

**Commission consultative de revues du spectre
CRdS**

**ÉTUDE PROSPECTIVE
SUR LE BESOIN EN SPECTRE
DU SERVICE DE RADIOCOMMUNICATION FIXE TERRESTRE
À L'HORIZON 2010**

TABLE DES MATIERES

Participation	2
Introduction.....	3
1 Un rappel de la géographie de la France	5
1.1 La répartition en aires de population.....	5
1.2 L'équipement des métropoles et la concurrence territoriale	8
1.3 Les réseaux nationaux et régionaux	12
2 Les besoins de liaisons hertziennes	13
2.1 Rappel des étapes de la construction des réseaux des utilisateurs.....	13
2.1.1 Définition d'un réseau de radiocommunication.....	13
2.1.2 Les phases de développement d'un réseau.....	13
2.2 Quelques rappels sur l'évolution récente de l'utilisation de l'hertzien dans les réseaux	15
2.3 Les transferts de liaisons dans une bande de fréquences vers une autre	16
2.4 Les utilisateurs actuels.....	17
2.4.1 Les réseaux des administrations pour leurs besoins propres.....	17
2.4.2 Les Autorités indépendantes	19
2.5 L'effet de l'introduction de la concurrence	20
2.5.1 Les nouvelles technologies et la recherche des débouchés pour les industriels	20
2.5.2 Les nouveaux opérateurs de radiocommunications	21
2.5.3 La concurrence sur l'accès local – Le cas de la boucle locale radio	21
2.5.4 L'infrastructure des réseaux de télécommunications mobiles	24
2.6 Les solutions alternatives au service de radiocommunication fixe terrestre	24
2.6.1 Les infrastructures « câbles »	24
2.6.2 Les liaisons par satellites.....	26
2.6.3 Les liaisons par systèmes à infra-rouge et lasers.....	28
3 L'évaluation en quantité de spectre en fonction des besoins	29
3.1 Un rappel des aspects techniques en fonction des bandes de fréquences.....	29
3.2 Les débits.....	30
4 Les besoins en spectre	33
4.1 L'accès local ou boucle locale.....	33
4.1.1 2 Mb/s pour qui ?	33
4.1.2 Un exemple de calculs d'estimation en spectre : la Bretagne	34
4.1.3 Conclusions pour la BLR	35
4.2 L'infrastructure des réseaux de télécommunications mobiles.....	36
4.2.1 Techniques de transmission	36
4.2.2 Un exemple d'architecture d'infrastructure d'un réseau mobile GSM.....	37
4.2.3 Infrastructure d'un réseau mobile UMTS	40
4.3 Le transport.....	41
5 L'analyse des bandes de fréquences possibles pour le service de radiocommunication fixe terrestre	43
5.1 L'énumération des bandes de fréquences	43
5.2 La situation du TNRBF	43
6 La discussion de la CRdS sur la planification à long terme des bandes de fréquences pour les faisceaux hertziens	48
6.1 Evolution des besoins en fréquences dans le réseau de desserte.....	49
6.2 Evolution des besoins en fréquences dans le réseau capillaire.....	49
6.3 Bandes de fréquences prises en compte	50

PARTICIPATION

Les organismes ci-après, membres de la CRdS, ont contribué à la présente étude :

- Ministère de la défense : Bureau militaire national des fréquences
- Ministère de l'équipement, des transports et du logement : Cetmef
- Ministère de l'intérieur : Direction des transmissions et de l'informatique
- Autorité de régulation des télécommunications
- Les opérateurs de réseaux de télécommunications ouverts au public : Bouygues Telecom, France Télécom, Cegetel
- GITEP et les constructeurs d'équipements membres du GITEP : Alcatel, Harris
- Agence Nationale des Fréquences : DPSAI.

INTRODUCTION

Le besoin en spectre dépend de la géographie...

Il est largement reconnu que la demande s'oriente vers les transmissions à hauts débits, entraînée notamment par la croissance continue des transmissions de données dont le trafic Internet. Le « Schéma de services collectifs de l'information et de la communication » de la DATAR indique toute l'importance de la mondialisation des flux d'information qui offrent un accès nouveau à la connaissance et modifient le rapport traditionnel entre le territoire, l'identité et l'activité. L'intensification des télécommunications a pour conséquence la réalisation de réseaux de télécommunications pouvant transporter les trafics correspondants avec la qualité suffisante, à la fois pour des utilisateurs d'équipements fixes que mobiles. Dès lors, il apparaît clairement qu'il y aura une demande de spectre pour la réalisation de supports de transmission. Sans négliger l'existence d'une infrastructure par câble conséquente, que l'introduction de la concurrence a fait également croître de façon très importante, en particulier avec le développement de boucle optique, il reste la place pour des supports hertziens qui ont montré toute leur efficacité et leur souplesse dans leur mise en œuvre.

En ce qui concerne l'utilisateur final, l'objectif proposé dans cette étude est « *un accès à 2 Mb/s à un coût abordable et équivalent pour tout usager, considéré comme le service de base à l'échéance de 2005*¹ ».

La demande en spectre pour le service fixe est difficile à cerner...

En effet, la répartition des usagers n'est pas uniforme sur le territoire français, elle varie de manière importante des zones urbaines à très forte densité comme la région parisienne aux zones rurales à très faible densité. Par ailleurs, les zones à forte densité disposeront plus facilement d'infrastructures enterrées permettant la transmission de hauts débits alors qu'à l'inverse la desserte des habitants dispersés dans les zones rurales n'aura un intérêt économique que par une utilisation des liaisons hertziennes qui s'adaptent mieux à la dispersion des points de connexion.

Le chiffre de 2 Mb/s représente le débit instantané pour un utilisateur et il faut l'associer au trafic généré par cet utilisateur. Il est toutefois difficile de prévoir la demande des individus et la progression du trafic compte tenu des données publiques disponibles.

En ce qui concerne les besoins en infrastructure, l'étude se concentre sur les besoins des réseaux mobiles, tout particulièrement de 3^{ème} génération, et s'appuie, d'une part sur des travaux menés aux niveaux international et européen, d'autre part sur les contributions d'opérateurs nationaux. Toutefois, elle ne néglige pas les besoins également exprimés pour d'autres applications, par exemple les réseaux de boucle locale radio (BLR).

Ce secteur devrait continuer à croître avec une évolution vers la société de l'information...

Pour les télécommunications, la situation d'aujourd'hui se résume ainsi :

- Pour l'ensemble du marché, le chiffre d'affaires s'est accru de 10,5% en 1999 et de 14% en 2000.
- Le segment du fixe, dont la progression n'est certes pas la plus importante du secteur, a tout de même connu une croissance de 10,3% de son volume en 2000.

¹ Schéma de services collectifs de l'Information et de la communication – Document soumis à la consultation – Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement - DATAR

- La croissance du segment des mobiles en termes de chiffre d'affaires s'est élevée à 46,4% en 2000, après une progression de 40% en 1999. En volume, les taux sont de 105% en 1999 et 68,2% en 2000.
- Enfin, le segment de l'accès à Internet a progressé de 153% en 1999 et de 124% en 2000, ce qui correspond notamment à la croissance du trafic de données.

S'agissant de la structure du secteur, on constate donc que les services fixes représentent toujours un élément essentiel du marché et que, sur le segment des communications avec les mobiles, la part des services de voix demeure très largement prépondérante.

Le spectre, les bandes de fréquences ...

Cependant, le spectre des fréquences n'est pas extensible ; la réalisation de la demande passera par des réaménagements d'attribution aux divers affectataires et surtout par une adaptation des utilisations de fréquences aux types de liaisons. De plus, une partie du trafic écoulé actuellement sur les faisceaux hertziens sera migrée sur des infrastructures à base de fibres optiques. Cette migration, conjuguée à l'ouverture de nouvelles bandes rendues récemment disponibles pour le service fixe, permettra de satisfaire les besoins des opérateurs, et en particulier des opérateurs mobiles, en liaisons fixes pour leurs réseaux d'infrastructure.

Les nouveaux besoins en fréquences du service fixe s'expriment donc à la fois dans le domaine de l'accès direct à l'utilisateur final et dans celui des réseaux d'infrastructure pour les opérateurs de télécommunications.

Après avoir rappelé les spécificités géographiques de la France et esquissé un schéma de développement des infrastructures, une typologie des besoins est présentée en fonction de la nature des utilisateurs (administrations pour leur propre besoin ou opérateur de réseaux). Une analyse des bandes de fréquence est effectuée ainsi qu'une évaluation de la quantité de spectre nécessaire pour satisfaire les besoins en s'appuyant sur les exemples d'une région pour la boucle locale radio et d'un réseau de radiotéléphonie mobile.

Les conclusions...

En fonction de l'examen prospectif des réseaux envisagés à ce jour, l'étude détaille les bandes envisagées pour le service fixe et propose les conclusions suivantes :

- **Augmentation de la part des liaisons en fibre optique :** de plus en plus de liaisons haut débit vont être établies en fibre optique ;
- **Augmentation de l'efficacité spectrale :** l'utilisation de modulations plus efficaces permettra de doubler, voire quadrupler, les débits dans certaines bandes de fréquences pour une même occupation spectrale ;
- **Ouverture de nouvelles bandes de fréquences pour le service fixe terrestre :** à moyen terme si, compte tenu des autres axes, de nouvelles bandes de fréquences sont nécessaires, par exemple pour soutenir le développement de l'UMTS ;
- **Densification du réseau :** dans une certaine mesure, le rapprochement des sites permettra un redéploiement des stations et une montée en fréquences vers des bandes de fréquences moins encombrées ou offrant des capacités plus importantes.

*

L'étude s'est volontairement limitée à la France métropolitaine. Les départements d'outre-mer sont très spécifiques et méritent une étude détaillée à leurs besoins propres. Toutefois la congestion du spectre n'y apparaît pas a priori aussi importante qu'en métropole.

*

1 UN RAPPEL DE LA GEOGRAPHIE DE LA FRANCE

Avant de se lancer dans les considérations de besoins en spectre, il est intéressant d'examiner la géographie de la France, notamment la géographie humaine avec les répartitions de population qui est l'origine de la demande d'accès aux réseaux de télécommunications.

Le territoire français est tiraillé entre des logiques institutionnelles qui le découpe en un maillage dense et complexe émiétté en 36 650 communes, 19 500 structures de coopération intercommunale, une centaine de départements et 26 régions qui réclament tous l'accès aux réseaux de télécommunications. Il est nécessaire de prendre en compte cet espace géographique où les agents économiques occupent les nœuds de la structure typologique et entre lesquels se font les échanges sur une certaine distance, ce qui induit des coûts plus ou moins importants qu'en terme de fréquences il est possible d'influencer par le choix de gammes de longueur d'onde et de technologie.

