

TABLE DES MATIÈRES

PRÉSENTATION SOMMAIRE DU GROUPE DE TRAVAIL **5**

I. INTRODUCTION ET SYNTHÈSE **8**

I. 1.	La numérisation du support hertzien présenterait des avantages importants	8
I. 2.	Plusieurs scénarios sont envisageables pour l'introduction de l'hertzien numérique	9
I. 3.	Objectifs de l'introduction de la télévision numérique de terre, place par rapport aux autres systèmes	10
I. 4.	L'approche de la planification des fréquences	10
I. 5.	Les principaux enseignements de l'étude	11
I. 6.	Pour aller plus loin	11

1. L'ÉVOLUTION VERS LE NUMÉRIQUE **15**

1. 1.	Les travaux sur les techniques de télévision numérique en Europe	15
1. 2.	La situation américaine	15
1. 3.	La CEPT - Les travaux du DSI phase II - La réunion de Chester 1997 et les perspectives européennes	16
1. 4.	La recherche et le développement industriels	21
1. 5.	Les systèmes de transmission de TV numérique	21

2. DESCRIPTION DE L'OCCUPATION DU SPECTRE DE TÉLÉVISION TERRESTRE **27**

2. 1.	Les bandes de fréquences TV	27
2. 2.	La planification des fréquences TV et les méthodes d'assignation des fréquences - L'accord de Stockholm de 1961 - La coordination aux frontières	31
2. 3.	Statistiques d'occupation des bandes de fréquences TV	33
2. 4.	Les diverses chaînes autorisées en Métropole	35
2. 5.	Eléments de comparaison	38
2. 6.	Comparaison avec l'étranger	42

3. PLANIFICATION DES RÉSEAUX DE TÉLÉVISION NUMÉRIQUE TERRESTRE **43**

3. 1.	Disponibilité de fréquences pour la télévision numérique terrestre - Généralités	43
3. 2.	La planification des fréquences pour la TV numérique	45
3. 3.	Critères techniques de planification du système DVB-T	48
3. 4.	Les sites de diffusion	51
3. 5.	Les typologies des réseaux de Télévision DVB-T	54

4. EXAMEN DE SCÉNARIOS DE DÉPLOIEMENT ET ESTIMATION DES RÉSULTATS **59**

4. 1.	Examen de 3 scénarios de déploiement de réseaux	59
4. 2.	Estimation des taux de couverture	59

4. 3.	Estimation des taux de couverture nationale	72
4. 4.	L'influence de la méthode de planification - Des décisions à prendre	75
4. 5.	Délais pour les études - Enjeux du calendrier	76
4. 6.	La recherche d'un calendrier	77

5. GAIN EN SPECTRE À UNE ÉCHÉANCE DE 10-15 ANS ET VALORISATION DE LA RESSOURCE SPECTRALE **79**

5. 1.	Gain en spectre théorique apporté par la télévision numérique	79
5. 2.	Valorisation du spectre libéré par la conversion de la télévision analogique en télévision numérique.	81
5. 3.	Quels services à long terme, pour les bandes libérées?	83
5. 4.	La nécessité d'une volonté politique pour réaliser la migration de l'analogique vers numérique	83

6. CONCLUSIONS ET PROPOSITIONS **85**

1)	Le mode MFN est le mode initial d'introduction du DVB-T	85
2)	Six réseaux de diffusion en numérique sont envisageables	86
3)	Un travail de planification détaillée est nécessaire	86
4)	Il faut prévoir une revue du spectre de télévision à l'horizon 2002	87

ANNEXES **89**

ANNEXE 1 -	Eléments de comparaison - Caractéristiques des réseaux (section 2.5)	90
ANNEXE 2 -	Liste des 107 sites de plus grande couverture servant aux estimations	91
ANNEXE 3 -	Commentaires écrits reçus à la suite de la présentation du 7 novembre 1997	96

GLOSSAIRE

DVB-T	Le système de radiodiffusion de terre spécifié par la norme de l'ETSI ETS 300-744. (Le terme est aussi employé pour le service de radiotélévision utilisant la norme DVB-T).
ETSI	European Telecommunication Standards Institute. Organisation européenne d'études et de production des normes techniques.
MFN (réseau multifréquence)	Un réseau de stations DVB-T utilisant différents canaux radioélectriques.
SFN (réseau monofréquence)	Un réseau de stations DVB-T synchronisées partageant le même canal radioélectrique et émettant des signaux identiques.
Station DVB-T	Une station du service de diffusion utilisant le système DVB-T.
Accord de Chester	Accord multilatéral de coordination signé en 1997 à Chester entre administrations CEPT.
Accord de Stockholm (1961)	Accord régional pour la zone européenne de radiodiffusion. Accord signé dans le cadre de l'UIT.
Bandes de fréquences III, IV et V	Bande III : 174 à 230 MHz Bande IV : 470 à 582 MHz Bande V : 582 à 862 MHz. (Les deux dernières sont continues et constituent en pratique une seule bande).
MVDS (Microwave Video Distribution System)	Système de diffusion par micro-onde, dans des bandes au-dessus de 1 GHz. Le terme MMDS (Multipoint Multichannel Distribution System) est aussi employé.
UER	Union Européenne de Radiodiffusion. Réunion des radiodiffuseurs et de chaînes européennes.
CEPT	Conférence Européenne des Administrations des Postes et Télécommunications qui regroupe 43 pays européens.

*

PRESENTATION SOMMAIRE DU GROUPE DE TRAVAIL

Le présent rapport du *groupe de travail sur l'ingénierie du spectre de la télévision numérique terrestre* étudie l'introduction du service de télévision numérique terrestre DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) et examine les ressources en fréquences disponibles.

Ce groupe de travail, constitué à la demande de M. Jean-Marc CHADUC, Directeur général de l'Agence nationale des fréquences, et confié à M. Jean-Jacques GUITOT de l'Agence nationale des fréquences, comprenait des membres de l'Agence nationale des fréquences, du Conseil supérieur de l'Audiovisuel, du ministère chargé de l'industrie (Direction générale des stratégies industrielles), du ministère de la culture et des experts de TDF.

La liste des membres sollicités dans ce groupe de travail est donnée ci-après. Il a réuni les compétences d'experts engagés par ailleurs au sein de :

- l'organisme européen de normalisation l'ETSI qui normalise les spécifications issues du consortium DVB, dont la partie spécifique au terrestre ;
- l'UER et des projets de validation de la norme ;
- la CEPT, soit au Comité européen des radiocommunications (ERC), soit dans le groupe spécialisé du "Frequency Management Group" soit dans le "Spectrum Engineering Group" et de la Conférence multilatérale de coordination de Chester 1997.

Certains de ses membres participent au groupe de travail sur les récepteurs hertziens numériques de la Direction générale des stratégies industrielles.

M. Jean-Marc CHADUC - ANFR
M. François RANCY - ANFR
M. François SILLARD - ANFR
M. Pierre CONIL - ANFR
M. Michel POPOT - ANFR
M. Dominique-Jean ROLFO - ANFR
M. Guy BRUN - ANFR
M. Olivier MARZOUK - ANFR
M. Jean-Jacques GUITOT – ANFR

Mme Patricia LANGRAND - Industrie
M. François MOREAU de SAINT-MARTIN
– Industrie
M. Michel DONZELLE - CSA
M. Jean LEMAIRE - CSA
M. Gérard FIDERSPIL - TDF
M. Alain SCHLATTER - TDF
M. François-Xavier GEORGET - SJTI
Mme Marie-Françoise LE TALLEC - SJTI
M. Gérard GAUCHERELLE - ANFR

L'objectif du groupe de travail a été de proposer des scénarios en termes de planification de fréquences permettant à terme l'arrêt de l'analogique. Il a déterminé la capacité du nombre de réseaux avec le taux de couverture envisageable pour un déploiement rapide, sachant que le taux de couverture s'améliorera au cours des années avec l'arrêt de l'analogique.

Les membres du groupe de travail se sont régulièrement réunis d'avril 1997 à janvier 1998 pour étudier les possibilités d'introduction de la télévision numérique de terre. Le groupe de travail s'est appuyé sur les compétences techniques des participants, sur les données fournies par les industriels du secteur de la télévision et par le groupe de travail de l'industrie sur les récepteurs hertziens numériques. Les critères techniques généraux de planification se réfèrent à ceux retenus dans l'Accord multilatéral de coordination de Chester 1997, auquel ont participé des membres du groupe de travail, soit pour le préparer à l'occasion des réunions du groupe de travail de la CEPT, soit au cours de la réunion exceptionnelle de Chester en juillet 1997.

Les affectataires des fréquences concernées par ce projet et les professionnels de la télévision (production, diffusion et industriels) ont été invités à une présentation des premières réflexions du groupe et à faire connaître leur avis au cours d'une réunion qui s'est tenue le 7 novembre 1997 à Maisons-Alfort. Ils étaient représentés par :

M. BOIGEGRAIN (ministère chargé des télécommunications – DPT)	M. SITTERLIN (SAGEM)
M. QUENTEL (ministère de la défense – BMNF)	MM. LANDAIS et HENRARD (Thomson Multimédia)
M. RABET (ART)	M. BASSET (DASSAULT AT)
M. MATTATIA (ministère de l'intérieur – DTI)	M. GUINET (PHILIPS et SIMAVELEC)
M. LE RAVALLEC (SIMAVELEC)	M. NGUYEN (PHILIPS)
M. M. MAILLOUX (GITEP)	M. LAHONDE (EMETTEL)
M. GELAS (MATRA-Communication et GITEP)	M. BOUY (HIRSCHMANN)
M. VASSEUR (THOMCAST et GITEP)	M. LEGENDRE (France 3)
M. COUSTEL (FRANCE TELECOM)	M. FONTAINE (France 3)
	M. HUMBERT (TF1)
	M. DECLERCK (CANAL +)

Le Conseil Supérieur de l'Audiovisuel était représenté par M. DONZELLE qui était parmi les membres du groupe de travail, présents à cette réunion.

Il a été tenu compte des commentaires exprimés au cours de la présentation et des commentaires écrits adressés à l'Agence nationale des fréquences par :

- l'Autorité de régulation des télécommunications,
- le ministère de la défense,
- Radio France,
- la société EMETTEL,
- le Syndicat des industries de matériels audiovisuels électroniques (SIMAVELEC)
- la Fédération des entreprises industrielles et commerciales internationales de la mécanique et de l'électronique (FICIME).

Les copies des commentaires sont jointes en annexe au rapport.

I. INTRODUCTION ET SYNTHÈSE

L'arrivée des techniques numériques révolutionne le secteur de la télévision. Le numérique se développe rapidement dans le domaine de la télévision par satellite, avec une offre de service importante, une croissance significative du nombre d'abonnés et des terminaux à des prix grand public. Les opérateurs de réseaux câblés se lancent également dans les techniques numériques, qui leur permettent d'accroître leur offre de programmes et de proposer des accès Internet large bande. Normes et composants sont disponibles.

La numérisation de la télévision hertzienne est une préoccupation actuelle dans de nombreux pays. La Grande-Bretagne, les Etats-Unis, la Suède ont déjà pris d'importantes mesures pour définir les conditions de l'introduction de la télévision numérique de terre. Depuis juillet 1997, des réflexions sont menées dans les autres pays.

En France, le gouvernement a confié à M. Philippe Levrier une mission début 1996 sur ce sujet¹. Le rapport Levrier a donc recommandé une étude de planification de fréquences pour évaluer la faisabilité du scénario qu'il préconise et qui vise l'arrêt à terme de la diffusion en analogique, et c'est dans le prolongement de cette mission que l'Agence Nationale des Fréquences a reçu mandat d'établir le présent rapport relatif à la planification du spectre de la télévision numérique de terre.

En janvier 1998, le programme d'action gouvernemental " *Préparer l'entrée de la France dans la société de l'information* " a noté l'intérêt de la télévision numérique et a inscrit l'expérimentation de la numérisation des réseaux hertziens terrestres. Ce programme souligne les enjeux industriels et économiques importants de la numérisation.

I. 1. La numérisation du support hertzien présenterait des avantages importants

D'abord, elle susciterait un formidable appel d'air sur le marché de l'audiovisuel grand public en créant **l'opportunité d'un renouvellement général du parc des terminaux et donc d'une activité économique majeure.**

Ensuite, la numérisation de l'hertzien permettrait **une meilleure gestion des fréquences et la possibilité de récupération à terme d'un spectre important** pouvant servir au développement de nouveaux services, grâce à la suppression de la diffusion hertzienne terrestre analogique. Cela pourrait représenter de 88 à 160 MHz suivant les hypothèses, soit l'équivalent de 2 fois les attributions actuelles du radiotéléphone GSM. Même s'il convient de procéder à un examen plus précis pour savoir quel serait le spectre libéré par l'arrêt de la

¹ La télévision numérique terrestre - Une technologie en quête d'usage - mai 1996

diffusion analogique, la disponibilité annoncée d'une telle quantité de fréquences, dont la valeur économique va croissant, mérite d'être considérée.

La numérisation pourrait aussi permettre **un accroissement du nombre de programmes transmis** par voie hertzienne à un coût unitaire décroissant, accroissement relatif significatif même s'il n'est pas équivalent aux possibilités du câble et du satellite. La qualité pourrait être améliorée et des facilités nouvelles offertes telle la réception sur terminaux portables.

Enfin la numérisation de l'hertzien pourrait faire de ce support **l'un des vecteurs de l'accès aux autoroutes de l'information**. Elle serait un vecteur puissant pour la convergence des technologies vers le tout numérique.

Au total la numérisation de l'hertzien apparaît comme l'opportunité majeure d'un renouvellement du secteur porteur de grandes perspectives économiques.

I. 2. Plusieurs scénarios sont envisageables pour l'introduction de l'hertzien numérique

Le rapport Levrier proposait trois modèles théoriques d'introduction :

1. Bouquet hertzien payant, dans les zones où les fréquences seraient disponibles, hissant l'hertzien au niveau du câble analogique (scénario dénommé dans le rapport "bouquet hertzien") ;
2. Transition vers le tout numérique et suppression à terme de la diffusion analogique après une période de diffusion simultanée des programmes, avec passage au récepteur de télévision numérique pour tous et à terme une optimisation de l'utilisation du spectre (scénario "télévision du futur" dans le rapport) ;
3. Utilisation de l'hertzien numérique comme vecteur de diffusion du multimédia vers des terminaux munis d'interfaces appropriées fixes ou portables (scénario dit des "autoroutes des ondes").

Aux Etats-Unis, l'introduction du numérique hertzien dans le cadre de la "grande alliance" relève du 2ème scénario. Le Royaume-Uni s'oriente, quant à lui, vers un scénario hybride mixant des objectifs de bouquet payant et de transition vers le tout numérique.

Cependant, la norme retenue pour les marchés européens, adoptée début 1997, à partir des spécifications techniques retenues par DVB fin 1995, devrait encore être qualifiée. C'est l'objet du programme de recherche ACTS Validate et les principaux résultats sont déjà obtenus. Plus précisément, cette norme s'appuie sur une technique de modulation numérique multiporteuse du même type que celle utilisée pour le DAB. Elle permet la réalisation de grands réseaux monofréquence, une grande souplesse de planification, notamment grâce aux perspectives de réémission isofréquence, une bonne résistance aux échos d'où la possibilité de réception par des terminaux portables stationnaires voire mobiles, la réutilisation de la majorité des antennes actuelles et des distributions câblées (pour un faible coût d'adaptation

pour ces derniers²). Une expérimentation en vraie grandeur apparaît indispensable pour évaluer tous les problèmes d'ingénierie que peut susciter la mise en œuvre de cette nouvelle technique.

I. 3. Objectifs de l'introduction de la télévision numérique de terre, place par rapport aux autres systèmes

Sur la base de ces éléments réunis par la mission Levrier, le groupe a formulé les objectifs suivants pour l'introduction de la télévision numérique de terre, dans le cadre du scénario n° 2 : “ télévision du futur ”.

1. Le scénario se propose comme but de remplacer la radiodiffusion de terre en analogique, considérée comme consommatrice de fréquences par rapport à la diffusion en numérique et qui est en bout de capacité d'évolution. En France, contrairement à d'autres pays européens, la télévision hertzienne est le mode le plus courant de réception de la télévision (plus de 85% des foyers), le câble et le satellite touchant respectivement 2,2 et 1,2 millions de foyers environ au début de 1997 (source : association des Villes Câblées, OMSYC). Sa place est centrale dans le rôle de service public et de cohésion sociale. Il n'est pas envisageable de couper la diffusion analogique tant que tous les foyers ou presque ne disposent pas d'un autre mode de réception. Cette mutation technologique s'accompagnera du développement de l'offre de service, sans empiéter sur le marché du câble et du satellite.
2. Il est peu plausible que même à long terme tous les foyers soient raccordés au câble ou à la réception satellite, et de plus, il existe des récepteurs portables, qui fonctionnent, malgré une qualité médiocre, en réception hertzienne avec une antenne intérieure. Il apparaît donc indispensable, pour que l'arrêt de la diffusion analogique puisse se produire un jour, que la diffusion hertzienne numérique s'y substitue, ce qui passe nécessairement par une période de double diffusion analogique numérique.
3. **La télévision numérique de terre doit offrir un service de base renouvelé à la majorité des français, dans des conditions plus économiques et sans interférer avec le marché du câble et du satellite.**

I. 4. L'approche de la planification des fréquences

L'objectif du groupe de travail est de “proposer des scénarios en termes de planification de fréquences permettant à terme l'arrêt de la diffusion en analogique ”.

² La question de la réutilisation des antennes existantes est développée dans le rapport de la DGSI

L'objectif est de dégager une ressource ayant la couverture la plus grande possible pour les programmes actuels diffusés en analogique, c'est à dire les 6 chaînes nationales. Elle sera complétée par des ressources supplémentaires ouvertes à de nouveaux services.

Les fréquences dégagées serviront à réaliser des réseaux transportant chacun plusieurs programmes multiplexés sur chaque canal radioélectrique grâce à la technique numérique du DVB-T. Suivant le service retenu (par exemple, réception sur antenne fixe, réception pour portables, TV haute définition), le nombre de programmes peut être différent d'un canal à l'autre. Le canal radioélectrique transportant plusieurs programmes est aussi appelé multiplex.

I. 5. Les principaux enseignements de l'étude

Une analyse technique au premier ordre permet d'affirmer qu'il est possible de déployer rapidement, en parallèle à la diffusion analogique actuelle, des réseaux de diffusion en numérique desservant l'essentiel de la population, dans un délai de trois ou quatre années.

Un objectif de desserte rapide de 80 % de la population par 4 multiplex transportant typiquement 16 programmes numériques apparaît crédible, 60% de la population pourrait bénéficier de 2 multiplex transportant 8 programmes complémentaires. Au-delà de cette couverture de base, une couverture plus dense pouvant atteindre toute la population devrait être progressivement recherchée par l'appoint de moyens variés : réémetteurs, MVDS et satellite et par un réaménagement progressif du spectre disponible pour la radiodiffusion, c'est à dire par une conversion des assignations analogiques en assignations numériques.

Une démarche volontariste en cette direction est nécessaire si l'on veut provoquer la dynamique nécessaire et la réorganisation progressive du spectre. Si un tel mouvement d'ensemble n'est pas lancé, le passage en numérique ne se fera sans doute pas. La motivation pour une mutation générale du service et de l'infrastructure ne se produira pas, le numérique étant cantonné dans des "niches".

Le déploiement de cette infrastructure numérique se fera avec des réaménagements locaux touchant une frange mineure de téléspectateurs (inférieure à 5%). Des dispositions incitatives pourront être analysées.

L'ensemble de la transition vers le tout numérique prendra environ 15 ans. Après l'arrêt de l'analogique, il sera possible de voir 99% des Français recevoir 30 programmes.

Il est important que la France affiche l'ambition de déployer 6 multiplex numériques nationaux si elle veut défendre ses intérêts face aux pays européens frontaliers.

I. 6. Pour aller plus loin.....

Des études techniques approfondies de planification sont nécessaires et pourraient durer un ou deux ans. Elles devraient se dérouler en parallèle avec les travaux de coordination européens. Afin d'accélérer ces travaux de planification et préserver la ressource fréquentielle nécessaire au déploiement des futurs réseaux numériques, il est proposé de constituer un groupe de

travail sous la conduite du CSA. Ce groupe aura pour principale mission l'élaboration d'un plan de fréquence national pour la télévision numérique de terre en recherchant la ressource requise pour la diffusion des 24 programmes mentionnés ci-dessus. Un projet de mandat à confier à ce groupe est proposé à la page suivante.

Une réflexion relative à la régulation associée à cette mutation doit également être conduite.

Une proposition de mandat du groupe de travail
pour l'élaboration d'une planification de fréquence
de télévision numérique de terre

La mission confiée au groupe d'étude de la planification détaillée préconisée pourrait être la suivante, à remplir dans un délai de deux années :

- i) Elaborer une planification de fréquence détaillée à une échéance de 2 à 3 ans pour l'établissement de 6 réseaux DVB-T pour au moins 80 % de la population desservie. L'élaboration se décomposera en deux phases. La première déterminera les fréquences précises à assigner sur les sites principaux des réseaux. La seconde donnera les fréquences supplémentaires pour le réaménagement des sites du réseau secondaire en analogique. Cette planification sera optimisée pour permettre la desserte de programmes dont le nombre aura préalablement été fixé ainsi que leur priorité de déploiement et de couverture ;
- ii) Etudier les coordinations des fréquences aux frontières en fonction des critères techniques du Plan de Stockholm 61 et de l'Accord de Chester 97 et proposer les solutions optimales pour l'utilisation du spectre dans les zones frontalières. Pour cela, il fera développer et mettre en place les outils informatiques nécessaires à l'application de l'Accord de Chester ;
- iii) Etudier et proposer les réaménagements des réseaux de télévision analogique que l'on peut raisonnablement faire, notamment parmi les réémetteurs, afin d'optimiser le déploiement d'un plan de fréquences pour le numérique ;
- iv) Proposer les solutions techniques de déploiement de réseaux lorsque certaines solutions présentent un intérêt certain sur l'économie d'utilisation du spectre ;
- v) Faire si nécessaire des propositions en matière de réglementation technique ;
- vi) Participer aux réunions de la CEPT et aux réunions internationales relatives à la télévision numérique de terre.

Cette mission suppose fixé le cahier des charges du service de télévision numérique de terre.

*

Parallèlement mandat serait donné à l'Agence Nationale des fréquences de conduire certaines actions nécessaires à la mise en œuvre de cette planification lorsqu'elles requièrent la coopération d'autres ministères et autorités affectataires.

C'est ainsi que devrait être étudiées :

- Le partage éventuel de fréquences actuellement gérées par la Défense ;
 - Les besoins des auxiliaires de radiodiffusion (microphones sans fil) gérés par l'ART.
-

1. L'EVOLUTION VERS LE NUMERIQUE

1. 1. Les travaux sur les techniques de télévision numérique en Europe

Les travaux européens sur la TV numérique lancés depuis 1990, ont abouti en 1993 à la création d'une organisation nommée "Digital Video Broadcasting Project" (DVB Project) rassemblant des diffuseurs, des constructeurs, des régulateurs et administrations avec la signature d'un Mémorandum of Understanding (MoU). Depuis 1993, plus de 200 organismes (pouvoirs publics, centres de recherche) et entreprises (chaînes de télévision, industriels, opérateurs de réseaux) l'ont signé.

Les signataires ont adopté la standardisation des spécifications ISO/MPEG2³, standard mondial pour le codage de source vidéo, audio et le multiplexage des signaux. DVB a défini des spécifications de diffusion sur câble, satellite, hertzien et micro-onde.

Par ailleurs, le forum DVB a permis de normaliser un algorithme commun d'embrouillage/désembrouillage, c'est à dire d'obtention d'un signal incompréhensible (embrouillé) à partir d'un signal en clair et d'une clé secrète appelée mot de contrôle (embrouillage), et réciproquement d'obtention du signal en clair à partir du signal embrouillé et du mot de contrôle (désembrouillage). En revanche, le reste du système de contrôle d'accès, à savoir la constitution et la transmission des messages comportant des droits des consommateurs et les mots de contrôle chiffrés n'est pas normalisé, et plusieurs systèmes coexistent en Europe. Pour gérer la coexistence de plusieurs systèmes de contrôle d'accès, DVB a proposé et reconnu deux solutions techniques connues sous le nom de Simulcrypt et de Multicrypt.

DVB a normalisé également les informations sur les services (SI), les protocoles pour les services interactifs, les voies de retour par voie téléphonique et par certains supports physiques (réseaux câblés).

L'ensemble des spécifications a été normalisé en 1997, par les organismes de normalisation ETSI, pour les normes concernant les signaux et les protocoles, et le CENELEC pour les normes concernant les équipements. Les organismes français (centres d'études, industriels, opérateurs de contenus, opérateurs de réseaux) ont largement contribué à ces travaux.

1. 2. La situation américaine

Précédant les Européens, les Etats-Unis d'Amérique avaient lancé un projet de numérisation de la diffusion TV. L'organisme de régulation fédéral, la FCC - Federal Communications

³ - Motion pictures experts Group (groupe ayant défini les standards de compression d'images animées)
Les débits et les applications importantes dans le cadre de la norme MPEG peuvent être résumés ci-après :

	Débits	Qualité	Exemple d'applications et de services
MPEG 1	1,5 Mbits/s	Vidéo disques, multimédia VHS	DAT, vidéodisques, CDI
MPEG 2	2 à 30 Mbits/s	TV (4 Mb/s) à TV HD (>15 Mb/s)	Multimédia, DVD, Diffusion TV, ATM
MPEG 4	Plusieurs dizaines kbits/s à plusieurs dizaines de Mb/s	En définition. Visiophonie à la TVHD	Multimédia

Commission, a voté unanimement le 3 avril 1997, l'attribution gratuite de canaux "numériques" à l'ensemble des 1600 stations de télévision. Elles peuvent dès à présent obtenir sur simple demande la mise à disposition de ces fréquences. La FCC préconise un programme de mutation de l'analogique vers le numérique et recommande un système mis au point par un consortium d'industriels (ATSC). Afin d'accélérer la transition, la FCC a adopté les décisions suivantes :

- les principaux réseaux sont tenus de diffuser un signal numérique dans deux ans (fin 1999) sur les trente plus importants marchés correspondant à 30% des foyers et croissant à 50% en l'an 2000,
- la transition devra être établie en mai 2002, pour toutes les chaînes commerciales (1200),
- et en mai 2003, pour toutes les chaînes publiques (400),
- les obligations de transferts s'accompagnent aussi d'attribution de fréquences supplémentaires. Le transfert de l'analogique vers le numérique devrait prendre une dizaine d'années. Donc, à partir de 2006 ou lorsque 85 % des foyers seront numérisés, toutes les émissions analogiques devront avoir cessé et les fréquences seront alors disponibles. La largeur de bande ainsi libérée sera de 138 MHz, qui rapporterait au budget américain une somme estimée entre 40 et 70 milliards de dollars. Cette mutation représente pour les industriels, un renouvellement de 25 millions de terminaux par an et, une ouverture de nouveaux horizons pour ce marché.

Les diffuseurs doivent émettre au moins un programme en clair, avec une obligation de simulcast pendant les 6 à 8 premières années. Les opérateurs peuvent diffuser des services nouveaux de TV payante etc. En outre, il est envisagé d'utiliser la télévision numérique hertzienne pour offrir un service de télévision haute définition, sans qu'il soit toutefois obligatoire.

