

## Chapitre 3 : Introduction à la radiodiffusion et la télévision

### 1. Radiodiffusion

Un signal radio est une onde électromagnétique qui se déplace à la vitesse de la lumière. Correctement codé, ce signal peut transporter de l'information.

C'est *James Clerk Maxwell* qui découvrit le premier que la variation d'un champ magnétique induit un champ électrique qui induit à son tour un changement de champ magnétique et que la transition produit une onde électromagnétique.

Cette découverte fut mise en pratique par *Heinrich Hertz* et surtout par *Édouard Branly* qui découvrit comment les détecter.

*Hertz* avait fait l'émetteur, *Branly* le récepteur. Il ne restait qu'à inventer l'antenne, ce dont se chargea un dénommé *Popov*. C'est *Marconi* qui assembla les pièces du puzzle pour réaliser la première communication radio.

L'invention de *Branly* se limitant à la détection d'une onde en tout ou rien, les premières communications étaient en morse sur le mode transmission/non transmission.

Un peu plus tard, on découvrit la modulation qui permit alors de transporter un signal audio sur la radio, donc de la phonie, puis de la vidéo.

### 2. Réseaux de télévision

#### 2.1. Naissance de la télévision

En mars 1925, à la Royal Institution de Londres, l'Écossais *John Logie Baird* (1888-1946) fait la première démonstration publique d'un système de télévision permettant la transmission à distance d'images animées d'une définition de 30 lignes. L'exploration de l'image à émettre ainsi que sa restitution à l'arrivée sont effectuées par un système mécanique (breveté par l'Allemand *Paul Nipkow* en 1883) utilisant de chaque côté un disque tournant percé d'une série de trous disposés le long d'une spirale. La même année, en juin, l'Américain *Charles Francis Jenkins* fait également une démonstration d'un système de télévision. Pour l'exploration et la restitution des images, il utilise un système à miroirs tournants qui lui assure une définition de 45 lignes par image.

La télévision mécanique suscitera l'intérêt des chercheurs et inventeurs durant une dizaine d'années dans de nombreux pays. Des émissions expérimentales ont lieu en 1928 aux États-Unis. En Grande-Bretagne, la B.B.C. réalise, à partir de 1929, des émissions régulières avec un

système de *Baird* amélioré (image de 240 lignes). Mais le nombre de récepteurs ne dépassera pas le millier. La télévision mécanique révèle en effet bien rapidement ses limites : le nombre d'images à transmettre par seconde ainsi que leur définition pour un confort de vision acceptable nécessitent des dispositifs plus rapides.

Parallèlement, d'autres chercheurs (dont *Vladimir Zworykin*) explorent des solutions entièrement électroniques, mettant en œuvre des tubes cathodiques, qui triompheront à partir de la fin des années 1930. Ainsi, la B.B.C. abandonnera, en 1936, le système de *Baird* au profit d'un système électronique à 405 lignes et 25 images par seconde de bien meilleure qualité.

## **2.2. La télévision analogique terrestre**

### **2.2.1. Introduction**

La télévision analogique terrestre ou TAT est l'ensemble du réseau de diffusion de terre composé d'émetteurs (pilotes) et de réémetteurs locaux. Ce réseau utilise des ondes dites hertziennes.

Des émetteurs sont reçus sur les antennes VHF et UHF individuelles ou collectives qui permettent, suivant les caractéristiques du site, des qualités d'image variables, ayant fait l'objet d'une codification.

A partir du début des années 2000, la plupart des pays ont commencé à remplacer la télévision analogique terrestre par la télévision numérique terrestre (TNT). Au sein de l'Union Européenne, les flux de télévision analogique ont cessé d'émettre en 2012.

### **2.2.2. Historique**

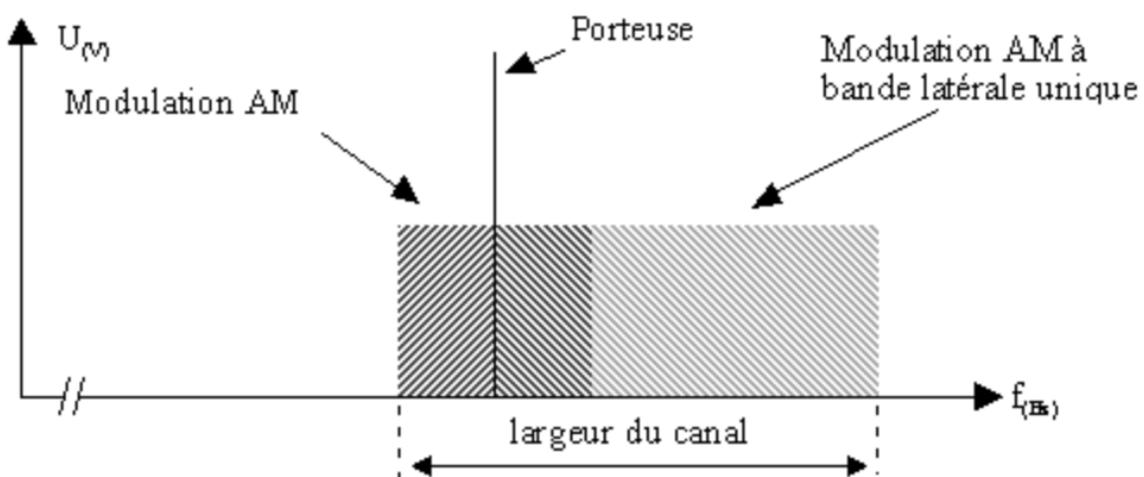
Les pays où la télévision analogique terrestre était le moyen principal, dominant, pour recevoir les chaînes TV sont par exemple : le Royaume-Uni, la France, l'Espagne, l'Italie et le Japon, ces pays utilisant le réseau terrestre pour diffuser leurs chaînes publiques, privées et thématiques principales. D'autres pays ont par contre choisi la télévision par câble comme moyen principal de réception TV, à partir des années 1970 et 1980, ce qui est par exemple le cas des Pays-Bas, de la Belgique et de la Suisse.

### **2.2.3. Principe de l'émission : modulation**

Les signaux correspondant à un programme de télévision analogique terrestre (TAT) sont de deux types, l'image (I) et le son (S), que l'on transmet à l'aide de deux émetteurs distincts (I et S), alimentant d'ailleurs la même antenne.

