



# CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

CENTRE REGIONAL DE NANTES

27 Mai 2005 Mémoire présenté en vue d'obtenir l'examen probatoire en informatique  
Par David ARNOULT

## La TNT, Télévision Numérique Terrestre

### **JURY**

**Président :** Mme METAIS  
**Emetteur du sujet :** M. GERARDIN  
**Membres :** Mme METAIS  
M. GERARDIN  
M. LASTENNET

## **Sujet du probatoire :**

Sujet proposé par M. Alain Gérardin  
a.gerardin@meito.com

La TNT, Télévision Numérique Terrestre

Avec plus d'une vingtaine de chaînes télévisuelles gratuites, la TNT, Télévision Numérique Terrestre est promise à un avenir certain.

Au-delà de la diffusion de chaînes de télévisions, des accès Internet pourraient également être proposés.

Expliquer le fonctionnement de la TNT : organisation du réseau, fréquences attribuées, codage des contenus, codec chez les utilisateurs, compression des signaux...

Donner la composition des multiplexes.

Poser le problème des zones frontalières.

En conclusion vous chercherez à positionner la TNT vis-à-vis des autres modes de diffusion télévisuels, notamment le triple play et vous indiquerez l'impact du décret sur le « must carry » dans le PAF (Paysage Audiovisuel Français).

<http://www.tdf.fr/article/articleview/650/>

[http://www.ddm.gouv.fr/rubrique.php?id\\_rubrique=35](http://www.ddm.gouv.fr/rubrique.php?id_rubrique=35)

## TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION.....	2
2	LA TNT EN QUELQUES DATES.....	3
3	FONCTIONNEMENT DE LA TNT .....	4
3.1	Définition .....	4
3.2	Les concepts.....	4
3.3	Le DVB .....	8
3.4	Description du réseau global.....	9
3.5	Chaîne de diffusion numérique par voie de terre (DVB-T) .....	10
3.6	La réception de la TNT .....	25
4	DEPLOIEMENT DE LA TNT EN FRANCE .....	28
4.1	Introduction .....	28
4.2	Occupation du spectre : un passage au numérique obligé .....	28
4.3	Planification des fréquences.....	29
4.4	Aspects juridiques de la Télévision Numérique Terrestre .....	33
4.5	L'introduction du MPEG-4 dans la TNT .....	36
5	CONCLUSION .....	38
5.1	Positionnement de la TNT vis-à-vis des autres modes de diffusion.....	38
5.2	Impact du décret d'obligation de reprise (« must carry ») .....	43
6	ANNEXES .....	46
6.1	Liste des fréquences attribuées pour les 2 premières phases .....	46
6.2	Couvertures géographiques de la TNT .....	47
7	BIBLIOGRAPHIE.....	48
7.1	Ouvrages.....	48
7.2	Rapports .....	48
7.3	Sites Internet .....	48
7.4	Documents audiovisuels .....	49
8	GLOSSAIRE .....	50
9	GLOSSAIRE DES ABREVIATIONS.....	50
10	TABLE DES ILLUSTRATIONS .....	51

# 1 Introduction

Dans le monde de la communication, la vague de la numérisation continue de se répandre. Après avoir révolutionnée le son, l'image, la vidéo et la téléphonie, c'est au tour maintenant des réseaux hertziens terrestres de passer au numérique. Les téléspectateurs grand public dotés d'une bonne vieille antenne râteau peuvent désormais progressivement bénéficier du fruit de la technologie de la diffusion numérique terrestre, en recevant chez eux des images et du son qualité numérique accompagnés de services interactifs.

La télévision numérique terrestre lance un triple défi. Elle représente tout d'abord un défi culturel : les programmes audiovisuels sont majoritairement produits en numérique, et le DVD est le vecteur privilégié du cinéma. Ensuite, c'est un défi économique et industriel, sa mise en place va déclencher à terme le renouvellement de téléviseurs et décodeurs auprès de 25 millions de foyers en France, ce qui représente une activité économique considérable. Enfin, son succès dépend des industriels qui devront gagner le défi technologique qu'elle impose, avec un repositionnement stratégique sur le marché et une maîtrise de nouvelles techniques modernes de diffusion.

C'est pourquoi, après un bref point historique, nous commencerons par étudier la numérisation du dernier vecteur de diffusion analogique, en se concentrant sur les principes de son fonctionnement. Après avoir introduit les concepts, nous détaillerons les différentes étapes de son processus de diffusion et de réception.

Puis nous présenterons les différents aspects liés à son déploiement en France : occupation du spectre, planification des fréquences et nous poserons le problème des zones frontalières. Ensuite nous traiterons la TNT sous son aspect juridique, en présentant ses différents acteurs et les principaux points clés qui ont mené à choisir la compression MPEG-4.

En conclusion, nous essaierons de positionner la TNT vis-à-vis des autres moyens de diffusion tels que le câble, le satellite ou la télévision par ADSL (le « triple play »), avec notamment les conséquences du décret d'obligation de reprise (« must carry »).

## 2 La TNT en quelques dates

Sources [TDF01] et [CSA01]

<b>1996</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rapport Lévrier consacré à l'utilisation de la technologie numérique appliquée aux actuels réseaux hertziens de télévision traditionnels.</li> </ul>
<b>1998</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rapport Eymery et Cottet sur une mission de réflexion sur la Télévision Numérique Terrestre préconisant l'ouverture en France de 6 multiplex, et qui conclut au caractère inéluctable du numérique terrestre et propose un calendrier de déploiement.</li> <li>Première expérimentation de diffusion numérique de TDF pour un premier multiplex.</li> </ul>
<b>1999</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consultation publique sur la "numérisation de la diffusion terrestre de la télévision et de la radio" sous la forme du Livre blanc.</li> </ul>
<b>2000</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Définition du cadre juridique de la TNT.</li> </ul>
<b>2001</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Appels à candidatures pour l'exploitation de 33 services de télévisions avec les programmes du service public et les programmes locaux.</li> <li>Expérimentation de diffusion numérique terrestre sur le canal 35 depuis la tour Eiffel.</li> </ul>
<b>2002</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Décret « must-carry » qui concerne l'autorisation d'exploitation des réseaux distribuant des services de radiodiffusion sonore et de télévision par câble.</li> <li>Candidatures de 69 éditeurs de programmes auprès du CSA pour obtenir une autorisation de diffusion sur le numérique terrestre. 66 dossiers sont jugés recevables.</li> <li>TDF démarre, sur Paris depuis la tour Eiffel, la diffusion numérique en vraie grandeur et les premiers réaménagements de fréquences analogiques.</li> </ul>
<b>2003</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Remise du rapport Boyon afin d'éclairer les décisions du gouvernement sur les modalités de financement et l'évaluation du coût des opérations de réaménagement des fréquences, le périmètre des chaînes du service public sur la TNT et les conditions de développement des TV locales.</li> <li>Fin des premiers réaménagements de fréquences ordonnés par le CSA.</li> <li>Signature des conventions entre les éditeurs et le CSA.</li> <li>Nomination des opérateurs de multiplex par les éditeurs de service d'un même multiplex. Ils seront autorisés par le CSA, qui leur assignera la ressource radioélectrique.</li> <li>Daniel Boudet de Montplaisir est chargé de poursuivre la mission sur la télévision numérique terrestre à la suite de M. Boyon. Cette mission réunit chaque mois tous les acteurs intéressés au succès de la TNT.</li> </ul>
<b>2004</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regroupement sur un seul multiplex (R1) des six chaînes du service public qui seront diffusées en numérique terrestre.</li> <li>Le CSA fixe les dates de lancement de la TNT au 1er mars 2005 pour les chaînes gratuites et au 1er septembre 2005 pour les chaînes payantes.</li> <li>Le premier ministre, Jean-Pierre Raffarin décide que le lancement des chaînes gratuites en mars 2005 se fera dans la norme MPEG2 et que la norme MPEG4 sera obligatoire pour les chaînes payantes de la TNT.</li> <li>La norme MPEG4 est normalisée officiellement par le DVB et l'ETSI</li> <li>Fin des réaménagements de fréquences analogiques nécessaires pour le démarrage effectif de la Télévision Numérique Terrestre.</li> </ul>
<b>2005</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Remise des dossiers de candidatures pour les 6 services.</li> <li>31 Mars : Lancement réussi pour les 14 chaînes gratuites de la TNT. Le démarrage de la TNT s'effectue grâce à la mise en service des 17 premiers sites qui couvrent 35 % de la population : Paris (4 sites), Marseille (2 sites), Bordeaux (2 sites), Niort, Mantes, Lille, Rouen, Rennes, Brest, Vannes, Lyon, Toulouse ville.</li> <li>19 avril : Publication de la liste des dossiers de candidatures des 6 services.</li> <li>9-10 mai : Publication des chaînes gratuites et payantes retenues pour la TNT</li> <li>17 mai : Délivrance des autorisations pour les 6 services.</li> <li>Septembre : Lancement commercial prévu pour les chaînes payantes en MPEG-4 de la TNT. Ces chaînes ont un délai de 6 mois, soit mars 2006 au plus tard pour démarrer leurs émissions en numérique terrestre. Poursuite des déploiements avec la mise en service de 15 sites de diffusion, avec pour objectif de couvrir 50 % de la population (depuis 32 sites).</li> </ul>
<b>2005 2007</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poursuite des déploiements avec la mise en service d'autres sites de diffusion avec pour objectif de couvrir 65 % de la population à la fin du 1er semestre 2006 (depuis une soixantaine de sites) et atteindre 85 % de la population en 2007 (depuis 110 sites).</li> </ul>
<b>2010 2015</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possibilité d'arrêt de la diffusion de l'analogique en fonction de l'équipement des ménages.</li> </ul>

## 3 Fonctionnement de la TNT

### 3.1 Définition

La Télévision Numérique Terrestre ou TNT est un mode de diffusion terrestre de la télévision dans lequel les signaux vidéo, audio et de données ont été numérisés, puis ordonnés dans un flux unique (on parle alors de multiplexage) avant d'être modulés puis diffusés, c'est-à-dire transportés jusqu'au téléspectateur via les ondes électromagnétiques.

[TDF01]

Celle-ci permettra aux foyers raccordés à une antenne « râteau » (soit près de 80% des foyers) de recevoir une trentaine de chaînes publiques et privées, nationales et locales en qualité numérique. Le procédé numérique permettra de faire passer 5 ou 6 chaînes par fréquence, là où l'analogique ne permettait d'en faire passer qu'une seule.

### 3.2 Les concepts

#### 3.2.1 Introduction [SOR05]

Actuellement, avec la diffusion Hertzienne analogique, l'image et le son enregistrés par la caméra sont numérisés et on parle communément d'image et de son numérique. En revanche ils sont diffusés sous forme *analogique* et nos téléviseurs reçoivent des données *analogiques*.

Avec la TNT, les programmes sont toujours fabriqués de la même façon. En revanche ils sont diffusés sous forme *numérique*. Et nos téléviseurs doivent s'adapter pour recevoir et traiter des données numériques. Mais avant cela, étudions le système analogique :

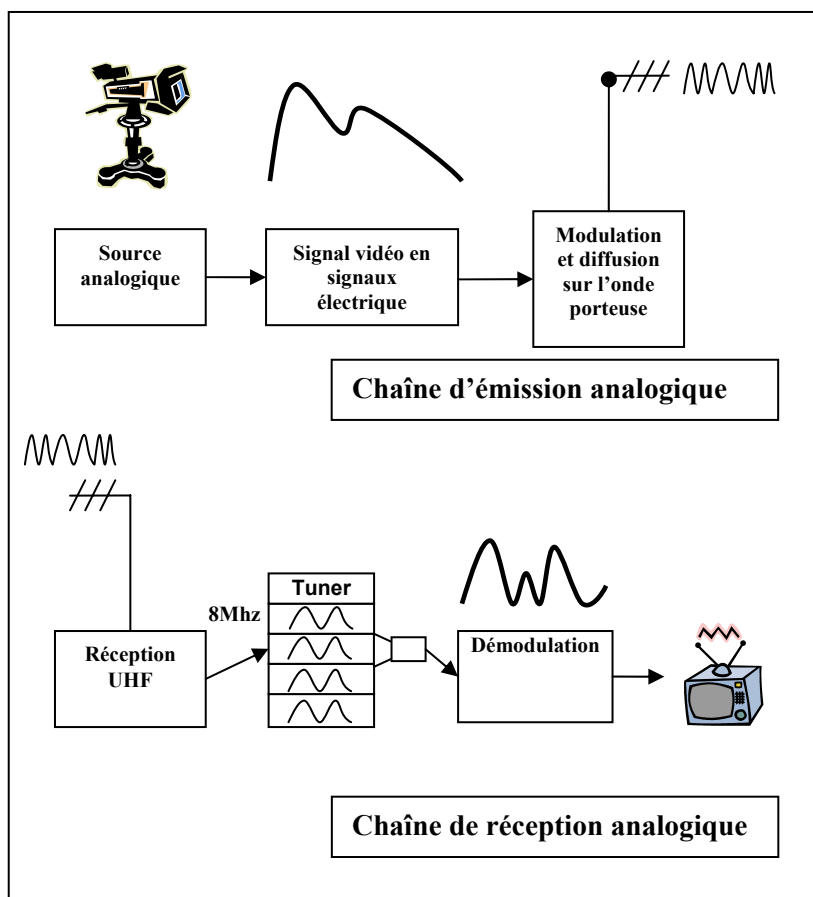


Figure 1 : Chaîne simplifiée analogique

### 3.2.2 Le principe de diffusion analogique

L'image à diffuser, c'est de la lumière qui est transformée en signaux électriques par la caméra, ce qui génère un signal vidéo qui est caractérisé par sa fréquence (nombre d'oscillation par seconde). A chaque nouvelle image on obtient un nouveau signal. Pour diffuser les images, il faut faire voyager ces signaux en les plaçant sur une onde porteuse. C'est une onde électromagnétique à fréquence très élevée et bien régulière. Elle est générée par un courant électrique produit par l'émetteur. Quand on y ajoute le signal vidéo, l'onde porteuse se met à moduler au rythme du signal vidéo. Le tour est joué, les signaux voyagent sur l'onde porteuse. En fait une chaîne pour émettre un programme n'utilise pas une onde porteuse mais plusieurs réparties sur une fréquence de 8Mhz.

### 3.2.3 La réception analogique

Chaque chaîne émet sur sa propre plage et l'antenne râteau les reçoit toutes en même temps. Toutes les ondes porteuses arrivent sur l'antenne sous forme de signaux électriques qui modulent. Ces signaux pénètrent dans le téléviseur et sont canalisés vers le tuner. C'est lui qui va effectuer la sélection du programme (filtre qui sélectionne la plage de fréquence utilisée par le programme souhaitée). Mais pour obtenir l'image, il faut récupérer le signal produit par la caméra, qui lui est encore mélangé à la porteuse qui module. Donc étape suivante, le démodulateur qui sépare l'onde porteuse du signal vidéo, qui lui est envoyé sur le canon à électron, et celui correspondant au son envoyé aux hauts parleurs.

### 3.2.4 Les changements avec le numérique

Les programmes numériques existent déjà sur le câble, le satellite et par l'ADSL. Mais avec la TNT, les émissions sont diffusées par des émetteurs terrestres, quels sont alors les changements ?

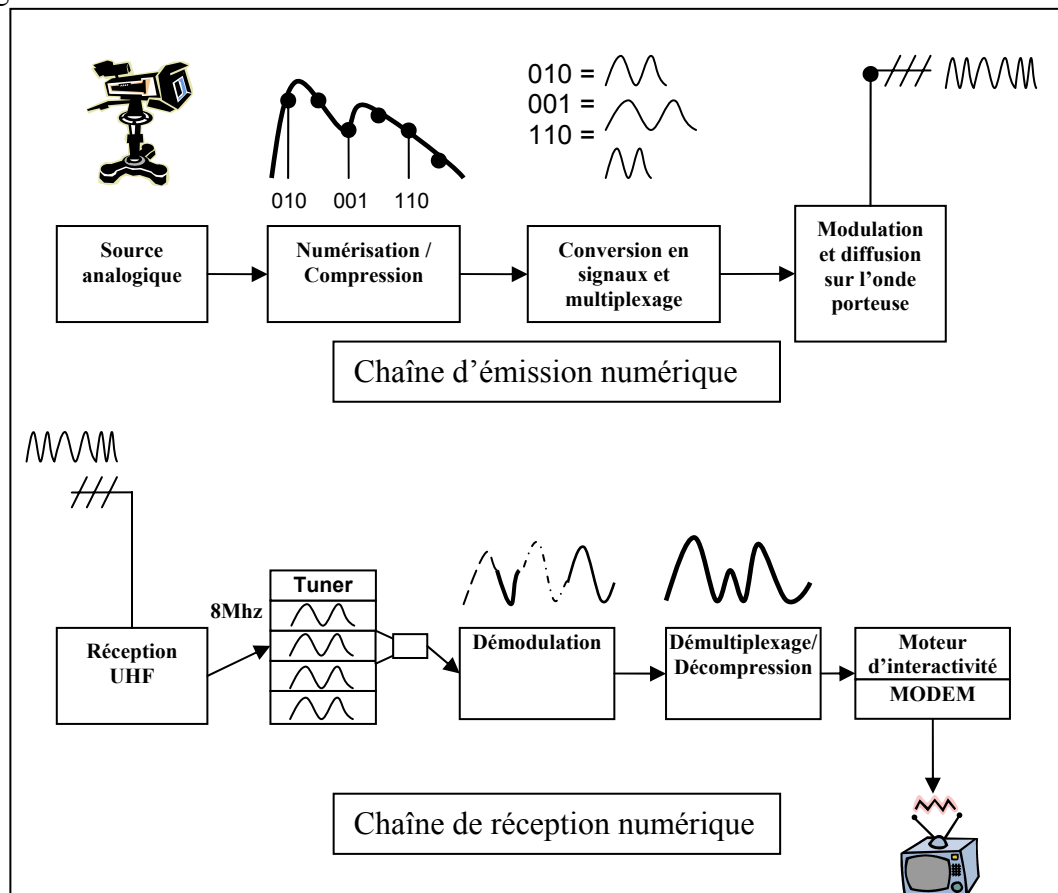


Figure 2 : Chaîne simplifiée numérique

### 3.2.5 La numérisation

Le signal électrique de la caméra est numérisé : cela consiste à sélectionner des points à intervalle régulier sur la courbe et à coder leur position en binaire. Chaque code en binaire, par exemple 110, va correspondre à un point sur la courbe.

### 3.2.6 La modulation

Quand on diffuse en numérique, ce sont ces codes que l'on fait voyager sur les ondes porteuses. Comment ? A chaque code (ou symboles) va être attribué un court signal électrique qui a sa propre fréquence. 010 = signal 1, 001 = signal 2, ... Ces signaux vont faire moduler l'onde porteuse de la même façon. L'antenne de réception capte les ondes, ensuite démodulation, on récupère les codes de départ et on reconstitue le signal vidéo, donc l'image.

### 3.2.7 Compression du signal

Mais comme le poids des images numérisées est trop important, il est nécessaire de les compresser et de ne faire voyager que les codes qui ont changés. Comme le signal a été découpé en une série de codes, il est possible d'envoyer uniquement ceux qui ont changé par rapport à l'image précédente. Pas besoin d'encombrer les ondes avec des choses que l'on a déjà. Bilan : on gagne de la place et on va l'occuper avec de nouveaux programmes ! Concrètement, sur une bande de 8 Mhz, là où on pouvait ne diffuser qu'un programme analogique, on va pouvoir diffuser simultanément 5 ou 6 programmes numériques.

### 3.2.8 Multiplexage

Mais certains programmes sont plus difficiles à compresser que d'autres. Leurs images sont plus compliquées à décrire (film d'action ou sport) et prennent plus de place, à l'inverse des dessins animés où le décor change peu et seuls les personnages bougent. Donc il faudra équilibrer les chaînes pour éviter les engorgements et bien les agencer intelligemment en fonction de leurs usages du débit au cours de la journée.

Avec le numérique on gagne de la place mais ça ne veut pas dire qu'on va diviser une bande de 8 Mhz uniformément en 5 ou 6 plages. Les programmes sont donc compressés et vont pouvoir voyager ensemble par petits morceaux sur la même bande de 8 Mhz, là où ils trouvent de la place. Au final, toute la bande sera occupée, et les 5 ou 6 programmes qui voyageront ensemble sur la même bande formeront un *multiplex*.

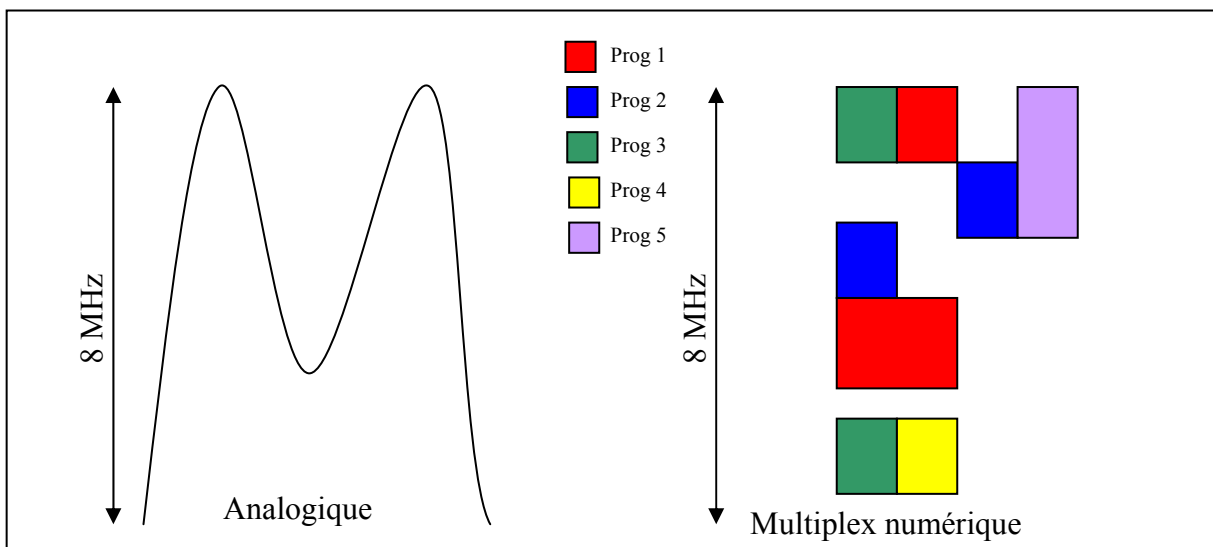


Figure 3 : Occupation de la bande passante en analogique et en numérique

### 3.2.9 Démultiplexage

Mais avec ce système, tous les programmes sont mélangés. A la réception dans le téléviseur, il y a toujours le tuner qui va sélectionner la plage de fréquence de 8 Mhz, c'est-à-dire un multiplex dans lequel sont mélangés les éléments des programmes. Puis le signal est



démodulé (séparé de l'onde porteuse), mais le signal obtenu est toujours mélangé de 5 ou 6 programmes différents. Le démultiplexeur, nouvel élément de la TNT, va effectuer le tri. Comment ? Tous les éléments d'une image porte la marque du programme auxquels ils appartiennent. Le démultiplexeur va lire cette marque, et sélectionner les éléments d'un seul programme, et le reste est éliminé. De cette façon, le multiplexeur va reconstituer le programme demandé. Au final, les programmes ne se mélangent pas, le son et l'image sont restitués correctement.

