



LICENCE  
Electronique Télécommunication et Informatique  
(ETI)

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**Transmission par satellite  
dans la Bande KA**



**Réalisé Par :**

El-Yahyaoui Sara

**Encadré par :**

Pr. Mechaqrane Abdellah (FST FES)

Mr. Abou El Qassime Elhassane (CAP RADIO)

**Soutenu le 13 Juin 2012 devant le jury :**

Pr Es- Sbai Najia (FST FES)

Pr Ghenioui Hicham (FST FES)

Pr. Mechaqrane Abdellah (FST FES)



## *REMERCIEMENTS*

Je tiens tout d'abord à adresser mes plus vifs remerciements à monsieur **Abou El Qassime Elhassane** , pour sa disponibilité, sa générosité, son encouragement et son soutien. C'est avec un réel plaisir que j'ai effectué ce stage sous sa direction. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance et de ma profonde gratitude.

Mes remerciement vont de même à mes formateurs à la faculté des sciences et technique Et plus précisément à Monsieur **Mechaqrane Abdellah** pour avoir suivi le bon dé roulement de mon stage.

Ma gratitude est également adressée à l'ensemble de personnel de l'équipe **CAP RADIO** pour leur accueil. Leur bonne humeur quotidienne a rendu ce stage très agréable.

En fin ; pour tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, trouve ici l'expression de ma sincère gratitude.

Merci à tous



## *Dédicaces*

Je dédis ce travail à :

### **Mes très chers parents**

Avec tous mes sentiments de respect, d'amour, de gratitude et de reconnaissance pour tous les sacrifices déployés pour m'élever dignement et assurer mon éducation dans les meilleures conditions. Que dieu leur préservent bonne santé et longue vie ;

### **Mes sœurs**

J'espère atteint le seuil de vos espérances. Que ce travail soit l'expression de ma profonde affection Je vous remercie pour le soutien moral et l'encouragement que vous m'avez accordés .Je vous souhaite tout le bonheur que vous méritez ;

### **Mes oncles, tantes, cousins et cousines**

Que je ne pourrais nommer de peur d'en oublier, mon attachement et mes affections les plus sincères ;

### **Mes meilleures amies**

A tout ceux qui ont su m'apporter aide et soutien aux moments propices, Je dédie ce travail, reconnaissant et remerciant chaleureusement ;



## *Introduction*

Dans le cadre de la formation de la licence Electronique Télécommunication et Informatique (ETI), ce rapport vient finaliser un stage de deux mois au sein de la chaine radio "CAP RADIO " à Tanger.

Ce rapport donne en premier lieu une idée sur l'organisme d'accueil à savoir CAP RADIO avec ses deux studios, son système de gestion informatique, son réseau de transmission et ses 24 stations de diffusion des programmes FM stéréophonique. Un aperçu sur le système de transmission par satellite des programmes de CAP RADIO via le satellite ABS d' EUTELSAT. Cette option de transmission par satellite est celle adoptée par toutes les radios. Voir sur **l'ANNEXE 2** la liste des radios nationales et privées en service actuellement au Maroc.

La transmission IP par satellite dans la bande Ka, sujet principal de mon stage de fin d'étude, acquiert dans mon rapport toute l'importance qu'il se doit en tant que nouvelle technologie de Transmission IP: La bande Ka est traitée sous ses différents aspects : Présentation générale, bande de fréquence, domaine d'utilisation, matériel retenu pour exploiter ce nouveau créneau de transmission....

En préliminaire, le rapport traite, d'une manière générale, les caractéristiques de la transmission par satellite dans son ensemble. En particulier, on présentera un rappel sur la transmission dans la bande Ku (10 GHz -14 GHz), puis on étalera les caractéristiques et les spécificités de la technologie Ka SAT (20GHz-30GHz) y compris les terminaux conçus spécialement pour être utilisés dans cette bande par les particuliers et les entreprises.

Conformément aux recommandations de l'UIT (Union International des Télécommunications), la bande Ka est partagée par divers services, notamment pour la transmission des signaux et des données par satellite. En outre, cette bande est utilisée pour le service internet.

Une étude comparative entre la bande Ku en exploitation depuis deux décennies et la nouvelle bande Ka permet d'avoir une vision globale sur l'évolution de la transmission, les moyens mis en œuvre pour accompagner cette évolution technologique, les retombés et l'impact sur la société. Cette approche de l'étude permet d'avoir une vision globale du sujet et permet en conséquence de pouvoir faire ressortir, à la fin, une présentation des avantages et des inconvénients de la bande Ka.



## *Abréviations*

**DVB-S2** : Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation.

**GMS**: Global System for Mobile communications.

**GPS**: Global POSITIONING SYSTEM.

**HTS**: High Throughput Satellite.

**ACM**: Adaptive Coding and Modulation.

**ADSL**: ASYMMETRIC DIGITAL SUBSCRIBER LINE.

**APSK**: ASYMMETRIC Phase-shift keying.

**BUC**: Block Up Converter.

**HD**: HAUTE DÉFINITION.

**ODU**: Outdoor Unit.

**PIRE** : Puissance isotrope rayonnée équivalente.

**QPSK**: Quadrature Phase Shift Keyed.

**RHCP**: Right Hand Circular Polarized.

**SR**: Symbol Rate.

**SNG**: Satellite News Gathering.

**VoIP**: La voix sur IP.

**VSAT**: Very Small Aperture Terminal.

**IDU**: INDOOR UNIT.

**IP**: INTERNET PROTOCOLE.

**Ka** : KURTZ-ABOVE.

**Ku**: KURTZ-UNDER.

**UIT**: UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS.

**LNB**: LOW NOISE BLOCKER.

**LHCP**: LEFT HAND CIRCULAR POLARIZED.

**LDPC**: low-density parity-check.

**DVB-RCS**: Digital Vidéo Broadcast - Return Channel System.

**MF-TDMA**: Multi Frequency Time Division Multiplexing Access.

**BPSK**: Binary Phase Shift Keying.



## *Figures*

- Figure 1** : Réseau de transmission.
- Figure 2** : Réseau de transmission de cap radio.
- Figure 3** : Réseau de diffusion.
- Figure 4** Schéma de principe d'un émetteur de base.
- Figure 5** : Architecture d'un satellite.
- Figure 6** : Station principale Tx/Tr.
- Figure 7** : Bande de fréquence allouée à la Ka Sat.
- Figure 8** : des intervenants dans le processus de Ka Sat.
- Figure 9**: le multi-spot.
- Figure 10** : L'antenne à bord du satellite Eutelsat.
- Figure 11** : vue de l'extérieur du Ka Sat.
- Figure 12**: vue de l'intérieur du Ka Sat.
- Figure 13** : Configuration du réseau de couverture.
- Figure 14** : Spot dirigé vers le Maroc.
- Figure 15** : infrastructure au sol à la hauteur de Ka-sat.
- Figure 16** : services professionnels.
- Figure 17**: Grand public.



## *Table des matières*

Remerciements.....	1
Dédicace.....	2
Introduction.....	3
Abréviations.....	4
Figures.....	5
Table des matières.....	6
Chap I : Préambule.....	8
I-Présentation cap radio.....	8
I-1- Chaîne de proximité.....	8
I-2-Studio de production.....	8
I-3- Réseau de transmission.....	10
I-4- Contribution satellitaire sur EUTELSAT AB7.....	11
I-5 Réseau de diffusion.....	14
Chap II: La transmission par satellite.....	19
I-introduction.....	19
II-les satellites.....	19
II-1 Définition.....	19
II-2-Rappels théorique.....	20
II-2-1-Architecture d'un satellite.....	20
II-2-2-L'orbite.....	21
II-2-3Les équipements au sol pour un satellite.....	23
III-Principaux services de télécommunications civiles par satellite.....	23
IV- Bandes de fréquence allouées à la transmission par satellite.....	25
Chap III: Les réseaux VSAT et la Transmission dans la bande Ka .....	27
Partie1 :Les Réseaux Vsat :.....	27
I-introduction.....	27
II-Organisation du système satellite.....	27
III-La station VSAT .....	28
IV-Avantage des réseaux Vsat .....	28
V-Le déploiement des VSAT au Maroc.....	28
Partie2 : la Transmission dans la bande Ka .....	29
I-Introduction.....	29
II-DVB-S2, Standard de base de la Ka .....	30
II-1-Définition.....	30
II-2-Les applications du standard DVB-S2.....	30
III-Rappels des paramètres liés à la transmission dans la bande Ka.....	31
III-1-Roll-off.....	31
III-2-Code convolutif.....	31
III-3-Débit binaire.....	32
III-4-L'efficacité spectrale.....	32
IV-Bande de fréquences allouées à la Ka Sat .....	32
V-Les avantages de la bande Ka .....	33
VI-Réseaux de transmission de la Ka.....	34
VI-1-Répartition générale des tâches.....	34
VI-2-Rôle des intervenants dans le processus de Ka Sat .....	35



VII-Le réseaux SurfBeam de viasat.....	36
VII-1- Caractéristiques du système SurfBeam .....	36
VII-2- Avantages du système SurfBeam.....	36
VII-2- Caractéristiques du système SurfBeam.....	37
VIII- Couverture satellite avec des procédés innovants.....	38
VIII-1 -Principe .....	38
VIII-2 - Les avantages de ce procédé.....	38
ChapIV: Satellite Ka Sat: .....	40
I-Présentation.....	40
II-Principales caractéristiques du satellite Ka sat.....	41
III-L'antenne à bord du satellite Eutelsat.....	41
IV-historique de lancement du satellite.....	41
V-Technologie du satellite.....	42
VI-Capacité du réseau de couverture.....	43
VII-Diagramme global de rayonnement du Satellite Ka d'Eutelsat .....	44
VII-1-Configuration du réseau de couverture.....	45
VII-2-Spot dirigé vers le Maroc.....	45
VIII-Réseau au sol .....	46
IX-Couverture des zones rurales .....	47
X-Equipements utilisés dans le réseau de la Ka Sat.....	48
X-1-Caractéristiques du terminal Ka .....	48
X-2-Description des équipements.....	49
chapV: Avantages et inconvénients de la transmission par satellite de la bande KA.....	51
I-Domaine pratique de l'utilisation de la Ka.....	51
I-1-Grand public.....	51
I-2-Publique Professionnel .....	51
II-Avantage / Inconvénients de la transmission par satellite dans la bande Ka.....	52
III-Classification des atténuations en bande Ka.....	53
IV-Comparaison entre la bande Ka et la bande Ku .....	55
Conclusion.....	56
Bibliographie.....	57
Annexes.....	58





# Chap I: Préambule :

## I-Présentation de CAP RADIO :

### I-1-Chaine de proximité :

**Cap Radio** est une chaîne privée basée à **TANGER** avec deux studios FM stéréo de diffusion et de production. Elle a été lancée en 2007 en tant que chaîne régionale avec une couverture radio concentrée sur les bassins d'audience du *Nord, du Rif et de l'Orientale* et assurée par huit stations d'émission FM. Depuis 2011, la Haute Autorité de la Communication Audiovisuelle a autorisé Cap Radio à faire l'extension de sa couverture sur 6 autres bassins d'audience : ***Le Gharb ; Casablanca, Chaouia -Ourdigha ; Fès-Meknès bassin Pré-Rifain ; Marrakech le Haut-Atlas et Abda ; les provinces sahariennes.*** Cette extension a nécessité un programme de déploiement de 16 stations d'émission complémentaires. Les localités et villes couvertes sont indiquées sur ***l'Annexe 1.*** Cap Radio est une chaîne généraliste de proximité diffusant ses programmes en arabe dialectale et en rifain avec également une présence sur le WEB. A travers ses programmes, elle assure pleinement sa mission. Elle enrichit l'espace audiovisuel marocain et contribue à la dynamique de progrès et de développement du pays par ses actions citoyennes à savoir la généralisation de la culture, l'information, la distraction et le développement des régions rurales avec des engagements financiers sans retour sur investissement.

### I-2-Studio de Production :

CAP RADIO regroupe deux studios. Le studio principal accueille l'antenne, Le second studio est utilisé pour la production hors antenne. Il est aussi le studio de secours au cas où une panne rendrait le premier inutilisable.