L'émission du son se fait soit en modulation d'amplitude (AM), en France par exemple, soit en modulation de fréquence (FM). Ces deux systèmes ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients, et le bilan global est bien délicat à établir.

L'image est transmise en modulation d'amplitude dite « à bande résiduelle <sup>1</sup> », afin de réduire l'encombrement hertzien (l'émission en bande latérale unique, ou B.L.U., qui serait la plus économique en bande, est inutilisable, car le signal vidéo complet comprend des fréquences très basses, en particulier une composante continue). Pour cela, on fait une modulation classique à deux bandes, et l'on coupe une partie d'une des bandes, les 4/5 environ.



**Figure 1.** Modulation d'amplitude à bande latérale résiduelle

#### 2.2.4. Composition d'une image

Les caractéristiques fondamentales de tous les systèmes de télévision ont été en grande partie définies par rapport à des considérations physiologiques de l'œil humain, telles que :

- La persistance rétinienne : 1/20 de seconde.
- Le pouvoir de résolution de l'œil : 1'<sup>2</sup> d'angle environ.
- Le nombre d'or : notion de distance normale d'observation d'un objet en fonction de ses dimensions (5 à 7 fois sa diagonale pour un objet rectangulaire, selon les peintres).

<sup>1</sup> La fréquence maximale du signal modulant pour une image de télévision est de 5 MHz, ce qui implique une largeur de bande d'au moins 10 MHz pour sa transmission. La modulation à bande latérale permet de diminuer cet encombrement, tout en conservant la porteuse et une bonne qualité du signal pour les fréquences les plus basses, fréquences pour lesquelles l'œil est le plus sensible.

<sup>2</sup> « ' » ou minute d'arc représente  $1^\circ/60 = 0,016^\circ$

Afin d'éviter un effet de scintillement, le principe de structurer l'image en deux trames entrelacées (trame paire et impaire) a été choisi. La période de chaque trame étant de 1/50 de seconde (en Europe), ou de 1/60 de secondes (au Japon, États-Unis et Canada) ; soit la fréquence du réseau électrique local.

Pour résoudre le problème du décalage vertical des deux trames, il a été fixé un nombre impair de lignes ; la première trame démarrant au centre du bord supérieur de l'écran et la seconde au coin supérieur gauche.

Ce système de double trame entrelacées est commun à tous les standards de télévision analogique. La trame est constituée de deux mouvements, l'un horizontal, décrivant une ligne de gauche à droite sur l'image restituée, l'autre vertical, plaçant les lignes les unes sous les autres, de haut en bas, ces lignes constituant la trame.

Chacun de ses mouvements comprend deux phases ; une phase utile pendant laquelle se forme le signal utile de traduction de l'image, une phase de suppression lors de laquelle le mouvement du spot s'inverse (retour vers le début de ligne ou trame suivante). Pendant ce temps, le signal est mis à une tension constante de référence : le niveau de suppression.

Dans les principaux standards, le nombre de lignes est de

- **625 pour les standards européens,**
- **525 pour le standard en usage au Japon, États-Unis et Canada.**

Le nombre d'images par seconde est respectivement de **25 et 30**.

La période d'une image est fixée à 40 ms, et donc celle d'une trame à 20 ms (Europe) 1/64 La fréquence de balayage ligne est donc de 625 x 25, soit 15 625 Hz, ou une période de 64  $\mu$ s. Pour un format 4/3 le nombre de points par ligne est de 625 x 4/3, soit 833 points.

La bande passante est maximale lorsque l'on alterne les points noirs et blancs, créneau dont la fréquence est la moitié des points transmis :

$$833/2 \text{ points} \times 625 \text{ lignes} \times 25 \text{ images par seconde} = 6,5 \text{ MHz}$$

Ce créneau nécessiterait la transmission d'une dizaine d'harmoniques pour être restitué, en pratique nous observons de grandes zones uniformes qui induisent des fréquences plus faibles. Le temps entre deux points d'une ligne est de  $\tau = (1/625) \times (3/4) \times 64 \mu\text{s}$  ; la bande passante d'un système du premier ordre dont le temps de montée à 90 % donne  $2,3 \times \tau$  soit une bande

passante de  $2,3 / (2 \times \pi \times \tau) = 4,77$  MHz environ qui est une valeur théorique plus proche de la réalité.

### 2.2.5. Le signal vidéo composite

Un signal vidéo est constitué de plusieurs parties :

- l'information de luminance<sup>3</sup> d'une dynamique de 700 mV,
- La synchronisation ligne, impulsion de 300 mV,
- l'information de chrominance<sup>4</sup> (restitution de la couleur),
- Un burst de synchronisation pour la sous-porteuse chrominance,
- Des informations de synchronisation trame dans certaines lignes.

Sous une charge normalisée  $75 \Omega$ , l'amplitude crête à crête d'un signal vidéo est 1 V. La durée d'une ligne est de  $64 \mu\text{s}$ , soit  $15\,625$  Hz. Le signal utile dure  $52 \mu\text{s}$ , la synchronisation utilise donc  $12 \mu\text{s}$ .

### 2.2.6. Synthèse des couleurs

Au signal vidéo composite monochromatique, la couleur est gérée en ajoutant une sous porteuse modulée par des signaux de chrominance et ce, afin de constituer un nouveau signal composite CVBS (Color Video Blanking Synchronisation). Pour la télévision couleur, l'image est transmise sous la forme de deux informations complémentaires : la luminance qui exprime la luminosité et les contours des formes visualisées et la chrominance, porteuse de l'information couleur.

Pour des raisons de compatibilité avec les systèmes précédents, l'adjonction de la couleur devait se faire de façon à ne pas perturber le fonctionnement d'un téléviseur noir et blanc. Cette information chromatique avait donc comme obligation d'être positionnée dans un canal de 8 MHz, occupé déjà par 5 MHz (ou 6) de luminance vidéo ainsi que la sous porteuse audio.

Le signal de luminance Y est une combinaison linéaire des trois couleurs primaires rouge, vert bleu. Disposant de cette information qui représente le signal noir et blanc, deux signaux complémentaires sont nécessaires afin de transmettre la couleur : signaux de chrominance bleu et signaux de chrominance rouge.