Cependant, dans la réalité, les opérateurs sont plus réticents car les retours sur investissements ne sont pas démontrés. Sur les 1600 opérateurs, seulement une dizaine ont engagé le transfert, la majorité ne voit pas l'intérêt d'investir dans l'immédiat. Par ailleurs, il faut noter que les productions audiovisuelles sont peu numérisées.

Enfin, on note que la norme DVB fait son entrée aux USA pour la diffusion directe par satellite.

1. 3. La CEPT - Les travaux du DSI phase II - La réunion de Chester 1997 et les perspectives européennes

1.3.1. Le DSI phase II

Le Bureau européen des radiocommunications (ERO), bureau permanent de la Conférence européenne pour les radiocommunications (CEPT-ERC) qui regroupe 43 pays, a lancé l'examen détaillé des bandes de fréquences entre 29.7 et 960 MHz. Les résultats de cet examen ont abouti en mars 1995 à une série de recommandations soumises à commentaires. Elles sont décrites dans le document : " Results of Detailed Spectrum Investigation – DSI Phase II: 29-7 - 960 MHz and Call for Comments ".

Le DSI phase II traite du service de diffusion dans son chapitre 7 et plus particulièrement de la télévision. Il établit la recommandation suivante sur l'introduction de la télévision numérique :

- Début 1997 : approbation des paramètres de planification
- Début 1998 : réunion CEPT sur la planification en vue de l'introduction de la télévision numérique
- Fin 1998 : introduction de la télévision numérique
- 2005 : conférence de l'UIT pour
- déterminer les exigences futures pour la télévision numérique
 - révision de l'Accord de Stockholm de 1961
 - planification de la fin du service TV analogique
- A partir de 2008 : élimination progressive de la télévision analogique
- A partir de 2020 : soumission à révision pour une utilisation des bandes 174-216 MHz et éventuellement 470-510 MHz pour d'autres services

Ce programme sur 10 ans est ambitieux, une période plus longue sera sans doute nécessaire pour effectuer en Europe une transformation totale de la diffusion analogique vers une technique numérique.

L'examen de cette recommandation est toujours en cours. D'ailleurs, l'ERC⁴ a indiqué dernièrement que, "s'il accepte le principe de cette recommandation du DSI II, il considère qu'il ne semble pas réaliste de revoir l'Accord de Stockholm et l'Accord de Genève 1984 à une seule et même conférence de l'UIT. Il indique que le groupe FM réalise des études prenant en compte le calendrier et les options d'introduction du DVB-T. Il note aussi l'importante période de transition recommandée (25 ans) pour éliminer progressivement l'analogique ; il pense que de 7 à 12 ans seraient nécessaires. Il indique qu'il lui semble important que l'ETSI développe en temps voulu le standard nécessaire. "

Le programme est lancé puisqu'une réunion CEPT a eu lieu en juillet 1997 et a abouti à un accord multilatéral de coordination de fréquences. Cet Accord permettra donc de faciliter le lancement de la télévision numérique de terre en Europe.

1.3.2. Les décisions des pays européens

Le Royaume-Uni a été le précurseur dans le lancement du DVB-T. Les autres pays ont évolué au cours de l'année 1997, surtout après la réunion de Chester. La mutation de l'analogique

⁴ - ERC Response to the recommendations of DSI Phase II – lettre ERO du 9 décembre 1997

vers le numérique est acquise. Les Etats européens lancent des expérimentations et modifient leur législation lorsque c'est nécessaire pour pouvoir introduire la télévision numérique de terre.

a) du Royaume-Uni

Le Royaume-Uni est en avance sur les autres pays d'Europe. Il a travaillé de manière significative sur le sujet de la télévision numérique, avec comme objectif l'ouverture des services pour mi-1998. Les appels à candidatures pour les multiplex ont eu lieu en début 1997. A côté des chaînes du service public, des licences ont été données à des chaînes commerciales. Au total 6 réseaux (6 multiplex, chaque multiplex diffusant 4 ou 5 programmes) ont été autorisés. Les trois premiers ont été attribués aux chaînes existantes (BBC, ITV, Channel 4 et Channel 5) ; les 3 autres à BDB (consortium regroupant Carlton et Granada avec l'appui des programmes de BSkyB et de BBC). Le démarrage commercial est prévu pour l'automne 98.

Il est annoncé des pourcentages de couverture. Il est affiché que le premier réseau devrait couvrir 90 % de la population, le second ayant une couverture moindre, et ainsi jusqu'à sixième qui ne couvrirait que 69 % de la population. Les couvertures sont prévues pour des réseaux à fréquences multiples (MFN) et pour des antennes fixes sur les toits. Les exploitants diffusent le numérique et l'analogique en simulcast. Toutefois, l'Administration britannique doit encore obtenir la coordination des fréquences pour autoriser les émissions desservant les zones prévues, notamment Londres et la partie à l'est de la ville.

Les candidats s'appuient sur les opérateurs de diffusion réutilisant les sites d'émission existants : NTL et Castle Transmission International. Ce dernier est issu de la privatisation de cette partie de la BBC et il a TDF comme un des actionnaires.

Il est à noter que les services annexes ne peuvent pas dépasser 10 % de la capacité.

Un groupe de travail (DTG - Digital Television Group) réunissant plus de 60 acteurs (chaînes, diffuseurs et industriels) étudie l'interopérabilité des équipements, le choix des options que propose la norme.

A la suite de l'Accord de Chester de juillet 1997, le Royaume-Uni a lancé les procédures formelles de coordinations de fréquences.

La date d'arrêt de l'analogique n'est pas fixée, cependant il est évoqué un arrêt 5 ans après le démarrage ou lorsque 50 % de la population serait desservie. Une nouvelle discussion est introduite pour une revue du spectre de la TV à l'horizon 2002. Ce dernier point est à retenir lors de la discussion sur la valorisation du spectre de télévision qui est discutée au chapitre 5 du présent rapport.

b) des pays nordiques

La Suède a établi une loi sur le sujet et a pris une décision pour 2 multiplex pour une couverture nationale pour la télévision du service public. Elle s'oriente vers la réalisation de réseaux destinés à la couverture pour des récepteurs portables (SFN - Synchronised frequency network). Deux réseaux desserviront 50 % de la population pour fin 98.

Les diffuseurs finlandais s'organisent pour développer la technologie dans leur pays. Un réseau expérimental – transport et diffusion- existe à Helsinki.

Une plate-forme technique commune aux 5 pays nordiques (Danemark, Finlande, Islande, Norvège, Suède) a été décidée en novembre 1997. L'objectif est de permettre de recevoir tous services numériques d'origine nordique.

c) de l'Espagne

L'Espagne a défini le cadre réglementaire et envisage une proposition pour 5 multiplex nationaux et 4 multiplex régionaux. Elle annonce des réseaux SFN nationaux (l'ingénierie de ces réseaux est à examiner et leur réalisation à suivre en détail). Elle démarre un SFN sur la région de Madrid. Les fréquences utilisées sont celles réservées jusqu'à présent aux forces armées, il s'agit des canaux 66-68 pour les SFN nationaux, 57-65 pour les SFN régionaux. Les autres fréquences serviront aux réseaux multifréquences.

L'opérateur national RETEVISION et les constructeurs espagnols sont très dynamiques sur le DVB-T au sein du groupe européen Validate, et ils ont constitué un projet de recherche et développement national (Viditer).

d) de l'Allemagne

Depuis la nouvelle loi sur les télécommunications, l'évolution se fait sentir en Allemagne. L'administration allemande était réservée quant à l'évolution vers le numérique. Le câble est largement répandu et le satellite est aussi important (respectivement 58,3 % et 23,3 % des récepteurs). Le besoin de la télévision hertzienne numérique ne concernerait qu'une dizaine de pour cent de la population non desservie par le câble, même si aujourd'hui l'hertzien dessert 18%. Le gouvernement fédéral a lancé une étude. Les objectifs à terme sont : augmenter le nombre de programmes terrestres, passant de 4-7 à 20-30, développer des programmes régionaux, fournir un moyen pour des futures possibilités multimédias. Le but est d'arrêter l'analogique à un horizon 2008-2010.

Elle procède à des expérimentations à Berlin et à Brême.

On notera la forte activité dans les domaines de recherche et industriel de ce pays (production des émetteurs, circuits intégrés, interactivité, etc). On notera que la société Rhode et Schwarz est un des principaux fournisseurs des stations d'émission des réseaux DVB-T en Grande-Bretagne.

e) des Pays-Bas

Les Pays-Bas ont publié une nouvelle loi introduisant la compétition entre opérateurs. Ils ont lancé une expérimentation d'un SFN et envisagent pour l'avenir des SFN nationaux qui apparaissent bien adaptés à la superficie modeste de ce pays. Son opérateur national NOZEMA est très actif.

f) de la Belgique

La télévision est largement distribuée par le câble en Belgique. L'intérêt pour la diffusion hertzienne est moindre et il s'oriente vers la portabilité. La Belgique étudie des projets pour ses différentes communautés linguistiques.

g) de l'Italie

L'Italie est très active à travers ses laboratoires (RAI notamment) et ses industriels. Aucun projet de DVB-T n'est connu à ce jour, mais très vraisemblablement, comme ses homologues européens, son administration se lancera sur des projets DVB-T.

1. 3. 3. La réunion extraordinaire du groupe FM de la CEPT et l'Accord de Chester 97

A l'invitation de la Radiocommunications Agency, les administrations des pays de la CEPT se sont réunies à Chester en juillet 1997 pour une réunion extraordinaire du groupe FM afin d'étudier et de fixer les critères techniques, les principes et les procédures de coordination de la télévision numérique de terre. Cette réunion a été suivie d'une réunion multilatérale des administrations qui ont signé l'accord multilatéral basé sur les résultats des travaux du FM.

Cet accord fixe la norme DVB-T comme norme européenne et dans ses annexes donne notamment :

- les bandes de fréquences ;
- les critères techniques à utiliser pour l'introduction du DVB-T,
- les conditions de compatibilité avec les autres services de radiocommunication ;
- ainsi que les règles de procédure de coordination et d'analyse de compatibilité, les structures de fichier, etc.

1. 3.4. Les objectifs européens

Les réseaux de diffusion télévisuelle ont été établis jusqu'à présent dans un cadre national. Le résultat est une grande variété de normes plus ou moins compatibles, avec des canalisations différentes, à l'exception des bandes IV et V. En dehors des services nouveaux apportés par la technologie numérique, la numérisation des fréquences hertziennes de la télévision permettrait d'apporter une normalisation des systèmes ainsi qu'une meilleure utilisation des fréquences en Europe.

La télévision numérique de terre DVB-T présente globalement les avantages suivants :

- une meilleure efficacité spectrale par rapport aux systèmes analogiques puisqu'un seul canal de 8 MHz peut transporter plusieurs programmes (plus de 4 en général) au lieu d'un seul en analogique ;
- une plus grande flexibilité de planification des fréquences avec notamment l'emploi de réseaux monofréquence (DVB-SFN) ;
- la possibilité de réduire les puissances d'émission par rapport à la situation actuelle ;
- la possibilité de créer des réseaux de diffusion pour les équipements terminaux portables. Cette perspective permet de s'affranchir dans de nombreux cas des antennes de toit et de rendre le poste transportable dans les appartements sans connexion à l'antenne. Elle ne doit pas être confondue avec la mobilité des terminaux comme celle que connaît un véhicule en déplacement.

En résumé, ces éléments laissent envisager les perspectives de création d'un marché européen de terminaux de télévision numérique, une meilleure planification des fréquences en adoptant des critères communs à toutes les administrations, permettant d'obtenir à terme un gain en fréquences (à définir), celles-ci pourraient être affectées à d'autres services.

L'Accord de Chester prend en considération les perspectives ci-dessus et sera suivi d'autres réunions multilatérales pour les coordinations ou les transformations d'assignations de fréquences. Si l'introduction de la TV numérique s'avère être un succès, une nouvelle conférence CEPT (vers 2000-2003) pourra planifier les fréquences et définir la transition vers le tout numérique. L'Accord de Stockholm pourra être abrogé et remplacé par un nouveau plan "tout numérique" vers 2005.

1. 4. La recherche et le développement industriels

Les industriels de l'électronique grand public ont bien compris que leur avenir passe par la numérisation des systèmes : Thomson Multimédia avec DSS, Sagem avec TPS, Philips avec Canal Satellite ont d'ores et déjà livré des centaines de milliers de décodeurs numériques pour le satellite.

La numérisation du câble est en cours, et constitue à nouveau un enjeu industriel majeur, et l'hertzien va suivre d'ici quelques années, dans certains pays en tous cas. Les industriels l'ont anticipé et proposent maintenant des offres d'équipements d'infrastructures de réseaux de diffusion terrestre, aussi bien pour des réseaux en mode MFN qu'en mode SFN pour des réalisations locales et nationales.

En parallèle à l'avènement des décodeurs numériques, la fonction de stockage et d'enregistrement vidéo devrait, elle aussi, faire des progrès qualitatifs importants en adoptant le format numérique. De premiers produits, en lecture seule, apparaissent (DVD). Des travaux sont réalisés pour l'enregistrement (magnétoscope numérique et DVD enregistrable) et les premiers produits correspondants devraient apparaître d'ici la fin du siècle. Le troisième axe porte sur l'accès aux services en ligne, et notamment à Internet, avec l'apparition de terminaux grand public peu chers, dont certains utilisent l'écran de la télévision, voire sont intégrés aux "set-top box" de télévision.

Ces développements sont liés à l'intégration toujours plus élevée des composants pour le traitement du signal et de la vidéo qui est menée par les fabricants de composants.

Cependant, le marché de la télévision numérique attire également, notamment aux Etats-Unis, l'industrie informatique. En effet, la capacité de calcul des processeurs généralistes croît rapidement et ceux-ci deviennent capables d'effectuer en temps réel des traitements qui requièrent "traditionnellement" des circuits spécifiques complexes. Il en résulte une concurrence très forte, d'une part entre industriels de l'électronique grand public, et d'autre part avec l'industrie informatique.

Les industriels européens sont présents autant en Europe qu'aux Etats-Unis.

1. 5. Les systèmes de transmission de TV numérique

Les systèmes de transmission de télévision numérique ont en commun les points suivants :

- ils sont considérés comme "contenant" qui peuvent transporter des combinaisons flexibles de flux de données vidéo, audio et données MPEG2 ;

- ils utilisent la norme ISO, MPEG2 ;
- ils utilisent une base commune d'information de services (SI) ;
- ils utilisent un code Reed-Solomon avec code correcteur d'erreurs et lorsque c'est nécessaire, un code convolutionnel poinçonné ;
- la démodulation et le codage de canal supplémentaire sont choisis pour répondre aux exigences des différents supports de transmission.

Une fois effectuées les différentes opérations constituant le codage de source, puis le codage de canal, on dispose d'un flux de données prêt à moduler une porteuse pour l'émission vers les utilisateurs. Plusieurs supports sont utilisés. Les conditions techniques sont très différentes entre les différents modes de transmission, expliquant les différents choix de modulation du canal de transmission :

- hertzien terrestre (présences d'échos, interférences, variations importantes du signal)
- câble (le signal peut subir des échos courts dus à des désadaptations d'impédance de ligne)
- satellite (le rapport signal à bruit est faible)
- système micro-onde de type point-multi-point (MVDS⁵ ou encore MMDS⁶).

L'ETSI a étudié 3 standards pour ces modes de transmission, basés sur la norme de codage MPEG, avec l'adaptation aux caractéristiques de chaque support.

- *ETS 300-744 - Framing structure channel coding and modulation for terrestrial services* pour la diffusion hertzienne terrestre,
- *ETS 300-429 Framing structure channel coding and modulation for cable services*. Elle est adaptée aux réseaux câblés de distribution et utilise la modulation QAM⁷.
- *ETS 300-421 - Framing structure channel coding and modulation for satellite services*.

Enfin, pour la diffusion par système micro-ondes, il a été normalisé la norme DVB destinée au câble pour des fréquences en dessous de 10 GHz (DVB-MC) et la norme DVB satellite pour les bandes au-dessus de 10 GHz (DVB-MS).

Les normes ont été soumises à enquête publique.

Un rapide aperçu des différents systèmes, avec les bandes de fréquences utilisées, les délais de développement, est donné ci-après.

a - Diffusion hertzienne terrestre (DVB - T)

Face aux autres supports, la diffusion terrestre analogique est importante avec plus de 85% de l'audience en France.

⁵ - Microwave Video Distribution System ou encore Multipoint Multichannel Distribution System

⁶ - Microwave Multichannel distribution System

⁷ - modulation par déplacement d'amplitude en quadrature

Les bandes de fréquences sont celles qui sont déjà utilisées pour la diffusion analogique. La bande IV/V servira au développement initial. L'évolution se faisant à spectre constant s'étalera sur une période de 15 à 20 ans. Le présent rapport examine plus particulièrement les fréquences pouvant servir à la télévision numérique terrestre, c'est à dire en se référant à la figure 1 ci-dessous, la partie émetteur – récepteur avec le récepteur fixe ou le récepteur portable. Le rapport de la Direction générale des stratégies industrielles étudie plus particulièrement les récepteurs terminaux hertziens numériques incluant aussi le système d'antenne de réception.

La modulation choisie pour la télévision numérique est la modulation OFDM⁸, retenue précédemment pour le DAB, dont le principal avantage est de pouvoir s'adapter à des trajets multiples facilitant la réception mobile ou portable, point qui différencie la diffusion hertzienne terrestre des autres supports.

La proposition de modulation retenue consiste à utiliser un canal numérique pour transmettre un certain nombre de programmes multiplexés (par exemple quatre ou cinq programmes de qualité normale pour une réception sur antenne fixe). Elle présente aussi la particularité d'avoir une protection numérique/analogique qui permettrait d'envisager de réutiliser les canaux "tabous", s'ils ne sont pas déjà utilisés.

La télévision de terre en analogique ne connaît que la diffusion d'un programme par fréquence, sur une fréquence différente d'un site à l'autre, technique dite MFN. Outre ce procédé, le système numérique DVB-T permet aussi une diffusion simultanée d'un même signal à partir de deux sites voisins sur la même fréquence à condition toutefois que le signal soit exactement le même et soit synchronisé, technique dite SFN.

Des variantes sont possibles. Il est en effet envisageable de démarrer sur une planification basée sur des assignations compatibles avec les assignations en analogique et améliorer ou étendre la couverture par la mise en place de réémetteurs sur la même fréquence que l'émetteur principal. Il s'agit alors de mini-SFN (voir section 3.5). Cette solution contourne les difficultés de recherche de fréquences pour la réémission.

Les structures de réseaux seront présentées plus en détail au chapitre 3.

Donc, malgré des investissements initiaux importants à faire pour installer le service, la réalisation des premiers réseaux de diffusion numérique devrait pouvoir se faire dès 1998.

⁸ - Orthogonal Frequency Division Multiplex (multiplexage par répartition en fréquences orthogonales)

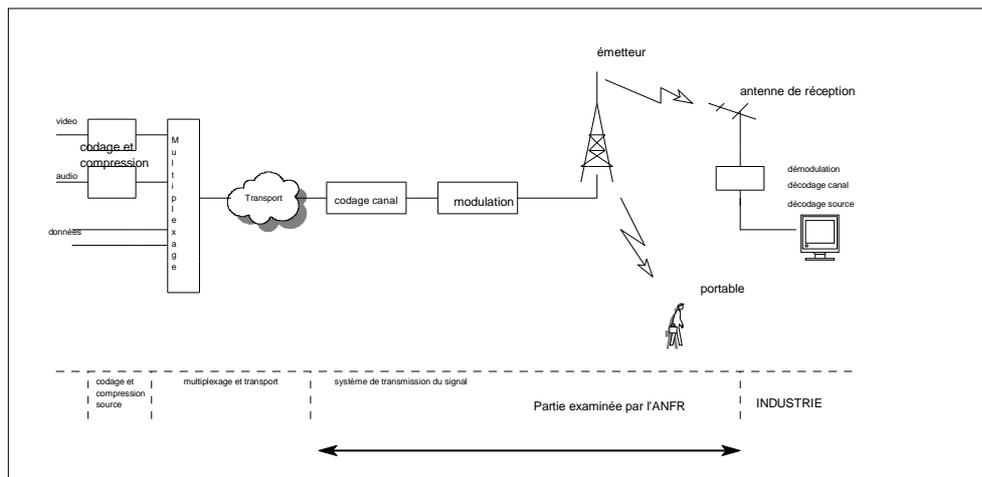


Figure 1 : Schéma de la diffusion hertzienne numérique et répartition des études entre l'Industrie et l'ANFR

b - Le câble (DVB-C)

La distribution TV sur câble actuellement en analogique pourra le plus souvent être convertie en numérique. La mutation se fait à l'occasion de l'offre commerciale des opérateurs, au cas par cas, site par site.

Les programmes peuvent être émis directement sur le câble, mais ils sont plus généralement diffusés par satellite et repris sur les réseaux câblés. Il est intéressant de noter que 60 % des Français ne sont pas desservis pas les réseaux câblés. On ne perçoit pas que le câble puisse jamais atteindre en France la pénétration qu'il a en Allemagne ou en Belgique.

c - Diffusion TV par satellite (DVB-S)

Les fréquences sont celles assignées aux satellites, c'est à dire 10,7 à 12,75 GHz pour la diffusion vers les téléspectateurs.

Le service de diffusion par satellite existe déjà et connaît un certain succès. La diffusion par satellite permet en outre de desservir les zones non câblées ou mal couvertes par le réseau de diffusion hertzien terrestre. Par contre elle ne permet pas facilement une régionalisation des programmes comme le permettent le câble et l'hertzien terrestre.

d - Diffusion TV par les systèmes hertziens de type multi-point MVDS

Une solution alternative de diffusion TV est l'utilisation de liaisons hertziennes fixes sous forme de répétition de cellules de quelques km à environ 50 km de rayon.

Le MVDS (ou MMDS) a vu le jour aux Etats-Unis, mais seule parmi les pays d'Europe, l'Irlande a largement développé cette technique pour la distribution des programmes de

télévision. Dans ces pays, le MVDS est utilisé afin de permettre la réception des programmes de télévision par des antennes individuelles de petite taille.

En fait, le MVDS a été conçu, au départ, pour regrouper les avantages des trois vecteurs que constituent le câble, le satellite et l'hertzien terrestre sans en présenter les inconvénients :

- Du câble il a conservé le principe même de la distribution d'un plan de service qui est constitué d'un ensemble de programmes formant un tout transmis globalement, sur une zone délimitée.
- Du satellite il a gardé le type de diffusion qui s'accommode de fréquences assez élevées (donc de bandes moins saturées) et de faibles puissances rendues possibles par des antennes de réception très directives, donc ayant un gain élevé.
- De l'hertzien terrestre il a retenu la technique d'utilisation de sites terrestres élevés pour assurer une couverture vaste à faible coût.

Cette situation hybride du MVDS aurait dû en assurer le succès. En fait, il est difficile de situer clairement ce nouveau mode de communication. S'agit-il d'un nouveau service ou faut-il le rattacher à un service existant ? En France, la loi du 30 septembre 1986, dans le troisième alinéa de l'article 34, a opté pour un rattachement à la distribution par câble et autorise les possibilités d'emploi liaisons internes aux réseaux câblés en excluant en particulier la réception individuelle.

Cependant, grâce à la loi du 10 avril 1996 relative aux expérimentations dans le domaine des technologies et services de l'information (loi " Fillon ") des autorisations d'usage de fréquences, pour un site géographique limité, peuvent être accordées pour un ensemble de services de radiodiffusion sonore ou de télévision par voie hertzienne, selon des techniques de diffusion numérique ou de diffusion multiplexée sur canal micro-ondes.

Le MVDS fait partie des systèmes, comme le câble et le satellite, permettant des compléments de couverture de télévision lorsque la diffusion par DVB-T n'est pas possible par manque de disponibilité de fréquences, notamment dans certaines zones frontalières.

Une bande de fréquences (40,5-42,5 GHz) est prévue en Europe pour ce type de système par une recommandation de la CEPT⁹. Toutefois, cette gamme de fréquences n'est pas vraiment appropriée à la desserte des zones rurales qui ne seront pas, pour des raisons économiques évidentes, desservies par le câble. Une bande de fréquences mieux appropriée à des trajets de plusieurs dizaines de kilomètres est recherchée. En France, la bande 3,6 - 3,8 GHz est actuellement utilisée par quelques réseaux, de caractère expérimental, pour transmettre 12 canaux. La bande de fréquence n'est pas adoptée en Europe. Une situation semblable se retrouve aussi dans d'autres pays européens, et des études sont toujours en cours pour déterminer des bandes intéressantes pour ce moyen.

La faisabilité technique n'est pas à démontrer. C'est plutôt le positionnement réglementaire et économique du service ainsi que la pénurie de fréquences qui limite le développement du MMDS.

Le développement de ce type de service est différent de celui du DVB-T, une voie de retour pourrait plus facilement être proposée avec ce type de réseau, ce qui présente de l'intérêt dans

⁹ - Décision ERC/DEC/96-05.

une perspective multimédia. Un groupe DVB-RC est chargé d'élaborer une spécification particulière à l'utilisation de la voie de retour. La convergence avec la technique de la boucle locale radio devrait être examinée.

2. DESCRIPTION DE L'OCCUPATION DU SPECTRE DE TELEVISION TERRESTRE

2. 1. Les bandes de fréquences TV

2. 1. 1. Les fréquences utilisables et les normes de diffusion

Elles sont déterminées par des règlements internationaux (Règlement des radiocommunications de l'UIT, Recommandations de l'UIT-R), et par des décisions nationales (Arrêté fixant le tableau national de répartition des bandes de fréquences).

La norme utilisée en France pour tous les services de télévision est la norme L, qui utilise des canaux de 8 MHz de largeur. En métropole, les fréquences utilisables pour la diffusion de la télévision sont :

- la bande 47-68 MHz, dite " bande I " ;
- la bande 174-223 MHz, dite " bande III " ;
- la bande 470 à 854 MHz, dite " bandes IV et V " (la bande 470 à 830 MHz à titre exclusif et 830 à 854 MHz par dérogation au cas par cas).

Certaines parties de ces bandes sont soumises à des contraintes particulières liées au partage avec d'autres services de radiocommunications. Ces 3 bandes font l'objet d'une description détaillée dans le paragraphe ci-après.

2. 1. 2. Description détaillée des bandes de radiodiffusion télévisuelle

La bande 47-68 MHz (bande I)

En pratique, seule la partie 49-65 MHz est utilisée pour la diffusion de la télévision ; elle est divisée en deux canaux de 8 MHz de large (canaux 2 et 4) auxquels se superpose un troisième canal (canal 3), à cheval sur les deux précédents. Les extrémités de la bande de fréquence (47-49 MHz et 65-68 MHz) ne sont pas utilisées pour la diffusion de programmes, mais pour des services auxiliaires à la radiodiffusion : micros sans fil, liaisons de reportage...

Cette bande est relativement peu utilisée, en raison notamment des inconvénients qu'elle présente (taille élevée des antennes, importance des parasites industriels) : c'est pourquoi, bien qu'elle soit, au titre du tableau national de répartition des bandes de fréquences, attribuée à titre exclusif à la radiodiffusion, des dérogations ont été accordées en vue de l'utilisation de certaines parties de cette bande par d'autres services, par exemple :

- les liaisons de reportage audiovisuel et les microphones sans fil (gérées par l'ART) ;
- les radioamateurs, dans certaines régions, de la sous-bande 50,2-51,2 MHz (gérée par l'ART) ;
- dans les zones de la région parisienne, pour des liaisons vidéo sol-train de la SNCF et de la RATP (gérées par l'ART) ;
- des liaisons tactiques des forces armées ;

- pour des fréquences voisines de 50 MHz, dans certaines régions, pour des radars profileurs de vent exploités par Météo France.