### 3.2.10 L'interactivité

Avec le numérique on gagne de la place, donc on l'occupe avec des données comme des nouveaux programmes, des pages de textes, des sous-titres, ... Toutes ces données sont traitées par un moteur d'interactivité, logiciel qui met en mémoire les pages de texte pour les consulter hors programme. Ces données qui passent par la voie hertziennne et qui arrivent au téléviseur circulent sur la voie descendante. Mais avec la TNT, il y aura une voie montante qui permettra au téléspectateur d'être actif et d'envoyer des messages. Les récepteurs seront équipés d'un modem relié à la ligne téléphonique et certains programmes proposeront des liens avec des sites Internet, de jouer en temps réel avec des programmes de jeu ou éducatif, télé-payer avec un lecteur de carte intégré, commander des programmes à la carte, etc. Le commerce avec l'Internet va être une nouvelle source de financement de la télévision, et la publicité deviendra interactive pour mieux cibler les consommateurs.

### 3.2.11 La portabilité [TDF01]

La diffusion Hertzienne subit l'effet Doppler, écho qui vient du fait que les ondes qui nous parviennent en nous déplaçant changent de fréquence. En réception analogique, cela génère des parasites car les ondes émises partent dans toutes les directions où elles sont captées par les antennes. Seulement, une onde peut très bien rencontrer un obstacle, rebondir et repartir vers une antenne qui a déjà reçu la même information quelques instants plus tôt. Résultat : la même antenne va recevoir deux fois le même signal avec un temps de décalage, cela se traduit sur l'image par un dédoublement de l'image. Avec le numérique, l'écho existe toujours mais il n'a aucune incidence négative sur la qualité de l'image. En effet, en numérique, un signal qui se répète est une information beaucoup plus forte et permet du coup de rendre possible la réception portable, d'où le terme portabilité.

La portabilité est la possibilité de recevoir les programmes numériques par une antenne intérieure posée sur le téléviseur, voire intégrée. Il s'agit pour le téléspectateur qui en bénéficie d'un atout majeur :

- Une initialisation rapide (pas d'adaptation d'antenne fixe),
- Une installation simplifiée (pas de long câble d'antenne),
- Le multi-équipement favorisé (pas besoin de prise supplémentaire).

Il ne faut pas confondre la portabilité et *mobilité*. La portabilité correspond à l'utilisation d'un récepteur en un lieu fixe, ne nécessitant pas de branchement à une antenne fixe sur le toit. L'utilisateur peut ainsi choisir et modifier aisément l'emplacement du récepteur dans son logement. La réception mobile, quant à elle, correspond à la réception en mouvement comme dans les véhicules particuliers ou transports en commun. La diffusion numérique terrestre permet la réception mobile limitée à 80 km/h, largement suffisant en zone urbaine. Elle coûte encore chère, et ne sera pas déployée massivement avant quelques années.

### 3.3 Le DVB

En 1993, une organisation est née sous le nom de DVB (Digital Video Broadcast) qui est un projet Européen associant plus de 180 structures (des industriels aux diffuseurs et aux instances de régulation) de plus de 20 pays en Europe, qui a défini les standard de diffusion numérique Satellite (DVB-S), Câble (DVB-C) et Hertzien (DVB-T). D'autres standard DVB ont également été définis, comme le DVB-TXT (télétexte), DVB-ISC (services interactifs), DVB-MHP (moteur d'interactivité) et plus récemment le DVB-H (télévision mobile Handheld).

Les objectifs principaux de cette organisation sont :

- de créer un cadre européen pour un développement de la télévision numérique (satellite, câble, hertzien) équilibré et guidé par le marché,
- d'établir les spécifications techniques pour l'élaboration des normes,
- de faciliter l'introduction de nouveaux services utilisant ces normes,
- de faciliter la coordination entre normalisation et recherche & développement.

DVB établit donc des spécifications techniques, qui sont ensuite soumises aux organismes de normalisation pour devenir des normes Européennes (ETSI pour les signaux de télévision numérique).

La compression des signaux audio et vidéo, la constitution du multiplex (multiplexage) et l'embrouillage sont communs à tous les supports de diffusion (terrestre, câble, satellite). Il n'y a que les techniques de transmission qui sont spécifiquement adaptées. Nous nous attacherons à décrire principalement la transmission terrestre DVB-T.

Voici les principales normes retenues par le DVB :

- MPEG-2 et MPEG-4 pour la compression des signaux audio et vidéo,
- Transport Stream MPEG (MPTS) pour le multiplexage,
- En ce qui concerne les systèmes de contrôle d'accès, seul l'embrouillage a été normalisé.

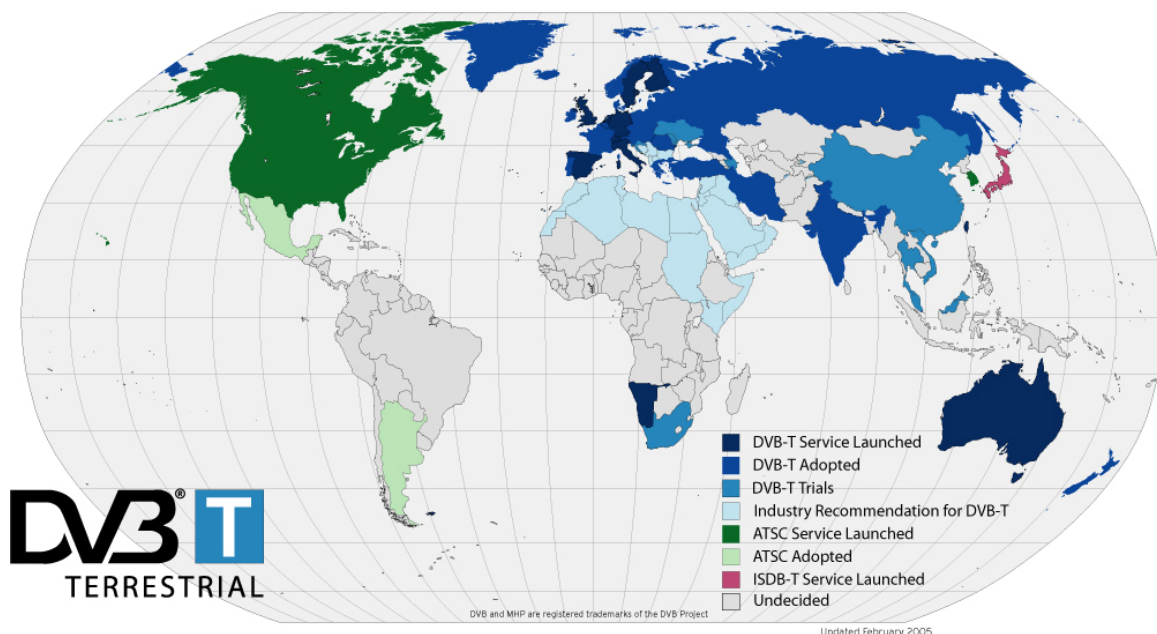


Figure 4 : Diffusion du standard DVB-T dans le monde [DVB05]

### 3.4 Description du réseau global

L'émetteur principal et les équipements de tête de réseau permettent la constitution du multiplex à diffuser. La tête de réseau permet :

- de traiter les programmes nationaux et régionaux,
- d'insérer des services multimédias,
- d'injecter des programmes codés localement (permanent ou décrochage régional).

Le **transport** du multiplex de programmes depuis la tête de réseau jusqu'aux sites de diffusion peut se faire par satellite ou via le réseau terrestre (faisceaux hertziens, fibres optiques).

Les multiplex de programmes sont diffusés à l'identique sur tous les autres sites.

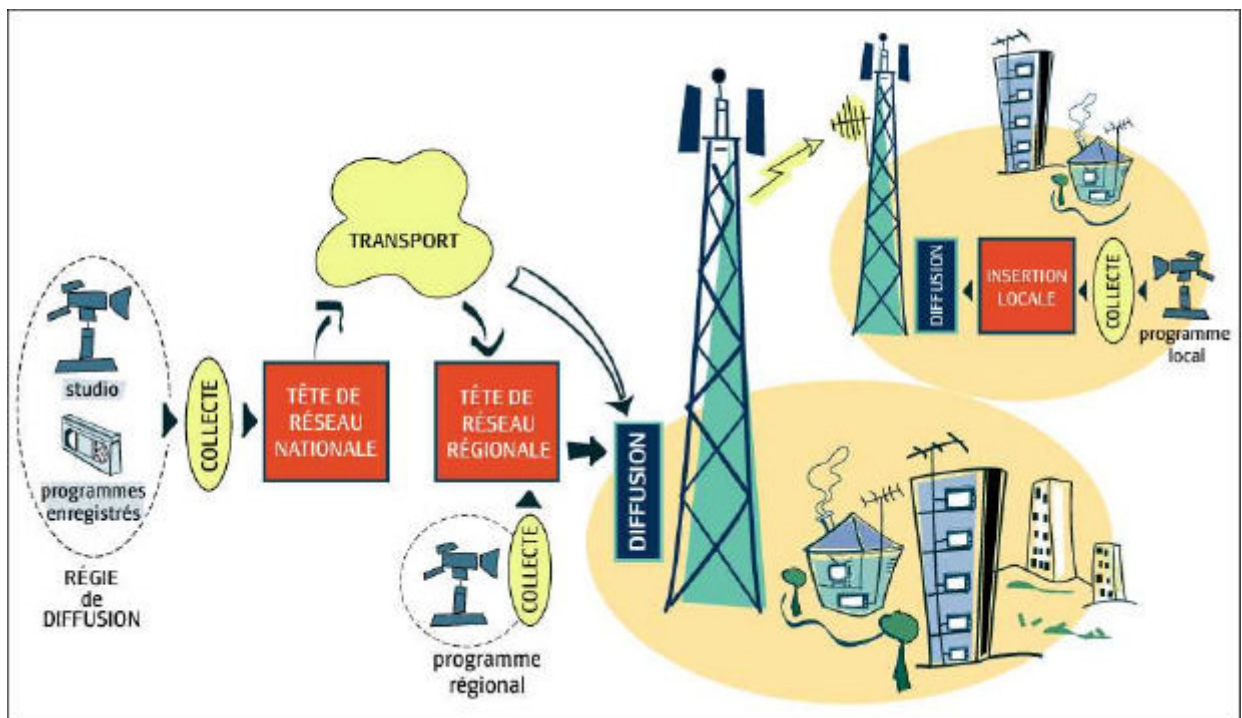


Figure 5 : Schéma global du fonctionnement de la TNT, Sources : [TDF01]

### 3.5 Chaîne de diffusion numérique par voie de terre (DVB-T)

Soit le schéma de la chaîne de diffusion numérique DVB-T : [GRI00]

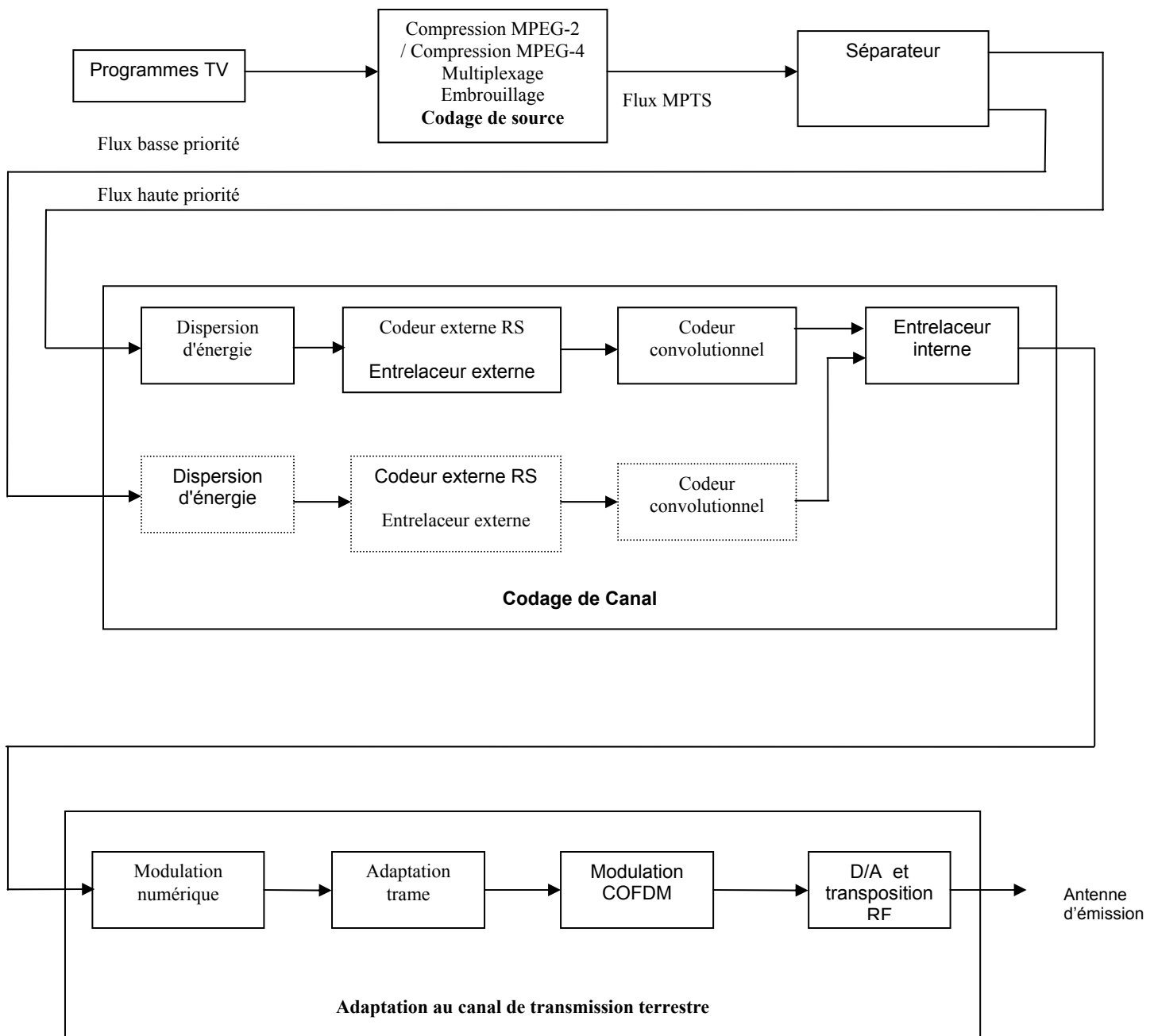


Figure 6 : Schéma détaillé de la chaîne DVB-T

On peut résumer son processus en 3 grandes étapes :

- Le codage de source
- Le codage de canal
- L'adaptation du signal au canal de transmission terrestre

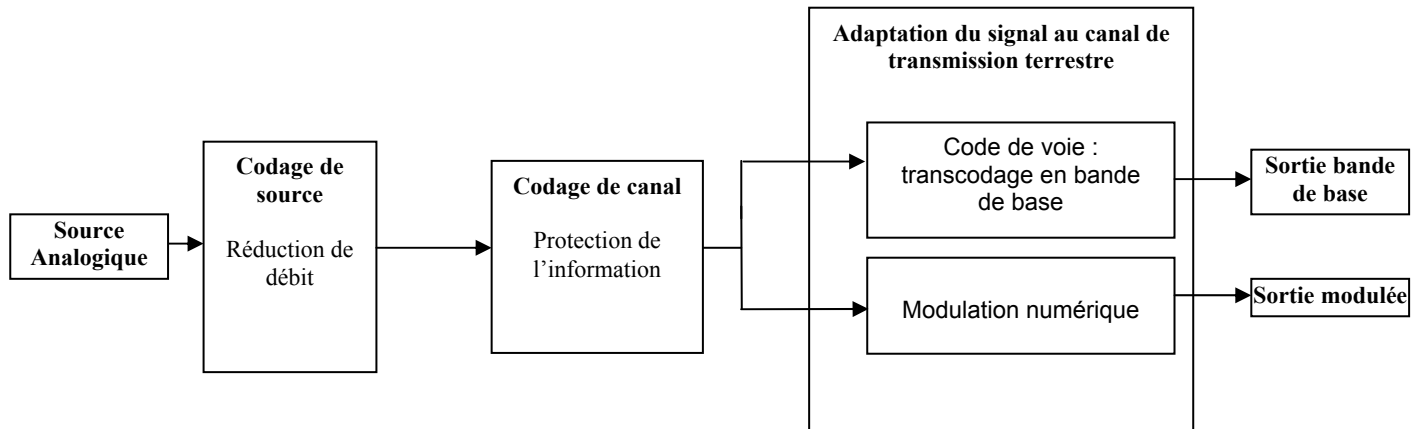


Figure 7 : Séquence des principales opérations à l'émission

### 3.5.1 Le codage de source

Le codage MPEG appliqué à la vidéo et à l'audio permet de réduire la ressource nécessaire à la transmission d'un programme en préservant la qualité numérique et de garantir une excellente qualité des images et des sons et ce de manière constante. La norme MPEG-2 a été retenue pour les chaînes gratuites, et le MPEG-4 pour les chaînes payantes. [TDF05]

#### 3.5.1.1 Compression MPEG-2

MPEG est un comité formé en 1988 et constitue une norme internationale ISO. Il s'agit d'un groupe de travail dont le propos est de définir des standards pour la compression de la vidéo et de l'audio au format numérique.

#### *MPEG-2 appliqué au son*

Le principe de la compression audio consiste à utiliser les faiblesses de l'audition humaine pour réduire la quantité d'information à transmettre sans pour autant détériorer la qualité du signal audio. L'oreille humaine n'est capable de percevoir que des sons compris entre 20 Hz et 20 KHz et pour chacune de ces fréquences, la figure ci dessous représente en A les différents seuils d'audibilité en fonction de la fréquence.

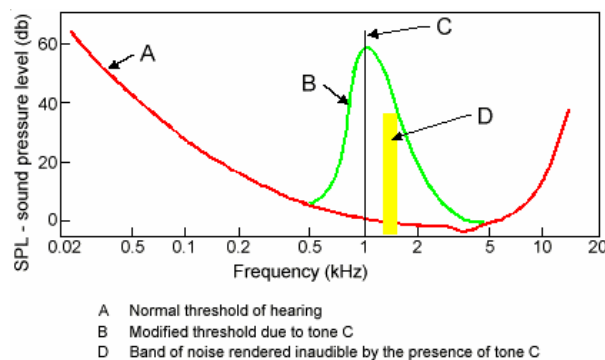


Figure 8 : Seuil d'audibilité (A) et masquage fréquentiel (D masqué par B) [BEN02]

Si des signaux multiples sont proches en fréquence (C et D), le signal qui a l'amplitude la plus importante aura pour effet de remonter le seuil d'audibilité B à son voisinage et par conséquent de rendre l'oreille insensible aux fréquences voisines : il s'agit du phénomène de masquage fréquentiel. D'autre part, l'oreille ne perçoit pas les sons faibles précédant ou suivant un son de forte intensité et de même hauteur : il s'agit du phénomène de masquage temporel.

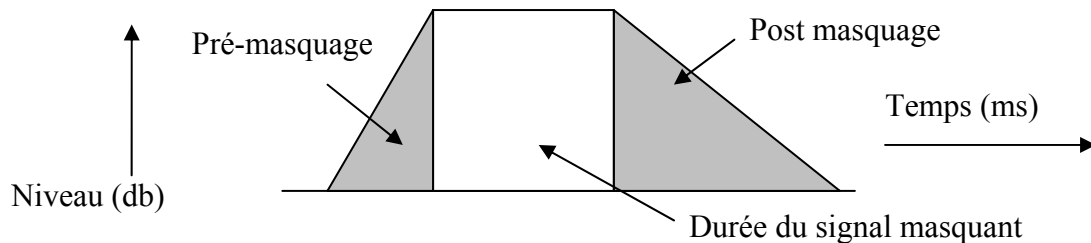


Figure 9 : Masquage temporel [BEN02]

La compression audio va donc utiliser les propriétés acoustiques du système auditif humain décrit par les deux phénomènes de masquage précédents. Un grand nombre de sons sont en effet inaudibles et considérés comme inutiles. Ils sont alors éliminés du signal audio à transmettre, permettant ainsi de réduire le débit sans que la qualité subjective d'écoute n'en soit altérée.

Le codage audio va dans un premier temps diviser la bande passante audio (20Hz - 20KHz) en 32 sous-bandes. Le modèle psycho-acoustique permet ensuite d'éliminer les signaux de sous-bandes non perçus par l'auditeur et de quantifier chacune des sous-bandes de manière à ce que le bruit de quantification reste inférieur au seuil d'audibilité.

### ***MPEG-2 appliqué à la vidéo***

Le format vidéo numérique utilise 166 Mbits/s de débit brut pour coder les images avant compression. On souhaite obtenir à la sortie du compresseur, un débit de 15 Mbits/s au format MP@ML (profil défini par la norme MPEG-2, MP@ML : Main Profile at Main Level, définissant les outils de compression utilisés et les résolutions de l'image), d'où la nécessité de réduire ce débit en partant du principe suivant :

1. "Il est inutile de répéter un à un les points qui sont identiques sur une image".
2. "Si une image est très semblable à sa voisine, il suffit de ne transmettre que leurs différences".
3. "Certaines informations peu ou pas pertinentes pour notre système visuel peuvent être codées plus grossièrement, voire supprimées".

