

Etude des liaisons en espace libre

Chapitre2 :

- Définition du gain et de la surface équivalente d'une antenne
- Atténuation en espace libre : équation de Friis
- Equation des télécommunications pour une liaison en espace libre
- Qualité des liaisons (Qualité d'un signal analogique, Qualité d'une liaison analogique en téléphonie)
- Les liaisons satellites-sol et applications.
- Applications à quelques services de Télécommunications.

Introduction

L'antenne permet d'établir une liaison radio depuis un émetteur vers un récepteur. En émission, elle permet de transformer le signal électrique en une onde électromagnétique. En réception, c'est l'inverse.

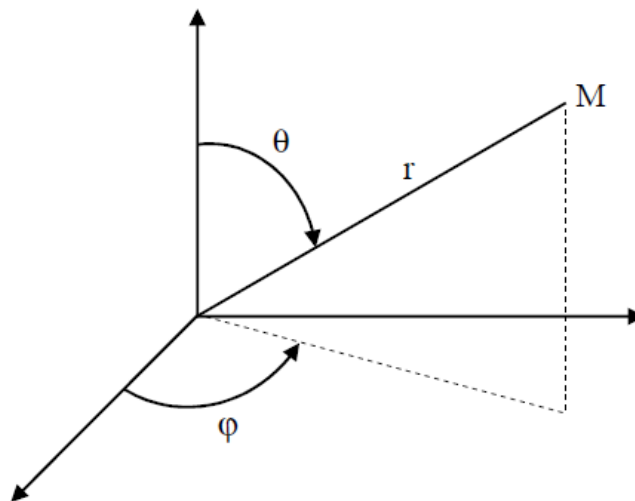
Une antenne peut être caractérisée par plusieurs paramètres fondamentaux.

Les principaux sont :

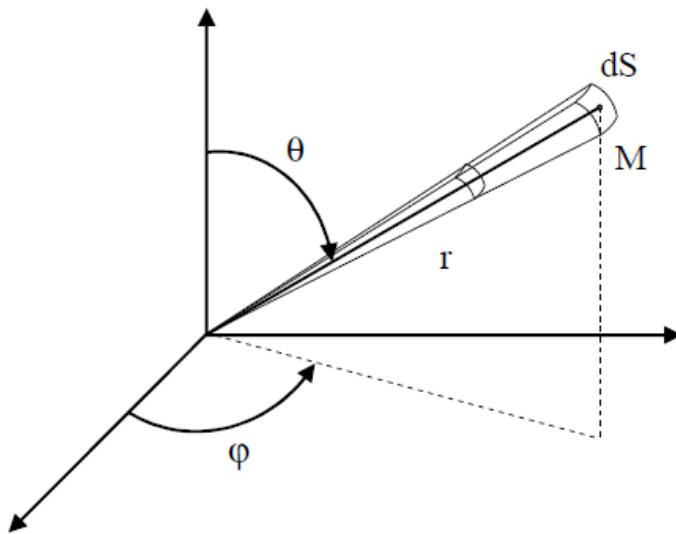
- le diagramme de rayonnement.
- la directivité.
- le gain.
- Le rendement.
- la polarisation.

Rappel sur les coordonnées sphériques et l'angle solide

Coordonnées sphériques



Angles solides



1. Définition du gain et de la surface équivalente d'une antenne

1.1. Gain d'antenne

- Le gain est la caractéristique la plus importante d'une antenne. Le Gain représente la puissance rayonnée par l'antenne dans une direction par unité d'angle solide comparée à celle d'une antenne isotrope sans perte alimentée avec la même puissance.
- Ce gain est dit absolu si l'antenne référence est isotrope, c'est à dire qu'elle rayonne uniformément dans toutes les directions.
- Le gain absolu est souvent utilisé dans le calcul d'une liaison par satellite et il est exprimé en décibels dBi.

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_A}$$

$P_{\text{alimentation}} / 4\pi$ représente la puissance rayonnée par unité d'angle solide par une antenne isotrope et sans perte.