Il est admis que la France a de grandes zones peu peuplées mais qu'il est nécessaire de desservir notamment pour observer des lois sur le service public et sur l'aménagement du territoire.

1.1 La répartition en aires de population

L'INSEE a élaboré une nomenclature spatiale dénommée « *zonage en aires urbaines* » qui définit les villes et leur zone d'influence. Ainsi, 361 aires urbaines constituées chacune d'un pôle urbain (une ville importante) et de sa couronne périurbaine ainsi que les communes multipolarisées périurbaines (c'est à dire dont 40% ou plus des actifs résidents travaillant dans l'aire urbaine) ont été définies. La carte en figure 1, (reprise des données INSEE du recensement de 1999) donne la représentation actuelles de ces aires urbaines.

En utilisant les données INSEE sur la population, on constate que :

- 75% de celle-ci se concentre sur 361 aires urbaines.
- Un français sur deux vit aujourd'hui dans l'une des 40 aires urbaines de plus de 150 000 habitants.
- Cinquante-deux aires urbaines comprennent plus de 150 000 habitants (recensement de la population de 1999), la liste est donnée dans le tableau 2.

Les statistique du précédent recensement de 1990 (voir tableau 1 ci-après), donnaient la répartition des aires urbaines avec les densités de population et le rapport emplois/actifs, ratio mesurant l'attractivité de la ville. Il est intéressant de retenir ces chiffres même s'ils sont anciens.

L'espace à dominante rurale est très vaste : 70% de la superficie totale, 2/3 des communes mais seulement 25% de la population française. Cela explique et justifie l'utilisation de fréquences dans des gammes assez basses afin de ramener dans ces zones le coût de raccordement à une valeur acceptable.

Les statistiques qui sont données ici concernent des données utilisables pour évaluer le trafic résidentiel et professionnel. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que les Français sont de plus en plus mobiles et tendent à réoccuper les espaces géographiques libres sur une partie de leur temps libre (qui augmente, en particulier par l'application de la loi sur les 35 heures), créant par là une demande supplémentaire d'accès à des réseaux de télécommunications ; accès facilités par l'utilisation de la radio (utilisation des terminaux des réseaux du service

mobile GSM et UMTS-IMT 2000 ou des terminaux de boucle locale radio) qui présente un intérêt sur le plan économique.

La géographie montre toutefois une attraction sélective des populations le long des fleuves et des côtes², c'est à dire des zones parfois difficiles à couvrir d'un point de vue radioélectrique (nécessité de créer des sites supplémentaires par exemple). Avec les données du recensement de 1999, nous avons le tableau 1 ci-après résumant la répartition de population française en 1990 et 1999.

Territoire	Nombres de communes	Population totale (1990)	Densité de population (1990) en hab/km ²	Rapport emplois/actifs (1990)
Aires urbaines	10 706	41 278*	312	1,04
Pôles urbains	2 813	34 372	858	1,15
Couronnes périurbaines	7 893	6 906	75	0,53
Communes multipolarisées	2 537	1 956	68	0,59
Espace à dominante urbaine	13 243	43 234	270	1,02
Espace à dominante rurale	23 327	16 381	35	0,89
France métropolitaine	36 570	56 615	104	0,99

Insee Première N° 516 avril 1997.

* 42,5 millions en 1995 dont Paris avec 10,6 millions d'habitants (16,8% de la population française)

Territoire	Population totale (1999)	% évolution 1990-1999
361 aires urbaines	42 792 703	0,40
- 52 supérieures à 150 000 hab.	30 253 052	0,47
- 52 plus contributives à la croissance démographique	28 042 250	0,55
Communes multipolarisées	2 098 224	0,78
Espace à dominante rurale	13 627 821	0,20
France Métropolitaine	58 516 748	0,37

Source Insee – recensement de la population de 1999 – Insee Première N° 692 Janvier 2000

Tableau 1 : Répartition de la population française en 1990 et en 1999

Aire Urbaine (délimitation de 1990) d'évolution	Population en 1999	Taux annuel en % 1999 1990	Aire Urbaine (délimitation de 1990)	Population en 1999	Taux annuel d'évolution en % 1999 1990
Paris	10 561 573	0,29	Mulhouse	274 977	0,40
Lyon	1 597 662	0,65	Brest	274 593	0,40
Marseille - Aix-en-Provence	1 398 146	0,43	Reims	272 620	0,42
Lille	1 108 447	0,30	Metz	269 413	0,50
Toulouse	917 312	1,57	Le Mans	268 523	0,33
Bordeaux	882 156	0,67	Béthune	266 905	-0,10
Nantes	674 115	1,11	Dunkerque	263 191	0,03
Strasbourg	557 122	0,79	Limoges	231 503	0,30
Nice	556 525	0,35	Amiens	220 370	0,28
Grenoble	504 849	0,63	Besançon	212 844	0,72
Rennes	483 795	1,32	Avignon	211 954	0,58
Toulon	478 206	0,54	Nîmes	209 292	0,82
Rouen	470 120	0,26	Douai	208 793	-0,27
Montpellier	445 724	1,86	Genève(CH)-Annemasse	207 177	1,26
Nancy	396 314	0,11	Bayonne	206 766	0,81
Tours	368 395	0,67	Perpignan	204 659	0,57
Valenciennes	368 279	-0,04	Pau	194 459	0,53
Grasse-Cannes-Antibes	364 553	0,69	Poitiers	187 768	1,10
Clermont-Ferrand	351 949	0,36	Lorient	186 144	0,14
Caen	345 919	0,73	Annecy	179 702	1,19
Lens	325 625	-0,12	Montbéliard	178 732	-0,21
Orléans	324 533	0,86	Thionville	175 989	-0,03
Dijon	312 199	0,48	Troyes	168 191	0,24
Angers	309 372	0,86	Saint-Nazaire	160 798	0,40
Saint-Etienne	307 697	-0,79	Valence	159 511	0,55
Le Havre	290 864	-0,09	La Rochelle	156 727	1,16

Source : recensements de la population, Insee

Tableau 2 : Population et évolution par rapport à 1990 des 52 aires urbaines de plus de 150 000 habitants

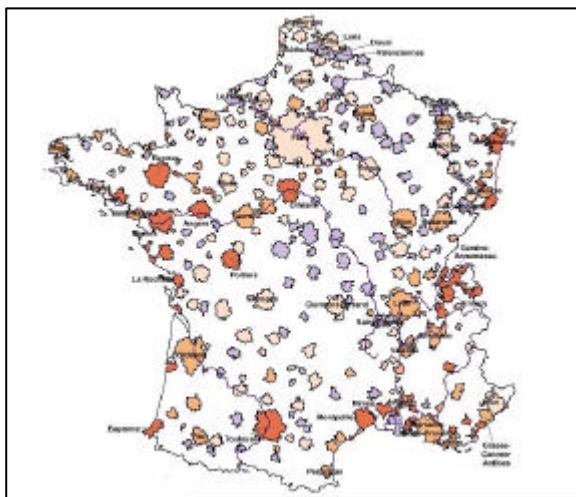


Figure 1 : Représentation des 361 aires urbaines regroupant 75 % de la population française (sont nommées les 52 aires urbaines de plus de 150 000 habitants)
Source Insee Première N° 692 – janvier 2000

La vision prospective à l'horizon 2020 de la DATAR pour ces régions est par le tableau 3 suivant.

RECENSEMENTS	PROJECTIONS				Différence 2020 - 1999
	1990	1999	2010	2020	
Ile-de-France	10660,6	10949,2	11316,6	11625,5	676,2 (6,3%)
Rhône-Alpes	5350,7	5761,7	6095,8	6410,7	648,9 (12%)
PACA	4257,9	4384,6	4573,9	4743,1	358,4 (8,4%)
Nord-Pas-de-Calais	3965,1	4003,4	4101,6	4161,8	158,4 (4%)
Pays de la Loire	3059,1	3217,6	3398,9	3526,6	308,9 (9,6%)
Aquitaine	2795,8	2902,5	3051	3173,8	271,3 (9,3%)
Bretagne	2795,6	2904	3033,4	3133,5	229,5 (7,9%)
Midi-Pyrénées	2430,7	2551,5	2682,3	2799,5	248 (9,7%)
Centre	2371	2440,1	2517,2	2576,6	136,4 (5,6%)
Lorraine	2305,7	2305,4	2322,1	2324,6	19,2 (<1%)
Languedoc-Roussillon	2115	2292,4	2508,9	2717,6	425,1 (18,5%)
Picardie	1810,7	1860,5	1933,9	1993	132,5 (7,1%)
Haute-Normandie	1737,2	1780,2	1855,8	1917,2	136,9 (7,7%)
Alsace	1624,4	1730,5	1838,1	1924,5	194 (11,2%)
Bourgogne	1609,7	1608,9	1621,8	1629,6	20,6 (1,2%)
Poitou-Charentes	1595,1	1636,4	1694,6	1736,2	99,7 (6,1%)
Basse-Normandie	1391,3	1420,7	1472,3	1517,2	96,4 (6,8%)
Champagne-Ardenne	1347,8	1337,4	1335,6	1326,7	10,6 (<1%)
Auvergne	1321,2	1307,8	1303,8	1293,6	-14,2 (-1%)
Franche-Comté	1097,3	1115	1136,7	1151,9	-36,8 (-3,3%)
Limousin	722,9	710,9	704,6	694	-16,8 (-2,4%)
Corse	250,4	260,1	278,4	297,6	37,4 (14,9%)
France métropolitaine	56614,5	58481,8	60768,5	62675,7	4193,8 (7,2%)

(par ordre décroissant de population en 1999, en milliers d'habitants)

Source DATAR- INED (H. Le Bras). INSEE arrêtée au 12.12.99

Tableau 3 : Projection de la population des régions de 1990 à 2020

Les chiffres du tableau 3 montre une progression plutôt faible des populations régionales. A ce stade, il est évident qu'on peut déjà retenir que la demande en spectre pour le transport des communications va croître essentiellement par la demande de débit par utilisateur.

² Aménager la France de 2020 – Mettre les territoires en mouvement – Datar 2000

Il faut noter que si la population a une croissance relative, cela n'empêche pas une demande de spectre supplémentaire sur tout le territoire. En effet, la mobilité des personnes et l'occupation de zones aujourd'hui statistiquement dépeuplées pourra se réaliser par le déplacement des personnes pour diverses raisons : touristiques, résidences secondaires, déplacements d'une ville à une autre, etc.

