

**LICENCE PROFESSIONNELLE
RESEAUX ET TELECOMMUNICATIONS.**

TRANSMISSIONS SPATIALES.

**Chapitre 1 :
Introduction.**

- 1-1 Les liaisons à très grandes distances.
(cuivre, hertzien, fibre)
- 1-2 Les débuts des liaisons par satellite.
- 1-3 Constitution générale d'une liaison par satellite.
- 1-4 Charge utile et plateforme.
- 1-5 Les bandes de fréquence exploitables.
- 1-6 Les familles de services offerts.
- 1-7 Les zones d'altitudes possibles.
- 1-8 Les phases de mise en orbite.

**Chapitre 2 :
Les trajectoires, la géométrie Terre Satellite.**

- 2-1 Gravitation et mécanique céleste. Loi de Newton.
- 2-2 La trajectoire ou orbite elliptique d'un satellite de la Terre.
(les trois lois de Kepler).
- 2-3 Différents plans osculateurs et orbites.
- 2-4 Quelques exemples d'orbite.
- 2-5 L'orbite géostationnaire de Clarke.
- 2-6 Géométrie Terre satellite.
- 2-7 Orientation d'une antenne directive.
(Mise en œuvre d'une monture équatoriale).

**Chapitre 3 :
La propagation en espace libre, les antennes à grand gain.**

- 3-1 L'incomparable support hertzien.
(champs, polarisation, puissance transportée etc.)
- 3-2 Synoptique d'un lien hertzien.
- 3-3 Principe de Huygens. Modèle de disque rayonnant.
- 3-4 Champ sinusoïdal, densité de puissance associée.
- 3-5 La source de rayonnement de référence.
- 3-6 Directivité Dir d'une source de rayonnement.
- 3-7 Le gain absolu G_a d'un élément rayonnant.
- 3-8 La puissance isotrope rayonnée équivalente, EIRP.
- 3-9 Réversibilité d'un élément rayonnant. L'aire de captation.
- 3-10 Réciprocité d'une antenne.
- 3-11 Equation des télécommunications. Bilan hertzien.
- 3-12 Intérêt des hyperfréquences.
- 3-13 Matérialisation du disque rayonnant.
- 3-14 Le réflecteur décalé, antenne "offset".

Chapitre 4:

Le bilan de propagation, le seuil d'exploitation en réception.

- 4-1 Retour sur l'incomparable support hertzien.
- 4-2 La propagation en espace non libre
- 4-3 L'espace non libre. Ellipsoïde de Fresnel.
- 4-4 Validité des relations en espace libre.
- 4-5 Comparaison entre câble, guide, hertzien.
- 4-6 Les unités courantes en télécommunication.
- 4-7 Les causes de dégradation du signal radioélectrique.
- 4-8 Le modèle de bruit thermique.
- 4-9 Puissance moyenne bruit et DSPM.
- 4-10 Le rapport C/N qui caractérise la qualité de transmission.
- 4-11 L'effet du bruit sur une transmission numérique.
- 4-12 Synoptique d'ensemble vis-à-vis du bruit.
- 4-13 Le bruit ajouté et la température équivalente de bruit.
- 4-14 Le bruit injecté par la source
- 4-15 La source de bruit de référence.
- 4-16 Le facteur de bruit.
- 4-17 Cumul des contributions de bruit.
- 4-18 Comment choisir l'ordre des fonctions ?
- 4-19 Bruit ajouté en sortie par un câble ou un atténuateur.
- 4-20 Bruit ajouté par un mélangeur.
- 4-21 Température équivalente T_a de bruit capté par l'antenne.
- 4-22 Rôle de l'atmosphère sur T_a .
- 4-23 Bilan de qualité. Facteur de mérite M.
- 4-24 Commentaire sur la bande passante du récepteur.
- 4-25 Seuil du démodulateur et sensibilité S du récepteur.
- 4-26 Hypsogramme d'une liaison.
- 4-26 La limite de service garanti.

Chapitre 5 :

Bilan et avenir :

- 5-1 Les prouesses actuelles.
- 5-2 La sonde Voyager 2
- 5-3 La sonde Titan.

Formulaire d'aide.

Exercices et annales (TD).

Chapitre 1 : INTRODUCTION

1_1 Les liaisons à très grande distance.

Etablir une communication entre 2 points peut se réaliser grâce à différents supports :

- par câbles bifilaire,
- par faisceaux Hertiens.
- par fibre optique.

Faisons un tour d'horizon des trois supports.

1_1_1 Les liaisons par câbles bifilaire.

Ce type de liaisons a l'avantage de garantir la transmission de l'information entre les 2 points. Le bifilaire cuivre est utilisé dans les liaisons transcontinentales où des câbles sous-marins depuis le 19eme siècle (quelques mots par minute en code tout ou rien) et plus récemment en 1950 pour la téléphonie à répartition en fréquence.(AMRF) (36 voies sur coax)

On comprend aisément, par contre, les problèmes de ce type d'installation maritime:

Difficulté et coût de pose. Nombre de répéteurs important qui grossit le coût, réduit la fiabilité et dégrade le signal

Par contre en terrestre, le bifilaire est de plus en plus d'actualité, grâce au nombre d'abonnés dans les pays industrialisés, permettant d'élargir les applications à débit élevé chez le particulier.(nouveaux modems ADSL jusqu'à 5km). La liaison de base du réseau hiérarchisé de Francetélécom est définie sur bifilaire à 2048kbits/s. C'est aussi le support privilégié du câblage entreprise et domestique (domotique).

1_1_2 Les liaisons par faisceaux Hertiens.

C'est le support irremplaçable et incomparable dans les cas difficiles.

Lorsque les infrastructures câblées sont inexistantes, ou lorsque les distances sont importantes

Il faut quand même rappeler que le bilan énergétique entre la puissance au départ et à l'arrivée est extrêmement faible.(Pr/Pf) Dans ces types de liaisons, l'installation utilisée pour transmettre le signal va dépendre de la fréquence que l'on souhaite utiliser pour établir la liaison. La fréquence est elle-même dépendante de la distance séparant les 2 points de la liaison. **On observe en dessous de 90MHz essentiellement deux types de propagation distante.**

Leurs propriétés dépendent fortement de la longueur d'onde $\lambda = C/f$

La liaison en gamme kilométrique et hectométrique : 0,1 à 3MHz.(GO et PO).

Assurée principalement par les ondes de sol qui progressent par diffraction et permettent la communication malgré les obstacles jusqu'à 1000km :

La liaison en gamme décadémétrique :3 à 30MHz (OC).

Elle utilise les facultés de la polarisation horizontale à se réfléchir sur les couches ionosphériques de l'atmosphère, à condition que l'angle El soit faible. Malheureusement ces liaisons sont soumises aux aléas de la propagation dans les hautes couches de l'ionosphère dus à l'éclairement solaire (UV).