❖ Directivité

La directivité $D(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \varphi)$ et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope

Une antenne isotrope rayonne uniformément la même densité de puissance quelque soit la direction.

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi P(\theta, \varphi) / P_R$$

❖ Gain et rendement de l'antenne

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée P_{ray} et la puissance fournie P_f à l'antenne, soit:

$$\eta = \frac{P_{ray}}{P_f}$$

Ce rapport caractérise la perte à l'intérieur de l'antenne.

Le gain est le résultat de deux effets : la directivité et la perte. Si G est le gain, alors :

$$G(\theta, \varphi) = \eta \times D(\theta, \varphi)$$

1.2. Surface équivalente

À chaque antenne, on peut associer un certain nombre de surfaces équivalents. Elles sont employées pour décrire les caractéristiques de capture de puissance de l'antenne quand une onde arrive sur elle. Parmi ces surfaces équivalentes est la surface effective (ouverture), qui dans une direction donnée est défini par le rapport de la puissance disponible sur les bornes d'une antenne de réception à la densité de puissance d'une onde plane incidente sur l'antenne de cette direction.

❖ Relation entre le Gain et surface équivalente d'une antenne

Les notions de gain et d'aire équivalente sont liées: une grande surface d'onde plane rayonnée ou captée correspondra à un gain élevé et réciproquement. En désignant par λ la longueur d'onde dans le vide, le gain est lié à l'aire équivalente S par la relation:

$$G = \frac{4\pi S}{\lambda^2}$$

Une même antenne peut être utilisée à l'émission ou à la réception, il doit donc y avoir une relation entre le gain G et la surface S , qui caractérise respectivement son fonctionnement à l'émission et à la réception.

2. Atténuation en espace libre: équation de FRIIS

La diffusion se produit quand le signal RF s'élargit naturellement à la sortie de l'antenne, ce qui engendre une diminution d'amplitude et une baisse de puissance au fur et à mesure de l'éloignement de l'antenne indépendamment de l'atténuation causée par les obstacles, l'absorption, la réflexion, la diffraction, etc....

Ce comportement est connu sous le nom de « Free Space Path Loss » (FSPL), parfois appelé « Beam Divergence », ce qui est le facteur de perte le plus important dans une liaison RF.

FSPL se calcule à l'aide de la formule de Friis.

L'antenne réceptrice est seulement capable de recevoir une petite quantité du signal transmis du fait de la propagation dans l'air.

Tout signal qui n'est pas reçu par l'équipement est considéré comme perdu.

La perte de puissance n'est pas linéaire mais logarithmique.



Equation de Friis

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

- P_t est la puissance en watts (W) délivrée à l'antenne d'émission (pertes d'adaptation et rendement non compris)
- P_r est la puissance en watts (W) délivrée par l'antenne de réception
- G_t est le gain linéaire de l'antenne d'émission
- G_r est le gain linéaire de l'antenne de réception
- λ est la longueur d'onde en mètres (m) correspondant à la fréquence de travail
- d est la distance en mètres (m) séparant les deux antennes

Valable seulement pour en vue direct (espace libre, ou Line of Sight = LOS)

Equation de Friis en dBm, dBi, et dB.

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 10 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Le dernier terme est le « Line Of Sight free space loss » ou perte en espace libre.

Pour évaluer l'affaiblissement en espace libre en fonction de la longueur d'onde, on utilise la formule suivante, déduite de la formule de Friis, qui est plus générale :

$$A = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Avec :

- A : l'affaiblissement en espace libre en dB
- d : la distance entre l'émetteur et le récepteur en mètres
- λ : la longueur d'onde du signal en mètres

Pour évaluer l'affaiblissement en espace libre en fonction de la fréquence, on utilise la formule suivante :

$$\begin{aligned} A_{dB} &= 2 * 10 \log \left(\frac{4\pi * (d * 10^3) * (f * 10^6)}{c} \right) \\ &= 20 \log \left(\frac{4\pi * (10^9)}{c} \right) + 20 \log(f) + 20 \log(d) \\ &= 32,45 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \end{aligned}$$

$$A_{dB} = 32.45 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

Avec :

- A , l'affaiblissement en espace libre en dB
- d , la distance entre l'émetteur et le récepteur en kilomètres
- f , la fréquence du signal radio en MHz

Différents environnements

La formule de Friis ne peut pas être utilisée tel quel dans les cas où il y a des obstacles ou des environnements complexes.