1.2 L'équipement des métropoles et la concurrence territoriale

Le développement des activités économiques autour des aires urbaines ainsi que celui des régions économiques demandent des équipements lourds : routes, télécommunications notamment des réseaux et leurs accès à hauts débits.

Ces équipements sont nécessaires dans la compétition entre les régions européennes pour attirer les investissements producteurs (industriels ou services) et font l'objet d'atouts non négligeables dans les choix définitifs des acteurs³. En effet, les nouvelles technologies des télécommunications facilitent des décentralisations ou des délocalisations d'entreprises ou d'administrations, en particulier celles qui sont peu sensibles à l'acquisition rapide de l'information et de la connaissance. A ce titre, les réseaux ont toute leur importance dans la croissance des régions en France⁴. On peut mesurer l'importance des régions françaises en termes de population totale, de densité de population et de population active par secteur dans le tableau 4 ci-après. On fera bien attention en ce qui concerne les densités qu'il s'agit d'un calcul moyen, en réalité on a une forte densité de plusieurs centaines d'habitants au km² dans les aires urbaines, ce qui réduit d'autant plus la densité en zone rurale. Pour toute analyse, il est certainement nécessaire de reprendre les cartes situant les regroupements de population ainsi que les concentrations d'activités économiques (voir « La France et ses régions – INSEE »). On constate l'importance prise par le secteur tertiaire, largement plus de 60% dans toutes les régions, qui est un secteur consommateur de télécommunications. Pour les établissements industriels, il est intéressant d'analyser ce tableau statistique car on constate un nombre important de PMI de taille moyenne qui auront besoin de débits de plus en plus importants pour leurs activités.

Les collectivités territoriales (villes et conseils généraux) et les régions ont bien compris l'enjeu attaché aux disponibilités de transmissions de hauts débits pour leurs entreprises, par conséquent pour l'emploi et donc la conservation de la population. Elles montrent une grande importance à l'existence de ces réseaux dans leurs zones géographiques. Leurs actions vont de la possession de leurs propres infrastructures à l'utilisation de réseaux d'opérateurs autorisés soit opérateurs de réseaux publics soit opérateurs de réseaux indépendants à usage partagé.

Parmi les opérateurs de réseaux indépendants fixes (filaire ou hertziens), ce sont les collectivités territoriales (villes et conseils généraux) qui en ont le plus déployés : près du tiers de ces réseaux en nombre⁵. Par ailleurs, depuis 1995 environ, les collectivités locales ont aussi constitué de vastes réseaux de « fibres noires » optiques afin d'irriguer leurs zones économiques pour garantir aux utilisateurs professionnels, aux organismes publics un accès à de très hauts débits. Ces grands projets ont été ralentis depuis par les dispositions de la loi du 25 juin 1999 sur l'aménagement du territoire.

³ L'espace dans la théorie économique : les nouveaux territoires par J.-F. Thisse et B. Walliser et Quelles stratégies pour le développement régional ? par J.-F. Thisse et T. van Ypersele, dans Problèmes économiques n° 2.588 octobre 1998 et n° 2.661 avril 2000

⁴ Aménager la France de 2020 – Mettre les territoires en mouvement – Datar 2000

⁵ ART – Etude relative à la place des réseaux indépendants dans l'économie nationale

Régions	population en millions en 1999	Densité 1995	Emploi au lieu de travail	Part de l'emploi (1997 hors construction)						taux chômage (1997) en%
				Agriculture %	population du secteur agriculture	Industrie %	population du secteur industrie	Tertiaire %	population du secteur tertiaire	chômeur%
Alsace	1 734 145	204	646000	0,8	5168	27,6	178296	65,9	425714	7,2
Aquitaine	2 908 359	69	1054000	4,2	44268	16,5	173910	73,8	777852	12,8
Auvergne	1 308 878	51	479000	1,2	5748	25,1	120229	68	325720	10,3
Bourgogne	1 610 067	51	598000	2	11960	24,1	144118	68,5	409630	10,9
Bretagne	2 906 197	105	1037000	2,8	29036	20,3	210511	71,1	737307	11,1
Centre	2 440 329	62	902000	1,9	17138	24,8	223696	67,3	607046	10,8
Champagne-Ardenne	1 342 363	53	503000	2,8	14084	24,9	125247	67,2	338016	11,4
Corse	260 196	30	86000	3,4	2924	7	6020	81,6	70176	12,3
Franche-Comté	1 117 059	69	405000	0,7	2835	32,5	131625	61,8	250290	9,4
Île-de-France	10 952 011	914	4926000	0,2	9852	14,2	699492	80,6	3970356	10,4
Languedoc-Roussillon	2 295 648	81	727000	3,1	22537	11,3	82151	79,7	579419	16,4
Limousin	710 939	42	267000	1,4	3738	20,8	55536	71,7	191439	9
Lorraine	2 310 376	98	791000	0,7	5537	24,8	196168	68,6	542626	11
Midi-Pyrénées	2 551 687	55	937000	1,6	14992	17,9	167723	74,9	701813	11,9
Nord-Pas-de-Calais	3 996 588	322	1276000	1	12760	22,9	292204	70,6	900856	15,6
Basse-Normandie	1 422 193	80	542000	2,1	11382	23,5	127370	68,2	369644	11,5
Haute-Normandie	1 780 192	144	651000	1	6510	25,5	166005	67,5	439425	14
Pays de la Loire	3 222 061	98	1170000	2,6	30420	25,6	299520	65,4	765180	11,8
Picardie	1 857 834	96	626000	2,3	14398	27,5	172150	64,9	406274	13,2
Poitou-Charentes	1 640 068	63	562000	2,9	16298	21	118020	70,5	396210	12,7
Provence-Alpes-Côte d'Azur	4 506 151	141	1505000	1,4	21070	12,3	185115	80,7	1214535	15,2
Rhône-Alpes	5 645 407	127	2134000	0,9	19206	24,6	524964	69	1472460	10,3
Guadeloupe	422 496		_	3,4		7,3		78		30,7
Guyane	157 213		_	3,1		9,5		76		26,5
Martinique	381 427		_	6,3		7,3		77,5		29,3
Réunion	706 300		_	1,3		8,2		83,7		39,5
Province			21824000							
TOTAL	60 186 184									11,8

Tableau 4 : Répartition régionale des populations en 1998

A ces réseaux, construits spécifiquement pour les télécommunications, s'ajoutent les réseaux des câblo-opérateurs qui dans certaines conditions techniques permettent l'accès local aux ménages disposant d'une prise de raccordement. Par exemple en Ile de France, le réseau de vidéo-distribution « câblé » disposera lorsqu'il sera achevé vers 2005 de 300 000 km de fibre optique (contre 6000 km aujourd'hui) dans un rayon de 150 m des abonnés. Quelle que soit la conception des stratégies des régions en Europe, la différenciation de leurs offres de services aux entreprises par rapport à leurs voisines, elles doivent disposer de réseaux de télécommunications d'accès faciles et permettre des hauts débits⁶.

Les perspectives en termes de besoins en fréquences en fonction des répartitions de populations devraient peu changer⁷. Par contre, vraisemblablement, l'évolution des régions et leur spécialisation dans les activités professionnelles pourrait aboutir à quelques modifications de la prospective envisagée dans cette étude. Cependant, sur une période d'une dizaine d'années compte tenu des délais de mise en oeuvre des politiques de choix et d'équipements, les prévisions resteront valables.

Le taux d'équipements français est de 34 181 000 lignes. La croissance est stable, de l'ordre de 1%⁸. Cependant, cette stabilité ne doit pas cacher la croissance de la connexion de différents équipements, notamment les PC individuels dont la croissance est continue. Actuellement le taux d'équipements en PC des ménages français est de 30% alors que les ménages américains sont équipés à 57%. Il n'est pas aussi interdit d'imaginer un taux de connexion semblable à celui du radiotéléphone, c'est à dire plus de 60% à brève échéance.

Le rapport public d'activité de l'ART de l'année 1999 donne les chiffres ci-après comme éléments servant à évaluer les tarifs des services d'interconnexion. Ces chiffres ont progressé depuis 1999 et sont à comparés selon les dernières statistiques des autres pays pour le temps passé en ligne connecté à Internet à la maison.

	Téléphonie	Internet
Durée moyenne des appels	3 mn 20 s	15 mn
Répartition du trafic		
Heures pleines	60%	50%
Heures creuses	35%	25%
Bleu-nuit	5%	25%

Source : Rapport public d'activité de l'ART de 1999

Tableau 5 : Consommation moyenne servant à l'établissement des tarifs des services d'interconnexion

Pays	Temps passé par mois	Temps pour une session de connexion	Pages vues par session
Corée du Sud	16 h 17	0 h 46	96
Canada	10 h 48	0 h 32	38
USA	9 h 57	0 h 32	37
Hong Kong	9 h 46	0 h 36	55
Moyenne mondiale	9 h 08	0 h 32	43
Allemagne	8 h 16	0 h 29	46
Japon	7 h 56	0 h 29	48
Pays-Bas	7 h 08	0 h 28	40
Australie	7 h 07	0 h 34	38
Brésil	7 h 06	0 h 36	44
Italie	7 h 05	0 h 31	44

Source : Nielsen/Netrating Global Internet Index – Global Telephony Mai 2001

Tableau 6 : temps passé en ligne connecté à Internet à la maison

⁶ Réseaux à hauts débits : nouveaux contenus, nouveaux usages, nouveaux services. Rapport de J. -P. Bourdier présenté à M. Christian Perret, Secrétaire d'état à l'industrie

⁷ Aménager la France de 2020 – Mettre les territoires en mouvement – DATAR 2000

⁸ Rapport public d'activité de l'ART 1999

Au vu des statistiques du tableau précédent, on peut penser qu'en France la demande en connexion ira croissante⁹ s'accompagnant d'une exigence de qualité se traduisant notamment par une demande à des accès hauts débits, non seulement pour les professionnels mais aussi pour les ménages.

Ces hauts débits pourront être fournis par les accès locaux filaires ou hertzien sous plusieurs formes. A noter que, pour les pays européens on estime à 80-85 % la part de la population susceptible d'être concernée par l'ADSL¹⁰.

L'utilisation de liaisons hertziennes exigera dans ce scénario de plus grandes largeurs de bandes que demandées aujourd'hui malgré l'amélioration des techniques numériques de compression et de démodulation.

1.3 Les réseaux nationaux et régionaux

La lecture de la carte des 361 aires urbaines donnée en figure 1 permet de comprendre les réalisations des réseaux nationaux d'infrastructure de l'opérateur national historique France Télécom et des nouveaux opérateurs entrants (voir aussi la figure 8). On explique aisément que les artères de transmission nationales relient d'abord les aires les plus importantes entre elles pour ensuite poursuivre le maillage vers les moins importantes, en suivant la topographie des voies géographiques naturelles⁷.