- $Y = 0,587V + 0,299R + 0,114B$

---

<sup>3</sup> La luminance est une grandeur correspondant à la sensation visuelle de luminosité d'une surface.

<sup>4</sup> La chrominance, ou chroma, désigne la partie du signal vidéo correspondant à l'information de couleur.

- $C_b = 0,886 (B - Y)$
- $C_r = 0,713 (R - Y)$

Systèmes de codage des signaux de chrominance :

- Le système NTSC (*National Television Standards Committee*, ou ironiquement "*Never Twice Same Color*"). 1953
- Le système SECAM (Séquentiel Couleur à Mémoire). 1957
- Le système PAL (Phase Alternation line). 1963

### 2.2.7. Émission, modulation d'amplitude et MA-BLR

Le signal vidéo composite (ou CVS pour Composite Video Signal) occupe une largeur de bande d'environ 5 MHz selon le standard utilisé. Ce signal bande de base pourrait moduler en amplitude une porteuse HF (Modulation d'amplitude à double bande) et occuperait alors 10 MHz de bande passante. En principe, l'une des deux bandes peut être supprimée, du fait que chacune d'elles transmet la même information.

Il serait donc possible d'émettre l'information en MA-BLU (Bande latérale unique). Toutefois, le signal vidéo dispose d'information aux fréquences basses auxquelles l'œil est très sensible, de plus, la difficulté de réaliser des filtres aux fréquences de coupures sévères, sans distorsion de temps de groupe, oblige à utiliser *le système à bande latérale réduite* : **MA-BLR**. Cette modulation est donc utilisée sur les émetteurs de télévision hertzienne.

Dans le cas de la MA-BLR, une bande latérale entière est émise ainsi qu'une partie de la seconde appelée talon. À la réception (dans le téléviseur), il faut s'assurer que la zone latérale réduite n'apparaît pas avec une amplitude double au niveau du démodulateur. Afin de s'affranchir de ce problème, on utilise un filtre à flanc de *Nyquist* normalisé, le principe consiste à transmettre la moitié du signal sous la porteuse et la moitié au-delà sur une certaine bande de fréquence. Dans la plupart des cas, le signal est traité à une fréquence intermédiaire de 38,9 MHz (sous porteuse image).

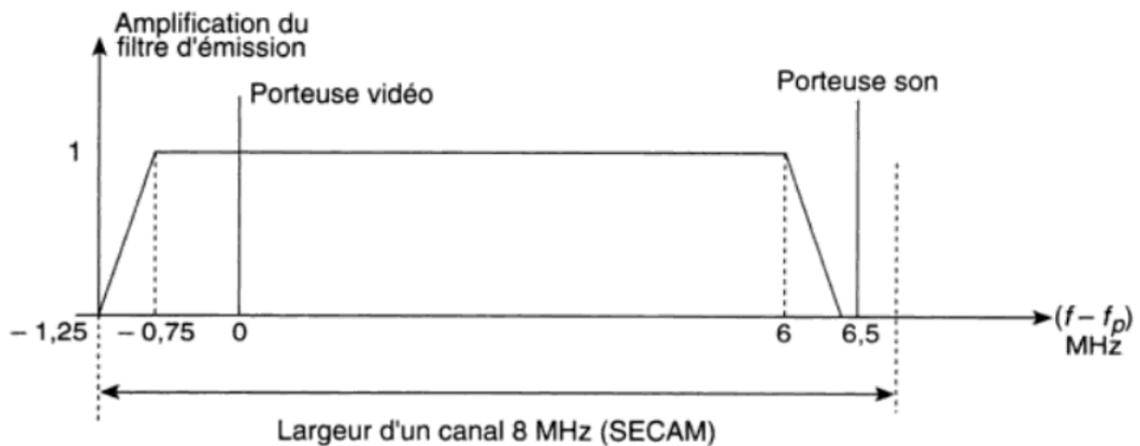
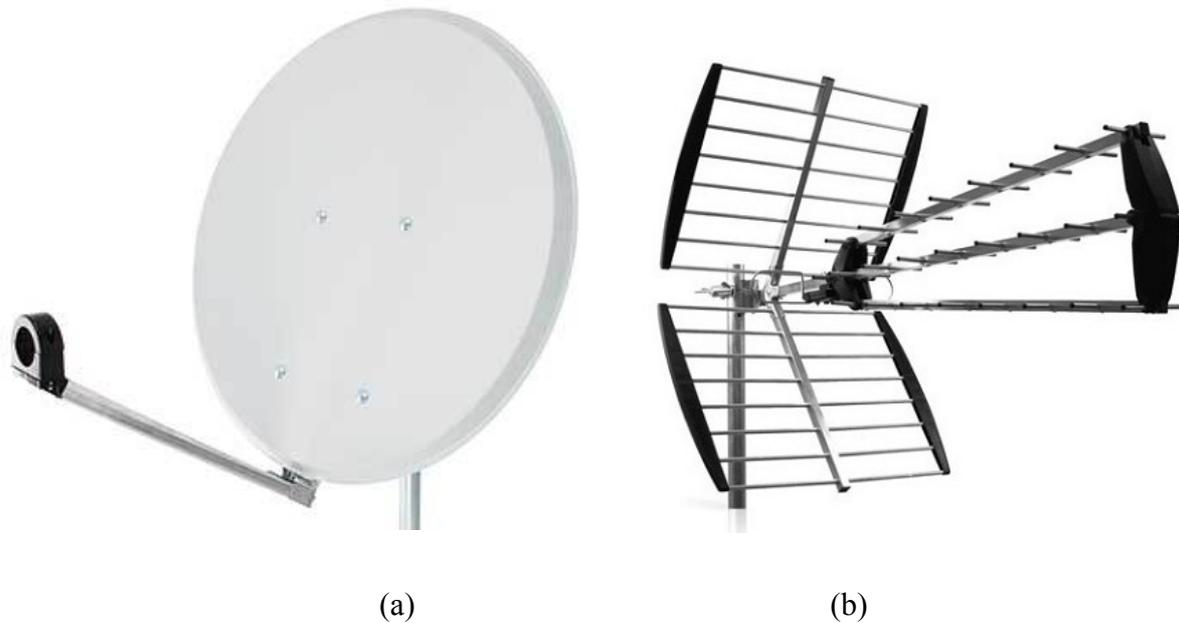