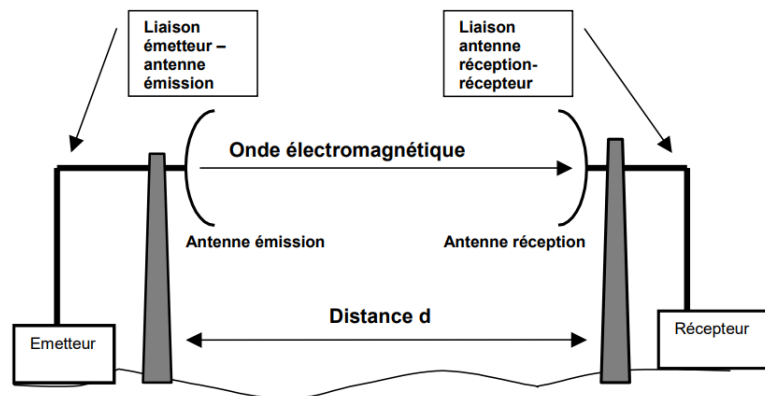
Des modifications sont ont été introduites se basant sur des résultats empiriques et théoriques.

3. Equation des télécommunications pour une liaison en espace libre

L'équation de télécoms nous permet de calculer la puissance reçue au niveau de l'antenne de réception.

3.1. Schéma de principe d'une liaison hertzienne

Le schéma de principe d'une liaison hertzienne est dans le cas général le suivant :



Emetteur : Il est caractérisé par sa puissance émise P_e , exprimée en dB_m ou dB_W .

Liaison émetteur- antenne émission : elle est généralement réalisée en câble coaxial.

A plus haute fréquence ($>$ quelques GHz), elle peut être réalisée en guide d'onde. Elle est caractérisée par son atténuation L_e , exprimée en dB. Dans les petits systèmes, où tout est intégré (WiFi, téléphone mobile, etc..) cette liaison n'existe pas ($L_e = 0\text{dB}$)

Antenne émission : Elle est caractérisée par son Gain d'antenne G_e , exprimé en dB.

Distance d : c'est la distance entre l'émetteur et le récepteur, cette distance introduit une atténuation A_{el} (pour atténuation en espace libre en dB) donné par : $A = 20 \log \frac{4\pi d}{\lambda}$.

Liaison antenne réception- récepteur : comme la liaison émetteur-antenne émission, la liaison antenne réception-récepteur est caractérisée par l'atténuation L_r , en dB.

Antenne réception : Elle est caractérisée par son gain d'antenne G_r , exprimé en dB.

Récepteur : Il est caractérisé par la puissance reçue P_r exprimée en dB_m ou dB_W .

Remarque: L_e et L_r sont nuls si l'émetteur et le récepteur sont reliés directement à leurs antennes.

Expression de la puissance reçue :

$$P_r = P_e - L_e + G_e - A_{el} + G_r - L_r$$

3.2. Equation des télécommunications (Expression de la puissance reçue démonstration)

Dans un espace homogène assimilable au vide, l'énergie rayonnée par une source radioélectrique isotrope se propage à la vitesse de la lumière et se répartit uniformément à la surface d'une sphère dont le rayon augmente avec le temps.

Soit:

- E la source de rayonnement isotrope.
- P_e la puissance (en watts) rayonnée par cette source
- d la distance (en mètres) parcourue par l'onde à l'instant t .