On prendra également en compte la difficulté de desservir les 25% de la population française réparties sur 70% de la surface géographique.

*

⁹ Les débits seront multipliés par 1000 dans 5 ans (Luc Rouseau journée IDEE du 11 mai 2000).

¹⁰ Réseaux hauts débits : nouveaux contenus, nouveaux usages, nouveaux services. Rapport de J.-P. Bourdier présenté à M. C. Pierret Secrétaire d'état à l'industrie

2 LES BESOINS DE LIAISONS HERTZIENNES

L'observation de la constitution de réseaux de télécommunications suit un cheminement qu'il est intéressant de rappeler et de s'en souvenir lors de l'apparition de nouvelles installations de télécommunications, même sous forme parfois embryonnaire. En effet, les nouveaux opérateurs de réseaux passent par une phase d'apprentissage allant de la constitution de réseaux simples vers des réseaux plus ou moins complexes suivant les besoins jusqu'à des réseaux de grande envergure et intégrant plusieurs composantes pour les opérateurs publics. L'étape de construction des réseaux est à considérer car malgré des débuts difficiles lors des premières années, on constate une progression des réalisations. Les réseaux de grande importance mettent d'emblée une infrastructure conséquente qui peut faire oublier les étapes de croissance des réseaux.

2.1 Rappel des étapes de la construction des réseaux des utilisateurs

2.1.1 Définition d'un réseau de radiocommunication

La définition d'un réseau en particulier de réseaux du service fixe est :

- 1) Un ensemble d'objets (points d'accès, commutateurs, PABX, liaisons physiques entre commutateurs, système de gestion de commutation).
- 2) Une organisation responsable.
- 3) Des méthodes de planification, de déploiement des infrastructures et d'exploitation.
- 4) Un budget.

Un réseau doit aussi être à même de fournir une offre de service garantissant l'utilisation du réseau, soit pour les besoins d'un utilisateur final, soit pour les besoins propres du titulaire du réseau.

L'importance des différents paramètres cités ci-dessus varie évidemment d'un réseau à l'autre suivant leur taille, mais on les retrouve pour l'installation d'une liaison point à point comme dans un réseau international.

2.1.2 Les phases de développement d'un réseau

On peut distinguer plusieurs étapes de développement d'un réseau. Certains réseaux de faible importance pourront rester limités, mais des constructions isolées peuvent évoluer rapidement vers des réseaux d'importance nationale (réseaux d'infrastructure des réseaux de radiotéléphonie publique, réseaux de police et gendarmerie,...).

Il est important de tenir compte de ces différentes phases pour apprécier les possibilités de développements futurs de la demande de besoins. Par expérience, on se rappellera de l'existence de certains réseaux du service fixe qui ont démarré par la création de liaisons point à point installées progressivement pour satisfaire des besoins ponctuels et qui ensuite ont été interconnectées entre elles pour aboutir à un réseau national intégré avec des commutateurs de trafic.

Pour un nouveau type de réseau, les différentes phases de développement sont décomposées ainsi :

- 1) Des petits réseaux sous forme d'équipements informatiques ou de commutateurs de voies et de données commencent à exister. On connaît les principaux fournisseurs de services et d'équipements.
- 2) Les réseaux commencent à croître avec les besoins naissants de communication et l'automatisation des opérations d'exploitation. On s'intéresse aux techniques, aux architectures de réseaux et aux fonctionnalités des produits, en particulier à l'interfaçage entre éléments et à leur normalisation.
- 3) Les installations deviennent complexes et coûteuses, mais elles ne sont pas encore globalement gérées. On commence à s'intéresser à la gestion, à la recherche d'économie et à l'optimisation des communications.
- 4) L'existence est reconnue. Un plan essaie de l'organiser. Il est défini une ossature de réseau avec la connexion d'équipements standardisés.
- 5) L'organisation se standardise et évolue de manière cohérente. Un réseau fédérateur est mis en place avec un centre de gestion de commutation unique contrôlant l'ensemble.
- 6) Les évolutions techniques sont prises en compte avec une gestion technique cohérente de migration qui tient compte aussi de l'existant. On s'intéresse à des choix de gestion pouvant aller jusqu'à la prise en charge de l'exploitation par un tiers spécialisé dans ce domaine.

Pour un opérateur entrant sur une technologie de réseau existante ou déjà expérimentée, ce phasage n'est effectivement pas respecté. Certaines phases, maîtrisées, sont intégrées à d'autres étapes. L'expérience de l'ingénierie permet de planifier certaines tâches avant d'autres.

La figure ci-après illustre un exemple de développement de réseau décrit précédemment. Le choix de l'hertzien pour les liaisons résulte de la stratégie retenue par l'opérateur du réseau.

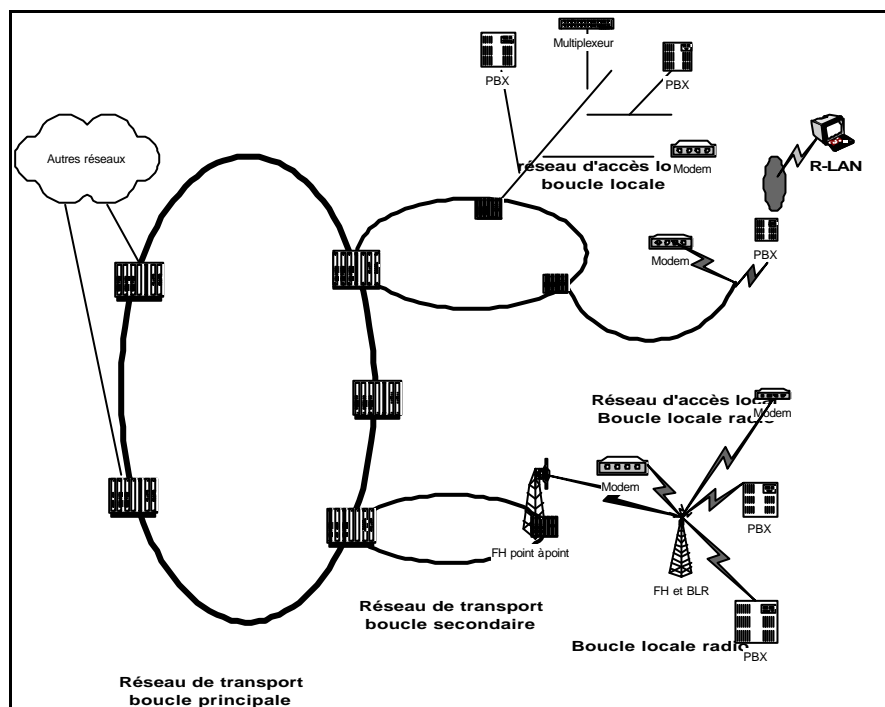


Figure 3 : Illustration d'un exemple de développement de réseau

Un réseau complet peut se décomposer en :

- a) Un premier réseau de transport composé d'une ou plusieurs boucles principales ;
- b) Un deuxième réseau de transport composé d'une boucle secondaire ;

- c) Un réseau d'accès local raccordant les abonnés individuels, les professionnels isolés ou entreprises ;
- d) Un réseau local de distribution à l'intérieur des entreprises (câblage interne filaire et/ou radio).

Pour des raisons d'exploitation, un réseau complexe gère les flux de trafic en utilisant les débordements vers différentes artères de chaque sous-ensemble.

Pour tous ces sous-ensembles, le support peut être filaire (cuivre, fibre optique) ou hertzien, parfois infrarouge.

D'un point de vue économique, la morphologie d'un réseau se découpera en trois couches :

- Une couche basse constituée des infrastructures : longue distance, généralement maillées, et locales, le plus souvent arborescentes.
- Une couche médiane recouvrant les services de contrôle et de commande du réseau, essentiellement associée aux infrastructures longues distances.
- Une couche haute support des services finals rendus aux utilisateurs, adaptés aux prestations différentes par segment d'utilisateurs, différenciés en nature, qualité et prix.

2.2 Quelques rappels sur l'évolution récente de l'utilisation de l'hertzien dans les réseaux

Dans le passé plusieurs catégories d'utilisateurs (limités en nombre) utilisaient des liaisons hertziennes. On peut énumérer pour mémoire :

L'opérateur historique de télécommunications pour constituer :

- le réseau d'infrastructure soit pour réaliser de nouvelles liaisons soit pour établir des liaisons secourant le réseau filaire d'infrastructure ;
- les dessertes d'abonnés lorsque les qualités de service étaient insuffisantes (liaisons téléphoniques ou spécialisées filaires) ;
- les dessertes d'abonnés isolés qui ne pouvaient pas être reliés par une liaison filaires (îles, montagnes, marais, etc) ;
- les dessertes lors d'évènements exceptionnels avec l'utilisation notamment des faisceaux hertziens d'intervention.

L'opérateur de radiodiffusion TDF pour :

- le réseau de desserte des signaux pour la diffusion sonore et TV ;
- la télécommande et la supervision des émetteurs de diffusion distants.

Les opérateurs de radiodiffusion FM pour :

- des liens entre leurs studios et leurs émetteurs de diffusion.

Les administrations :

- **Le ministère de la défense** pour sécuriser (maîtrise de l'écoulement du trafic, maîtrise des équipements et notamment de leur fiabilité et disponibilité, indépendance) ses transmissions de son réseau d'infrastructure et pour la réalisation de son réseau tactique (avec l'utilisation dans ce cas de bandes de fréquences basses).
- **Le ministère de l'intérieur** pour sécuriser les réseaux de ses différents services. Ce ministère a initialement utilisé des fréquences dans la bande 455/465 MHz compte tenu des quantités et de la qualité de trafic à écouler (phonie et télégraphie). Par la suite, il a utilisé des fréquences dans les gammes plus élevées. Ses réseaux de service fixe couvrent tout le territoire.

- **Le ministère de l'équipement** pour :

- la sécurisation de ses transmissions et la liaisons entre points-hauts radioélectriques des DDE et des services d'annonces des crues
- la supervision et la télécommande des phares pour le service des phares et balises
- l'aviation civile (déports de stations radars, déports de stations de radiocommunications).

Des grands services publics comme :

- EDF pour ses liaisons de sécurité et les pilotages de son réseau électrique. Les réseaux ont utilisé différentes bandes allant du 400 MHz à 8 GHz.
- SNCF pour télécommander des points hauts radioélectriques, essentiellement en 400 MHz.
- Les autoroutes pour l'infrastructure de leurs réseaux radioélectriques privés.
- Les oléoducs et gazoducs.