Ces deux Studios radio comprenant chacun:

- Une table de travail ;
- une Table de mixage : qui permet de mixer le son entre les différents appareils ;
- Cinq micros : 4 pour les invités et un pour l'animateur ;
- Cinq casques : 4 pour les invités et un pour l'animateur ;
- un insert téléphonique permettant de faire des interviews par téléphone ;
- un tuner FM avec un amplificateur BF pour le retour studio ;
- Lecteurs CD professionnels ;



- Un système de traitement audio multi bande ;
- Poste informatique de Stockage de l'information ;
- Equipement informatique permettant de faire des opérations de <<mastering>> ;
- Plusieurs stations de travail "Works Station" : Production, programmation, Publicité, Information ;
- Au CDM, on trouve un système de gestion informatique évoluée qui a une place primordiale dans toutes les radios qu'elle soit analogique ou numérique. En effet, c'est lui qui permet de gérer simultanément toutes les composantes du studio : Production, programmation, Publicité, Information. Il assure la passerelle entre les différents postes de travail et permet une programmation automatique sur une période fixée à l'avance. Il assure le stockage et sécurisation des programmes diffusés avec un backup. Cap Radio a opté pour WIN RADIO, système très performant et utilisé par un grand nombre de radios ;
- La sécurisation de l'alimentation en énergie par des onduleurs appropriés ;

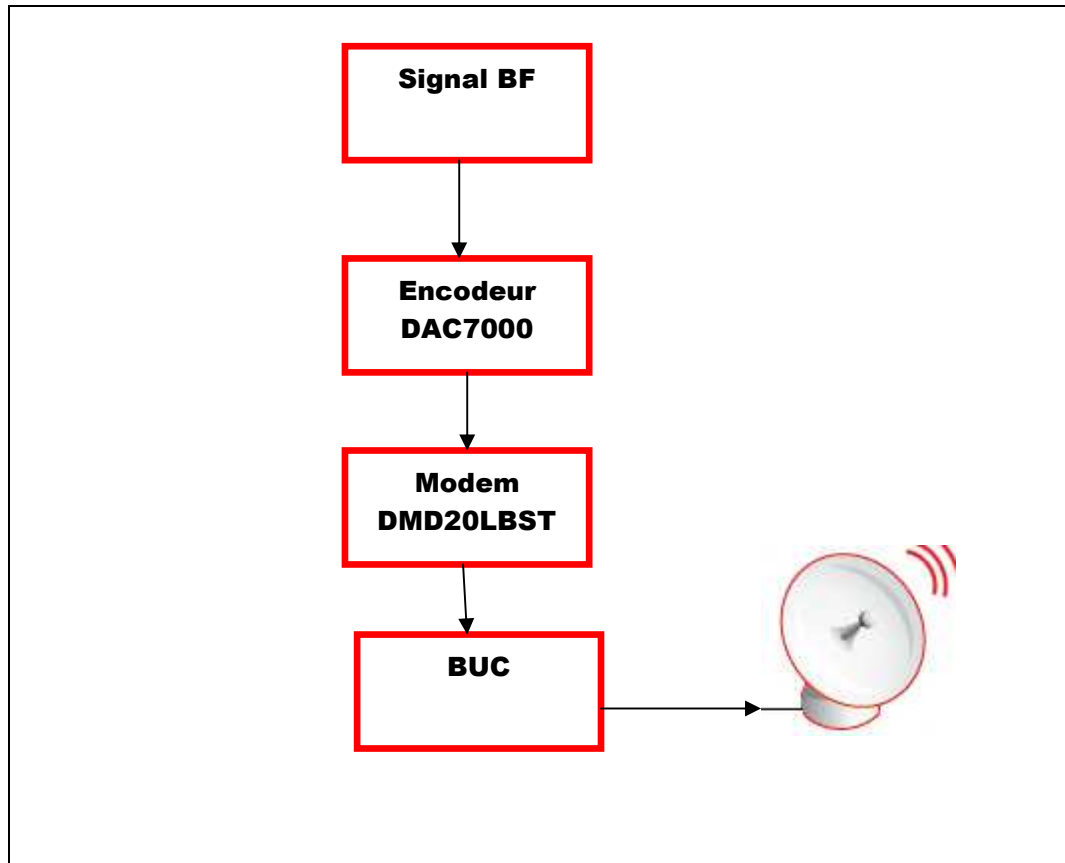


### **I-3-Réseau de transmission :**

**Une plateforme de transmission par satellite composé de :**

### L'UP LINK :

Il assure la montée satellite et comprend :



**Figure 1**

- Signal BF venant du studio ;
- Un encodeur ; Référence : DAC 7000 de RADYNE Les caractéristiques sont indiquées à *l'Annexe 2* ;
- Un modem ; Référence : DMD 20 de RADYNE ;
- Un BUC (amplificateur 4 watts) ;
- Une antenne parabolique – Diamètre : 2.40m orienté vers le satellite AB7. Les caractéristiques d'une antenne 3.2m sont indiquées à *l'Annexe 5* ;
- Un LNB pour le contrôle du retour des programmes ;

### LE SATELLITE DE TRANSMISSION :

Pour assurer la transmission de ses programmes vers les 24 stations distantes CAP RADIO exploite un segment spatial sur le satellite AB7. Le



plan de transmission est fourni à ***l'Annexe 6***. En particulier ci-dessous les paramètres de réceptions de CAP RADIO sur le satellite AB7 d'EUTELSAT :

### **1-4-Contribution satellitaire sur EUTELSAT AB7**

- Satellite Eutelsat- Position orbitale : **7.30° West**
- Fréquence de réception : **11194.755MHZ**
- Débit de transmission: **256 Kbits**
- Bande KU
- Durée de contrat: **1 an renouvelable avec CIMECOM.**
- Mode : QPSK
- Durée : **24/24**
- Fec : **3/4**
- Polarisation de réception : Y (verticale)
- Beacon : **11199.50** – Pol X (horizontale)
- Diamètre Antenne de réception : **1,8 Mètres** pour tout le Maroc
- Diamètre Antenne d'émission minimum : **2.4 Mètres**
- Puissance HPA émission BUC : **4w max**
- Prix de location de la bande avec un débit de **256 Kbits** : De l'ordre de **1100 Euro /mois**

### **BANDE DE FREQUENCE ALLOUEE -IMPORTANCE DE LA VALEUR DU FEC :**

Il est à noter que le Viterbi (FEC) peut prendre différentes valeurs : **7/8 ; 3/4 ; 1/2 ; 5/4.....etc.** Le débit de transmission (Interface Right) et par conséquent la bande passante consommée WB est directement proportionnelle à la valeur du FEC. Il en ressort que le débit fourni par un opérateur est tributaire de la valeur attribuée au FEC. L'utilisateur à l'instar d'une chaîne radio comme CAP RADIO, a intérêt à fixer dans son contrat avec le fournisseur de la bande, c'est-à-dire l'opérateur, un FEC élevé. En effet, la bande passante satellite est régie par la formule ci-dessous :

$$WB = R_o \times SR$$

Avec

$$SR = (IR \times 1/RS) / MD \times FEC$$

où :

**WB** : bande passante.



**Ro** : Rolf of Façture =  $(1 + \alpha)$ ;  $\alpha$  : Paramètre du filtre de la pente de Nyquist du modulateur DMD20 fourni;  $\alpha$  fourni = 35% ou 25% (fourni par le constructeur de l'appareil) On considère  $\alpha = 0.35$ .

**SR** : Symbol Right ;

**IR** : Interface Right (debit utile)= 353kbps ;

**1/RS** (Red Salomon) =  $N_s/K_e$  (sortie /entrée)=204/188 ;

**MD** : paramètre de modulation = **2 (QPSK)** ;

**FEC** : Viterbi = **1/2 ou 3/4 ou 7/8** .

Pour un débit de transmission de 353 Kbps et pour différentes valeurs du FEC (7/8 ; 3/4 ; 1/2), on calcul par le biais de la précédente formule les différentes valeurs de la bande consommée. Il y a lieu de la comparer avec la valeur de la bande allouée et indiquée sur le contrat entre le locataire de la bande (l'opérateur) et l'utilisateur la chaîne radio.

Le calcul de la bande passante pour différentes valeur du FEC permet de constater la variation de la bande.

$$WB = (1 + 0.35) \times (353 \times 204 / 188) / (2 \times 7/8) = \mathbf{295,48997 \text{ KHZ}}$$

$$WB = (1 + 0.35) \times (353 \times 204 / 188) / (2 \times 3/4) = \mathbf{344,738298 \text{ KHZ}}$$

$$WB = (1 + 0.35) \times (353 \times 204 / 188) / (2 \times 1/2) = \mathbf{517,107447 \text{ KHZ}}$$

### **Conclusion :**

Si le FEC est 1/2, la bande occupée est grande et la qualité radio est meilleure ce qui n'est pas dans l'intérêt de l'opérateur (le locataire de la bande). Par contre si le FEC est 7/8, la bande occupée est faible entraînant une perte sur la qualité radio ; par contre l'opérateur en profite pour économiser la bande passante. Le Compromis est de considérer un Fec égal à 4/3.

CAP RADIO a établi un contrat avec l'opérateur Vsat : CIMECOM qui est en charge de fournir à CAP RADIO la capacité spatiale avec un débit de 256 Kb/s et de garantir le bon fonctionnement de la transmission des programmes de CAP RADIO du studio de TANGER vers les sites distants. Cet opérateur Satellite doit assurer pour CAP RADIO une transmission sans coupure à hauteur du taux défini sur le contrat liant CAP RADIO à cet opérateur qui est responsable également de l'entretien et le dépannage de la montée satellite.



CAP RADIO a fonctionné depuis son démarrage jusqu'au mois d'avril 2012 avec un débit de 128 Kbps et une antenne d'émission de 1.80m. Cette situation était la source de coupures fréquentes du signal. L'augmentation du débit de transmission donc de la bande passante et le remplacement de l'antenne 1.80m par une antenne 2.40m a permis d'améliorer le bilan de la liaison en Up Link et Down Link et notamment la P.I.R.E . Cette nouvelle situation a permis d'améliorer sensiblement la qualité d'émission et de réception de la transmission et de réduire le nombre de coupures enregistrées pendant les périodes pluvieuses.

Le bilan de liaison de la liaison descendante, calculé à TANGER est indiqué à ***l'Annexe 7.***

Au Maroc, les opérateurs Vsat disposant d'une licence auprès de l'ANRT (Agence Nationale de Radiocommunication) sont les suivants :

- CIMECOM S.A.
- GULF SAT MEGHREB
- SPACE COM S.A.

Ces opérateurs traitent directement avec les grandes sociétés gérant de plusieurs satellites tels : EUTELSAT, ARABSAT, HISPASAT.....etc.

Seuls ces opérateurs Vsat ont donc le droit de faire un contrat de vente de la bande passante sur satellite aux chaînes de radiodiffusion privées. Les chaînes publics 2M, SNRT et Medi1 Sat traitent directement avec ces gérants de satellite car ce sont de gros consommateurs de la bande sur satellite qui peut atteindre la totalité d'un répéteur "Transponder" de 72 Gb à comparer avec 256 Kb/s nécessaire à la transmission d'un programme radio.

Pour conclure, ce schéma représente le réseau de diffusion de CAP RADIO.

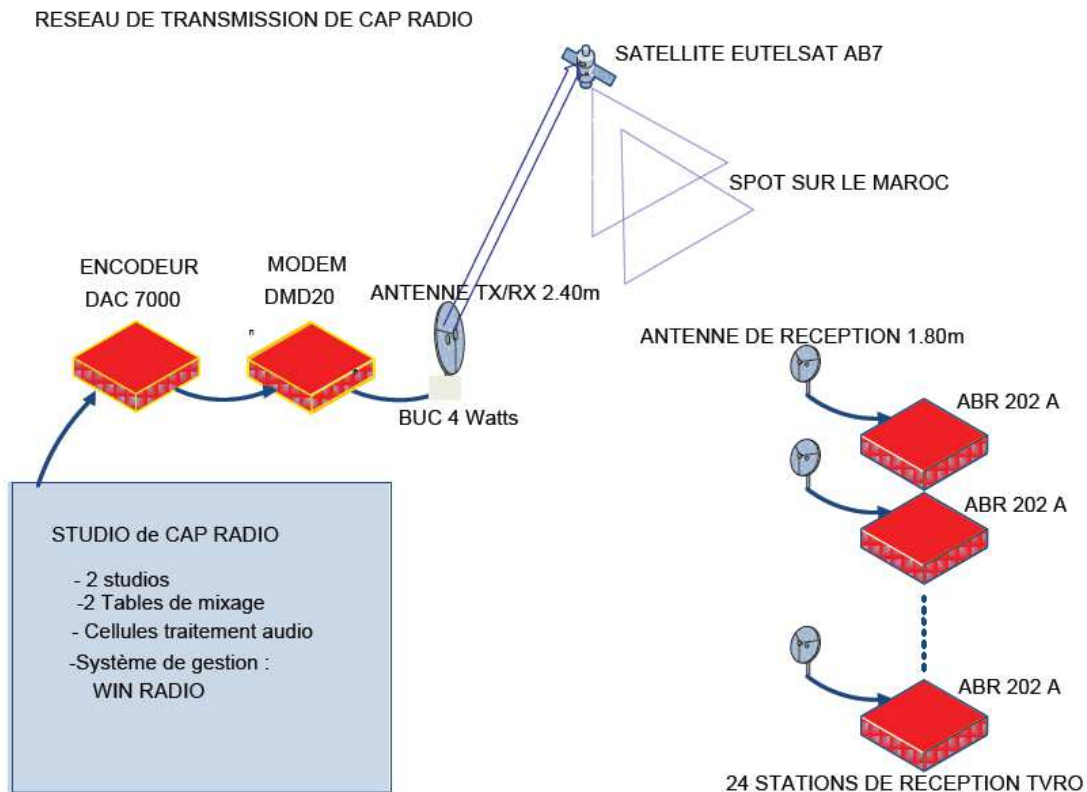


Figure 2

### I-5-Réseau de diffusion :

#### ▪ Stations TVRO

Cap Radio dispose actuellement de 16 stations TVRO en exploitation. 8 autres stations sont en cours d'installation. Ces stations de réception par satellite assurent la réception du programme radio de CAP RADIO dans la zone couverte par AB7 – Voir le diagramme de la couverture de AB7 à *l'Annexe 8*.

Composition d'une station TVRO :

- Une parabole de réception de diamètre 1.80m ;
- Un récepteur satellite ABR 202 A – Voir spécifications sur *l'Annexe 9* ;
- Un LNB à faible bruit – Voir spécifications sur *l'Annexe 9* ;

CAP RADIO adopte actuellement dans son réseau de transmission la norme QPSK et les récepteurs satellites fonctionnent en analogique. Elle prévoit de passer dans un proche avenir à la norme DVB-S ou DVB-S2 afin de numériser son réseau de transmission. Cette numérisation nécessitera l'adaptation ou le changement du codeur et modem de l'UP LINK ainsi que les récepteurs ABR 202A.

#### Les équipements de diffusion :



La diffusion FM est assurée actuellement par 16 émetteurs FM de différentes puissances voir *l'Annexe 1*. 8 autres émetteurs sont en cours d'installation. Les puissances des émetteurs varient de 500 Watts pour les petites localités à 5 KW pour les grandes villes comme Casablanca, 3Kw pour les villes de Marrakech et Meknès et Fès.

Composition d'une station de diffusion :

- Un émetteur FM double drives analogique émettant dans la bande 87Mhz à 108 Mhz composé lui-même de :
  - D'un double drive : exciter de 30 à 100 watts muni du système de préaccentuation ;
  - Un système de basculement automatique assurant le basculement sur l'exciter de secours en cas de panne du premier ;
  - Deux amplificateurs assurant la redondance ;
  - Une alimentation redondante ;
- Un système de traitement audio.
- Un filtre de sortie canal exigé par la HACA. Ce filtre assure la protection contre le brouillage des canaux adjacents au canal d'émission de l'émetteur en question.
- Un système d'émission composé de deux antennes d'émission en général de 2 dipôles demi onde.
- d'un distributeur d'antennes 1 entrées /2 sorties d'un feeder de faible perte.