On souhaite donc obtenir un fort taux de compression tout en préservant une bonne qualité d'image. Les outils spécifiques pour la compression des images animées utilisent le principe selon lequel une image renferme des pixels identiques. Il est donc inutile de coder séparément chacun de ces pixels puisqu'un seul peut les caractériser tous. D'autre part, il existe une très forte corrélation entre les images successives.

Deux types de compressions sont principalement appliqués : une compression intra image (pour chaque image) et une compression dite temporelle.

La compression intra image repose principalement sur ce que l'on appelle la transformation en cosinus discrète (DCT), une fonction mathématique permettant de transformer une image en fréquences (principe de la compression pour les images JPEG). Les informations superflues se

trouvant concentrées dans les hautes fréquences, il est très facile alors de les éliminer. Pour que la DCT soit efficace, il faut, auparavant, découper chaque image en une mosaïque de petits blocs, de 8 x 8 ou 16 x 16 pixels : les macro blocs. Plus la surface de travail est faible, plus le traitement est pertinent.

La compression temporelle va elle s'effectuer sur des séquences répétitives d'images, appelées GOP (Group Of Images), qui se composent de trois types d'images en partant du principe qu'une image d'une séquence est généralement très peu différente de celle qui la précède. Ces images sont appelées : I (Intra), P (Prédite), B (Bidirectionnelle). Un GOP est une séquence d'images comprises entre deux images « I ». Plus les images I sont espacées, plus le GOP est grand et plus la qualité de l'image diminue. [GRI00]

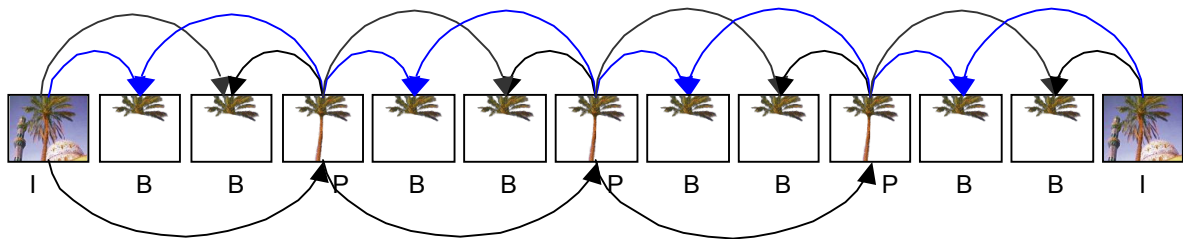


Figure 10 : Enchaînement des 3 types d'images MPEG sur un GOP [GRI00]

- **Les images « I » (Intra)** : ce sont des images de référence compressées de manière indépendante, sans référence à une autre image, qui contiennent tous les macro blocs de la DCT. Le taux de compression des images I est le plus faible car il fait seulement l'objet d'un codage de type JPEG. Ces images représentent le point d'entrée obligatoire à une séquence.
- **Les images « P » (Prédite)** : ces images sont codées en tenant compte des images « I » ou « P » prédites précédentes. On ne pourra pas multiplier indéfiniment le nombre d'images « P » entre deux images « I », car, étant utilisées pour coder d'autres images « P » ou « B », elles propagent en l'amplifiant toute erreur de codage. Leur taux de compression est nettement plus important que les images « I » car on ne code plus que l'erreur de prédiction qui est normalement moins riche en détails fins que l'image d'origine.
- **Les images « B » (Bidirectionnelles)** : elles sont obtenues par interpolation bidirectionnelle entre les images « I » et « P » qui les entourent. Elles ont le taux de compression le plus élevé car l'erreur de prédiction est encore plus faible que pour les images « P ». Ces images ne sont pas utilisées pour définir d'autres images : elles ne propagent donc pas les erreurs.

La norme de compression MPEG-2 est la norme actuelle de compression vidéo éprouvée pour le broadcast, et elle est conçue pour toutes les applications de distribution d'images et de sons par satellite, câble et voie terrestre.

Elle introduit le principe de profils et de niveaux (débits). Ce sont des techniques de codage et de compression dont résulte chaque fois un débit maximal. De toutes les combinaisons, MP@ML est le meilleur compromis et est devenue la norme de diffusion numérique pour la télévision avec un débit de 15 Mbits/s.

Cela dit, cette norme MPEG-2 est déjà ancienne et son évolution a donné naissance à un nouveau standard MPEG-4, dédié plus spécifiquement au bas débit, et qui va probablement révolutionner le monde de la vidéo.

### 3.5.1.2 La compression MPEG-4 [01104]

Là où le MPEG-2 se contente d'encoder des pixels, sans s'occuper de ce qu'ils représentent, le MPEG-4 s'intéresse au contenu, et introduit la notion d'**objets**. Chaque image de la vidéo est ainsi décomposée : un personnage, une voiture, un fond fixe, une voix, une musique... On parle d'objets médias, regroupés en grandes familles (les objets vidéos, les objets sons, etc.). Chacun peut bénéficier d'un traitement spécifique adapté à sa nature.

Un tel système permet un gain de place évident : imaginons un acteur sur un fond fixe. Codé une fois, le fond n'a plus besoin, ensuite, d'être traité. Pour décrire ces objets, le MPEG-4 a un langage : le BIFS (BInary Format for Scene) qui détaille leur taille, leur forme, etc., ainsi que leurs mouvements.

Mais le BIFS permet aussi de définir le comportement des objets en fonction de l'utilisateur ; en clair, d'introduire de **l'interactivité** dans la vidéo. Un clic sur un sportif à l'écran (défini comme l'objet vidéo sportif), et on obtient toutes ses statistiques.

Aussi le MPEG-4 prévoit aussi d'associer la notion de propriétés intellectuelles aux objets.

#### Description d'une scène BIFS [BUR99]

Le BIFS est un langage de description qui permet de composer hiérarchiquement une scène avec les composants qui la constituent aussi différents qu'ils soient. Il définit :

- Les objets composants la scène sous forme de nœuds d'un arbre
- La structure de la scène sous forme d'une hiérarchie
- Les comportements des objets
- L'interactivité avec ces objets

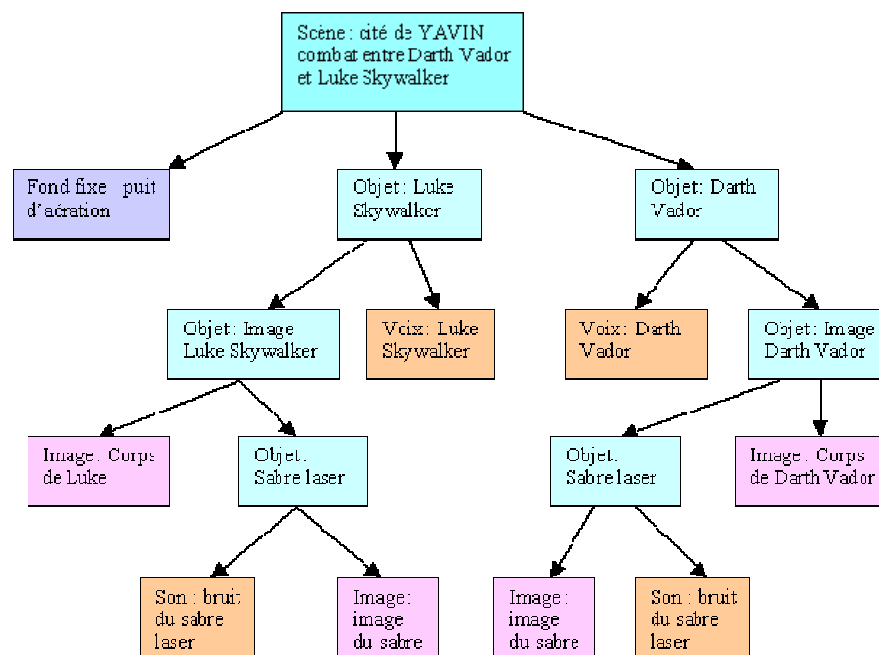


Figure 11 : Description d'une scène en hiérarchie BIFS [BUR99]

Le groupe MPEG s'est appuyé sur le langage de description VRML (Virtual Reality Modeling Language) pour créer le BIFS en lui ajoutant des particularités comme la gestion de



la 2D et des notions de timing. BIFS permet d'obtenir des cocktails d'objets originaux. On pourrait plaquer une texture comme une image en 2D sur une forme géométrique en 3D, ou même insérer un objet en 3D sur une image en 2D. Un objet dans une scène a un emplacement physique et un emplacement temporel (il est codé en 4D). Chaque objet possède son propre repère local (exemple : un repère où il est fixe et où il a les mêmes proportions). Ce repère permet de manipuler cet objet dans la scène par rapport au repère d'un objet parent.

**BIFS ne contient pas les objets mais juste la description de la scène et les propriétés des nœuds (donc des objets médias).** Les nœuds dans l'arbre de description d'une scène et les objets médias finaux (ceux situés sur les feuilles) contiennent des paramètres concernant l'aspect de l'objet. Cela permet de modifier son comportement de plusieurs façons possibles comme de modifier l'échelle d'une figure géométrique, le ton d'un son ou de diminuer la qualité d'un objet si un système de codage hiérarchique est utilisé.

### Les différentes phases du codage des objets de la vidéo

1. **Les éléments de la vidéo sont séparés en objets** : Sur l'exemple précédent, la scène vidéo (non compressée) représente un duel entre Luke Skywalker et Dark Vador sur un fond fixe s'agitant en musique. Ces quatre éléments (Luke Skywalker, Dark Vador, fond fixe, musique) sont séparés par l'encodeur MPEG-4, pour devenir des objets médias. Une des plus grandes erreurs est de penser que l'encodeur peut retrouver les objets comme par magie, séparant de lui-même, le fond des acteurs. Un tel algorithme n'existe pas encore, sauf dans le cas de quelques encodeurs temps réel réservés aux événements sportifs. Ce que l'on sait seulement faire aujourd'hui, c'est fournir séparément les objets à l'encodeur.
2. **Regroupement des 4 objets** : L'encodeur leur adjoint un fichier texte, écrit en langage BIFS. Y sont décrits, notamment, les objets, ainsi que leur comportement dans le temps et dans l'espace. Indispensable pour que le décodeur s'y retrouve. Ces quatre éléments sont ensuite encapsulés dans un même fichier, dont l'extension est MP4.
3. **Compression de l'objet musique** : Pour l'objet musique aussi, l'encodeur a un traitement spécifique. Il dispose de différents codecs, suivant le type de son (musique, voix de femme, voix d'homme, etc.). Le plus connu est l'Advanced Audio Coding (AAC), qui existait déjà en MPEG-2. Il se base sur les mécanismes de perception de l'oreille humaine : ce que l'oreille ne perçoit pas est exclu. Les améliorations du MPEG-4 concernent surtout la précision d'analyse dans ce domaine. De plus, grâce au langage BIFS, le son peut être positionné dans l'espace afin, par exemple, de gérer automatiquement l'obstruction d'un bruit par un mur.
4. **Compression de l'objet image** : L'objet image fond fixe ne subit pas le même traitement qu'un personnage. L'encodeur a, pour lui, une compression spécifique identique à celle utilisée dans le JPEG2000. Par rapport au JPEG, on estime le gain de place, pour la même qualité, à environ 25 %.
5. **L'objet vidéo est compressé** : L'objet vidéo Luke (une séquence vidéo de Luke seul, sans le fond) est traité par l'encodeur. Chacune est découpée et compressé suivant la compression intra image et temporelle comme vu précédemment, à la différence près que le MPEG-2 était limité à un seul vecteur, le MPEG-4 peut en définir jusqu'à 4 par macro bloc.

### Interactions avec la scène

Un des points forts du MPEG-4 est la possibilité d'interagir avec la scène, toujours en utilisant cette notion d'objet. Il sera possible à l'utilisateur final de :

- Modifier les paramètres d'un objet (forme, taille, netteté,...)
- Déplacer un objet dans la scène
- Déclencher un événement

BIFS s'inspirant largement de VRML, on y retrouvera des similitudes quant à la gestion des événements. L'action de l'utilisateur sur un objet ou les interactions inter objets font partie de ces spécificités. Deux types d'événements peuvent survenir, chacun entraînant un traitement différent :

- **Un événement client**, traité localement et qui n'a pas besoin du serveur pour modifier la scène. Un exemple typique d'événement local serait le déplacement d'un objet ou la modification d'un paramètre d'un objet (volume d'une piste sonore, taille d'un objet visuel, ...).
- **Un événement serveur**, qui a besoin d'être rapporté au serveur pour pouvoir être pris en compte. L'événement est capturé puis codé en local avant d'être envoyé sur le réseau à destination du serveur. Celui-ci interprète la requête et exécute l'action correspondante. Ce type d'action serait, par exemple, le déclenchement d'une vidéo dans une télé modélisée en 3D, quand on clique sur le bouton de cette télé.

### Compression du MPEG-4

Il hérite des techniques éprouvées du MPEG-2 en utilisant les mêmes phases de compression DCT et temporelles. Cela dit, le MPEG-4 peut se permettre un GOP plus important (il est virtuellement illimité avec ce standard), grâce à de nouveaux algorithmes qui évitent les erreurs dans les images incomplètes P et B.

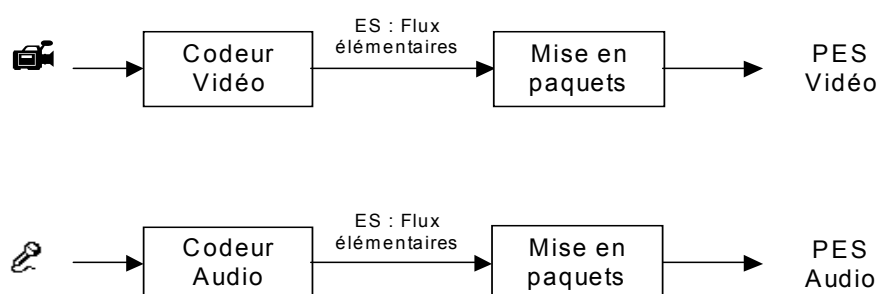
### Notion de propriétés intellectuelles

MPEG-4 traite le problème des droits de propriétés intellectuelles par insertions dans les objets d'un code d'identification (IPI) donnant des informations sur le contenu, le type du contenu et les droits attachés à l'objet en question. Les données contenues dans l'IPI et associées à chaque objet peuvent différer même pour des objets appartenant à une même image (par ex: droits libres sur le fond, mais restreint sur le personnage). L'insertion de l'IPI au moment du codage implique également l'insertion des mécanismes de protection équivalente aux droits sur l'image (protection contre les copies, facturation, ...).

#### 3.5.2 Multiplexage et embrouillage

##### Multiplexage des programmes

Les données audio et vidéo viennent de subir des opérations de réduction de débit. Il est nécessaire maintenant d'organiser ces données grâce à des codeurs audio et vidéo qui fournissent à leur sortie des trains élémentaires de données ES (ElementaryStream).



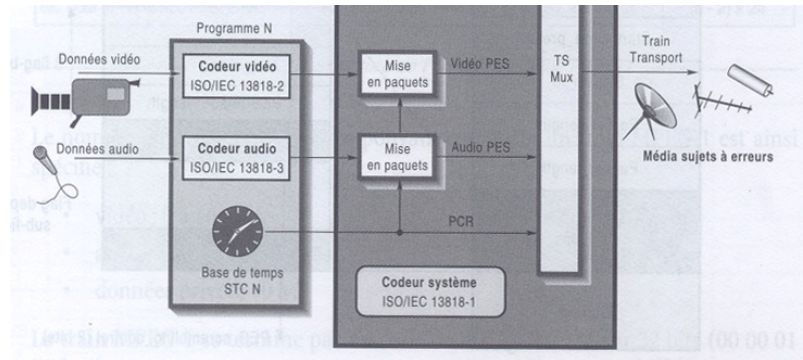


Figure 12 et 13 : Mise en paquets des données élémentaires en PES [BEN02] et al.

Chaque train élémentaire ES est divisé en paquets qui constituent ainsi un PES (Packetized Elementary Stream) comme le montre les figures ci-dessus. Les PES sont obtenus en découpant le flux ES en morceaux plus ou moins longs. Un en-tête est rajouté à chaque paquet PES pour l'identifier. Ces paquets restent de longueur importante et variable et ne sont pas du tout adaptés à la transmission.

En transmission, on travaille avec des paquets de format court, fixe et à débit constant. C'est pourquoi on réalise à partir des flux de données PES, un flux de transport TS (Transport Stream) composé de paquets de 188 octets (4 octets d'en-tête Packet header) et 184 octets de données utiles (Payload). Ces paquets TS sont obtenus en découpant les PES en petits morceaux de 184 octets (Payload) comme indiqué sur la figure ci dessous.

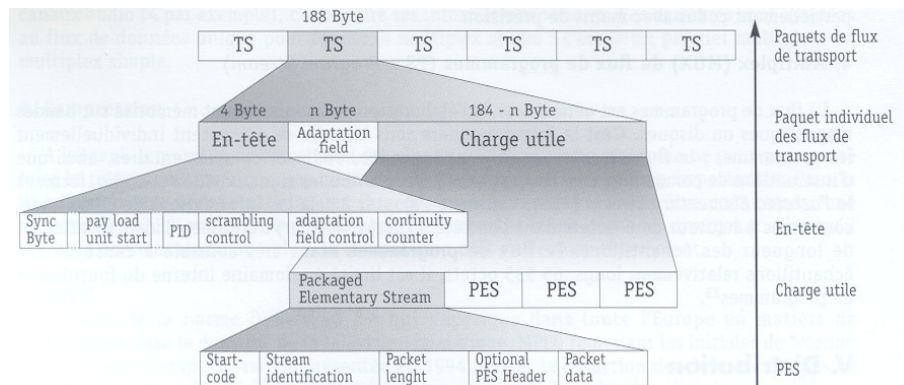


Figure 14 : Hiérarchie du flux Transport Stream [IRI01]

Les PES vidéo sont découpés en TS vidéo, les PES audio en TS audio. Les PES audio et vidéo d'un même programme sont multiplexés pour obtenir un STPS (Single Program Transport Stream). Les STPS de plusieurs programmes peuvent être ensuite multiplexés par un opérateur de multiplexage pour obtenir un MPTS (Multiple Program Transport Stream).

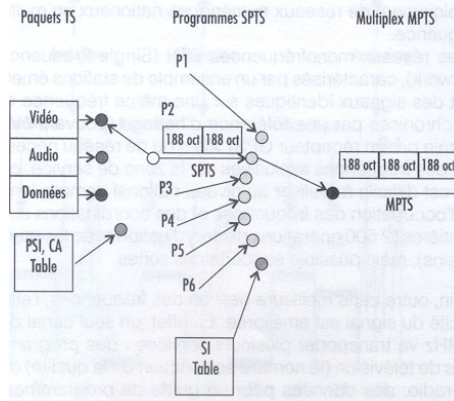


Figure 15 : Organisation du flux de transport TS, SPTS et MPTS [IRI01]

Le multiplexage permet la diffusion dans un même canal de plusieurs programmes de télévision (quatre à six) organisés en « multiplex de programmes ». Toutes les données numériques organisées en flux de transport STPS sont ensuite transmises à l'opérateur de multiplexage, avec un flux de service (SI) et une synchronisation temporelle :

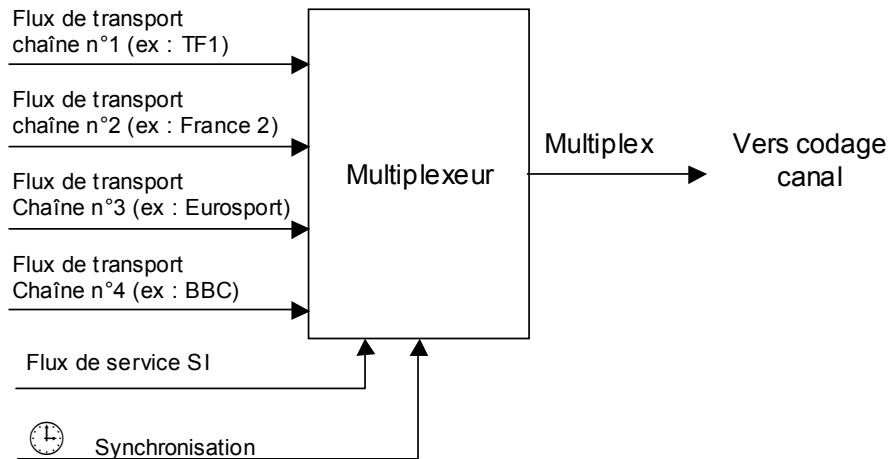


Figure 16 : Opérateur de multiplexage [GRI00]

### Embrouillage

Une partie des émissions numériques seront payantes et diffusées en compression MPEG-4. La norme DVB a donc défini un algorithme commun d'embrouillage CSA (Common Scrambling Algorithm) qui consiste à transformer un signal numérique en un signal numérique aléatoire en vue d'en faciliter la transmission ou de le rendre inintelligible.

L'embrouillage peut intervenir à deux niveaux :

- soit au niveau paquet élémentaire de données PES,
- soit au niveau paquet transport TS.

#### 3.5.3 Le codage de canal

Le codage de source vient d'être effectué et on dispose maintenant d'un flux de transport MPTS que l'on désire transmettre par voie radiofréquence vers les utilisateurs.

Le canal de transmission n'étant pas exempt d'erreurs qui viennent perturber le signal utile (bruit, interférences, échos...), il est nécessaire de prendre des mesures avant modulation pour permettre la détection et la correction dans le récepteur des erreurs apportées par le canal de transmission. Ces mesures, dont la principale consiste à apporter de la redondance au flux de multiplex, constituent l'essentiel du codage de canal.