Figure 2. Système à bande latérale réduite MA-BLR

## 2.3. La télévision numérique terrestre (TNT)

### 2.3.1. Introduction

La télévision numérique terrestre (TNT) est une évolution technique en matière de télédiffusion, fondée sur la diffusion de signaux de télévision numérique par un réseau de réémetteurs hertziens terrestres. Par rapport à la télévision analogique terrestre à laquelle elle se substitue, la TNT permet de réduire l'occupation du spectre électromagnétique grâce à l'utilisation de modulations plus efficaces, d'obtenir une meilleure qualité d'image, ainsi que de réduire les coûts d'exploitation pour la diffusion et la transmission une fois les coûts de mise à niveau amortis. La télévision numérique terrestre est à comparer à la télévision numérique reçue par câble ou par satellite. Dans ce dernier cas, la diffusion ne se fait pas par le réseau des émetteurs terrestres mais via un satellite (d'où l'utilisation d'antennes paraboliques au lieu d'une antenne de télévision classique dite antenne « râteau »).



**Figure 3. (a) Antenne parabolique, (b) Antenne râteau**

Avec la TNT, comme avec la télévision analogique, les ondes radio utilisées pour transporter l'image sont analogiques. Ce sont d'ailleurs les mêmes bandes de fréquences qui sont utilisées dans les deux cas. Ce sont donc les mêmes ondes, mais encodées différemment.

Pour la télévision analogique, le signal modulant l'onde porteuse est analogique, c'est-à-dire que le signal électrique de modulation varie proportionnellement à la luminosité voulue. Les 625 lignes d'une image sont balayées l'une après l'autre ; un repère dans le signal électrique de modulation permet au récepteur TV de se synchroniser.

Ce qui est numérique dans la TNT, c'est l'information elle-même. Typiquement un fichier vidéo (MPEG<sup>5</sup> par exemple) est transporté par la modulation d'ondes électromagnétiques. Le démodulateur extrait les données numériques du signal électrique (analogique) reçu sur l'antenne.

Les données aux deux bouts de la chaîne étant numériques, on peut profiter du traitement numérique des données :

- Compression des fichiers pour réduire leur taille (ce qui permet de mettre plusieurs programmes dans un seul canal de fréquence),

---

<sup>5</sup> Moving Pictures Expert Group

- Code correcteur d'erreurs (on ajoute quelques données à la source, le récepteur les utilise pour détecter et corriger les erreurs introduites par le transport de l'information)

### 2.3.2. La modulation numérique

La modulation est le fait d'utiliser une fréquence haute (HF) pour transporter un signal électrique. On dit que la fréquence HF « porte » le signal à transmettre.

Par exemple pour la radio AM, on fait varier l'amplitude de la porteuse proportionnellement au signal audio. Un signal audible a une fréquence basse ( $< 20$  kHz), est porté par une fréquence de 150 à 1 500 kHz.

Dans le cas de la FM, c'est la fréquence de la porteuse qui varie proportionnellement au signal audio. Dans le cas de la TNT, la modulation est différente : on utilise un grand nombre de porteuses côtes à côtes.

On appelle ce type de modulation OFDM ou Orthogonal Frequency-Division Multiplexing. Le principe est de répartir (multiplexer) les données sur plusieurs porteuses, en divisant la bande de fréquences allouée.

Par exemple, une bande d'environ 8 MHz est divisée en 8 000 porteuses espacées de 1 kHz. Les porteuses sont dites « orthogonales » entre elles parce que l'espacement est régulier, et qu'il est calculé très précisément pour que l'information modulée sur chacune des porteuses n'empiète pas sur la porteuse d'après.

Avec des données numériques, il est possible de corriger en grande partie les erreurs de transmission. La TNT est bien moins sensible aux bruits parasites que la TV analogique. L'intérêt principal de répartir les données sur 8 000 porteuses est d'utiliser de façon optimale la bande de fréquence, toutes les porteuses ayant en moyenne la même puissance. Les émetteurs TNT peuvent émettre près de dix fois moins de puissance que les anciens émetteurs pour une même couverture.

La correction des erreurs de transmission permet d'avoir une image parfaite, jusqu'à un certain taux d'erreurs. Au-dessus de ce seuil, d'abord quelques blocs ne sont plus corrigables avec une perte de pavés d'image (il n'y a jamais de « neige » comme avec les réceptions en analogiques) mais si le nombre de défauts augmente (apparition de blocs carrés sur l'écran d'abord par intermittence puis de plus en plus fréquemment) et il arrive un moment où aucune erreur n'est corrigable : l'image se fige.

Dans le cas de la TV analogique, les perturbations météorologiques faisaient apparaître des parasites sur l'image et la qualité était fortement diminuée, mais l'image restait visible longtemps. Avec la TNT, l'image reste quasi parfaite si la qualité du signal reçu est dans la zone où toutes les erreurs peuvent être corrigées. Si la qualité du signal reçu se dégrade des pixels commencent à manquer sur l'image, puis de plus en plus de pixels vont manquer jusqu'à ce que l'image se fige par intermittence, laissant apparaître des blocs de pixels par intermittence.

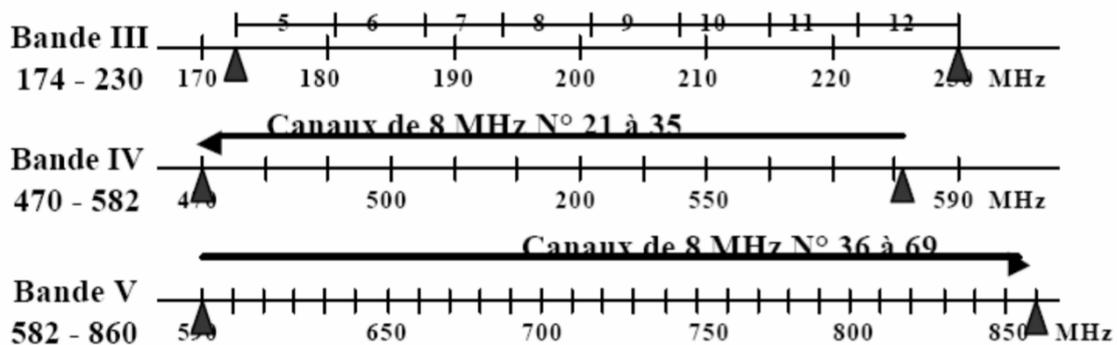
### 2.3.3. Transmission

La télévision numérique est transmise sur ondes radio à travers l'espace terrestre de la même façon que la télévision analogique, la principale différence étant l'utilisation d'émetteurs multiplex permettant la transmission de plusieurs programmes sur le même canal.