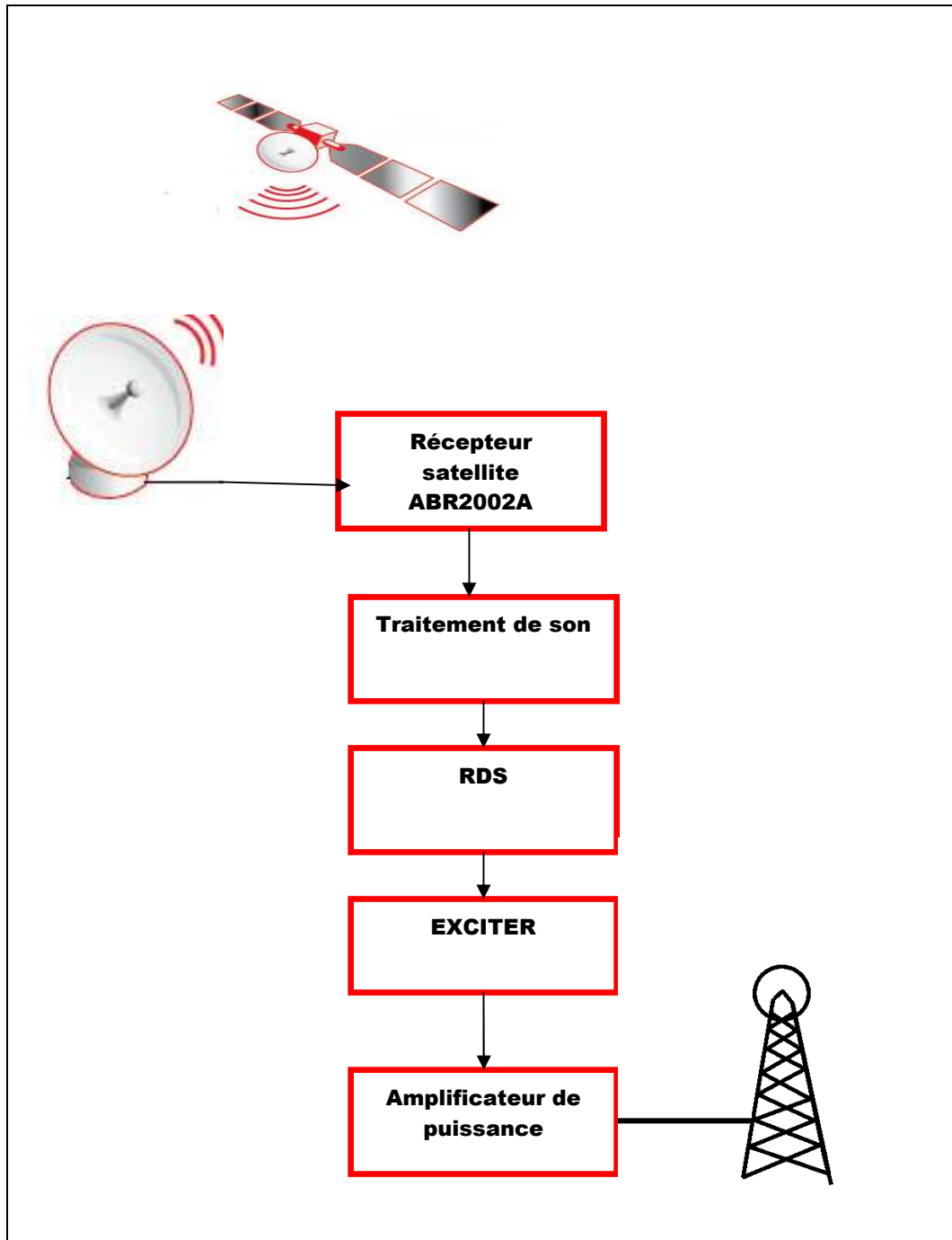
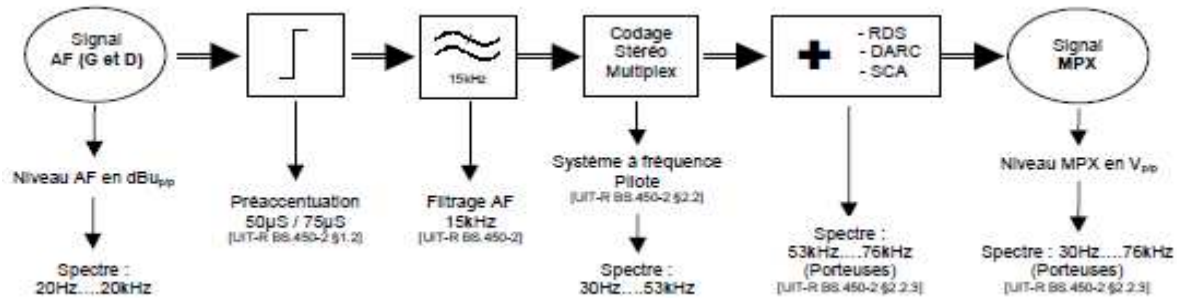


Figure 3

SCHEMA DE PRINCIPE D'UN EMETTEUR DE BASE .

Les opérations de traitement du signal à savoir préaccentuation, codage multiplex, RDS sont inclus dans le signal MPX.



**Figure 4**

A titre indication, il est fourni à *l'Annexe 10* le schéma synoptique d'un émetteur 1KW de marque EBS.

Les caractéristiques typiques des antennes dipôle utilisées sont indiquées à *l'Annexe 11*.

Les caractéristiques du système de traitement audio sont indiquées à *l'Annexe 12*.

Les caractéristiques du filtre de sortie sont indiquées à *l'Annexe 13*.

### **FREQUENCES D'EMISSION FM.**

Les fréquences d'émission des émetteurs FM attribuées à CAP RADIO par la Haute Autorité de la Communication sont indiquées à *l'Annexe 1*. L'attribution de ces fréquences est assortie de l'engagement de CAP RADIO à respecter à travers son cahier des charges les caractéristiques géographiques ainsi que les caractéristiques d'émission.

#### **Principales caractéristiques géographiques :**

- Coordonnées géographiques ;
- Altitude du site d'émission ;
- Hauteur Antenne ;
- Hauteur équivalente (Hauteur moyenne qui caractérise la hauteur au voisinage du site entre 3Km et 15 Km) ;

#### **Principales caractéristiques d'émission :**



- PAR : puissance apparente rayonnée. (Gain antenne x puissance porteuse de l'émetteur).
- Caractéristiques de qualité (stéréophonie).
- Largeur de la Bande d'émission.
- Filtre du canal de sortie.
- Fréquence attribuée.
- Paramètres d'émission de l'émetteur : Excursion : 75 KHz, stabilité de fréquence, Harmonique, Intermodulation.....etc.

La demande de nouvelles fréquences est conditionnée par des fiches à remplir par le demandeur. Un exemple de fiche pour le site de ZERHOUN est fourni à ***l'Annexe 14.***

## **Chap II: La transmission par satellite:**



## I-Introduction

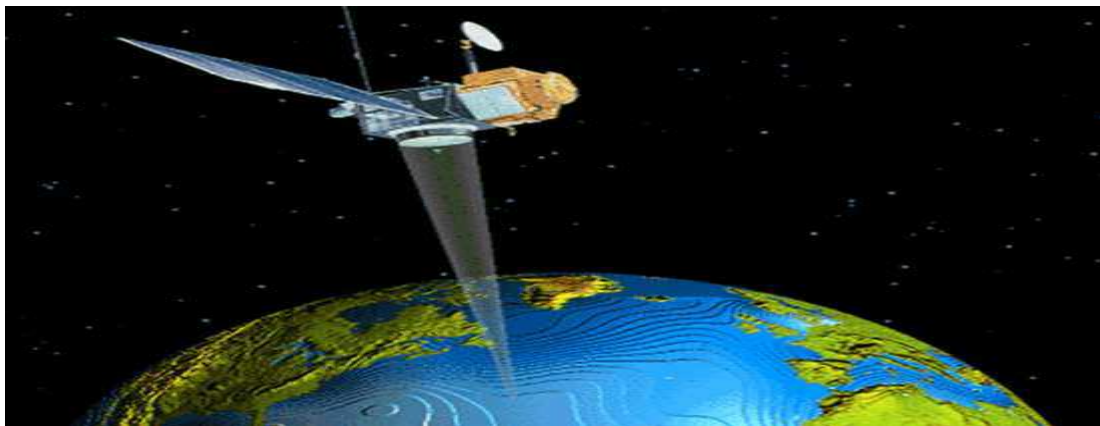
Le marché des télécoms connaît de grandes mutations depuis quelques années.

En matière de transport de l'information, deux grands axes d'évolution se sont démarqués :

- ✓ L'augmentation des débits requis par les applications
- ✓ Et le besoin de mobilité ressenti par les utilisateurs

Si la fibre optique a permis dans une grande mesure de satisfaire les besoins en termes de débit des clients, beaucoup de progrès restent à faire en matière de mobilité.

Les satellites se positionnent comme acteurs privilégiés dans ce domaine capable non seulement de couvrir les larges zones, mais aussi de diffuser de façon sélective les informations partagées par de nombreuses applications.



## II-Les satellites :

### II-1-Définition :

Un satellite peut être considéré comme une sorte de relais hertzien. En effet il n'entre pas dans la nature des données : Son rôle se limite à la régénération du signal qu'il a reçu et de le retransmettre à la station réceptrice. Le satellite permet également une distribution en étoile, c'est-à-dire qu'il peut retransmettre les signaux captés depuis la terre vers une zone de couverture bien définie où plusieurs stations TVRO peuvent le recevoir. La démarche inverse peut également être effectuée ; il peut récolter des informations venant de plusieurs stations différentes et les retransmettre vers une station particulière.

Le satellite, un émetteur /récepteur sans fil utilisé pour plusieurs services de communications est lancé par un lanceur spécial pour le mettre en position orbitale autour de la terre

## II-2-Rappels théorique

### II-2-1-Architecture d'un satellite

Les satellites ont une architecture qui leur est propre. En effet :

Le satellite est constitué d'une charge utile et d'une plate forme. . La charge utile comporte les antennes de réception et d'émission, et la plate forme l'ensemble des équipements électronique assurant la transmission des signaux.

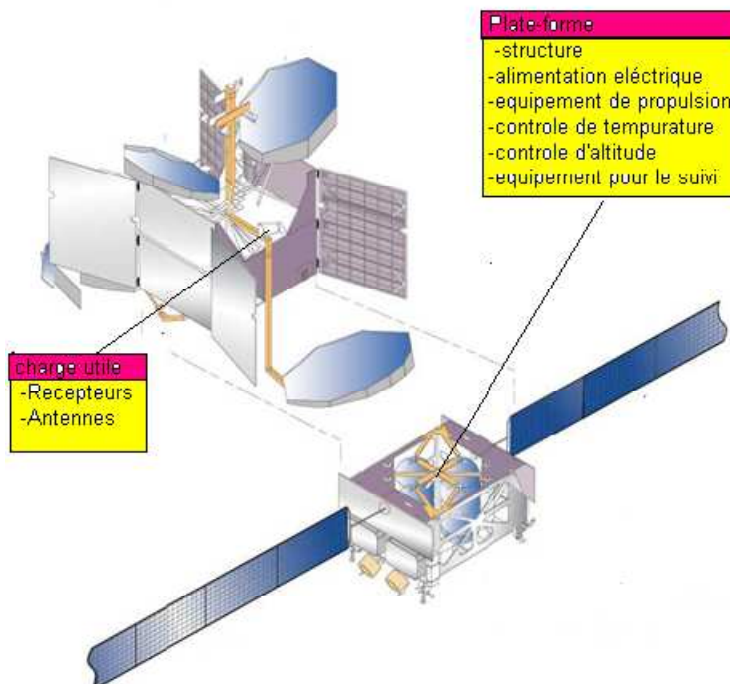


Figure 5

### II-2-2-L'orbite :

#### Loi de Kepler :

*Les lois de Kepler régissent le mouvement des planètes autour du soleil*



- Les orbites des planètes sont des ellipses dont le soleil occupe un foyer.
- Le vecteur soleil-planète balaie des aires égales en des temps égaux.
- Le rapport du carré de la période  $T$  de révolution d'une planète autour du soleil au cube du demi-grand axe " $a$ " de l'ellipse est le même pour toutes les planètes.

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{constante quelle que soit la planète.}$$

### Les paramètres orbitaux :

Sans reprendre les démonstrations classiques, Il est utile de donner les principales définitions et relations qui interviennent dans les mouvements des satellites.

Equation en coordonnées polaires de l'orbite :

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos v}$$

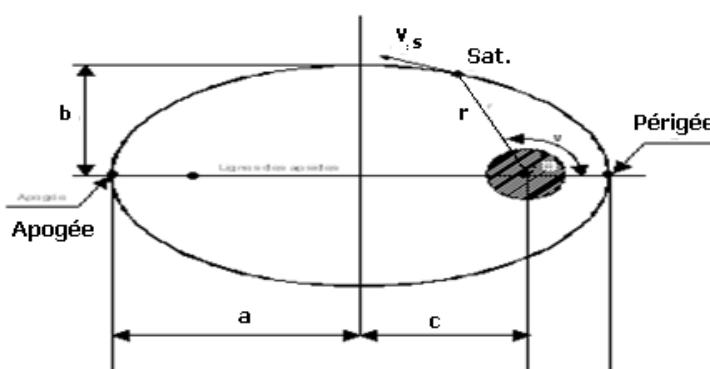
La position du satellite dans son plan est donc définie par trois paramètres :  $a$ ,  $e$  et  $v$ .

### Période orbitale :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{G \times M}} = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{K}}$$

$$K = G \times M = 3,986.10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2 \text{ Constante d'attraction}$$

### Définition des paramètres orbitaux :



$$b = a\sqrt{1-e^2}$$

$$c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos v}$$

$$e = \frac{c}{a}$$

L'anomalie vraie ( $v$ ) est l'angle compté positivement dans le sens du parcours du satellite du  $0^\circ$  à  $360^\circ$  entre la direction du périgéé et la direction du satellite.

\*vitesse du satellite au point S

$$V_S^2 = \frac{2K}{r} - \frac{K}{a}$$

### Définitions



**L'orbite d'un satellite** : est une ellipse dont la terre occupe un foyer.

**L'apogée** : est le point le plus éloigné de la terre.

**Le périgée** : est le point le plus proche de la terre.

### **Les différentes orbites :**

La diversité des missions spatiales à pour conséquence une grande variété d'orbites. En fonction de ces missions, les orbites décrites par les satellites de la terre s'organisent en deux grandes catégories.

