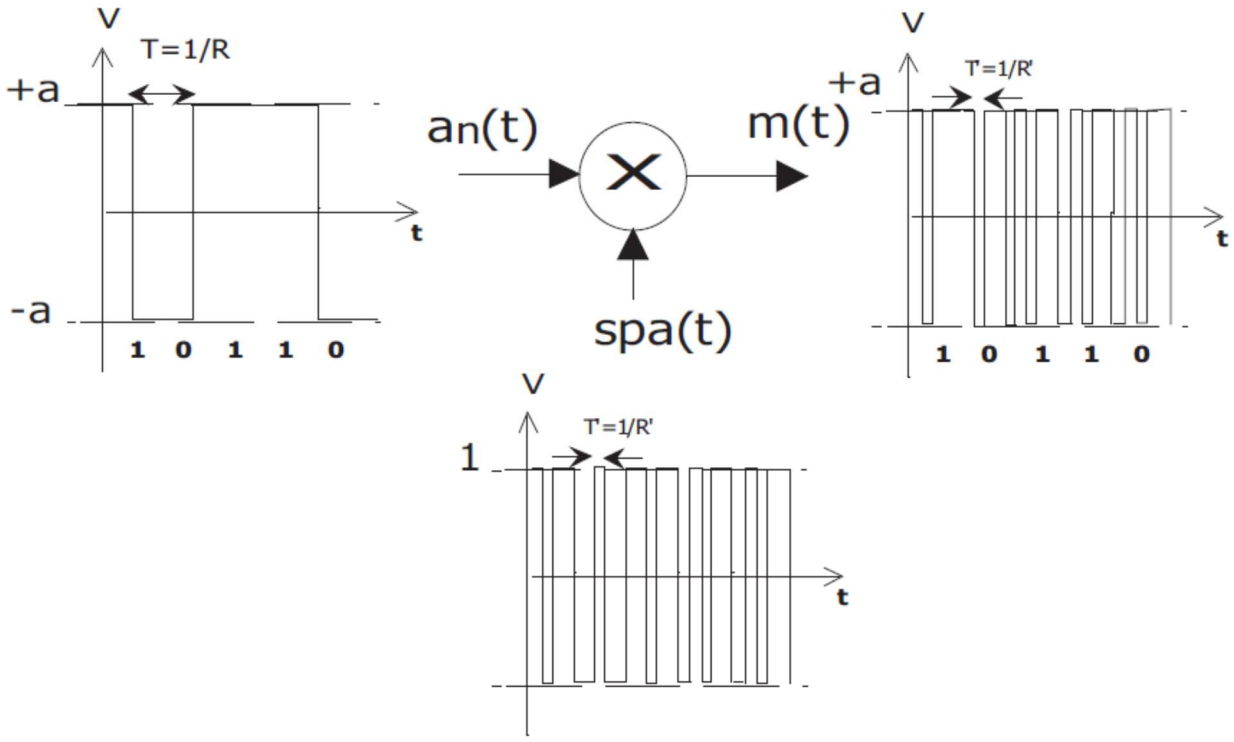
Dans la liaison

6.2) L'étalement de spectre par la *séquence directe (DS-SS)*

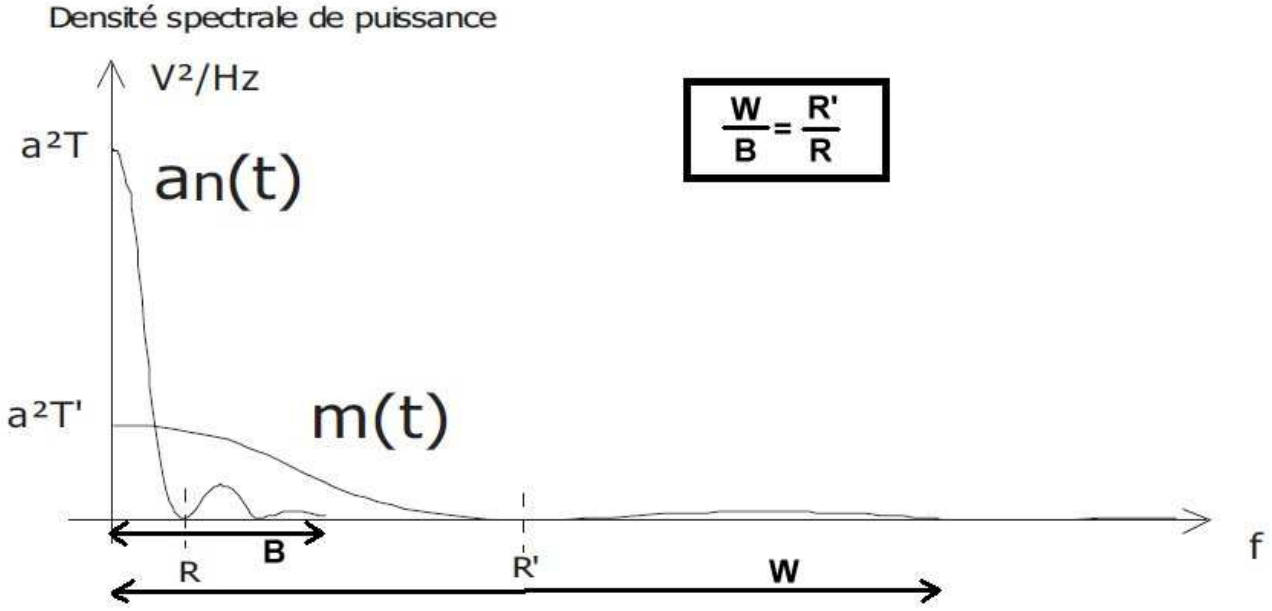
Le principe en DS-SS consiste à remplacer chaque bit 1 par une séquence-code à M 'chips' et chaque bit '0' par la séquence complémentaire. Ces séquences-codes sont judicieusement choisies pour leurs propriétés mathématiques. Comme le signal obtenu contient beaucoup plus de transitions (changement de chip) que le signal-message original, la bande spectrale est élargie dans un rapport égal au nombre de chips.
On obtient donc un spectre étalé en modulant le signal avec une séquence connue sous le nom de séquence pseudo aléatoire ayant une apparence de bruit, en remplacement de chaque bit de message. Le signal étalé (spectralement) doit apparaître comme du bruit, en particulier pour les autres transmissions éventuelles utilisant le même spectre étalé. Ceci permet aussi de cacher=crypter le message d'où son utilisation ancienne par les militaires. En réception on calcule la corrélation du signal avec une réplique du code émetteur (la séquence pseudo-aléatoire : pn_t for *pseudo noise)*. Cet étalement de spectre est très utilisé dans les technologies WI-FI ou la liaison 16 pour sa discrétion