Lorsque les conditions de transmission deviennent mauvaises, on constate une disparition totale du signal en numérique. C'est pourquoi, les données à transmettre MPTS sont séparées en deux modes :

##### 3.5.3.1 Le mode hiérarchique

#### Mode Simulcast (un seul programme)

Il offre la possibilité de transmettre le flux de transport MPTS multiplexé de deux façons :

- Soit en un flux de transport haute priorité HP (High Priority) qui protège efficacement contre les erreurs de transmission, avec un débit binaire assez bas,
- Soit en un flux de transport basse priorité LP (Low Priority) qui propose une faible protection contre les erreurs de transmission avec un débit binaire élevé, incluant les

modules en pointillé dans la partie codage de canal du schéma synoptique de la figure 6. La réception de ce dernier flux conduit à une meilleure qualité mais nécessite de meilleures conditions de réception pour un décodage sans erreur.

### Mode non Simulcast (multi-programmes)

Le flux basse priorité peut contenir un ou plusieurs programmes différents de ceux présents dans le flux haute priorité. Un récepteur portable pourra décoder les programmes transmis avec une forte protection tandis qu'un récepteur fixe pourra décoder le flux basse priorité permettant d'obtenir des programmes supplémentaires.

#### 3.5.3.2 Mode non hiérarchique

Ce mode nécessite uniquement le traitement représenté en traits pleins sur le schéma synoptique de la chaîne de diffusion figure 6. La séparation n'est plus nécessaire. Un flux peut véhiculer un programme ou plusieurs programmes. Tous les programmes, à l'intérieur d'un flux, sont protégés de façon identique.

#### 3.5.3.3 Dispersion d'énergie (brassage)

Le flux de transport d'entrée MPTS est organisé en paquets de longueur fixe de 188 octets. Le brassage sert à effectuer une dispersion d'énergie, c'est à dire une répartition uniforme de l'énergie dans le canal d'émission afin d'éviter les longues suites de 1 ou de 0, qui créeraient des parasites dans le spectre du signal et qui empêcheraient la récupération de l'horloge.

#### 3.5.3.4 Codage de Reed-Solomon (codage externe)

Afin de pouvoir corriger la majeure partie des erreurs introduites par le canal de transmission, on introduit une redondance dans le signal permettant de détecter et de corriger ces erreurs. Le code utilisé est un code de Reed-Solomon (aussi nommé RS) (188, 204,  $t=8$ ) qui permet, complété d'un procédé d'entrelacement, de corriger les erreurs en rafale (plusieurs octets consécutifs). Il s'applique à tous les paquets de transport TS brassés de 188 octets, y compris les octets de synchronisation.

Sync 1 ou Sync n (1 octet)	187 octets embrouillés	Redondance de 16 octets de contrôle
-------------------------------	------------------------	--

Figure 17 : Format des paquets transports protégés [BEN02]

Avec 188 octets en entrée, 204 octets en sortie, 8 octets peuvent être corrigés en sortie, au-delà le paquet sera considéré comme défectueux. Le codage Reed-Solomon est donc particulièrement bien adapté à la correction de petits paquets d'erreurs.

#### 3.5.3.5 Entrelacement externe

Cette étape est destinée à augmenter l'efficacité du codage de Reed-Solomon. Un code a une capacité de correction de paquets d'erreurs très inférieure à la capacité de correction d'erreurs isolées. Afin de rendre plus efficace la correction par le codage Reed-Solomon, on disperse les erreurs au moyen d'un entrelaceur. A la réception, l'ordre initial des échantillons est rétabli, ce qui a pour effet de diviser les paquets d'erreurs en erreurs isolées et de faciliter la correction. L'entrelacement n'augmente pas la capacité de correction mais seulement son efficacité.

#### 3.5.3.6 Codage convolutif (codage interne) et poinçonnage

Comme le canal de transmission hertzien est un canal fortement perturbé, un deuxième code correcteur d'erreurs nommé code convolutif va permettre de renforcer les mesures de protection des données à transmettre. L'idée du code convolutif est de lier un bit à un ou plusieurs bits précédents de sorte à pouvoir retrouver sa valeur en cas de problème.

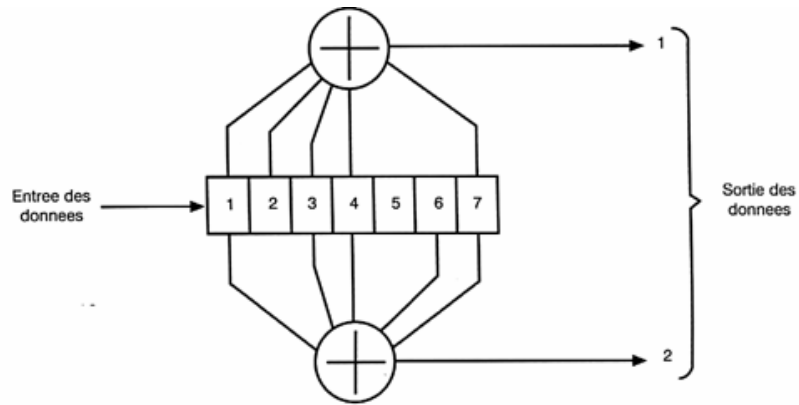


Figure 18 : Codage convolutif DVB [MPE05]

Sur la figure ci-dessus est indiqué le codeur utilisé par DVB-T. On voit que chaque bit incident va générer deux bits sortants et qu'il sera lié aux 6 bit précédents. Le bit 1 de sortie est un "OU exclusif" entre les bits 1, 2, 3, 4 et 7 tandis que le bit 2 de sortie est un "OU exclusif" des bits 1, 3, 4, 6 et 7.

La forte redondance introduite par ce code permet une correction d'erreurs efficace, mais elle double le débit initial. Afin d'en améliorer le rendement qui est de  $1/2$ , on va effectuer une opération de poinçonnage en ne transmettant pas tous les bits en sortie du codeur convolutif dans le but de réduire la redondance du code et le débit total.

### 3.5.3.7 Le poinçonnage

Le rendement du codeur vu ci-dessus est de  $1/2$ , 1 bit d'entrée, 2 bits de sortie. Le poinçonnage consiste à améliorer ce rendement en ne transmettant pas certains bits sortant du codeur convolutif. Si trois bits se présentent en entrée de codeur, on va en retrouver 6 en sortie mais on en transmettra que 4. Le rendement sera alors de  $3/4$ . On parle aussi de FEC  $3/4$  (FEC = Forward Error Correction).

Nombre de bit en entrée	Nombre de bit en sortie	Nombre de bit transmis	FEC
1	2	2	$1/2$
2	4	3	$2/3$
3	6	4	$3/4$
5	10	6	$5/6$
7	14	8	$7/8$

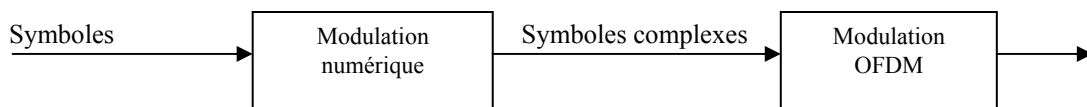
Tableau 1 : Simulation de poinçonnage FEC

A la réception, le décodeur insère des zéros pour reconstituer les données détruites en respectant la même règle de poinçonnage. Un décodeur de Viterbi sera chargé de retrouver les données initiales.

### 3.5.3.8 Entrelacement interne

Dans le pire des cas, les informations transmises par des porteuses tombant dans des trous du canal ne sont pas reçues. On constate que les porteuses suffisamment éloignées en fréquence ne sont pas affectées de la même façon. L'idée est de répartir les informations successives sur des porteuses éloignées les une des autres dans le souci d'éviter les longues suites d'erreur.

### 3.5.4 Adaptation au canal de diffusion terrestre



Nous avons à la sortie du codage de canal une suite de symboles qui vont être appliqués à une constellation, qui va nous permettre de convertir du binaire sous une forme d'amplitude/phase et les moduler sur une onde porteuse.

#### 3.5.4.1 La modulation numérique

La norme DVB-T utilise une modulation COFDM (voir plus loin) qui utilise principalement le QPSK (Quaternary Phase Shift Keying, 2 bits par symboles) ou la Modulation d'Amplitude en Quadrature (MAQ ou QAM) en mode MAQ 16 ou 64 (4 bits ou 6 bits par symbole).

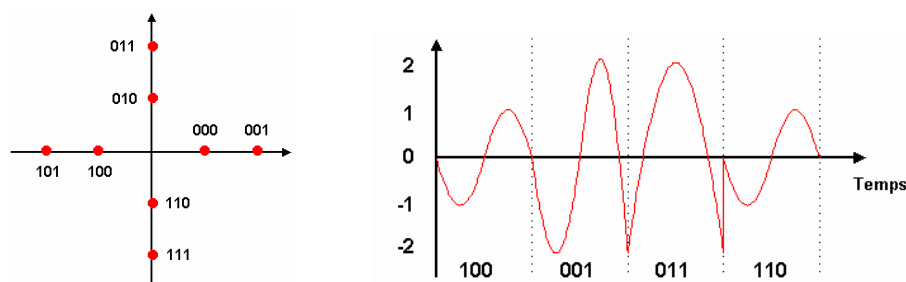


Figure 19 : Exemple sur 3 bits d'une modulation QAM.

Dans une constellation QAM, l'éloignement du point par rapport à l'origine indique l'amplitude, son angle indique le décalage de phase.

Lorsqu'on module les porteuses COFDM, on utilise une modulation hiérarchique ou non hiérarchique. La modulation hiérarchique nécessite deux étapes :

1. Choix tout d'abord du quadrant de phase sur la base de 2 bits d'un train de données QPSK en priorité élevé HP (High Priority),
2. Formation de la constellation phase/amplitude complémentaire à l'intérieur du quadrant sélectionné en fonction des 2 ou 4 bits restants (16-QAM ou 64-QAM) d'un autre train de données en priorité faible LP (Low Priority).

Ce type de modulation permet d'incorporer la QPSK dans le diagramme de la constellation d'un système 16-QAM ou 64-QAM. La transmission distincte des deux trains de données HP prioritaire et LP non prioritaire, qui ont chacun leur propre protection contre les erreurs, se traduit par le fait que la transmission de la QPSK incorporée dans une modulation 16-QAM ou 64-QAM est moins sensible au brouillage que la 16-QAM ou 64-QAM non hiérarchique.

La modulation non uniforme ( $\alpha > 1$ ) permet d'améliorer le décodage du train de données HP en éloignant les points de la constellation des axes de coordonnées. Le flux HP est associé à un débit utile transmis faible mais mieux protégé contre les erreurs (plutôt pour les récepteurs portables voire mobiles) alors que le flux LP est lui destiné à des récepteurs fixes.

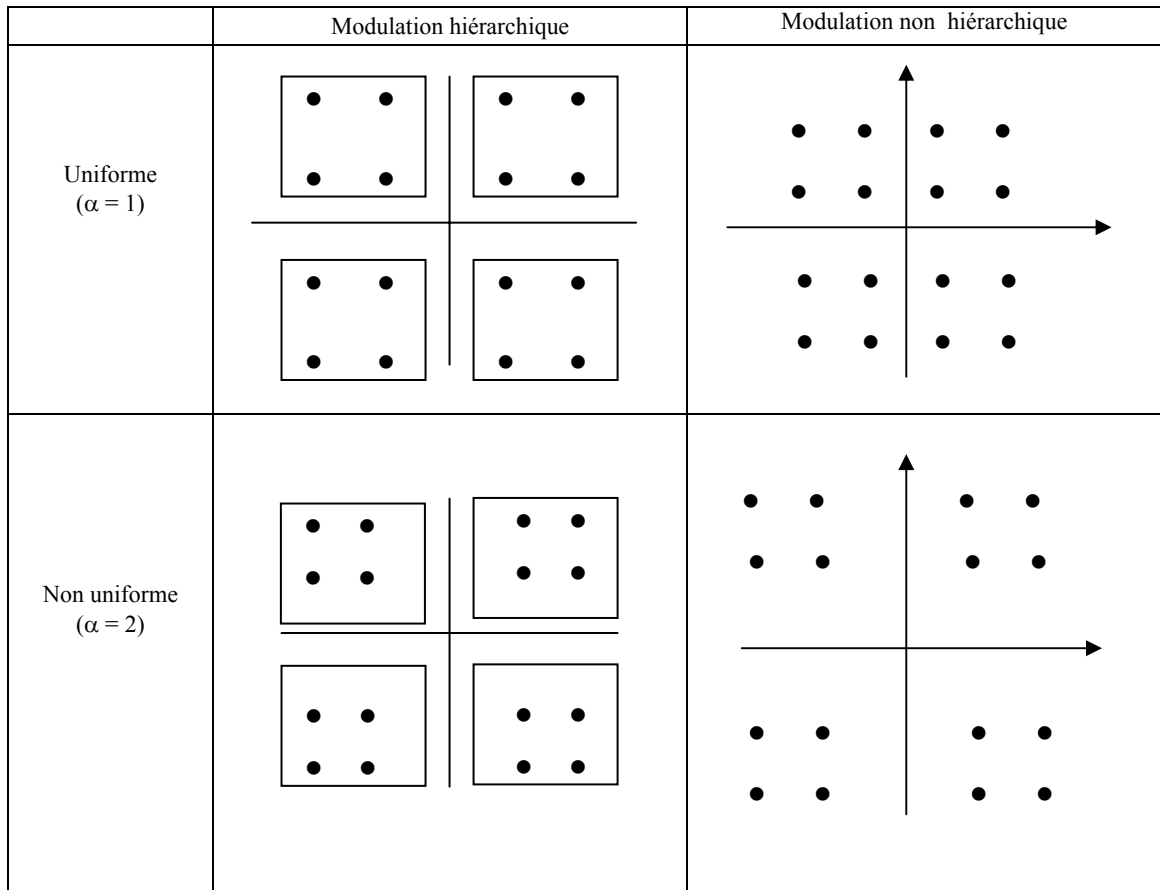


Figure 20 : Constellations pour une modulation QAM 16

Attention : plus le nombre de points est important, moins il est facile de les distinguer. C'est pour cela qu'en DVB-T on ne dépasse pas la modulation sur 6 bits (QAM 64).

### 3.5.4.2 Caractéristiques du canal terrestre

Le signal reçu en onde Hertzienne est rarement unique et de bonne qualité. Il subit des réflexions à partir d'obstacle et prend des trajets différents. Tous ces phénomènes physiques entraînent des échos et des évanouissements du signal, ce qui provoque une réception du signal principal ainsi qu'une multitude de signaux atténués et retardés. De plus, en réception mobile, les échos évoluent, et les ondes changent de fréquence en permanence à cause de l'effet *Doppler*.

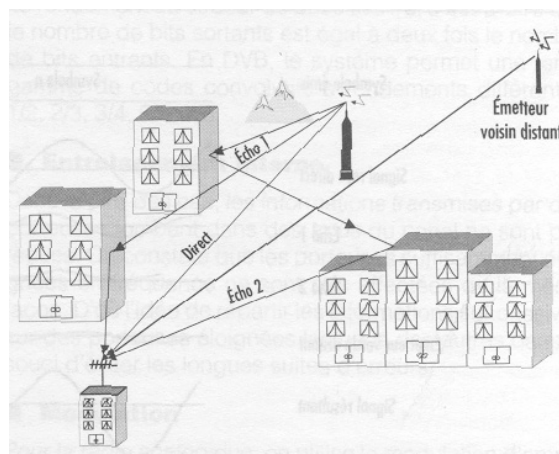


Figure 21 : Signal direct et écho des ondes hertziennes [INA01]



Pour remédier à cela, l'idée est de répartir l'information sur une multitude de porteuses, créant ainsi des sous-canaux très étroits plus fiables. C'est grâce à cette modulation COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Modulation) que l'on va compenser et *profiter* des interférences. On va pouvoir alors s'affranchir des évanouissements dus aux échos, en répartissant l'information sur un grand nombre de porteuses orthogonales modulées à bas débit.

### 3.5.4.3 Modulation COFDM [GRI00]

C'est une des spécificités de la TNT : cette dénomination (COFDM) se justifie par le fait que l'on assure la transmission à l'aide d'un multiplex fréquentiel de sous porteuses orthogonales entre elles séparées par un intervalle de garde.

#### Principe

Le principe de la modulation COFDM consiste à répartir aléatoirement des symboles de durée  $T_s$  (temps symbole utile) sur différentes porteuses modulées en QPSK ou QAM (selon le compromis robustesse / débit). Il existe deux modes de transmissions :

- mode 2K : 1705 porteuses
- mode 8K : 6817 porteuses.

Chacune de ces porteuses est modulée individuellement à bas débit pour que la durée utile  $T_s$  d'un symbole soit grande devant l'étalement des échos et limiter ainsi l'interférence intersymbole (entre deux symboles) à un faible intervalle de temps que l'on appelle intervalle de garde.

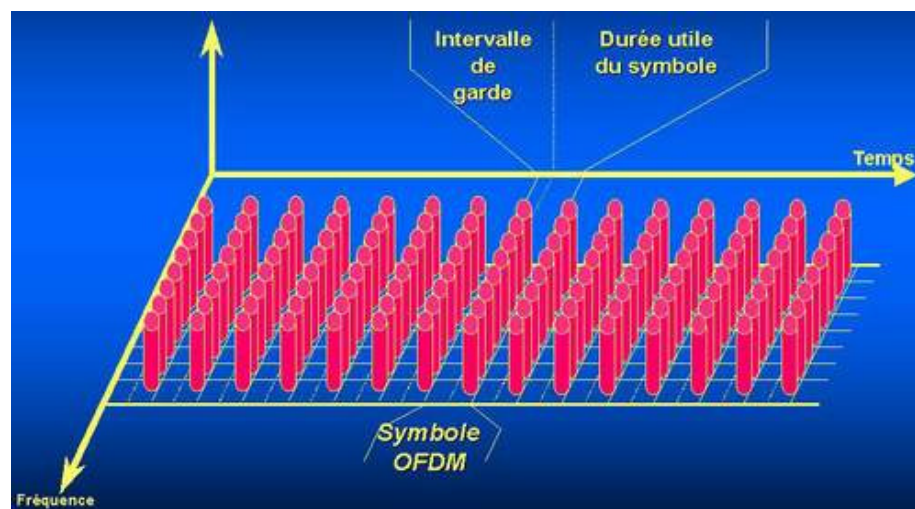


Figure 22 : Symbole OFDM avec l'intervalle de garde [MPE05]

#### Codage et entrelacement

Il peut arriver que l'introduction de cet intervalle de garde apporte des interférences entre les symboles. C'est le « C » de la technique COFDM qui permet de s'en affranchir. Le codage produit une redondance pour détecter et corriger les erreurs permettant au récepteur de reconstituer les informations perdues lors de la transmission, grâce à la corrélation qui les lie aux informations correctement reçues. Grâce à l'entrelacement, les informations les plus solidaires entre elles sont soumises à des événements indépendants.

#### Avantages de la modulation COFDM

- Utilisation optimale de la bande de fréquence allouée par l'orthogonalité des porteuses
- Permet de s'affranchir des échos grâce à l'intervalle de garde et donc de l'interférence inter-symbole : constitution de SFN.
- Le signal COFDM assure la répartition de l'information sur un grand nombre de porteuses, limitant la perte de données en cas de fading (évanouissement du signal).

- Récupération de l'information perdue grâce au codage convolutif et à l'entrelacement permettant de réduire de façon importante le taux d'erreur.

Paramètres possibles dans le système DVB-T :

- rendement du code convolutif ( $1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$ )
- modulation des porteuses OFDM : QPSK : 2 bits par porteuse, 16-QAM : 4 bits par porteuse, 64-QAM : 6 bits par porteuse
- paramètre de modulation  $\alpha$  ( $\alpha = 1$  : uniforme,  $\alpha > 1$  : non uniforme)
- longueur de l'intervalle de garde ( $1/4, 1/8, 1/16, 1/32$ )
- nombre de porteuses utilisées : 2K ou 8K

**Conclusion**

La norme DVB-T offre une grande souplesse de configuration, convenant ainsi à diverses utilisations avec :

- Ses 2 modes à 1705 ou 6817 porteuses
- Des intervalles de garde compris entre 7 et 224 ms
- Différents rendements de codes correcteurs d'erreurs,
- Mode hiérarchique ou non

Elle constitue un bon compromis entre robustesse et capacité (de 5 à 32 Mbits/s de débit).

## 3.6 La réception de la TNT

### 3.6.1 Les modes de réception

Il existe actuellement 3 modes possibles [MAZ05] :

#### 3.6.1.1 Réception fixe

- Elle fonctionne simplement à l'aide d'une antenne de toit conventionnelle,
- Elle ne nécessite aucune intervention requise sur l'antenne dans 75% des cas,
- Seule l'acquisition d'un adaptateur est nécessaire.

#### 3.6.1.2 Réception portable

- C'est la possibilité de recevoir les programmes numériques par une antenne intérieure posée sur le téléviseur voir intégrée à ce dernier,
- Elle permet de s'affranchir du câblage (exemple : TV secondaire),
- Elle doit toucher 40% de la population à terme,
- Elle est facilitée par la présence d'émetteurs en périphérie (Paris, Lyon, Toulouse).

#### 3.6.1.3 Réception mobile

- C'est la possibilité de recevoir les programmes en se déplaçant (ex: en voiture),
- Elle est difficile avec la TNT française qui favorise le nombre de programmes,
- Elle a été expérimentée sur Paris à l'aide d'équipements spécifiques et de systèmes d'antennes multiples (diversité).

#### 3.6.1.4 Comparatif des 3 modes de réception

En ce qui concerne le type de réception, la planification des fréquences privilégie la réception fixe pour les raisons suivantes : [GRI00]

Type de réception	Puissance d'émission	Débit (Mbits/s)	Nombre de programmes
TV analogique	P	-	1
TNT fixe	P/20	24	6
TNT fixe	P/135	10,5	2 à 3
TNT portable	10 P	24	6
TNT portable	1,5 P	12	3
TNT mobile	3 P	10,5	2 à 3

Tableau 3 : Comparaison réception fixe – portable – mobile [GRI00]

- Pour obtenir les mêmes spécificités en réception portable qu'en fixe (c'est à dire le même débit avec le même nombre de programmes), il est nécessaire de multiplier la puissance d'émission du service analogique par dix, ce qui n'est pas envisageable compte tenu des brouillages qui apparaîtraient.
- D'autre part, en ne proposant que deux à trois programmes avec un débit de 10,5 Mbits/s en réception mobile, la puissance du service analogique est multipliée par trois. On ne peut donc pas obtenir en réception mobile les mêmes spécificités qu'en réception fixe et portable.