- **Les orbites circulaires ou quasi-circulaires :**

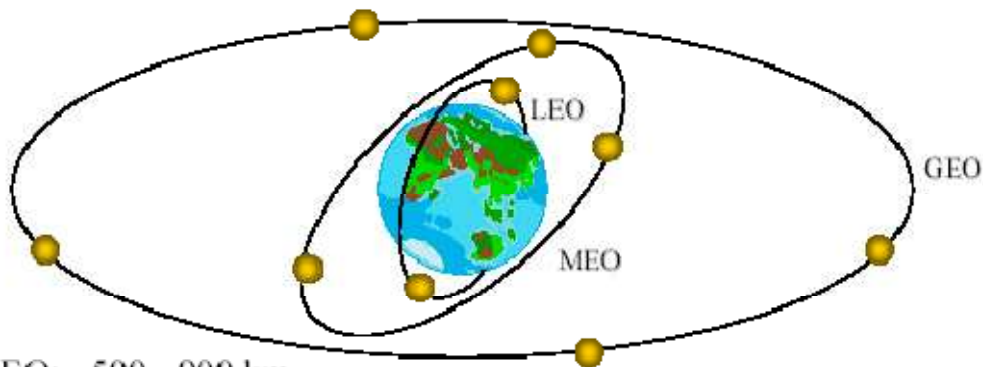
Les satellites en orbite circulaire sont classés par leur altitude moyenne :

- **Orbite basse** : LEO (Low Earth Orbit) pour une altitude inférieure à 1500 km et supérieure à 500km.
- **Orbite moyenne** : MEO (Medium Earth Orbit) pour une altitude voisine de 20000 km.
- **Orbite haute** : GEO (Geostationary Earth Orbit) pour une altitude de 36000 km

- **Les orbites elliptiques :**

Cette orbite est généralement provisoire, puisqu'on y met des satellites à orbite géostationnaire GTO (Geostationary Transfer orbit) .

Parmi les orbites elliptiques, l'orbite de transfert géostationnaire est caractérisé par une apogée située à 36000 km .Ce qui correspond à l'altitude des satellites géostationnaire .Cette orbite est l'étape quasi-incontournable pour mettre un satellite géostationnaire à poste. Dans une première phase, le satellite est injecté en périgée d'une altitude de 500 km, puis il décrit l'orbite elliptique de transfert. Dans une seconde phase, lors de l'un des passages du satellite à l'apogée on lui donne une impulsion supplémentaire à l'aide d'un moteur d'apogée, pour « circulariser » son orbite à cette altitude de 36000 km.



LEO: 500 - 900 km

MEO: 5,000 - 12,000 km

GEO: 36,000 km

LEO: Low Earth Orbit

MEO: Medium Earth Orbit

GEO: Geostationary Earth Orbit

### II-2-3 Les équipements au sol pour un satellite :

#### En émission :

- Une antenne Tx.
- Un codeur.
- Un modulateur.
- Un ampli. Buc.

#### En Réception :

- Une antenne Rx
- Une source associée à un LNB (amplificateur- convertisseur de fréquences faible bruit).
- Un récepteur satellite IRD (décodeur /démodulateur).

### III-Principaux services de télécommunications civiles par satellite :

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.

### **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.

### **La transmission de donnée :**

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, télémédecine, téléenseignement, 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.

### **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 câblés ou d'autres technologies.

## **IV-Bandes de fréquences allouées à la transmission par satellite :**



DESIGNATION	BANDES	USAGES
L	1,5 – 1,6 GHz	Bande L réservée aux satellites météorologiques
S	2,5 – 2,7 GHz	Liaisons aux mobiles (bateaux, etc.) et aux services professionnels de radiodiffusion
C	3,7 – 6,425 GHz	Bande très utilisée actuellement : Intelsat, Arabsat, Gorizont, Insat, Asiasat, Telecom, Thaicom
X	7 – 8,4 GHz	Satellites de télécommunications gouvernementales et militaires
KU	10,7 – 18 GHz KU <sub>1</sub> : 10,7 – 11,7 GHz KU <sub>3</sub> : 11,7 – 12,5 GHz KU <sub>5</sub> : 12,5 – 12,75 GHz Bande basse : 10,7 - 11,7 GHz Bande haute : 11,7 – 12,75 GHz	Astra, Hot Bird, Turksat, Eutelsat, Arabsat, Sirius, Thor, Intelsat, Telecom, Hispasat....
Ka	20-30 GHz	Premiers essais (Italsat)

**La bande C :** bande utilisée par les satellites commerciaux pour les services SFS, Elle est aujourd'hui fortement encombrée. Cette bande est divisée en deux sous bandes ; la plus basse, pour les flux descendants (satellite/terre) et la plus haute, pour les flux montants (terre/satellite).

**La bande Ku :** surtout utilisée pour les SFS et exclusivement pour les SRS dans les bandes 12/11 GHz.

**La bande Ka :** permet l'utilisation d'antennes encore plus petites. Au début, Cette bande est surtout utilisée pour les terminaux mobiles de type GSM. Actuellement cette bande a trouvé de multiples applications dont le multi média, la transmission de données et l'internet par satellite développé ci-dessous dans mon projet d'étude objet de la 2<sup>ème</sup> partie.

**La bande L :** est principalement destinée aux satellites en orbite basse. Les bandes de fréquences de la bande L ont été définies par la conférence mondiale (CAMR) de 1992 pour le service mobile par satellite.

**La bande X :** est réservée aux applications militaires.



## Chap III: Les réseaux VSAT et la Transmission dans la bande Ka :

### Partie1 :Les Réseaux Vsat :

#### **I-introduction :**

Avec plus d'un million de terminaux installés dans plus de 120 pays, selon le Global VSAT Forum, les VSAT constituent une solution de télécommunications bien établie sur le marché. Ils ne sont plus le seul apanage des grandes sociétés internationales, car la petite taille des équipements et les économies d'échelle



réalisées ont permis aux prestataires de services d'offrir, aux petites entreprises et agences, des solutions basées sur la technologie VSAT pour tous les types de services : télécommunications rurales, communications maritimes, téléenseignement, télé médecine, animation de points de vente, rétablissement des communications en cas de catastrophe et télésurveillance.

Les réseaux VSAT sont parfaitement adaptés aux applications professionnelles et gouvernementales nécessitant des télécommunications longue distance. Ces réseaux point-multipoint sont fiables et simples à installer, offrent une accessibilité immédiate, une continuité de transmission de haute qualité et peuvent être agrandis pour un surcoût minime au fur et à mesure de vos besoins.

## II-Organisation du système satellite

Le VSAT, acronyme de (Very Small Aperture Terminal) ou Les terminaux à très petites ouvertures ou micro-terminaux est un réseau domestique qui utilise un satellite en tant que relais pour la réalisation de liaison directe entre client et un système central.

Le VSAT est un système qui repose sur le principe d'un site principal (le hub) et d'une multitude de points distants (les stations VSAT). Le hub est le point le plus important du réseau c'est par lui que transite toutes les données qui circulent sur le réseau. C'est aussi lui qui gère tous les accès à la bande passante. Les stations VSAT permettent de connecter un ensemble de ressources au réseau. Dans la mesure où tout est géré par le hub, les points distants n'ont pas d'impact sur le réseau (il n'y a pas d'interactivité dans le cas des TVRO) ce qui a permis de réaliser stations relativement petites et surtout peu coûteuses. Dans la plupart des cas, une antenne de taille moyenne permet d'assurer un débit de plusieurs centaines de Kb/s.

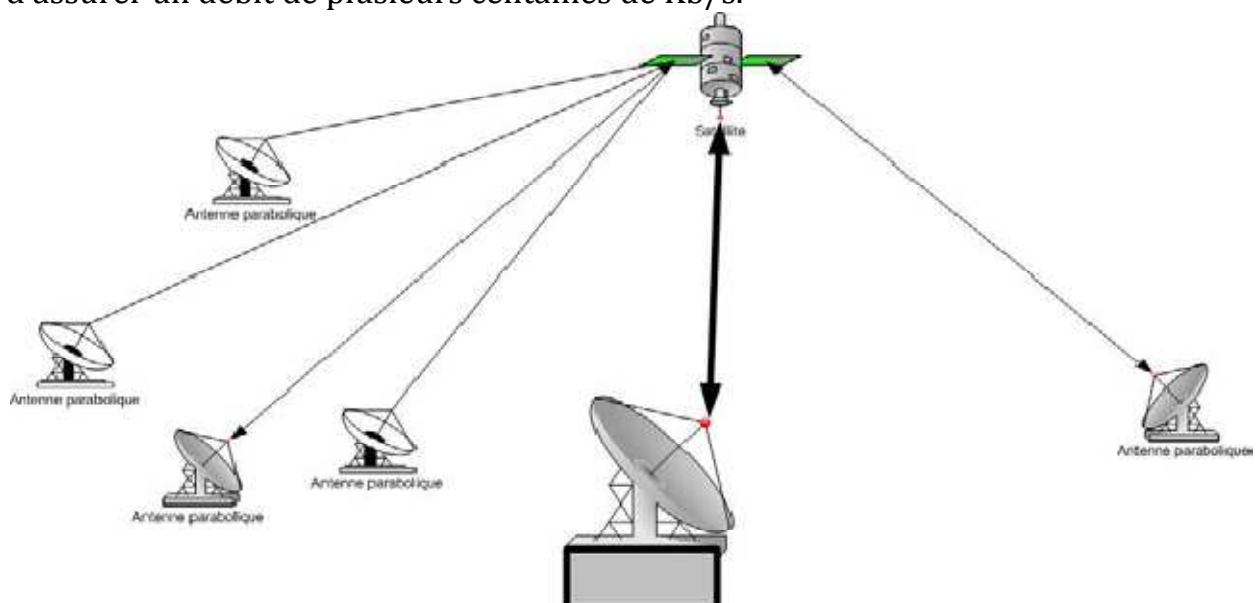




Figure 6

### III-La station VSAT :

Elle est composée de deux modules. L'unité extérieure (ODU : Outdoor Unit) comprend une antenne de diamètre pouvant varier de 1,2m à 2,8m (suivant la couverture du satellite et la bande de fréquence utilisée).

Un câble relie cette unité extérieure à l'unité intérieure (IDU : Indoor United) qui contient un modulateur/démodulateur, ainsi qu'un petit serveur s'interfaçant avec les PC, terminaux et téléphone qui y sont connectés.

### IV-Avantage des réseaux Vsat :

- Réseaux de haute fiabilité couvrant une vaste zone géographique, avec la même qualité de service et des coûts de mise en œuvre et d'infrastructure identiques pour chaque site ;
- Interconnexion de sites ne disposant pas d'infrastructures terrestres adéquates ;
- Diffusion de données d'une efficacité remarquable vers un grand nombre de sites ;
- Dispense de contrats avec les opérateurs de télécoms et contrôle centralisé du réseau ;
- Optimisation des coûts d'infrastructure par l'utilisation partagée de la bande passante ;

### V-Le déploiement des VSAT au Maroc :

Le Réseau VSAT est un réseau de télécommunication par satellites géostationnaires dont la station HUB gère l'accès à la capacité spatiale des stations VSAT. Elles sont donc des stations terrestres fixes d'émission/réception ou réception seulement qui se composent :

- d'une antenne ;
- d'une unité radio externe ;
- d'une unité radio interne ;

Les seuls opérateurs qualifiés au Maroc pour commercialiser les bandes de fréquences sur les satellites géostationnaires VSAT sont :

- Société : NORTIS (CIMECOM S.A.)
- Société : GULFSAT MAGHREB
- Société : SPACE COM S.A



## Partie2 : la Transmission dans la bande Ka :

### **I-Introduction :**

Dans le contexte de l'évolution technologique des futurs systèmes des télécommunications par satellite et tenant compte de la saturation des bandes L, C et Ku, on voit apparaître la bande Ka (**Kurtz-above**) qui bénéficie de tous les avantages et retombés de la recherche technologique dans la transmission des signaux par satellite et en général des innovations dans le domaine des télécommunications. La bande Ka a bénéficié par exemple largement des nouvelles applications du standard **DVB-S2**. Ces applications qui sont en partie à la base des performances de la transmission Ka (Voir II).

Au niveau du satellite, la Ka Sat a profité d'un meilleur bilan de liaison et d'une meilleure flexibilité, les performances du système sont accrues grâce à un traitement <intelligent> à bord du satellite. La bande Ka a été retenue pour les Satellites à Haut Débit avec une énergie mieux concentrée et une réutilisation du spectre permettant à la bande Ka de multiplier sa capacité offerte et d'offrir plus de fréquences. Il en a résulté une réduction de prix des services Internet à haut débit comparables à ceux de l'ADSL. Grâce à ces innovations, l'accès direct à l'internet par satellite dans la bande Ka est devenu une réalité. La réception internet est désormais possible à domicile et même dans les endroits les plus reculés, là où aucune autre infrastructure de communication n'est disponible.

Les équipements sont assez légers pour permettre une mobilité relative. En effet, les dimensions du terminal utilisateur ainsi que celles de l'antenne sont réduits. Ils peuvent être portés par un seul utilisateur : Par exemple journaliste de reportage. Les terminaux de ViaSat conçus aux Etats Unis spécialement pour les transmissions dans la bande Ka (traités ci-dessous) en sont un exemple concret. Les systèmes Skyplex d'Eutelsat et WorldSpace sont des exemples de systèmes utilisant des satellites avec une intelligence à bord.