La télévision numérique terrestre utilise les bandes de fréquences auparavant allouées à la télévision analogique (bande III en VHF, bandes IV et V en UHF).

Selon les pays, la transmission se fait selon des normes telle que DVB-T<sup>6</sup> (notamment en Europe) ou ATSC<sup>7</sup> (en Amérique du Nord).

Les codecs vidéo utilisés sont H.262/MPEG-2 Part 2 et H.264/MPEG-4 AVC, plus récent et plus performant. H.264 permet notamment à trois services de télévision haute définition d'être transportés sur un canal DVB-T à 24 Mbit/s.



**Figure 4.** Les bandes de fréquences allouées à la TAT et TNT

<sup>6</sup> Digital Video Broadcasting – Terrestrial

<sup>7</sup> Advanced Television Systems Committee

## 2.4. Télévision câblée

La télévision par câble est un mode de distribution de programmes de télévision transitant par l'intermédiaire d'un réseau câblé. Celui-ci a vu le jour dès 1936 à Londres.

### 2.4.1. Historique

A partir des années 1970 et 1980, plusieurs pays ont choisi la télévision analogique par câble comme moyen principal de réception TV, comme par exemple les Pays-Bas, la Belgique et la Suisse. D'autres pays ont par contre gardé la télévision analogique terrestre comme moyen principal de réception TV, en diffusant sur le réseau terrestre leurs chaînes publiques, privées et thématiques principales, ce qui est le cas par exemple du Royaume-Uni, de la France, de l'Espagne, de l'Italie et du Japon.

### 2.4.2. Principes de fonctionnement : architecture technique

Techniquement un réseau câblé se compose de trois éléments principaux :

- La station de tête ;
- Le réseau de télédistribution ;
- Le terminal (téléviseur et/ou récepteur spécifique).

#### a) Station de tête de réseau

Le système central combine :

Des antennes terrestres captant :

- Les chaînes télévisées analogiques « normalement reçues » localement.
- Les chaînes numériques ou TNT nationales et locales.
- Des antennes paraboliques captant les chaînes numériques diffusées par des satellites géostationnaires, y compris en haute définition, chiffrées ou en clair.
- Les canaux radiophoniques, incluant l'offre de musique en réception numérique.
- Un accès direct au réseau dorsale (backbone) Internet.
- Un dispositif de gestion des droits d'abonnement (accès conditionnel).

Après être captés, ces différents signaux sont traités :

- Filtrés et convertis en d'autres fréquences ou numérisés conformément à un plan technique défini (canaux).
- Démodulés, décodés, décryptés voire transcodés pour les adapter aux normes nationales.

- Réordonnés et éventuellement multiplexés dans des flux numériques.
- Adaptés au contrôle d'accès spécifique du réseau câblé pour la gestion directe des abonnements.

En mode analogique (en voie de disparition), l'ensemble de ces signaux composait un plan de fréquences exploitant les bandes TV : VHF bandes I et III ainsi qu'UHF, bandes IV et V. Le choix des chaînes distribuées est fixé par l'opérateur, mais soumis à conventionnement et autorisation par l'autorité de régulation.

### **b) Réseau**

Son architecture technique comprend :

Une série de lignes de transport, entre la tête de réseau et la prise d'abonné, qui acheminent les signaux vers les répartiteurs et amplificateurs de distribution :

- Par le câble coaxial avec amplificateurs de ligne, sur les réseaux les plus anciens.
- Par la fibre optique monomode (multiplexage de tous les types de données numériques), plus performante mais plus coûteuse ou par des réseaux Hybride fibre coaxial, les plus répandus.

Des amplificateurs de distribution qui retraitent les signaux puis les dirigent vers les répartiteurs de distribution, dérivateurs d'abonnés puis en terminaison, les prises d'abonnés.

Un ou plusieurs terminaux d'abonnés (récepteurs/décodeurs, modem câble), connectés à l'une des prises du foyer.

Le terme « voie descendante » concerne les signaux diffusés depuis la tête de réseau jusqu'au foyer abonné. En sens inverse on emploie le terme « voie montante », laquelle permet le retour d'informations ou d'interactivité, et les communications (téléphonie, Internet, commande de vidéo à la carte, visiophonie, pilotage de fonctions...).



**Figure 5.** Exemple de prise d'abonné

### **c) Terminal**

Sur un réseau analogique ancien, dont la technique devient obsolète, une cinquantaine de chaînes peuvent être distribuées, voire davantage, en fonction de la technologie mise en œuvre (qualité des amplificateurs, réseau VHF ou à large bande, etc.). Ces programmes peuvent être visualisés directement par un téléviseur, grâce à un simple branchement coaxial au réseau, similaire au câble d'antenne collective. Pour l'utilisateur, le câble strictement analogique ne nécessite pas l'achat d'une antenne individuelle ou d'un décodeur ; il est donc théoriquement, sans coût additionnel pour l'offre analogique.

En revanche, la télédistribution numérique nécessite obligatoirement un terminal compatible. Ce terminal peut être directement intégré au téléviseur, pour la plupart des appareils récents (par exemple DVB-T ou DVB-C). Des récepteurs séparés existent pour les appareils non compatibles (se connectant via une prise Péri-télévision ou HDMI). Si l'offre est cryptée ou si on utilise d'autres services (téléphonie, accès à Internet par le câble), alors soit un module d'accès conditionnel est loué ou vendu et s'insère dans un appareil compatible (qui doit donc être compatible à la fois avec la norme de diffusion et avec le module d'accès fourni), sinon l'utilisation d'un terminal propre à l'opérateur (modem câble) est requise.