La bande 174-223 MHz (bande III)

L'usage de cette bande est partagé entre la télévision (gérée par le CSA) et les services mobiles (gérés par l'ART). Les conditions de partage de cette bande ont été définies par un protocole d'accord conclu le 14 mars 1986 entre TDF et la Direction générale des Télécommunications¹⁰. Les principales dispositions de ce protocole sont les suivantes :

- en région parisienne, les 2/3 de la bande sont réservés au service mobile, 1/3 à la télévision ;
- en région lyonnaise, marseillaise, sur la Côte d'Azur et sur l'axe Paris-Lyon-Marseille, 1/3 de la bande est réservé au service mobile et 2/3 à la télévision ;
- dans le reste du territoire, l'ensemble de la bande est réservé à la télévision.

Pour l'utilisation par la télévision, cette bande est subdivisée en 6 canaux de 8 MHz de largeur, numérotés de 5 à 10. Le partage avec le service mobile introduit de fortes contraintes sur l'utilisation de cette bande sur l'axe Paris-Lyon-Marseille-Nice.

La bande 470-862 MHz (bandes IV et V)

Cette bande de fréquences a été, dès le début des années 60, planifiée avec l'objectif d'y mettre en place trois réseaux à couverture nationale. Cette approche était en cohérence avec les décisions prises par la Conférence européenne de télévision de Stockholm (1961) d'attribuer à chaque pays des fréquences permettant de développer un réseau en bande métrique et trois en bande décimétrique.

Dans toutes les stations d'émission ont été ainsi planifiés trois canaux, et trois seulement, qui ont été attribués successivement à la deuxième chaîne, à la troisième chaîne, puis à la première chaîne dupliquée. Les fréquences des émetteurs de forte puissance avaient été planifiées, pour la France comme pour les autres pays, par la Conférence de Stockholm de 1961.

Les fréquences des émetteurs de complément et des réémetteurs ont été planifiées ultérieurement, en respectant les procédures de l'accord de Stockholm et l'ossature du plan décidée par la Conférence.

La nécessité de diffuser plus de 3 canaux en bande décimétrique dans certaines stations est apparue au début des années 80,

- d'abord, de façon limitée, pour faciliter la régionalisation de France 3 (duplication de certains émetteurs couvrant plusieurs régions administratives) ou pour compléter la desserte de Canal Plus dans des zones où aucune fréquence n'était disponible en bande métrique ;
- ensuite, à plus grande échelle, pour permettre le développement du 5^{ème} et du 6^{ème} réseau ;
- enfin, dans une moindre mesure, pour les télévisions locales.

¹⁰ - TDF et la DGT étant alors les gestionnaires des fréquences de radiodiffusion et de télécommunications, respectivement.

Cette recherche de fréquences supplémentaires s'est révélée délicate, car les nouvelles fréquences devaient trouver leur place dans les espaces laissés libres par les trois réseaux existants, alors même que la planification de ces trois réseaux avait été faite en utilisant tout le spectre disponible. Elle n'a donc pu être menée à bien que sous certaines contraintes et limitations :

- acceptation d'une dégradation limitée, dans certains cas, des conditions de réception ;
- systématisation de l'emploi des décalages de fréquences, en particulier des décalages de précision, techniques qui tout en étant transparentes pour le téléspectateur, permettent de réduire la distance de brouillage entre deux émetteurs utilisant le même canal ;
- recours à des réaménagements de canaux sur les réseaux existants qui consistent à modifier le canal d'émission d'un ou plusieurs émetteurs pour "libérer" des fréquences dans une zone donnée (ces opérations sont délicates car elles apportent des gênes aux téléspectateurs recevant les émetteurs ainsi modifiés sans qu'ils soient bénéficiaires des nouveaux services qui sont à l'origine du réaménagement : nécessité de modifier le réglage des canaux du téléviseur pour continuer à recevoir certains programmes, nécessité dans certains cas de remplacer l'antenne de réception ou certains équipements électroniques).

Ces difficultés ont été atténuées grâce à la mesure générale suivante : dans tous les cas, les frais de modification induits par le réaménagement sont mis à la charge de la chaîne à qui est attribuée la fréquence que le réaménagement a permis de libérer.

La mise en service d'émetteurs de forte puissance pour les 5^{ème} et 6^{ème} réseaux (Toulouse-Pic du Midi, Lyon-Mont Pilat) a nécessité de modifier les canaux d'émission de plusieurs dizaines de réémetteurs existants.

Conçus initialement comme des réseaux multivilles, dont la couverture se limitait aux principales agglomérations, les 5^e et 6^e réseaux ont progressivement évolué vers une couverture nationale. Cette évolution a résulté, d'une part, de la volonté des chaînes d'étendre leur couverture au-delà de leurs autorisations nationales, d'autre part, de la pression des élus.

La situation actuelle

Dans le Règlement des Radiocommunications, la bande du service de radiodiffusion est 470-862 MHz . Elle est subdivisée en 48 canaux de 8 MHz de largeur, numérotés de 21 à 68. Elle est découpée selon les modalités suivantes.

- de 470 à 830 MHz (canaux 21 à 65), les fréquences sont attribuées au CSA à titre exclusif. Il existe toutefois un certain nombre de limitations dues à l'emploi de certaines parties de la bande par d'autres services dans des pays voisins :
 - bande 590-598 MHz (canal 36) dont l'utilisation, au Royaume-Uni, par des radars d'aéroport limite l'usage du canal 36 dans le nord-ouest de la France ;
 - bande 608-614 MHz (canal 38) dont l'utilisation par des observatoires de radioastronomie dans plusieurs pays d'Europe du Nord¹¹ (Royaume-Uni, Pays-Bas, Allemagne) limite les possibilités d'utilisation du canal 38 dans la moitié nord de la France.

¹¹ - Toutefois, les radioastronomes français procèdent à des écoutes dans cette bande à partir de l'observatoire de Nançay.

- Bande 790-830 MHz (canaux 61 à 65) dont l'utilisation par les systèmes militaires en Allemagne rend les canaux 61 à 65 pratiquement indisponibles pour la diffusion TV en Alsace et en Lorraine.
- De 830 à 854 MHz (canaux 66 à 68) : la bande est aujourd'hui attribuée au mobile terrestre et affectée à titre exclusif au ministère de la Défense. Celui-ci, par un protocole conclu en 1989 avec la CNCL, a toutefois accepté le maintien dans cette bande des émetteurs TV existants, soit une trentaine d'émetteurs sur l'ensemble du territoire.
- Le canal 69 (854-862 MHz) n'est pas utilisé.

Le service mobile en secondaire dans la bande 470-790 MHz : les auxiliaires de radiodiffusion et microphones sans fil, et les liaisons tactiques militaires

Il faut noter que dans le Tableau national de répartition des bandes de fréquences, le service mobile terrestre est inscrit à titre secondaire dans les limites 470 – 790 MHz, le service de télévision dispose d'un statut primaire exclusif (statut A1). Par définition, le service secondaire ne peut pas bénéficier de protection et ne doit pas causer de gêne au service primaire.

Depuis 1997, conformément à la nouvelle loi de régulation des télécommunications de 1996, ce service est géré par l'ART. Précédemment le service mobile terrestre secondaire dans cette bande était géré par le CSA de manière non centralisée, c'est-à-dire que les utilisateurs disposaient des fréquences laissées libres par l'analogique du fait de l'impossibilité technique de les assigner sur une même zone. Les équipements du service mobile étaient jusqu'à présent des auxiliaires de radiodiffusion utilisés uniquement par les chaînes publiques et des sociétés de programmes. Mais peu à peu ils se sont répandus dans l'ensemble du monde audiovisuel, notamment des spectacles. Il faut bien remarquer qu'aucun accord n'a été donné à ces derniers qui craignent maintenant une rareté de la ressource en fréquences du fait de l'introduction du DVB-T et les responsables veulent préserver leurs investissements. Il s'agit de difficultés connues en Europe ; le DSI de la bande 27 – 960 MHz et le groupe Spectrum Engineering de la CEPT étudient les possibilités de fréquences pour ce type d'utilisation.

La planification des fréquences pour le DVB-T ne peut pas prendre en considération des contraintes fortes de protection de ce service secondaire. Comme précédemment, les utilisateurs autorisés de microphones sans fil et des auxiliaires de radiodiffusion peuvent disposer des possibilités laissées par la planification du DVB-T et de l'analogique. Les premiers travaux menés par le groupe Spectrum Engineering (SE 27) montrent que les microphones sans fil pourraient cohabiter avec le DVB-T, les plans de fréquences des microphones seraient à affiner. Des cartes d'utilisation et des plans de fréquences peuvent être établis en fonction de la planification DVB-T et de l'analogique existant. Une étude de compatibilité lancée par l'Agence est en cours pour fournir notamment les critères techniques.

En France, les besoins en spectre pour les auxiliaires de radiodiffusion et les microphones sans fil sont examinés dans la Commission consultative des Revues du Spectre, ainsi que dans la Commission consultative de Compatibilité Electromagnétique mises en place par l'Agence auxquelles participent l'ART et les syndicats professionnels.

La situation des auxiliaires de radiodiffusion et des microphones sans fil est assez identique en Europe. Aussi la CEPT étudie des solutions sur une base européenne en recherchant des bandes communes en supplément des allocations nationales¹² et en adoptant des normes communes étudiées par l'ETSI.

Il faut aussi noter que le ministère de la défense peut utiliser la bande 470-826 MHz pour des liaisons tactiques. Cette possibilité est indiquée au Tableau national de répartition des bandes de fréquences.

2. 2. La planification des fréquences TV et les méthodes d'assignation des fréquences - L'accord de Stockholm de 1961 - La coordination aux frontières

2. 2. 1 Détermination des canaux utilisables en un lieu donné

En un lieu donné, un certain nombre d'émissions peuvent perturber la réception d'un canal N sur un téléviseur si elles parviennent elles-mêmes dans le récepteur à un niveau trop élevé. Ce sont :

- les émissions utilisant, dans d'autres parties du territoire, le même canal N ;
- les émissions utilisant les canaux adjacents, c'est-à-dire N-1 et N+1 ;
- les émissions utilisant le canal conjugué, c'est-à-dire N-9.

Pour bien comprendre comment ces phénomènes peuvent se produire, il faut se rappeler qu'un émetteur émet un signal qui se propage bien au-delà de sa zone de service.

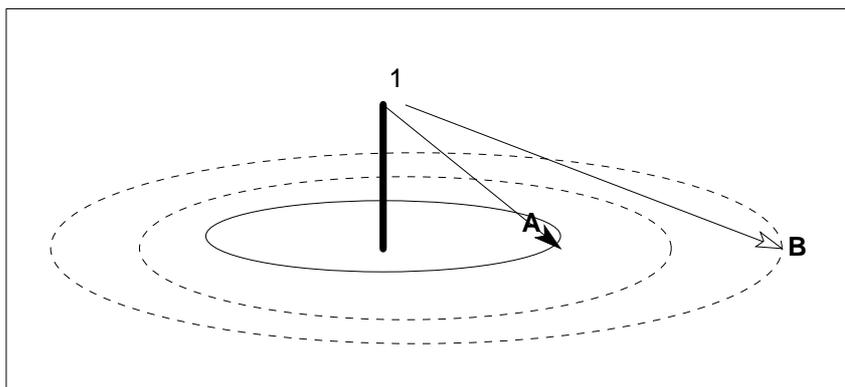


Figure 2 : La zone de service d'un émetteur

¹² - The Response of the European Radiocommunications Committee to the Recommendations of DSI phase II – Lettre ERO du 9 décembre 1997

Dans la figure précédente, le point A se trouve à la limite de la zone de service de l'émetteur 1, c'est-à-dire qu'il s'agit de l'un des points à partir desquels, si l'on s'éloigne de l'émetteur, le signal s'atténue au point de devenir insuffisant pour une bonne réception. Cependant, même atténué, le signal peut se propager à une très grande distance de l'émetteur et du point A, et atteindre par exemple le point B.

Dans la figure suivante, l'émetteur n° 1 émet sur le canal N, la limite de la zone de service passe par le point A, mais le signal atténué atteint le point B qui se trouve dans la zone de service de l'émetteur 2.

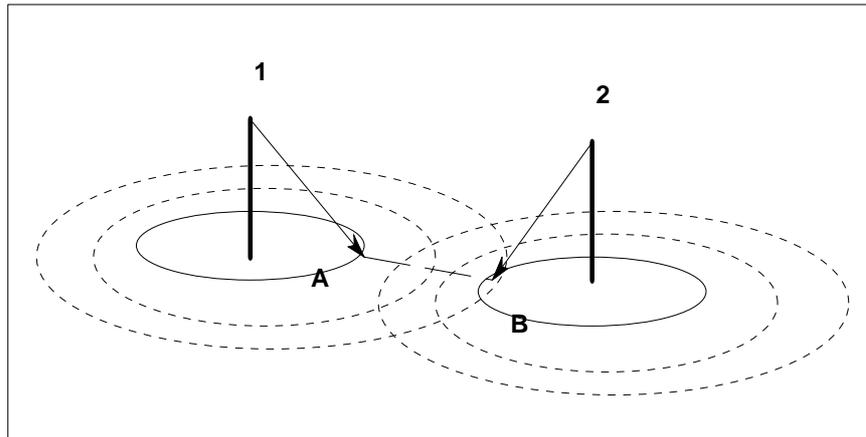


Figure 3: Action d'un émetteur au-delà de sa zone de service

Le signal émis par l'émetteur 1 brouille donc le signal reçu en B et provenant de l'émetteur 2. L'utilisation, en un lieu donné, d'un canal donné, empêche donc d'utiliser ce même canal, ainsi que certains autres canaux (adjacents ou conjugués) sur le même lieu comme dans les zones proches. Il n'y a pas de brouillage si le rapport des puissances reçues de l'émetteur désiré et des émetteurs non désirés est supérieur à une valeur appelée "rapport de protection". Ce rapport dépend du type de brouillage (canal identique, canal adjacent, canal conjugué) et d'un certain nombre d'autres paramètres.

Par ailleurs, la technologie des récepteurs interdit l'utilisation dans la même zone de certaines combinaisons de canaux, notamment des canaux en écart de 4.

2. 2. 2. *Les règles administratives*

L'utilisation des fréquences attribuées à la télévision en France métropolitaine doit respecter les dispositions adoptées par la Conférence européenne de radiodiffusion en ondes métriques et décimétriques (Stockholm 1961) et celles de l'Accord de Chester 97.

Ces dispositions prévoient que toute adjonction d'un émetteur nouveau ou toute modification d'une assignation existante doit faire l'objet d'un accord de tous les pays dont le point de la frontière le plus proche est situé, par rapport à l'émetteur considéré, en deçà d'une distance appelée distance de coordination.

Cette distance dépend des caractéristiques de l'émetteur (puissance, hauteur des antennes) et de la nature du trajet qui le sépare de la frontière considérée (terre, mer ou trajet mixte). Elle

peut varier en fonction de ces différents paramètres, de 15 km à plusieurs centaines de kilomètres. Ainsi, la mise en place d'un émetteur de forte puissance situé au centre de la France peut nécessiter la consultation d'une dizaine de pays.

Les administrations des pays consultés disposent de 12 semaines pour faire connaître leur réponse après notification d'un projet de nouvel émetteur. En l'absence de réponse à l'issue de ce délai, l'accord est considéré comme acquis, conformément aux dispositions des actes finals de la Conférence.

Dans les départements et territoires d'outre-mer, la Réunion et Mayotte sont soumis aux dispositions du Plan africain de télévision (Genève 1989). Les autres départements et territoires d'outre-mer ne sont soumis aux dispositions d'aucun plan international.

2. 3. Statistiques d'occupation des bandes de fréquences TV

2. 3. 1. Les assignations des fréquences en France

Les assignations de fréquences sont enregistrées au fichier de la Commission d'assignation des fréquences (CAF) de l'ANFR. Elles sont décrites par l'enregistrement de données relatives telles que :

- le nom du site,
- la valeur de la fréquence,
- les coordonnées géographiques du site,
- l'altitude du site,
- la hauteur de l'aérien,
- l'azimut de l'aérien,
- le gain de l'aérien,
- la puissance apparente rayonnée.

Les assignations sont également enregistrées au fichier du Bureau des Radiocommunications de l'Union Internationale des Télécommunications. Le fichier français comprend 38 500 enregistrements. Chaque station d'émission est décrite par plusieurs sites et par plusieurs liaisons dans différentes directions. Par ailleurs, le fichier contient toutes les stations inscrites au Plan de Stockholm 61 y compris celles qui n'ont pas été mise en service, mais qu'il faut conserver pour protéger les fréquences en France. Les assignations décrivent tous les émetteurs, c'est à dire les émetteurs de plus forte puissance, les émetteurs de faible puissance et les réémetteurs.

Les fréquences sont fortement réutilisées. Le graphique ci-dessous (figure 4), établi par le Conseil Supérieur de l'Audiovisuel, donne le nombre d'émetteurs diffusant sur chaque fréquence. Il est à noter que les différentes chaînes n'utilisent pas certaines fréquences de manière privilégiée.

Les canaux numérotés 2, 3 et 4 sont dans la bande I. Ils ne servent qu'à un nombre limité d'émetteurs de très forte puissance. Les canaux 5 à 10 sont dans la bande III et sont surtout utilisés par des émetteurs de forte puissance. Ils servent notamment à la diffusion de la chaîne Canal +. On note que les canaux 66, 67 et 68 sont peu utilisés. Il s'agit de canaux dans

une bande du ministère de la défense qui y accepte par dérogation des émetteurs. Le canal 38 est moins utilisé du fait de la protection de la radioastronomie.

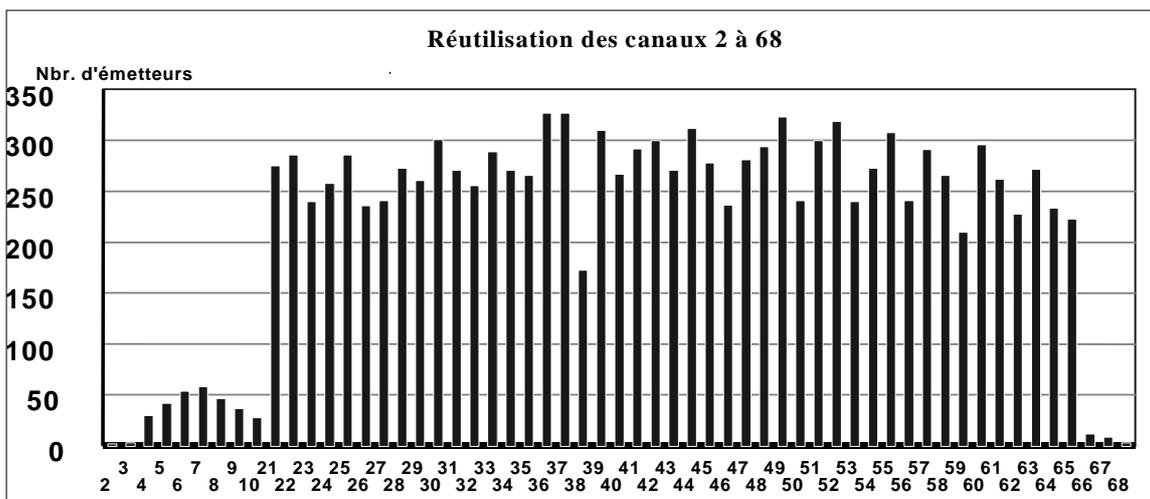


Figure 4 : Statistiques d'utilisation des fréquences TV

2. 3. 2. Les émetteurs et les taux de couverture par chaîne

Les statistiques concernent les chaînes françaises diffusées par le réseau de diffusion hertzien terrestre, publiques - FR2, FR3, Arte et la Cinquième - et privées - TF1, Canal Plus et M6, les chaînes locales.

Le tableau suivant résume le nombre d'émetteurs et le taux de couverture par chaîne nationale au 31-12-1997. Des renseignements plus complets sur les différentes chaînes nationales et locales sont donnés au paragraphe 2.4.

Chaîne	nombre d'émetteurs VHF	nombre d'émetteurs UHF	Pourcentage de population desservie	nombre de récepteurs (total)
TF 1	0	3402	99 %	
FR 2	0	3531	99 %	
FR 3	0	3586	99 %	28,3 millions ^(a)
Canal Plus	208	31	85 %	
ARTE et La Cinquième	0	800	84 %	
M 6	0	1157	84 %	

En 1997

(a) En 1994 - Tableaux de l'économie française 1997-1998 INSEE - TV noir et blanc et couleur

Tableau 1 : Nombre d'émetteurs et taux de couverture par chaînes diffusées en analogique

Le nombre d'équipements de réception tous types confondus est supérieur à 42 millions.

2. 4. Les diverses chaînes autorisées en Métropole

a) Le service public

France Télévision

Le réseau de France 2 s'est développé à partir de 1963 (création de la 2^{ème} chaîne) ; il comptait, au 31.12.1997, 3 531 émetteurs autorisés. Le réseau de France 3 s'est développé à partir de 1972 (création de la 3^{ème} chaîne) ; il comptait, au 31.12.1997, 3 586 émetteurs autorisés.

Les caractéristiques des deux réseaux sont extrêmement voisines. Le nombre supérieur d'émetteurs pour France 3 s'explique par la nécessité de mettre en place des émetteurs supplémentaires pour adapter la couverture aux besoins liés aux décrochages locaux ou régionaux.

Ces deux réseaux ont une bonne couverture de l'ensemble du territoire. Il subsiste un petit nombre de zones où la réception des deux chaînes est impossible ou de mauvaise qualité (zones d'ombre), ainsi que des zones où le programme régional de France 3 reçu n'est pas celui de la région administrative d'appartenance. Pour résoudre ce type de problèmes, le Conseil supérieur de l'audiovisuel attribue régulièrement, en application de l'article 26 de la loi du 30 septembre 1986, des autorisations d'usage de fréquences à TDF pour compléter la desserte de France 2 et France 3, ou améliorer la régionalisation de France 3.

ARTE et la Cinquième

La chaîne culturelle européenne ARTE a été créée par le traité signé le 2 octobre 1990 entre la France et les Länder de la République fédérale d'Allemagne. Le Conseil attribue en priorité à TDF, en application de l'article 26 de la loi du 30 septembre 1986 modifiée, les fréquences nécessaires à cette chaîne pour l'accomplissement des missions qui lui sont assignées par ce traité.

La chaîne du savoir, de la formation et de l'emploi (La Cinquième) a été créée par la loi du 1^{er} février 1994. Le Conseil attribue en priorité à TDF, en application de l'article 26 de la loi du 30 septembre 1986 modifiée, les fréquences nécessaires à cette chaîne pour l'accomplissement de ses missions de service public.

Ces deux chaînes partagent un même réseau, qui est le réseau laissé vacant par la mise en liquidation judiciaire, en avril 1992, de la chaîne privée la Cinq. Au moment de l'attribution initiale de ce réseau à la Cinq, en février 1987, il comptait 57 émetteurs, et couvrait 48 % environ de la population métropolitaine. A la date de liquidation judiciaire de la Cinq, il comptait 424 émetteurs et couvrait environ 82 % de la population métropolitaine. Il ne s'est pratiquement pas étendu entre 1992 et la fin de 1994. En décembre 1994, ARTE et La Cinquième ont constitué un Groupement d'intérêt économique (GIE) afin de coordonner l'action des deux chaînes dans différents domaines, en particulier en matière d'extension du réseau de diffusion.

En fin 1997, ce réseau compte 800 émetteurs, pour une desserte d'environ 84 % de la population. Les deux chaînes ont annoncé leur intention de poursuivre l'extension jusqu'à atteindre une couverture de 92 % de la population.

b) Télévisions nationales privées

TF1

La majeure partie du réseau utilisé par TF1 a été réalisée entre 1975 et 1986. Aujourd'hui, le réseau comprend environ 3400 émetteurs et couvre 99 % de la population. La loi du 30 septembre 1986 a organisé le transfert au secteur privé du capital de la société nationale de programme TF1. La loi, en son article 62, a imposé au repreneur de faire assurer la diffusion des programmes dans la totalité de la zone desservie à la date de la loi, en y incluant celle qui résulterait des travaux programmés ou engagés à cette date pour résorber les zones d'ombre.

La loi interdit donc à TF1 de réduire son réseau de diffusion. Elle permet à la chaîne de l'étendre, dans les mêmes conditions que les autres chaînes privées, selon les procédures prévues par l'article 30. En fait, le réseau de TF1 s'est très peu modifié depuis 1986. Si la chaîne, conformément à ses obligations, n'a pas arrêté d'émetteurs et a mis en service la quasi-totalité des émetteurs pour lesquels les travaux étaient engagés ou programmés à la date de promulgation de la loi, elle n'a demandé à l'instance de régulation qu'un nombre très réduit de fréquences pour des extensions de son réseau. Depuis la privatisation de TF1, l'instance de régulation n'a ainsi accordé à la chaîne qu'une vingtaine d'autorisations d'usage de fréquences supplémentaires, correspondant à une augmentation de la desserte de 33 500 habitants.

M6

La société Métropole Télévision a été autorisée par la Commission nationale de la communication et des libertés, le 28 février 1987, à exploiter un service de télévision à vocation nationale diffusé en clair par voie hertzienne terrestre (6^{ème} chaîne). A cette date, le réseau attribué à la chaîne comptait 30 émetteurs, et couvrait 34 % environ de la population métropolitaine. Depuis cette date, la chaîne a eu une politique active d'extension de son réseau et a demandé à l'instance de régulation plusieurs centaines d'autorisations d'usage de fréquences supplémentaires.

Au 31 décembre 1997, le réseau de M6 compte environ 1160 émetteurs et couvre 84 % environ de la population de la métropole. Depuis 1991, le développement du réseau de M6 fait largement appel au financement des collectivités locales.

Canal Plus

La chaîne Canal Plus a été autorisée à émettre en vertu d'une concession de service public en date du 6 décembre 1983, approuvée par décret du 14 mars 1986. Le réseau attribué à la chaîne, précisé dans une convention avec l'établissement public Télédiffusion de France annexée à la concession, comprenait 198 émetteurs. En 1988, la Commission nationale de la communication et des libertés a autorisé Canal Plus à mettre en place 37 émetteurs supplémentaires. Par la suite, l'utilisation par Canal Plus des satellites TDF1, TDF2 puis Télécom 2 et enfin Astra en numérique a conduit cette chaîne à ne plus formuler de demandes auprès de l'instance de régulation pour l'extension de sa couverture hertzienne terrestre.

Le 1^{er} juin 1995, le CSA a décidé de reconduire, pour une durée de 5 ans à compter du 6 décembre 1995, l'autorisation dont la société Canal Plus était titulaire en vertu de l'article 28-2 de la loi du 30 septembre 1986. Il a autorisé la chaîne à utiliser les 235 fréquences qui lui étaient précédemment attribuées. Ce réseau comprend 19 fréquences en

bande I, 189 en bande III et 31 en bandes IV et V. Il a une couverture d'environ 85 % de la population de la métropole.

c) Les chaînes locales

Actuellement, 5 chaînes hertziennes de télévision locale de plein exercice sont autorisées en métropole¹³. Elles desservent environ 3 millions d'habitants, à Toulouse, à Lyon, à Nîmes, en Savoie, Haute-Savoie et en Dordogne.

d) Le réseau " multiville "

Le 17 juillet 1990, après une procédure d'appel aux candidatures, le CSA a autorisé la Société pour l'étude et l'exploitation de télévision par satellite à utiliser un ensemble de 23 fréquences pour diffuser un programme de télévision à péage, destiné à la jeunesse, et appelé Canal Enfants.