### **II-DVB-S2, Standard de base de la Ka :**

#### **II-1-Définition :**

Le DVB-S2 "Digital Video Broadcasting - Satellite 2" est une Norme de deuxième génération pour la radiodiffusion par satellite, elle a été développée en 2003 dans le Projet DVB pour remplacer la norme existante de diffusion de la vidéo numérique par satellite, le DVB-S. Elle allie les derniers progrès en matière de codage canal (codes LDPC) et une série de formats de modulation (MDPQ, 8-PSK, 16-APSK et 32-APSK). En interactif, elle peut prendre en charge la modulation et le codage adaptatif (ACM) et permettre l'optimisation de la



transmission en fonction des conditions de la voie. Il est à noter que le DVB-S2 a été ratifié par l'ETSI

## **II-2-Les applications du standard DVB-S2 :**

Le standard DVB-S2 procure beaucoup d'avantage à la Ka notamment en matière de fiabilité, flexibilité et sur la qualité du contenu internet et multimédia. Ci-dessous les applications du standard DVB-S2 supportées par la Ka :

- En termes de codage les dernières innovations liées à l'utilisation de code LDPC(low-density parity-check).
- L'ACM (Adaptative Coding and Modulation ou Codage et Modulations Adaptatifs), permet d'avoir un système de modulation et de codage adaptatifs permettant de modifier les paramètres de transmission (modulation et codage) en fonction des paramètres courant de transmission.
- Le DVB-RCS assure l'interactivité nécessaire au service internet par satellite faisant bénéficier les utilisateurs "grand public" de la voie retour du Terminal vers le Satellite. Cette norme d'accès Internet par satellite autorise des débits allant jusqu'à 8 Mbits en flux descendant et jusqu'à 2 Mbps en flux montant. La norme DVB-RCS définit une voie de retour au format MF-TDMA (Multi Frequency Time Division Multiplexing Access) qui permet de partager la capacité montante. La norme spécifie que les liaisons montantes et descendantes doivent utiliser des fréquences différentes mais est indépendante des bandes de fréquences utilisées (Ku, Ka, L, S...);
- L'utilisation efficiente des ressources spectrales : le DVB-S2 adopte à la fois un codage et une constellation adaptatifs ;
- Un gain de 25% et 30% en efficacité spectrale dans la transmission de la vidéo et de la vidéo haute définition ;
- La réduction de l'impact de la météo à laquelle est très sensible le réseau de transmission dans la bande Ka. En effet, en adoptant à la fois un codage adaptatif et une constellation adaptative, le DVB-S2 permet de modifier la forme d'onde en la faisant évoluer de manière dynamique en fonction des conditions de propagation ;
- La possibilité d'opter pour différents schémas de modulation : QPSK, 8PSK, 16 APSK et 32 APSK. La mise en forme étant assurée par un filtre en racine de Cosinus Surélevé avec des roll-off de 0.2, 0.25 ou 0.35 ;

## **III-Rappels des paramètres liés à la transmission dans la bande Ka.**

### **III-1-Roll-off :**

Les filtres sont fonction de la forme de la coupure. On associe l'arrondie à un paramètre  $\alpha$  appelé "roll-off". Pour un filtre parfait ( $\alpha=0$ ), le théorème de



Nyquist stipule que la bande passante minimum est  $f_{sps}$  (Nombre de symboles par seconde). En pratique  $\alpha \neq 0$  et la bande passante en Mhz est égale à  $W = f_{sps} (1 + \alpha)$  avec  $f_{sps}$  : exprime le nombre de symboles par secondes et  $\alpha$  est le facteur de roll-off. Dans le cas de la modulation QPSK le débit binaire est le double de celui des symboles :  $f_{Mbps} = 2 f_{sps}$  et la bande passante réelle défini par Nyquist est  $W \text{ (MHz)} = f_{sps} (1 + \alpha) = f_{Mbps} / 2 (1 + \alpha)$ .

### III-2-Code convolutif :

Un code convolutif est un code correcteur d'erreurs. Il exerce une convolution du flux d'entrée avec des réponses impulsionnelles de l'encodeur:

- chaque  $m$  - bits d'informations de symbole (chaque  $m$  - chaîne de bits ) à coder est transformé en un symbole à  $n$  bits, où  $m / n$  est le taux de code ( $n \geq m$ ) et
- la transformation est une fonction des symboles d'information derniers  $k$ , où  $k$  est la longueur de contrainte du code.

Un codeur convolutif est appelé ainsi parce qu'il exerce une convolution du flux d'entrée avec des réponses impulsionnelles de l'encodeur:

$$y_i^j = \sum_{k=0}^{\infty} h_k^j x_{i-k}$$

où  $x$  est une séquence d'entrée,  $y^j$  est une séquence de sortie  $j$  et  $h^j$  est une réponse impulsionnelle pour la production  $j$ .

Le taux de code est le rapport du flux de données qui est utile (non redondant) et du flux généré. Si le taux de code est  $k / n$ , pour tous les  $k$  bits d'information utile, le codeur génère les bits de données totalement  $n$ , dont  $n - k$  sont redondantes. Le Bitrate net est le débit utile exclusive de codes de correction d'erreur. Par exemple: Le taux de code d'un code convolutif peut prendre des valeurs tels :  $1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$  ..... etc.

Le taux de code Reed Solomon appelé code de bloc et notée RS (204 188) est  $188/204$ , correspondant à celle  $204 - 188 = 16$  octets redondants sont ajoutés à chaque bloc de 188 octets d'information utile.

### III-3-Débit binaire :

Le débit binaire (Bitrate) ou débit de données est le nombre de bits qui sont véhiculées ou traitées par unité de temps. Le débit binaire est quantifié en utilisant les bits par seconde (bit / s ou bps).



### III-4-L'efficacité spectrale :

L'efficacité spectrale est définie comme le rapport du débit binaire (Bitrate) Mbps et de la bande passante en MHz. Il s'exprime en bits/Hz de bande passante.

### Le « KA » de KA-SAT La bande Ka



<b>Bande Ka</b>  1 cm	Très hautes fréquences 20 GHz ↓ 30 GHz ↑ Bande disponible (6 GHz)	Faisceau très concentré 	Couverture concentrée sur 500km 	> Nouvelle technologie (an 2000) > Services IP interactifs pour les nouveaux satellites hauts débits « HTS » (High Throughput Satellites) > Possibilités d'expansion en termes de spectre et de positions orbitales
<b>Bande Ku</b>  2 cm	Hautes fréquences 12 GHz ↓ 14 GHz ↑ Bande saturée (3.3 GHz)	Faisceau large 	Couverture de plusieurs pays 	> Depuis les années 1980 > Réseaux télécom professionnels et télévision > Bande saturée en termes de spectre et de positions orbitales
<b>Bande C</b>  8 cm	Moyennes fréquences 4 GHz ↓ 6 GHz ↑ Bande limitée (1.2 GHz)	Faisceau très large 	Couverture de plusieurs continents 	> Depuis 1965 (« Early Bird ») > Services télécom et télévision en Afrique et Asie du Sud-est > Peu sensible aux effets atmosphériques, adaptée aux régions équatoriales



### IV-Bande de fréquences allouées à la Ka-Sat :

Figure 7

La répartition de fréquence sur la Bande Ka (voir ci-dessus) montre les sous bandes réservées à la transmission :

- ✓ Réception : (17.3-20.2) GHz ; (20.2-21.2) GHz ; (21.4- 22) GHz
- ✓ Emission : (27.5-30.0) GHz ; (30.0-31.0) GHz.

### V-Les avantages du réseau Ka-Sat:

Le réseau Ka-Sat présente beaucoup avantages:

- Un système de couverture multifaisceaux est adopté afin d'augmenter la capacité du satellite dont le principe est d'utiliser plusieurs fois une même fréquence ;



- La couverture ciblée et concentrée des zones de 500 km avec un bon bilan de liaison et donc une fiabilité accrue ;
- Un service IP interactif avec un haut débit Emission/Réception pour l'utilisateur "Entreprise" ou particulier ;
- Un faisceau concentré par rapport à la Ku et la bande C ;
- Les terminaux destinés au client final sont réduits (ODU/IDU) ;
- La bande Ka permet aussi de disposer de canaux bien plus larges que celles des autres bandes plus basses ;

### **VI-Réseau de transmission dans la Ka :**

Le réseau mondial de la transmission dans la Ka est un vaste réseau mettant en jeu les plus grands organismes dans le domaine satellitaire. Afin d'appréhender l'organisation de ce réseau, nous développerons dans ce chapitre, les différents intervenants et les tâches qui leur incombent, les supports technologiques et les caractéristiques y afférents, les innovations et le cas concrets des réalisations mis en œuvre par l'un des opérateurs satellite : **EUTELSAT**.

#### **VI-1-Répartition générale des tâches :**

Les principaux intervenants principaux dans ce projet de portée mondiale pour l'étude, la réalisation des équipements, le déploiement et la gestion des installations satellitaire et au sol sont :

- **WildBlue** : le chef de file de promotion de la bande Ka dans le monde. (Le réseau SurfBeam avec la technologie qui lui est associée a été conçu et développés aux USA par Viasat) ;
- **Viasat** : l'organisme responsable de la fabrication des équipements : stations terriennes, terminaux, support du système (SurfBeam) et assure la maintenance ;
- **Skylogic** : est en charge de la gestion du réseau terrestre et particulièrement la dorsale Internet qui permet d'avoir une interopérabilité entre le réseau internet "terrestre" et le nouveau service Internet via le réseau Ka sat. ;

- **Dorsale Internet** Il est évident que les réseaux internet existant et le nouveau réseau internet par satellite doivent être communicants. C'est le rôle de la Dorsale internet gérée par Skylogic qui a aussi en charge l'installation, maintenance et contrôle des stations terrestres en liaison avec le satellite KA ;
- **Les opérateurs satellites** : EUTELSAT, HISPASAT, IMMERSAT.....ETC. Ces opérateurs sont en charge particulièrement du lancement et de la gestion du satellite qui leur est propre.
- **Les distributeurs** (Pour Eutelsat, les distributeurs agréés sont au nombre de 60 au total - voir liste ci-joint (**ANNEXE 15**)).
- **Les acquéreurs** répartis sur tous les pays du monde. Ces acquéreurs sont en contact avec les distributeurs.

## VI-2-Rôle des intervenants dans le processus de Ka-Sat :

Ci-dessous une schématisation des rôles des intervenants. C'est Eutelsat qui assure la couverture en KaSat du Maroc.





Figure 8

Les rôles des différents intervenants sont définis sur la planche ci-dessus. Les tâches par exemple d'un opérateur, propriétaire du satellite, sont les suivantes:

- ✓ Design du Satellite Ka Sat ;
- ✓ Contrôle du satellite Ka Sat ;
- ✓ Management de la commercialisation des services et celui qui désigne les distributeurs locaux ;

Parmi les opérateurs chargés de la gestion du satellite Ka sat, nous citons dans ce chapitre les organismes suivants :

- a- **EUTELSAT** (European Télécommunication satellite) : Construit par Astrium pour Eutelsat, KA-SAT est le premier satellite en Europe de la nouvelle génération des multifaisceaux de grande capacité. Véritable révolution technologique, sa charge utile réunit 82 faisceaux en bande Ka connectés à un réseau de 10 stations au sol.
- b- **HISPASAT** : cet opérateur espagnol a choisi Arianespace pour le lancement de son nouveau satellite de télécommunications, Amazonas-3 qui sera équipé de 33 répéteurs actifs en bande Ku, de 19 répéteurs actifs en bande C et de 9 faisceaux à large bande en bande Ka. Ce puissant satellite fournira un éventail étendu de services de télécommunications et de connectivité à large bande en Europe et plus largement en Amérique du Nord et du Sud. Amazonas-3 aura une durée de vie de 15 ans.
- c- **INMARSAT** (International maritime satellite) est un réseau de 6 satellites destinés à la communication avec les mobiles maritimes, aériens ou terrestre. Inmarsat a annoncé travailler avec Boeing sur une nouvelle génération (Inmarsat 5) qui exploitera la bande de fréquences Ka et qui permettrait de fournir des débits bien supérieurs à ceux actuels (jusqu'à 50 Mbits/s) à l'horizon 2014.

## VII-Le réseau SurfBeam de Viasat :

### VII-1- Avantages du système SurfBeam :

Le réseau SurfBeam avec la technologie qui lui est associée a été conçu et développé aux USA par **Viasat** sous le management de **WildBlue**. Il permet



l'accès Internet large bande via le satellite Ka sat. Le réseau **SurfBeam** supporté par la Ka présente un grand nombre d'avantages:

- Le réseau SurfBeam est Fiable et évolutif ;
- Il assure une connectivité " haut débit" ;
- Plusieurs options de configuration sont possibles sur le terminal ;
- les serveurs assurent à travers le modem la réactivité à l'utilisateur ;
- le SMTS SurfBeam est un système de satellite innovant qui contrôle l'ensemble du réseau. C'est une passerelle satellitaire qui assure les fonctionnalités suivantes :
  - Il fournit un accès rapide, fiable, haute qualité de bande passante à la demande pour une variété de services de communication en numérique ;
  - Il gère le trafic entre le satellite et les abonnés.
- Les systèmes de gestion de réseau (NMS) facilitent la gestion des abonnés avec des fonctionnalités telles que le service automatisé, des diagnostics et le soutien à la clientèle.

### **VII-2- Caractéristiques du système SurfBeam :**

Les caractéristiques du système SurfBeam sont les suivantes :

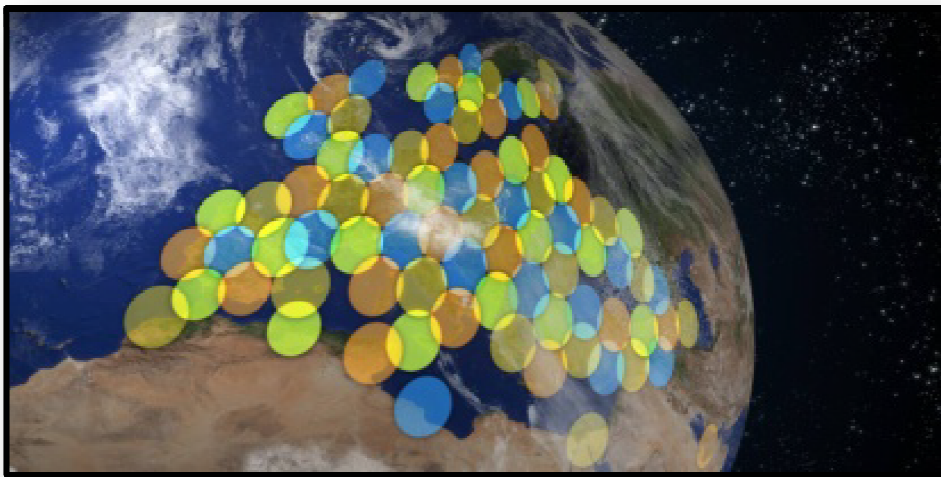
- Un canal de 72 Mbps qui assure la communication du satellite vers le client et huit canaux de 2,5 Mbps qui assurent le retour du client vers le satellite en norme TDMA ;
- Un réseau terrestre TCP / IP ;
- Une modulation et codage adaptatifs(ACM) ;
- Un routage sophistiqué : Jusqu'à 64 000 entrées de routage DOCSIS ;
- Un support de multidiffusion IP ;
- Un système de Haut-sécurité contre le vol de service ;
- les interfaces réseau flexible ;
- Redondance N /remplaçables à chaud ;
- Qualité de service (QoS) ;
- Gestion DVB-RCS fonctions équivalentes ;
- Transfert de liens en sous-système (SSLF) et Inversion liaison sous-système (SRS) ;
- interface de traitement d'air sous-système (AIPS)
- Prise en charge partielle du sous-système interface terrestre (TISS) -requis pour le service IP.