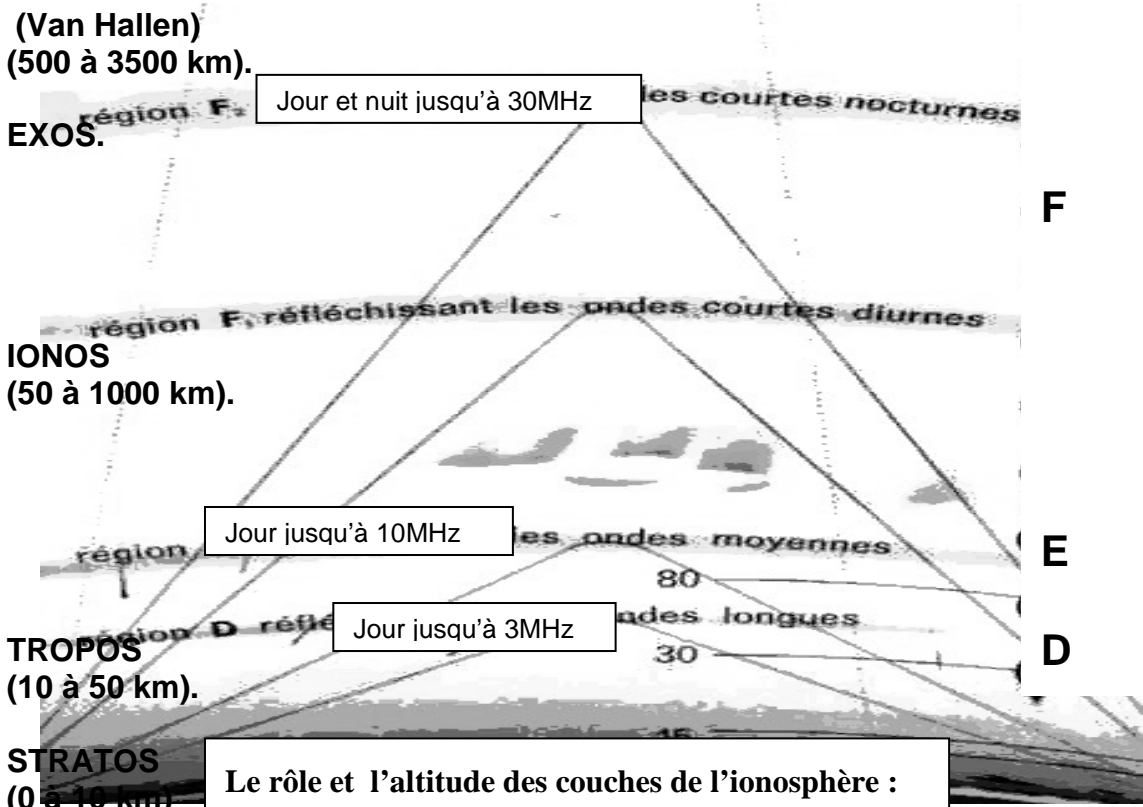
Ces réflexions ne sont possibles qu'aux fréquences métriques approximativement limitées par la fréquence maximum utilisable (MUF) dépendante de la densité d'électrons ionisés par le rayonnement UV solaire (pour les fréquences "Maximum Usable Frequency" inférieures à 90 MHz). $MUF (MHz) \cong 9 \cdot \sqrt{N_e}$ avec N_e particules ionisées par m^3 .

La concentration N_e en particules ionisées chute pour les couches non éclairées par le soleil et la propagation intercontinentale n'est plus possible en fin de nuit du côté Est. La désionisation est plus lente pour les hautes couches. Par contre un signal orienté au zénith traverse l'ionosphère: les ondes courtes furent utilisées par les premier satellites **Sputnik, Amsat Oscar** dans les années 1970, avec fréquence montante de 21MHz et descendante de 29MHz.

Couche D : de 50 à 100km, qui réfléchit les ondes hectométriques le jour et disparaît la nuit. Elles absorbent les fréquences inférieures au MHz.

Couche E : de 100 à 200km, qui réfléchit jusqu'à 20MHz jusqu'au milieu de la nuit.

Couche F : de 200 à 500km, qui réfléchit le jour et une bonne partie de la nuit les fréquences décadémétriques. Cette couche haute est essentielle pour les grandes distances



Enfin les liaisons hertziennes utilisant l'Ionosphère et la Troposphère portent loin mais ne sont pas garanties.

Les liaisons en gamme métrique et centimétrique : 30MHz à 40GHz.(f > MUF) :

Gamme des faisceaux hertziens.

Pour ces fréquences il n'y a plus de réflexion sur les couches ionosphériques. Les distances sont limitées à la propagation directe "à vue" demandant l'intervention de relais. Apparaissent également des contraintes d'évitement des obstacles et des contraintes de directivité du faisceau. Il en résulte un alourdissement du coût du système. La qualité de la liaison diminue avec le nombre de relais. Le franchissement des océans pose problème, pour l'Atlantique par exemple il faudrait un relais au milieu à la hauteur de 400km !

On comprend l'intérêt porté aux systèmes de satellites dits fixes.

On comprend l'intérêt des hyperfréquences qui seules permettent la directivité des faisceaux, et les liaisons rectilignes point à point.

1_1_3 Les liaisons par fibre optique.

Elle détrônent le câble bifilaire pour les liaisons intercontinentales internationales et nationales hauts débit. D'autant plus que la recherche est actuellement accélérée et que l'évolution des performances est spectaculaire.

A partir des années 1980 les premières fibres à saut d'indice en silice permettent des rapidités de modulations en dizaines de MHz sur 1km, alors qu'actuellement, en fibre monomode on parle en milliers de km, avec des rapidités de modulation en dizaines de G bauds !!!

On peut parler de porteuse optique aux environs de 10^{14} Hz soit une longueur d'onde λ aux alentours de $1\mu\text{m}$. ($V = C \cdot (n)^{-1/2}$)

Les meilleures fibres monomodes au minimum d'atténuation de la Silice ($\lambda = 1,55 \mu\text{m}$) permettent des pas de 200 km !

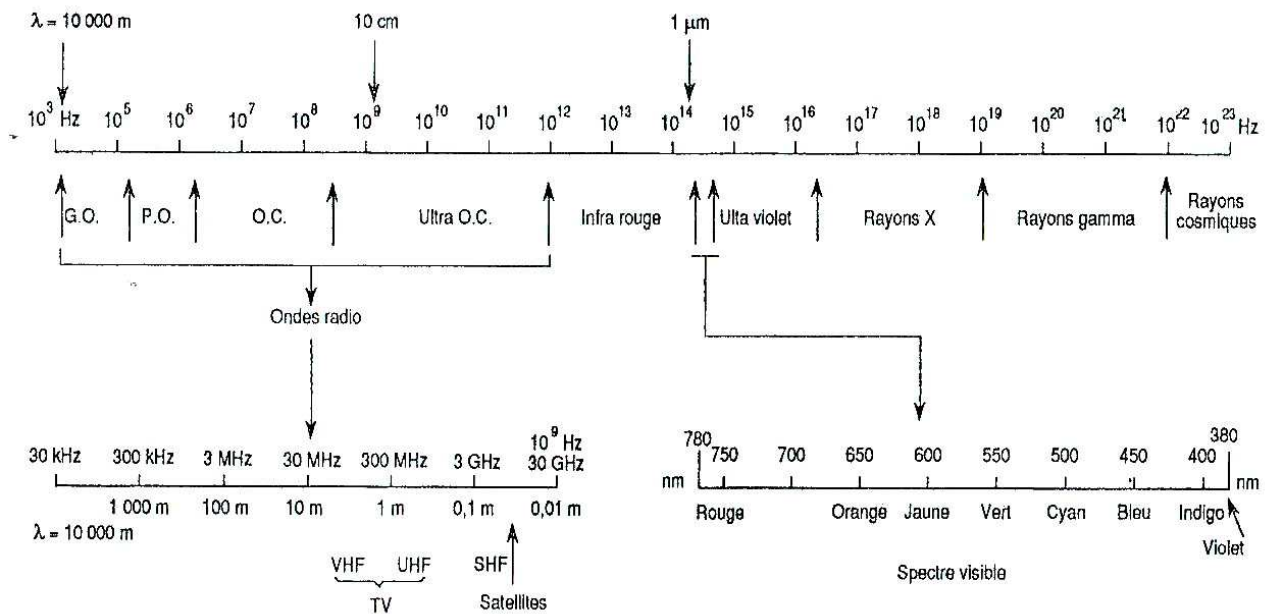
En 2002 le chiffre impressionnant de 3,65 Tbits/s (10^{12}) sur 6850km est atteint par Alcatel.