### 3.6.2 Les matériels pour recevoir la TNT par voie hertzienne

#### 3.6.2.1 Principe de fonctionnement [GRI00]

Comme à l'émission, le récepteur procède aux opérations inverses pour reconstruire le signal vidéo et audio : le démodulateur reconstruit le signal, le démultiplexeur extrait du flux de données en entrée les informations correspondant au programme de télévision choisi par le téléspectateur et les répartit entre les décodeurs audio et vidéo. Les données additionnelles (vidéotext...) sont traitées par des décodeurs prévus à cette intention. Dans le cas de programmes cryptés, le dispositif d'autorisation d'accès est activé. En l'absence d'autorisation, les décodeurs sont inhibés. Les données décodées et décompressées sont ensuite « analogisées » et transmises respectivement au tube et haut-parleurs du téléviseur. De plus récents modèles sont équipés d'une voie montante, intégrant un moteur d'interactivité et un modem permettant de se connecter à une ligne téléphonique.

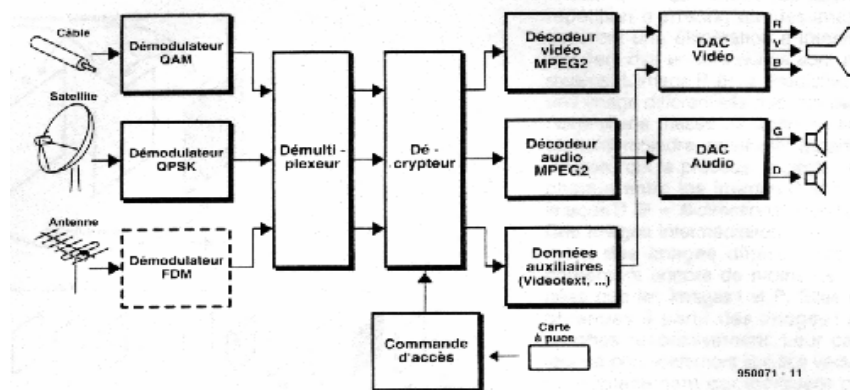


Figure 23 : Principe d'un récepteur numérique TNT [GRI00]

Il existe actuellement sur le marché 4 familles de matériel capable de recevoir la TNT :

#### 3.6.2.2 Les adaptateurs numériques pour TV analogique [GRI00]

Ils permettent la réception de programmes numériques tout en conservant son ancien téléviseur analogique. Ces décodeurs seront surtout utiles en début et fin de période de numérisation du spectre hertzien. En début, pour les consommateurs qui possèdent un téléviseur analogique depuis peu et qui tout en ne souhaitant pas acquérir un nouveau poste, sont désireux d'accéder aux programmes diffusés en numérique. En fin de période, un décodeur faible prix, permettra de parfaire le basculement de l'analogique vers le numérique, donc d'arrêter l'analogique.

On distingue trois types de « Set Top Box » : les adaptateurs à simple tuner (entrée de gamme), ceux à double tuner qui permettent une réception simultanée de deux programmes différents, et les boîtiers haut de gamme dotés de disque dur faisant office de magnéto numérique.

Ces adaptateurs ne viendront pas se positionner en opposition aux téléviseurs numériques, mais en complément de ces derniers. En effet, un décodeur interdit la portabilité représentant l'un des avantages majeurs des récepteurs numériques intégrés.

Fourchette de prix indicatif : 70 à 400 €.

#### 3.6.2.3 Les adaptateurs pour PC

Ce sont des cartes additionnelles en connexion PCI ou USB qui permettent de recevoir la TNT sur un ordinateur personnel. Elles offrent bien souvent les mêmes fonctionnalités de double tuner et magnéto numérique que les adaptateurs précédents. Fourchette de prix indicatif : 100 à 200 €.

### 3.6.2.4 Les récepteurs de télévision avec décodeur numérique intégré

Des récepteurs TV avec décodeur numérique intégré sont déjà disponibles sur le marché. Certains récepteurs sont bi-standard et permettent de recevoir les programmes analogiques et numériques. Ce type de récepteur permet une transition de l'analogique vers le numérique en douceur, surtout sur les zones non desservies par la diffusion numérique. Avec un poste bi-standard, le spectateur perd le bénéfice de la portabilité car en raison de l'analogique, il devient impossible de s'affranchir de l'antenne.

Fourchette de prix : 800 à 900€.

Les fonctionnalités techniques	En analogique	En numérique
Écran	Identique	Identique
Tuner	~Identique	~Identique
Démodulateur / Décompresseur MPEG	PAL/SECAM	DVB-T et décompresseur MPEG-2 / MPEG-4
Traitement du son	Analogique et/ou NICAM	Numérique (MPEG-2, MPEG-4, Dolby, etc.)
Logiciel de fonctionnement (et matériels associés)	Spécifique analogique (zapping, télétexte, NexTVView, sous-titrage...)	Spécifique numérique (zapping, gestion DVB SI, multi-son, multi-sous-titrage...)
Interactivité	Non	DVB

Tableau 2 : Comparatif technique d'un récepteur analogique/numérique

### 3.6.2.5 Les boîtiers « triple play » compatibles avec la réception hertzienne TNT

A ce jour, Neuf Télécom, fournisseur de services haut débit, est le seul à proposer un équipement déjà compatible avec la TNT. Son décodeur Neuf TV intègre un démodulateur TNT permettant de capter les 14 chaînes du nouveau service. [NEU05]

Free pourrait lancer un système permettant d'accéder à la télévision numérique terrestre via la Freebox. Un module se connectant à la Freebox v4 sur le nouveau port USB de cette dernière permettrait de décoder les chaînes numériques. [FRE05]

Le gouvernement incite les fournisseurs d'accès à développer ce type d'offres, car elles sont moins onéreuses que l'achat d'un boîtier décodeur dans le commerce.

## 4 Déploiement de la TNT en France

### 4.1 Introduction

Un lancement réussi de la TNT est conditionné par la réalisation de réaménagements d'un réseau de fréquences analogiques historiquement prévu pour 3 chaînes depuis 1960. Il est clair que la télévision hertzienne reste le vecteur privilégié de diffusion puisqu'elle représente encore le moyen principal de réception pour 80 % de la population française. Le passage du mode analogique au mode numérique permettra d'élargir l'offre de programmes proposée aux téléspectateurs, de libérer à terme des fréquences pour d'autres usages et redynamiser l'industrie audiovisuelle française.

### 4.2 Occupation du spectre : un passage au numérique obligé

Le spectre est une denrée rare et convoitée, l'utilisation de l'espace spectral aujourd'hui n'est pas du tout optimisée :

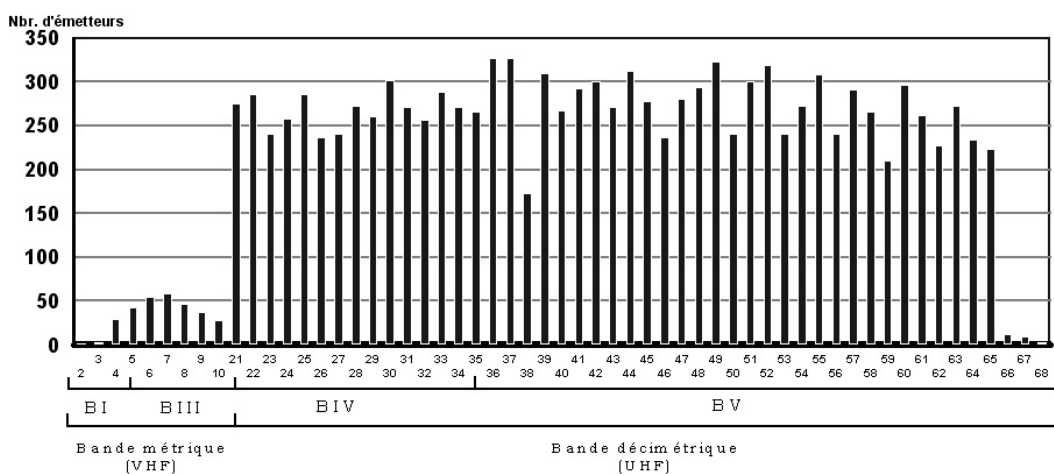


Figure 24 : Une bande analogique saturée [INA01]

Chaîne	nombre d'émetteurs VHF	nombre d'émetteurs UHF	Pourcentage de population desservie	nombre de récepteurs (total)
TF 1	0	3407	99 %	28,3 millions
FR 2	0	3560	99 %	
FR 3	0	3600	99 %	
Canal Plus	208	31	85 %	
ARTE et La Cinquième	0	970	84 %	
M 6	0	1253	84 %	

Tableau 3 : Inventaire des émetteurs/récepteurs déployés (chiffre de 2000) [VIG05]

Sur la figure ci-dessus on constate un nombre important d'émetteurs répartis sur la bande UHF, soit à peu près 11 000, chiffre vérifié sur le tableau ci-dessus.

Ce nombre important d'émetteurs et réémetteurs s'explique pour les raisons suivantes :

- Les émetteurs de fortes puissances sont installés sur des points élevés et dégagés de façon à augmenter leur portée. Par conséquent, de nombreux réémetteurs ont été installés pour desservir des « zones d'ombres » en pays accidenté.
- Lorsqu'un émetteur canal N est utilisé, il n'est pas possible de réutiliser sur le même site les canaux adjacents N-1 et N+1, les canaux de l'oscillateur local N+4 et N-4 ainsi que le canal conjugué N-9. Ces canaux sont appelés « canaux interdits » ou « tabous ». Il en résulte une ressource des canaux de la bande IV et V totalement saturée ainsi qu'une très faible efficacité spectrale puisque seulement 5 programmes sont diffusés sur ces deux bandes !

La numérisation du support hertzien va permettre :

- Une meilleure gestion des fréquences, et la récupération à terme d'un spectre important pouvant servir au développement de nouveaux services grâce à la suppression de la diffusion hertzienne terrestre analogique,
- Un accroissement du nombre de programmes transmis par voie hertzienne,
- D'améliorer la qualité et la réception sur des terminaux portables,
- De renouveler le parc des téléviseurs et donc générer une activité économique majeure.

### 4.3 Planification des fréquences

L'utilisation des fréquences en France doit respecter les dispositions adoptées par la conférence européenne de radiodiffusion en ondes métriques (VHF) et décimétriques (UHF) appelées Plan Stockholm 1961 et accords de Chester 1997. Ces dispositions prévoient que toute adjonction d'un nouvel émetteur ou toute modification d'une assignation existante doit faire l'objet d'un accord avec le ou les pays frontaliers par rapport à l'émetteur considéré, en deçà d'une distance appelée distance de coordination qui dépend des caractéristiques de l'émetteur (puissance, hauteur équivalente, altitude, hauteur d'antenne) et de la nature du trajet qui le sépare de la frontière considérée (terre, mer, trajet mixte).

L'accord de Stockholm (1961) s'applique aux règles de coordination et aux plans de fréquences pour la télévision analogique. L'accord de Chester (1997) s'applique aux règles de coordination et aux plans de fréquences pour la télévision numérique.

Par conséquent, toute la planification des fréquences effectuée dans le cadre du déploiement de la télévision numérique est soumise aux règles des accords de Chester 1997 vis à vis des administrations étrangères concernées. Cela signifie qu'il est nécessaire d'avoir obtenu l'accord d'une ou plusieurs administrations étrangères vis à vis d'un émetteur considéré avant de pouvoir le mettre en service. [GRI00]

#### 4.3.1 Modèles de planification

La technologie numérique autorise 2 structures de réseaux différentes :

##### 4.3.1.1 Le réseau multifréquence, Multi Frequency Network ou MFN

Ce réseau consiste à utiliser pour 2 sites de diffusion voisins, des fréquences différentes. Ce mode est utilisé aujourd'hui pour la TV analogique. Ce modèle a été retenu car :

- Il est plus rapide à mettre en place car il reprend le schéma de déploiement des chaînes de télévision analogiques,
- Il n'impose pas la modification des orientations des antennes de réception,
- Il exploite la ressource des canaux tabous,

Seul défaut :

- Il est très gourmand en fréquence.

##### 4.3.1.2 Le réseau monofréquence, Single Frequency Network ou SFN

Rendu possible grâce à la technique COFDM (voir plus haut), son principe consiste à diffuser le même multiplex de programmes sur une fréquence exclusive, de manière nationale ou régionale. Un récepteur reçoit un signal principal correspondant à l'émetteur le plus proche ou le plus puissant avec une combinaison d'échos actifs. Ce type de réseau présente l'avantage de :

- Faire une économie drastique sur le nombre de fréquences utilisées,
- Favoriser le développement des récepteurs portables en permettant d'augmenter la densité des émetteurs

En revanche :

- Il est nécessaire de diminuer les débits,
- Il est actuellement inapplicable dans les zones frontalières à cause de sa fréquence unique,

- Très coûteux car il multiplie le nombre des émetteurs.

Conclusion : Le choix s'est porté majoritairement sur le modèle MFN car, malgré l'économie spectrale qui pourrait être réalisées par un réseau SFN, la planification en réseau MFN est mieux adaptée en France métropolitaine. La contrainte sur la disponibilité actuelle des fréquences n'autorise pas la généralisation de réseaux SFN, sauf localement dans certaines zones (à Paris par exemple). [GRI00]

#### **4.3.2 Paramètres techniques de la planification des fréquences**

Parmi tous les paramètres pouvant être choisis dans le système DVB-T, les paramètres suivants ont été retenus pour la planification des fréquences :

- Rendement du code convolutif : 2/3,
- Modulation des porteuses OFDM : 64-QAM,
- Longueur de l'intervalle de garde :  $T_s/32$  ou autres selon contraintes de planification,
- Nombre de porteuses utilisées : 8k,
- Débit net d'information prévu : 24 Mbits/s.

#### **4.3.3 Réaménagement des fréquences**

Depuis le démarrage de la TNT, environ 400 réaménagements de fréquences auront été effectués d'ici septembre 2005 pour les 32 premiers sites de diffusion numérique, avec 17 sites lors de la première vague le 31 mars 2005. Le CSA prévoit, à terme, environ 1500 réaménagements de fréquences, pour les 110 zones. [TDF05]

Les réaménagements sont orchestrés par :

- le CSA, responsable de la planification des fréquences audiovisuelles,
- le GIE Fréquence, maître d'œuvre pour les chaînes analogiques,
- et l'ANFR, gestionnaire du fond de réaménagement du spectre.

[TDF05]

Les listes des fréquences concernant les 2 phases de déploiement sont détaillées en annexe 4.1. La montée en charge du déploiement sera progressive et pourrait prendre l'ordre de 3 ans. Des sites complémentaires pourront être demandés par les éditeurs et les opérateurs de multiplex afin de combler des zones d'ombre, voire de favoriser la portabilité. Les émissions en analogique conjointement à celles du numérique (le simulcast) continueront pendant au moins 10 ans, le temps de que tous les équipements migrent majoritairement vers le numérique. [TDF05].

Il faut noter que pour la diffusion numérique, le signal d'émission est plus faible que pour l'analogique, ce qui facilite l'insertion des nouveaux canaux numériques parmi ceux qui étaient inutilisés.

#### **4.3.4 Couverture du territoire**

L'objectif est de couvrir 35, 50 puis 85 % de la population Française en 2007. Il est certain que la TNT ne permettra pas techniquement de couvrir totalement le territoire, même à long terme. Il subsistera probablement des zones d'ombres qui ne pourront pas être couvertes.

Les cartes correspondant aux étapes clés sont publiées en annexe 4.2. Elles montrent bien que les foyers de démarrage sont localisés sur les sites historiques de test et sur les zones denses en population (Ile de France, Lyon). Nous remarquons aussi que les zones de couvertures sont clairement situées vers l'intérieur du pays à l'ouest et au sud : cela s'explique par le fait que les zones frontalières représentent un point très sensible et sont un véritable problème pour les réaménagements des fréquences.



### **4.3.5 Problème des zones frontalières**

D'ici 2007 selon le calendrier prévu, 85% des Français seront éligibles à ce nouveau canal de diffusion, mais la « Télévision Numérique Terrestre » ne serait donc elle pas la « Télévision Numérique pour Tous » ? 15 % des résidents principalement en zone montagneuse ou proche des frontières, comme l'Alsace-Lorraine et le Nord, devront utiliser l'antenne satellite, ou éventuellement l'ADSL ou le câble en zone urbaine pour recevoir les programmes gratuits de la TNT. Pourquoi cette injustice ?

#### **4.3.5.1 Les causes**

Le problème des frontières est lié à aux contrôles des émissions vers les pays voisins sous peine d'interférences. Force est donc, très schématiquement, de placer des émetteurs le long des frontières et de diriger les rayonnements exclusivement à l'intérieur du pays. Pour cela, le réseau actuel de TDF est effectivement mal adapté puisqu'il n'y a que très peu de points hauts sur les frontières. Le choix de maintenir la diffusion analogique et de conserver le réseau existant fonctionnant en multifréquence (MFN) réduit fortement les possibilités pour résoudre ce problème. En effet, la multiplication des fréquences rend difficile l'implantation de nouveaux et puissants émetteurs de télévision omnidirectionnels, capables de desservir un ou plusieurs départements, comme on le rencontre actuellement en analogique. Les travaux de coordination avec les diffuseurs voisins étrangers seront donc nécessaires pour éviter les perturbations, et cette contrainte ralentit et pénalise le déploiement de la TNT dans ces zones frontalières. [WIK01]

#### **4.3.5.2 La sonnette d'alarme du CSA**

En attendant, ces 15 % de la population laissés sur le bord de l'autoroute de la TNT, ne sont pas satisfaits et s'interrogent sur le calendrier retenu pour le déploiement organisé par le CSA. D'ailleurs, pour l'organisme de régulation, ce chiffre de 85% pour 2007 est insuffisant. Le 23 mars 2005, il a donc écrit au Premier ministre pour déclencher une prise de conscience et trouver une solution. [CSA02]

Le sort des 15 % d'habitants des zones blanches « *appelle une action des pouvoirs publics* » car il s'agit de « *personnes qui vivent dans des zones de montagne ou frontalières et auxquelles on ne peut garantir qu'elles recevront l'ensemble des chaînes de la TNT au cours des prochaines années* ». Le CSA « *propose la création d'un groupe de travail qui associerait des représentants du CSA et de la Direction du développement des médias* » et à qui il reviendrait de présenter des propositions techniques, juridiques et économiques sur ce problème de couverture généralisée. Sur la chaîne Public Sénat, le Premier ministre a dit jeudi 30 mars 2005 que l'objectif du gouvernement était que "100% des Français" aient "accès à la télévision numérique terrestre" à la "fin de l'année 2007".

#### **4.3.5.3 Solutions proposées**

Pour répondre au problème, le CSA propose de combiner « *différents moyens : ouverture de nouveaux sites en TNT, augmentation de la puissance des émetteurs planifiés, recherche d'une meilleure complémentarité entre les différents supports de diffusion ou de distribution et, notamment, avec le câble, le satellite et les réseaux "haut débit"* ».

Les solutions adoptées par nos voisins Européens sont plutôt aujourd'hui orientées vers la libération de fréquences analogiques : [CSA03]

#### **Solution adoptée par l'Allemagne et la Suisse : Arrêt total de la diffusion analogique**

L'Allemagne déploie par zones la TNT (pour l'instant loin de nos frontières) en stoppant l'analogique et en réutilisant les mêmes canaux, ce qui n'est pas l'option choisie en France. Quant à la Suisse, elle n'a pas encore démarré et a arrêté certaines diffusions analogiques, ce qui a libéré de ce fait 2 multiplex.

**Solution adoptée par l'Espagne et l'Italie : Exploitation des canaux inutilisés**

L'Espagne a démarré la TNT sur des canaux inutilisés en analogique (66 à 69) qui, en France sont attribués aux fréquences militaires. Quant à l'Italie, ils ont une multitude de canaux analogiques plus ou moins légaux qui sont reconvertis au numérique.

**Début de solutions en France**

Les zones d'ombres sont bien souvent dans les zones non urbaines et donc ne sont pas forcément éligibles par les réseaux hauts débits ou par le câble. En effet, entre le câble l'ADSL et le satellite, ce dernier est peut être le mieux placé pour répondre à ce besoin car le câble et l'ADSL ne sont réellement performants que dans les zones urbaines. La diffusion par voie satellitaire semble alors l'hypothèse la plus probable. D'après TDF, les 14 chaînes gratuites de la TNT sont diffusées en numérique et en clair sur les satellites ASTRA (19,2 ° E) et HOTBIRD (13 ° E) depuis fin Mars 2005. [TDF01]

Une autre piste serait d'utiliser la diffusion numérique terrestre mais sur d'autres fréquences qui serait libérées : une proposition serait de reconvertir en priorité le réseau VHF de Canal+ à la TNT pour réémettre les 6 chaînes existantes, afin de rapidement récupérer des canaux pour y mettre de nouveaux programmes. On pourrait aussi, comme en Espagne, décider d'exploiter les canaux 66 à 69 réservés aux militaires pour y mettre 4 multiplex TNT en mode mono fréquence SFN. Avec la libre concurrence des diffuseurs, les nouveaux compétiteurs de TDF comme Towercast auront peut être les moyens de se faire entendre. [ELE05]

## 4.4 Aspects juridiques de la Télévision Numérique Terrestre

### 4.4.1 La télévision en France

Il y a actuellement 23 millions de foyers équipés de téléviseurs dont la réception se répartit ainsi :

- Télévision analogique : 64 %
- Satellite : 20%
- Câble : 16%

Concernant la répartition des audiences, il y a 6 services nationaux analogiques qui représentent 89% de l'audience avec 5 chaînes gratuites et 1 payante. Le reste de l'offre comprend environ 100 chaînes sur les autres réseaux avec 11% de l'audience. [VAC05] La loi du 1er août 2000 a fixé le régime juridique applicable à la télévision numérique de terre.

### 4.4.2 Les acteurs de la diffusion numérique

Le CSA est le grand chef d'orchestre de la TNT. Il est chargé de :

- La planification des fréquences de la TNT
- La sélection des services privés
- La composition des multiplex

Le CSA possède le rôle d'autorité de régulation sur le contenu diffusé et sur le support par le biais des dispositifs d'assignation des ressources hertziennes. Ce rôle a été critiqué, notamment pour la constitution de bouquets de chaînes payantes.