## **2.5. Télévision par satellite**

### **2.5.1. Les satellites géostationnaires**

Autour de notre planète, on trouve de très nombreux satellites artificiels. Parmi ceux-ci, une catégorie est bien particulière, ce sont les satellites dit « géostationnaires ». ce qui fait de ces satellites des éléments remarquables, c'est la position qu'ils occupent dans le ciel : elle est en effet constante, stationnaire par rapport au sol, contrairement par exemple aux satellites en orbite basse, qui se déplacent en permanence au-dessus de nos têtes (satellites météorologiques par exemple).

Les satellites géostationnaires sont tous placés à la même altitude, et orbitent autour de la terre à la même vitesse que celle-ci. C'est ce qui fait que, en apparence, ils ne bougent pas. Ils se déplacent bien, mais de telle manière que leur mouvement les maintienne toujours visible au même endroit dans le ciel.

La position des satellites géostationnaires n'est pas quelconque pour qu'un satellite puisse être géostationnaire, il doit être placé sur (et un seul) orbite dont les caractéristiques, bien particulières, sont seules à garantir le bon mouvement attendu. Ainsi, les satellites sont tous positionnés au-dessus de l'équateur, et à une altitude de 36000 Km. Cette orbite constitue ce que l'on appelle la « Ceinture de Clarke »

Comme on peut le voir sur ce schéma, les satellites appartenant à la ceinture de Clarke sont identifiés en fonction de leur position orbitale. C'est-à-dire l'angle formé entre le plan où ils se trouvent et celui passant par le méridien de Greenwich<sup>8</sup>. ASTRA 1, par exemple, est positionné à 19.2° EST et HOTBIRD 1 à 13 ° EST.

### 2.5.2. Constellations et co-positionnement

La ceinture de Clarke étant ce qu'elle est, la place disponible en son ceint n'est pas illimitée. En effet pour éviter tout risque qu'un satellite ne « gêne » le voisin, il est nécessaire de respecter un minimum d'écart entre deux satellites. De ce fait, le nombre de positions orbitales exploitables dans le ciel est limité.

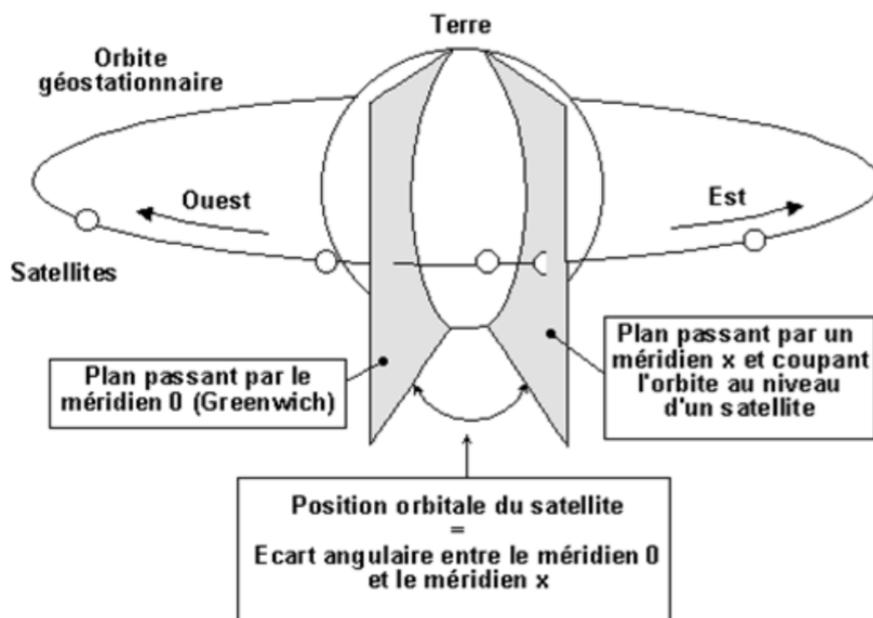


Figure 6. La ceinture de Clarke

<sup>8</sup> Le méridien qui sert de référence internationale de longitude

Ce phénomène est bien sûr renforcé par le fait que, pour être visible depuis un point donné sur la Terre, il est indispensable d'être visible depuis ce même point. Pas question donc de placer un satellite sur n'importe quelle position ! De plus, plus le satellite sera éloigné du point où l'on souhaite le capter, plus la distance entre ce point et le satellite grandit et, par conséquent, plus la puissance des signaux devra être importante pour garantir une réception dans de bonnes conditions.

Ces éléments, ajoutés au besoin de permettre une transmission de nombreux signaux sur une position orbitale, afin d'éviter une multiplication des équipements de réception, ont amené les sociétés qui gèrent les satellites à pratiquer ce qu'on appelle le co-positionnement.

Cela consiste à placer plusieurs satellites, de caractéristiques identiques, sur une même portion orbitale, ceci afin de bénéficier non plus des capacités d'un seul satellite, mais de constituer virtuellement un immense satellite dont les capacités sont égales à la somme de chacun des satellites qui le compose. On appelle ce type de construction une constellation.

Bien sûr, le fait de positionner réellement plusieurs satellites à la même position n'est pas possible. En fait, les satellites sont positionnés de telle façon que, depuis la zone où on souhaite les capter, ils apparaissent comme ne faisant qu'un. Dans la pratique, ils sont légèrement décalés les uns des autres. Leur configuration est mise en œuvre de telle sorte qu'ils ne se gênent pas mutuellement. Ainsi, ils ne se transmettent pas dans les mêmes fréquences, de sorte qu'ils ne se brouillent pas entre eux.

Quand on parle d'un satellite, on nomme souvent en fait une constellation. Ainsi, ASTRA 1 n'est pas un satellite, mais une constellation d'environ 8 satellites co-positionnés, qui sont nommés individuellement ASTRA 1-A à ASTRA 1-H. Il en va de même pour HOTBIRD 1 ou ASTRA 2.

Les satellites qui constituent une constellation sont dit de « moyenne puissance ». Ils ne sont pas très puissants, mais par contre leurs durées de vie est assez longue (entre 10 et 15 ans généralement).