A la distance d , toute la puissance est répartie sur la surface de la sphère (de rayon d) :

La surface de la sphère est : $S = 4\pi.d^2$

La densité de puissance ou la puissance disponible par unité de surface est égale à:

$$P = \frac{P_e}{4\pi d^2}$$

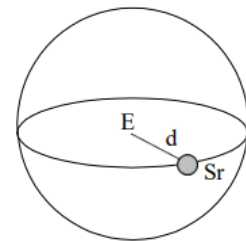
Pour une antenne d'émission de gain G_e la densité de puissance s'écrit :

$$P = \frac{P_e G_e}{4\pi d^2}$$

C'est-à-dire dans la direction du récepteur, l'énergie rayonnée sera, par définition, multipliée par le gain en puissance de l'antenne d'émission (G_e). En plaçant à la distance d une antenne de réception dont l'aire équivalente est égale à S_r , la puissance reçue est alors:

$$P_r = p.S_r$$

La puissance reçue peut ainsi s'écrire:



$$P_r = P_e G_e G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Cette relation est appelée "**équation fondamentale des télécommunications**".

4. Qualité des liaisons (Qualité d'un signal analogique, Qualité d'une liaison analogique en téléphonie)

Les puissances reçues qui ont été calculées d'après l'équation des télécommunications, représentent les puissances de l'onde porteuse. C'est un résultat brut qui ne suffit pas pour évaluer la qualité d'une liaison. En effet, l'onde qui se propage transporte un signal qui correspond à l'information que l'on veut transmettre et, en fait, il faut calculer la valeur du rapport signal à bruit à l'extrémité de la liaison. Il sera alors possible de faire l'étude de la qualité des liaisons analogiques.

4.1. Rapport signal sur bruit d'une liaison :

Bruit capté par l'antenne :

L'antenne capte du bruit provenant des rayonnements émis par le milieu environnant. Ce bruit est fonction

- Du diagramme de rayonnement de l'antenne, $G(\theta, \phi)$;
- De la direction dans laquelle elle est pointée ;
- De l'état du milieu environnant.

La puissance de bruit disponible aux bornes d'une antenne peut se mettre sous la forme :

$$N_a = K T_a B$$

K est la constante de Boltzmann : $K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

B est la largeur de bande considérée.

T_a est le facteur de proportionnalité appelé température de bruit de l'antenne.

L'espace entourant l'antenne se divise en deux parties :

- Le ciel, de température équivalente de rayonnement très basse (quelques dizaines de K) et variable en fonction de l'état atmosphérique et de la direction visée : $T_c(\theta, \phi)$;
- La terre, dont on peut considérer que sa température équivalente est égale à sa température thermodynamique T.

$$T_a = \frac{T}{4\pi} \iint_{T_{\text{erre}}} G(\theta, \varphi) d\Omega + \frac{1}{4\pi} \iint_{C_{\text{iel}}} T_c(\theta, \varphi) G(\theta, \varphi) d\Omega$$

Dans le cas particulier du faisceau hertzien, le premier terme est très nettement prépondérant et on démontre que : $T_a \approx T$. On prend en général $T=293\text{K}$.

4.2. Définition de la qualité d'un signal analogique :

La qualité d'un signal analogique peut être définie par :

- ❖ Le niveau du signal reçu,
- ❖ Le bruit ajouté au signal,
- ❖ Les distorsions subies par le signal.

4.2.1. Puissance du signal reçu

Cette puissance à l'entrée du récepteur est :

$$P_r = P_e G_e G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \frac{1}{A_e} \frac{1}{A_r}$$

Cette formule est déduite de l'équation des télécommunications.

G_e et G_r sont les gains des antennes d'émission et de réception.

d est la longueur de la liaison.

A_e et A_r (coefficients > 1 en valeurs naturelles et > 0 dB en décibels) représentent les atténuations à l'émission et à la réception dues à la liaison émetteur-antenne et antenne – récepteur.

Le rapport P_r / P_e de la puissance à l'entrée du récepteur à la puissance à la sortie de l'émetteur représente l'affaiblissement total de la liaison.

4.2.2. Bruits et distorsions

Ils peuvent être classés comme suit :

a) Bruits extérieur captés par l'antenne :

- Bruit thermique ;
- Bruit dû aux parasites d'origine naturelle ou à l'environnement radioélectrique.