L'étalement de spectre à séquence direct s'appuie sur la génération de séquences binaires pseudo-aléatoires de vitesse *R'* très élevée devant la vitesse *R* du signal numérique , supposé ici NRZ, à transmettre. Le flux binaire "lent" *an(t)* utile est alors multiplié au flux pseudo-aléatoire *spa(t)* "rapide" pour créer un signal *m(t)* rapide contenant l'information :

$$m(t) = a_n(t).spa(t)$$



Le terme de *spectre étalé* se comprend si on compare le spectre du signal d'entrée avec celui du signal de sortie. Compte-tenu de la vitesse très élevée du signal en sortie, on aboutit au spectre suivant :



Gain de codage

Quel intérêt à cette manipulation d'étalement de spectre qui, au final, consomme plus de bande passante à l'arrivée qu'au départ pour la même quantité d'information ? On peut apporter deux réponses à cette excellente question :

- Dans un premier temps, le signal gagne en "furtivité" : le pic de puissance est faible et peu élevé au dessus du plancher de bruit, et donc difficilement détectable par un éventuel intercepteur. Il devient également beaucoup moins sensible aux brouilleurs éventuels étend donné sa largeur.
- Dans un second temps, le signal gagne en résistance au bruit et donc aux erreurs de transmission. On parle alors de gain de codage, exprimé en décibels. En effet, le rapport signal sur bruit du signal étalé reçu après démodulation est de la forme