### **VIII- Couverture satellite avec des procédés innovants :**

#### **VIII-1 -Principe :**



Un système de couverture multifaisceaux est adopté afin d'augmenter la capacité du satellite dont le principe est d'utiliser plusieurs fois une même fréquence. La couverture ciblée des zones concernées permet d'avoir un bon bilan de liaison qui se répercute par une fiabilité accrue. Ce type de satellite permet aussi une amélioration du bilan de liaison en transmettant le signal seulement vers les zones concernées. La liaison satellitaire est effectuée en bande Ka ce qui permet de réduire la taille des composants de la chaîne de transmission ainsi que celle des antennes. L'utilisation de la bande Ka permet de disposer de canaux bien plus larges que celles dans les bandes plus basses.



### **VIII-2 - Les avantages de ce procédé :**

De part sa conception, ce procédé de couverture permet d'avoir :

- Un système de couverture multifaisceaux est adopté afin d'augmenter la capacité du satellite dont le principe est d'utiliser plusieurs fois une même fréquence ;
- La couverture ciblée des zones concernées permet d'avoir un bon bilan de liaison qui se répercute par une fiabilité accrue ;
- Les terminaux destinés au client final sont réduits (ODU/IDU).
- La bande Ka permet aussi de disposer de canaux bien plus larges que celles des autres bandes plus basses.

## Couvrir un continent en bande Ka Le multi-spots



> 1 source (feed) par antenne

> Plusieurs sources par antenne

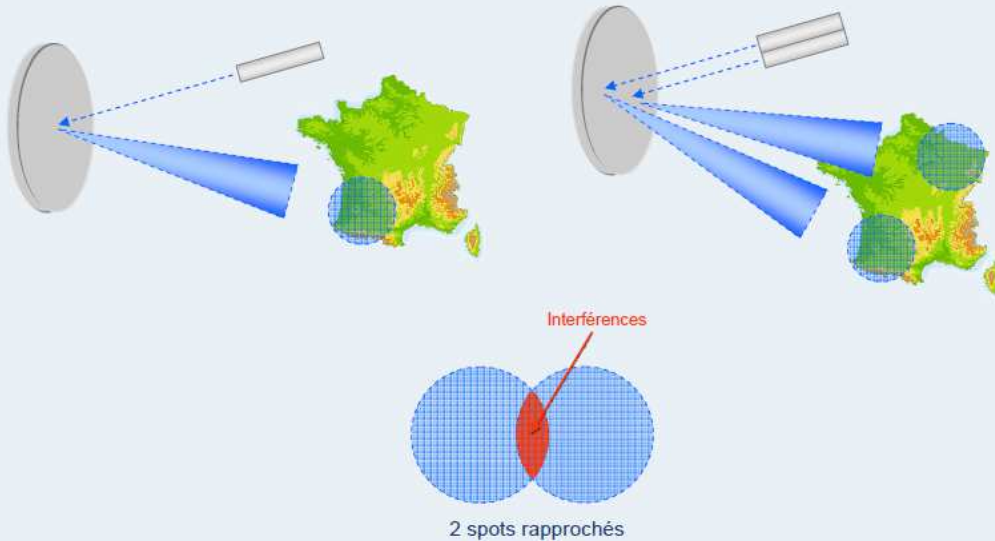


Figure 9

# Chap IV: Satellite Ka-Sat:



## I-Présentation:

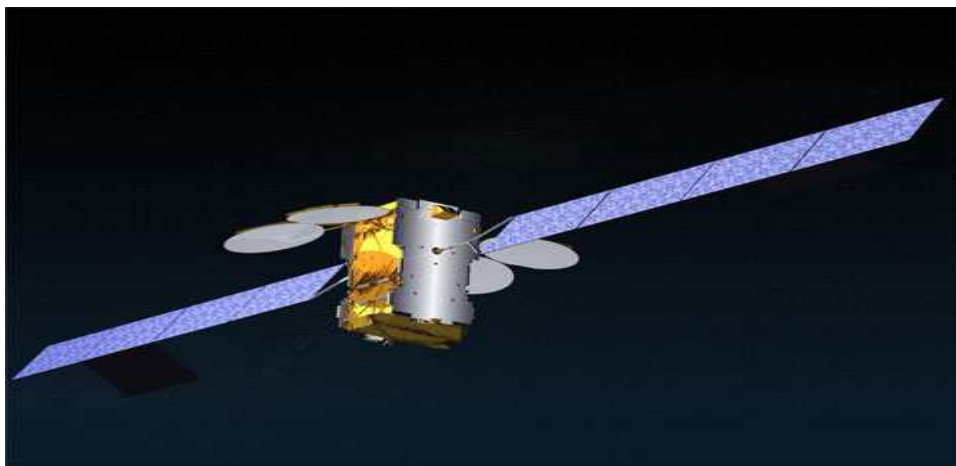
Le KA-SAT est le premier satellite européen multifaisceaux de grande capacité (HTS) intégralement exploité en bande Ka. Avec ses 82 faisceaux étroits et une capacité totale supérieure à 70 Gbps, il est aujourd'hui le satellite le plus puissant au monde. Lancé le 26 décembre 2010, KA-SAT appartient à Eutelsat, premier opérateur européen de satellites.

Le satellite a rejoint sa position sur l'orbite géostationnaire à 9° Est début janvier 2011 avant d'être intégré à un réseau de stations au sol connectées à la dorsale Internet pour créer en Europe une nouvelle infrastructure de connexion au haut débit d'une capacité exceptionnelle.

Le satellite **KA-SAT** est positionné à 9° Est et couvre l'Europe et le Maghreb. **KA-SAT est opérationnel depuis le 31 mai 2011** et pour une durée de 16 ans.

KA-SAT est spécialement conçu pour les services **haut débit bidirectionnel par satellite en bande Ka** et notamment pour continuer de développer le service **Tooway** d'Eutelsat et couvrir les zones blanches qui n'ont pas accès à l'ADSL. Au delà de **l'Internet par satellite**, KA-SAT permettra également à Eutelsat de s'affranchir des contraintes liées à l'utilisation de la bande Ku et de pouvoir proposer des services nécessitant des débits très élevés comme le **cinéma numérique HD** et la **télévision 3D**, des technologies de demain.

Couplée au système SurfBeam de ViaSat définis précédemment, la KA-SAT pourra fournir un débit total supérieur à 70 Gbps permettant de desservir plus d'un million de foyer en haut débit, à des vitesses comparables à celles proposées par l'ADSL2.



## II-Principales caractéristiques du satellite Ka sat:

- Position orbitale : 9° Est ;
- Capacité totale : plus de 70 Gbps ;
- Plate-forme satellite : EUROSTAR E3000 (Astrium) ;



- Consommation de la charge utile: 11 kW ;
- Masse au lancement : 6,1 tonnes ;
- Durée de vie opérationnelle : 16 ans ;
- Lancement : 26 décembre 2010.

### III-L'antenne à bord du satellite Ka-Sat :

Ce satellite multifaisceaux dispose pour ce faire de 4 antennes, émettant chacune sur une bande de fréquence et sur 20 faisceaux, ce qui multiplie la bande de fréquence d'autant.

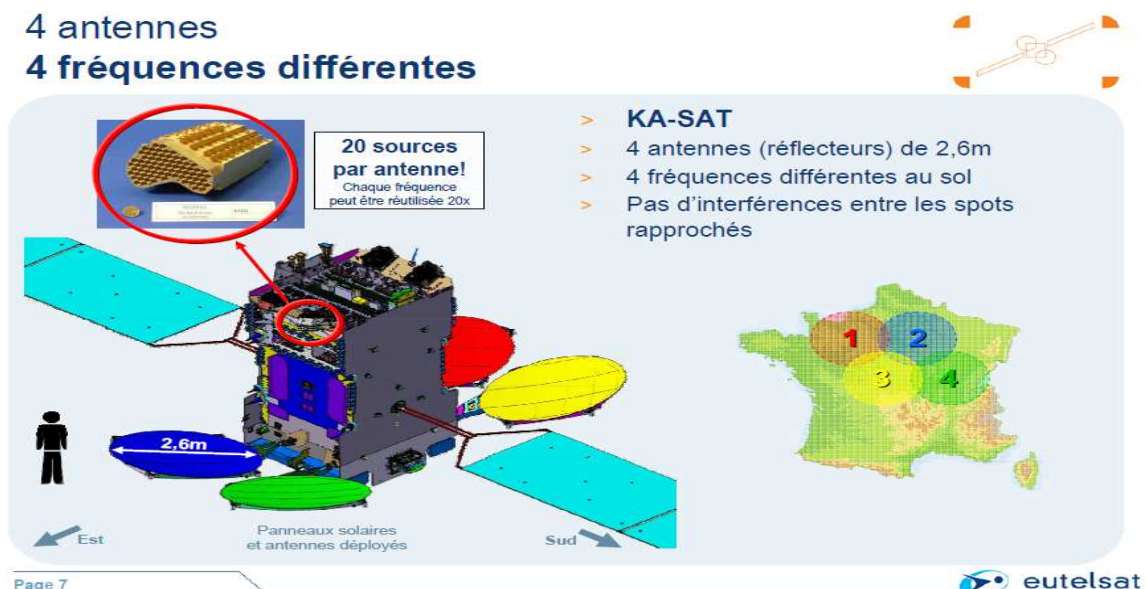


Figure 10

### IV-Historique de lancement du satellite :

Le programme KA-SAT a démarré en janvier 2008 avec la commande par Eutelsat de ce satellite révolutionnaire à Astrium. Adossé à une plate-forme EUROSTAR E3000, KA-SAT est le premier satellite européen de grande capacité (High Throughput Satellite), exploité intégralement en bande Ka et doté d'une couverture véritablement paneuropéenne. Pierre angulaire d'une vaste infrastructure, le satellite KA-SAT ouvre une nouvelle ère dans l'accès au haut débit, offrant une solution de masse immédiatement disponible pour les foyers et les entreprises en situation de fracture numérique dans les zones rurales d'Europe et à travers de larges zones du Bassin méditerranéen.

Pour desservir ce marché de masse, KA-SAT associe la disponibilité et l'efficacité des fréquences de la bande Ka à une architecture multifaisceaux totalement innovante qui permet de réutiliser une même bande passante sur des



faisceaux distincts. Optimisée à un niveau jamais atteint précédemment, l'architecture de KA-SAT

Compte 82 faisceaux étroits distincts. Elle porte ainsi à 20 fois le facteur de réutilisation des fréquences faisant de KA-SAT le premier satellite au monde à produire une capacité supérieure à 70 Gbps.

Les empreintes des faisceaux du satellite ont été conçues pour desservir par groupe des marchés locaux. Ainsi, cinq faisceaux couvrent le Royaume Uni et l'Irlande, dix l'Espagne et le Portugal, huit la France, neuf l'Italie, et sept l'Allemagne. Les 82 faisceaux étant fixes, un système permet de basculer une part de la capacité d'un faisceau à un autre, donnant une grande flexibilité pour accompagner la montée en puissance des marchés locaux.

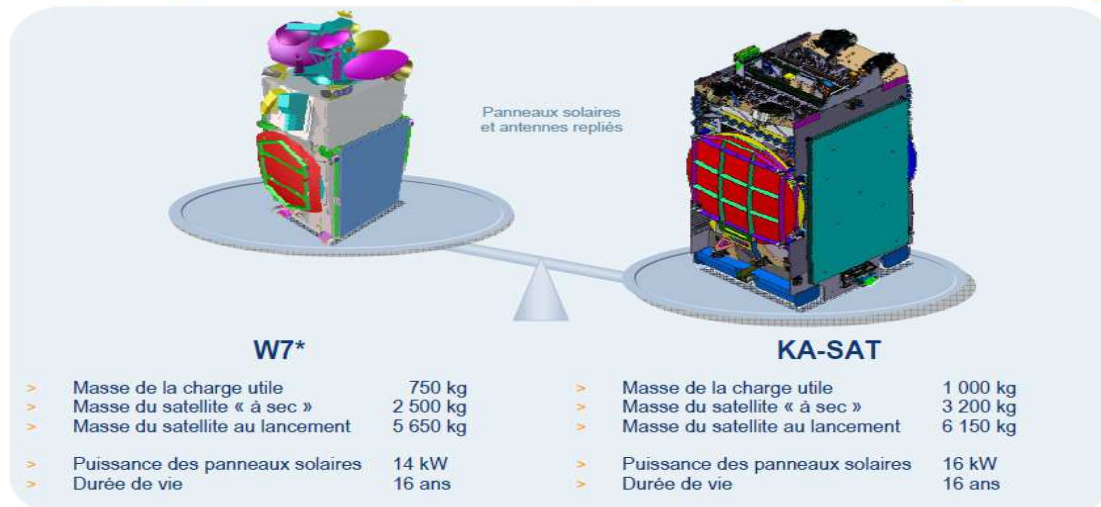
Cette technologie avancée de ViaSat intègre en particulier des spécifications qui permettent de réduire l'impact de fortes pluies sur les signaux satellite par le biais d'un système ACM (Adaptive Coding and Modulation). Ce système est en mesure d'accroître automatiquement la robustesse du signal envoyé vers les terminaux des utilisateurs qui seraient identifiés comme affectés par de fortes pluies. La sensibilité de la bande Ka à la pluie se trouve ainsi compensée, permettant d'exploiter d'une manière optimale les ressources mises à la disposition des utilisateurs avec une qualité de service fiabilisée.