L'importance relative de ces bruits est inversement proportionnelle à la puissance reçues et indépendante de l'information transmise

b) Bruits fixes, propres aux équipements :

- Bruits dus aux modulateurs et démodulateurs ;
- Bruits dus aux émetteurs et aux récepteurs ;

Ces bruits ne dépendent ni de la propagation, ni de l'information transmise.

c) Distorsions de l'information transmise :

- Intermodulation dans les modulateurs et démodulateurs ;
- Intermodulation dans les émetteurs et récepteurs.

En téléphonie, ces distorsions peuvent être considérées comme des bruits ; le bruit de distorsion totale est la somme des bruits correspondants à chaque cause de distorsion. En télévision, par contre les distorsions doivent être étudiées séparément, en examinant leurs effet sur l'image et elles ne peuvent être traduites ni globalement, ni séparément par un certain niveau de bruit.

4.3. Qualité d'une liaison analogique en téléphonie

Le calcul de la qualité d'une liaison téléphonique doit être effectué pour les voies hautes en fréquence car ce sont elles qui sont les plus affectées par le bruit thermique, le bruit des équipements et les distorsions.

4.3.1. Objectifs de qualité C.C.I.R

Les principaux objectifs de qualité du C.C.I.R (Comité consultatif international des radiocommunication), pour les circuits établis sur une liaison de longueur d (Km) sont les suivants :

- 1- La puissance de bruit ne doit pas dépasser une valeur moyenne par minute de **3d (pW)** pendant plus de 20% d'un mois quelconque.
- 2- La fraction du temps au cours de laquelle une valeur moyenne par minute de 47500 pW est dépassée (appelée aussi probabilité de dépassement de cette valeur), doit rester inférieure à $(d/2500) \cdot (1/1000)$, pour un temps d'observation basé sur un mois quelconque.

4.3.2. Méthode de calcul**a) Bruit thermique en voie haute**

Le rapport signal à bruit d'une liaison multiplex de téléphonie :

$$N_{th} = \frac{S}{P_r} \mathcal{F} K T B_t \left(\frac{f_M}{\Delta F_e} \right)^2 \frac{1}{p_1 p_2}$$

Avec:

$\mathcal{F} > 1$: facteur de bruit du receptr

$B_t = 3.1 KHz$: la largeur de la voie téléphonique.

f_M : la fréquence maximale du multiplex.

ΔF_e : l'excursion de fréquence provoquée par un signal S de 1mW.

p_1 : le facteur de pondération tel que $10 \log p_1 = 2.5 dB$

p_2 : le facteur d'accentuation tel que $10 \log p_2 = 4 dB$

Par convention, ce bruit thermique doit être calculé pour un signal d'essai de 1mW (Soit $S=0$ dBm). Nous le noterons alors N_0 et nous exprimerons tous les facteurs en dB ou dBm.

$$N_0 \text{ (dBm)} = -P_r \text{ (dBm)} + \mathcal{F} \text{ (dB)} + K T B_t \text{ (dBm)} + \left(\frac{f_M}{\Delta F_e} \right)^2 \text{ (dB)} - (p_1 + p_2) \text{ dB}$$

b) Bruit total

Il est la somme:

- Du bruit thermique N_0 ;
- Des bruits propres aux équipements ou résultants des distorsions qu'ils causent, soit N_{MD} pour les modulations-démodulations et N_{ER} pour l'émetteur-récepteur ;
- Des bruits dus éventuellement aux perturbations de la liaison, N_p .

$$N = N_0 + N_{ER} + N_{MD} + N_p$$

c) Bruit non dépassé pendant plus de 20% du mois défavorisé

Ce bruit noté N_{20} , est donné par la relation

$$N_{20} = \alpha N_0 + N_{ER} + N_{MD} + N_p$$

Dans laquelle α est donné par la relation :

$$\alpha = 1 + \frac{d^2 F^{0.8}}{8500}$$

d: la longueur de la liaison en km

F : la fréquence en GHz.