Notamment grâce à la technique multi porteuse optique (Wavelength Division Multiplexing : 365 canaux espacés de 22,2GHz ou 0,4nm, portant du 10Gbits/s chacun) en quelque sorte du FDMA optique, et avec un TEB de 10^{-9} !

Enfin pour les liaisons fiables et permanentes à grandes distance il ne reste que :

	Faisceau satellite	Fibre optique
avantages	Couverture instantanée d'un nombre illimité d'utilisateur, déploiement instantané des services dans des zones sans infrastructure.	Couche physique très fiable. Pas de problèmes de bande passante. Pas de problèmes de partage en fréquence. Robustesse CEM.
inconvénients	Durée de vie limitée. Maintenance très limitée. Coût très élevé.	Mais coût élevé pour le haut débit et grande distance

Pour conclure sur l'ensemble des supports notons le vaste champs d'exploitation de la ressource fréquence indépendamment du support.



1_2 Les débuts des liaisons par satellites.

L'ère des étoiles humaines, ou satellites artificiels, débute en **1945** lorsque l'expert britannique **Arthur C. CLARKE** (auteur également du livre « 2001 Odyssée de l'espace ») eut l'idée d'utiliser un satellite sur orbite géostationnaire (ou orbite de Clarke) comme relais Hertzien.

En 1956, le seul lien transatlantique est le câble TAT-1 portant 36 voies téléphoniques analogiques par multiplexe en fréquence.(AMRF ou FDMA)

Ce n'est qu'en 1955 que la Bell étudie sérieusement un projet de téléphonie transatlantique par relais spatial.

Mais, il faut attendre **1957** pour voir le 1er satellite russe dans l'espace, **Sputnik 1**. Les Américains suivront avec **Explorer 1**, puis en 1960 avec TIROS (observation IR du globe). C'est l'occasion pour les deux grandes puissances de s'associer dans le projet ECHO pour la télévision.

La France crée en **1960** le **CNES** (Centre National des Etudes Spatiales).Le CNES réalise en 1962 la première transmission de télévision entre USA (Andover) et Pleumeur Bodou, grâce au ballon réflecteur de 30m, ECHO1. L'antenne de Pleumeur est actuellement classée monument historique.

L'ère des télécommunications spatiales (services téléphones) débute avec **Telstar** en **1962** (satellite à défilement). En 1963 la COMSAT américaine lance les premiers satellites fixes SYCOM 2 et 3.

En **1964**, c'est le début de l'exploitation commerciale des télécommunications entre stations fixes, sous le contrôle du consortium international de télécommunication par satellites **INTELSAT** : avec en **1965** le lancement d'**INTELSAT 1** appelé **EARLY BIRD** (oiseau du matin).

1965 : Intelsat 1 :240 voies téléphoniques **analogiques par AMRF.**

1972.....2 :5000.....

1980 :.....5 :12000 voies téléphoniques **numériques par AMRT..**

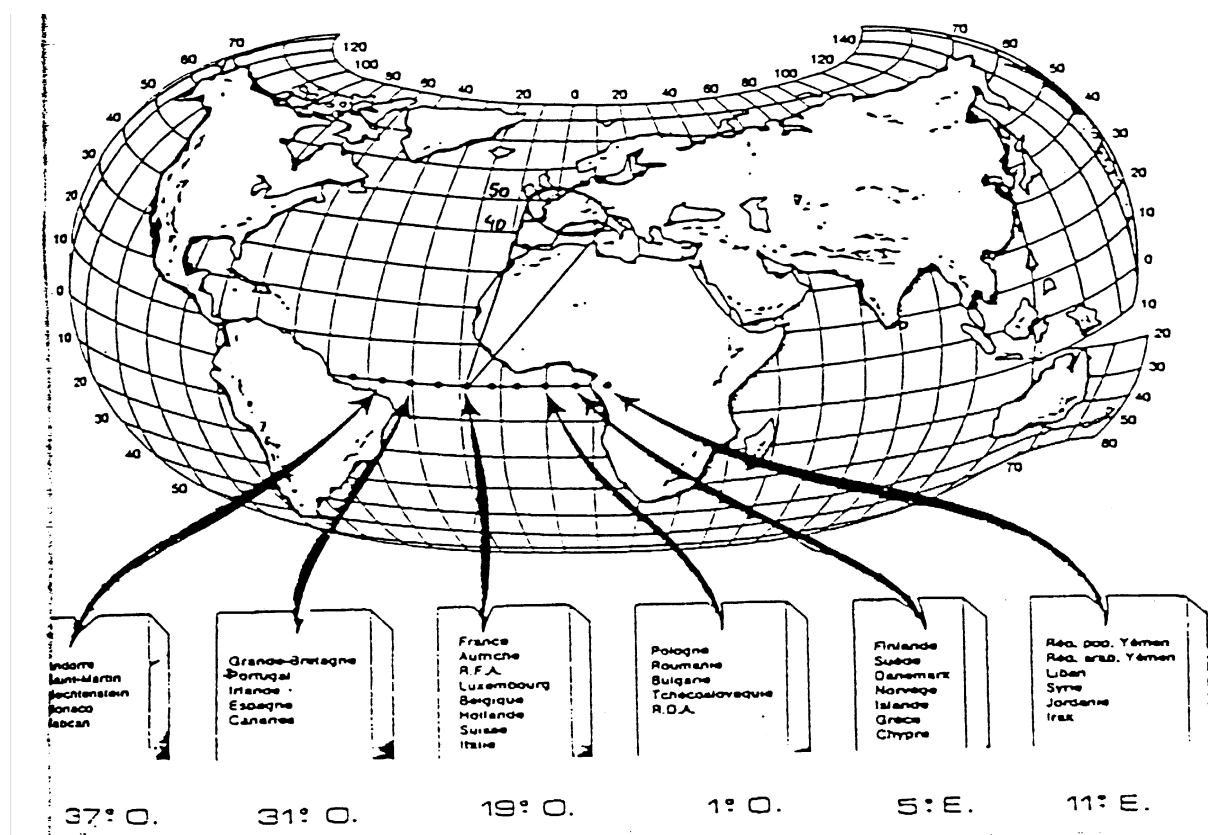
Ces relais spatiaux permettent de diviser par 7 le coût de la communication transatlantique.