### **V-Technologie du satellite :**

Pour comprendre la technologie du KA-SAT les schémas ci-dessous présente une vue intérieure et extérieure du satellite et une comparaison avec le satellite W7.

### Vue de l'extérieur

## Le plus gros satellite télécom jamais lancé!



Page 9

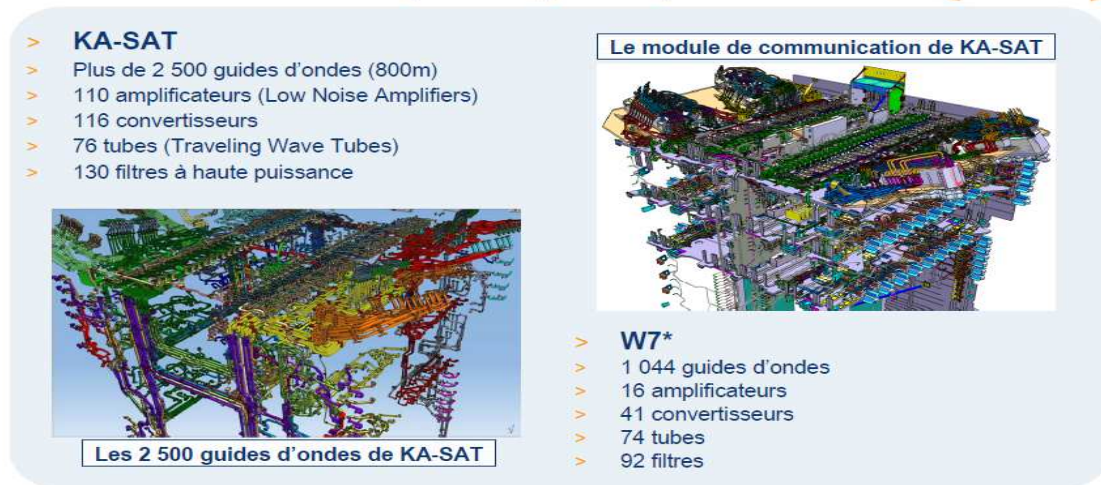
(\*W7 est le plus gros satellite Eutelsat avant KA-SAT)



Figure 11

### Vue de l'intérieur

## Un des satellites les plus sophistiqués!



Page 10

(\*W7 est le plus gros satellite Eutelsat avant KA-SAT)



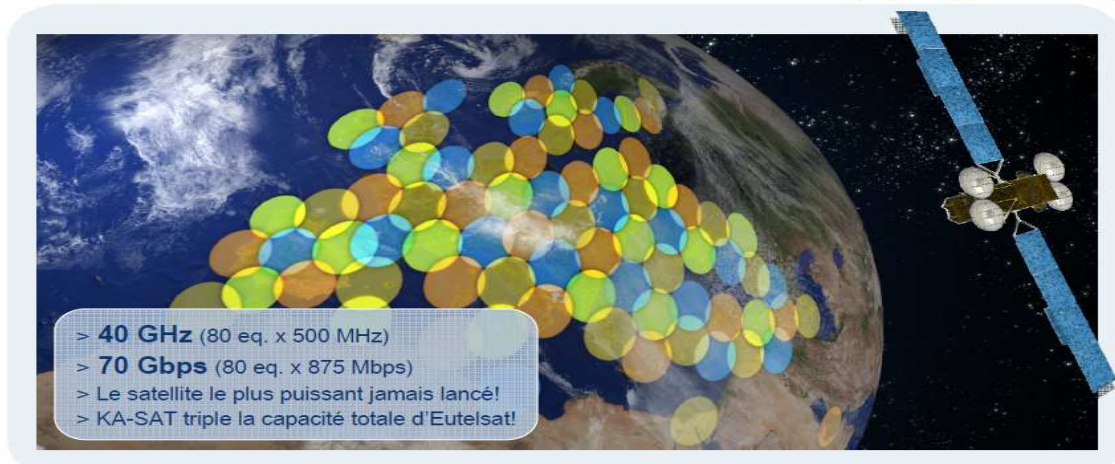
Figure 12

### VI-Capacité du réseau de couverture :

**Ka-Sat couvrira 55 pays** à travers ses 83 faisceaux étroits en bande Ka. Il atteindra un débit total de 70 Gbits/s.

## Couverture KA-SAT

83 spots de 500km de diamètre couvrant 55 pays\*



Page 8

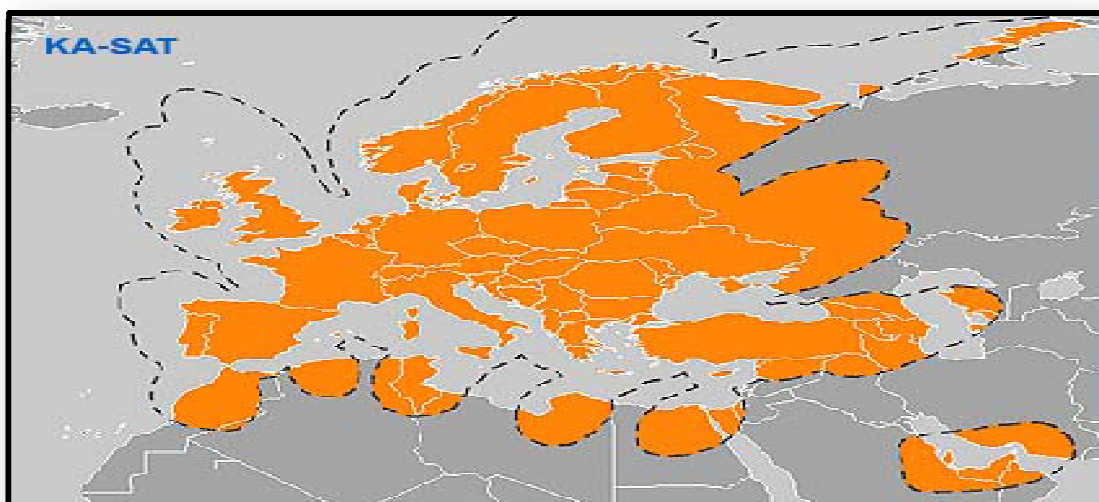
(\*55 pays d'Europe et du bassin Méditerranéen)

eutelsat

## VII-Diagramme global de rayonnement du Satellite Ka-Sat d'Eutelsat :

Actuellement la disponibilité de la bande Ka est assurée par EUTELSAT à travers le satellite KA-SAT.

Ka-Sat est le plus puissant satellite Internet jamais lancé au monde, il va couvrir une zone qui s'étend de Casablanca (Maroc) jusqu'à l'Ukraine, la Turquie et le pourtour méditerranéen (Algérie, Tunisie et la Libye ...). Avec Ka-Sat, les utilisateurs pourront, avec une antenne de 70 cm, recevoir et émettre vers Internet des contenus web.

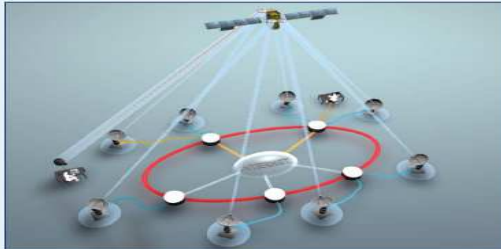


## VII-1-Configuration du réseau de couverture :

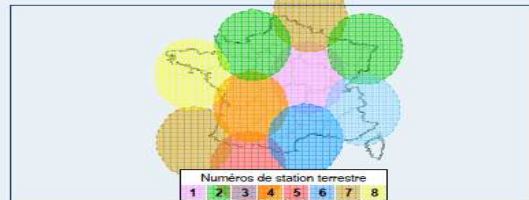
## Un réseau ultra-rapide et robuste Des kilomètres de fibre à 20 Gbps



- > Les 10 stations terrestres sont reliées par un réseau de fibre optique à 20 Gbps
- > Le réseau est connecté à la Dorsale Internet



- > Chaque station active gère 10 spots
- > Afin d'assurer l'équilibre et la robustesse de l'infrastructure, les 10 spots d'une même station ne sont pas contigus
- > Chaque pays est desservi par plusieurs stations (ex. 8 stations pour 10 spots en France)



Page 13



Figure 13

### VII-2-Spot dirigé vers le Maroc :

Malheureusement, ce diagramme n'assure pas la couverture globale du territoire du MAROC.

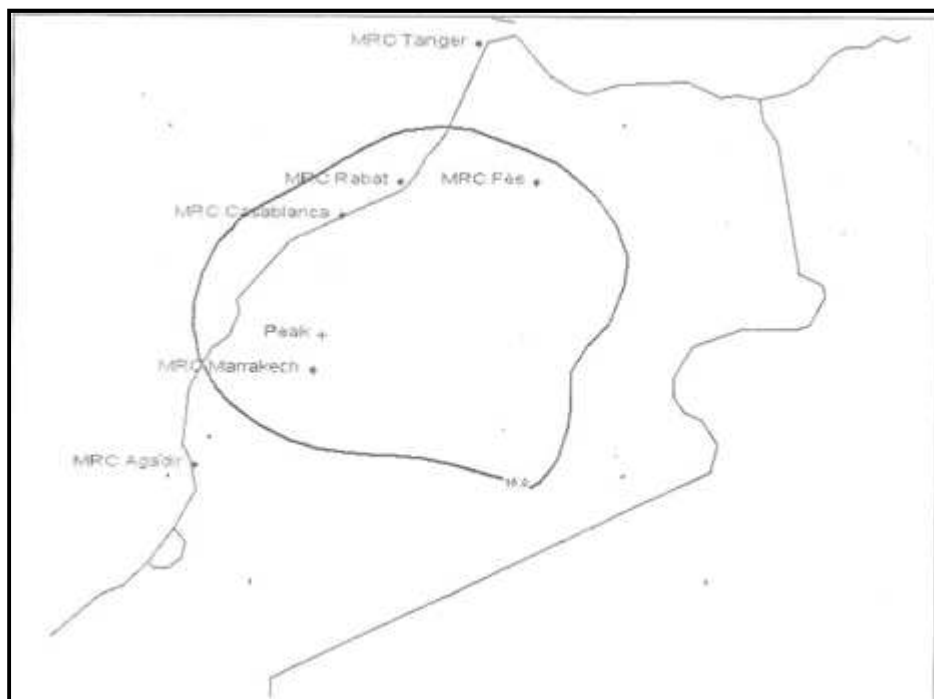


Figure 14



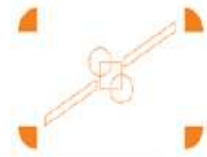
## VIII-Réseau au sol :

Le réseau terrestre comprend 10 stations opérationnelles (gateways) dont 2 de secours avec des antennes de 9m de diamètre. Elles sont déployées par **SKYLOGIC**, gestionnaire du réseau terrestre et leurs livraisons sont assurées par **VIASAT** chargée de la fabrication aux normes requises des équipements du réseau Ka Sat.

Les caractéristiques du programme Ka-Sat, qui sont au cœur du principe de réutilisation des fréquences, est d'associer au satellite en orbite un réseau de 10 stations au sol réparties dans toute l'Europe, dont deux assurent la redondance des huit autres. Ces stations, raccordées à la dorsale Internet par fibre optique, permettent de connecter au haut débit les foyers et entreprises dans les différents faisceaux du satellite.

Ces dix stations se trouvent à Madrid, Turin, Athènes, Berlin, Helsinki, Larnaka, Udine, Canzano, Rambouillet et Cork. Elles sont interconnectées par voie terrestre, via un double anneau optique paneuropéen connecté au Centre de contrôle du réseau central exploité par Skylogic, la filiale haut débit d'Eutelsat, sur le téléport SkyPark de Turin. Chaque station au sol est équipée d'une antenne de 9 mètres et raccordée par fibre optique à deux nœuds centraux européens situés respectivement à Frankfort et Paris. Les stations sont en outre équipées de technologies de traitement des signaux qui garantissent le bon fonctionnement des terminaux des abonnés. L'architecture de cette infrastructure au sol a été conçue de manière à ce qu'une station soit connectée à des faisceaux qui ne peuvent pas couvrir le pays où elle est implantée. Ainsi, les stations peuvent contrôler les faisceaux de différentes régions, donnant au système global une très haute résilience.

## Une infrastructure au sol à la hauteur de KA-SAT 8 stations actives et 2 stations de secours



1 antenne de 9m par station!



- > 8 stations terrestres livrées par ViaSat en 2010 et en cours d'installation par les équipes de Skylogic
- > 2 stations de secours à venir en 2011 - 2012

#	Stations terrestres (Gateways)	Statut
1	Lamaca (Chypre)	livrée
3	Cork (Irlande)	livrée
4	Madrid (Espagne)	livrée
5	Berlin (Allemagne)	livrée
6	Palerme (Italie)	livrée
8	Turin (Italie)	livrée
9	Udine (Italie)	livrée
10	Rambouillet (France)	livrée
2	Helsinki (Finlande)	à venir...
7	Athènes (Grèce)	à venir...

Figure 15

### IX-Couverture des zones rurales :

Le satellite KA-SAT ouvre une nouvelle ère dans l'accès au haut débit, offrant une solution de masse immédiatement disponible pour les foyers et les entreprises en situation de fracture numérique dans les zones rurales d'Europe et à travers de larges zones du Bassin méditerranéen.