### 2.5.3. La bande KU

Les satellites transmettent leurs signaux dans différentes bandes de fréquences, suivant la nature des services qu'ils assurent, tout comme il existe différentes ondes radio (FM, AM) ou différentes bandes de réception hertzienne (UHF, VHF)

La transmission de programme à destination des particuliers est aujourd'hui exclusivement assurée dans une bande de fréquences allant de 10.70 GHz à 12.75 GHz : c'est la bande Ku. Pour mémoire, la bande C (3.7 à 4.2 GHz) est également exploitée, mais elle concerne uniquement la transmission de flux professionnels, par exemple entre chaînes de télévision.

La bande Ku a été choisie notamment en raison des faibles dimensions nécessaires (en utilisant des satellites de moyenne puissance) pour pouvoir la capter correctement. En effet, pour capter la bande C, il n'est pas rare de devoir utiliser des paraboles dont la taille dépasse les 2 voire 3 mètres. En bande Ku, on peut commencer à recevoir dans de bonnes conditions avec des paraboles allant de 50 à 75 centimètres seulement, ce qui rends ces équipements compatibles avec des installations chez les particuliers.

Compte tenu des fréquences utilisées et des puissances mises en œuvre, la réception des signaux ne peut se faire que dans des conditions bien particulières, garantissant le bon acheminement de l'information. Elle n'est possible que s'il y a aucun obstacle entre le point de réception et le satellite !

De ce fait, il faut choisir avec soin le positionnement des équipements de réception, car le simple feuillage d'un arbre sera un obstacle infranchissable pour les signaux. Voyons justement quels sont les éléments qui sont mis en œuvre pour capter la bande Ku, et comment il fonctionne.

### 2.5.4. La parabole

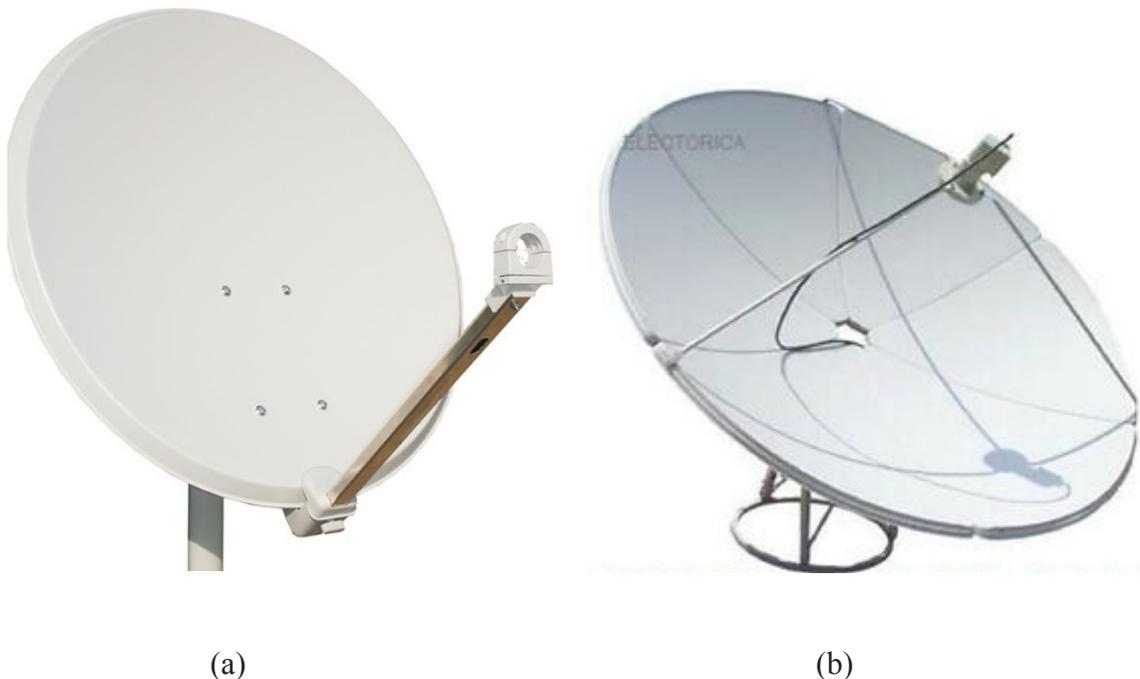
Pour capter la bande Ku, on utilise une parabole. Voici encore quelques années on trouvait différents types de paraboles (Prime Focus, Offset, Grégorienne...) mais aujourd'hui la seule qui soit encore utilisée par les particuliers est la parabole dite « Offset ».

*Pourquoi ?* Le rôle de la parabole est de recevoir et de concentrer les signaux en provenance du satellite, et de les renvoyer vers la tête de réception, qui va ensuite les injecter vers l'équipement final (décodeur satellite)

Lorsqu'on pointe une parabole vers un satellite, les signaux les plus forts sont reçus dans l'axe principal de visée, en ligne directe entre le centre de la parabole et le satellite. Si l'on devait placer la tête de réception au centre de la parabole, on se priverait au final de la partie la plus intéressante des signaux ! Pour autant, les paraboles fonctionnant sur ce principe (prime focus = parabole à foyer primaire) ont été (et sont encore) très largement utilisées, car elles ont d'autres avantages non négligeables, mais il faut alors des équipements de taille importantes. En réception chez un particulier, cette contrainte était difficilement acceptable, aussi les paraboles Offset se sont très rapidement imposées !

La parabole Offset tire son nom du fait que, de par sa forme, elle introduit un angle (offset) entre l'axe par lequel les signaux sont renvoyés à la tête de réception. Ainsi, cette parabole ne capte pas les signaux dans l'axe qu'elle vise : elle capte en fait 26 degrés au dessus du point visé. Cette caractéristique lui permet de recevoir les meilleurs signaux dans de bonnes conditions.

Par ailleurs, cela permet également de moins incliner la parabole pour viser le ciel, et dans les régions du nord, où la pluviométrie est significative, le fait d'avoir une coupole inclinée de seulement quelques degrés, plutôt que d'une trentaine n'est pas négligeable pour la longévité du matériel ! De même dans les régions montagneuses : la neige ne tient pas sur une parabole Offset, alors qu'elle s'accumule facilement sur une parabole Prime Focus.



**Figure 7.** (a) Parabole Offset, (b) parabole Prime Focus

### 2.5.5. Le LNB (tête de réception)

#### a) OL et BIS

Les signaux concentrés par la parabole sont renvoyés vers ce que l'on appelle communément la « tête de réception ». Cette tête doit en fait être considérée comme une partie du récepteur satellite que l'on aurait « sortie de la boîte ». Pourquoi ? A quoi sert-elle ?