Il faut que N_{20} ne dépasse pas la valeur fournie par le premier critère de qualité du C.C.I.R.

d) Fraction du temps pendant laquelle le bruit est supérieur à 47500 pW

La probabilité pour que le bruit de 47500pW soit dépassé est donnée par :

$$10\log p = -10\log \frac{47500}{N_0} + 35\log d + 10\log F - 78.5$$

N_0 est en pW, d en Km et F en GHz

Il faut que p ne dépasse pas la valeur fournie par le deuxième critère de qualité du C.C.I.R.

Exemple Synthétique

Information à Transmettre	Multiplex de 960 voies avec $f_M = 4188 \text{ KHz}$ $\Delta F_e = 200 \text{ KHz}$; $B_t = 3.1 \text{ KHz}$
Caractéristiques du matériel utilisé	Puissance d'émission : $P_e = 1 \text{ W} = 30 \text{ dBm}$ Facteur de bruit du réception : $\mathcal{F} = 8 \text{ dB}$ Bruit des émetteurs-récepteurs : $N_{ER} = 20 \text{ pW}$ Bruit des modulateurs-démodulateurs : $N_{MD} = 30 \text{ pW}$ Température de bruit d'antenne $T = 290 \text{ K}$
Caractéristiques De la liaison	Affaiblissement total : $\alpha = 60 \text{ dB}$ Distance $d = 20 \text{ Km}$. $F = 4 \text{ GHz}$.
Calculez la qualité d'une liaison analogique en téléphonie (vérifiez les 2 critères de qualité du C.C.I.R.)	

5. Principe d'une liaison satellitaire

Le principe de base d'une transmission satellite est d'utiliser le satellite en orbite comme un relais entre deux antennes terrestres qui ne sont pas en vue directe, par exemple entre deux continents, ou pour diffuser un signal sur une large zone géographique. Ainsi, de par leur souplesse et leur couverture, ces systèmes sont par leur topologie bien adaptés à ces deux services :

- la diffusion d'information (broadcasting) pour la TV par exemple

- les transmissions en point à point sur de longues distances ou des lieux inaccessibles pour la téléphonie ou l'accès Internet.

Les télécommunications et pour des applications aussi variées que la prévision du temps, la lutte contre la pollution ou le sauvetage de navigateurs en détresse.

5.1. Constitution générale d'une liaison par satellite

Toute liaison satellite se décompose en deux parties :

- **la liaison montante « Uplink » :**

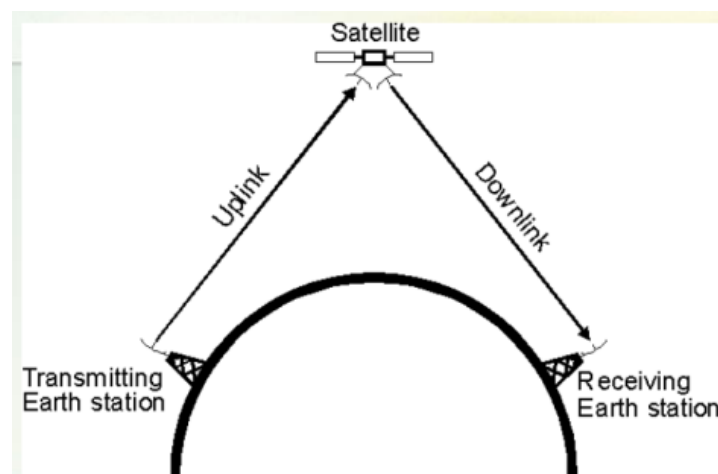
C'est-à-dire le transfert du signal depuis la station émettrice terrienne vers le satellite (terre / satellite).

- **la liaison descendante « Downlink » :**

C'est-à-dire le transfert du signal du satellite jusqu'à la station réceptrice terrienne (satellite / terre).

Nous avons donc deux bilans de liaisons distincts (bilan de liaison en voie montante et bilan de liaison en voie ascendante).

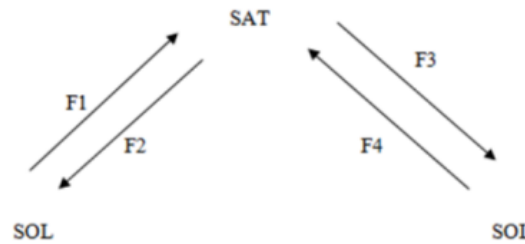
La figure ci-dessous illustre un schéma général d'une liaison satellitaire.