Son but principal est d'organiser et de réguler les différents acteurs de la TNT :

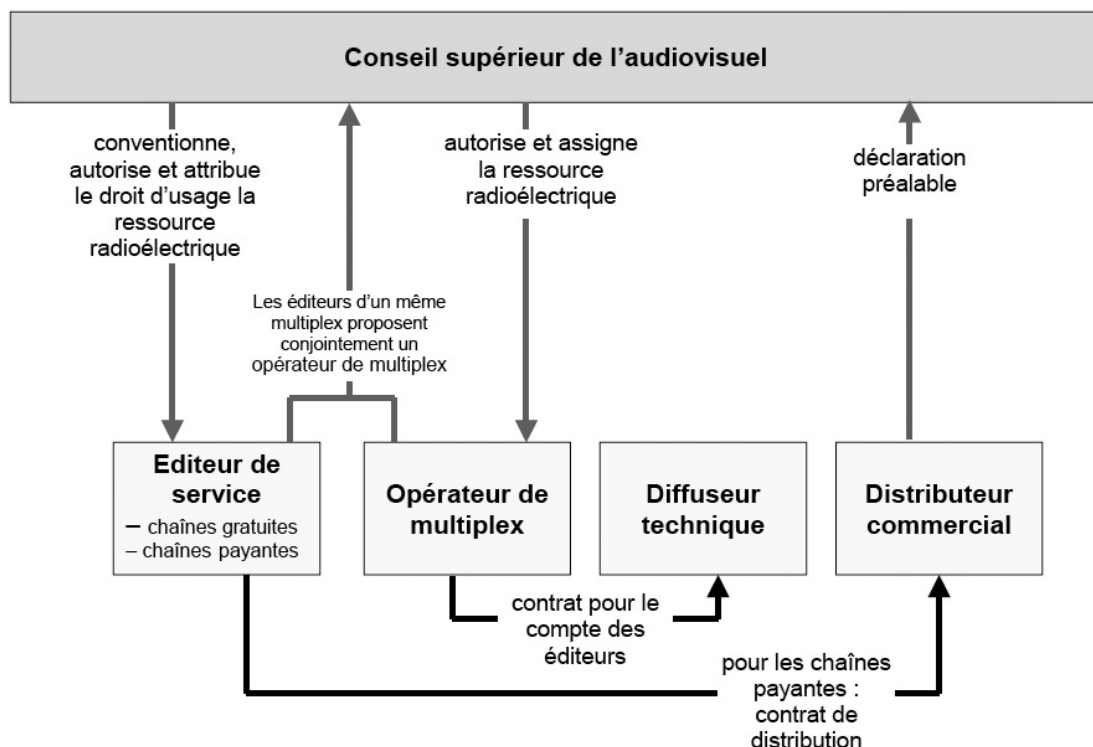


Figure 25 : Organisation et régulation de la TNT [CSA01]

La mise en place de la TNT nécessite l'intervention de nombreux acteurs complémentaires :

#### 4.4.2.1 Les éditeurs de service ou de programmes [INA01] et al

Ce sont des services de télévision composés des éléments de programme qu'elle a produit, co-produit ou acheté, qu'elle met à disposition du public à titre gratuit ou payant ; l'éditeur de service est soumis au contrôle du CSA. Les éditeurs de programmes demandent des autorisations au CSA qui leur donne ou non un accord. Une fois celui-ci obtenu, les éditeurs de programmes choisissent un opérateur de multiplex. Exemples : les éditeurs historiques (TF1, France Télévision, M6, Canal+), les autres éditeurs (Pathé, Lagardère Images, l'Equipe TV, TV Breizh...).

#### 4.4.2.2 Les opérateurs de multiplex [INA01] et al

Nouveau métier qui n'existait pas dans la diffusion analogique, ce sont toutes les sociétés, distinctes des éditeurs de services, qui sont chargées d'assembler les signaux de la ressource radioélectrique qui leur est assignée, et de la gestion dynamique de la capacité technique du multiplex. De même que pour les éditeurs de programmes, le CSA dispose à leur égard, soit d'un pouvoir d'autorisation après appel à candidatures, soit d'un pouvoir d'agrément sur proposition des éditeurs présents sur un même multiplex.

#### 4.4.2.3 Les diffuseurs techniques [INA01] et al

Ce sont tout les prestataires techniques qui assurent la diffusion des signaux, tels que TDF, Towercast, Emmetel, Crown Castle International, BT France, Free Wave...

#### 4.4.2.4 Les distributeurs commerciaux [INA01]

Ce sont toutes les sociétés, distinctes des éditeurs de services, qui sont chargées d'assurer la commercialisation de leurs services auprès du public. Exemple : TPS, Canal+...

### 4.4.3 Les multiplex

#### 4.4.3.1 Architecture des multiplex

6 multiplex sont prévus au niveau national et devront être planifiés pour chacune des zones de diffusion. Un septième multiplex est planifié sur Paris. Seuls 5 multiplex sont aujourd'hui affectés à des usages : l'utilisation du 6ème multiplex national fait l'objet de discussions pour l'utilisation en mode mobile (DVB-H) ou par la télévision Haute Définition (TVHD).

### L'offre des services

Il est prévu 5 à 6 services de télévision par multiplex, mais ce nombre n'est pas définitif et pourra évoluer avec l'utilisation de la norme MPEG-4. La répartition est effectuée (au 24 mars 2005) de la façon suivante :

- Chaînes publiques (6 canaux)
- Chaînes privées (22 canaux)
- Chaînes locales (3 canaux)

### Les chaînes publiques

Les chaînes publiques disposent d'un droit d'accès prioritaire. Elles bénéficient des 4 chaînes en simulcast : France 2, France 3, France 5 et Arte (France 5 et Arte sur un canal entier) avec la Chaîne parlementaire (aujourd'hui uniquement en câble et satellite). Notons l'apparition d'un « nouveau » service : France 4 (anciennement Festival).

### Les chaînes privées [VAC05]

Le CSA délivre les régimes d'autorisations après un appel aux candidatures. La loi prévoit 3 situations différentes pour les chaînes privées :

- Simulcast des chaînes analogiques (TF1, M6 et Canal +)
- Droit pour les éditeurs de ces chaînes à un « canal bonus »
- Sélection après un examen comparatif pour les autres chaînes

Le CSA a retenu 8 grands critères de sélection pour les chaînes privées de la TNT :

- Capacité de répondre aux attentes d'un large public
- Nécessité d'assurer la diversité des opérateurs
- Sauvegarde du pluralisme des courants d'expression socioculturels
- Expérience acquise par le candidat
- Soutien à la production audiovisuelle et cinématographique
- Couverture du territoire
- Cohérence en matière de regroupement technique
- Financement et perspectives d'exploitation

Un premier appel a été lancé en juillet 2001 et les autorisations ont été délivrées à 23 services :

- Simulcast des chaînes analogiques : TF1, M6 et C+
- 6 chaînes gratuites (dont M6 Music comme « bonus » de M6)
- 14 chaînes payantes (dont LCI comme « bonus » de TF1)

Un deuxième appel a été lancé en décembre 2004 pour l'affectation de 8 de ces canaux, les résultats sont attendus en juin 2005.

#### La place des télévisions locales

La place réservée aux télévisions locales est aujourd'hui insuffisante. 3 canaux ont été réservés sur chacune des zones de diffusion. Il est nécessaire de lancer des appels pour attribuer cette ressource, mais aucune date n'a encore été fixée.

#### 4.4.3.2 Contenu des multiplex (au 24 Mars 2005) (R5 encore non défini) [CSA05]


	R1	R2	R3	R4	R6
1					
2		 			
3					
4					
5					
6	 				

Tableau 4 : Contenu des multiplex au 24/03/2005 [CSA05]

Légende : En clair : les chaînes gratuites ; En grisé : les services payants, services s'étant désistés (Comédie, Cuisine TV et Match TV) ou services ayant perdu leur autorisation suite à une décision du conseil d'état (MCM, CanalJ, Planète, ITélé, Sport+, Ciné-cinéma premier).

#### 4.4.3.3 Le financement de la TNT [DDM05]

Les chaînes de la TNT sont financées :

- Exclusivement par la publicité pour les chaînes privées en clair ;
- Par la publicité et les abonnements pour les chaînes privées cryptées ;
- Par la redevance et la publicité pour le service public.

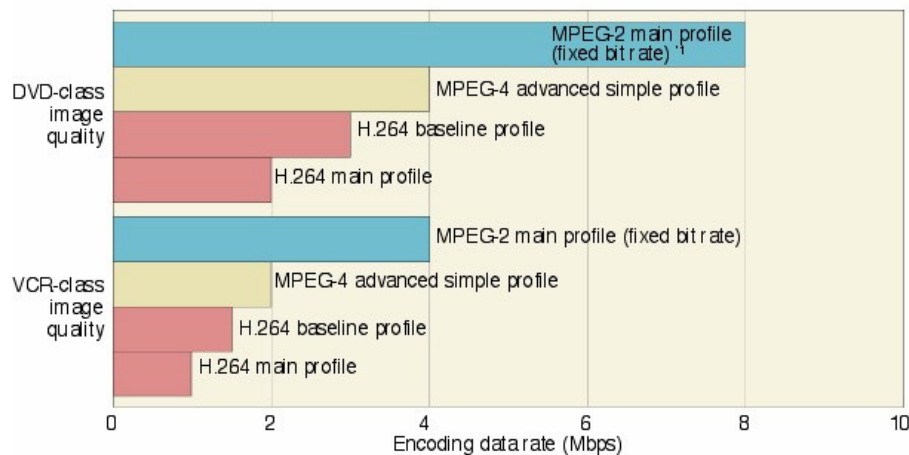
Concernant le financement des réaménagements des fréquences analogiques, ils sont à la charge de leurs bénéficiaires, c'est-à-dire des chaînes numériques. La loi a toutefois prévu une mutualisation des coûts, se traduisant par une certaine forme de péréquation entre ces chaînes.

### 4.5 L'introduction du MPEG-4 dans la TNT

A contre courant du CSA fin 2004, le gouvernement fait le choix d'imposer la norme MPEG-4 pour les chaînes payantes de la TNT, qui seront déployées en septembre 2005. La France devient ainsi le premier pays à faire le choix de la cohabitation pérenne des normes MPEG-2 et MPEG-4.

Cette nouvelle norme va [CGTI04] :

- apporter un gain de 50% de la consommation sur la bande passante, quelque soit le support de diffusion câble, satellite et ADSL,
- permettre d'atteindre une qualité d'image en HD (Haute Définition).
- autoriser un plus grand nombre de chaînes sur un même vecteur de diffusion,
- assouplir et rendre possible la combinaison intelligente des flux en qualité standard et haute définition (SD/HD).



<sup>1</sup> About 6Mbps for variable bit rate

Figure 26 : Comparatif débit MPEG-2 / MPEG-4 [MPE05]

Toutes les conditions sont réunies pour lancer le MPEG-4 sur le marché :

- Le téléspectateur est en quête de plus de qualité et plus de chaînes,
- La norme MPEG-4 H264 (ou AVC ou Part 10) a été officialisée et stabilisée au niveau Européen auprès du DVB et de l'ETSI,
- Les industriels sont mobilisés et motivés pour déployer les nouveaux décodeurs et encodeurs pour septembre 2005,
- Les différents opérateurs de diffusion câble, satellite et triple play sont fortement stimulés par ce nouveau standard, qui va apporter une réelle plus value sur leurs services actuels.

Ce choix de séparer les familles gratuites et payantes garantit une disponibilité immédiate des chaînes gratuites sur un décodeur peu coûteux, et permet une introduction progressive de la

HD sur les chaînes payantes. Il ne permet pas en revanche la diffusion hertzienne terrestre totalement en HD avant l'extinction de la diffusion analogique. Il conviendra aussi de modifier les arrêtés techniques pour faciliter l'introduction de ce standard.

### Compatibilité des flux MPEG-2 / MPEG-4 [DEV04]

Compte tenu du choix de faire coexister des données MPEG-2 et MPEG-4, il est maintenant possible de construire un signal combinant des flux aux formats MPEG2 et MPEG4 sur un même multiplexe. Le consortium DVB vient de finaliser la norme MPEG4 H264 pour la télévision numérique terrestre. La spécification, qui porte le numéro TS 101 154, a été approuvée en octobre 2004 au niveau communautaire par les différents organismes du DVB.

Débit nécessaire (en Mbits/s)	Mars 2005	Sept 2005	2 <sup>ème</sup> semestre 2006	2 <sup>ème</sup> semestre 2007
HD-MPEG-2	12-18	12-18	12-18	12-18
HD-MPEG-4	8.4-12.6	8.4-12.6	6-9	5-7.6
<b>Amélioration des performances des encodeurs</b>				
SD-MPEG4/ SD-MPEG2	30%	30%	50%	58%
HD-MPEG4/ HD-MPEG2	30%	30%	50%	58%

Tableau 5 : Perspective d'évolution des besoins en bande passante MPEG-4 [GTI04]

Cela dit, il reste encore des problèmes [CGTI04] :

- Les décrochages locaux, qui ne posent pas de problème en MPEG-2, sont actuellement impossibles en MPEG-4,
- La séparation des familles des chaînes entraîne une confusion et un attentisme chez les téléspectateurs pour investir dans un décodeur,
- Les décodeurs achetés pour les chaînes gratuites en MPEG-2 ne pourront pas recevoir les chaînes payantes : les distributeurs de celles-ci s'orienteront probablement vers une solution locative de décodeurs bi-standard munis d'un contrôle d'accès.

Pour résumer, cette introduction progressive du MPEG-4 a le mérite de limiter l'effet de blocage de l'évolution créée par un parc de décodeur MPEG-2, de laisser les éditeurs libre de leur diffusion et mettre la France en position favorable dans l'évolution mondiale de la technologie.

## 5 Conclusion

### 5.1 Positionnement de la TNT vis-à-vis des autres modes de diffusion

Mis à part la diffusion analogique, la télévision utilise aujourd'hui plusieurs vecteurs de communication qui se veulent avant tout complémentaires : la réception par satellite, le réseau câblé et enfin plus récemment celui du « haut débit ». Chaque mode de diffusion sera détaillé, en particulier celui de l'ADSL, puis ensuite comparé dans un tableau récapitulatif.

#### 5.1.1 Diffusion analogique

Il est clair qu'avec l'avancée significative de la TNT gratuite (si on ne compte pas le décodeur) sur tout le territoire, ce mode de diffusion historique est condamné à disparaître d'ici quelques années, à la condition de donner l'accès à la TNT à 100% de la population.

Remis dans le contexte actuel, c'est le mode qui présente le plus de désavantages tant au niveau de la qualité de diffusion que de la quantité de programmes.

#### 5.1.2 Satellite

Au moyen d'une parabole d'un coût très modique, tout bâtiment collectif ou individuel peut recevoir les émissions satellitaires, dont une partie est gratuite. Il est le système de diffusion prépondérant en France de la télévision numérique avec 20% des foyers recevant la télévision. En revanche, dans les zones urbaines, il est parfois interdit par des contraintes administratives visant à protéger le paysage. Le satellite dispose d'une capacité importante et permet de recevoir des bouquets de plusieurs centaines de chaînes Françaises et étrangères. Il reste le royaume des thématiques et propose des programmes très ciblés.

##### 5.1.2.1 Avantages

L'équipement est peu onéreux et ce mode possède une grande capacité de couverture, avec beaucoup de chaînes disponibles, notamment étrangères. La concurrence est forte et bénéficie au consommateur. Le satellite s'est imposé comme la source numéro 1 en France de télévision grand spectacle.

##### 5.1.2.2 Inconvénients

Il faut nécessairement une parabole qui génère une pollution visuelle des paysages et qui souvent nécessite des réglages de positionnement. Il n'y a pas de service annexe disponible comme l'internet ou le téléphone. L'abonnement n'est pas facile d'accès et parfois compliqué. Avec les problèmes de copropriété et de voisinage, il est souvent interdit aux citoyens de placer une antenne sur leur toit ou sur leur balcon. Le service est payant.

#### 5.1.3 Câble

Avec 16% d'abonnés, il reste essentiellement un vecteur urbain. Les éventuelles contraintes administratives urbaines restreignant l'accès à la réception par satellite jouent en sa faveur. Comme le satellite, il dispose d'une forte capacité de transport de plusieurs centaines de chaînes orientées thématiques et aux programmes très ciblés. Il est plutôt réservé aux transmissions « haut débit » dans les zones très urbanisées. Il impose un abonnement et donc n'est pas gratuit. Il est également favorable à une offre plus large à haut débit (internet, téléphonie, vidéotransmission).

##### 5.1.3.1 Avantages

Si l'immeuble est câblé, l'abonnement se fait rapidement. Rien à installer ni à régler, les opérateurs assurent l'installation et assistent leurs clients lors de sa mise en place. Le choix des chaînes et des bouquets est aussi conséquent qu'avec le satellite. Ils proposent d'autres services comme l'Internet haut débit, le téléphone...



### 5.1.3.2 Inconvénients

Coût d'infrastructure très cher (génie civil) oblige, sa couverture est réduite aux zones à forte densité urbaine. Le service est payant uniquement. Ce choix demeure limité dans l'espace puisque seules les personnes habitant dans des immeubles ou à proximité de réseaux câblés peuvent y avoir accès.

### 5.1.4 Triple play ou la télévision par ADSL

« Triple Play » pour les 3 services « Audiovisuel – Internet - Téléphone » et mode de diffusion très récent, il est historiquement issu des services produit par les fournisseurs d'accès à internet. Il s'adresse à un public urbain et jeune, pour qui la télévision n'est qu'une retombée accessoire de l'ADSL à haut débit, et qui est plus souvent devant son ordinateur que devant un téléviseur. Le téléphone gratuit ou moins cher est pour ce public en général plus important que la TV par ADSL.

#### 5.1.4.1 Fonctionnement de la TV par ADSL [NET05]

Le signal possède les mêmes caractéristiques d'encodage (MPEG-2 SD) que pour les autres modes de diffusion numérique. Concrètement, les fournisseurs de contenu (Canal Satellite, TPS ou chaînes indépendantes) livrent leurs programmes en direct aux prestataires techniques que sont Free, France Télécom et Neuf Télécom. Ces derniers encodent en direct ces flux audio - vidéo en MPEG2 qui va ramener le flux numérique à des dimensions tolérables pour une transmission par ADSL. Dans le cas de Freebox TV, la bande passante allouée peut aller jusqu'à 20 Mbit/s. Ce flux numérique arrive au niveau du DSLAM qui effectue le tri des données. Toutes les chaînes arrivent en effet à ce centre névralgique, mais une seule est transmise jusqu'à l'abonné. Lorsque l'on compose le numéro de canal d'une chaîne sur la télécommande de son terminal numérique, l'ordre remonte jusqu'au centre de distribution, qui retourne le programme voulu. Le terminal ADSL, ou plus communément le décodeur numérique qui est relié à un récepteur analogique classique, traduit le signal à la volée.

#### 5.1.4.2 Matériels nécessaires [NET05]

La Freebox fait à la fois office de modem, de terminal téléphonique et de décodeur MPEG-2. De la même façon, la dernière version de la Neufbox intègre directement un décodeur TNT. Dans le cas de l'offre Maligne TV/TPS ADSL, il est nécessaire de disposer par ailleurs d'un modem ADSL ou de la Livebox de Wanadoo. Il faut impérativement un certain type de modem, dit Multi VC, capable de gérer distinctement différents canaux. Un canal TV par lequel transite les bouquets de programme, un canal VOD (Vidéo à la demande) pour l'accès aux films à la carte, un canal dédié à l'accès Internet et éventuellement un canal spécifique pour la téléphonie par IP.

#### 5.1.4.3 Avantages

Beaucoup de chaînes (entre 40 et 60) comprises dans les forfaits de base et presque autant proposées en option à la carte. De plus il n'est pas nécessaire de prendre une parabole ou de s'abonner au câble. Les FAI proposent Canal+ ou TPS et pour Neuf Telecom (qui devrait être rejoint par Free prochainement) tous les programmes de la TNT. Coût très compétitif. Services annexes comme le téléphone et surtout le haut débit. De plus avec l'arrivée du très haut débit ADSL2+, la qualité de la diffusion des programmes va augmenter.

#### 5.1.4.4 Inconvénients

Ce service n'est pas accessible à tous. En effet, compte tenu de la forte déperdition du signal inhérente à l'ADSL, plus on s'éloigne du central téléphonique, moins la bande passante est "confortable". En fin de course, elle reste suffisante pour bénéficier d'un accès Internet haut débit, mais plus pour acheminer la télévision. A ce jour, la limite technique fixée par les opérateurs est de 2,5 km entre le central téléphonique et l'abonné. De plus, malgré la technologie numérique, on constate de nombreux effets de gel d'image qui viennent perturber la qualité des programmes. En cas de perte du signal Internet et de déconnexion, vous ne

recevez plus la télévision. Un autre point négatif : le problème d'installation tient au fait que le modem et le décodeur numérique doivent se situer à proximité l'un de l'autre, ce qui revient à placer le récepteur et l'ordinateur connecté à internet dans la même pièce. Il faudra parfois adapter l'installation existante, tirer des câbles ou mieux, recourir à l'option Wi-Fi.

### 5.1.5 Comparatifs des offres triple play

Nom	Accès	Couverture	Bouquets	Chaînes	Coût mensuel	Services inclus
CanalSatAdsl	Via Neuf Télécom, France Télécom et Free.	Dans un rayon de 2,5 km autour du DSLAM pour les utilisateurs dégroupés	Canal Satellite "classique". Les chaînes hertziennes font partie du lot, hors M6 et TF1.	85 dont 50 de base.	8€	Aucun
Freebox TV	Offre Free Haut Débit (en zone dégroupée, avec la Freebox)		Hétérocytes dont une partie issue du bouquet AB ou des chaînes nationales à l'exception de TF1 et M6.	150 dont 60 de base	29,99€	Téléphone et Internet haut débit compris
Neuf Telecom	Offre ADSL Neuf Telecom ou en option avec le service d'accès haut débit.		Chaînes nationales sauf TF1 et M6, des chaînes généralistes du câble/satellite.	40	22,90€	Téléphone et Internet haut débit compris
TPS L	Offre Maligne TV de France Télécom uniquement		TPS, dont toutes les chaînes hertziennes dont TF1 et M6.	60 dont 10 de base	19€	Internet haut débit en option (33€).