Les experts internationaux comprennent l'urgence de répartir les ressources en fréquence et surtout en espace vital sur l'orbite géosynchrone OGS, tant convoité. Tout s'organise lors de la première Conférence Administrative Mondiale de Radiodiffusion par Satellite CAMRS en 1977. Les décisions portent sur 30 ans !

La carte du globe montre l'essentiel des zones à couvrir des 1977.

Cette première organisation prévoit un satellite tout les 3°, sur l'orbite géostationnaire dite OGS. Elle prévoit également une position à 19° OUEST dédiée à l'Europe.

Cette position concerne potentiellement 400 millions d'utilisateurs.



Les 2 dernières décennies voient l'explosion des techniques d'intégration vers les hyperfréquences d'une part (transistor GaAs, HEMT, MOS hyper fréquence), et d'autre part l'évolution des concepts de traitement et transport de l'information sous forme numérique.

Cette accélération de « l'état de l'art » entraîne l'apparition de services de toutes formes (transport de fichiers, télécopies, images TV, téléphone...)

Il est donc inévitable que l'espace devienne le cadre d'une croissance rapide de la diffusion, de l'échange d'information, de la surveillance militaire et civile.

Aussi voit-on se multiplier les projets de réseaux régionaux et nationaux de télécommunication et de diffusion ainsi que les activités scientifiques et militaires.

L'Europe des télécommunications par satellites démarre en **1977** avec la création de l'organisme **EUTELSAT** (30 pays membres à ce jour).

Les services entre mobiles en mer voient le jour en 1979, avec INMARSAT.

Pour la France, l'ouverture vers la radiodiffusion directe par satellite (RDS, ne pas confondre avec Radio Data System !) a permis de conserver le spectre hertzien terrestre saturé depuis longtemps par les 7 chaînes à couverture nationale. **En particulier est lancé le programme national TELECOM 2. En 1991 lancement de TELECOM 2A, puis INTELSAT VII en 1993.**

Aujourd'hui on recense plus de 5000 satellites et le lanceur européen ARIANE (4 et 5) a fêté en 2000 son 180^{ième} satellite.

Ajoutons que le chiffre d'affaire de l'industrie satellite en 1998 était de 98milliards de dollars, il est passé en 2004 à 150 !

Quelques chiffres concernant l'avenir des besoins en communication, exprimés en millions d'utilisateurs :

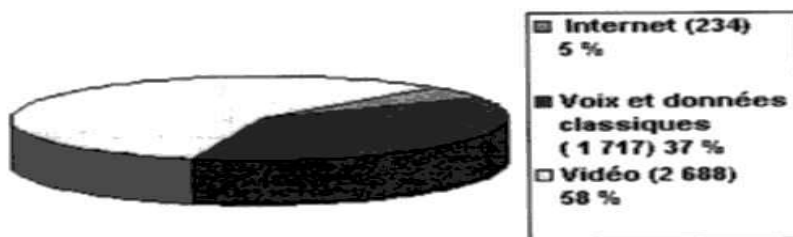
le nombre d'utilisateurs double tous les 18 mois.

Le trafic double tous les 12 mois.

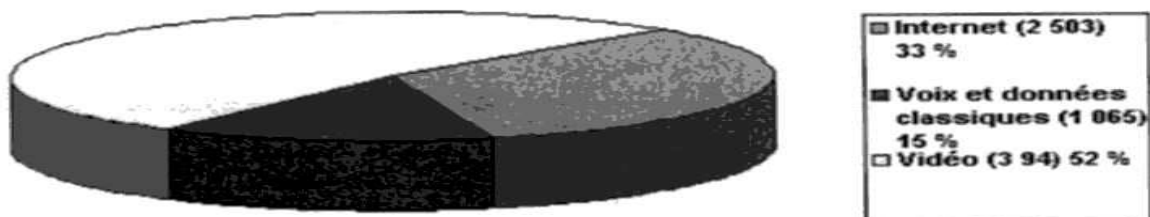
Soit 100 ans pour atteindre 1000 millions d'usagers en fixe.

Soit 30 ans500mobile.

Soit 20 ans500.....d'internautes.



2009 : total de 9 762 répéteurs dont 7 510 actifs + 2 252 en réserve

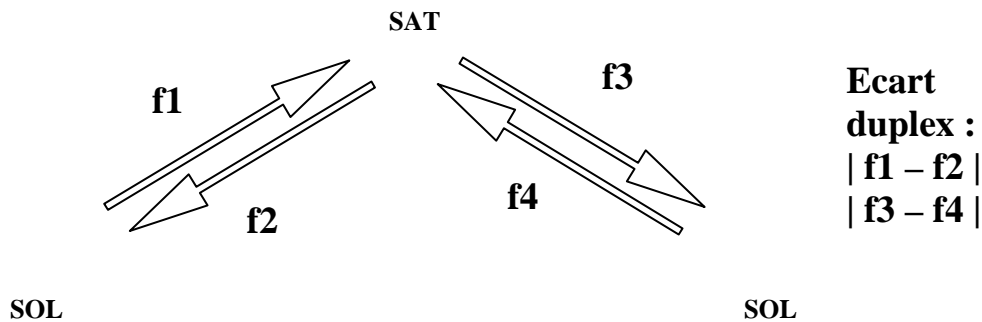


1_3 Constitution générale d'une liaison par satellite

Une liaison par satellite est toujours composée de deux stations au sol et du satellite fixe ou défilant.

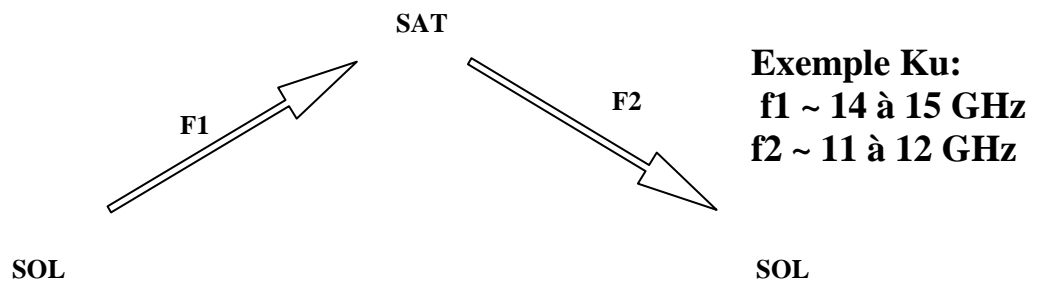
Dans le cas général de la liaison point à point, sol sol, il y a un faisceau montant (uplink) et un faisceau descendant (downlink) pour chaque station sol (FDMA).

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



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), chaque trajet exploite une fréquence.



L'information numérique ou analogique est toujours portée par modulation spécifique des techniques satellitaires. Dans tous les cas il faut fournir beaucoup de puissance (P_f) au départ pour permettre au récepteur de garantir un service de qualité bien défini. Au récepteur la puissance (P_r) est infime en picoW, ou femtoW, parfois en attoW (10-18).

Cette puissance est matérialisée par une 'porteuse' sinusoïdale dont on module un ou des paramètres (amplitude, phase, fréquence). **En technique satellite les modulations permises sont celles agissant sur la phase ou la fréquence uniquement.** (Tube à Ondes Progressives).

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.