Ce réseau, appelé " réseau multiville ", permettait de couvrir une population de 16 millions environ d'habitants, concentrés dans les principales agglomérations (Marseille, Lyon, Strasbourg, Nice n'en font pas partie). Canal Enfant a finalement renoncé à utiliser son réseau qui n'a pas été réattribué.

e) Télé Monte Carlo

Télé Monte-Carlo est une chaîne de télévision monégasque, dont la diffusion par voie hertzienne terrestre utilise principalement une fréquence (canal 30) attribuée à la principauté de Monaco.

Le 1^{er} octobre 1984, le gouvernement français a signé avec Télé Monte-Carlo un protocole d'accord l'autorisant pour compléter sa desserte à exploiter trois fréquences hertziennes terrestres françaises¹⁴, sur les fondements des dispositions des articles 78 et 85 de la loi du 29 juillet 1982 qui ont depuis été abrogés.

Cet accord, valable 10 ans, est arrivé à expiration le 30 septembre 1994. Le 8 avril 1995, un nouvel accord a été signé entre le gouvernement français et le gouvernement monégasque, prévoyant la prorogation de l'usage des trois fréquences attribuées par le précédent protocole, et l'attribution de deux nouvelles fréquences destinées à couvrir les agglomérations d'Avignon et de Nîmes. Ces deux fréquences appartiennent au réseau multiville évoqué au paragraphe précédent.

Cet accord doit être soumis au Parlement pour approbation, conformément à l'article 53 de la Constitution.

¹³ - Reconduction des autorisations pour 5 ans par Décisions CSA du 10 décembre 1997

¹⁴ - Deux fréquences à Marseille et une fréquence à Toulon

2.5. Eléments de comparaison

a) Caractéristiques des réseaux : desserte de la population - nombre et puissance des émetteurs

Un premier graphique ci-après (figure 5) donne, pour chacune des chaînes, le nombre total d'émetteurs et la population couverte. On distingue un premier groupe de chaînes (TF1, FR2, FR3) desservant la quasi-totalité des récepteurs et nécessitant un nombre important d'émetteurs, tandis que le second groupe qui dessert une proportion de population plus faible utilise moins d'émetteurs.

Les autres graphiques joints en annexe 1 en fin de rapport donnent les renseignements par chaînes et par gamme de puissance. Ils aident à apprécier les dessertes de couverture.

- Annexe 1
- Graphique 1 : Desserte et nombre d'émetteurs (copie de la figure 5)
 - Graphique 2 : desserte et nombre d'émetteurs de télévisions locales
 - Graphique 3 : Population moyenne desservie par émetteur
 - Graphique 4 : Population moyenne desservie par émetteur de télévision locale
 - Graphique 5 : Pourcentage d'émetteurs et population desservie par gamme de puissance - TF1
 - Graphique 6 : Pourcentage d'émetteurs et population desservie par gamme de puissance - FR 2 (copie de la figure 6)
 - Graphique 7 : Pourcentage d'émetteurs et population desservie par gamme de puissance - FR 3
 - Graphique 8 : Pourcentage d'émetteurs et population desservie par gamme de puissance - CANAL+
 - Graphique 9 : Pourcentage d'émetteurs et population desservie par gamme de puissance - ARTE/
La Cinquième
 - Graphique 10 : Pourcentage d'émetteurs et population desservie par gamme de puissance - M6.

On reproduit à la figure 6 ci-après le graphique 6 pour illustrer ce modèle de couverture où un très petit nombre de gros émetteurs dessert l'essentiel de la population. Ces statistiques sont à étudier avec les éléments chiffrés donnés au **tableau 1**. On constate la difficulté à couvrir les derniers 10 millions d'habitants qui nécessitent de mettre environ 3000 émetteurs complémentaires.

Ces graphiques montrent, pour TF1, France 2, France 3, le grand nombre d'émetteurs de très faible puissance ($PAR < 1 \text{ W}$), qui n'assurent qu'une partie marginale de la desserte. L'essentiel de celle-ci (47 millions d'habitants) provient des émetteurs de très forte puissance, qui ne représentent que 2 % du nombre d'émetteurs. Pour Canal Plus, ARTE/La Cinquième et M6, les émetteurs les plus nombreux sont dans la gamme de puissance faible (entre 10 et 100 W), alors que la plus grande part de la desserte est assurée par des émetteurs de puissance moyenne à forte (1 à 100 kW). Le nombre d'émetteurs de très forte puissance

(PAR > 100 kW) pour ARTE/La Cinquième et M6 est faible comparée aux autres chaînes nationales ; mais l'essentiel de la population desservie l'est pour des émetteurs de plus d'un kW (graphique 10).

Ces statistiques seront utilisées lors des estimations des taux de couverture à la section 4. 3.

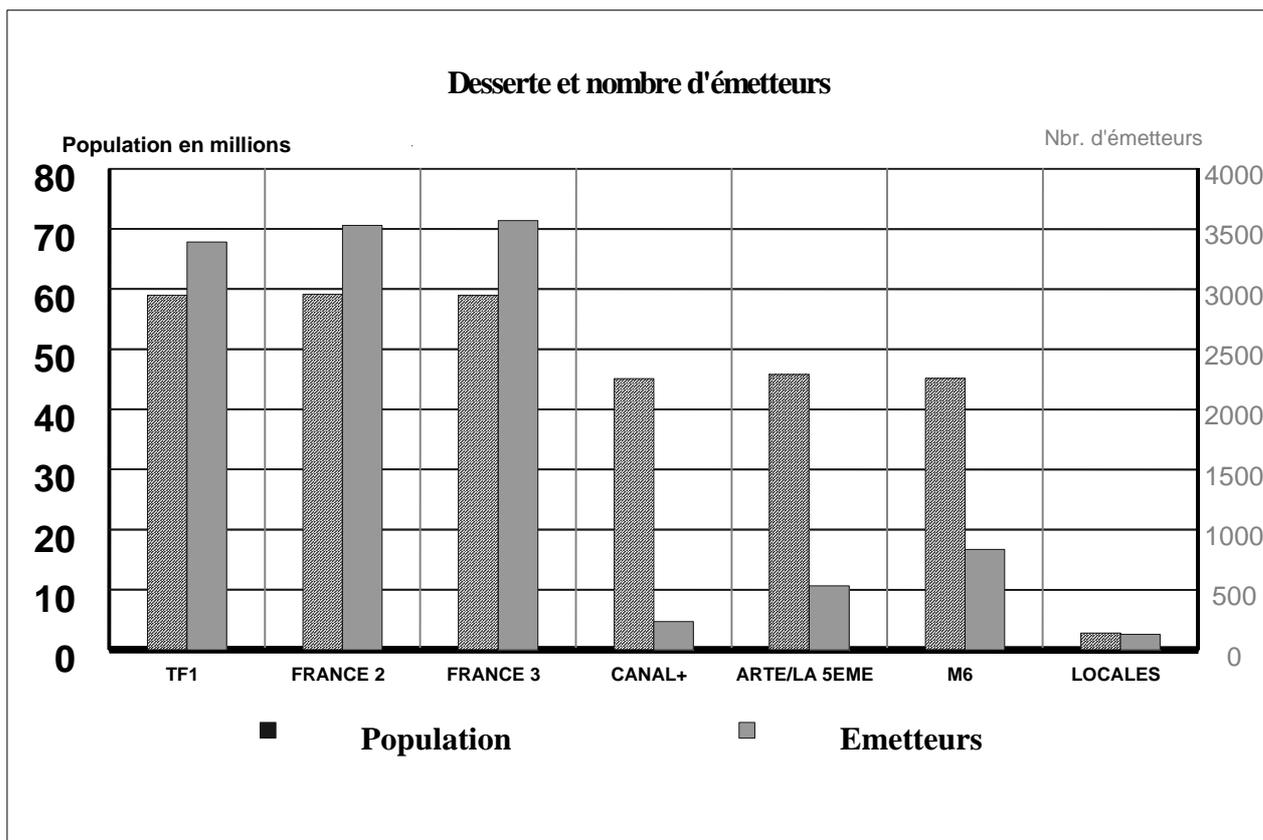


Figure 5 : Desserte et nombre d'émetteurs

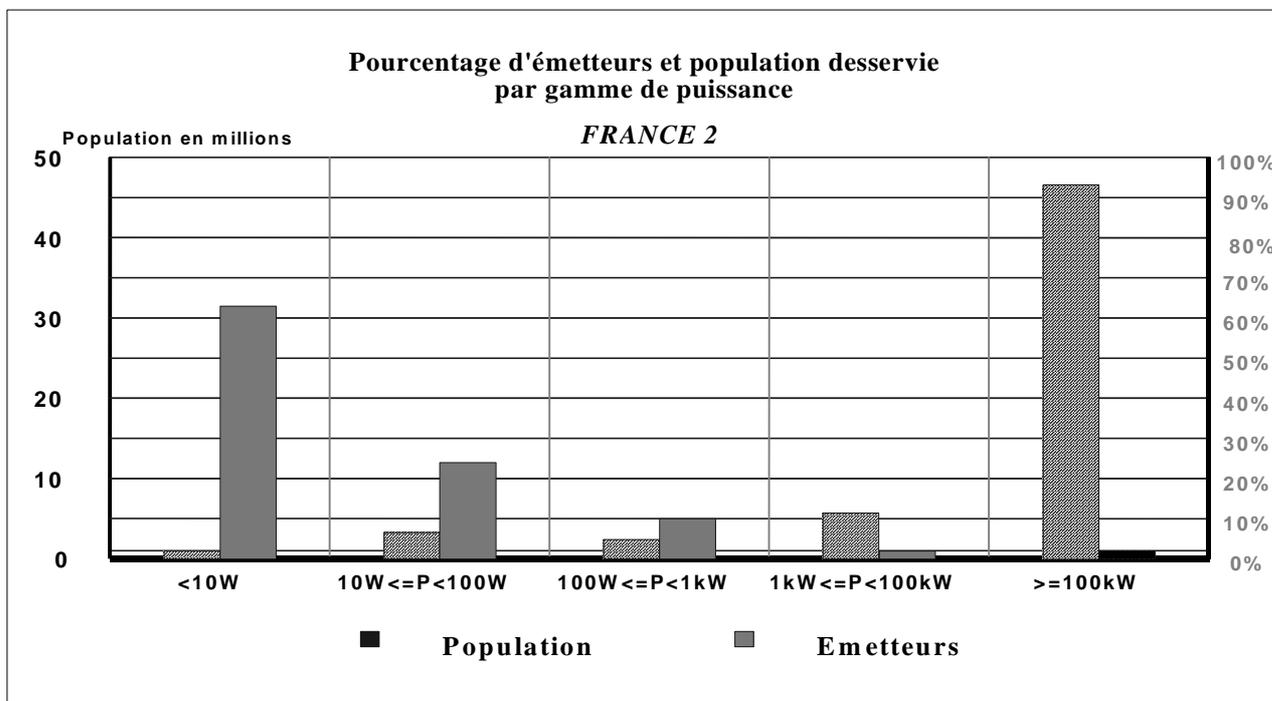


Figure 6 : Pourcentage d'émetteurs et population desservie par gamme de puissance

2. 6. Comparaison avec l'étranger

Le tableau ci-après résume les largeurs de bandes de fréquences attribuées à la radiodiffusion télévisuelle en France et chez nos principaux voisins. Ce tableau fait apparaître les bandes attribuées à la télévision à titre exclusif, et celles qui sont partagées avec d'autres services (radiotéléphone, service fixe).

La comparaison entre les différents pays montre que la France se situe dans la moyenne, avec un peu plus de fréquences que le Royaume-Uni¹⁵ et l'Allemagne, mais nettement moins que l'Italie ou la Suisse.

Le tableau fait également apparaître le nombre de programmes diffusés. Si l'on rapproche la largeur de bande au nombre de programmes diffusés, c'est dans notre pays que l'utilisation des fréquences est la plus dense.

On peut relever que le Royaume-Uni dispose de moins de fréquences pour la télévision que les autres pays européens, mais sa situation insulaire et son faible relief lui permettent de réaliser une couverture télévisuelle avec un nombre de fréquences relativement faible.

PAYS	FRANCE		R.F. ALLEMAGNE		ITALIE		ROYAUME-UNI		SUISSE	
	exclusif	partagé	exclusif	partagé	Exclusif	partagé	exclusif	partagé	exclusif	partagé
Bande I	21		21		22,5				21	
Bande III		49	56		49				56	
Bande IV, V	360	24	320		320	72	376		376	16
Largeur totale	381	73	397		391,5	72	376		453	16
Nbre de Program Nationaux	3		3		2		4		3	
Autres réseaux	3		oui		1+3		1		1	
TV locales	oui				oui					

*(Couverture > 95%)

Tableau 2 : Comparaison de quantité de spectre utilisé pour la TV et nombre de réseaux

¹⁵ Si on inclut les bandes I et III. Mais le RU dispose des canaux 66 à 68 la bande V.

3. PLANIFICATION DES RESEAUX DE TELEVISION NUMERIQUE TERRESTRE

3. 1. Disponibilité de fréquences pour la télévision numérique terrestre - Généralités

3. 1. 1 Les conséquences de la numérisation sur les besoins en spectre pour la télévision

La question se pose de savoir comment la numérisation va faire évoluer les besoins en spectre pour la diffusion terrestre de la télévision dans les années à venir. Plusieurs éléments doivent être pris en considération.

- Toutes choses égales par ailleurs, l'efficacité spectrale du numérique est nettement supérieure à celle de l'analogique. Les progrès importants réalisés dans les techniques de compression d'images et de sons numériques ainsi que le développement de systèmes de codage de canal performants rendent possible la transmission de beaucoup plus d'informations dans un canal de transmission donné. L'utilisation de la technique OFDM, en permettant la construction de réseaux monofréquence, améliore encore cette efficacité.
- Une partie des capacités supplémentaires ainsi dégagées devra être utilisée pour accroître le nombre de programmes diffusés et la qualité technique du service (amélioration de la qualité de l'image, données associées, portabilité, flexibilité, interactivité). La numérisation de la diffusion terrestre ne se mettra pas en place si les investissements qu'elle nécessite aussi bien pour les opérateurs que pour le public, ne se traduisent pas par une amélioration du service aussi bien en terme de nombre de services (20 à 25 en plus de l'analogique semblent disponibles en utilisant les "canaux interdits") qu'en terme de qualité du signal. Il faut que l'utilisateur ait envie de passer au numérique.
- Il est exclu d'arrêter brutalement les services analogiques existants. Ceux-ci devront être maintenus pendant une quinzaine d'années au moins le temps de renouveler quasiment l'intégrité du parc de récepteurs en place. Pendant cette période de transition, les services numériques (qu'ils correspondent à la duplication des services analogiques - "simulcast" - ou qu'il s'agisse de services nouveaux) devraient coexister avec les services analogiques et dans les mêmes bandes de fréquences.

Il résulte de ces considérations qu'à court ou moyen terme, la numérisation entraîne, faute d'une augmentation du spectre utilisable pour la télévision, une utilisation encore plus intensive des bandes actuelles. A plus long terme, lorsque la diffusion analogique viendra à diminuer, les besoins en spectre nécessaires à la radiodiffusion terrestre pourraient être réévalués mais cela dépendra de l'évolution de la demande et de la répartition de la diffusion entre satellite, câble et terrestre qu'il est difficile de prévoir. Il est important d'afficher qu'une part du spectre actuel de la télévision analogique pourra être utilisée à d'autres fins, à terme. Une réflexion européenne à ce sujet s'impose.

3. 1. 2. Les bandes de fréquences utilisables

3. 1. 2. 1. Dans le spectre affecté à la TV en France

Faut-il rechercher une nouvelle bande de fréquence ou utiliser les "trous" des bandes VHF et UHF existantes ? Cette deuxième solution présente les avantages suivants :

- elle permet au téléspectateur d'utiliser son antenne actuelle de réception TV ainsi que le câble de descente du toit sans aucune modification ;
- un tel partage TV analogique/TV numérique conduit à une utilisation extrêmement efficace du spectre ;
- les "trous" existent réellement dans le cas des bandes TV (ce qui n'est pas le cas de la bande MF qui ne permet pas un partage avec le DAB) ; ils correspondent à des canaux que les récepteurs TV analogiques sont incapables de recevoir, dans l'état actuel de la technologie.
- La bande III n'est pas exclue, mais aucun travail n'a débuté sur cette bande.

Il faut noter que la France est certainement le pays d'Europe (l'Italie exceptée) où les bandes IV et V sont utilisées de la manière la plus intensive (grand nombre de chaînes et couverture importante pour chacune d'elles), ce qui risque de conduire à des disponibilités inférieures à celles de nos voisins pour l'introduction de la TV numérique.

Les préétudes générales semblent cependant montrer qu'un objectif de six canaux est réalisable sur un grand nombre de sites (chaque canal permettant la diffusion de 4 à 5 programmes). Les éléments techniques servant à la recherche de canaux disponibles dans la bande IV et V sont détaillés ci-après.

3. 1. 2. 2. En dehors du spectre affecté à la TV en France

a) dans une bande autre que les bandes I, III et IV/V affectées à la TV

La solution consistant à rechercher **de nouvelles bandes** de fréquences se heurte à des difficultés pour trouver de nouvelles ressources dans les gammes d'ondes ayant des propriétés de propagation voisines. On est alors conduit à un système relativement différent que l'on considère généralement comme techniquement dérivé du MVDS (ou MMDS). Ce système apparaît cependant davantage comme un appoint à la diffusion dans les bandes UHF, car les investissements à réaliser par les téléspectateurs rendent le procédé économiquement peu efficace pour cet usage.

b) dans la partie haute de la bande V, en partage avec le service mobile terrestre (militaire)

Quelques pays européens envisagent de développer le service de télévision numérique terrestre, notamment le service destiné aux récepteurs portables, sur les canaux au-dessus de 790 MHz (canal 60) moins utilisés actuellement car partagés avec le service mobile militaire.

Actuellement les forces armées d'une majorité de pays européens utilisent les bandes entre le canal 60 et 69 pour du service mobile et du service fixe. Par exemple, les forces armées allemandes occupent les canaux 60 à 65 pour du service fixe et du service mobile (radionavigation aéronautique). Les forces armées françaises utilisent les canaux 66 à 69 pour établir les liaisons mobiles tactiques du système de faisceaux hertziens tactiques (RITA). En France, le ministère de la défense a cependant accepté des conditions de partage en permettant le maintien de quelques émetteurs de télévision, principalement dans le canal 66. Ce partage est basé sur une coordination d'émission de TV analogique.

Il faut toutefois s'interroger sur la situation actuelle et examiner si pour faciliter le développement du DVB-T en France :

- un partage des bandes des forces armées (tout ou en partie) ne serait pas envisageable,

- le maintien du service mobile exclusif en France n'est pas trop pénalisant connaissant les contraintes définies par l'Accord de Chester entre le DVB-T et le service mobile militaire.

L'utilisation d'au moins un canal faciliterait le déploiement d'un premier réseau de diffusion. Cette hypothèse d'utilisation d'un canal dans les bandes des forces armées est à examiner avec attention afin de ne pas se trouver ultérieurement dans une situation défavorable irréversible face à des administrations de pays voisins.

Cependant, il faut bien prendre en considération les besoins des armées qui subissent depuis des années une diminution de leurs bandes, au profit essentiellement du service mobile et l'ont rappelé par lettre émettant des réserves sur une telle éventualité¹⁶. Il faudrait imaginer une solution où le ministère des armées accepterait de partager un canal pour lancer la TV numérique. Après quelques années, des fréquences gagnées par la technique numérique seraient rétrocédées aux forces armées. Il faut alors :

- Prévoir une coordination entre les affectataires FA et CSA pour les conditions techniques de partage ;
- Déterminer la période de transition probable et les procédures d'emploi des fréquences par les forces armées en cas de crise et même en dehors des cas de crises ;
- Envisager la compensation des pertes en bandes de fréquences pour les forces armées.

Un scénario consisterait à donner la possibilité d'autoriser un canal "défense" pour une période limitée. Si le marché s'avérait inexistant, l'autorisation ne serait pas renouvelée. Cependant, s'agissant d'une bande du service de radiodiffusion, une telle situation, même non définitive, ne manquerait pas d'avoir un effet sur la gestion des canaux au-dessus du numéro 60 en Europe, notamment en Allemagne. Par ailleurs, afin de conserver la capacité de spectre au ministère de la défense, il y a lieu d'étudier l'utilisation des canaux en dessous du 65 par les militaires, sur une base de partage géographique avec des émissions de télévision.

Une hypothèse intéressante pourrait être de consacrer un canal situé au-dessus du canal 60 à la réalisation d'un réseau SFN à grande échelle. En effet, cette technologie ne pourra vraiment être développée que si l'on dispose d'une bande utilisable sur une partie importante du territoire, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui.

Il serait prudent de toute manière que les récepteurs de TV numérique puissent capter les canaux jusqu'à 69.

3. 2. La planification des fréquences pour la TV numérique

3. 2. 1. La situation théorique

Si l'on se place dans un cas type, une ville est couverte par des programmes de télévision utilisant un canal "N" suivant le schéma suivant :

N ₁ , N ₂ , N ₃	(forte puissance)	: TF1, F2 et F3
N ₅ , N ₆	(puissance inférieure)	: ARTE-la Cinquième, M6
N ₄	(en ondes métriques)	: CANAL +

¹⁶ -Lettre du ministère de la défense du 8 décembre 1997 réf 3583/DEF/EMA/TEI/1

Les canaux "les plus susceptibles" de permettre une diffusion de programmes numériques sont donc à sélectionner dans les bandes décimétriques (bandes IV-V en UHF). Une recherche de ces canaux permet de les classer en plusieurs catégories :

- des "canaux supplémentaires" qui auraient pu servir pour diffuser de nouveaux programmes en analogique :
 N7 (réseau multiville)
 et N8, N9

Les rapports de protection applicables à la télévision numérique étant, en général moins sévères que ceux de la télévision analogique, un canal utilisable en analogique est dans la plupart des cas également utilisable en numérique, mais il y a des exceptions. Il faut noter que le développement des réseaux 5 et 6 a déjà utilisé les meilleurs canaux "supplémentaires". Les nouveaux qui pourront être dégagés sont donc souvent dans une partie de bande mal adaptée aux antennes de réception existantes.

- des "canaux théoriquement interdits" à l'analogique (dits "tabous") écartés dans la planification des réseaux analogiques pour la même zone pour cause de non-compatibilité :

canaux adjacents	:N-1 et N+1
canaux "oscillateur local"	:N+4, N-4
canaux conjugués	:N-9, N+9

Ces canaux (en particulier le premier et le deuxième ensemble) présentent l'avantage d'être proches des canaux déjà utilisés, ce qui leur assure d'être captés par les antennes.

En théorie, devraient donc être disponibles 6 x 5 "canaux théoriquement interdits", sans compter les "canaux supplémentaires".

3. 2. 2. *La situation réelle*

a) L'utilisation déjà faite des "canaux théoriquement interdits"

En réalité, en ce qui concerne les "canaux théoriquement interdits", le nombre de tels canaux utilisables en numérique est bien inférieur, car une bonne planification en analogique essaie de faire en sorte que les canaux interdits coïncident le plus possible entre eux : ainsi il est fréquent que le canal adjacent d'un programme soit le conjugué d'un deuxième programme et l'"oscillateur local" d'un troisième.

Par ailleurs, en raison d'une part de l'évolution technologique (l'amélioration de la sélectivité des récepteurs), d'autre part de la difficulté de plus en plus grande à trouver des fréquences, la planification du 5e, du 6e réseau et du réseau multiville est en partie dégagée de ces contraintes : pour ces trois réseaux, des canaux conjugués de canaux existants ont été planifiés, sur la même zone, moyennant certaines précautions.

En tout état de cause, les "canaux interdits" ne le sont que sur la zone de service, mais ils peuvent être utilisés dès la périphérie de cette zone, ou même à l'intérieur pour couvrir des zones d'ombre. Ceci explique que certains "canaux interdits" ne peuvent être planifiés qu'avec une puissance plus faible ou même soient totalement à rejeter sauf si l'on accepte d'effectuer

des réaménagements, c'est-à-dire de changer la fréquence des émetteurs limitrophes (analogiques) utilisant les canaux. Ceci nécessite, bien sûr, de trouver des canaux de remplacement et de financer cette modification du réseau analogique.

Enfin, il ne faut pas oublier que les pressions de coordinations aux frontières ont aussi favorisé l'utilisation de ces canaux "interdits" en France ou à l'étranger.

b) La protection des réseaux câblés

La distribution par câble utilise des ondes électromagnétiques en tout point semblables à celles émises par les émetteurs hertziens. Au lieu de se propager dans les airs après avoir été rayonnées par les antennes des émetteurs, elles sont guidées par des câbles dont les caractéristiques permettent de les isoler du milieu extérieur. Cependant, cette isolation n'est pas parfaite, en particulier à l'arrivée chez l'utilisateur (prises de raccordement du câble, téléviseur) ; si un émetteur diffuse un signal sur une fréquence utilisée dans la même zone pour distribuer un programme sur câble, il peut en résulter un brouillage chez l'abonné au réseau câblé, perturbation de même type que celle qui peut se produire entre émetteurs terrestres.

Ainsi, à l'heure actuelle les réseaux câblés évitent l'utilisation des fréquences diffusées par des émetteurs TV dans le cas où ceux-ci sont proches et puissants : ils se limitent aux canaux inutilisés par ces émetteurs. La recherche de nouvelles fréquences pour l'extension des réseaux TV hertziens ne tient pas compte de l'existence des réseaux câblés, à charge pour eux de réorganiser les fréquences des canaux de distribution si cela s'avère nécessaire après la mise en place de nouvelles émissions hertziennes. Les opérateurs de réseaux câblés devront s'assurer de la compatibilité de leurs installations avec la télévision numérique. Dans certains cas, cela pourrait se traduire par des réaménagements du plan de fréquence des réseaux câblés proches de l'émetteur.

c) La protection des autres services : la radioastronomie, le service de radionavigation aéronautique et le service mobile terrestre

D'autres services de radiocommunications, au sens du Règlement des Radiocommunications, existent dans la bande IV/V et dans les autres bandes (I et III). Pour ces dernières, il s'agit essentiellement du service mobile terrestre et du service d'amateur (voir § 2.1.2). Dans la bande IV/V, on trouve pour ce qui concerne la France :

- le service de radioastronomie dans le canal 38 (608-614 MHz), voir § 2.1.2 situation actuelle (note RR S5.149),
- le service de radionavigation aéronautique sur le canal 36 (590-598 MHz) constitué par des radars d'aéroports en Grande-Bretagne et à Jersey (note RR S5.302),
- le service mobile terrestre et le service fixe des forces armées, de 790 à 830 MHz (61 à 65), utilisés en Allemagne (note RR S5.316),
- le service mobile terrestre des forces armées en France entre 830-854 MHz (66-68) - (note RR S5.316).

Ces utilisations imposent des contraintes sur les futures assignations, donc sur les capacités en fréquences supplémentaires. Jusqu'à présent, les administrations nationales protègent ces services, mais aucune n'a annoncé, à ce jour, de relâchement sur les protections, même si certains diffuseurs étrangers évoquent la possibilité d'utiliser des canaux au-dessus du numéro 60 pour établir des réseaux monofréquence destinés aux portables (SFN).