$$(\frac{S}{N})_{m(t)} = 10 \times log \frac{\frac{a^2}{Z}}{N0 \times w}$$

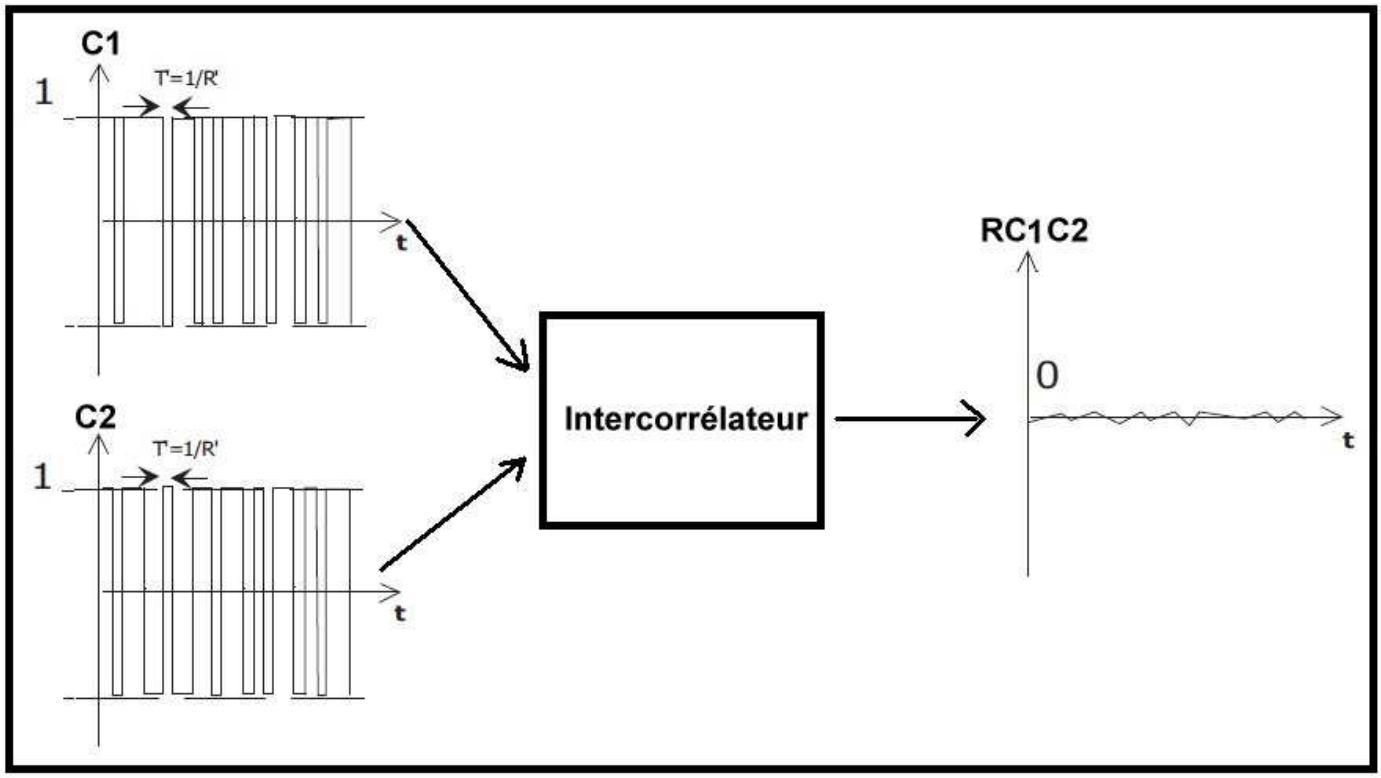
$$(\frac{S}{N})_{an(t)} = 10 \times log \frac{\frac{a^2}{Z}}{N0 \times B} = (\frac{S}{N})_{m(t)} + 10 \times log \frac{w}{B}$$

$$(G)_{gain\ de\ codage} = 10 \times log \frac{R'}{R}$$

Le taux d'erreur binaire est lié étroitement au rapport signal à bruit. Donc si la puissance est limitée à l'émission pour *an(t)* (tension *a*) et si on veut néanmoins augmenter le rapport signal sur bruit à la réception, il suffit de transmettre le message à l'aide d'un étalement de vitesse R'>R.