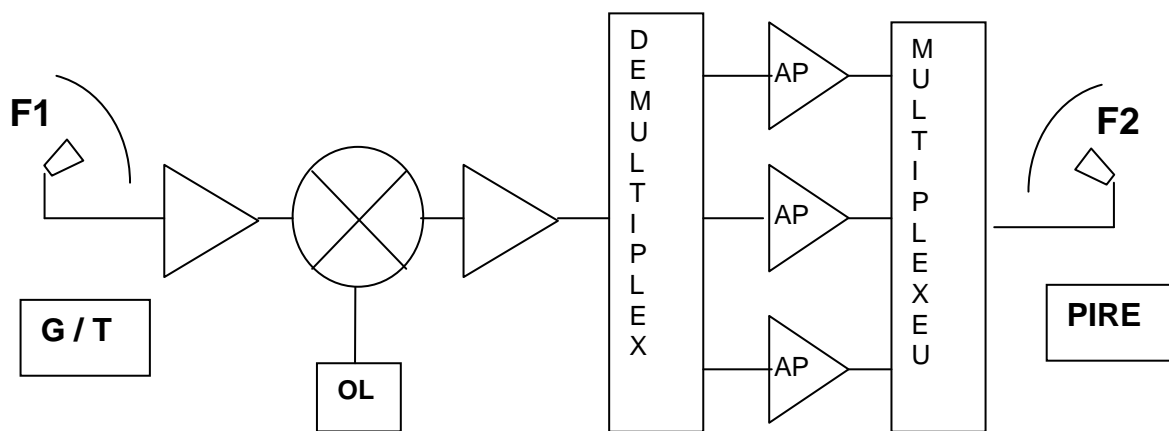
1_4 Constitution du relais satellitaire : charge utile et plateforme.

La charge utile est constituée de la partie télécommunication : antennes et répéteurs. Les répéteurs compensent les pertes du trajet (pour un géostationnaire ~200dB à la montée et ~200dB à la descente). On comprend qu'avec de tels gains il est interdit d'utiliser la même fréquence à la réception et à l'émission. Les répéteurs assurent donc la transposition de fréquence et l'amplification, ils comportent donc des synthétiseurs de fréquence pour fixer avec précision les diverses fréquences de conversion.(OL et Mélangeurs).

N canaux sont reçus, demultiplexés (séparés), amplifiés séparément, transposés en fréquence, puis enfin recombinaés (multiplexés, FDMA) vers l'unique antenne de diffusion.

Structure d'un répéteur :

Charge Utile.



Coté réception c'est le facteur de mérite $M = G/T$ qui caractérise le matériel.

Coté émission c'est la Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente ou PIRE qui caractérise le matériel.

La plate forme comprend l'infrastructure nécessaire au contrôle de position sur l'orbite, au maintien de l'assiette, à la régulation thermique, à la fourniture d'énergie. Citons quelques fonctions : stabilisation du satellite par gyroscope triaxial (à mieux que $0,1^\circ$), asservissement des panneaux solaires vers le soleil, maintien de la température entre 10 et 50° , télémesures, etc. On notera le problème du stockage de l'énergie lors des équinoxes (éclipses). Notons enfin que c'est la réserve d'ergol qui fixe la durée de vie.

$$F1 + F_{ol} = F2 \quad > \text{impossible}$$

$$F1 - F_{ol} = F2 \quad > F_{ol} = 3 \text{ GHz}$$

$$F_{ol} - F1 = F2 \quad > F_{ol} = 25 \text{ GHz}$$

1_5 les bandes de fréquences exploitables entre sol et satellite.

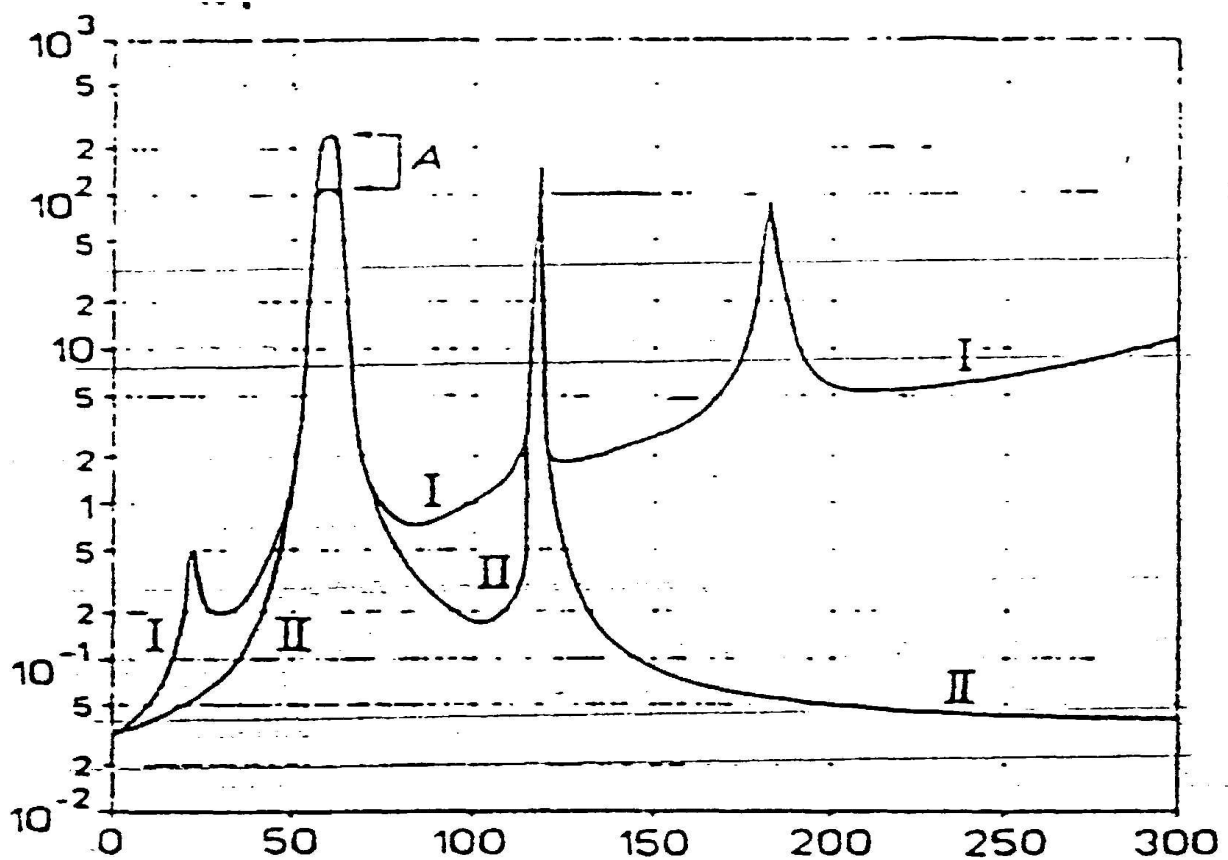
Lors du partage initial la CAMRS77 a défini les bandes les mieux adaptées.

En effet il ne s'agit plus d'utiliser l'ionosphère comme réflecteur (gamme inférieure à 90MHz) mais bien au contraire de s'en affranchir tout en traversant l'ensemble des couches. Les bandes de fréquences qui ne sont pas trop atténuées sont visibles dans la figure suivante:

On observe deux pics d'absorption dus à O₂, à 60 et 120 GHz.