La cohabitation avec ces différents services est à étudier avec soin. Les conséquences de ces contraintes se traduisent par des distances minimales et des puissances maximales à respecter.

Enfin, il faut rappeler, ce qui a été précédemment signalé, l'existence d'auxiliaires de télévision ou de radio tels les micros HF qui utilisent les bandes avec un statut secondaire.

3. 3. Critères techniques de planification du système DVB-T

Les critères techniques ont été définis dans le groupe DVB Project et dans le groupe PT 24 de la CEPT. Ils ont été retenus et sont mentionnés à l'annexe 1 de *l'Accord multilatéral de Chester relatif aux critères techniques, aux principes et aux procédures de coordination pour l'introduction du DVB-T 1997*.

3. 3. 1. Définition de la couverture pour le service de radiodiffusion DVB-T

Il faut rappeler que le signal transmis est numérique et, à la différence d'un signal de télévision analogique dont la dégradation est progressive, celle de l'image en DVB-T passe par une transition rapide d'une réception de qualité à la perte totale de l'image.

Grâce à sa robustesse, le DVB-T permet des possibilités de dessertes pour différents types de récepteurs : fixes, portables et mobiles. Il convient de définir la couverture en fonction du service offert :

- **Couverture pour une réception sur antenne fixe.** C'est la situation majoritaire du service de télévision en analogique.
- **Couverture pour une réception sur antenne intégrée au récepteur portable.** La réception est possible sur à une antenne omnidirectionnelle solidaire de l'appareil. La réception doit être parfaite sans avoir à rechercher une position particulière du récepteur ou de l'antenne intégrée au poste. La couverture radioélectrique du réseau sera définie soit pour une réception à l'étage des immeubles soit au rez-de-chaussée¹⁷.
- **Couverture pour une réception en mobile :** Dans ce cas, il s'agit d'une réception pour des terminaux embarqués à bord de véhicules en déplacement¹⁸. La norme DVB-T ne prévoit pas ce cas ; une réception par des récepteurs mobiles est possible mais à condition de choisir une émission de type T-DAB. Le débit numérique est plus faible. La réception est possible pour une mobilité limitée, inférieure à 120 km/h. Une telle couverture demande la réalisation d'une infrastructure dense utilisant la technique du SFN régional ou national, comme le DAB. La qualité de l'image à l'écran du récepteur n'est pas comparable à celle obtenue pour les deux services précédents.

¹⁷ - Une telle couverture demande un renforcement du champ radioélectrique sur la zone de service, une densification des émetteurs de diffusion (émetteurs ou réémetteurs) apporte la solution. Une autre solution consiste à diffuser un signal robuste utilisant un débit moins important (QPSK avec 12 Mb/s par exemple). Cette dernière solution n'est pas économique pour le diffuseur (nécessité d'une puissance rayonnée plus importante) ; et elle est moins efficace pour l'utilisation du spectre puisqu'il y a moins de programmes par canal radioélectrique.

¹⁸ - La norme DVB-T ne prévoit pas ce cas ; une réception par des récepteurs mobiles est possible mais à condition de choisir une émission de type T-DAB. Le débit numérique est plus faible. La réception est possible pour une mobilité limitée, inférieure à 120 km/h. Une telle couverture demande la réalisation d'une infrastructure dense utilisant la technique du SFN régional ou national, comme le DAB. La qualité de l'image à l'écran du récepteur n'est pas comparable à celle obtenue pour les deux services précédents.

La couverture des zones de service en fonction du service retenu fait l'objet de définitions techniques plus complexes indiquées dans l'Accord de Chester¹⁹.

Les adaptations de couverture suivant les modulations hiérarchiques.

Les porteuses peuvent être modulées aussi bien en QPSK qu'en QAM. En choisissant une modulation hiérarchique (QPSK+QPSK ou QPSK+16 QAM), on peut, en réduisant le débit de transmission, augmenter la résistance au bruit et aux brouillages. L'utilisation de modulations hiérarchiques permet de séparer le signal en un flux prioritaire et un autre flux non prioritaire. Le premier flux est mieux protégé que le second, ainsi en cas de mauvaise réception (dégradation du rapport C/N), seul le flux prioritaire est décodé. Cette technique présente l'intérêt d'offrir, par exemple, une bonne couverture pour les portables sur certaines chaînes, tout en proposant une large offre de programmes en réception sur antenne fixe.

Il pourrait être décidé des offres de services prioritaires et des offres supplémentaires proposées par le diffuseur. Lors de la planification des fréquences, il faudrait fixer les zones de service associées à chaque type d'offres.

L'usage des modes hiérarchiques ne sera possible que si c'est prévu par tous les récepteurs. Les industriels peuvent l'inclure, mais ne le feront que si le marché ou la réglementation le demandent.

3. 3. 2. Les paramètres techniques du DVB-T importants pour la planification

La planification de réseaux de télévision numérique terrestre est basée sur la norme DVB-T avec les paramètres de planification qui en résultent (rapport de protection : numérique --> analogique, analogique --> numérique et numérique --> numérique, champ minimum pour le signal numérique, ...). Même une fois ces paramètres connus, la planification détaillée de la télévision numérique terrestre supposera de faire un certain nombre d'hypothèses en ce qui concerne notamment :

- le choix exact des paramètres choisis parmi la "panoplie" proposée par la norme DVB : nombre de fréquences de porteuse (2 K ou 8 K), constellation de modulation (QPSK, 16 QAM, 64 QAM, Hiérarchique QPSK/16 QAM ou hiérarchique QPSK/64 QAM), de codage de canal ($R_c = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$), de la longueur de l'intervalle de garde (1/4, 1/8, 1/16, 1/32),
- le type de couverture recherchée : " fixe " ou " fixe et portable ",
- les arbitrages entre l'étendue de la desserte et le nombre de programmes sur des zones prioritaires : cherche-t-on à avoir une desserte la plus complète possible, avec moins de canaux utilisables ou à maximiser le nombre de canaux sur une desserte moins importante (zones de forte densité de population).

Un paramètre particulièrement important est le débit binaire diffusé. Celui-ci détermine d'une part le nombre de programmes diffusés dans un canal et, d'autre part, la puissance nécessaire pour assurer une couverture correcte en numérique. Plus le débit est élevé, plus le nombre de programmes par canal est élevé, mais plus la puissance nécessaire est élevée également. A titre d'exemple, on peut citer deux configurations pouvant servir de base à des études de recherche de fréquences : débit 24 Mbits/s, qui permet de diffuser 4 à 5 programmes de

¹⁹ - Accord de Chester 97 – Annexe 1

qualité standard dans un canal de 8 MHz ou 12 Mbits/s, qui ne permet d'en diffuser que deux (ou 4 de qualité "VHS"). En raison de sa capacité à transporter plusieurs programmes, le débit 24Mbit/s suscite l'intérêt des radiodiffuseurs.

Certains de ces paramètres sont proposés pour un meilleur choix, dans un premier temps²⁰:

- le nombre de porteuse (8 K) et un intervalle de garde associé de $\frac{1}{4}$ (224 μ s) qui permet la réalisation d'un réseau SFN à mailles larges (supérieures à 50 km) ;
- les modes 16 QAM (RC 1/2 ou 2/3 pour un compromis débit/portabilité) ou 64 QAM (Rc 2/3 ou 3/4 pour un débit maximal).

3. 3. 3. Caractéristiques techniques pour la réalisation de réseaux à une seule fréquence ou à plusieurs fréquences

3. 3. 3. 1. Les paramètres possibles pour une première évaluation

On peut se donner un certain nombre de paramètres qui aideront à faire une première évaluation qui demandera par la suite à être affinée. L'étape suivante prenant en compte les éléments de protection de réception numérique face à une autre émission numérique ou face à une émission analogique et réciproquement (une émission co-canal ou canal adjacent) doit faire l'objet d'études détaillées et plus complexes qui ne peuvent pas être menées ici. Le chapitre 4 suivant présente quelques scénarios.

3. 3. 3. 2. Les canaux possibles

En s'appuyant sur les caractéristiques du système DVB-T (figure 7 ci-après), du fait de sa protection hors du canal utile²¹, on permet l'utilisation des canaux "interdits" en analogique avec toutefois des précautions à prendre :

- les émissions sont diffusées à partir des mêmes sites ou des sites proches que les émissions en analogique afin de conserver les rapports de protection du signal à la réception.
- les émissions en numérique sont diffusées si possible sur des fréquences adjacentes des émissions analogiques.

Les mesures effectuées indiquent qu'il est préférable d'adopter en premier choix le canal adjacent inférieur à l'analogique moins contraignant que le canal supérieur proche de la porteuse son de l'analogique.

²⁰ - Contribution CCETT au GT récepteurs et documents DigiTag

²¹ - ETS 300-744

Ces deux éléments favorisent la réception sur le parc d'antennes en place. En effet, il n'est pas nécessaire de procéder à des travaux de réaménagement de l'aérien chez le particulier soit pour rechercher une orientation ou la mise en place d'une autre antenne, soit de changer l'antenne faute d'une bande passante insuffisante. On pourrait s'affranchir de ces critères, mais ils facilitent l'initialisation des installations de réception.

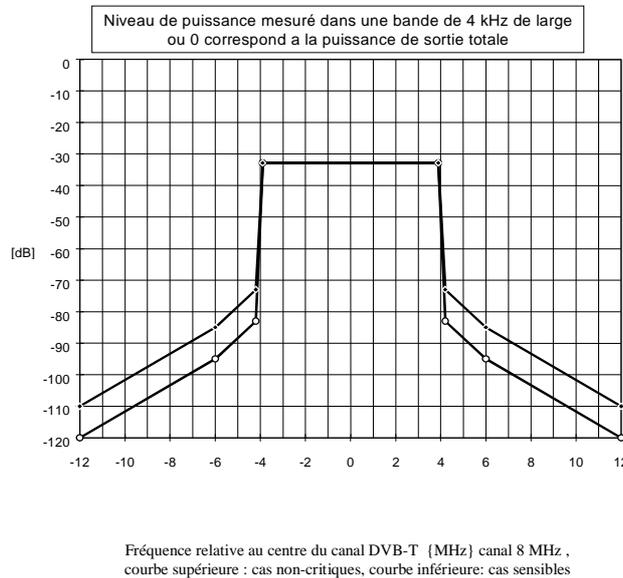


Figure 7 : Spectre du signal DVB-T

3. 4. Les sites de diffusion

3. 4. 1. Les choix de sites de diffusion

La planification d'assignations pour la télévision numérique de terre suppose, notamment dans le cas d'une planification MFN, la connaissance des sites de diffusion qui seront utilisés. Or le choix des sites de diffusion relève de la responsabilité des radiodiffuseurs et peut être lié notamment à des négociations commerciales avec leurs prestataires de service. Les sites effectivement utilisés ne seront donc connus qu'après attribution des fréquences par le CSA.

Comme il en est évidemment pas possible d'attendre les attributions de fréquences pour effectuer la planification, il est indispensable de faire des hypothèses sur les sites les plus vraisemblables, quitte à réaliser ultérieurement des adaptations en fonction des sites effectivement retenus par les radiodiffuseurs.

A ce stade, il est nécessaire également de choisir la structure de réseau envisagée avec deux options principales:

a) structure calquée sur les structures actuelles des réseaux analogiques, et basée sur l'utilisation, chaque fois que c'est possible, de sites de diffusion élevés, de forte puissance, et permettant chacun de desservir une population importante, avec des émetteurs de faible ou moyenne puissance pour compléter la couverture dans les zones d'ombre.

C'est la structure des réseaux actuels de TF1, France 2 et France 3. Une centaine de stations permettent de couvrir 80% de la population.

b) utilisation systématique d'émetteurs peu élevés, ou de puissance moyenne.

L'objectif d'une telle approche est de faciliter l'insertion du DVBT en réduisant les brouillages co-canal sur les émetteurs analogiques existants. Dans une telle approche, le nombre de stations nécessaires pour atteindre une population significative est beaucoup plus élevé que dans l'approche a). Une telle approche peut utiliser en partie des sites de diffusion existants (sites de réémetteurs) mais nécessite la création d'un grand nombre de sites nouveaux de radiodiffusion.

Le recours à des sites de diffusion de puissance moyenne nécessite des investissements importants pour réaliser dans un délai raisonnable un réseau desservant rapidement le territoire. Au coût d'installation des émetteurs, il faut en effet ajouter ceux liés à la transmission des programmes des chaînes retenues. Il est possible d'imaginer un mode de transmission des programmes par satellite, mais dans ce cas, la diffusion terrestre perd de son intérêt car les coûts de diffusion deviennent importants et la diffusion directe par satellite ou le MMDS deviennent économiquement intéressants. Par ailleurs, si une solution de ce type simplifie, d'un certain côté, la recherche de fréquences en réduisant les risques de brouillage co-canal sur les assignations analogiques existantes, elle la complique d'un autre côté, en limitant les possibilités d'utilisation des canaux " tabous " qui en général ne peuvent être utilisés qu'à partir du même site, ou d'un site proche, que la diffusion analogique

A l'inverse, reprendre les sites d'émission principaux présente beaucoup d'avantages pour les aspects techniques, économiques et les délais de desserte la plus large des récepteurs. Il n'est pas forcément imposé aux futurs radiodiffuseurs d'émissions numériques de s'installer obligatoirement sur les pylônes existants ; il est techniquement possible de voir se créer des sites d'émission à quelques centaines de mètres des sites d'émission existants. Il faut reconnaître, toutefois, que la création désordonnée de nouveaux pylônes ou tours radioélectriques n'est pas souhaitable lorsqu'on peut l'éviter.

Les avantages de la co-localisation analogique-numérique sont les suivants :

- l'orientation des aériens des téléspectateurs est conservée,
- la détermination des fréquences est plus facile, on prend les fréquences adjacentes et les canaux interdits fixés par les triplets du plan de Stockholm 1961, lorsque la planification existante des émissions en analogique le permet. Une très rapide estimation peut indiquer de l'ordre de 4 à 6 fréquences sur les sites principaux,
- les problèmes de protection à la réception liés au rapport de puissance des canaux différents sont plus facilement maîtrisables,

Donc, il est préférable pour les estimations de déploiement de réseaux **de retenir une utilisation des sites de plus grande couverture radioélectrique**, complétés lorsque les conditions de coordination l'exigent, par des sites supplémentaires.

C'est pourquoi l'approche proposée pour les travaux de planification est de partir des sites de diffusion utilisés par la diffusion analogique et, dans le cas où plusieurs sites permettraient de desservir la même zone, de retenir en première analyse le site donnant la desserte la plus importante. Si la recherche de fréquences à partir de ce site n'aboutit pas, en particulier en raison des contraintes liées à la coordination internationale, on recherche alors des fréquences sur d'autres sites, en visant toujours une couverture par site la plus élevée possible.

Ce type d'installations, s'il se généralise pourrait, comme pour les radios locales, gêner les cohabitants qui risquent alors de subir une saturation de leurs récepteurs installés sur ces sites ou à proximité. Il s'agit ici de problèmes d'ingénierie des sites, les cohabitants doivent prendre les dispositions pour conserver leurs zones de couverture de réception.

3. 4. 2. *Les émissions co-localisées*

On a noté que la recherche des fréquences est facilitée par des émissions co-localisées, c'est à dire une réutilisation des sites actuels ou un choix de sites distants de 500 à 1000 mètres des sites d'émission actuellement en service.

La technologie des multiplexeurs d'antenne permet aujourd'hui le couplage des émetteurs des canaux adjacents tout en respectant les conditions d'atténuation des produits d'intermodulation hors bande. Des filtres existent déjà.

Il est possible de réaliser d'autres sites d'émission que ceux qui sont généralement en service aujourd'hui. Cependant, pour conserver une capacité suffisante d'assignation de fréquences, il faut prendre en compte la conservation des rapports de puissance des champs des émissions en analogique et en numérique à l'entrée des récepteurs. De façon pratique, il est préférable pour planifier de ne se baser que sur les sites déjà aménagés.

L'émission DVB-T co-localisée avec l'analogique est prise en compte dans tous les pays qui introduisent le DVB-T. C'est notamment le cas au Royaume-Uni ; l'étude des réalisations des couvertures de stations DVB-T est fondée sur la réutilisation des sites d'émission existants, ce qui permet d'afficher les taux de couverture de l'ordre de 90% (ce taux ne prend pas en compte les réelles difficultés de coordination de fréquences).

Un autre choix de sites entraîne des contraintes puisqu'on doit protéger les réceptions des émissions analogiques :

- soit des contraintes de réduction de puissance rayonnée, c'est à dire une réduction notable des zones de couverture ;
- soit des contraintes importantes sur le choix des fréquences, c'est à dire en pratique une diminution très forte du nombre des fréquences.

Donc du point de vue de l'optimisation optimale du spectre dans la situation actuelle, il faut gérer les assignations des fréquences en liaison avec les sites d'émission existants. Des éléments de régulation peuvent intervenir pour traiter les autorisations d'utilisation des fréquences par les diffuseurs sur les points-hauts existants.

3. 5. Les typologies des réseaux de Télévision DVB-T

L'introduction de la technologie numérique permet d'imaginer des structures de réseaux de télédiffusion de terre différentes de celles autorisées jusqu'à présent par la technologie analogique de type PAL et SECAM. La télévision numérique, tout comme le T-DAB, autorise notamment la réutilisation de la même fréquence à l'intérieur d'une zone de couverture facilitant ainsi l'amélioration de la desserte et aussi la portabilité.

3. 5. 1 Réseaux multifréquences - MFN

Cette configuration reprend le schéma actuel de la planification en analogique. Le numérique permet d'utiliser les canaux interdits pour la diffusion analogique, toutefois les installations d'émission devront être très voisines pour **conserver les rapports de puissance** et éviter les brouillages mutuels entre signaux. Ce type de réseau numérique facilite la recherche de fréquences et autorise un taux de couverture rapide sans trop de difficultés. Il reprend le schéma de déploiement des chaînes de télévision analogiques. Ce devrait être le mode de développement initial. Il présente par ailleurs l'intérêt de disposer des antennes de réception en place sans modification des orientations. Par la suite, les couvertures pourront être améliorées par une extension en réseau monofréquence local décrit ci-après.

Des planifications de réseaux MFN fondées sur des sites nouveaux sont possibles, mais il convient alors d'étudier l'ensemble d'un réseau avec des caractéristiques précises (emplacements exacts, hauteurs et directivité des aériens). Ces éléments fixés on peut déterminer des fréquences à assigner. Mais, il faut considérer que les contraintes de protection des réceptions en analogique qui seront nécessairement fixées, imposeront des limites pour la réalisation d'un réseau national et même régional. Les estimations deviennent complexes et difficiles à établir. On peut affirmer que dans un tel cas, la capacité en assignations de fréquences baisse.

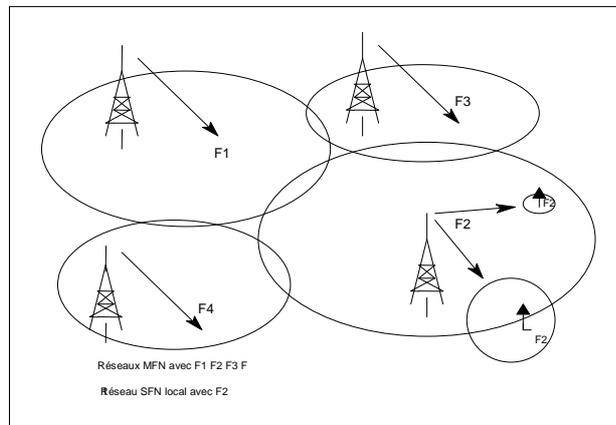
L'évaluation d'un taux de couverture de la population par un réseau de type MFN peut se faire sur la base d'une réutilisation des points d'émission servant à la diffusion actuelle analogique, c'est à dire les 107 points d'émission à forte couverture qui correspondent d'ailleurs aux points hauts desservant les villes principales françaises. La liste est donnée en annexe 2 en fin de rapport.

Sur le plan technique, la valeur de l'intervalle de garde doit être choisie de manière à éliminer les effets des échos dus aux trajets multiples ; une valeur de quelques microsecondes est suffisante. Toutefois, avec l'utilisation d'extensions locales de couverture en mode SFN, il est préférable de choisir un intervalle de garde de quelques dizaines de microsecondes pour compenser les retards des différentes sources.

Figure 8 - Schéma MFN et SFN locaux

3. 5. 2. Réseaux monofréquence - SFN.

Un réseau monofréquence ou SFN est un ensemble de stations DVB-T liées entre elles par 3



éléments :

- une synchronisation complète,
- un partage du même canal radioélectrique,
- une émission de signaux identiques.

L'efficacité spectrale est un des avantages du réseau SFN comparé au réseau MFN. Par ailleurs, le mode SFN peut favoriser le développement des récepteurs portables en permettant d'augmenter la densité des émetteurs dans certaines zones.

Cependant, pour éviter les brouillages, il faut disposer de fréquences exclusives dans la zone à couvrir et mettre en œuvre des émetteurs de radiodiffusion bien synchronisés entre eux. Les émetteurs sont alimentés à partir d'un réseau de télécommunications (voir figure 9). Une méthode de synchronisation a été étudiée dans le cadre du programme européen de VALIDATE. Tous les émetteurs d'un SFN sont synchronisés par une référence d'horloge qui peut être fournie par un récepteur GPS.

L'ingénierie des réseaux doit prendre en considération les délais de transmission causés par les trajets multiples créés par les réflexions sur des obstacles naturels ou artificiels et introduire les retards des émissions des différentes stations. La contribution des autres émetteurs qui peut être considérée comme des échos est proportionnelle à la distance de l'émetteur. Le retard est déterminé par la géométrie du réseau. Par exemple, en prenant comme réseau à large couverture, un réseau dont les distances entre émetteurs sont de 110 km, le retard de délai est de 330 μ s alors que pour un réseau plus dense ayant une distance de 10 km entre émetteurs, il n'est que de 33 μ s. Il s'agit donc d'établir un réseau

maillé dont la maille a une dimension choisie en relation avec la longueur maximum de l'intervalle de garde pour éviter les brouillages réciproques des stations constituant le réseau. Ainsi une division par 4 de la durée de cet intervalle peut conduire sur un modèle théorique de réseau, à une multiplication par 16 du nombre de stations nécessaires. Un emplacement de réception de ce réseau peut être desservi par plusieurs émetteurs, offrant donc une certaine redondance des sources d'émission. Pour une réception sur antennes de portables, les variations locales de l'amplitude des signaux sont compensées par la présence de plusieurs émetteurs. Cet effet est appelé "gain du réseau".

Une des possibilités intéressantes du SFN est l'utilisation d'émetteurs de plus faible puissance, mais en plus grand nombre, que les émetteurs des stations principales d'un réseau MFN. C'est un mode de diffusion adapté à la réception portable sur antenne omnidirectionnelle.

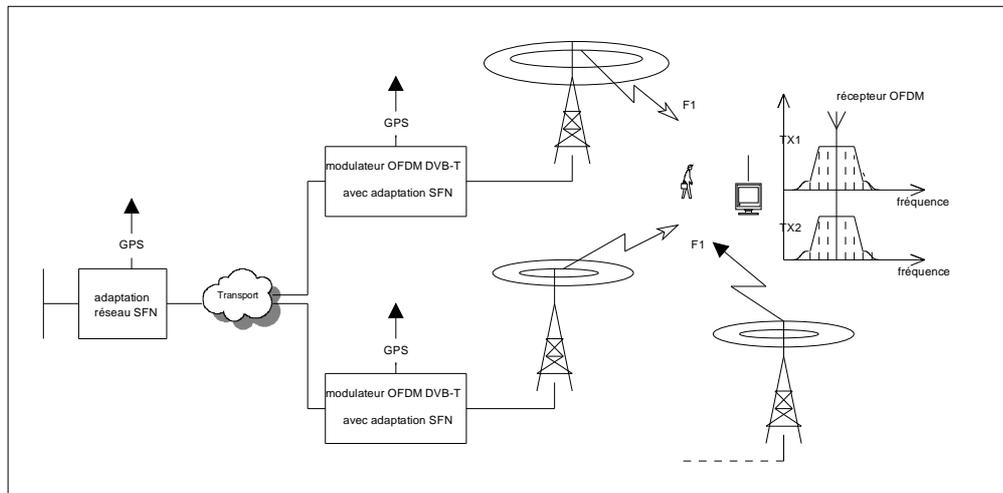


Figure 9 : Schéma d'un réseau d'émetteurs monofréquence SFN

3. 5. 3. Réseaux nationaux SFN

De façon pratique, les distances entre stations d'émission du réseau principal sont comprises entre 70 et 110 km. Pour éviter les brouillages mutuels entre émetteurs et obtenir un taux de couverture plus élevé, il est préférable de retenir un intervalle de garde de 200µs.

Si à première vue la réalisation d'un réseau SFN national présente un intérêt, en réalité, ce schéma n'est pas adapté aux réseaux devant permettre des décrochages régionaux ou locaux afin d'atteindre des cibles régionales ou locales de téléspectateurs.

Par ailleurs, la réalisation de réseaux SFN nécessite des fréquences exclusives sur la zone de service. C'est donc une solution difficile à envisager compte tenu de l'occupation des fréquences et des coordinations aux frontières (manque de fréquences, discussions difficiles, etc.).

3. 5. 4. Réseaux régionaux SFN

Il s'agit de réseaux limités à une couverture régionale de l'ordre de la centaine de kilomètres. Le réseau régional permet des décrochages pour émettre des programmes particuliers à une région (publicité, programmes culturels, enseignements).

Les fréquences de deux réseaux SFN adjacents doivent être différentes. Dans la mesure où les puissances des stations d'émission et les hauteurs des antennes sont faibles, on peut envisager une répétition assez serrée des fréquences. Une première estimation donne un besoin de 4 fréquences au moins, mais il faut plutôt disposer de l'ordre de 6 fréquences pour une planification nationale afin de tenir compte des difficultés aux frontières.

3. 5. 5. Réseaux locaux SFN

Il s'agit de réseaux constitués d'un émetteur principal auquel sont associés des réémetteurs situés à l'intérieur de la zone de couverture ou à sa limite et qui fonctionnent sur la même fréquence que celui-ci (voir le paragraphe ci-après).

3. 5. 6. Le réémetteur isofréquence

Il est possible de réémettre un signal vidéo pour couvrir une zone incomplète ou pour la prolonger. A la différence de la télévision analogique qui nécessite une fréquence différente de celle de l'émetteur principal, il est possible avec la norme DVB-T de le faire avec des réémetteurs fonctionnant sur la même fréquence. Cette solution offre beaucoup de possibilités :

- complément de couverture sans recherche supplémentaire de fréquence,
- amélioration de couverture pour des réceptions sur antennes fixes dans les zones d'ombre de l'émetteur principal,
- renforcement du champ radioélectrique permettant la réception sur antennes des récepteurs portables à l'intérieur de zones définies où ce type de couverture présente un intérêt.

Il est envisageable que les réémetteurs puissent être librement mis en place par des installateurs de compétence reconnue.

Une réglementation technique fixant les conditions d'installation est nécessaire et à étudier pour encadrer les activités des entreprises se lançant sur cette activité. Il faut bien noter qu'il s'agit d'une activité nouvelle offrant un créneau de marché à des sociétés d'installateurs en radiotélévision.

3. 5. 7. Le réémetteur domestique

Enfin, il est possible d'imaginer des émetteurs de faible puissance destinés à la couverture interne des enceintes privées (appartements, maisons,...) réémettant les programmes reçus à partir d'une antenne fixe orientée vers un émetteur principal permettant ainsi la portabilité des récepteurs.