Capacité multiutilisateur

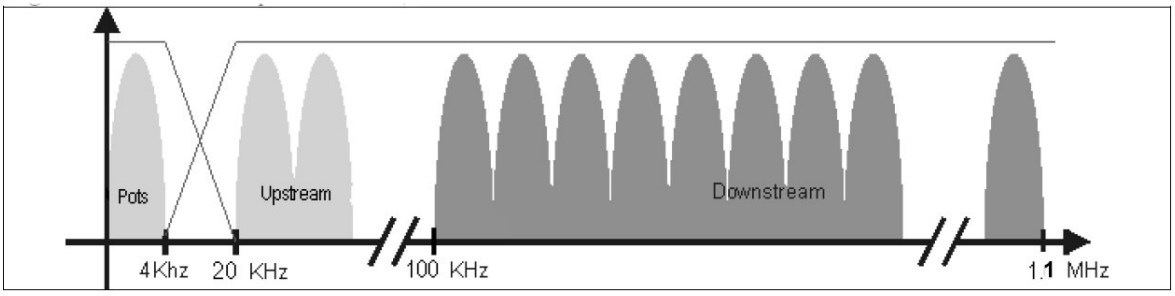
Ce qui permettra au niveau de la réception de dissocier deux utilisateurs est l'orthogonalité de leur code. Considérons deux séquences *C1* et *C2*. On dira que ces deux séquences sont orthogonales si elles sont non corrélées



Ici, le nombre d'état +1 et –1 étant équivalent entre C1 et C2 , c'est à dire équiprobable, en plus du caractère pseudo aléatoire de la séquence, la surface est nulle sur une durée assez longue.
L'inconvénient est plus le nombre d'utilisateurs est important, plus la puissance de "bruit" dont ils sont à l'origine augmente.

TD sur les techniques de partage de la bande

La technologie ADSL {Asymmetric Digital Subscriber Line (Ligne numérique d'abonné à paire Asymétrique) utilise en europe un système de modulation appelé DMT (Discrete Multi Tone). Alors que les modulations MAQ utilisaient tout le canal disponible avec une seule porteuse, la modulation DMT divise la bande passante en de multiples canaux de 4 kHz de large, placés les uns à côté des autres, jusqu'au bout de la bande passante de la paire de cuivre (1,1 MHz).
Ce système permet de faire coexister sur une même ligne un canal descendant (downstream) de haut débit, un canal montant (upstream) moyen débit ainsi qu'un canal de téléphonie appelé POTS en télécommunication qui signifie : Plain Old Telephone Service).



Les modems ADSL vont utiliser cette capacité de transmission en divisant l'espace fréquentiel en 256 canaux de 4kHz . Chaque canal va alors être capable de transférer des informations en utilisant une modulation de type MAQ d'efficacité spectrale de (0 à 15 bits par seconde par hertz) et une porteuse de fréquence FPN centrée sur le canal N. Le débit de chaque canal va s'adapter aux caractéristiques de la ligne (affaiblissement fonction de la fréquence, bruits divers) grâce à un système d'évaluation automatique des performances de chaque canal.

1. Quel est le débit binaire maximum Dbmax de la liaison pour un canal ?

2. Cette liaison est en réalité une liaison full duplex dont les caractéristiques sont les suivantes :
- Les 5 premiers canaux sont réservés au téléphone RTC ou RNIS : Pots
- Les 20 canaux suivants sont réservés dans le sens abonné-central (liaison montante)
- Les autres sont destinés à la liaison descendante.

Quelle est la borne inférieure en fréquence correspondant bande utilisée par la liaison montante?
Quelle est la borne supérieure en fréquence correspondant bande utilisée par la liaison montante?
3. Quels sont les débits binaires maximum Dbdownmax pour la liaison descendante et Dbupmax pour la liaison montante ?

4. Pour les différentes valences possibles pour les modulations MAQ (MAQ-2 à MAQ-64), effectuer un tableau récapitulatif de la valence, du nombre de bits par symboles et des débits binaires par canal.

	Valence	N	Db
QAM-64			
QAM-32			
QAM-16			
QAM-8			
QAM-4			
QAM-2			
QAM-0	0	0	0

7) Evaluation de la dégradation des débits

Ces débits importants ne sont pas réalisables pour des raisons d'affaiblissement et de bruit. Ce bruit a diverses origines (couplage, bruit radiofréquence, bruit impulsif et bruit thermique). Le bruit thermique supposé de densité spectrale de puissance constante va permettre de déterminer le rapport signal sur bruit effectif de la liaison en fonction de la distance (affaiblissement). L'affaiblissement en Av en dB sur une ligne est proportionnel à la longueur L en mètre et à la racine de la fréquence.

1. La caractérisation de la ligne de transmission à 1MHz donne un affaiblissement de 2 dB pour une longueur L de paire torsadée de 100m. Déterminer la relation Av(dB)=f(L,F).