En 1990, la DRG (et ensuite la DGPT) a demandé aux utilisateurs dont elle avait la gestion de ne plus utiliser la bande des 400 MHz pour réaliser des liaisons fixes, seules ont été conservées quelques liaisons du service public pour les abonnés isolés.

En parallèle, elle a favorisé les créations de liaisons dans la bande 23 GHz. Le premier réseau indépendant hertzien du service fixe de grande importance a été réalisé initialement sur la bande 23 GHz (réseau SANEF).

En 1994, les bandes du service fixe, initialement 23 et 38 GHz, ont été ouvertes aux opérateurs de réseaux indépendants du service fixe. Ensuite les autres bandes ont été ouvertes aux opérateurs du service de radiotéléphonie publique GSM pour le développement de leurs infrastructures.

2.3 Les transferts de liaisons dans une bande de fréquences vers une autre

Transfert de la bande 400 MHz vers d'autres bandes

En 1987, face au besoin de fréquences pour les réseaux indépendants du service mobile terrestre, il a été décidé de ne plus autoriser les liaisons fixes dans la bande 400 MHz, notamment TDF a transféré ses liaisons de télécommande de ses émetteurs distants vers des bandes plus élevées. Ensuite, les réseaux indépendants du service fixe ont pu utiliser les bandes 23 GHz et d'autres bandes dans des gammes plus basses. Devant les besoins des réseaux indépendants, la DGPT en 1995 a lancé un travail sur la bande 1,4 GHz, sur la base de la recommandation CEPT T/R 13-01, pour créer des équipements répondant aux besoins particuliers de ces utilisateurs avec les caractéristiques principales suivantes :

- Coût de liaisons équivalent à celles réalisées en 400 MHz
- Faible capacité de transmission (de 4 à 8 voies)
- Distances de liaisons de 30 à 100 km.

Un marché professionnel de 3000 à 3600 liaisons avait alors été estimé¹¹.

Transfert des liaisons du ministère de la défense

Avec l'arrivée des réseaux GSM, le ministère de la défense a dû arrêter l'utilisation des bandes 900 MHz au profit des réseaux GSM 900 et ensuite des bandes 1,8 GHz au profit du GSM 1800.

¹¹ Etude Procast : Le marché des faisceaux hertziens à 1,5 GHz – juin 1995

A partir de 2000, il libère les bandes attribuées à l'UMTS et celles utilisées par des équipements de faible portée (SRD ou AFP) notamment Bluetooth.

Transfert des liaisons IRT 1500 et IRT 2000 de France Télécom

Le transfert des liaisons IRT 1500 et IRT 2000 est prévu pour permettre le développement du service de radiodiffusion sonore numérique DAB dans la bande 1452- 1492 MHz dans laquelle une attribution a été faite lors de la CAMR-92. Le service DAB n'est aujourd'hui qu'expérimental sur quelques grandes villes et les liaisons IRT peuvent encore utiliser les fréquences dans les zones non gênées par des émissions DAB terrestre. A terme, le transfert des liaisons IRT 1500 et IRT 2000 dans la bande duplex 1375-1400 MHz / 1427-1452 MHz est prévu.

Autres

A ces transferts, s'ajoutent des réaménagements ponctuels, comme dans la bande 26 GHz autorisées à des réseaux indépendants, la bande 3,4-3,6 GHz pour introduire des réseaux de boucle locale radio à des technologies généralisées en Europe et 3,5-3,8 GHz pour introduire les réseaux MVDS/MMDS numériques.

En conclusion, il est à noter que l'utilisation des faisceaux hertziens doit tenir compte de l'évolution de la réglementation tels que les modifications d'attribution dans le RR, le développement de décisions ou recommandations par la CEPT. Ceci peut nécessiter des réaménagements. Les affectataires et utilisateurs ont déjà une expérience plus ou moins importante et des réaménagements des bandes du service fixe.

2.4 Les utilisateurs actuels

Les utilisateurs finals des équipements de faisceaux hertziens sont autorisés par leur autorité de tutelle qui sont les affectataires désignés au Tableau national de répartition des bandes de fréquences¹² (Chapitre III). Les administrations affectataires autorisent les différents services exploitants des réseaux radioélectriques et les utilisateurs privés sont autorisés par l'Autorité de régulation des télécommunications dans les conditions d'installation et d'exploitation qu'elle a préalablement fixées.

2.4.1 Les réseaux des administrations pour leurs besoins propres

Le Ministère de la Défense

Le ministère de la défense utilise des bandes de fréquences concernées par cette étude à la fois pour ses faisceaux hertziens permanents, ses liaisons tactiques point à point ou point à multipoint, classées dans le service mobile et autorisées comme telles par le Tableau national de répartition des bandes de fréquences. Certaines fréquences sont toutefois assignées à des applications du service mobile en partage avec les différents systèmes fixes, optimisant ainsi l'utilisation des bandes qui sont attribuées à ce ministère. Par exemple, dans ses réseaux tactiques, le ministère de la défense utilise des fréquences, comme dans les bandes 36, 38 et 40 GHz, pour des applications mobiles.

En termes de prospective, il faut rappeler les caractéristiques propres aux applications militaires. **Le ministère de la défense est confronté à une difficulté majeure par rapport**

¹² Annexe à l'arrêté du 6 mars 2001 relatif au tableau national de répartition des bandes de fréquences

au secteur civil (hors satellite), qui est la vision à long terme du choix des fréquences. En effet, les systèmes civils ont à anticiper d'une façon générale plutôt sur des périodes courtes (à l'exception des opérateurs historiques ou très importants), qui rendent la prospective relativement complexe, mais qui ne va pas plus loin que 4 ou 5 ans plus 7 à 10 ans (plus pour des opérateurs historiques) d'utilisation soit un cycle maximal d'environ 15 ans. Un programme d'équipement des armées généralement très onéreux, est lui développé pour étaler les financements sur une période de 5 à 10 ans. La période d'utilisation, elle s'étale sur 20 à 30 ans. Le cycle de vie des matériels militaires est donc d'environ 40 ans. Le renouvellement des matériels militaires est généralement prévu dans des bandes de fréquence déjà désignées pour accueillir de tels systèmes.

Le ministère a entrepris depuis quelques années une refonte de ses réseaux et développé un système d'ensemble dénommé SOCRATE (Système Opérationnel Constitué des Réseaux des Armées pour les Télécommunications) illustré par le schéma simplifié de la figure 4 ci-après. C'est dans ce cadre que s'insère les besoins en liaisons hertziennes de ce ministère qui utilisent essentiellement 3 bandes de fréquences (4,5 ; 7,5 et 15 GHz). Chaque armée a son réseau propre assurant la desserte de ses unités opérationnelles.

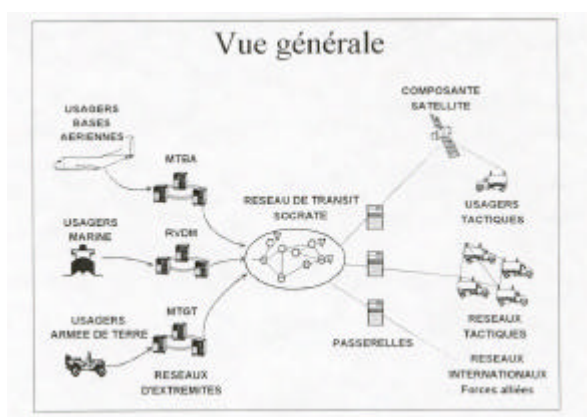


Figure 4 : Vue générale du réseau SOCRATE

Il convient d'y ajouter les besoins liés à l'infrastructure du réseau RUBIS de la Gendarmerie nationale (750 à 900 faisceaux hertziens à terme essentiellement dans la bande 2,5 GHz).

Le ministère de la défense utilise de manière plus importante la fibre optique ; cela pour des raisons évidentes de sécurité, de redondance mais aussi pour écouler un trafic toujours en augmentation. Les liaisons hertziennes sont toujours utilisées en prolongement pour les applications tactiques ou lorsque l'investissement en fibre optique ne se justifie pas à long terme.

Le ministère de l'Intérieur

Il s'agit également du développement du réseau d'infrastructure. Actuellement, l'essentiel des besoins en faisceaux hertziens est lié au déploiement du réseau numérique du service mobile ACROPOL, qui est le réseau radioélectrique de la Police nationale. Toutefois, il a aussi quelques besoins de faisceaux hertziens pour constituer des liaisons sécurisées entre ses bâtiments administratifs ou de ses bâtiments vers l'accès aux centraux des réseaux d'opérateurs de télécommunications. Dans l'avenir, très vraisemblablement, ses besoins en liaisons fixes augmenteront avec la modernisation des réseaux des services départementaux d'incendie et de secours (SIS) dont il a la responsabilité en tant qu'affectataire. Par exemple le SIS de Corse du sud disposent de 22 liaisons de 2x2 Mbit/s, ce qui est d'un ordre de grandeur similaire au nombre de liaisons prévu pour ACROPOL dans ce département.

Il lui faudra prévoir aussi quelques moyens transportables pour ses centres mobiles de crise. Outre les aspects flexibilité, rapidité de déploiement et indépendance des faisceaux hertziens, ils sont considérés comme offrant une sécurisation plus importante que les réseaux filaires, notamment en cas de crise ou de catastrophe naturelle.

L'essentiel des 500 liaisons existantes est réalisé dans les bandes 8, 13 et 23 GHz. A terme le besoin exprimé est de l'ordre de 2500 liaisons hertziennes dont un millier pour le réseau ACROPOL.

Le ministère des Transports

Il est l'organisme de tutelle des affectataires AC (aviation civile), PNM (Ports et navigation maritime) et MTO (Météorologie nationale). Pour le premier, ses besoins se réduisent principalement aux renvois d'images radars auxquels il convient d'ajouter quelques liens radioélectrique pour les dépôts de stations de radiocommunications HF et VHF. Pour les 2 autres, il n'y a pas ou pratiquement pas d'attribution au service fixe dans le TNRBF.

Autres ministères

La recherche (pour les besoins de la radioastronomie) et le CNES n'ont pas d'attribution au service fixe dans le TNRBF.

2.4.2 Les Autorités indépendantes

Le CSA

Par la loi de réglementation des télécommunications n° 96-659 du 26 juillet 1996, toutes les activités liées aux réseaux hertziens de télécommunications de transports audiovisuels ont été placées sous la tutelle de l'ART.