3. 5. 8. *Le réémetteur à transposition de fréquence*

Pour mémoire, on peut rappeler le réémetteur à transposition de fréquence. Il s'agit du même principe que celui utilisé en analogique. La réception de l'émetteur principal sur une fréquence F1 est transposée sur une autre fréquence F2. Il peut être utilisé pour des installations de réémission de puissance ou lorsqu'un découplage suffisant entre réception et émission du réémetteur n'est pas possible à trouver.

4 - EXAMEN DE SCENARIOS DE DEPLOIEMENT ET ESTIMATION DES RESULTATS

4.1 Examen de 3 scénarios de déploiement de réseaux

La couverture des réseaux DVB-T dépendra des capacités en fréquences, mais aussi des décisions des opérateurs en ce qui concerne le nombre d'émetteurs et de réémetteurs à équiper. On peut s'attendre à ce que seules les stations de plus forte desserte soient équipées dans un premier temps, et que les autres le soient plus progressivement. Les décisions des opérateurs en la matière dépendront également du succès commercial du DVB-T.

Avant d'estimer le taux de couverture associé à la disponibilité des fréquences, il est intéressant d'étudier quelques exemples permettant d'apprécier les possibilités initiales et l'évolution envisageable des réseaux. Trois exemples sont examinés ici : le cas de la région parisienne, celui d'une région à caractère plutôt rural mais incorporant quelques villes importantes correspondant aux 4 départements bretons, et la réalisation théorique d'un réseau SFN régional. L'exercice consiste à vérifier que le déploiement de 6 réseaux en numérique est envisageable et à déterminer l'importance des réaménagements de fréquences à réaliser pour permettre cette réalisation.

Il faut bien noter que la présentation ci-après bien qu'apparemment précise n'est qu'un exercice de présentation qui sert à évaluer la faisabilité. L'étude pour une réalisation en vraie grandeur nécessite un travail complémentaire important.

4.2. Estimation des taux de couverture

4.2.1. Exemple théorique de la couverture de la zone parisienne

Il est intéressant d'examiner la région parisienne car les sites existants desservent une population de 9 533 200 habitants répartis sur les départements de la Seine, de l'Essonne, des Hauts de Seine, de la Seine Saint-Denis, du Val de Marne et du Val d'Oise.

Les résultats ne sont qu'approximatifs, établis sur des évaluations des brouillages assez grossières, notamment :

- il n'est pas tenu compte de la topographie,
- les différentes zones de service des différents émetteurs ont été déterminées de façon approximative,
- il n'a pas été fait de vérification de compatibilité.

Des études détaillées, basées sur la topographie, prenant en compte la protection de tous les points de la zone de service de chaque émetteur, complétées par des mesures sur le terrain modifieraient certains résultats, tant en ce qui concerne la puissance utilisable en numérique sur chacun des canaux étudiés qu'en ce qui concerne la liste précise des stations à réaménager. On peut cependant penser que les investigations détaillées ne modifieraient pas sensiblement la tendance générale qui se dégage de la présentation.

Il faudra par ailleurs procéder à la recherche de canaux de réaménagements qui nécessitent aussi des études détaillées et des mesures sur le terrain.

Les canaux actuellement diffusés depuis la Tour Eiffel, en bande décimétrique (UHF) sont les canaux suivants :

Site	Canal					
Tour Eiffel	22	25	28	33	30	Bande III (6)
	France 2	TF1	France 3	M6	Arte/La Cinquième	Canal +
Puissance apparente rayonnée	500 kW	500 kW	500 kW	100 kW	100 kW	-

Les fréquences assignées sur les 3 autres sites principaux de la région parisienne sont :

Site	Canal					
Chennevières	40	43	46	58	48	53
Sannois	39	45	56	62	65	59
Villebon	49	52	62	42	59	65

En ce qui concerne la Tour Eiffel, les émetteurs de TF1, FR2 et FR3 qui ont 500 kW de P.A.R. desservent 10 millions d'habitants. Arte/La Cinquième et M6 qui ont une PAR cinq fois moindre desservent environ 7,5 millions d'habitants.

L'étude se limite pour la Tour Eiffel aux canaux suffisamment proches des canaux actuellement diffusés pour pouvoir être reçus par toutes les antennes existantes : on se limite à la gamme 21 à 38. On note que les autres sites principaux de la région parisienne utilisent les canaux de 39 à 65.

Dans cette gamme de 21 à 38, tous les canaux non utilisés, à l'exception du canal 35 (canal du réseau "multiville ") sont des canaux "interdits " de l'un ou l'autre des canaux diffusés.

Par exemple, le canal 21 est le N-1 du canal 22 (FR2), le N-4 du 25 (TF1), le N-9 du 30 (Arte/la Cinquième). Le canal 29 est le N+1 du 28 (FR3), le N-1 du 30 (Arte/La Cinquième), le N+4 du 25 (TF1) et le N-4 du 33 (M6).

Par ailleurs l'étude a été effectuée sur la base d'une puissance d'émission de référence Pr pour les canaux numériques qui permette une desserte équivalente à celle de TF1, FR2 et FR3 en analogique avec les données suivantes :

- réception sur antenne fixe sur les toits,
- un débit binaire de 24 Mbits/s.

L'examen porte sur les 13 canaux non utilisés dans la gamme 21 à 38 (y compris le canal 35 du réseau "multiville "). Tous ces canaux sont utilisés par des émetteurs ou des réémetteurs à des distances plus ou moins importantes de la Tour Eiffel (entre 8 et 70 km suivant le canal).

Il faudra déterminer pour chacun de ces canaux, quelle est la puissance maximale avec laquelle peuvent être diffusés des signaux numériques depuis la Tour Eiffel sans brouiller un ou plusieurs émetteurs analogiques en service.

Résultats :

Pour les canaux “interdits ” en analogique

Si on considère le réseau analogique tel qu’il est, sans envisager de changer certaines fréquences, les limitations de puissance imposées aux émissions en numérique sont importantes sur tous les canaux. Ainsi, le meilleur canal n’est utilisable qu’avec une puissance 1000 fois inférieure à la puissance de référence. On conclut rapidement que sans réaménagement aucun canal n’est réellement disponible.

Pour obtenir des canaux utilisables en numérique, il est nécessaire de modifier les fréquences de certains émetteurs analogiques. Il n’est pas envisageable de toucher les émetteurs principaux (émetteurs de forte puissance). En revanche, l’étude a supposé possible de réaménager toutes les stations de faible ou moyenne puissance, mais il faut encore vérifier la faisabilité en déterminant les fréquences de remplacement.

Les résultats obtenus, en classant les canaux par ordre décroissant de qualité sont les suivants :

- **Canal 32 :**

Canal envisageable avec une puissance 3 fois plus faible que la puissance de référence, donnant une desserte un peu inférieure à celle de TF1, France 2 et France 3.

L’utilisation de ce canal nécessite le remplacement, par un autre canal, du canal 32 utilisé par les réémetteurs suivants :

Le Plessis Robinson (FR2)	20 000 habitants
Saulx-Les-Chartreux (TF1)	350 habitants
Saint-Rémy-Les-Chevreuses (FR2)	5 000 habitants
Fosses (TF1)	3 000 habitants
Dourdan (FR2)	6 000 habitants
Coulommiers (M6)	13 000 habitants
Mereville (FR2)	1 700 habitants.

Soit 49050 habitants concernés.

- **Canal 29**

Canal envisageable avec une puissance environ 5 fois plus faible que la puissance de référence Pr, ce qui conduit à une desserte à peu près équivalente à celle d’ARTE/ La Cinquième et M6.

L’utilisation de ce canal nécessite, à priori, de remplacer par un autre canal le canal 29 utilisé dans les stations suivantes :

Septeuil (TF1)	1 125 habitants
Ezy-Sur-Eure (M6)	12 400 habitants

Chartres-Les Hauts Saumons (FR3)	14 250 habitants
Pierrefonds (TF1)	1 600 habitants
Villiers-Saint-Denis (FR2)	1 100 habitants
Crezanzy (TF1)	2 100 habitants
Moy-De-L' Aisne (FR2)	2 300 habitants.
	Soit 34 875 habitants concernés.

Il faut noter que ce canal est utilisé par les réseaux câblés dans une partie de l'agglomération parisienne. Son utilisation à la Tour Eiffel pourrait entraîner des perturbations sur le câble, l'obligeant à modifier son plan de fréquence.

- **Canaux 21, 24, 27**

Ces trois canaux sont utilisables avec une puissance environ 6 fois plus faible que la puissance de référence, ce qui conduit à une desserte (pour un débit de 24 Mbits/s) très légèrement inférieur à l'analogique (Arte/La Cinquième).

L'utilisation de ces canaux nécessite de remplacer par d'autres canaux les canaux 21, 24 et 27 utilisées par les stations d'émission suivantes :

Nonancourt (M6)	6 800 habitants
Rouen Darnetal (FR2)	20 000 habitants
Chatillon-sur-Marne	8 500 habitants.
	Soit 35 300 habitants.

- **Canal 37**

Ce canal est utilisable avec une puissance environ 8 fois plus faible que la puissance de référence (desserte un peu inférieure à celle d'Arte/ La Cinquième et M6).

L'utilisation de ce canal nécessite le remplacement par un autre canal du canal 37 des réémetteurs suivants :

Le Plessis Robinson (FR 3)	20 000 habitants
Saint-Rémy-Les-Chevreuses (FR3)	5 000 habitants
Fosses (FR 2)	3 000 habitants
Etrechy (FR 3)	4 500 habitants
Dourdan (FR3)	6 000 habitants
Coulommiers (Arte / La Cinquième)	13 000 habitants
Fontainebleau (TF1)	27 000 habitants
Nogent Le Roi (FR 3)	4 000 habitants
Mereville (TF 1)	1 700 habitants
Saacy-Sur-Marne (TF1)	3 500 habitants
Chartres-Les Hauts Saumons (FR 2)	15 000 habitants
Chezy-Sur-Marne (M6)	14 000 habitants.
	Soit 116 700 habitants.

- **Canaux 23, 26, 34, 36**

Ces canaux sont utilisables avec une puissance très sensiblement inférieure à la puissance de référence (30 à 100 fois plus faible) et ne permettent pas d'obtenir une desserte satisfaisante.

- **Canal 35 (réseau "multiville ")**

Ce canal est utilisable en numérique avec une puissance environ 6 fois plus faible que la puissance de référence, permettant une desserte un peu inférieure à celle de TF1, France 2 et France 3, mais équivalente à celle du même canal du réseau multiville en analogique.

L'utilisation de ce canal ne nécessite pas de réaménagement, ceux-ci ont déjà été effectués.

- **Canal 38**

Il a été examiné dans le cadre de la diffusion d'un programme TV analogique et il a été examiné aussi pour la diffusion en numérique. La difficulté que présente l'utilisation de ce canal, aussi bien en analogique qu'en numérique, est la nécessité de réaménager l'émetteur de Sannois qui dessert 200 000 personnes en région parisienne.

Le réaménagement des stations d'émission analogique

La recherche de canaux de réaménagement qui nécessite des études détaillées et des mesures sur le terrain passe par deux préalables :

- la confirmation de la nécessité de réaménagement,
- la connaissance de l'ensemble des canaux qui seront utilisés pour une diffusion en numérique à la Tour Eiffel, afin de ne pas réaménager sur des canaux qui seraient ensuite demandés pour le numérique.

Sous réserve d'études détaillées et avec des réaménagements du réseau actuel, il est possible d'envisager 7 canaux pour des couvertures inférieures ou à peu près équivalentes à celle d'Arte/ La Cinquième, c'est à dire d'environ 7,5 millions d'habitants à comparer aux 10 millions de la couverture des plus puissants émetteurs de la Tour Eiffel. Au total, 235 925 habitants sont concernés par les réaménagements, soit environ 3,2% de la population qui pourrait être desservie par une diffusion en numérique.

4. 2. 2. Exemple théorique de la couverture de la Bretagne

Cet exemple est un exercice ne portant que sur la couverture des 4 départements de la Bretagne, c'est à dire : l'Ille et Vilaine (749 000 h.), les Côtes d'Armor (583 000 h.), le Morbihan (590 000 h.) et le Finistère (828 000 h.), qui représentent un total de 2 705 000 habitants.

Cette région est desservie actuellement par 3 stations du réseau principal de TDF avec les dispositifs d'émission suivants :

- **Brest Roc Trédudon** : une première antenne diffuse les émissions des 3 premières chaînes avec une puissance apparente rayonnée de 600 kW, desservant une population d'un million d'habitants. Deux antennes supplémentaires directives servent à la diffusion des 5 et 6 ièmes chaînes avec une PAR de 130 kW.
- **Rennes Saint-Pern** : la première antenne sert à la diffusion des 3 premières chaînes et dessert une population de 1 140 000 h. avec une PAR de 400 kW. La seconde antenne (5 et 6 ièmes chaînes), avec une PAR de 60 kW, dessert 982 000 h.

- **Vannes Moustoir'Ac** : les 6 chaînes sont diffusées à partir d'une antenne sur laquelle sont couplés les 6 émetteurs. La PAR est de 70 kW. La population desservie est de 576 000 h.

Les éléments d'hypothèses pour le numérique :

La puissance des émetteurs : La puissance apparente rayonnée nécessaire pour que la diffusion numérique atteigne une couverture équivalente à celle de la télévision analogique dépend du choix du système. En faisant l'hypothèse de la diffusion de la version 64 QAM, CR 3/4 de la norme DVB-T, une PAR "en numérique" inférieure d'environ 12 dB à la PAR en analogique est suffisante. Le débit binaire utile pourrait varier de 22 à 27 Mbit/s selon la durée de l'intervalle de garde. En pratique, la valeur de PAR obtenue après réduction de 12 dB sera considérée comme un objectif de planification qui ne sera pas toujours atteint, du fait de la nécessaire protection des stations des pays voisins et des stations analogiques du réseau principal français. Dans certains cas, initialement la couverture du service numérique pourra donc être inférieure à celle de l'analogique.

La protection des émetteurs existants en analogique. Il faut tenir compte des stations existantes, mais on admet la possibilité de réaménager en France les stations du réseau secondaire. Pour les stations d'émission à l'étranger, ici le Royaume-Uni, on admet une augmentation des niveaux de brouillage légèrement supérieure aux données fixées lors de la conférence de Chester (0,5 dB au lieu de 0,3 dB), la valeur retenue à Chester est une valeur déclenchant l'ouverture de négociations.

Six canaux sont proposés sur chaque site du réseau principal. Du côté français, les études de l'impact sur le réseau analogique sont précises. La moindre connaissance des réseaux étrangers et notamment anglais ne permet pas d'obtenir le même niveau de précision pour ce qui concerne l'impact sur ces réseaux, donc sur la couverture exacte vers le nord de la Bretagne puisque la puissance rayonnée dans cette direction dépendra du résultat des négociations avec le Royaume-Uni.

Les résultats :

- 1) **Brest Roc Trédudon**, avec un objectif de PAR de 14 dB/kW en numérique et une réduction vers le nord à négocier avec le Royaume Uni.

Les canaux en analogiques existants et les canaux proposés en numérique sont :

Chaîne	1	2	3	4	5	6
N° canal analogique	27	21	24	Bande III	34	60
N° canal numérique	22	23	25	26	28	30

Les réaménagements de réémetteurs à prendre en considération sont :

- **Canal 22**

L'utilisation de ce canal nécessite de protéger l'émetteur britannique : Caradon Hill et de réaménager un réémetteur en France : Plumeliau desservant 300 habitants.

- **Canal 23**

Principal émetteur à protéger : Gorey au Royaume-Uni et un réémetteur à Saint-Brieuc.

- **Canal 25**

Un émetteur britannique à protéger : Caradon Hill et les réémetteurs français à modifier :

Plumeliau (FR2)	300 habitants
Saint Brieuc (FR2)	8 400 habitants
	Soit 8 700 habitants.

- **Canal 26**

Un émetteur britannique à protéger : Gorey

- **Canal 28**

Un émetteur britannique à protéger : Caradon Hill et les réémetteurs français à protéger :

Plumeliau (FR1)	300 habitants
Saint Brieuc (FR3)	8 400 habitants
	Soit 8 700 habitants.

- **Canal 30**

Un émetteur britannique à protéger : Salcombe et les réémetteurs français à modifier :

Paimpol (M6)	1 000 habitants
Pont-Aven (Arte et La 5)	2 500 habitants
Josselin (FR2) ^o	1 100 habitants
	Soit 13 600 habitants.

2) Rennes Saint-Pern avec un objectif de PAR de 12 dB/kW et une réduction vers le nord à négocier avec le Royaume Uni.

Chaîne	1	2	3	4	5	6
N° canal analogique	39	45	42	Bande III	34	31
N° canal numérique	32	35	37	40	43	46

- **Canal 32**

Un émetteur français à protéger : La Baule Escoublac et avec les réaménagements :

Erquy (FR2)	2 100 habitants
Surtainville (TF1)	1 400 habitants
	Soit 3 500 habitants.

- **Canal 35**

Un émetteur britannique à protéger : Plymouth et un réaménagement en France

Saint Malo (FR2)	1 250 habitants
------------------	-----------------

Soit 1 250 habitants.

- **Canal 37**

Un émetteur anglais à protéger : West Cornwall/Redruth et à réaménager en France :

Erquy (TF1)	2 100 habitants
Chateaubourg (FR3)	450 habitants
Segrée (FR3)	3 300 habitants
Ernne (FR3)	8 500 habitants
Le Palais (FR3)	1 000 habitants
	Soit 15 350 habitants.

- **Canal 40**

Un émetteur britannique à protéger : Hele et un réaménagement en France :

Paimpol	1000 habitants
	Soit 10 000 habitants.

- **Canal 43**

L'émetteur britannique Hele à protéger et un réaménagement en France.

Guingamp (Arte et La Cinquième)	20 000 habitants
	Soit 20 000 habitants.

- **Canal 46**

Le même émetteur britannique à protéger Hele et le même réaménagement en France,

Guingamp (M6)	20 000 habitants
	Soit 20 000 habitants.

3) Vannes Moustoir'Ac avec un objectif de PAR de 7 dB kW pour l'émission en numérique avec les canaux suivants :

<i>Chaînes</i>	1	2	3	4	5	6
N° canal analogique	50	56	53	Bande III	58	48
N° canal numérique	46	49	57	59	61	64

- **Canal 46**

L'émetteur de Hele au Royaume-Uni est à protéger. Les réaménagements en France sont :

La Baule (FR1)	4 750 habitants
Port-Joinville (FR3)	4 900 habitants
	Soit 9 650 habitants.

- **Canal 49**

L'émetteur de Harbertonford à protéger au Royaume-Uni et les réémetteurs à modifier :

Lamballe (FR1)	800 habitants
Chateauneuf-du-Faou	1 500 habitants
Rennes 2 (TF1)	9 800 habitants
	Soit 12 100 habitants.

• **Canal 57**

L'émetteur britannique de South Devon à protéger et un réémetteur à modifier en France :
Pontchateau (TF1) 2 225 Habitants

• **Canal 59**

L'émetteur britannique de Modbury à protéger et les réémetteurs existants à modifier
Quintin (FR2) 1 600 habitants
Rohan (TF1) 1 200 habitants
Guer (FR2) 2 250 habitants
Port-Joinville (M6) 4 900 habitants
Soit 9 950 habitants.

• **Canal 61**

L'émetteur britannique de Cosawes Wood à protéger et à réaménager :
Redon (La 5 et Arte) 8 050 habitants
Rohan (FR2) 1 200 habitants
Guer (FR3) 2 250 habitants
Soit 11 500 habitants.

• **Canal 64**

L'émetteur de Cosawes Wood à protéger et les réémetteurs suivants à modifier :
Redon (M6) 8 050 habitants
Rohan (FR3) 1 200 habitants
Guer (TF1) 2 250 habitants
Soit 11 500 habitants.

Les taux de couverture en numérique pour l'Ouest

En télévision analogique, un complément de couverture est apporté par les réémetteurs du réseau secondaire qui permettent d'atteindre un taux de desserte de plus de 99 % pour les trois premières chaînes TF1, FR2, FR3. En télévision numérique, bien que l'objectif de couverture initial ne soit pas fixé à 99 %, il pourra être nécessaire d'équiper des stations du réseau secondaire avec des émetteurs numériques, notamment si les coordinations internationales conduisent à une limitation du rayonnement vers le nord et à une couverture plus faible dans cette direction.

Pour la région de l'Ouest, on trouvera une liste des réémetteurs à équiper en priorité. Du fait d'éventuelles réductions de couverture de sites principaux en numérique, la population desservie par ces réémetteurs en numérique sera plus importante que celle des réémetteurs analogiques, elle sera comprise entre la population desservie en analogique et la population potentiellement desservie.

Principaux réémetteurs	Population desservie en analogique	Population potentiellement desservie
Brest Quéliverz'an	15000	80 000
Quimper – Brizeux	15000	40 000
Morlaix – Le Créou	10000	20 000

Lannion – Beg-Ar-Land	9500	25 000
Saint Briec Plérin	8000	70 000
Quimperlé	8000	11 000
Redon – Beaumont	8000	28 000
Fougères – Rillé	5000	34 000
Concarneau – Kérandon	2000	29 000
Lorient – Ploemeur	2000	100 000
Perros-Guirec	1800	20 000
Guingamp – Castel Pic	1500	20 000
Tréguier – Trédarzec	1500	11 000
Paimpol – Ploubazlanec	1200	10 000
Pontivy – Kérouse	1050	17 000

Si on examine les conséquences de l'introduction de 6 multiplex numériques sur la région Ouest, 115625 habitants sont touchés par la modification d'un ou plusieurs canaux. Cela correspond à 4,2 % de la population totale desservie sur les 4 départements bretons. Le chiffre est faible mais doit être pris en considération pour le financement des travaux de réaménagements (changements de fréquences ou aide à la mise en place de décodeurs numériques chez les particuliers) et pour la définition du calendrier de déploiement de la télévision numérique.

4. 2. 3. SFN – L'utilisation du canal 66 (bande FA)

Une planification se basant sur la transformation des assignations de fréquences de l'analogique en numérique pour réaliser des réseaux isofréquence de grande superficie, c'est à dire d'arrêter le service en analogique, n'est pas envisageable. Une telle hypothèse supposerait que les téléspectateurs ne pouvant plus utiliser les récepteurs analogiques, soient obligés d'acheter des décodeurs numériques. Par ailleurs, à la différence des réseaux de radiocommunications cellulaires, indépendants ou de l'Etat, et même de la bande FM, les modifications des plans de fréquences de la télévision ne sont possibles qu'à une petite échelle pour les réémetteurs ; l'aménagement des assignations de fréquences en analogique pour libérer des fréquences sur des zones de service importantes est irréaliste. En supposant d'abord qu'on puisse dans un délai court déterminer les valeurs de fréquences, il faudrait ensuite modifier les émetteurs des stations de puissance et aussi envisager dans de nombreux cas de changer les antennes de réception chez les particuliers, car dans beaucoup d'installations les antennes sont choisies pour la réception dans la bande des triplets de fréquences et leur bande passante est limitée. Une telle opération rencontrant évidemment des oppositions du public ne pourrait pas réellement se faire.

Une autre solution pour réaliser des SFN est l'utilisation des canaux qui ne sont pas en service pour la télévision sur la zone de service. Il s'agit des canaux 66, 67 et 68 qui sont dans les bandes exclusives du ministère de la défense pour une utilisation d'équipements tactiques.

Il existe une tendance forte en Europe pour envisager l'utilisation de fréquences à partir du canal 60 pour l'introduction du DVB-T. Ces canaux sont généralement utilisés par les forces

armées pour des liaisons tactiques en service mobile et en service fixe. Les administrations ont fait preuve de conservatisme lors de l'Accord de Chester 1997, mais il est possible d'envisager des évolutions et il est donc intéressant d'examiner de façon théorique l'utilisation du canal 66.

Des émetteurs de radiodiffusion en analogique utilisent ce canal. En France, il s'agit d'une dérogation pour quelques émetteurs. A l'étranger, cette partie de bande est parfois affectée à la radiodiffusion.

Ce canal est utilisé par des émetteurs de puissance de télévision analogique interdisant de grandes zones de service pour le DVB-T. Ces émetteurs sont situés à :

Annemasse, Bergerac, Cachan, Carcassonne, Cornac, Lyon – Fourvière, Montregard, Nice Mont Alban, Saint-Adresse, Servance, Divonne Les Bains, Harfleur Montvilliers, Limoges, Menton, Montlhéry-linas, Saint Alban des Hurtières, Saint-Pol sur Ternoise.

Toutefois, l'emplacement de ces émetteurs laisse envisager la possibilité de réaliser quelques réseaux régionaux SFN, notamment en zones frontalières du Nord et de l'Alsace, où plutôt que de laisser la fréquence à d'autres administrations, il est préférable de coordonner des assignations. En supposant que les coordinations de cette fréquence avec les administrations de pays voisins soient possibles sur toute la zone, le développement de la télévision numérique serait facilité. En effet, du fait de la complexité des coordinations en analogique, quasiment toutes les fréquences sont assignées le long des frontières, rendant difficile voire impossible toute planification de réseaux DVB-T sur certaines villes.

En pratique dans le domaine de la coordination avec les pays frontaliers, si on examine les zones géographiques correspondantes (zones de l'ordre de 100 à 200 km), il apparaît qu'une coordination de la fréquence sur un site dégagé recouvre toute la zone, laissant par la suite la possibilité de réaliser soit un SFN régional, soit un MFN avec des réémetteurs isofréquences en mode SFN local. Seule une recherche détaillée de fréquences permettrait de déterminer les zones possibles.

En dehors des zones frontalières du Nord et de l'Alsace, pour la réalisation des réseaux de type SFN, l'apport immédiat du canal 66 n'apparaît pas clairement. Les zones où techniquement il pourrait être utilisable ne sont pas d'un intérêt fort pour les opérateurs : investissements sur une forte densité d'émetteurs pour un nombre de téléspectateurs assez faible. Certaines zones y trouveraient un intérêt comme la région du sud-est, mais ce canal est déjà assigné près de Nice. La conversion rapide de ce canal de l'analogique au numérique est une solution pour la réalisation d'une couverture pour des portables.

L'apport du canal 66 a par contre un intérêt immédiat dans les aménagements des réémetteurs dont les fréquences actuelles doivent être modifiées pour permettre la diffusion du DVB-T. Les zones de service sont très limitées, une vérification de compatibilité de cohabitation avec les Forces Armées devrait permettre un partage géographique et accélérer l'assignation de fréquences sur des stations de puissance DVB-T.

Le canal 66 trouve donc son utilité, tout en ne pénalisant pas l'activité des forces armées et lorsque la coordination entre leurs services de radiocommunication et la télévision est

possible, **pour des réaménagements de réémetteurs desservant des zones limitées**, par exemple le réaménagement dans la région parisienne.

A long terme, l'utilisation des canaux 66, 67 et 68 sur de plus grandes zones géographiques ne doit pas être perdue de vue. En effet plusieurs administrations européennes envisagent leur utilisation dans un futur proche ou ont même commencé à y planifier des réseaux comme en Espagne. Les éventuelles futures utilisations ne doivent pas surprendre le ministère de la défense et dès à présent des études doivent être envisagées. Ces études prospectives portant sur les bandes de fréquences mais aussi sur les systèmes permettront d'envisager le partage avec des systèmes civils dont la télévision. La poursuite des discussions de partage avec le ministère de la défense sera facilitée par la connaissance précise des critères chiffrés de compatibilité entre les faisceaux tactiques militaires et le service de télévision en numérique et en analogique. Une étude de l'Agence sur ce sujet sera lancée début 1998 avec pour objet de fournir des résultats déterminant la faisabilité et les limites d'un tel partage.