La trace I est donnée pour 50% d'humidité.(7,5 g/m³)

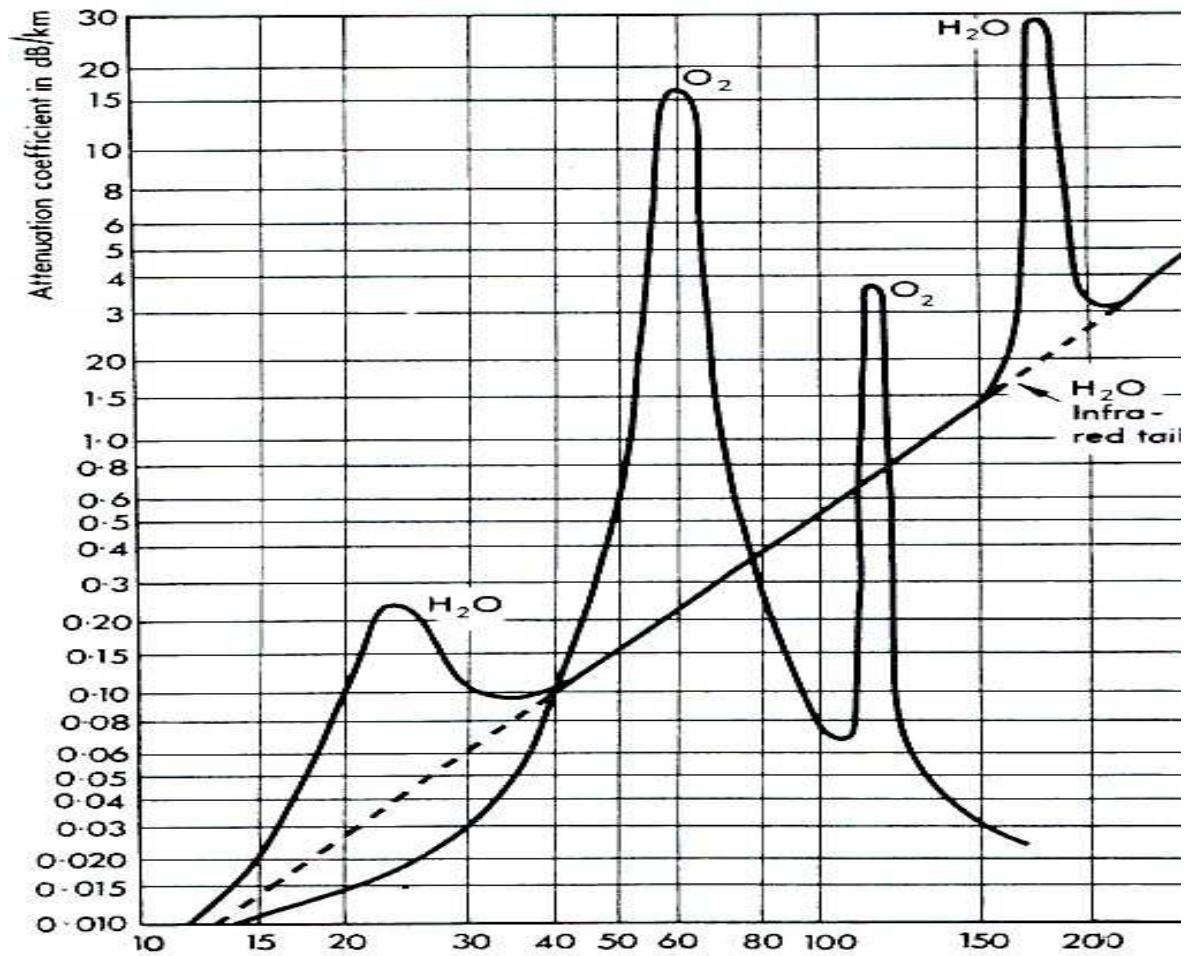
La trace II est donnée pour l'air sec.



Le graphe donne l'atténuation totale de la traversée de l'atmosphère et de l'ionosphère au zénith.

On voit l'influence énorme de la vapeur d'eau vers les hyperfréquences, ainsi que les blocages dus à O₂ vers 60 et 120GHz.

Dans tous les cas 4 zones plus ou moins opaques vers 25GHz, 60GHz, 130GHz, 180GHz interdisent les liaisons entre sol et satellite.



Finalement les gammes définies par la CAMRS77 pour l'Europe, l'Afrique l'Asie Nord sont :

Bande	Service Fixe.	Service Mobile.	Radio TV.	Militaire	Faisceau montant	Faisceau descendant	Largeur.
L		X			1,6GHz	1,5GHz	34MHz
L/S		X			1,6GHz	2,5GHz	16,5MHz
S		X			2GHz	2,2GHz	40MHz
K			X		17GHz	12GHz	800MHz
C	X		X		6	4	1100MHz
X	X			X	8	7	500MHz
Ku	X		X		14	11	1000MHz
Ka	X				14	12	250MHz
EHF	X			X	45	21	2500MHz

1_6 Les familles de services offerts :

1_6_1 Les services fixes de télécommunication .FSS (Fixed Satellite Services).

Téléphonie :Les FSS historiquement lancés vers 1980, avec la communication numérique point à point de téléphonie, caractérisés par une croissance forte jusqu'en 2000, mais récemment supplantée par la fibre optique. Néanmoins leur avenir reste certain dans les pays sans infrastructure terrestre.

Ils utilisent les bandes C, Ku, Ka, et passent progressivement au hauts débits, ils intègrent des processeurs évolués qui assurent des fonctions de décodage/codage routage et contrôle de trafic, ainsi que Asynchrone Transfert Mode ATM..

Ainsi, aujourd'hui, le satellite s'insère directement dans la hiérarchie numérique nationale et internationale de deux façons différentes : (hiérarchie E, basée sur 2048kbits/s pour l'Europe, et T, basée sur 1544kbits /s pour Amérique du Nord et Japon).

Soit ils assurent le lien entre usager et son commutateur local, (boucle locale), application prometteuse dans les pays sans infrastructure terrestre.

Soit ils assurent le lien entre deux commutateurs, le plus souvent internationaux, les commutateurs nationaux étant plutôt desservis en supports terrestres.

TV :Une part énorme de l'activité FSS concerne les services point-multipoint, c'est à dire la télévision directe dite RDS, (c'est l'activité qui domine en chiffre,dans la plupart des pays industriels car le nombre de chaînes est énorme). On estime à 200 millions de terminaux de télévision par satellite en service.

Réseaux :Une activité d'avenir concerne le réseau d'entreprise mondialisée utilisant le point à point, dit **VSAT** (Very Small Aperture Terminal networks) qui propose des connections numériques aux terminaux de gros utilisateurs, réseaux de banques, de distributeurs etc. le very small pour des antennes limitées à 2,4m, permettant des débits multiples de 64kbits/s, et un TEb de 10-7.Des projet apparaissent ou disparaissent : SKYBRIDGE ?, TELEDESIC, ASTROLINK etc. (equivalent d'ADSL, LMDS)

1_6_2 Les services mobiles de télécommunication : MSS (Mobil Satellite Services).