L'ART

Elle délivre des autorisations pour le déploiement de réseaux du service fixe selon les différentes catégories de réseaux prévues par la loi :

- ❑ L33-1 : réseaux ouverts au public ; (aussi bien les réseaux d'infrastructure de réseaux fixes que pour l'infrastructure des réseaux du service mobile)
- ❑ L33-2 : réseaux indépendants (sauf ceux visés par le L33-3) ;
- ❑ L34-3 : services offerts au public utilisant des fréquences hertziennes.

Les réseaux peuvent être pour du service fixe en point à point pour essentiellement l'infrastructure des opérateurs de télécommunications ou en point à multipoints pour les systèmes de raccordement d'abonnés.

Pour les réseaux indépendants, il existe une grande variété d'utilisation combinant la longueur et le nombre des bonds constituant la liaison ainsi que le débit transporté. On distinguera cependant ce qui relève des infrastructures d'opérateurs de réseaux de télécommunication ouvert à des tiers (qui représente l'essentiel du besoin en volume) des autres réseaux indépendants.

Le type d'utilisation est fixé par l'ART dans son «schéma directeur du service fixe¹³ » et complété par des décisions détaillées pour chacune des bandes concernées qui sont publiées au Journal officiel.

¹³ disponible sur le site web de l'ART (www.art-telecom.fr)

Les principaux opérateurs de télécommunications actuels mettant en œuvre des FH sont :

- ❑ L'opérateur historique France Télécom pour son réseau d'infrastructure fixe, notamment pour les dessertes dans ses obligations de service public;
- ❑ Les opérateurs mobiles GSM (FTM, SFR, BYT) ;
- ❑ Les opérateurs de réseaux de radiotéléphonie mobile (par exemple le réseau radioélectrique numérique à ressources partagées Dolphin, les réseaux d'autoroutes, les réseaux des services publics et de certains services administratifs) ;
- ❑ Les opérateurs de BLR ;
- ❑ L'opérateur historique de radiodiffusion TDF pour les dessertes de sites d'émission de radiodiffusion ;
- ❑ Les opérateurs de radiodiffusion FM.

En ce qui concerne les opérateurs (ou utilisateurs) de réseaux indépendants du service fixe, on peut indiquer qu'il y a approximativement 250 utilisateurs¹⁴.

Il convient d'ajouter, comme cela a été mentionné ci-dessus, les utilisations au titre du transport audiovisuel (pour la radio sonore ou la télévision). Il est à noter que la société TDF, qui dispose de plus de 5200 sites¹⁵, procède progressivement, pour les liaisons de transport des signaux sonore et vidéo, à la migration des faisceaux hertziens qu'elle avait installés dans la bande 3,4-3,8 GHz vers les supports du réseau de France Télécom (fibre optique, FH numérique). L'introduction de la concurrence entre opérateurs techniques de diffusion verra accroître une demande d'autorisation de faisceaux hertziens pour alimenter les stations de diffusion TV (analogique et numérique) et FM. En effet, pour un nouvel opérateur disposant d'un nombre de stations de diffusion suffisamment important, il est économiquement intéressant de bâtir son propre réseau de transport de signaux audiovisuels.

Il y a également quelques utilisations temporaires au titre du service fixe relatives aux vidéo-reportages (ENG/OB). Il s'agit toutefois d'une activité pour laquelle la concurrence devrait se développer intensivement avec l'apparition de nouveaux acteurs, et par conséquent un accroissement du besoin.

Les besoins en spectre pour le service fixe pour l'ART proviennent, pour les nouveaux services autorisés ou prochainement à autoriser, essentiellement de :

- La boucle locale radio, pour transmettre en particulier des débits supérieurs ou égal à 34 Mb/s pour les opérateurs régionaux et toutes catégories pour les opérateurs nationaux avec une priorité pour les débits supérieurs ou égal à 34 Mb/s sur des distance entre 2 et 30 km¹⁶ ;
- L'UMTS.

2.5 L'effet de l'introduction de la concurrence

2.5.1 Les nouvelles technologies et la recherche des débouchés pour les industriels

Les industriels, notamment nord-américains se sont intéressés à la production industrielle de systèmes hertziens, principalement point multipoint pour le transport de la voix et des données (LDMS) ou pour transporter des débits plus élevés pour le transport des images (MVDS) et pour fournir de nouveaux opérateurs entrants sur le marché des télécommunications ou de l'audiovisuel (multimédia Wireless Cable). La création de cette industrie a entraîné une offre excédentaire de produits sur les marchés jusqu'alors nationaux. La déréglementation des

¹⁴ Etude CESMO pour ART (Nov.2000) disponible sur le site web de l'ART ; et le rapport public d'activité de l'ART pour l'année 1999

¹⁵ Brochure TDF (1999)

¹⁶ Bilan des besoins en fréquences pour le service fixe point à point des opérateurs de boucle locale radio – ART juin 2001.

télécommunications dans les autres pays, en particulier en Europe, a été l'opportunité pour ces industriels d'offrir des produits aux nouveaux opérateurs entrants ouvrant ainsi des débouchés dans les autres pays.

En parallèle, les industriels, du fait des modifications des réglementations ont perdu leurs liens privilégiés avec les opérateurs historiques et sont donc entrés sur les nouveaux marchés :

- nationaux avec des compétiteurs aux réseaux d'opérateurs historiques ;
- internationaux pour répondre à la forte demande de réseaux de télécommunications en fournissant des équipements pour l'ensemble des opérateurs de télécommunications aussi bien pour constituer des réseaux d'infrastructure longue distance que d'accès local.

Aujourd'hui, les opérateurs bénéficient d'une large variété d'offres d'équipements dans pratiquement toutes les bandes ouvertes au service fixe (entre 1 et 40 GHz) pour des usages point à point ou point à multipoint correspondant à diverses structures de réseaux.

2.5.2 Les nouveaux opérateurs de radiocommunications

Les nouveaux opérateurs de télécommunications se sont très rapidement intéressés aux fréquences du service fixe ; les opérateurs du service mobile pour les facilités de dessertes des stations de leur réseau mobile (possibilité de choix de sites indépendamment de la desserte par l'opérateur historique tout en maîtrisant les délais) et pour l'économie réalisée par la mise en oeuvre d'un réseau d'infrastructure qui leur est propre.

Par la suite, les opérateurs se sont intéressés à l'accès local avec l'introduction de la technologie basée sur l'utilisation des fréquences. Les facteurs tels que :

- plus faible coût d'infrastructure ;
- souplesse d'adaptation à la répartition géographique de la demande par rapport au cuivre ;
- coût de raccordement en fonction de l'acquisition progressive des abonnés ;
- rapidité de mise en oeuvre ;

sont des avantages compétitifs majeurs des solutions radio.

Dans l'avenir, de nouvelles technologies satellitaires à hauts débits seront à prendre en considération.

2.5.3 La concurrence sur l'accès local – Le cas de la boucle locale radio

Le marché de la boucle locale est double¹⁷ :

- un marché d'équivalence aux solutions filaires où les solutions radio offrent des services semblables à ceux des distributions filaires, c'est l'accès local sans mobilité, cependant, on devra tenir compte des points d'accès multiples d'un même abonné (par exemple, l'accès à partir du domicile principal et à partir du domicile secondaire en zone rurale à faible densité de population). L'usage de la boucle radio peut être principalement envisagé pour des extensions de réseau, c'est-à-dire : création de nouvelles zones urbaines (villes nouvelles, zones d'activités en périphérie des villes etc.) ou renforcement du réseau rural.
- un marché de convergence entre boucle locale et mobilité où des technologies mobiles ont un rôle élargi à des services fixes avec des offres conjointes de boucle locale et de mobilité. C'est une première étape vers la communication personnelle avec une mobilité. On ne l'étudiera pas ici ; elle entre dans les besoins des réseaux du service mobile.

¹⁷ document de la Commission Radiocommunications civiles du GITEP « Boucle locale radio : les positions du GITEP » Septembre 1997

Comme il l'a été expliqué précédemment, la boucle locale radio présente un grand intérêt pour les nouveaux opérateurs entrants sur ce marché qui devient alors un marché « contestable » en employant une stratégie de substitution à la boucle locale cuivre.

Les facteurs différentiels suivants sont en faveur de la radio :

- le coût d'un accès radio est indépendant de la distance (jusqu'en limite de portée) et de la nature du terrain ;
- la capacité du réseau radio peut être ajustée à la demande ;
- le réseau radio est moins sensible à la répartition géographique des abonnés ;
- la mise en place est rapide ;
- les coûts d'exploitation et de maintenance peuvent être jusqu'à 25% inférieurs à ceux de la boucle locale traditionnelle ;
- les coûts des accès fixes (cuivre et main d'œuvre) ont tendance à croître tandis que le coût des équipements radio a tendance à baisser.¹⁸

Si on retient les données fournies dans le « Manuel de l'UIT sur l'accès fixe par radio » (« Fixed Wireless Handbook »), on constate que l'investissement dans la boucle locale devient financièrement intéressant lorsque la densité de population devient inférieure à un certain seuil. Ce seuil est estimé à 70 habitants par km² pour les systèmes utilisant des technologies mobiles (ou en dérivant) décrits dans ce Manuel. Pour les systèmes à bande large, la limite est supérieure, selon une tendance qui apparaît d'ailleurs sur le graphique de la figure 7 ci-dessous. Il n'est pas sûr par ailleurs que la densité de population soit le seul critère de rentabilité à prendre en compte. En effet, le type d'utilisateur est aussi un facteur déterminant : par exemple, un accès local à haut débit est plus immédiatement essentiel pour les entreprises de type PME, pour lesquelles des techniques alternatives (comme l'ADSL) peuvent présenter un moindre intérêt.

Une grande majorité des zones rurales en France présente une densité inférieure à 70 hab/km². Toutefois, il faut prendre en compte que, du fait de l'obligation de service public universel imposée à l'opérateur historique, l'accès local est disponible dans toutes les zones habitées ; seules peuvent se poser les difficultés à un accès haut-débit sur cet accès local. La demande de spectre pour la boucle locale radio se fera plus dans un cadre de concurrence entre opérateurs que dans le cadre d'un premier équipement. De ce fait, la demande en fréquences est en pratique très difficile à estimer. Cependant en termes de marché, les opérateurs de BLR en France espèrent prendre une part de marché de l'accès local de 15 à 20% dans un délai de 5 à 7 ans ; celui-ci étant représenté essentiellement par les PME/PMI qui ont besoin d'un débit élevé et symétrique avec évidemment une qualité de service élevée. La demande pour cette catégorie se trouve très localisée sur les aires urbaines. L'activité en France est essentiellement tertiaire comme l'indique le tableau 5 et devrait être un facteur favorable au développement de ces nouveaux acteurs. Par contre, du fait de l'équipement complet de lignes d'abonnés en France et de la faible densité de population en dehors des aires urbaines, leur politique sur l'accès aux particuliers devrait plutôt porter sur le dégroupage plutôt que sur l'accès radio.