4. 2. 4. La couverture des zones frontalières

En zone frontalière, la recherche des fréquences est plus difficile. Les fréquences sont plus rares puisque partagées entre deux administrations ou plus et on considère qu'une administration n'a pas de possibilité de prendre en compte un éventuel réaménagement, sauf quelques cas exceptionnels. Les fréquences utilisables en DVB-T sont souvent les fréquences assignées en analogique dans le pays voisin. Toutefois, on a vu pour la Bretagne que les critères techniques décidés à Chester laissent des marges²² ouvrant les discussions pour des négociations techniques sur les coordinations des fréquences avec une administration voisine. Cette coordination est facilitée d'autant plus que l'administration concernée est demandeuse et donc prête à accepter de revoir les études techniques de planification (baisse de puissance apparente rayonnée dans différentes directions, acceptation de certaines fréquences apportant localement des contraintes, etc). Elle n'est pas assurée avec des administrations peu pressées d'introduire le DVB-T, bien au contraire elles peuvent se mettre en position de fixer des contraintes leur permettant d'attendre leurs projets de ses diffuseurs. Cette situation devrait très rapidement s'améliorer lorsque les industriels et les opérateurs se lanceront sur la technologie DVB-T.

Des solutions peuvent être envisagées, elles demandent un travail de coordination entre les administrations. Les résultats seront obtenus après des partages qui sont à discuter. La couverture en numérique aura au départ une efficacité moindre que la couverture actuelle en analogique ; elle dépendra du nombre d'émetteurs et de réémetteurs à installer, donc des investissements. L'utilisation des canaux non-utilisés par la diffusion pourra apporter des solutions.

Dans les zones frontalières, il faut considérer que le déploiement de la couverture subira un délai d'un ou deux ans supplémentaires par rapport aux autres zones. Des solutions alternatives dans ces zones existent avec la diffusion par les réseaux câblés et les satellites.

En tenant compte de la diminution d'efficacité de couverture des stations de plus grande importance liée aux coordinations des fréquences ou de la multiplication du nombre de sites d'émission, on peut estimer que les $\frac{3}{4}$ de la population actuellement couverte en analogique

²² - Prévu à l'Accord de Chester 97 (Annexe 2 - Principe d) Marges et Annexe A - Analyses de compatibilité)

pourront être desservis en numérique. Dans les deux exemples de réalisation de couverture ci-après, les villes pourront être couvertes, mais les zones rurales qui regroupent le dernier quart seront plus difficiles à atteindre lors du lancement du numérique ; la desserte par satellite est la solution alternative. La migration de l'analogique vers le numérique, à condition du succès du DVB-T, devrait ensuite améliorer la situation.

4. 2. 4. 1 Cas de l'Alsace - Lorraine

Ainsi dans la zone correspondant à l'Alsace et à la Lorraine, notamment pour la couverture des villes frontalières, la recherche des fréquences est difficile. L'expérience des déploiements des 5^{ème} et 6^{ème} chaînes a montré que des solutions classiques ne pouvaient pas être retenues : choix du site important, puissance identique des 3 premières chaînes... Cependant, des solutions ont pu être trouvées : plusieurs sites au lieu d'un seul avec antennes d'émission directives orientées vers la France, puissance limitée, utilisation de polarisation verticale et plusieurs antennes de réception chez les particuliers dirigées vers les émetteurs choisis. Pour le DVB-T, de telles solutions seront à rechercher en liaison avec les opérateurs. Une coordination avec les administrations voisines allemande, suisse, luxembourgeoise est obligatoire. Celles-ci sont moins pressées, les projets de l'Allemagne ne sont pas clairs.

La vallée du Rhin est une des zones les plus critiques, où même avec une bonne volonté de part et d'autre, il ne sera pas possible d'envisager des dessertes importantes sans ressources supplémentaires en fréquence. Celles-ci peuvent provenir des fréquences non utilisées par la télévision mais par les forces armées, canaux 60 à 65 du côté allemand et 66 à 68 du côté français. Une solution consisterait à négocier un partage entre forces armées et télévision pour réaliser par exemple deux réseaux MFN, soit 8 à 10 programmes en numérique de chaque côté de la frontière pour l'ensemble de la population de la région, amorçant ainsi la migration vers le numérique. Cela suppose un accord des forces armées pour chacun des deux pays, ce qui n'a jamais encore été proposé compte tenu des contraintes affichées jusqu'à présent par les militaires allemands et français ; des concertations devront être lancées dès la décision sur le DVB-T. Un délai de plusieurs années doit être envisagé avant l'aboutissement d'un arrangement, sauf décision d'accélérer le processus de chaque côté de la frontière. Cette solution aurait pour cette région, l'intérêt de pouvoir desservir les habitations en zone rurale. Ces difficultés se situent dans la vallée du Rhin, le flanc ouest des Vosges en présente déjà moins, des stations de moyenne puissance peuvent couvrir les villes et les zones rurales.

4. 2. 4. 2. Cas du Nord – Pas de Calais

Le Nord – Pas de Calais constitue une autre zone où la recherche des fréquences est complexe. Plusieurs pays interviennent dans la coordination : le Royaume-Uni (qui a affiché son besoin de 6 réseaux et envoyé les coordinations vers les pays voisins), la Belgique, la France, mais aussi les Pays-Bas et dans une moindre mesure l'Allemagne. D'importantes métropoles sont concernées : Londres, Lille, Bruxelles, Anvers... d'autres de moindre importance comme : Lens, Valenciennes, Maubeuge, Dunkerque, Calais, Boulogne-sur-Mer, Saint Omer, Arras...

Les Britanniques ont opté pour des réseaux MFN utilisant toute la bande IV et V, ce qui orienterait du côté français la recherche de fréquences adjacentes pour des MFN. Grâce à un travail technique complexe, il est possible de trouver des fréquences face à l'Angleterre avec notamment l'adoption de critères de brouillage moins contraignants que ceux qui sont habituellement retenus (par exemple, en prenant des courbes de propagation pour un taux de brouillage de 5% du temps au lieu de 1%) et en faisant des calculs précis tenant compte des

protections supplémentaires dues au terrain, des modifications des rayonnements des aériens (diminution de PAR dans des directions précises). Les résultats du côté français nécessitent une volonté de déployer le DVB-T pour vaincre les résistances des administrations voisines.

Mais du côté belge, il n'y a pas de réelle demande, le développement du câble laisse peu de place à la réception individuelle sur antenne fixe. La Belgique comme les Pays-Bas s'orienterait vers des SFN pour la réception portable, rendant donc plus complexe la recherche en fréquences car de plus l'Administration belge ne souhaite pas perdre de capacité en spectre et aurait tendance à s'en tenir, en attendant la définition d'un budget national, aux méthodes de calcul rigoureux protégeant leurs zones de service.

4. 3. Estimation des taux de couverture nationale

4. 3. 1. Evaluation du nombre de réseaux

Une première contrainte est de se fixer un objectif le plus près possible de ce qui est souhaité.

L'objectif est à la hauteur de ceux que les grands pays européens affichent ; le déploiement de 6 réseaux est un objectif raisonnable. Nos voisins ont retenu 6 réseaux (Royaume-Uni, Espagne, projets en Allemagne). Cela permet par ailleurs de préserver les ressources hertziennes aux frontières dans les discussions sur l'accès au spectre radioélectrique réservé à la télévision.

L'étude sommaire des scénarios sur la zone parisienne et de la Bretagne montre qu'il est possible de dégager au moins 6 fréquences, en incluant les fréquences du réseau multiville dont les fréquences n'ont pas été utilisées.

D'une manière générale, l'analyse du plan de fréquences actuel, issu du Plan de Stockholm 61, montre qu'il est possible de dégager au moins 4 fréquences sur les sites de desserte importante et assez souvent 6 canaux de 8 MHz. En zone frontalière, la situation est différente et la recherche de fréquence est difficile et des solutions ne peuvent être trouvées que cas par cas.

Le scénario d'un déploiement d'un nombre plus faible de réseaux, par exemple 2 réseaux, desservant toute la population trouve ses limites dans les zones frontalières et n'améliore pas la recherche de fréquences dans les autres zones où les 6 réseaux sont envisageables.

4. 3. 2. Evaluation du taux de population desservie

Les trois quarts de la population française sont concentrés dans 361 aires urbaines. Un quart est réparti dans les zones rurales qui regroupent 63% des communes. La carte reproduite ci-après à la figure 11 (Etude de l'INSEE avril 1997) donne un aperçu de la concentration de la population dans les principales agglomérations. Les plus importantes sont en général desservies sans trop de difficultés à partir des émetteurs de forte puissance. Des émetteurs de plus faible puissance diffusent les 5^{ème} et 6^{ème} chaînes (voir Annexe 1). La chaîne CANAL + est généralement diffusée sur des fréquences de la bande III. Les difficultés de couverture

concernent certaines communes rurales à faible densité de population. Les taux de couverture de 99% sont obtenus par la multiplication de réémetteurs très souvent de faible puissance (descendant parfois à 0,3 W). Ils constituent les 3000 sites d'émission de faible puissance.

La démarche permettant d'estimer le taux de desserte des couvertures se base sur la couverture de TF 1 (identique à celle de France 2 ou France 3) qui dessert 58 millions d'habitants grâce à environ 3500 sites de diffusion. Le réseau de diffusion est décrit à l'annexe 1 de la décision du CSA du 17 septembre 1996 portant reconduction de l'autorisation délivrée à la société Télévision française 1 (TF 1) – J.O. du 10 octobre 1996.

Les sites existants sont réutilisés. Les 107 sites les plus importants (desserte comprise entre 40 000 et 10 000 000) ont une desserte cumulée de 53 millions d'habitants, c'est à dire 91%. La figure 10 ci-après représente la courbe cumulée en fonction de l'importance décroissante de population couverte. La tendance de la courbe montre qu'une couverture complète nécessite un nombre important de stations supplémentaires.

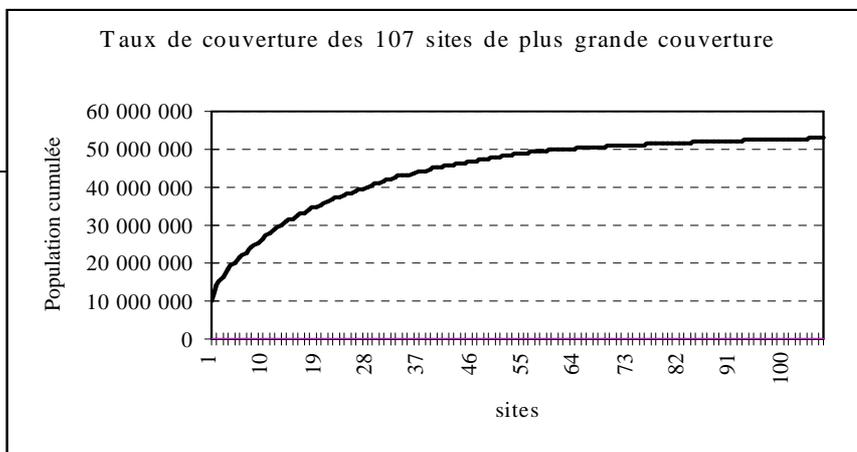
Les 3400 autres sites (desserte unitaire comprise entre quelques unités et 40 000) desservent 5 millions d'habitants restants. Cette seconde catégorie représente en général des sites de diffusion à faible puissance, pour lesquels on peut affirmer qu'il n'a pas de problème de fréquence. On peut donc disposer de façon sûre de 4 à 6 multiplex ; les difficultés portent plutôt sur les coûts de réalisation de diffusion ; une solution par réception par satellite sera souvent plus intéressante économiquement. La tranche de 5 000 à 40 000 représente environ 300 stations, desservant 4 millions d'habitants.

Figure 10 : Population cumulée des dessertes des 107 sites d'émission de couverture les plus importantes

Pour le nombre de multiplex, sur les 107 plus grosses stations qui desservent 53 millions d'habitants, on peut estimer qu'environ les 2/3 des sites, desservant environ 25 à 30 millions d'habitants, ne poseront pas de problème de recherche de fréquences et qu'ainsi 25 à 30 millions d'habitants pourraient recevoir 6 multiplex (sauf cas particulier), généralement avec des réaménagements (qui restent à étudier).

Il reste une trentaine de sites desservant 25 à 30 millions d'habitants qui posent des problèmes : sites élevés ou à proximité des frontières²³. Pour ceux-là, il faut faire des études détaillées, dont le succès n'est pas assuré et dépend de facteurs extérieurs dont la bonne volonté des administrations étrangères. Le canal 66 pourra dans certains cas offrir une solution, mais pas toujours (pas dans les zones où il est utilisé en analogique, et pas à proximité des frontières), et évidemment pour un multiplex au plus. On peut s'attendre à ce que pour une proportion importante de ces stations, il ne sera pas possible de trouver des canaux utilisables en numérique avec des conditions de desserte comparables à celles de TF 1.

²³ Les zones frontalières représentent une forte densité de population.



Les solutions alternatives consistent à chercher à desservir une partie de la zone concernée avec des antennes à rayonnement limité ou à partir d'un ou plusieurs sites de moindre importance (sites desservant les grandes agglomérations par exemple), en évaluant au plus juste les problèmes de coûts des sites et d'arbitrage coût/desserte.

Un scénario optimiste conduit à prévoir que 50 % de la population de ces zones pourra être desservies par le premier multiplex, le pourcentage étant plus faible pour les autres multiplex.

En résumé, on peut estimer le scénario suivant pour un déploiement rapide, c'est à dire réutilisant essentiellement des sites de diffusion existants. Il s'agit d'une estimation prudente, elle devrait s'améliorer avec une recherche détaillée de fréquences :

- **une première couverture de 4 multiplex en mode MFN** par les sites de plus grande desserte et les réémetteurs principaux, complétés par des réémetteurs isofréquences pour une réception sur antenne fixe, construite à partir des sites actuels ou de sites voisins devrait pouvoir atteindre 80 % de la population. Au fur et à mesure de l'extension des couvertures, il faut envisager d'arrêter des réémetteurs analogiques dont les réceptions ne deviendront plus utilisables car brouillées par quelques émetteurs DVB-T .
- Il est envisageable d'avoir **simultanément une seconde couverture pour deux multiplex** qui atteindrait 60 % de la population au début et qui irait ensuite en s'améliorant.

Des réémetteurs serviront à l'amélioration de la réception sur récepteurs portables. Pour ce dernier type de service, lorsque les émetteurs sont à proximité des villes importantes, une part importante des habitants aura accès à la réception portable. Des renforcements locaux apporteront un complément de couverture pour les villes ou les zones urbanisées plus éloignées. Dans ces conditions, compte tenu de la répartition de la population française²⁴, on peut estimer que au départ les portables pourront être atteints dans les zones urbaines pour environ 40 % de la population.

²⁴ - Etude INSEE sur le zonage des aires urbaines – avril 97.

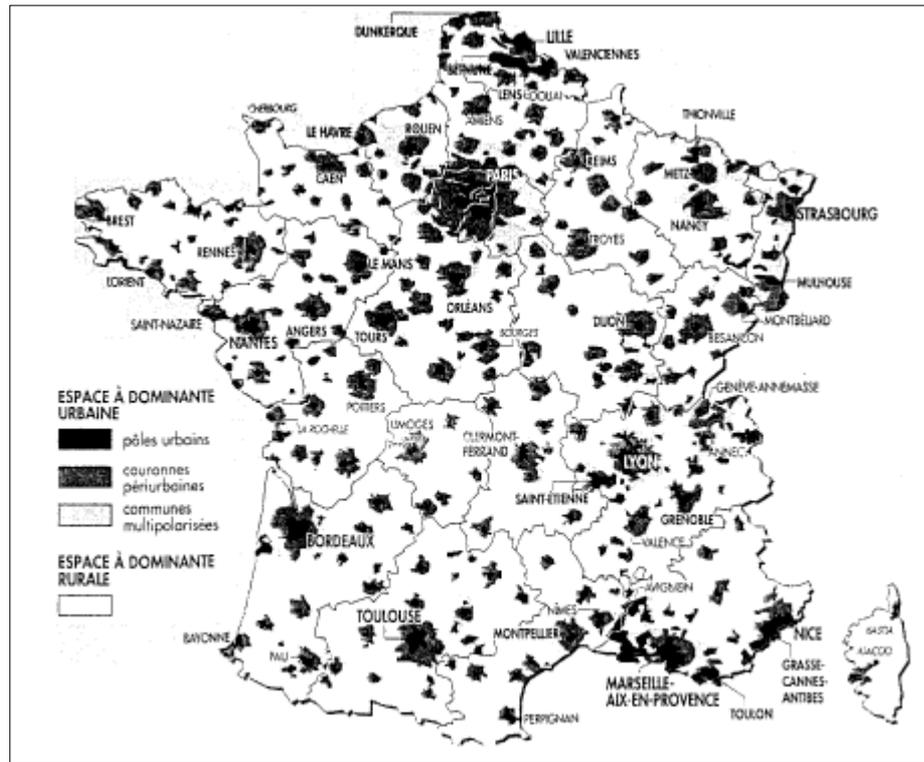


Figure 11 : Carte de la concentration de la population française – $\frac{3}{4}$ de la population se trouve dans 361 aires urbaines

4. 4. L'influence de la méthode de planification - Des décisions à prendre

Les résultats estimés sont obtenus en retenant d'abord le nombre de multiplex que le plan actuel en analogique peut raisonnablement fournir pour une couverture globale acceptable. Comme il l'a été dit précédemment, dans certaines zones frontalières, notamment sur l'Est de la France, le nombre de fréquences est faible sinon nul pour le moment pour certaines villes. Par contre, d'autres villes peuvent être couvertes par un nombre plus important que celui indiqué précédemment.

Un travail de planification détaillée fixera précisément les assignations de fréquences. L'étude technique du plan de fréquences dépend d'un certain nombre d'éléments qu'il faudra déterminer avant de se lancer dans l'exercice. En effet, il faut fixer dès le départ le nombre de multiplex à atteindre. En effet, les résultats ne seront pas les mêmes si on planifie d'emblée pour 6 réseaux ou si on procède d'abord à deux réseaux et ensuite à une autre série. Dans le second cas, la planification sera peut-être plus facile dans un premier temps, mais par contre la recherche de fréquences supplémentaires pour réaliser des réseaux supplémentaires deviendra plus complexe. Ce point a toute son importance dans la recherche de fréquences dans les zones frontalières où dans les discussions de coordination, il faut dès le départ annoncer le nombre total de fréquences à obtenir aux administrations voisines.

Les projets doivent être suivis d'exécution. Les discussions complexes et difficiles avec les administrations doivent être concrétisées par des mises en œuvre, faute de quoi, les coordinations pourraient être perdues.

4. 5. Délais pour les études - Enjeux du calendrier

Une réelle urgence s'attache aux décisions de mise en œuvre de la télévision numérique de terre.

Il ne faut pas négliger les délais nécessaires au déploiement de l'infrastructure de diffusion. En effet, les opérateurs de chaîne, une fois la décision prise de diffusion en mode DVB-T, demanderont une mise à disposition de l'infrastructure et des fréquences. Il faut prendre en compte les délais :

- d'étude d'installation et de réaménagement des sites d'émission,
- de planification des fréquences des réseaux (étude de propagation, relevé de couverture, études d'assignation de fréquences,
- de coordination avec les administrations étrangères qui, il faut le rappeler, ont, pour certaines, déjà décidé de déployer les réseaux et surtout avec celles qui n'ont pas encore pris de décision.
- de construction des émetteurs, des multiplexeurs d'émission.

Si dans les débuts de la télévision noir et blanc le déploiement du réseau a mis plus de douze ans pour atteindre une couverture de 80% de la population, ce délai s'est notablement raccourci pour FR 3 (4 ans pour 85 % de la population), Canal Plus (2 ans pour 80% de la population). Une fois les décisions prises, les opérateurs de chaînes demanderont donc des délais très brefs de mise à disposition des réseaux pour des taux de couverture élevés. Les radiodiffuseurs, quelle que soit l'importance des sociétés, seront en effet amenés à faire des efforts et à prendre des risques financiers et techniques pour la tenue des délais dans la conduite des projets (commande des infrastructures comprenant la part d'études liées à une nouvelle technique) et en ce qui concerne la préparation des sites.

Par ailleurs, les aspects industriels sont à prendre en compte afin de disposer en temps utile des équipements de réception. Les investissements de développement ont aussi toute leur importance, notamment en terme de brevets et d'éléments techniques (savoir-faire, brevets, circuits, offres de services sur l'ingénierie des installations et de déploiement, etc.) à échanger ou à vendre lors du lancement de cette nouvelle activité.

L'introduction du DVB-T et l'affichage de ce calendrier conforteront le développement de la norme européenne DVB au profit des industriels, des diffuseurs et aussi des chaînes. Les retards pourraient très bien se traduire dans certaines parties du monde par le choix d'autres normes que le DVB-T. Ce calendrier présente donc un intérêt stratégique. Il se joue sur les premières années et il est clair que sur tous les plans, nous avons intérêt à démarrer sans trop tarder.

Enfin, il ne faut pas négliger toutes les retombées du lancement de cette nouvelle activité à l'occasion des futurs lancements de la diffusion numérique terrestre dans les pays étrangers. Les connaissances et le savoir-faire acquis en France permettront aux sociétés de répondre aux marchés qui s'ouvriront.

4. 6. La recherche d'un calendrier

La disponibilité d'une offre de service DVB-T suppose réalisées un certain nombre d'opérations d'ordre technique, mais aussi réglementaire.

Le déploiement des réseaux suppose que les opérateurs de programme aient été désignés. La diffusion simultanée d'une partie ou de toutes les chaînes analogiques désigne déjà un premier groupe d'opérateurs. Ils représentent la capacité d'un à deux multiplex. Cependant, il apparaît clairement que la réception simultanée des programmes actuels en analogique et en numérique ne présente pas une motivation suffisante pour que les téléspectateurs migrent rapidement sur le numérique. Afin de provoquer cette migration de façon volontaire, il faut que l'offre de l'hertzien numérique soit supérieure, en nombre de programmes ou en qualité, à l'analogique. Cela suppose donc l'établissement d'un cahier des charges du service de diffusion hertzienne numérique qui organisera donc cette nouvelle offre. L'établissement de ce cahier des charges peut démarrer en début 98 pour afficher à l'automne 98, la réglementation décidée.

En parallèle, les opérations techniques doivent démarrer. Ces opérations sont de plusieurs ordres :

- Etudes détaillées de la planification des fréquences en relation avec la coordination aux frontières. Il faut prévoir un an pour obtenir une grande partie des résultats, et un an supplémentaire pour les compléter en fonction de contraintes réglementaires, techniques ou de discussions avec les administrations des pays voisins. Toutefois, on peut compter sur un démarrage de quelques réseaux en début 1999, mais en conservant l'hypothèse de départ qu'il faut fixer l'objectif en nombre final de programmes.
- Etudes d'ingénierie des réseaux, liées d'une part avec la planification des fréquences (zones de couverture) et d'autre part à la réalisation des équipements (constructions et installations des émetteurs, des aériens, des multiplexages d'antennes, etc). Ces études sont à mener en parallèle avec les précédentes sur la planification. En débutant en 1998, on peut considérer que la situation sera avancée en fin 1998.
- Essais, contrôles et expérimentations des services DVB-T qui pourront se mettre en place en 1998, conformément à ce qui a été annoncé dans le plan Jospin sur les autoroutes de l'information et qui peuvent se faire dans le cadre juridique de la loi du 10 avril 1996 relative aux expérimentations dans le domaine des technologies et services de l'information (loi " Fillon ").
- Production industrielle d'un premier parc de récepteurs numériques à un prix intéressant les téléspectateurs.

L'analyse des différentes étapes montre qu'un certain nombre de réseaux pourront proposer un service de diffusion numérique en 2000 s'accompagnant d'une montée en puissance sur deux ans. Selon TDF, à partir de 2003, le DVB-T pourrait être offert à environ 80% de la population.

De 1998 à 2005, on peut penser que le marché des terminaux numériques se sera constitué et que les constructeurs de récepteurs numériques auront pu faire évoluer le terminal numérique : mobilité, interactivité, convergence TV/informatique, etc.

Le processus de disparition de l'analogique étant bien entamé, la fin de l'analogique peut être escomptée en 2015.

Entre temps, l'introduction du numérique s'accompagnera de la révision, sur la zone européenne de diffusion, du Plan de Stockholm 1996. A terme, il en résultera une réutilisation des fréquences gagnées par la disparition de l'analogique.

Globalement, il est indispensable d'afficher une première étape de déploiement rapide sur 80 % de la population d'un service sensiblement plus attractif que le service actuel de 6 chaînes analogiques, quitte à afficher une couverture complémentaire visant à toucher plus progressivement le reste de la population par des moyens adaptés et diversifiés (réémetteurs, MVDS, satellite). Seul un tel scénario "volontariste" est à même de crédibiliser la mutation vis à vis des acteurs économiques et des usagers et d'enclencher une dynamique suffisante pour réaménager vraiment l'espace hertzien de la télévision en France.

Sur la gestion du spectre des fréquences de l'audiovisuel, il faudra envisager une revue de spectre en 2002 pour déterminer les dispositions futures de l'utilisation des bandes de télévision hertzienne en fonction des premiers résultats de l'introduction du DVB-T.

5. GAIN EN SPECTRE A UNE ECHEANCE DE 10-15 ANS ET VALORISATION DE LA RESSOURCE SPECTRALE

5.1. Gain en spectre théorique apporté par la télévision numérique

Un des intérêts de la télévision numérique de terre, est l'économie d'utilisation du spectre radioélectrique. Afin d'estimer le gain en spectre à long terme, en supposant l'abandon de l'analogique et un nouveau réaménagement des fréquences et des réseaux, on s'appuie sur l'exercice théorique décrit ci-après.

Le Plan de fréquences de Stockholm (1961), régissant la planification des sites principaux du réseau actuel, a été réalisé avec l'hypothèse que les fréquences des porteuses d'émission sont contrôlées avec une précision de l'ordre de 500 Hz, cela permet d'abaisser le rapport de protection co-canal des signaux de télévision de 15 dB. Le modèle théorique du plan de fréquences de Stockholm est de 9 canaux ; ce modèle suppose que la terre est parfaitement sphérique, que les émetteurs sont régulièrement répartis au centre de cellules formant un pavage d'hexagones réguliers, qu'ils ont la même puissance, que les antennes d'émission sont à la même hauteur et sont omnidirectionnelles. Le Plan de Stockholm a été bâti sur ce modèle théorique, mais adapté et complété pour tenir compte de la réalité (configuration du terrain, frontières, réémetteurs,...). Il donne à chaque pays la possibilité de constituer, en bande décimétrique, au moins 3 réseaux couvrant l'ensemble de leur territoire. Ils correspondent en France aux 3 réseaux TF1, F2, F3 couvrant maintenant plus de 99% de la population

Pour réaliser les deux autres réseaux (5^{ième} et 6^{ième} chaînes) il a fallu contrôler les fréquences d'émission au hertz près, afin de les mettre en décalage de trame appelé aussi décalage de précision. Dans ce cas, le rapport de protection est abaissé de 7 dB et le modèle théorique applicable est un modèle à 7 canaux. Tous les émetteurs de TDF n'ont pas été mis en décalage de précision, car pour que ce système fonctionne, il faut que tous les émetteurs utilisent la même précision et ils doivent notamment être coordonnés avec des émetteurs étrangers qui utilisent aussi cette technique. Or aucun pays n'est en général prêt à investir pour faciliter le développement des réseaux d'un autre pays. Au plan international, ces techniques n'ont donc été mises en œuvre que dans de rares cas où elles présentaient un intérêt mutuel pour les pays concernés.