Comme nous l'avons vu, la bande Ku est située 10,7 et 12,75 GHz. Si la réception de signaux à ces fréquences n'est pas simple, leur transport sur des câbles, dans de bonnes conditions et avec un bon niveau de protection contre les parasites, est impossible à réaliser dans des conditions économiques compatibles avec un matériel grand public.

La solution trouvée à ce problème a consisté à déporter une partie du récepteur pour l'emmener au plus près de l'antenne, et même directement sur l'antenne. Cette partie du récepteur, c'est le LNB.

Le LNB est en fait une sorte de mini récepteur basique, dont le rôle est de capter la bande Ku et de transposer le contenu de cette bande dans une autre bande de fréquences qui, elle, sera véhiculable sur un câble. Au passage, on effectue bien sûr une amplification du signal, histoire de le renforcer et de le protéger de parasites. Le signal que l'on obtient en sortie de LNB est ce qu'on appelle la BIS, ou Bande intermédiaire Satellite.

*Comment ça marche ?* Pour faire son travail, le LNB va soustraire de la fréquence initialement reçue une autre fréquence, fixe celle-là, amenant ainsi le signal dans la bande BIS, qui se situe entre 950 et 2150 Mhz. On passe donc d'une fréquence supérieure à 10 GHz à une fréquence inférieure à 2 GHz Ce qui est beaucoup plus simple à transporter sur un câble.



**Figure 8.** Tête de réception LNB

*Quelle est la valeur de la fréquence soustraite ?* La valeur soustraite et celle dite de fréquence de l'oscillateur local ou fréquence OL.

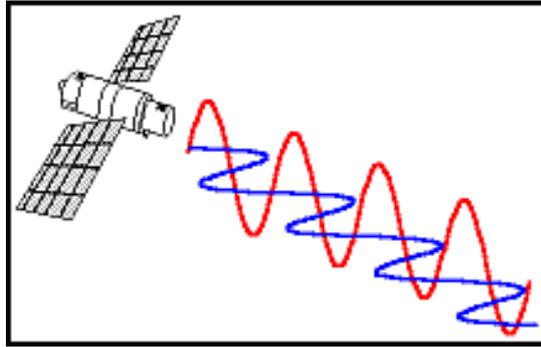
Si l'on regarde la largeur de la bande KU on s'aperçoit qu'elle fait :  $12,75 - 10,70 = 2,05$  GHz hors la bande BIS ne fait que  $2,150 - 0,950 = 1,2$  GHz au mieux il est donc pas possible de faire passer toute la bande KU dans la bande BIS pour cette raison un LNB comporte en fait deux oscillateurs callés à différentes fréquences. la sélection d'un de ces deux oscillateurs permet d'amener dans la bande bis une partie bien déterminée de la bande KU ces deux oscillateurs prennent en charge ce qu'on appelle de ce fait la bande basse et la bande haute en référence à la partie de la bande KU que l'on va traiter ainsi si un LNB utilise un OL à 9,75 Ghz un autre à 10,6 GHz LNB universelle classique l'utilisation du premier oscillateur permettra de capter fréquence s'étendant de  $10,70(9,75 + 0,95)$  à  $11,80(9,75 + 2.050)$  voir  $11,90(9,75 + 2,150)$  si le récepteur gère les fréquences jusqu'à 2150 MHz (c'est le cas pour la plupart des récepteurs de nos jours mais ça n'a pas toujours été le cas). La bande basse s'étend donc de 10,70 GHz à 11,90 GHz.

De la même manière, on calcule facilement les limites de la bande haute de 11,55 ( $10,60 + 0,950$ ) à un maximum de 12,75 ( $10,60 + 2,150$ ). La bande haute s'étend donc de 11,55 GHz à 12.15 GHz.

Vous aurez bien sûr remarqué que certaines fréquences se trouve dans les deux bandes car il y a un recouvrement cela permet de garantir la continuité de réception en évitant de créer un trou à la jonction des deux bandes l'électronique à ses limites de perfection.

### **b) Polarisation**

Afin de maximiser l'usage des satellites (ça coûte cher un satellite) on a eu l'idée de les faire transmettre leurs signaux suivant deux orientations différentes. En effet à de telles autres fréquences, la géométrie de l'antenne qui aimait le signal a un impact fondamental sur la nature des ondes et sur le mode de propagation en utilisant ce phénomène il devient possible de transmettre de signaux différents en utilisant la même fréquence mais en émettant ces deux signaux sur deux antennes dans la géométrie est significativement différente.



**Figure 9.** Principe d'émission suivant deux polarisations

Ainsi, on émet le premier signal en utilisant une antenne dans l'axe et parallèles avec l'horizontale et le second signal avec une antenne dans l'axe et perpendiculaire à l'horizontal dans ces conditions, les deux signaux ne se perturbent pas, il est possible de capter l'un ou l'autre des deux signaux lors de la réception.

Pour cela, il suffit d'utiliser une antenne de réception dans l'orientation correspond exactement à celle qui émet le signal que l'on recherche. En effet, toujours compte tenu de la nature même des signaux transmis, une antenne placée dans une disposition différente de l'antenne d'émission ne recevra qu'un très faible niveau de signal alors qu'une antenne placée dans la même direction recevra ce même signal beaucoup plus fort.

Ce principe est mis en œuvre dans la transmission par satellite et porte le nom de **polarisation**.

Une fréquence donnée est émise dans une polarisation donnée. Celle-ci peut-être horizontale (parallèle à l'horizontale par rapport au point sur terre se trouvant juste au-dessous du satellite) ou verticale (perpendiculaire à la précédente). Pour recevoir cette fréquence il faut, en plus du fait d'être dans la bande (basse ou haute), être dans la bonne polarisation sans quoi le signal reçu est si faible que le récepteur ne le capte pas.

Le LNB contient dans sa partie circulaire deux antennes positionnées perpendiculairement l'une est horizontale, l'autre est verticale. A un instant donné, seule une des deux antennes est utilisée, et seuls les signaux correspondant sont transmis à l'électronique des oscillateurs locaux. Il y a donc bien deux antennes dans votre installation.