Tableau 6 : Comparatif des offres triple play [NET05]

Ce qu'on constate : à ce jour seul TPS retransmet l'intégralité des chaînes diffusées sur la TNT (TF1, M6, TMC...), la couverture est restreinte au 2,5 km par la technique ADSL, Canalsat a eu l'intelligence de passer des accords avec plusieurs opérateurs contrairement à TPS exclusivement disponible via France Télécom.

### 5.1.6 TNT

Elle est la dernière des technologies de diffusion numérique. Elle symbolise la télévision numérique pour tous, avec 85% de la population couverte à terme en 2007 et de plus gratuitement, ce qui est son point fort.

#### 5.1.6.1 Avantages

Gratuitement, elle permet de recevoir 14 chaînes sans mettre en place une parabole et en fonctionnant avec l'antenne râteau existante. La qualité numérique est également très appréciable. Elle est la seule offre à offrir la *portabilité*.

#### 5.1.6.2 Inconvénients

Encore expérimentale malgré le lancement officiel du 31 mars. Il y a certes 14 chaînes mais il faudra investir dans un décodeur (un peu plus de 100 euros) qui ne pourra pas décoder les chaînes payantes prévues pour le mois de septembre. De plus, seulement 35% de la population peut aujourd'hui avoir accès à la TNT et 85% à terme en 2007 (voir plus haut). De plus, l'offre reste limitée aux chaînes Françaises ou Francophones.

### 5.1.7 Analyse des autres modes de diffusion

En étudiant le tableau ci-dessous, on constate que la TNT ne concurrence pas les autres supports de diffusion, et apporte une complémentarité dans leur contenu et dans leurs zones de diffusion. Les quatre modes de diffusion ne sont pas accessibles partout, mais la pluralité des accès permettra d'offrir à (presque) tous la possibilité de recevoir les émissions en numérique. Le câble par exemple est absent des zones à faible densité de population. Quant au satellite, il ne peut être reçu lorsqu'un obstacle important obstrue la trajectoire du satellite (montagne, immeuble, etc...).

Mode de Diffusion	Chaînes totales	Dont chaînes gratuites	Support	Accès	Interactivité	Capacité de couverture	Portabilité	Qualité HD supportée
Analogique	6	6	Antenne râteau	Gratuit	Non	Grande	Non	Non
Satellite	800	30	Parabole	Gratuit/Abonnement	Oui	Très grande	Non	Oui
Câble	150	20	Fibre optique	Abonnement	Oui	Zone urbaine	Non	Oui
ADSL	180	40-60	Ligne téléphonique	Abonnement	Oui	Zone urbaine	Non	Oui
TNT	30	14	Antenne râteau	Gratuit	Oui	Grande (85%)	Oui	Oui

**Tableau 7 : Comparatif des différents modes de diffusion**

Si l'on compare la TNT avec le triple play, on constate une grande disparité sur les capacités de couverture : en effet, la technologie actuelle du triple play impose une proximité du central téléphonique, ce qui est un frein à sa diffusion. D'autre part, la TV par ADSL impose un abonnement payant et aujourd'hui ne rediffuse pas systématiquement l'intégralité de toutes les chaînes disponibles sur la TNT (TF1, M6, TMC...) sauf sur TPS (voir plus loin). On notera en revanche que le nombre de chaînes sur la diffusion numérique terrestre sera toujours bien inférieur à ce qui sera proposé sur les autres modes, en particulier sur le satellite.

La TNT s'adresse à terme plutôt au public traditionnel de la télévision analogique gratuite, les « couch potatoes » que l'interactivité laisse de marbre. De plus, elle devrait principalement s'adresser au public des zones de faibles densités relativement éloignées des centraux téléphoniques et donc inaccessible par l'ADSL.

On notera aussi que la diffusion TNT permet une portabilité, souplesse indéniable, qui n'est disponible nulle part ailleurs.

L'encodage utilisé des flux numériques aujourd'hui est le MPEG-2 pour tous les supports. Avec l'arrivée du MPEG-4 en septembre, cela va sans doute creuser les écarts entre les fournisseurs et risque de déclencher une avancée technologique sur le marché.

Le marché naturel de la TNT restera probablement celui de la télévision en clair gratuite grand public, celui du satellite les grands bouquets diversifiés payants à thèmes, et celui de l'ADSL et du câble performants dans les zones urbaines en offrant des chaînes thématiques.

### 5.1.8 Avantages de la télévision numérique terrestre [TVN05]

Les premiers atouts majeurs de la télévision numérique terrestre sont :

- Sa gratuité (si on ne compte pas le décodeur),
- Son mode de diffusion exploitant l'antenne râteau existante,
- Sa taux de couverture à terme de 85% de la population.

Mais elle présente de nombreux autres avantages, pour le téléspectateur :

- Augmentation du nombre de programmes et de services.
- Image et son en qualité numérique de haute qualité (Dolby surround, format 16/9<sup>ème</sup> et TVHD à terme),
- Interactivité,
- Réception quasi immédiate sur les antennes individuelles et collectives,
- Portabilité et mobilité,
- Le numérique enfin accessible à tous et en clair (notamment pour TF1 et M6),
- Multiplication des programmes régionaux et des chaînes locales,
- De nouveaux opérateurs favoriseront le pluralisme,
- Internet haut débit (à long terme).

Pour les opérateurs :

- Coût de diffusion moins élevé qu'en analogique,
- Possibilité de proposer des chaînes complémentaires pour les généralistes,
- Développement de services interactifs.

Pour les diffuseurs (TDF, Towercast, ...) :

- Optimisation de l'usage de la bande spectrale,
- Un renouveau dans le monde de la diffusion hertzienne,
- Libération à terme de plage de fréquence pour d'autres usages (radiocommunications, TVHD, mobilité,...),
- Ouverture de la concurrence.

Pour l'industrie :

- Un nouveau marché très rentable,
- Un renouvellement à moyen terme du parc des récepteurs analogiques par des récepteurs à décodeur numérique intégré, mobile, ...

Pour les éditeurs de service :

- Nouveau développement de l'industrie audiovisuelle et de nouvelles chaînes (France4, NT1, W9...)

#### **5.1.9 Inconvénients de la télévision numérique terrestre**

- Il faudra adapter son antenne râteau dans 10% des cas,
- Le passage au numérique n'est pas réellement gratuit car il faut au minimum s'équiper d'un décodeur numérique (60€),
- Le nombre de canaux disponibles en numérique terrestre restera réduit du fait du nombre important de fréquences utilisées (mode MFN),
- La couverture n'est pas totale (85%) et il subsistera toujours des zones d'ombre

## 5.2 Impact du décret d'obligation de reprise (« must carry »)

L'arrivée de la TNT chamboule le paysage audiovisuel et le décret « must carry » visant à démocratiser la diffusion des chaînes gratuites sur tous les vecteurs de diffusion a récemment été renforcé en juillet 2004. En fait, la TNT avec sa qualité numérique et ses nombreuses chaînes, devient un concurrent direct des autres opérateurs soumis à l'obligation de reprise de ses chaînes gratuites.

### 5.2.1 Définition du décret [DDM05]

On appelle "must carry" l'obligation pour un distributeur de services par câble (un câblo-opérateur tel Noos ou NC Numéricâble) ou par satellite (par exemple, TPS ou Canalsatellite) de reprendre certains services. Le must carry s'articule en réalité en une double obligation légale :

- Une obligation pesant sur le **distributeur** - câblo-opérateur ou opérateur de bouquet satellite - de reprendre certaines chaînes ;
- Une obligation pour les **chaînes** bénéficiant du must carry d'accepter d'être reprises par le transporteur ou le distributeur.

[TDF05]

Historiquement, cette double obligation trouve son origine dans la réglementation édictée par la Federal Communications Commission (FCC) Américaine, et reprise dans les Cable Acts de 1984 et 1992. Alors que les câblo-opérateurs desservaient près des deux tiers de la population américaine et bénéficiaient d'un quasi-monopole de diffusion, le régulateur américain avait cherché, à travers cette réglementation, à **ouvrir aux usagers un accès à des éditeurs de contenus autres que ceux liés aux câblo-opérateurs eux-mêmes**. Il est donc un élément clé qui permet l'accès universel à des contenus privilégiés, dans le but de limiter les monopoles des diffuseurs. Pour bien saisir l'impact de ce décret, voici quelques points clés de son histoire :

### 5.2.2 Le must carry sur le câble (avant la loi de 2004) [DDM05]

Ce décret impose la reprise des chaînes gratuites de la télévision numérique diffusées sur le réseau du câble analogique et numérique, et reçues sur le site. Ce décret a été vivement contesté par les câblo-opérateurs : L'association française des câblo-opérateurs AFORM était en profond désaccord et dénonçait « *une mesure discriminatoire et arbitraire à l'égard des réseaux câblés* ». Des recours contentieux contre ce décret ont été introduits devant le Conseil d'Etat et l'AFORM a également demandé l'abrogation du décret.

Le Conseil d'Etat a rejeté ces requêtes et a estimé le décret compatible avec la législation en vigueur, et que si l'obligation de must carry pouvait s'analyser comme une restriction de droit de libre disposition des réseaux par leurs propriétaires, cette restriction était justifiée comme "*imposée dans l'objectif d'intérêt général de favoriser le développement de services de télévision diffusés par voie hertzienne terrestre en mode numérique et, par suite, d'un plus grand pluralisme des courants d'expression socioculturels*".

### Le service antenne

C'est le raccordement d'un immeuble au réseau câblé pour la seule réception des chaînes hertziennes. Ce mode de réception, qui se substitue ainsi à la réception par une antenne individuelle ou collective, est proposé par les câblo-opérateurs aux copropriétés ou aux gestionnaires de parcs immobiliers locatifs, moyennant le versement des frais de maintenance qui sont intégrés aux charges collectives des immeubles. Les foyers qui bénéficient de ce service peuvent également souscrire auprès du câblo-opérateur un abonnement pour la réception d'autres chaînes.

### **5.2.3 Le must carry sur le satellite (avant la loi de 2004) [DDM05]**

Restreint aux chaînes publiques, le must carry sur le satellite stipule que tout distributeur de services par satellite met gratuitement à la disposition de ses abonnés les services qui sont diffusés par voie hertzienne terrestre en mode analogique. Dans le cas du satellite - et à la différence du câble – il est précisé que le transport s'effectue gratuitement.

#### **Différence de régime entre câble et satellite**

Elle se justifie car :

- **Les câblo-opérateurs sont en situation de monopole local** ; en outre, notamment dans des immeubles collectifs qui ont supprimé l'antenne dite « râteau », le câble peut constituer, pour de nombreux foyers, leur unique moyen de réception de la télévision;
- **L'abonnement au satellite résulte toujours d'un choix** et ne constitue pas, sauf cas exceptionnel, le seul moyen de réception de la télévision d'un foyer, l'antenne « râteau » étant maintenue, notamment pour la réception des programmes régionaux.

Sur le plan économique, le bouquet satellite TPS a bénéficié de l'exclusivité de la distribution par satellite des chaînes généralistes nationales TF1, France 2, France 3, La Cinquième, Arte et M6 pour permettre une pénétration du marché de la télévision à péage dominé par Canal+. Après avoir imposé aux satellites l'obligation de reprise de France 2 et France 3, seules les chaînes généralistes privées TF1 et M6 restent présentes sur le bouquet TPS mais non sur Canalsatellite. Cet élément est un des aspects jugés importants de la concurrence entre les deux plates-formes.

### **5.2.4 Instauration d'un nouveau régime du must carry (loi de juillet 2004)**

Compte tenu des vides juridiques autour des nouveaux modes de diffusion numérique (comme le triple play), le gouvernement a simplifié et étendu le régime du "must carry" : le droit de reprise des chaînes hertziennes gratuites diffusées par voie terrestre s'applique dorénavant sur l'ensemble des plateformes de distribution (câble, ADSL, satellite) :

- Ce droit bénéficie aux chaînes hertziennes gratuites diffusées en mode analogique ou numérique,
- Ces chaînes peuvent demander à être reçues par l'intermédiaire du terminal utilisé par n'importe quel distributeur et à figurer dans ses outils de référencement,
- La chaîne qui bénéficie du droit de reprise prend en charge les coûts de transport et peut être amenée à rémunérer le distributeur « dans des conditions équitables, raisonnables et non discriminatoires ».

Cette évolution du décret est justifiée par la nécessité d'assurer une exposition maximale aux chaînes de service public. Ce droit de reprise universel favorise le démarrage de la télévision numérique terrestre en donnant aux chaînes gratuites numériques, une possibilité d'accéder au parc des abonnés à une offre de télévision payante, sans avoir à convaincre ceux-ci de s'équiper d'un décodeur supplémentaire.

Le « service antenne » est maintenu afin de préserver la situation des foyers qui résident dans des immeubles collectifs dont le réseau interne n'est plus raccordé à une antenne râteau mais à un réseau de distribution. Ces foyers continueront à recevoir les chaînes hertziennes qu'ils recevraient normalement à l'aide de l'antenne râteau, soit en mode analogique, soit en mode numérique, sans que les chaînes concernées puissent y faire obstacle. Le régime des obligations de reprise pesant sur les réseaux câblés est ainsi simplifié et recentré sur ses principes essentiels.

### **5.2.5 Impact du décret modifié**

Ce décret a pour conséquence de favoriser la diffusion « universelle » des chaînes gratuites de la TNT sur tous les réseaux existants, même si les câblo-opérateurs étaient défavorisés avant

la loi de 2004 (service antenne). Celle-ci prend en compte tous les supports de diffusion, y compris l'ADSL, et les met globalement sur le même pied d'égalité. Cette harmonisation a pour effet de rééquilibrer les forces entre les acteurs, de favoriser la juste concurrence et de rendre possible l'émergence de nouvelles technologies, ce qui a conduit à un démarrage réussi de la Télévision Numérique Terrestre. Ce succès, qui n'est pas encore total (attendons septembre pour la deuxième phase en MPEG-4), était loin d'être garanti compte tenu des péripéties politiques, techniques et commerciales qu'elle suscite depuis 2000.

### 5.2.5.1 Application de l'obligation de reprise

Pour constater l'application du « must carry » dans le paysage audiovisuel, selon un communiqué AFP du 01-04-05, une bonne partie des chaînes de la télévision numérique terrestre (TNT), lancées jeudi 31 mars 2005, sont diffusées par d'autres réseaux. Voici un tour d'horizon des informations communiquées par les opérateurs et/ou les chaînes :

Services	TF1	F2	F3	F4	C+	F5	Arte	M6	NT1	D8	N12	LCP	W9	TMC
Satellite														
CanalSat		7	8	11	2	9	10		27			35	103	17
TPS	1	2	3	34		23	5	6	63			61	70	
TV par ADSL														
CanalDsl		7	8	11	2	9	10		27			35	103	17
TPSL	1	2	3	34		12	5	6	63			61	70	
Freebox		2	3	14	4	5	7		11	8	12	13	9	
9Télécom	1	2	3	14	4	5	7	6	11	8	12	13	9	10
Câble (abonnés numériques)														
UPC	1	2	3	15	4	5	7	6	17			64	19	22
Noos	1	2	3	130	4	13	9	6	37			24	39	15
NC	1	2	3	37	4	5	7	6				73		20

Tableau 8 : Numérotation des chaînes gratuites de la TNT reprises sur les autres réseaux

On peut dire que l'obligation de reprise n'est pas encore totalement appliquée, sauf pour Neuf Télécom qui est à ce jour le seul qui rediffuse l'intégralité des canaux TNT. Les chaînes publiques sont globalement toutes retransmises.

Les problèmes subsistent pour les services privés : Direct8 et NRJ12 sont totalement absents des réseaux satellitaires et câblés. On peut noter la disparition de TF1 et M6 sur les groupes Canal+ et Free, et l'effet miroir de TPS (groupe TF1) qui ne diffuse pas Canal+. TMC quant à lui n'est pas encore présent sur TPS et Free.

Ces zones blanches sont le résultat de désaccords soit sur la numérotation (Direct 8 et NRJ12), soit liés à des conflits d'intérêts ou commerciaux (TF1/TPS et Canal+) qui devront être résolus pour respecter la loi en vigueur.

La reprise totale des canaux TNT gratuits sur les autres supports s'effectuera petit à petit, au fur et à mesure de la progression de la couverture numérique terrestre.

## 6 Annexes

### 6.1 Liste des fréquences attribuées pour les 2 premières phases

Le premier tableau décrit la première phase de déploiement lancée le 31 mars 2005.

Principale ville desservie	Zone du site	Canal réseau R1	Canal réseau R2	Canal réseau R3	Canal réseau R4	Canal réseau R6
Bordeaux	Bordeaux Est	23	59	62	44	30
Bordeaux	Caudéran	23	26	22	32	30
Brest	Monts d'Arrée	30	22	25	23	26
Lille	Lambersart	36	29	32	30	35
Lyon	Fourvière	56	36	21	54	24
Mantes	Maudétour en Vexin	48	38	43	46	40
Marseille	Massif de l'Etoile	62	59	28	25	30
Marseille	Pomègues	62	59	28	25	30
Niort	Canton de Melle	37	59	62	54	24
Paris	Tour Eiffel	35	21	27	24	32
Paris Est	Chennevières	35	54	60	63	57
Paris Nord	Sannois	35	54	60	63	57
Paris Sud	Villebon	35	56	60	63	57
Rennes	Bécherel	35	46	43	40	32
Rouen	Rouen Sud	29	21	27	24	32
Toulouse	Toulouse Est	56	49	52	51	53
Vannes	Landes de Lanvaux	57	46	64	49	59

Les fréquences devant être mises en service lors de la seconde phase de déploiement (au plus tard : le 1<sup>er</sup> septembre 2005 pour les services gratuits(1), le 1<sup>er</sup> mars 2006 pour les services payants)

Principale ville desservie	Zone du site	Canal réseau R1	Canal réseau R2	Canal réseau R3	Canal réseau R4	Canal réseau R6
Ajaccio	Baie d'Ajaccio	29	26	42	38	53
Bayonne	La Rhune	65	42	51	49	57
Bourges	Collines du Sancerrois	35	24	63	27	32
Caen	Caen Nord	31	30	32	33	58
Cherbourg	Digosville	63	34	49	53	32
Grenoble	Tour sans venin	37	21	24	31	34
Le Havre	Harfleur	48	42	57	63	58
Le Mans	Canton de Mayet	26	23	56	31	36
Lyon	Mont Pilat	45	36	39	54	47
Nantes	Nantes Sud Est	28	44	62	25	24
Orléans	La Plaine Poteau	46	38	63	48	51
Reims	Hautvillers	32	31	37	34	42
St Etienne	Croix du Guizay	50	23	39	54	26
Toulon	Cap Sicié	55	47	50	49	52
Toulouse	Pic du Midi	54	48	50	22	36

(1) y compris Canal + pour sa programmation en clair

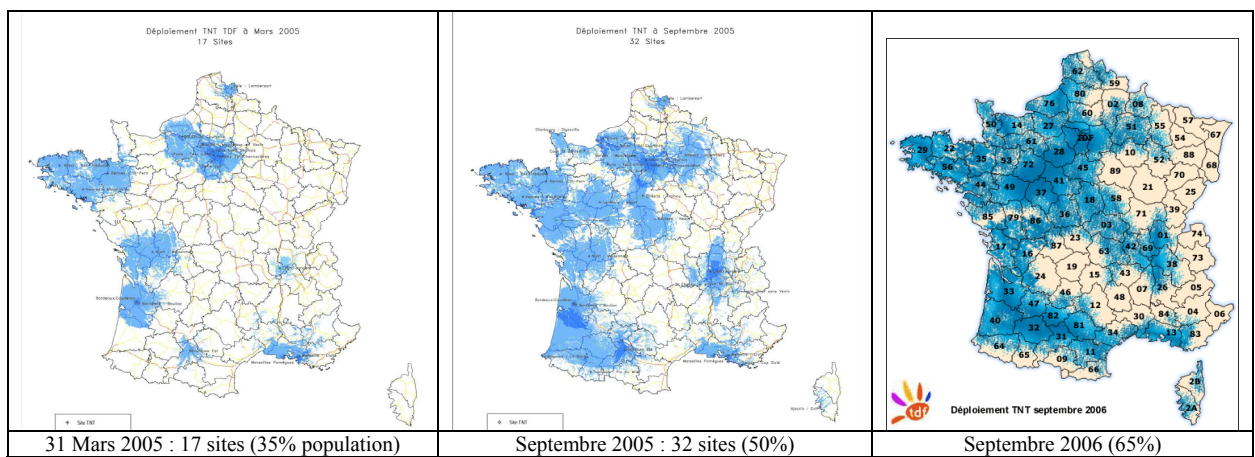
Sources : [CSA05]



## 6.2 Couvertures géographiques de la TNT



Sources : [CSA05]



Sources : [TDF05]

## 7 Bibliographie

### 7.1 Ouvrages

[BEN02]	Hervé Benoit : La télévision numérique satellite, câble, terrestre 3 <sup>ème</sup> édition
DUNOD ISBN 2100063022	Principes de base des télévisions numériques ainsi que leur mise en œuvre dans le système Européen DVB (Digital Video Broadcasting).
[RIV98]	Edouard Rivier : Transmission numérique multimédia
EYROLLES ISBN 2212053088	Présentation des systèmes de transmissions évolués : modulation, processus physiques dans la chaîne de communication, fonctionnement des systèmes de transmission hertzienne.
[INA01]	Dossiers de l'audiovisuel : Quel avenir pour la télévision numérique terrestre ?
INA N°98	Ce dossier expose les bases techniques et réglementaires de la TNT, et analyse les enjeux et les doutes des différents acteurs.
[IRI01]	IRIS Spécial Régulation de l'accès à la télévision numérique : Glossaire de la télévision numérique
Victoires Ed. Observatoire Européen de l'audiovisuel	Ce glossaire met l'accent sur les structures et mécanismes qui potentiellement sont à l'origine de goulots d'étranglement permettant le contrôle de l'accès à un marché particulier. Document de référence pour faciliter la compréhension des principes de base du contrôle d'accès.
[GRI00]	Luc Grimaud : Le DVB-T
CNAM Physique Electronique	Explique le fonctionnement de la DVB-T ainsi que les perspectives d'implantation en France. Description sur les décodeurs numériques.