Leur service peut être défini par "n'importe où, n'importe quand, avec n'importe qui".

Un des premiers services mis en place vers 1978, est destiné aux navires, ou qu'ils soient, INMARSAT sur orbite géostationnaire. Ils offrent également un canal de données à 64kbits/s. Les navires utilisent une grande antenne orientable. C'est donc un ensemble peu adapté à l'utilisation portable individuelle.

INMARSAT a évolué vers la téléphonie mobile avec INMARSAT-P ou projet ICO sur orbite moyenne MEO, ce qui permet de servir le portable individuel.

Plus récemment le réseau de téléphonie mobile IRIDIUM de Motorola, permet le point à point partout sur le globe, par un maillage de 66 satellites, sans passer par des stations terriennes. Le progrès est énorme car le terminal ne pèse que 300g avec un coût réduit (1k€).

Un canal de données offre un débit de 9kbits/s. La voie est transmise en 4,8kbit/s. Notons que seuls 66 satellites tournent actuellement en polaire circulaire à 780km (orbite LEO), avec une période de 100 minutes.

Ils sont maillés à 25Mbits/s en bande Ka (13GHz), alors que les terminaux communiquent en bande L (1,6GHz). On se souvient du sauvetage in extremis en 2000 par l'administration américaine.

Citons les projets GLOBALSTAR, avec 48 satellites en 8 orbites LEO (1400km) avec une période de 114 minutes. Le maillage n'existe qu'au sol, grâce à des passerelles en bande C. La liaison montante avec les mobiles se fait en bande L (1600MHz) et la descente en bande S (2500MHz). Le partage entre utilisateurs se fait en CDMA.

Citons encore ELLIPSO avec 22 satellites en orbite elliptique (dA = 7600km dP = 633km) et une période de 3 heures.

Tableau 3.1 - Caractéristiques des satellites des systèmes pour la téléphonie mobile.

Satellite	Poids	Puissance	Longévité
Iridium	689 kg	1 400	5,8 ans
Globalstar	450 kg	1 100 W	7,5 ans
ICO	2 600 kg	8 700 W	12 ans

Tableau 3.2 - Tableau récapitulatif des systèmes pour la téléphonie mobile.

Constellation	N. de satellites	Orbites	Altitude (km)
Iridium	66	6 circulaires polaires LEO	780
Globalstar	48	8 circulaires inclinées LEO	1 400
Ellipso	16-20	2 elliptiques inclinées & 1 équatoriale circulaire MEO & 1 équatoriale elliptique MEO	min : 630 max : 7 600 8 050
ECCO	11	1 circulaire équatoriale LEO	2 000
ICO	10	2 circulaires inclinées MEO	10 390

Tableau 3.3 - Répartition des fréquences des systèmes pour la téléphonie mobile.

Constellation	Vers l'utilisateur final		Vers la station-passerelle		LIS
	Montant	Descendant	Montant	Descendant	
Iridium	L	L	Ka	Ka	Ka
Globalstar	L	S	C	C	-
Ellipso	L	S	C	C	-
ECCO	L	S	C	C	-
ICO	L	S	C	C	-

1_6_3 Les services de navigation :(Navstar/GPS, Galilé).

1_6_4 les autres services (observation, météorologie, etc.).

Citons les diverses missions satellitaires : Alertes précoces (militaires), géodésie, environnement (ionosphère et magnétosphère), atmosphère et météorologie, ressources terrestres, télédétection précise (1m), (photos envoyées par capsules), astronomie, astrophysique, sismologie stellaire, physique fondamentale (chute des corps), exploration spatiale etc.

Dans tous ces services une grosse proportion utilise l'orbite géostationnaire OGS, dont le problème est la saturation, à tel point que la FCC a réduit en 1998 l'écart entre satellites à 2° !!

Chronologie des services implantés sur les satellites.

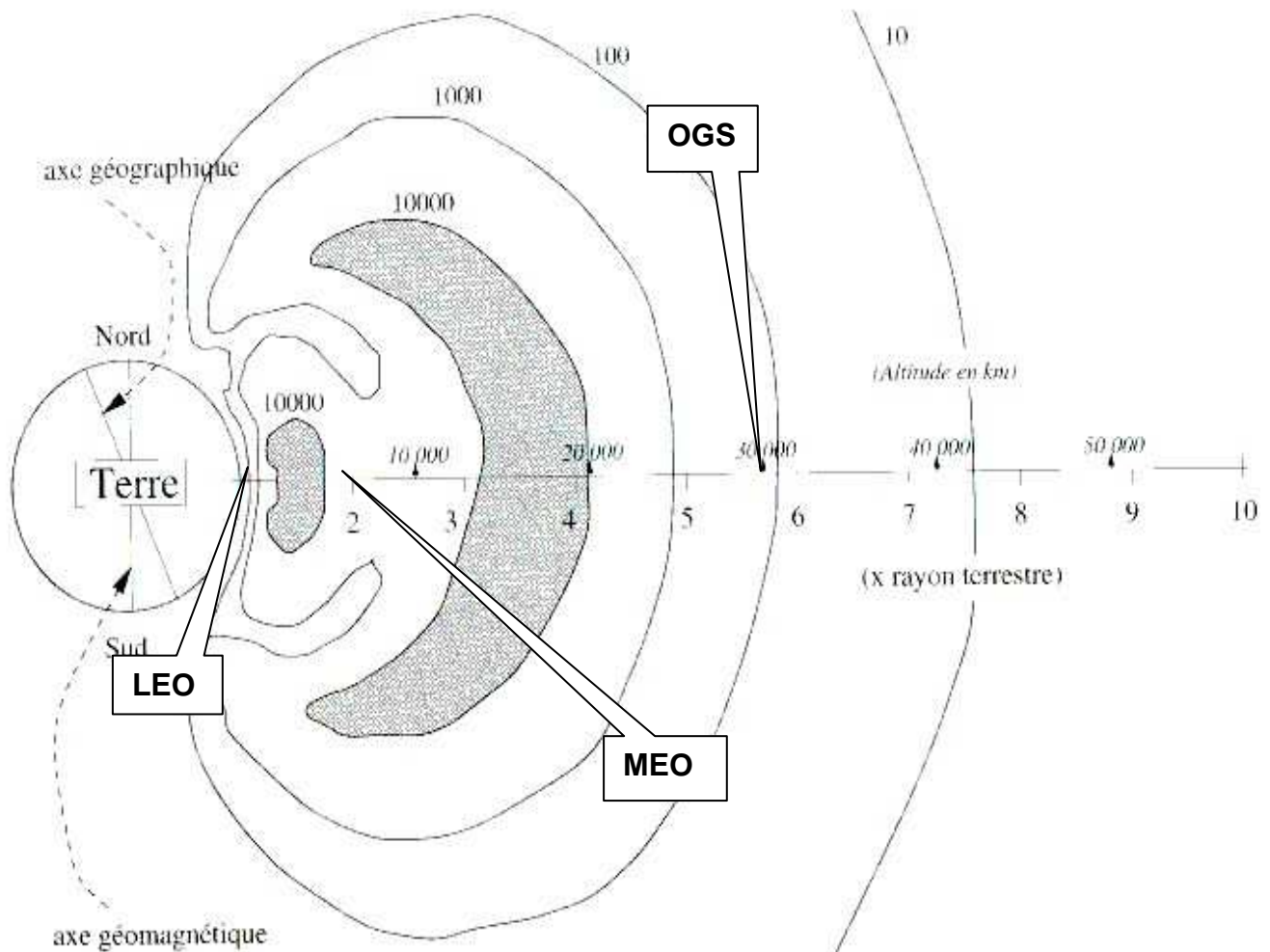
1970	1980-1990	1990-2000	2000-2010
			Multimédia interactif à l'abonné.
			Téléphonie rurale à base de VSAT.
			Radio numérique directe à l'abonné.
		Téléphonie mobile personnelle mondiale	Téléphonie mobile personnelle mondiale.
		Réseau privé IP par VSAT.	Réseau privé IP par VSAT.
		Echange de trafic Internet entre pro.	Echange de trafic Internet entre pro.
		TV Radio numérique directe à l'abonné.	TV Radio numérique directe à l'abonné.
	Communication entre mobiles.	Communication entre mobiles.	Communication entre mobiles.
	Réseaux câblés et hertzien de TV	Réseaux câblés et hertzien de TV	Réseaux câblés et hertzien de TV
Echange de programmes TV entre pro.	Echange de programmes TV entre pro.	Echange de programmes TV entre pro.	Echange de programmes TV entre pro.
Comm. voix données entre centraux	Comm. voix données entre centraux	Comm. voix données entre centraux	Comm. voix données entre centraux