Chaque trajet exploite un couple de fréquences différentes sur le principe du duplex. Ecart duplex :

✓ [F1-F2]

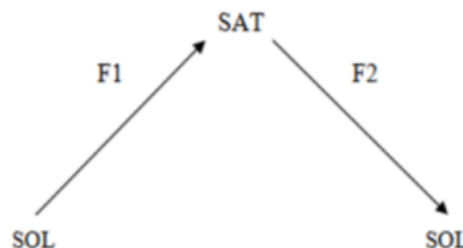
✓ [F3-F4].



Il s'agit d'un duplex avec relais, il est possible de réduire le nombre de paires de fréquences. On fait alors le cas particulier $F1 = F4$ et $F2 = F3$, utilisé par les faisceaux hertziens terrestres. Le relais émet des deux coté sur une seule fréquence $F2$ et reçoit sur une seule fréquence $F1$.

Dans le cas le plus simple, (mode simplex) la diffusion vers une grande zone et un nombre illimité de terminaux (diffusion de télévision), exploite pour chaque trajet une seule fréquence

Exemple : Ku : $F1 \sim 14$ à 15 GHz. $F2 \sim 11$ à 12 GHz



La station sol envoie l'information sous forme d'un signal de forte puissance, à très haute fréquence (bande GHz) au satellite qui la reçoit et la retransmet vers les stations Terre se trouvant dans sa zone de couverture.

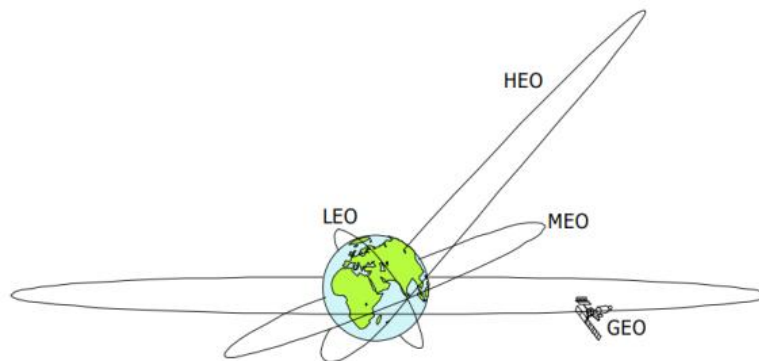
Le satellite maintenant est de type actif : il se comporte comme un véritable relais hertzien dans le ciel. Il reçoit les émissions de la terre (lien montante) et les retransmis vers la terre (lien descendante) après translation de fréquence et amplification. Il existe 5 sortes de satellites :

- **Les satellites astronomiques** : ils observent l'espace : comme ils sont placés au-dessus de l'atmosphère ils voient alors mieux les étoiles et les trous noirs car ils ne sont pas gênés par la couche d'air et la pollution.
- **Les satellites de navigation** : ils servent à repérer la position des navires et les courants marins.
- **Les satellites météorologiques** : ils servent à réaliser des photos de la terre, les photos permettent de prévoir la météo. Ils sont soit géostationnaires, soit en rotation constante autour de la terre.
- **Les satellites de télécommunication** : les satellites de télécommunications servent aux communications téléphoniques, aux images des télévisions, à la radio.
- **Les satellites militaires** : il ya 2 types de satellites militaires : télécommunication et surveillance (reconnaissance terrestre et maritime) dès qu'un satellite a accompli sa mission, il existe deux façons de s'en débarrasser :
 1. on le laisse tourner autour de la terre sur une orbite plus haute.
 2. On le laisse retomber sur terre : les scientifiques calculent pour qu'il retombe dans une zone inhabitée (souvent en plein océan). S'il est petit, arrivé dans l'atmosphère il se désintègre sous l'effet du frottement avec l'atmosphère.

5.2. Les types d'orbites

Le schéma ci-dessous présente à l'échelle les quatre types d'orbite que l'on rencontre dans les systèmes satellites.