### 7.2 Rapports

[CGTI04]	<a href="http://www.industrie.gouv.fr/biblioth/docu/dossiers/ntic/pdf/tvnumeriquevf.pdf">http://www.industrie.gouv.fr/biblioth/docu/dossiers/ntic/pdf/tvnumeriquevf.pdf</a>
CGTI/Devedjian	Rapport du CGTI sur la télévision numérique terrestre.
[BOY02]	<a href="http://www.ddm.gouv.fr/IMG/rtf/RAPPORTBOYON.rtf">http://www.ddm.gouv.fr/IMG/rtf/RAPPORTBOYON.rtf</a>
BOYON	Rapport sur la Télévision Numérique Terrestre (TNT) Boyon
[NPA05]	<a href="http://www.industrie.gouv.fr/pdf/Rapport-TVHD.pdf">http://www.industrie.gouv.fr/pdf/Rapport-TVHD.pdf</a>
NPA	Rapport de NPA Conseil sur la télévision HD
[COT99]	<a href="http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/994000629.shtml">http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/994000629.shtml</a>
COTTET/EYMERY	Rapport de MM. Jean-Pierre COTTET et Gérard EYMERY
[LEV96]	<a href="http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/964121700.shtml">http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/964121700.shtml</a>
LEVRIER	Rapport Lévrier sur la TNT
[BOU04]	<a href="http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/044000513.shtml">http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/044000513.shtml</a>
BOUDET DE MONTPLAISIR	Rapport de M. BOUDET DE MONTPLAISIR sur la télévision numérique et la télévision haute définition

### 7.3 Sites Internet

- [TDF01] <http://www.tdf.fr/article/archive/1529/>  
Dossier complet sur la TNT édité par le diffuseur TDF.
- [DDM01] [http://www.ddm.gouv.fr/rubrique.php3?id\\_rubrique=35](http://www.ddm.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=35)  
Site gouvernemental sur la TNT par la Direction du Développement des Médias. Décrets et rapports du gouvernement.
- [CSA05] [http://www.csa.fr/infos/autorisations/autorisations\\_tnt.php](http://www.csa.fr/infos/autorisations/autorisations_tnt.php)  
Conseil Supérieur de l'Audiovisuel.
- [MPE05] <http://iphilgood.chez.tiscali.fr/>  
Site technique de référence sur le JPEG, MPEG, et DVB.
- [TVN05] <http://www.tvnt.net/>  
Site dédié à la promotion de la TNT.
- [ANF05] <http://www.anfr.fr>  
Site officiel de l'ANFR
- [TOW05] <http://www.towercast.fr/>  
Diffuseur Towercast concurrent de TDF.

- [VIG05] <http://perso.wanadoo.fr/tvignaud/index.html>  
Site dédié aux fréquences Hertzienne
- [ELE05] <http://www.electronique.biz/article/272005.html>  
Article de Bernard Denis-Laroque, consultant spécialisé dans les réseaux d'émission, sur les potentiels de la TNT et notamment sur les problèmes liés aux frontières.
- [CSA02] [http://www.csa.fr/actualite/decisions/decisions\\_detail.php?id=23369](http://www.csa.fr/actualite/decisions/decisions_detail.php?id=23369)  
Lettre du CSA envoyée au premier ministre concernant les zones frontalières.
- [OBS05] <http://www.obs.coe.int/>  
Observatoire Audiovisuel Européen
- [AFO05] <http://www.aform.org/pages/centre.php>  
Site de l'AFORM
- [DVB05] <http://www.dvb.org>  
Organisme officiel DVB Digital Video Broadcast
- [MPE05] <http://www.mpeg.org>  
Site de l'organisation
- [CSA03] [http://www.csa.fr/outils/forum/forum\\_detail.php?id=17409&idD=19802](http://www.csa.fr/outils/forum/forum_detail.php?id=17409&idD=19802)  
Forum du CSA TNT pour tous, sujet de discussion sur les frontières
- [WIK01] [http://fr.wikipedia.org/wiki/T%C3%A9l%C3%A9vision\\_num%C3%A9rique\\_terrestre](http://fr.wikipedia.org/wiki/T%C3%A9l%C3%A9vision_num%C3%A9rique_terrestre)  
Définition de la TNT sur l'encyclopédie libre WIKIPEDIA
- [VAC05] [http://www.arts-et-metiers.net/pdf/Thierry\\_Vachey.pdf](http://www.arts-et-metiers.net/pdf/Thierry_Vachey.pdf)  
Thierry Vachet  
Présentation de Thierry Vachet (CSA) sur le déploiement de la TNT en mars 2005
- [MAZ05] [http://www.arts-et-metiers.net/pdf/Bertrand\\_Mazieres.pdf](http://www.arts-et-metiers.net/pdf/Bertrand_Mazieres.pdf)  
Bertrand  
Mazières  
Présentation de Bertrand Mazières (ingénieur d'études chez TDF) sur le déploiement de la TNT en mars 2005
- [DEV04] [http://www.industrie.gouv.fr/portail/politiques/index\\_econom.html](http://www.industrie.gouv.fr/portail/politiques/index_econom.html)  
Ministère de  
l'industrie  
Communiqué de presse annonçant la compatibilité MPEG2 MPEG4.
- [FRE05] [http://www.journaldunet.com/chat/retrans/050330\\_boukobza.shtml](http://www.journaldunet.com/chat/retrans/050330_boukobza.shtml)  
Ministère de  
l'industrie  
Chat sur le journal du net de Michael Boukobza, Directeur général Iliad/Free annonçant une Freebox compatible TV HD
- [ETSI05] <http://www.etsi.com/>  
Organisme de normalisation européen
- [01I04] <http://www.01net.com/article/256732.html>  
L'ordinateur  
individuel  
Définition du MPEG-4 d'après MPEG.ORG
- [BUR99] <http://www.prism.uvsq.fr/users/bug/Documents/Maitrise/Rapport99.html>  
Guillaume  
Buridan  
Maîtrise informatique Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines. Laboratoire PRISM / TRANSMISSION DE VIDEO AU FORMAT MPEG4 SUR DES RESEAUX HETEROGENES
- [NEU05] <http://www.zdnet.fr/actualites/internet/0,39020774,39215191,00.htm>  
Christophe  
Guillemain  
Article sur la convergence ADSL TNT par ZDNET
- [NET05] [http://www.linternaute.com/internetpratique/tv\\_adsl/index.shtml](http://www.linternaute.com/internetpratique/tv_adsl/index.shtml)  
Le journal du  
net  
Dossier spécial sur la TV par ADSL.
- [TNT05] <http://fr.groups.yahoo.com/group/tnt-fr/>  
TNT-Fr : Liste de diffusion sur la Télévision numérique terrestre en France
- [FUT01] <http://www.futura-sciences.com/comprendre/d/dossier528-3.php>  
Nicolas Croiset  
Dossier TNT notamment sur sa compatibilité avec le MPEG-4

## 7.4 Documents audiovisuels

- [SOR05] [Emission « C'est pas sorcier : la Télévision Numérique Terrestre » diffusée le 18/02/2005 à 17h30 sur France 3](#)  
France 3  
Approche pédagogique et illustrée de la TNT.

## 8 Glossaire

<b>Accès conditionnel</b>	Technique alliant des opérations d'embrouillage et de gestion d'abonnement limitant l'accès aux programmes en diffusion grâce à une carte à puce assurant le désembrouillage dans le terminal de l'abonné.
<b>Canaux tabous</b>	Sur un site d'émission donné, ce sont les canaux adjacents aux canaux utilisés pour la diffusion de la télévision analogique ou d'autres canaux interdits en analogique.
<b>Couch Potatoes</b>	Littéralement « Patates de canapé » : Surnom employé aux USA pour désigner les téléspectateurs passifs et dépendants à la télévision de masse.
<b>Diffuseur technique</b>	Tout prestataire technique qui assure la diffusion des signaux.
<b>Digital Video Broadcasting</b>	Consortium réunissant les différents acteurs européens de la télévision numérique. DVB a défini les normes de transport de télévision numérique sur câble (DVB-C), sur satellite (DVB-S) et terrestre (DVB-T).
<b>Dispersion d'énergie (brassage)</b>	Combinaison logique d'un signal numérique avec une séquence pseudo-aléatoire pour rendre son spectre uniforme après modulation.
<b>Distributeur commercial</b>	Opérateur choisi par les éditeurs au sein d'un ou plusieurs multiplex, pour la commercialisation du bouquet de programmes payants.
<b>Doppler</b>	Nom du physicien qui découvrit la variation de fréquence d'une source perçue lorsque celle-ci se déplace par rapport à un observateur. On parle d'effet Doppler.
<b>Éditeurs de programmes</b>	Société de programmes éditrice de contenus.
<b>Embrouillage</b>	Codage d'un signal destiné à empêcher sa réception sans un dispositif spécifique assurant la fonction inverse.
<b>Guide électronique des programmes (EPG)</b>	Guide de télévision destiné à assister le téléspectateur dans ses choix de programmes et services associés.
<b>Multiplex de programmes</b>	Technique permettant de transporter plusieurs programmes dans un seul canal de télévision au lieu d'un seul programme diffusé dans le cas de la télévision analogique
<b>Must Carry</b>	Décret d'obligation de reprise imposé par le régulateur.
<b>Opérateur de multiplex</b>	Opérateur choisi par les éditeurs de programmes au sein d'un ou plusieurs multiplex, pour la commercialisation du bouquet de programmes. Cette société a un rôle de « syndic » du multiplex.
<b>Portabilité ou réception portable</b>	Mode de réception où le téléviseur est équipé d'une antenne intégrée ou jointe au récepteur. Il peut donc être déplacé d'un point à un autre mais la visualisation se fait en position immobile.
<b>Réaménagement</b>	Changement de fréquence d'émetteurs ou de réémetteurs analogiques en service, dont la fréquence actuelle risque d'être perturbée par une émission numérique en projet dans la région
<b>Réception fixe</b>	Mode de réception où le téléviseur est connecté sur une prise d'antenne râteau situé sur le toit de manière fixe.
<b>Réception mobile</b>	Mode de réception où la visualisation se fait dans un véhicule en déplacement. Le téléviseur est donc équipé d'une antenne intérieure où d'une antenne fixée sur le véhicule
<b>Réémetteur isofréquence ou gap filler</b>	Aussi connu sous « gap filler » : Emetteur numérique de faible ou très faible puissance, reprenant le signal reçu d'un autre émetteur numérique en service (dit émetteur pilote) et rediffusant le même signal sur la même fréquence que l'émetteur pilote.
<b>Réseau MFN</b>	Ensemble organisé d'émetteurs, analogiques ou numériques, utilisant des fréquences différentes, diffusant ou non le même contenu de programmes.
<b>Réseau SFN</b>	Ensemble organisé d'émetteurs numériques utilisant la même fréquence et diffusant obligatoirement le même contenu de programmes, avec synchronisation des signaux diffusés.
<b>Set-Top-Box (STB)</b>	Boîtier non intégré au téléviseur permettant au téléspectateur de recevoir sur son téléviseur analogique les signaux numériques.
<b>Simulcast</b>	Diffusion simultanée en analogique et numérique d'un même programme, sur les mêmes zones de couverture et sur deux fréquences distinctes, afin d'assurer une continuité de service en cas de remplacement par le téléspectateur du récepteur analogique par un récepteur numérique.
<b>Site point haut</b>	Site de diffusion implanté sur un point géographique élevé par rapport à l'ensemble des points dans une région donnée ou disposant d'un pylône de grande hauteur, et utilisé pour diffuser un signal sur une zone étendue.
<b>Triple play</b>	Offre de 3 services diffusés par le réseau haut débit ADSL combinant 3 flux audiovisuels, internet et téléphoniques
<b>Viterbi</b>	Nom tiré de l'inventeur d'une méthode de décodage du code « convolutif » de « précorrection » d'erreurs (débit)

## 9 Glossaire des abréviations

<b>AAC</b>	Advanced Audio Coding : Codage audio avancé utilisé pour la compression MPEG
<b>ADSL</b>	Asymmetric Digital Subscriber Line : ligne d'abonné numérique asymétrique
<b>AFORM</b>	Association Française des Opérateurs de Réseaux Multi-services
<b>ANFR</b>	Agence Nationale des Fréquences : Organisme assurant la gestion et le contrôle du spectre des fréquences radioélectriques en France. Il coordonne aussi l'action de la représentation française dans les négociations internationales pour ce domaine.
<b>BIFS</b>	Binary Format for Scene : Format binaire pour la description de scène
<b>COFDM</b>	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex : Multiplex par division de fréquences orthogonales codées
<b>CSA</b>	Common Scrambling Algorithm : Algorithme d'embrouillage spécifié par DVB
<b>CSA</b>	Conseil Supérieur de l'Audiovisuel : Autorité de régulation des services de communication audiovisuelle en France.
<b>DCT</b>	Discrete Cosine Transform : Transformée en cosinus discrète, utilisée en JPEG et MPEG
<b>DSLAM</b>	Digital Subscriber Line Access Multiplexor : Multiplexeur situé dans le central téléphonique et réunissant plusieurs lignes ADSL pour les connecter au gros tuyau d'un fournisseur.
<b>DVB</b>	Digital Video Broadcasting : Diffusion vidéo numérique
<b>DVB-H</b>	Digital Video Broadcast Handheld : norme de diffusion vidéo numérique issue du DVB-T et adaptée pour les récepteurs mobiles
<b>DVB-MHP</b>	Multimedia Home Platform : Moteur d'interactivité normalisé par le consortium MHP
<b>DVB-T</b>	Digital Video Broadcast Terrestrial : norme de diffusion de vidéo numérique terrestre
<b>DVD</b>	Digital Versatile Disc

<b>EPG</b>	Electronic Program Guide : Guide électronique de programmes
<b>ES</b>	Elementary Stream : Train binaire élémentaire
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute : Organisme établissant les normes européennes de télécommunications
<b>FCC</b>	Federal Communications Commission (FCC) : Organisme américain de réglementation des télécoms sous toutes leurs formes, en particulier du téléphone et de l'audiovisuel.
<b>FEC</b>	Forward Correction Error : Ensemble des dispositifs de correction d'erreur de transmission par adjonction de redondance calculée à l'émission ; relatif au codage de canal.
<b>FFT</b>	Fast Fourier Transform : Transformée de Fourier Rapide
<b>GOP</b>	Group Of Pictures : Groupe d'images MPEG débutant par une image de type I
<b>HD</b>	High Definition : résolution de 720 x 1280 pixels utilisée pour la télévision Haute Définition
<b>IPI</b>	Interested Parties Information : système utilisé dans le MPEG-4 permettant d'identifier pertinemment un ayant droit.
<b>ISO</b>	International Standard Organisation : Organisme de normalisation mondial
<b>JPEG</b>	Joint Photographic Expert Group : Groupe ayant développé la norme de compression d'images fixes
<b>MFN</b>	Multiple Frequency Network : Réseau à fréquences multiples
<b>MP@ML</b>	Main Profile at Main Level : Format vidéo principal du standard DVB
<b>MPEG</b>	Motion Pictures Expert Group : Groupe ayant défini les standards de compression d'images animées
<b>MPEG-4 H264</b>	Evolution majeure de la norme MPEG-4 qui offre un taux de compression de 2 à 3 fois plus élevé que le MPEG2 et de 1.5 à 2 fois plus élevé que le MPEG4 classique ; connu aussi sous MPEG-4 part 10 / AVC (Advanced Video Coding)
<b>MPTS</b>	Multiple Program Transport Stream : Train numérique composant un multiplex
<b>PES</b>	Packetized Elementary Stream : Train élémentaire MPEG sous forme de paquets
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation : Modulation d'Amplitude en Quadrature (ou MAQ)
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase Shift Keying : Modulation de phase à quatre états
<b>RS</b>	Notation abrégée du codage de Reed-Solomon
<b>SD</b>	Standard Definition : résolution de 576 lignes x 1024 pixels, actuellement utilisée en MPEG-2 et sur DVD,
<b>SFN</b>	Single Frequency Network : réseau à fréquence unique
<b>SPTS</b>	Single Program Transport Stream
<b>TDF</b>	TéléDiffusion de France
<b>TNT</b>	Télévision Numérique Terrestre
<b>TS</b>	Transport Stream : Train binaire de données
<b>TVHD</b>	TéléVision Haute Définition
<b>UHF</b>	Ultra High Frequency : Ultra haute fréquence Bande d'ondes décimétriques dont la longueur d'onde varie de 1 m à 10 cm et la fréquence de 300 Mhz à 3000 Mhz. Cette bande comprend les bandes IV et V (470 Mhz – 830 Mhz : canaux 21 à 65) utilisées pour la télévision.
<b>VHF</b>	Very High Frequency : Très haute fréquence Bande d'ondes métriques dont la longueur d'onde varie de 10 m à 1 m et la fréquence de 30 Mhz à 300 Mhz. Cette bande comprend la bande III (174 Mhz – 223 Mhz : canaux 5 à 10) utilisée pour la télévision.
<b>VRML</b>	Virtual Reality Modeling Language : Langage de modélisation de réalité virtuelle utilisé sur internet
<b>Wifi</b>	Contraction de « Wireless Fidelity » : Famille de normes de l'IEEE définissant les réseaux sans fils dans la bande de fréquence 2.400-2.480 GHz.

## 10 Table des illustrations

Tableau 1 : Simulation de poinçonnage FEC .....	20
Tableau 2 : Comparatif technique d'un récepteur analogique/numérique .....	27
Tableau 3 : Inventaire des émetteurs/récepteurs déployés (chiffre de 2000) [VIG05] .....	28
Tableau 4 : Contenu des multiplex au 24/03/2005 [CSA05].....	35
Tableau 5 : Perspective d'évolution des besoins en bande passante MPEG-4 [GTI04] .....	37
Tableau 6 : Comparatif des offres triple play [NET05] .....	40
Tableau 7 : Comparatif des différents modes de diffusion.....	41
Tableau 8 : Numérotation des chaînes gratuites de la TNT reprises sur les autres réseaux.....	45
Figure 1 : Chaîne simplifiée analogique.....	4
Figure 2 : Chaîne simplifiée numérique .....	5
Figure 3 : Occupation de la bande passante en analogique et en numérique .....	6
Figure 4 : Diffusion du standard DVB-T dans le monde [DVB05] .....	8
Figure 5 : Schéma global du fonctionnement de la TNT, Sources : [TDF01] .....	9
Figure 6 : Schéma détaillé de la chaîne DVB-T .....	10
Figure 7 : Séquence des principales opérations à l'émission.....	11
Figure 8 : Seuil d'audibilité (A) et masquage fréquentiel (D masqué par B) [BEN02].....	11
Figure 9 : Masquage temporel [BEN02] .....	12
Figure 10 : Enchaînement des 3 types d'images MPEG sur un GOP [GRI00].....	13
Figure 11 : Description d'une scène en hiérarchie BIFS [BUR99] .....	14
Figure 12 et 13 : Mise en paquets des données élémentaires en PES [BEN02] et al.....	17
Figure 14 : Hiérarchie du flux Transport Stream [IRI01] .....	17

Figure 15 : Organisation du flux de transport TS, SPTS et MPTS [IRI01] .....	17
Figure 16 : Opérateur de multiplexage [GRI00] .....	18
Figure 17 : Format des paquets transports protégés [BEN02] .....	19
Figure 18 : Codage convolutif DVB [MPE05].....	20
Figure 19 : Exemple sur 3 bits d'une modulation QAM.....	21
Figure 20 : Constellations pour une modulation QAM 16.....	22
Figure 21 : Signal direct et écho des ondes hertziennes [INA01] .....	22
Figure 22 : Symbole OFDM avec l'intervalle de garde [MPE05] .....	23
Figure 23 : Principe d'un récepteur numérique TNT [GRI00] .....	26
Figure 24 : Une bande analogique saturée [INA01].....	28
Figure 25 : Organisation et régulation de la TNT [CSA01].....	33
Figure 26 : Comparatif débit MPEG-2 / MPEG-4 [MPE05] .....	36

La numérisation des réseaux hertziens vient de se concrétiser avec le déploiement de la Télévision Numérique Terrestre en France. Ce projet, qui depuis 1996 a nécessité une forte collaboration entre acteurs techniques, politiques et commerciaux, a révolutionné le monde de l'audiovisuel avec une quinzaine de chaînes gratuites diffusées en qualité numérique.

Ce dossier présente tout d'abord les différents aspects de son élaboration, de la compression des signaux jusqu'à la réception chez le téléspectateur. Il met particulièrement en relief la technique de diffusion hertziennne numérique DVB-T. Ensuite les différents aspects de la TNT sont étudiés dans son contexte Français : réaménagements des fréquences, problème des zones frontalières. Puis sont traités son aspect juridique avec ses différents acteurs et multiplex, et une brève introduction sur le MPEG-4. Enfin, la TNT est mise en concurrence avec les autres modes de diffusion influencés par le décret d'obligation de reprise.

**Mots clés :** TNT, Télévision Numérique Terrestre, Diffusion Numérique Terrestre, DVB-T, Multiplex, COFDM, OFDM, Must Carry, MPEG, Set Top Box.

Digitalizing the microwave transmission network becomes reality as France officially launches its DTT services recently. This project, started since 1996 which required strong involvements between technical, political and commercial actors, is a major evolution in the world of audiovisual, with about 15 free channels broadcasted in high quality.

This report introduces the different aspects of its process, from signal compression right through reception to the audience. DVB-T technical steps are particularly detailed. Then it focuses on several topics about DTT in France: frequency reorganization, problem within border areas, legal aspects with its main actors, multiplex contents and MPEG-4 introduction in this context. Finally, DTT will be compared to the others broadcasting methods influenced by the French "Must Carry" law.

**Keywords:** DTT, Digital Terrestrial Television, Digital Video Broadcast Terrestrial, DVB-T, Multiplex, COFDM, OFDM, Must Carry, MPEG, Set Top Box.