¹⁸ Voir Fixed Wireless Access Handbook de l'UIT-R

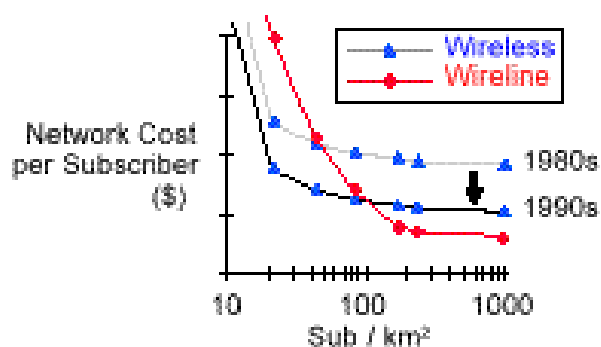


Figure 7 : Relation entre le coût par abonné d'un réseau de télécommunication en fonction de la densité de population
(Source : UIT-R, Fixed Wireless Handbook année 2000)

Le tableau 8 ci-dessous résume les différents services et la concurrence qu'offrent les différents supports :

Technologie	Parole	Données bas débit	Données haut débit	Vidéo monocanal	Vidéo multicanaux
De boucle locale					
Fibre / Coaxial	X	X	X	X	X
Paire Cuivre	X	X	X	X	
Accès Radio Fixe à haut débit	X	X	X	X	
Accès Radio Fixe	X	X	X		
Accès Radio Mobile	X	X	(X)		
Accès radio mobile UMTS/IMT 2000	X	X	X		
Accès Satellitaire 1ère génération	X	X			
Accès Satellitaire 2ème génération	X	X	X	X	

Tableau 7 : Services et concurrence entre les différents supports d'accès local

Les besoins quantitatifs dépendront de :

- l'évolution qualitative de la demande, notamment en termes d'évolution du nombre de minutes de conversation par abonné téléphonique, d'évolution de la demande de débits élevés (> 2 Mb/s), etc.) ;
- la rapidité de croissance globale du marché ;
- la répartition entre les diverses technologies concurrentes.

Au niveau français, les hypothèses quantitatives suivantes peuvent être avancées :

- le nombre de lignes principales fixes passerait de 34 millions en 1999 à plus de 40 millions en 2005 qu'on estime de 2 à 3 millions par voie radio¹⁹.
- le nombre de lignes mobiles dépasserait 60 millions en 2005²⁰.

¹⁹ Contribution GITEP sur la boucle locale radio haut débit. Rapport GITEP Janvier 1999

²⁰ IDATE, in « Le marché mondial des équipements de télécommunications » extrait de l'étude de l'Idate pour la DiGITIP « Ouverture à la concurrence du secteur des télécommunications » Octobre 2000

Le nombre de raccordement est aujourd'hui limité, compte tenu de la phase démarrage de ces techniques de BLR. La croissance devrait cependant rester limitée puisque, dans leur phase initiale, les opérateurs se concentreront sur le marché professionnel. De plus, comme il a déjà été mentionné, il existe des technologies concurrentes qui sont énumérées au paragraphe 2.6 ci-après.

2.5.4 L'infrastructure des réseaux de télécommunications mobiles

L'infrastructure des réseaux de télécommunications mobiles s'est développée dans un premier temps à partir du réseau de l'opérateur public, celui-ci disposant du monopole légal. Toutefois, les opérateurs du service mobile ont très rapidement eu besoin de mettre en place leurs propres liaisons compte tenu du développement rapide du GSM et des opportunités offertes par l'ouverture de la concurrence. Elle représente aujourd'hui de l'ordre de 10 000 liaisons hertziennes.

2.6 Les solutions alternatives au service de radiocommunication fixe terrestre

En fait, l'utilisation de moyens radioélectriques est relativement faible à la fois dans l'infrastructure du transport et dans l'accès local. Il faut rappeler d'autres solutions techniques.

2.6.1 Les infrastructures « câbles »

- les liaisons spécialisées métalliques dont l'opérateur majeur est France Télécom ;
- les liaisons par fibre optiques mises en place par un certain nombre d'opérateurs de réseaux et d'opérateurs de « fibres noires ²¹ » ; par exemple : Sociétés d'exploitation d'autoroutes concédées, RATP, SNCF, Voies navigables de France, villes et collectivités locales²²,...

La paire cuivre

La paire cuivre est encore et pour longtemps le moyen d'accès local universel. L'accès aux hauts débits est possible grâce aux modems et équipements xDSL. Le tableau ci-après résumant sommairement les différentes possibilités de ces équipements. On peut rappeler qu'en Europe, et notamment en France, l'ADSL devrait être possible pour 80-85 % des accès.

Sans entrer dans un débat complexe, il est à noter que le dégroupage permettra aux opérateurs de fournir leurs abonnés en hauts débits.

²¹ On appelle fibre noire, une fibre posée par un investisseur, généralement sur ses propres domaines et qu'il propose à des opérateurs de réseaux qui y connectent leurs équipements de multiplexage.

²² Projets des collectivités locales à la fin 2000 : district d'Amiens, ville d'Angers, Besançon et département du Doubs (en service), district du Grand Caen, Castres-Mazamet (en service), communauté urbaine de Lyon, ville de Metz, communauté urbaine du Grand Nancy (en service), district d'Orléans, district du Grand Rouen, Sipperec, communauté d'agglomérations du Grand Toulouse, départements de l'Allier, l'Aveyron, du Cher, de l'Hérault, du Puy-de-Dôme, de la Savoie, du Tarn, régions Auvergne, Midi-Pyrénées.

	RNIS	HDSL	MDSL	ADSL	VDSL	ATM	Débit primaire
Type de connexions	symétrique	symétrique	symétrique	asymétrique	Symétrique/Asymétrique		symétrique
Distance maximale d'échange		Jusqu'à 4 km	Jusqu'à 6 km	3 à 6 km	0,3 km pour 52 Mb/s à 1,5 km pour 12 Mb/s	Fibre optique	Jusqu'à 6 km
Services acceptés	RNIS/DSL			Téléphone et ISDN bande étroite	Téléphone et ISDN bande étroite		
techniques	Carte RNIS		Carte RNIS	modem	Modem	Fibre optique	
Débit de transmission	Jusqu'à 128 kb/s	2 Mb/s (émission et réception)	Jusqu'à 768 kb/s (émission/réception)	1,5 Mb/s à 8 Mb/s sur la voie descendante et 128 à 768 kb/s en montant	12 Mb/s à 52 Mb/s en descendant	34/155 /622 Mb/s (émission /réception)	2 Mb /s
Zones de desserte	Zones urbaines et semi-urbaines			Zones urbaines et semi-urbaines	Zones urbaines	Zones urbaines et semi-urbaines	Zones urbaines et semi-urbaines
Intérêt économique	Utilisations des paires existantes			Utilisations des paires existantes	Utilisation des paires téléphoniques existantes Maturité des composants incertaine encore		

Tableau 8 : Caractéristiques des différentes technologies d'accès sur la paire cuivre et fibre optique

A titre indicatif, pour illustrer la comparaison entre les différentes technologies, on peut retenir le temps nécessaire pour charger un vidéo clip de 20 s qui demandera 3 s en VDSL, 10 s en ADSL, 40 s en HDSL, 10 mn en RNIS, et 24 mn avec un modem 56,6 kb/s sur le réseau commuté.

La fibre optique

La fibre optique est constituée de deux ou plusieurs couches concentriques de matériaux transparents (verre, silice ou plastique) dont les indices de réfraction sont différents, permettant ainsi le transport de signaux lumineux sur des trajets jusqu'à 80 km entre deux répéteurs optiques.

Les fibres optiques sont utilisées pour des liaisons de très forte capacité (actuellement jusqu'à 400 Gbit/s par paire de fibres) entre les villes, mais également à l'intérieur des centres urbains. On distingue ainsi les boucles optiques nationales et les boucles optiques urbaines. Les architectures retenues en priorité sont les boucles qui offrent un excellent compromis entre une connectivité étendue, une sécurisation par redondance géographique intrinsèque, et une facilité de gestion. En pratique, elles utilisent des infrastructures existantes : selon la stratégie des opérateurs, elles sont installées le long des autoroutes, voies ferrées, lignes de métro, voies fluviales ou lignes de haute tension.

La fibre optique est l'une des technologies préconisées pour répondre aux besoins d'accès haut débit des opérateurs comme de ceux des entreprises. L'année 1999 a été particulièrement importante pour elle, avec l'avènement du DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) qui permet de multiplexer plusieurs longueurs d'onde sur une seule fibre en provenance de différentes sources. Ce sont près de 80 canaux, voire plus, qui peuvent être transportés

ensemble, avec une capacité par canal d'environ 2,5 Gbit/s, et être restitués dans les formats adéquats à l'arrivée : IP, ATM, SDH, Sonet. Cela permet à la fibre optique de répondre aux besoins croissants de bande passante. Sa faculté à supporter des débits d'une centaine de gigabits par seconde est un autre avantage sur les techniques concurrentes. Mis à part l'utilisation la plus courante, c'est-à-dire sur l'infrastructure (les « backbones »), la fibre peut se retrouver à tous les niveaux : boucle locale, données, multiplexeurs de terminaux à bas coûts chez l'abonné, à l'intérieur des PME, voire la desserte d'immeubles. Actuellement, la stratégie des équipementiers va vers l'équipement des boucles locales. En effet, les services sont devenus le cœur de la stratégie des opérateurs ; c'est à dire la qualité de bande passante arrivant le plus proche possible de l'abonné. La fibre optique est intéressante, car elle permet d'acheminer n'importe quel type de services : ATM, voix, vidéo. De plus, son coût diminue en raison de la concurrence acharnée que se livrent les opérateurs : la baisse du prix au mégabit par seconde transporté fait chuter celui de la technologie sous-jacente (qui est utilisée pour le transport).

Ce dernier secteur connaît une progression régulière (voir tableau 9 ci-après). Après s'être imposée dans les réseaux publics d'opérateur, les boucles locale métropolitaines, la fibre optique gagne à présent les réseaux d'entreprise.