Orbite			distance du sol
<i>LEO</i>	Low Earth Orbit	Orbite basse	400-1000km
<i>MEO</i>	Medium Earth Orbit	Orbite moyenne	10.000km
<i>GEO</i>	Geostationary Earth Orbit	Orbite géostationnaire	36.000 km
<i>HEO</i>	Highly Elliptical Earth Orbit	Orbite elliptique	périgée 1000km apogée 40.000km



5. Les services de télécommunications par satellites

Les satellites de télécommunications peuvent être classés en fonction des services qu'ils sont appelés à rendre.

On distingue ainsi les services de **téléphonie**, les services de **télédiffusion**, les services de **transmission de données**, les services **multimédia**, la **radio messagerie** et l'**Internet**.

❖ La téléphonie

On peut distinguer les systèmes de téléphonie fixe par satellite et les systèmes de téléphonie mobile par satellite. La téléphonie fixe par satellite concerne essentiellement les appels internationaux qui mettent en jeu un satellite.

Les satellites utilisés sont de type géostationnaire.

A côté de la téléphonie fixe par satellite on trouve la téléphonie mobile par satellite et dans ce domaine, deux familles de systèmes existent :

- Les systèmes de téléphonie mobile par satellite géostationnaires (GEO)
- Les systèmes de téléphonie mobile par satellites MEO et LEO.

Parmi les systèmes utilisant des satellites GEO on peut citer **Inmarsat** qui a été le premier système de communications mobiles par satellites d'abord pour la desserte en mer puis en avion et en terrestre.

Et Thuraya qui offre un service de téléphonie mobile sur l'Asie centrale, le Moyen Orient, l'Afrique centrale et l'Europe.

Parmi les systèmes de téléphonie mobile par satellites LEO on citera *Iridium* et *Globalstar*. Ces deux systèmes sont à couverture mondiale ou quasi mondiale.

❖ La télédiffusion

La transmission vidéo par satellite est la première application des satellites de télécommunications. Elle est estimée à 60% de la capacité du secteur spatial.

Le premier système de télédiffusion directe numérique par satellite DIRECT TV aux Etats Unis est entré en service en 1994. En France deux bouquets ont été lancés en 1996 (TPS et Canal Satellite).

Ces systèmes utilisent des satellites géostationnaires ce qui permet d'utiliser des antennes fixes chez les usagers. DIRECT TV possède ses propres satellites alors que Canal Satellite utilise un satellite Astra et TPS un satellite Eutelsat Hot Bird .

❖ La transmission de données

Les réseaux d'entreprise par satellite sont apparus vers 1980 grâce à la diminution de la taille des stations terriennes. On parle de VSAT (Very Small Aperture Terminal) pour des stations terriennes dont le diamètre d'antenne est inférieur à 2,4 mètres

❖ Le multimédia

Le multimédia haut débit se situe à la convergence de l'audiovisuel, de l'informatique et des télécommunications. Il bénéficie des nouvelles capacités techniques des satellites de télécommunication multimédia (bandes de fréquence Ka et Ku) et offre une très large gamme de services :

- voix, vidéoconférence, visiophone

tous les services de données possibles : symétriques ou asymétriques, moyen et haut débit, multimédia ou non, interactifs ou différés, etc.

- applications : télétravail, télé-médecine, télé-enseignement, télé-achat, tout échange de données

- accessibilité directe pour tous les usagers par des terminaux adaptés, dans le monde entier, même sans infrastructure Télécom au sol.

❖ La radiomessagerie

La radiomessagerie par satellites est un service offert sur plusieurs satellites GEO comme Inmarsat-C et D, OmniTracs ou encore EutelTracs. Elle existe aussi sur des constellations en

orbite basse telle OrbComm.

❖ L'Internet

L'Internet par satellite est un sujet très important actuellement et le satellite fait partie des solutions d'accès local au même titre que le LMDS, l'ADSL, les solutions câblées ou d'autres technologies. SkyBridge d'Alcatel fait partie de ce type de systèmes.