1_7 Les zones d'altitudes possibles pour les satellites:

On note trois groupes d'altitude dictée par des considérations de survie du matériel électronique.

Nous avons vu les couches ionisées D,E,F permettant les transmissions indirectes à longue distance, mais de plus, la Terre est un énorme dipôle magnétique qui coïncide à peu près avec l'axe des pôles. Ce magnétisme canalise des particules ionisées à forte énergie (10MeV) dans deux couronnes toriques dites ceintures de VAN ALLEN. Ces particules sont destructives pour les composants électroniques.

La figure donne les niveaux relatifs de flux ionisés autour du globe.

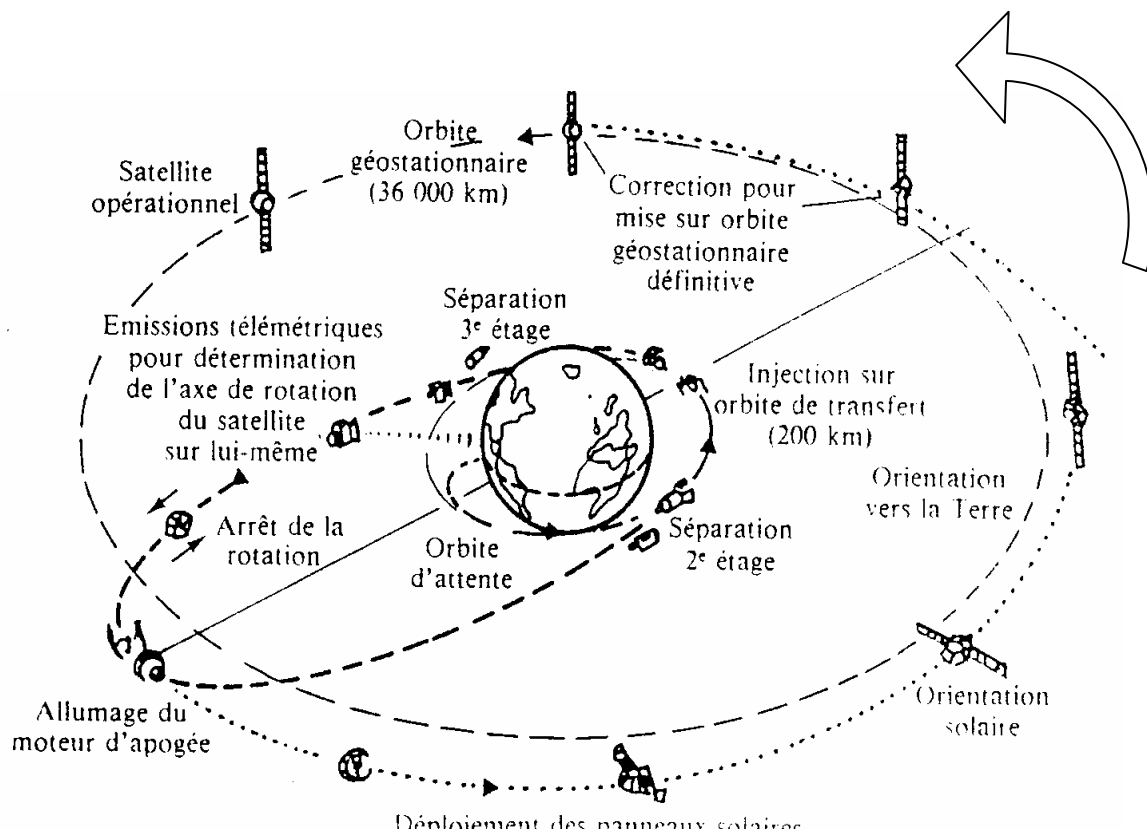


Ceci interdit les altitudes comprises entre 1500 et 5000km, d'une part, et celles comprises entre 13000 et 20000km. D'où les régions possibles suivantes.

	GEO	MEO Medium earth orbiting satellites.	LEO Low earth Orbiting satellites.
	Orbite géostationnaire.		
Altitude en km.	35786 orbite circulaire équatoriale.	5000 à 15000 orbite circulaire inclinée ou polaire.	Inférieure à 800km idem
Couverture.	Mondiale avec 3 satellites	Mondiale avec un grand nombre.	idem
Utilisation.	Diffusion radio, télévision, VSAT.	Téléphonie mobile. Transmission de données à débit faible.	Téléphonie mobile. Transmission de données.
Débit.	Jusqu'à 155Mbits/s.	Jusqu'à 64kbits/s.	2,4 à 155Mbits/s.
Durée de vie.	10 à 15 ans.	8 à 10 ans.	8 à 10 ans.
Temps de transfert	0,5s.	0,1s.	50ms.

1_8 Les phases de mise sur orbite.

La mise en orbite utilise toutes les possibilités de la mécanique céleste, très développée à partir du 16^e siècle (chapitre 2).



Les quelques particularités satellitaires évoquées dans cette introduction nous permettent de mieux aborder la suite, commençons par l'étude de leur trajectoire : Voir le chapitre 2 : **Mécanique et géométrie céleste.**

Ce cours a pour objectif de maîtriser deux contraintes imposées au concepteur :

Chiffrer le bilan de puissance Pr/Pf en prenant en compte les dégradations actuelles et à venir.

Garantir une durée maximum (par an) d'interruption du service du à la météorologie, défini avec un TEB/BER imposé. C'est-à-dire maîtriser le bilan de qualité du signal radiofréquence en bout de lien : Pr / N.

Annexe : les préfixes utiles en Physique :

Facteur	Préfixe	Symbole	Facteur	Préfixe	Symbole
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	déci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	milli	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	μ
10^{12}	téra	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	méga	M	10^{-15}	femto	f
10^3	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	déca	da	10^{-24}	yocto	y

giga = milliard

une année lumière = 9460 milliard de km. $\sim 10^{13}$ km = 10 peta mètres