## Les services professionnels Télévision régionale



> Broadcasting pour des chaînes régionales

- > Technologie DVB-S2: débits de 30 à 54 Mbps



> **Avantages**

- > La couverture par spot (500 km de diamètre) devient **économique pour des chaînes régionales**

> **Equipement**

- > Petites antennes de réception habituelles et boîtier TV
- > Possibilité de double réception Ka / Ku

> **Marché**

- > **Chaînes régionales** qui n'avaient pas les moyens de transmettre sur une couverture Ku
- > Chaînes nationales de **petits pays** couverts par 1 ou 2 spot(s), ex. Irlande, Belgique, Luxembourg, Suisse...
- > **Télévisions institutionnelles** (ex. Hypermarchés)

> **Stratégie de vente**

- > Réseau de broadcasters

Page 30 

Figure 16

## X-Equipements utilisés dans le réseau de la Ka-Sat

Le terminal fonctionnant dans la bande Ka est commercialisé En France sous l'appellation "**KIT TOOWAY**" où 1 500 000 ont été vendu à ce jour. Au Maroc, la commercialisation a à peine commencé. A ce jour uniquement 40 unités ont été vendu par les opérateurs nationaux SPACE COM et CIMECOM. Ces deux opérateurs ont du obtenir préalablement l'autorisation de l'ANRT pour l'importation et la commercialisation de ce nouveau produit. De même, il a été nécessaire pour ces deux opérateurs de composer avec la société ayant obtenu l'agrément de distribution pour le MAROC auprès d'EUTESAT qui administre le satellite de communication réservé à la bande Ka et couvrant l'EUROPE et le MAROC. Les principales caractéristiques de modulation et de codage de ce Terminal KIT TOOWAY sont indiquées dans la suite du chapitre:

### X-1-Caractéristiques du terminal Ka :

Il est conçu autour du système "SurfBeam 2 Pro" :

➤ **UNITE INTERNE - IDU**

Le terminal a été conçu pour supporter le standart **DVB-S2**.

➤ **UNITE IXTERNE - ODU**





Les plages de fréquence de service dans la bande **Ka** sont :

- En émission : **(28.1-30.00) GHz** ;
- En réception : **(18.3 -20.2) GHz** ;
- La PIRE (EIRP) nominale : **49.0 dBWi** ;
- C/T nominale : **17.5 dB/K** ;
- Polarisation : **Circulaire**. D'autres options sont possibles.

➤ **ANTENNE**

Antenne est disponible en 2 tailles (75cm et 50cm) et comprend une pliable.

➤ **INTERFACES**

- Ethernet 4x10/100 BaseT, RJ-45 ;
- 2xD38999 Puissance d'entrée ;
- Puissance de sortie 1xD38999 ;
- Antenne F Connecteur (mâle).

➤ **RESEAUTAGE**

- IP Internet working ;
- Routeur IP »4 ports intégré ;
- Transparent accélération TCP et http ;
- De classification de paquets et le filtrage.

➤ **Pointage**

- Le bord de pointage affichage des informations.
- Indicateur de puissance du signal intégré.

➤ **GESTION**

- Modem Web GUI gestion locale et SurfBeam 2 Réseau SNMP pour la gestion à distance et de contrôle ;
- Routeur Web graphique de gestion locale ;
- Afficher pointage et indication de l'état ;
- LED d'état de terminal rapide ;

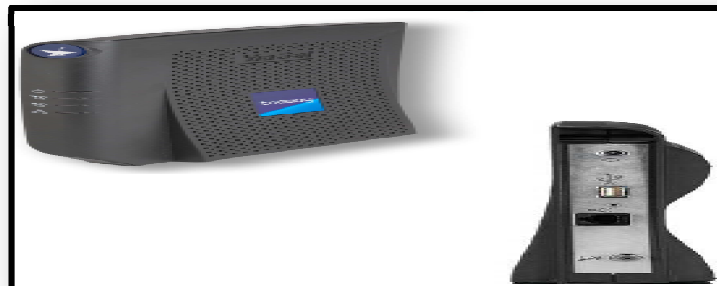
**X-2-Description des équipements :**

- ◆ ODU (outdoor Up Converter) comprenant :
  - L'antenne de faibles dimensions. Dimensions de l'antenne  $l \leq 72$  cm ;
  - Le LNB (LOW NOISE BLOCK) pour la réception. (conversion du signal dans une bande de fréquence intermédiaire) ;
  - Le BUC (BLOCK UP CONVERTER) pour l'émission.

L'équipement satellite dans la bande Ka est conçu dans la logique :  
Emission/Réception. Ci-dessous une représentation de l'ODU. "Tooway" est le  
nom commercial attribué à la Ka Sat en Europe par Eutelsat.



- ◆ IDU Un module intérieur (IDU – INDOOR UNIT) qui permet de se connecter au réseau local.



IDU : Modèle intérieur MULTIMEDIA





# chap V: Avantages et inconvénients de la transmission par satellite de la bande KA :

## I-Domaine pratique de l'utilisation de la KA :

### I-1- Grand public :

La bande Ka nous offre des gammes de fréquences supplémentaires sur des positions satellite déjà occupées. KA-SAT concentre la puissance du faisceau et permet de toucher plus d'utilisateurs pour un prix du Mb/s au Mhz moins élevé. Plus concrètement, avec un débit de 70 Gbps pour le continent européen, le satellite est capable de tirer 80 faisceaux de connexion sur des zones de 250 km de diamètre.

- ✓ Internet haut débit
- ✓ Télévision SD / HD
- ✓ Téléphone

**tooway™**  
**Internet haut débit grand public**

> Triple Play

1. **Internet haut débit**
2. **Télévision SD / HD**
  - > TV satellite
  - > Ex. 13°E
  - > TNT
  - > TV IP
  - > Partout, pour tous!
3. **Téléphone**
  - > Voix sur IP

> Exemples de tarifs publics (TTC)

tooway 6 > 6 Mégabits par sec.* > 4 Giga-octets par mois	tooway 6 29 €
tooway 8 > 8 Mbps > 8 Go / mois	tooway 8 39 €
tooway 10 > 10 Mbps > 13 Go / mois	tooway 10 59 €
tooway 10+ > 10 Mbps > 25 Go / mois	tooway 10+ 99 €

Page 18 \*Débit descendant (download), débits montants (upload) de 2 à 4 Mbps

Figure 17

### II-Publique Professionnel :

KA-SAT permet d'étendre la gamme des services par satellite offerts aux professionnels avec des ressources accrues en bande Ka permettant d'augmenter les débits jusqu'à 40 Mbps en réception et 10 Mbps en émission. Les principaux marchés visés sont ceux de l'accès Internet pour les entreprises et les collectivités, l'interconnexion de réseaux virtuels privés, la sécurisation des réseaux terrestres par des liaisons satellitaires de sauvegarde. Le niveau élevé des débits disponibles en bande Ka est de même parfaitement



adapté aux besoins des professionnels de la télévision, en particulier pour le rapatriement des reportages dans des formats très consommateurs de bande passante comme le requiert la Haute Définition. Les télédiffuseurs peuvent également bénéficier de l'architecture multifaisceaux du satellite KA-SAT pour toucher des audiences géographiquement concentrées pour des services de diffusion de programmes vers le grand public ou vers des audiences professionnelles.



## II-Avantages et inconvénients de la transmission par satellite de la bande KA :

Tableau1 : Avantages et inconvénients de la Ka

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>• Débit fixe</li><li>• Location de la bande sur satellite est réduite de 1/3 par rapport au prix de la Ku</li><li>• Utilisation des antennes plus petites</li><li>• Réduction du parc cellulaire</li><li>• Bande passante plus large qui supporte des débits de transmission plus élevés et, par conséquent, des vitesses maximales plus élevées pour les abonnés individuels</li><li>• terminaux à bas coût pour les abonnés</li><li>• permettant ainsi une plus</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sensibilité à l'atténuation atmosphérique : La bande Ka souffre cependant, d'un handicap majeur lié aux fortes fluctuations du niveau du signal reçu à cause de sa forte sensibilité aux conditions de propagation.</li></ul>



haute résolution

- Service plus flexible
- Passage à la vidéo HD (montée en débit)
- Nouveaux clients pour qui les solutions Ku étaient trop onéreuses
- Transmission en direct ou en différé

### III-Classification des atténuations en bande Ka :

Les atténuations des signaux satellitaires en bande Ka sont essentiellement d'origine atmosphérique et météorologiques. Les causes des dégradations peuvent être classées en deux catégories. La première catégorie comprend tous les éléments qui sont présents dans l'atmosphère terrestre d'une façon permanente tels que la vapeur d'eau ainsi que les différents gaz qui constituent cette atmosphère comme l'hydrogène et l'oxygène. L'atténuation causée par ce type de facteur est ainsi invariante au cours du temps et quasiment indépendante de l'emplacement géographique. La seconde catégorie comprend les facteurs météorologiques et climatiques dont la présence est fonction aléatoire du temps et de l'espace comme les nuages ou les précipitations. C'est cette deuxième classe qui a la plus forte contribution dans l'atténuation des signaux satellitaires en bande Ka.

#### Atténuation due aux gaz :

L'atténuation due aux différents gaz qui constituent l'atmosphère terrestre est quasiment inexistante en bandes L, C et Ku. En bande Ka elle commence à être non négligeable et il va falloir ainsi en tenir compte lors de l'établissement du bilan de liaison. L'oxygène, en particulier est le composant gazeux qui affecte le plus la qualité du signal en bande Ka. Son effet est plus conséquent à basse température. Par exemple, dans un climat européen et à une fréquence de 30 GHz l'atténuation moyenne de l'oxygène est de l'ordre de 0.2 dB. Il est important de mentionner que le fait que cette atténuation est présente tout le temps, il est inutile d'en tenir compte lors de la conception d'une technique de compensation.

#### Atténuation due à la vapeur d'eau :

Bien que son effet puisse être négligé en bande Ku, la vapeur d'eau peut affecter, d'une façon significative, les signaux transmis en bande Ka.



L'ampleur de l'atténuation est fonction de la concentration de vapeur d'eau dans l'atmosphère (exprimée en  $\text{kg/m}^3$ ) qui est fonction du temps (période de la journée, saison). On mentionne, que dans une transmission par satellite en bande Ka, la liaison descendante est affectée d'avantage que la liaison montante. D'une manière générale et dans un climat modéré, en Europe centrale par exemple, la dégradation est de l'ordre de quelques dixièmes de dB.

### Atténuation due aux nuages

L'effet d'un nuage est fonction de la densité de ce dernier ainsi que de son épaisseur. Les affaiblissements dus aux nuages ont une plus grande dynamique que celles causées par la vapeur d'eau et doivent être considérés pendant près de 50 % d'une année moyenne. La valeur de l'atténuation est de l'ordre de 0.4 dB pendant 50% du temps d'une année moyenne et pour une fréquence de 20 GHz, elle est de 0.8 dB pour une fréquence de 30 GHz (climat Europe centrale).

### Atténuation due aux précipitations

La pluie est le phénomène qui affecte le plus la qualité du signal en bande Ka. L'atténuation spécifique (exprimée en dB/Km) est fonction de la pluviométrie (exprimée en mm/h), mais aussi des caractéristiques des précipitations (taille des gouttelettes d'eau ...).

Les précipitations sont généralement caractérisées par leurs distributions spatiales et temporelles. La distribution spatiale d'une précipitation correspond à son étendue géographique, ainsi on distingue les précipitations dont l'étendue est de l'ordre de plusieurs dizaines de Km, ces pluies sont très répandues en Europe et sont caractérisées par leur faible intensité et leur longue durée dans le temps. Le second type, correspond à des précipitations de faible étendue (rayon  $<10\text{Km}$ ). Cette dernière catégorie est caractérisée par une forte intensité et par une durée dans le temps relativement faible. Ces précipitations sont souvent rencontrées en zones tropicales sous forme d'orage et leur forte pluviométrie peut dépasser 50mm/h pendant 0.01% d'une année moyenne.



#### IV-Comparaison entre la bande Ka et la bande Ku :

Tableau2: comparaison entre la Ka et le Ku.

	<b>Bande Ka</b>	<b>Bande Ku</b>
<b>Capacité à bord du satellite</b>	70 Gbps	2 Gbps
<b>historique</b>	Nouvelle technologie an 2000	Technologie depuis les années 1980
<b>Services</b>	Services IP interactifs pour les nouveaux satellites hauts débits « HTS » (High Throughput Satellites)	Réseaux télécom professionnels et télévision
<b>Spectre et position orbitale</b>	Possibilités d'expansion en termes de spectre et de positions orbitales	Bande saturée en termes de spectre et de positions orbitales
<b>Coût de la bande passante</b>	Plus bas qu'en KU	Elevé par rapport à KA
<b>Bande</b>	20 GHz - 30GHz	12 GHz - 14GHz
<b>Faisceau</b>	Faisceau très concentré	Faisceau large
<b>Couverture</b>	Couverture concentrée sur 500km	Couverture de plusieurs pays
<b>Equipement</b>	Equipements plus petits et moins onéreux	Equipements plus grand que les équipements utilisés en KA



## *Conclusion*

Dans le présent travail, on a présenté une étude générale des caractéristiques, avantages et limites de la transmission IP par satellite dans la bande Ka. On a vu aussi les équipements mis en jeu dans l'utilisation de la bande Ka au Maroc ainsi que leurs caractéristiques. Une comparaison a été faite pour pouvoir faire la différence entre la nouvelle bande Ka et la bande Ku.

Les moyens de communications de voix et internet sont dominés par les réseaux cellulaires et les communications à travers la bande Ku. L'arrivée de la bande Ka au Maroc bouleverse la donne. Il va permettre notamment des nouveautés :

- La réduction du prix de location de la bande
- La réduction du parc cellulaire car désormais la réception se fera directement sur satellite.
- La KA-SAT assure un débit de transmission invariable qui fera la différence avec l'ADSL

Par conséquent les opérateurs Telecom tel Maroc Telecom, Inwi et Meditel vont se lancer dans cette nouvelle technologie pour éviter d'être distancé et perdre les acquis vis-à-vis du grand public.

Ce stage a parfaitement répondu à mes attentes. Il m'a permis de découvrir un univers que je ne connaissais finalement que très peu mais pour lequel je porte un immense intérêt. Il m'a permis aussi d'approfondir mes connaissances dans le domaine des télécommunications et de développer mon esprit critique.





## *Bibliographie*

- <http://www.internetparsatellite.net/index.php/t/51>
- <http://www.zdnet.fr/actualites/haut-debit-avec-ka-sat-eutelsat-veut-remettre-le-satellite-au-coeur-de-la-couverture-des-zones-blanches-39762730.htm>
- <http://www.clubic.com/connexion-internet/satellite/actualite-425432-tooway-ka-sat-internet-par-satellite.html>
- <http://www.degroupnews.com/actualite/n6421-satellite-eutelsat-tooway-haut-debit-offre.html>
- <http://www.generation-nt.com/satellite-multifaisceaux-ka-sat-eutelsat-entre-service-newswire-1211211.html>
- <http://www.itu.int/newsarchive/press/WRC97/Ka-band-fr.html>