2. Tracer sur du papier "Semi-log" les courbes AvdB(F) paramétrées par L pour F compris entre 10kHz et 1MHz (les 5 valeurs de L suivantes: 100m, 1km, 2km, 4km et 10km). Pour cela reproduire et compléter le tableau suivant. La fonction sera considérée comme linéaire entre 2 points consécutifs du tableau.

	100m	1Km	2Km	4Km	10km
10K					
100K					
1000K					

3. Pour assurer une liaison avec une modulation MAQ2 et un taux d'erreur< 10-6, il faut que le rapport signal sur bruit soit supérieur à 20 dB au niveau de la réception.
En première approximation, on peut supposer que pour doubler les points d'une constellation, il faut que le rapport signal sur bruit soit 6 dB plus grand.
La puissance moyenne de chaque porteuse de chaque canal de modulation est de 30 dBm au niveau de l'émission.
En réception, le niveau de bruit thermique est constant et vaut -26 dBm.

3.1. Quel est l'affaiblissement maximum admissible avec le taux d'erreur requis pour transmettre en MAQ2?

3.2. Hachurer sur le graphe du document 1, la zone dans laquelle on ne peut pas transmettre de signal.

3.3. A partir de la zone frontière, on peut déterminer le nombre de bit à transmettre pour chaque gamme de fréquence. Pour une liaison de 4km, estimer le débit dans le sens montant.

Etude partielle du contrôle de position du satellite ; Étude préliminaire du générateur de pseudolites.

Introduction

Afin de maintenir une bonne qualité de transmission entre le satellite et les stations au sol, les paramètres de l'orbite du satellite doivent rester constants pendant toute sa durée de vie. Pour cela il est nécessaire de mesurer régulièrement la position de celui-ci et d'effectuer les corrections de trajectoires en conséquence. La charge utile des satellites comprend donc, non seulement les équipements de télécommunication, mais aussi des systèmes de contrôle et de correction de la position orbitale.

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la position du satellite en orbite autour de la terre. Elles sont toutes fondées sur la mesure du temps qui sépare l'émission vers le satellite d'un signal spécifique, depuis une station au sol, et la réception, par la station au sol, de ce même signal après avoir été relayé par le satellite. Le temps ainsi mesuré correspond à 2 fois la distance terre satellite. La détermination exacte de la position du satellite est ensuite calculée au sol par triangulation, à partir des mesures recueillies par plusieurs stations convenablement réparties.

Dans le système que nous étudions ici, la référence de temps est obtenue par le système GPS (global positioning system). Pour cela il est nécessaire de générer des signaux codés, compatibles avec ce système, sans toutefois interférer avec les codes utilisés pour la localisation. Les signaux générés sont appelés des signaux pseudolites et seront datés par un récepteur GPS classique.

Le schéma de principe du système est représenté sur la figure 1 :

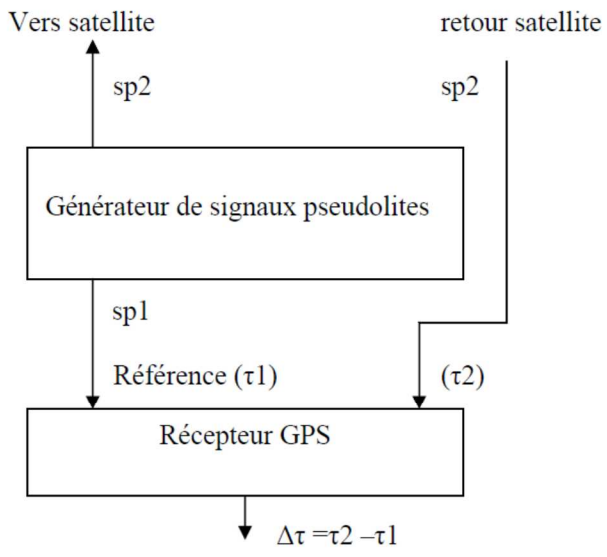


Figure 1 : principe de mesure de distance

Un générateur de signaux pseudolites fournit deux signaux synchrones, sp1 et sp2. Le signal sp1 qui sert de référence est daté ζ_1 par le récepteur GPS. Le signal sp2 est transmis vers le satellite et revient à l'instant daté ζ_2 par le récepteur.

A-1 Exprimer la distance terre satellite en fonction de ζ_1 et ζ_2