Pour planifier 5 programmes en UHF, en se basant sur le modèle théorique à :

- 9 canaux, il faut : $5 \times 9 \times 8$ MHz, soit 360 MHz,
- 7 canaux, il faut : $5 \times 7 \times 8$ MHz = 280 MHz.

La planification qui est actuellement mise en œuvre pour diffuser 5 programmes en ondes décimétriques utilise 360 MHz (830 MHz-470 MHz). Mais d'une part la 5^{ième} et 6^{ième} chaînes ne couvrent pas 99% de la population, mais seulement 80 à 85% de la population, d'autre part Canal+ qui est normalement planifié en VHF possède des émetteurs en UHF, et il reste des fréquences disponibles pour réaliser le réseau multiville qui couvre 20 à 30% de la population. En dépit et compte tenu de toutes ces remarques, il apparaît néanmoins qu'il existe une concordance satisfaisante entre un modèle théorique qui couvrirait 100% de la population et une mise en œuvre pratique qui en couvrirait 95%.

Supposons maintenant que la bande de fréquences (470 - 830 MHz) soit disponible, et que nous cherchions à planifier dans cette bande, en numérique, un maximum de programmes. Dans le cas où serait réalisé un plan monofréquence par plaque, une plaque recouvrant une région ou un pays, il faudrait 4 fréquences pour diffuser un multiplex sur motif de répétition. Dans le cas où serait réalisé un plan multifréquence, comme le rapport de protection co-canal en OFDM est de 26 à 28 dB, ou bien la réception est fixe et le modèle théorique correspond à un plan de 4 canaux²⁵, ou bien la réception est portable et le modèle théorique correspond à un plan de 9 canaux. Une planification multifréquence des réseaux visant des récepteurs portables est plus consommatrice de fréquences qu'une planification monofréquence. Mais, comme ces réseaux permettent d'effectuer des décrochages locaux, il faut en prévoir un ou deux au maximum.

La bande (470 - 830 MHz) comprend 45 canaux, le nombre total de réseaux qu'il est possible de planifier dans cette bande de fréquences dépend du nombre de réseaux multifréquence qu'il aura été décidé de planifier. Dans le cas où un seul réseau serait nécessaire, il resterait 36 canaux permettant de réaliser 9 réseaux monofréquence au maximum. Dans le cas où ce serait deux réseaux, il resterait 27 canaux permettant la réalisation de 6 réseaux monofréquence. Comme dans chaque canal il est possible de multiplexer de 4 à 5 programmes de télévision, dans le premier cas il serait possible de diffuser au maximum 45 programmes de télévision partout en France en utilisant toute la bande UHF, dans le deuxième cas il serait possible de diffuser seulement 36 programmes au maximum.

En supposant qu'une couverture nationale par 20 à 30 programmes serait suffisante il faudrait disposer d'une bande de fréquences dans laquelle pourraient être planifiés 5 à 6 réseaux. Le tableau suivant montre qu'il serait possible de libérer à long terme entre **88 MHz et 160 MHz** selon la configuration choisie.

Nombre de réseaux Configuration des réseaux	5 réseaux		6 réseaux	
Nombre de réseaux multifréquences	1	2	1	2
Nombre de réseaux monofréquence	4	3	5	4
Largeur de bande libérée (en MHz)	160	120	128	88

Tableau 3 : Possibilité de largeur de bande libérée grâce au DVB-T

En adoptant le scénario d'une couverture nationale par seulement deux réseaux diffusant 6 à 8 chaînes, par exemple un réseau de type SFN (deux chaînes) et un autre de type MFN (4 chaînes), il faudrait alors que 13 canaux, 9 pour le réseau SFN et 4 pour le MFN. Avec ce scénario, il serait possible à terme de libérer **256 MHz** sur une grande part du territoire.

Après avoir montré que les modèles théoriques de planification donnent des résultats qui sont bien vérifiés par la pratique, cette étude a permis de calculer le nombre de réseaux de télévision qu'il sera possible de déployer lorsque la télévision numérique se sera substituée à

²⁵ - Radiodiffusion sonore et télévisuelle – Guy Brun – Techniques de l'ingénieur

la télévision analogique dans le cas de la mise en œuvre de réseaux monofréquence et de réseaux multifréquences.

D'autre part le gain en spectre que permet d'obtenir la télévision numérique par rapport à la télévision analogique est de l'ordre de 9 dans le cas où les antennes de réception seraient fixes. Ce gain est plus difficile à déterminer dans le cas de la réception portable, car la planification de Stockholm n'a pas été réalisée avec cette hypothèse, des évaluations permettent néanmoins de dire qu'il est encore plus important dans le cas de réseaux monofréquence, et légèrement moins important dans le cas de réseaux multifréquences.

Les fréquences libérées en fonction des scénarios peuvent servir aux développements des activités liées à la télévision terrestre comme l'interactivité par voie radioélectrique ou bien d'autres services de radiocommunications. Il est aussi possible d'imaginer le regroupement de l'ensemble des émissions de télévision dans la bande IV/V et de libérer la bande III au profit d'autres services de radiocommunications.

Enfin, à ce stade il est trop tôt pour donner des indications sur la portion de la bande IV/V où les émissions de télévision doivent être concentrées. Les intérêts des services qui y seront développés se porteront suivant leurs caractéristiques soit sur le haut de la bande, soit sur le bas de la bande

5. 2. Valorisation du spectre libéré par la conversion de la télévision analogique en télévision numérique.

Les gains obtenus sur l'efficacité d'utilisation du spectre plaident en faveur de la télévision numérique de terre. Le tableau suivant donne le gain en fréquence obtenu pour différents types de réseaux de télévision.

Norme de diffusion	SECAM-L	MFN	SFN
Largeur de bande de fréquences par programme	56 à 72 MHz	18 MHz ²⁶	8 MHz
Gain en fréquence	1	3 à 4	7 à 9

Tableau 4 : Comparaison des différents réseaux de diffusion de télévision

Le spectre est une ressource rare et convoitée. Cette remarque est d'autant plus importante qu'elle porte sur des bandes de fréquences inférieures à 1 GHz recherchées pour les réseaux de radiocommunications mobiles et cités comme candidats à l'utilisation des fréquences libérées par la numérisation de la télévision hertzienne. Les chiffres donnés à la section précédente correspondraient à l'équivalence de 2 réseaux actuels GSM pour 100 MHz libérés (2 bandes couplées avec un duplex de 45 MHz) et à une dizaine de réseaux pour le scénario de deux réseaux DVB-T seulement. La croissance spectaculaire de la radiotéléphonie cellulaire numérique a certainement des limites en nombre d'abonnés, mais le trafic peut croître de façon importante et la mise à disposition d'une quantité importante de spectre peut être l'occasion de pouvoir offrir de nouveaux services, par exemple la transmission vidéo ou la transmission de données à haut débit.

²⁶ - 9 canaux de 8 MHz pour diffuser 4 programmes, soit 72 MHz/4 programmes

Il est évident qu'on ne peut pas comparer le service mobile au service de télévision ; les objectifs de chaque service, les bandes passantes nécessaires sont totalement différents. Mais, il est intéressant d'essayer de fixer des ratios qui peuvent aider à valoriser les fréquences libérées par la télévision analogique. On peut prendre le rapport de chiffre d'affaires au MHz en considérant que la mise à disposition du spectre est source d'activités. D'un point de vue économique, l'utilisation des fréquences par la télévision hertzienne doit alors suivre le niveau des autres services de radiocommunications dans les mêmes gammes de fréquences et les services qui occuperont les fréquences TV libérées doivent être au même niveau.

Les ressources qui financent la production et la diffusion des programmes de radio et de télévision se répartissent en trois rubriques : la publicité et le parrainage, les abonnements et la redevance, chaque chaîne bénéficiant d'un ou deux de ces modes de financement. Les ressources des sociétés de radiotéléphone sont des données publiques puisqu'elles figurent dans les comptes de résultats de ces sociétés. Il a donc été possible d'établir le tableau ci-dessous dans lequel sont regroupés les chiffres d'affaires cumulés des sociétés de radiodiffusion sonore, des sociétés de télévision hertzienne, et la part du chiffre d'affaires du radiotéléphone analogique ouvert au public de la SFR, pour l'année 1995, année pour lesquels les données sont publiées par l'INSEE pour la télévision. La comparaison n'a pas été faite avec les réseaux GSM qui en 1995 étaient en période de démarrage. On peut noter qu'en 1997, le chiffre d'affaires du réseau GSM de France Télécom est de 14 milliards de francs, chiffre qui sera croissant dans les années à venir. Le chiffre d'affaires global, comprenant notamment l'aspect industriel : fabrication des infrastructures et des terminaux ou de leur distribution, n'a pas été pris en compte ici.

A partir de la largeur de bande occupée par ces services il est possible de calculer l'efficacité financière d'utilisation du spectre de chacun d'eux. Il apparaît que le rapport " ressources sur unité de spectre occupé ", c'est à dire l'efficacité financière d'exploitation annuelle du spectre en télévision (en 1995), est moins élevé que celui de la radiodiffusion sonore et de la radiotéléphonie analogique : 4,7 fois moins que les radios en modulation de fréquence, 4 fois moins que le radiotéléphone analogique et plus de 8 fois moins que la radiotéléphonie numérique GSM.

	Radiodiffusion sonore	Télévisions	Radiotéléphone analogique	GSM (en 1997)
Ressources totales Opérateurs	6730 MF	28700 MF ²⁷	1200 MF	14000 MF
Spectre occupé	21 MHz	430 MHz	4,1 MHz	25 MHz
Efficacité financière d'exploitation	320 MF/MHz	66,7 MF/MHz	293 MF/MHz	560 MF/MHz

Tableau 5 : Comparaison de différents services de radiocommunications (francs en 1995, sauf pour le GSM)

On en déduit l'amélioration de l'efficacité financière qui serait obtenue dans le cas de la diffusion numérique de programmes de télévision respectivement par un réseau MFN et par un réseau SFN. En 1998, le chiffre d'affaires généré par un programme diffusé en SECAM est estimé à environ 71 MF/MHz. Diffusé en numérique par un réseau MFN, du fait du gain en utilisation de spectre, il serait de 250 MF/MHz environ, et par un réseau SFN de 500 MF/MHz environ. Le passage de l'analogique au numérique améliore l'efficacité

²⁷ - Tableaux de l'économie française 1997-1998 - INSEE

financière de l'utilisation des bandes de fréquences attribuée à la télévision. Cette efficacité est au niveau de celle du radiotéléphone numérique GSM dans le cas du déploiement de réseaux SFN, et à celle de la radiophonie dans le cas du déploiement de réseaux MFN.

En considérant que le service remplaçant la télévision analogique doit avoir comme objectif d'obtenir au moins la même efficacité financière que la télévision numérique, la numérisation des réseaux de télévision libérant en 2015 de l'ordre de 100 MHz (1/3 de la bande UHF), cela correspondrait à la possibilité de développer des services dont les chiffres d'affaires cumulés seraient supérieurs à 25 milliards de francs.

5.3. Quels services à long terme, pour les bandes libérées?

Les ondes décimétriques, dont fait partie la bande 470 - 830 MHz, ont d'une part l'intérêt d'être très peu affaiblies par la pluie, elles peuvent donc être utilisées dans de grandes cellules, d'autre part, elles peuvent être émises ou reçues par des antennes omnidirectionnelles, elles sont donc bien adaptées aux services exigeant la portabilité ou la mobilité des terminaux. Cette dernière décennie a vu le développement de nombreux services de ce type, leurs croissances actuelles laissent penser que des besoins en bandes de fréquences apparaîtront pour les services actuels, mais aussi pour des services nouveaux. La bande de fréquences libérée en raison de la numérisation de la télévision hertzienne pourrait donc être réservée en priorité aux services exigeant de la mobilité ; en deuxième priorité, elle pourrait éventuellement être utilisée par les services à terminal ayant une antenne fixe dans les zones à faible densité de population.

On a cité l'exemple des réseaux de radiotéléphonie publique GSM. D'autres services sont possibles, par exemple les services multimédias interactifs qui devront pouvoir être reçus sur des micro-ordinateurs portables afin de leur donner accès à des sites de documentation, de presse électronique, de télé-enseignement, aux services de santé, d'information sur l'environnement, etc. Parmi les services multimédias interactifs auxquels devront avoir accès les mobiles figurent tous ceux destinés aux personnes en déplacement. Les contenus disponibles sur les serveurs multimédias pourraient être mis en place pour être diffusés sans interactivité en direction des terminaux mobiles ou portables, ce pourrait être notamment les informations intéressant tous les automobilistes. Enfin il pourrait être possible d'envisager une demande de chaînes de télévision spécifiques, par exemple une chaîne destinée aux transports en commun.

Aucun projet de refondation hertzienne n'a encore été lancé, donc on ne sait pas affirmer aujourd'hui quels services bénéficieront des fréquences qui deviendront libres. Il est clair que ces projets de libération et de réutilisation s'inscrivent dans une logique européenne et d'harmonisation des utilisations des fréquences et des normes techniques. Une décision d'introduction de la télévision numérique ouvrira des perspectives pour des services candidats à ces fréquences libérées et laissera le temps d'étudier et de faire mûrir des projets.

5.4 La nécessité d'une volonté politique pour réaliser la migration de l'analogique vers le numérique

L'Etat doit gérer efficacement le domaine public que constitue la ressource hertzienne. Il ne peut pas laisser perdurer des systèmes de radiocommunications qui deviendraient inefficace sur le plan de l'utilisation des fréquences au détriment des développements de nouveaux systèmes de radiocommunications. Comme dans les autres pays européens, il faut pouvoir en France disposer de bandes de fréquences vers les années 2010, donc envisager l'arrêt à terme de la diffusion de la télévision analogique terrestre. L'affichage d'un calendrier aidera à coordonner la transition de l'analogique vers le numérique pendant les dix ans à venir afin de libérer du spectre de fréquences pour de futurs services.

6. CONCLUSIONS ET PROPOSITIONS

Le groupe de travail arrive à la conclusion qu'il est raisonnable et profitable d'envisager le déploiement du DVB-T en France. L'introduction et le développement de la télévision numérique de terre sont possibles dans le cadre du spectre actuellement attribué à la diffusion de télévision. Cette introduction peut se faire avec une perturbation limitée de la télévision analogique actuelle.

Le déploiement des réseaux DVB-T présente un intérêt pour l'amélioration à terme de l'utilisation du spectre radioélectrique en permettant d'envisager l'arrêt de la télévision analogique dans une quinzaine d'années.

L'analyse technique de l'introduction montre que des choix initiaux conditionnent la capacité et le nombre de réseaux futurs. Des décisions sont à prendre. Les conclusions aidant à la prise de décisions sont données ci-après.

Par ailleurs, la mise à disposition des exploitants d'un plan de fréquences demande un travail supplémentaire d'études techniques de planification détaillée des fréquences. L'établissement de ce plan de fréquences ne peut s'établir qu'après connaissance du cahier des charges décidé pour le service de diffusion numérique de terre. Un groupe de travail organisé autour du CSA, affectataire des bandes de télévision, et de l'Agence Nationale des Fréquences et s'appuyant sur les compétences techniques d'experts pourrait prendre en charge cette activité. Un projet de mandat est proposé à ce groupe.

1) Le mode MFN est le mode initial d'introduction du DVB-T

Bien que le mode SFN soit le mode le plus efficace spectralement, la contrainte sur la disponibilité actuelle des fréquences n'autorise pas la généralisation de ce choix, on ne peut que s'insérer dans le plan de fréquences de l'analogique et adopter une planification pour des réseaux de type MFN. L'analyse des scénarios montre que l'introduction de la télévision numérique de terre peut se faire au départ par la mise en place de réseaux en mode MFN utilisant les canaux laissés libres par l'analogique et par un complément de réémetteurs isofréquences.

Il est possible de déployer des réseaux MFN sur une partie de la France sans utiliser les bandes du ministère de la défense, mais pour couvrir tout le pays et notamment les zones frontalières, il faudra envisager d'avoir recours aux canaux dans la bande du ministère de la défense. Cette utilisation peut se faire dans la mesure où le ministère de la défense conserve les capacités de spectre nécessaire à la réalisation de ses missions. Une étude de compatibilité doit définir les critères techniques permettant le partage des fréquences de télévision avec les systèmes tactiques militaires, notamment dans les cas de crise.

Le déploiement de réseaux SFN pourrait s'inscrire dans une future étape qui interviendra après le démarrage des premiers réseaux MFN. Le déploiement ne peut être envisagé en France que sur des zones régionales. Il peut être :

- très vraisemblablement, une évolution d'un réseau en mode MFN dans lequel la couverture par un site élevé est notablement améliorée par un réseau SFN ;
- dans certains cas, la création de réseaux SFN sur des fréquences exclusives sur la zone correspondante, exclusivité obtenue par l'arrêt de certains réémetteurs.

Cette configuration de scénario bien que difficile à réaliser dans un premier temps ne doit pas être perdue de vue, car elle est très efficace spectralement, c'est la solution qui devrait servir pour le réaménagement de la bande IV/V en Europe à l'occasion de la révision du Plan Stockholm 61.

2) Six réseaux de diffusion en numérique sont envisageables

L'étude montre que le spectre des fréquences de la bande IV/V peut accueillir 6 réseaux qui pourraient représenter un total de 24 à 30 programmes avec un déploiement rapide initial sur une grande partie du territoire et complété ensuite avec un délai supplémentaire lié aux études de coordinations et d'aménagement des réémetteurs.

Les 6 chaînes actuelles seront simultanément diffusées en analogique et en numérique.

Le groupe attire l'attention sur les aspects juridiques nouveaux dus à l'utilisation de multiplex. A la différence de l'analogique, il n'y a plus une correspondance entre programme diffusé et fréquence ; une fréquence transporte plusieurs programmes suivant les conditions de débit du multiplex.

3) Un travail de planification détaillée est nécessaire

Cette étude donne une estimation du nombre de réseaux envisageables dans le spectre actuel de la télévision. Cependant, pour définir de façon exacte ce déploiement, un travail complémentaire de planification fine est à faire. Les éléments à prendre en compte ont été précisés dans l'étude, ce travail comprend :

- la détermination des assignations des fréquences avec notamment le calcul du rayonnement des aériens et des puissances d'émission, l'aménagement des débits en fonction des offres jugées prioritaires ;
- l'aménagement des réémetteurs analogiques éventuellement concernés par des émissions numériques ; dont le principe de modification, si cela est nécessaire pour optimiser la planification des fréquences pour le DVB-T, doit être acquis pour se lancer sur la planification détaillée des fréquences pour le numérique ;
- la coordination aux frontières avec la révision des plans d'assignations envisagées en fonction des résultats de la concertation européenne ;
- l'analyse des coûts économiques des propositions détaillée des projets d'assignation des fréquences en DVB-T, dans lesquels il faut inclure les réaménagements des installations analogiques, notamment les modifications des fréquences des réémetteurs.

Un groupe de travail piloté par le CSA avec la participation active de l'Agence pourrait conduire les travaux correspondants après avoir établi et fait valider un cahier des charges fixant les objectifs moyens à attendre et les conditions de l'exercice.

Cet exercice ne peut être utilement conduit que si diverses conditions sont remplies :

- Le lancement du déploiement du service de télévision numérique est décidé ;
- Le nombre de multiplex à atteindre est défini ;
- Les moyens de réaliser l'objectif sont affichés.

Le travail d'études de planification détaillée pourra être confié à une société compétente dans cette activité. L'Agence nationale des fréquences et le CSA étudieront un cahier des charges fixant les hypothèses nécessaires aux calculs de planification. Le marché d'étude pourrait être notifié par l'Agence Nationale des Fréquences. Les travaux pourront commencer en 1998, pour se dérouler sur toute l'année et fournir des résultats début 1999. Dans le calendrier affiché précédemment, il apparaît que des réseaux DVB-T peuvent être réalisés et diffuser des programmes dès l'an 2000.

La mission confiée au groupe d'étude de la planification détaillée pourrait être la suivante :

- i) Elaborer une planification de fréquence détaillée à une échéance de 2 à 3 ans pour l'établissement de 6 réseaux DVB-T pour au moins 80 % de la population desservie. L'élaboration se décomposera en deux phases. La première déterminera les fréquences précises à assigner sur les sites principaux des réseaux. La seconde donnera les fréquences supplémentaires pour le réaménagement des sites du réseau secondaire en analogique. Cette planification sera optimisée pour permettre la desserte de programmes dont le nombre aura préalablement été fixé ainsi que leur priorité de déploiement et de couverture ;
- ii) Etudier les coordinations des fréquences aux frontières en fonction des critères techniques du Plan de Stockholm 61 et de l'Accord de Chester 97 et proposer les solutions optimales pour l'utilisation du spectre dans les zones frontalières. Pour cela, il fera développer et mettre en place les outils informatiques nécessaires à l'application de l'Accord de Chester ;
- iii) Etudier et proposer les réaménagements des réseaux de télévision analogique que l'on peut raisonnablement faire, notamment les réémetteurs, afin d'optimiser le déploiement d'un plan de fréquences pour le numérique ;
- iv) Proposer les solutions techniques de déploiement de réseaux lorsque certaines solutions présentent un intérêt certain sur l'économie d'utilisation du spectre ;
- v) Faire si nécessaire des propositions en matière de réglementation technique ;
- vi) Participer aux réunions de la CEPT et aux réunions internationales relatives à la télévision numérique de terre.

4) Il faut prévoir une revue du spectre de télévision à l'horizon 2002

La transformation à terme de l'analogique en numérique donnera des gains en spectre réutilisable par d'autres projets industriels et des activités d'exploitation. Un terme de réaménagement dans 15 ans n'est pas très éloigné lorsqu'il faut créer de nouvelles activités.

La possibilité de disposer de larges quantités de spectre, harmonisées en Europe, donnera des perspectives à long terme aux industriels, soit pour le développement de secteurs de télévision (interactivité, mobilité, haute définition) soit pour d'autres branches des radiocommunications (mobile large bande par exemple).

Sachant que la recherche d'harmonisation de technologies et de bandes de fréquences est un processus de longue durée, on peut donc s'intéresser dès 1998 à des études prospectives sur la bande 470-862 MHz pour que dans 5 ans, nous ayons des informations sur les utilisateurs réellement intéressés par cette gamme de spectre et sur leurs projets industriels qu'ils approfondiront par la suite. En retenant les estimations réalistes de gain en spectre de l'ordre de 100 MHz pourront être libérés pour des activités nouvelles.

Afin de préparer la future planification, il est intéressant d'envisager une revue du spectre du spectre affecté à la télévision vers 2002. En effet, à partir de cette date, il est raisonnable de penser qu'on aura une vue de l'évolution de la télévision numérique de terre et de l'intérêt que pourrait créer le gain en spectre qu'apportera la mise en œuvre du DVB-T.

Vers 2002, la date d'arrêt de la diffusion en analogique pourra être annoncée.

ANNEXES

Annexe 1 : Eléments de comparaison – Caractéristiques des réseaux (section 2.5)

Annexe 2 : Liste des sites de plus grande couverture

Annexe 3 : Commentaires écrits reçus à la suite de la présentation du 7 novembre 1997.

ANNEXE 1

Eléments de comparaison

Caractéristiques des réseaux (section 2.5)

ANNEXE 2

Liste des 107 sites de plus grande couverture servant aux estimations

n°	Ville	Emplacement de site de plus grande couverture
1	Abbeville	La Motte
2	Ajaccio	Coti Chiavari
3	Albi	Mascrabières
4	Alençon	Monts d'Amain
5	Alès	L'Ermitage
6	Alès	Mont Bouquet
7	Amiens	Trouée de Nourard
8	Angers	Rochefort/ Loire
9	Argenton/Creuse	Malicornay
10	Aurillac	La Bastide-du-Haut-Mont
11	Autun	Bois du Roi
12	Auxerre	Molesmes
13	Avignon	Mt Ventoux
14	Bar le Duc- Willeroncourt	La Croix-Pajot
15	Bastia	Serra di Pigno
16	Bayonne	La Rhune
17	Bergerac	Audrix
18	Besançon	Lomont
19	Besançon	Mont Faucon
20	Bordeaux	Bouliac
21	Bordeaux	Cauderan
22	Boulogne/mer	Mont Lambert
23	Bourges	Bois d'Humbligny
24	Brest	Roc'Trédudon
25	Brive 2	Roc de Mioule
26	Caen	Mont Pinçon
27	Cannes	Vallauris
28	Carcassonne	Pic de Nore
29	Chambery	Mont du Chat
30	Chartres	Butte de Montlandon
31	Chaumont Chalindrey	Le Cognelot
32	Cherbourg	La Lande Panverse
33	Clermont-Ferrand	Puy de Dôme
34	Cluses	St Sigismond
35	Dieppe 1	Neuville
36	Dijon	Général Ruffey
37	Dijon	Nuits St Georges
38	Dunkerque	Mont des Cats
39	Epinal	Bois de la Vierge
40	Forbach	Kreuzberg
41	Gex	Montrond
42	Grenoble 1	Chamrousse
43	Grenoble 2	La Tour Sans Venin
44	Gueret	Saint Léger Le Guérétois
45	Hendaye	Port

46	Hirson	Landouzy
47	Hyères	Cap Benat
48	La Rochelle	ZUP de Mireuil 196
49	Laval	Mont Rochard
50	Le Creusot	Mont St Vincent
51	Le Havre	Harfleur
52	Le Mans	Mayet
53	Le Puy	St Jean de Nay
54	Les Sables D'Olonne 1	Vaire
55	Lesparre	Ordonnac
56	Lille	Bouvigny
57	Limoges	Les Cars
58	Longwy	Bois de Châ
59	Lyon	Mt Pilat
60	Lyon	Fourvière
61	Macon	Bois de Cenves
62	Mantes	Maudétour En Vexin
63	Maronne	Notre-Dame-En-Bondeville
64	Marseille	Grande Etoile
65	Marseille	Pomègues
66	Maubeuge	Rousies
67	Mende	Truc de Fortunio
68	Menton	Cap Martin
69	Metz	Luttange
70	Mézières Sury	La Pointe
71	Montluçon 1	Quinssaines
72	Montpellier	Saint Baudille
73	Mulhouse	Belvédère
74	Nancy	Malzeville
75	Nantes	Haute Goulaine
76	Neufchatel-en-Bray	Croixdalle
77	Nice	Mont Alban
78	Niort	Maisonnay
79	Orléans	Trainou
80	Paris	Tour Eiffel
81	Paris Est Chennevières	Fort de Champigny
82	Paris Nord	Sannois
83	Paris Sud	Villebon
84	Parthenay	Amailloux
85	Perpignan	Pic de Neoulous
86	Privas	Crête de Blandine
87	Reims	Hautvillers
88	Rennes	St Pern
89	Roanne 1	Saint Alban-les-Eaux
90	Roquevaire 1	Garlaban
91	Rouen	Grand-Couronne
92	Saint Etienne	Croix de Guisay
93	Saint Raphael	Pic de l'Ours
94	Sarrebouurg	Donon

ANNEXE 3

Commentaires écrits reçus à la suite de la présentation du 7 novembre 1997