(Millions \$US 1998)	Evolution du marché mondial par secteur d'activité				
	1998	1999	2000	2003	2008
Public Switching	396	385	347	345	366
Transmission	640	581	549	583	612
Access	238	395	457	503	516
Mobile Infrastructures	1 475	1 192	956	1 485	1 188
Mobile Terminals	1 986	2 956	3 826	3 264	3 428
Services & Software	459	559	670	1 033	1 447
Cable & Fiber Optics	801	841	849	848	899
Networks	1 093	1 410	1 706	2 374	2 825
Other	1 850	2 017	2 039	2 161	2 269
Total	8 939	10 335	11 399	12 597	13 550

Source : IDATE « Le marché mondial des équipements de télécommunications » extrait de l'étude de l'Idate pour la DiGITIP « Ouverture à la concurrence du secteur des télécommunications » Octobre 2000

Tableau 9 : Données sur les marchés d'équipements et services

Les réseaux de vidéo transmission

A côté de l'accès par la paire «cuivre », on a les prises de raccordement des réseaux de vidéo transmission. A très court terme 10 millions de prises de raccordement seront disponibles dans 1462 communes françaises. A fin mars 2001, les raccordements aux réseaux câblés se répartissent ainsi :

- Trois millions d'abonnés à la réception TV (dont 508 000 pour la réception numérique),
- 122 000 abonnés à Internet (croissance de 140% sur un an²³) et 32 500 au téléphone.

Ce type de réseau est orienté vers la desserte des ménages. Les exploitants de ces réseaux modifient leurs installations pour passer peu à peu de la diffusion en réseaux interactifs. Si aujourd'hui, ces réseaux ne répondent pas aux exigences des abonnés professionnels, ils pourraient à l'avenir évoluer et constituer l'amorce de réseaux totalement en fibre optique dont le débit pourrait être copartagé dans les immeubles grâce à des multiplexeurs en DWDM.

2.6.2 Les liaisons par satellites

Les satellites géostationnaire et les VSAT

La station terrienne VSAT (Very Small Aperture Terminal Networks) permet d'accéder à un satellite géostationnaire (GEO). Ces stations sont considérablement moins coûteuses que les

²³ Il faut tenir compte qu'il s'agit d'un marché en phase de démarrage.

grands « hubs » d'opérateurs. Les coûts et la bande passante sont compatibles avec les exigences de la catégorie d'utilisateurs que constituent les moyennes entreprises qui sont les meilleurs clients potentiels pour les communications à hauts débits des VSAT.

Les mécanismes de commutation internes au réseau VSAT permettent d'optimiser les débits en fonction de la demande : plus la communauté de clients est importante, plus les frais de fonctionnement sont répartis et la gestion de la qualité de service optimisée.

Les réseaux VSAT se présentent comme un moyen simple et rapide pour monter une boucle locale dans des régions où les liaisons terrestres sont coûteuses. Il est aussi envisageable d'interconnecter deux ou plusieurs boucles locales distantes de plusieurs centaines de kilomètres. Le réseau VSAT est aussi intéressant que la location de LS (lignes spécialisées) à gros débit d'une entreprise (et non un opérateur). C'est ce que, par exemple, Intelsat offre sous le nom d'IBS (Intelsat Business Service), équivalent d'un groupement de canaux RNIS en liaison point à point, capable de supporter des applications de vidéoconférence ou des extensions de réseaux informatiques privés.

La généralisation de l'Internet crée une nouvelle opportunité de marché pour les services à satellites. Les satellites GEO étant déjà en place, économisent ainsi la mise de fonds nécessaire au lancement de nouvelles flottes. Les données, quant à elles, ont d'autres contraintes que les communications vocales ou visuelles d'origine analogique : qu'un paquet arrive ou non avec retard n'a pas la même importance, les systèmes de réception retrouvant le "bon ordre" des trames. Seule l'absolue fiabilité de la transmission importe. Tout au plus, les temps de latence auraient pu poser problème : plus la transmission est lente (en brut), plus le temps nécessaire pour envoyer la trame et recevoir les accusés de réception IP (round trip IP) se dégrade, plus le débit net chute. Comme un satellite possède généralement une bande passante n'excédant pas 3 Gbit/s, il est peu probable que l'on connaisse des contraintes importantes avant les quatre à cinq années à venir. En utilisant l'« Internet Protocol over Satellite » de l'IETF, des expérimentations ont même permis d'atteindre le débit de 622 Mbit/s.

Avec l'adoption de la norme de diffusion du satellite vers les stations DVB et celle des voies de retour (DVB-RCS) ayant des débits de 64 kb/s à 2 Mb/s, les réseaux VSAT suivent une transformation qui les mène des services aux professionnels vers un déploiement utilisable par le grand public.

Enfin tout comme la radiodiffusion terrestre peut être un moyen technique de transport de hauts débits vers les abonnés, les satellites de diffusion et y compris les réseaux VSAT peuvent offrir le transport unilatéral de hauts débits, les voies de retour étant définies pour des débits plus faible, et pouvant emprunter aussi un autre support de transmission.

Les satellites PCS

Bien que prévu pour la mobilité et non pas la boucle locale, mais devant leurs difficultés économiques, les satellites du service mobile pourraient à terme offrir l'accès local pour certain type de trafic (service universel par exemple) notamment en zones rurales y compris dans les pays économiquement avancés en attendant les constellations de satellites étudiées pour offrir des hauts débits.

Les HAPS

Le projet HAPS (High Altitude Platforms Systems) consiste à utiliser des répéteurs embarqués à bord de ballons placés en très haute altitude (16-22 km au-dessus du sol). Il prévoit entre autre l'application « Boucle locale radio », on reste dans une problématique similaire à celle

des liaisons par satellite. Il est ainsi possible de desservir un grand nombre d'utilisateurs aussi bien en rural qu'en urbain. Des sociétés ont établi des schémas d'exploitation, mais à ce jour, 5 ans après l'initialisation du projet, aucun HAPS n'a été lancé.

2.6.3 Les liaisons par systèmes à infra-rouge et lasers

Enfin, pour les liaisons à courte distance, des systèmes à infra-rouge ou des lasers peuvent être utilisés. Ils présentent l'avantage de transmettre des débits importants (plusieurs centaines de Mb/s) à courte distance de quelques mètres à cent mètres (constitution de réseau local et connexion de réseaux d'ordinateurs entre immeubles proches dans les zones d'affaires). Ils n'ont pas fait l'objet d'une réglementation spécifique et concurrencent les liaisons hertziennes au-dessus de 38 GHz.

Du fait que ces installations ne font pas l'objet d'autorisations formelles et que les équipements sont principalement construits à l'étranger, il est difficile de citer des statistiques détaillées sur ce type de liaisons. Toutefois, on sait qu'elles connaissent une croissance importante.

*

3 L'EVALUATION EN QUANTITE DE SPECTRE EN FONCTION DES BESOINS

3.1 Un rappel des aspects techniques en fonction des bandes de fréquences

Les principes généraux sur les faisceaux hertziens de ce rapport sont principalement extraits du manuel « Faisceaux hertziens numériques » publié par l'UIT-R.

Le faisceau hertzien est un système de transmission radioélectrique entre deux points : il utilise des fréquences - ressource limitée qu'il est essentiel d'économiser. Les bandes de fréquences généralement utilisées par les faisceaux hertziens se situent entre 2 GHz et 60 GHz.

Pour répondre aux objectifs de qualité, les faisceaux hertziens utilisés dans le réseau d'infrastructure sont « à visibilité directe », c'est à dire que le trajet entre les deux stations radioélectriques doit être suffisamment dégagé de tout obstacle. La propagation en hyperfréquences est une propagation quasi optique, facilitée par la mise en œuvre d'antennes très directives qui permettent de franchir de grandes distances avec des puissances d'émission relativement modestes. La longueur du trajet entre deux stations est limitée à un maximum d'environ 100 km par les conditions de visibilité directe.

Les faisceaux hertziens offrent de nombreux avantages, parmi lesquels :

- **avantage économique** : les faisceaux hertziens présentent souvent un avantage économique par rapport à d'autres techniques de transmission pour des débits variant entre 4 Mbit/s et 1 Gbit/s, et pour des distances de quelques centaines de mètres jusqu'à 80 km.
- **installation de liaisons «tout terrain»** : les faisceaux hertziens offrent la possibilité d'installer des tronçons de réseau sur des terrains difficiles. Cela concerne aussi bien les liaisons haut débit que les liaisons moyen et faible débit :
 - fermeture des boucles optiques (haut débit) lorsque les coûts afférents à l'enfouissement des fibres optiques deviennent prohibitifs (interconnexion des sites à la boucle optique) ;
 - interconnexion des nœuds de distribution et des stations de base (faible et moyen débit) qui sont généralement installées sur des points hauts, difficilement accessibles.
- **rapidité de mise en place et facilité de redéploiement** : il est facile d'installer des équipements radioélectriques et de les déplacer vers de nouveaux emplacements pour répondre aux besoins de transmission du réseau qui évoluent rapidement. L'infrastructure nécessaire reste modeste.
- **facilité de maintenance** : la maintenance est limitée à des interventions dans les stations radioélectriques, contrairement à la fibre optique qui peut se rompre en tous points.

Deux types de perturbations viennent principalement affecter la transmission hertzienne : les trajets multiples et les perturbations dues à la pluie²⁴.

Le phénomène de trajets multiples est provoqué par la non uniformité de l'atmosphère et les variations de son indice de réfraction. Ceci induit des évanouissements sévères du signal reçu qui varient dans le temps. On pourra les caractériser par une loi de distribution probabiliste.

²⁴ Propagation des ondes radioélectriques dans l'environnement terrestre. L. Boithias - Dunod

Ces évanouissements conduisent généralement à une augmentation du taux d'erreur binaire en créant des distorsions sur les symboles transmis.

La pluie (mais aussi le brouillard, la neige ou la grêle) atténue une partie des signaux transmis. Cette atténuation est due d'une part à l'absorption de l'onde et aussi d'autre part à sa diffusion par les gouttes de pluie. Elle varie suivant l'intensité des précipitations et peut conduire à l'indisponibilité de la liaison pendant toute la durée du phénomène météorologique. Elle dépend donc fortement de la zone géographique dans laquelle est implanté le faisceau hertzien. On ne peut quantifier ces effets que par une approche statistique. A défaut de mesures locales, on peut s'appuyer sur la recommandation UIT-R P.837 qui découpe la terre en 15 régions hydroclimatiques désignées par les lettres A à Q. Pour la France, on trouvera la carte en figure 5 ci-après.

Le premier phénomène est prépondérant pour les fréquences en dessous de 10 GHz tandis que le second domine au delà de 17 GHz. Entre 10 et 17 GHz il faut tenir compte de la combinaison des 2 phénomènes. Pour s'en prémunir il convient d'ajouter des marges dans le bilan de liaison.

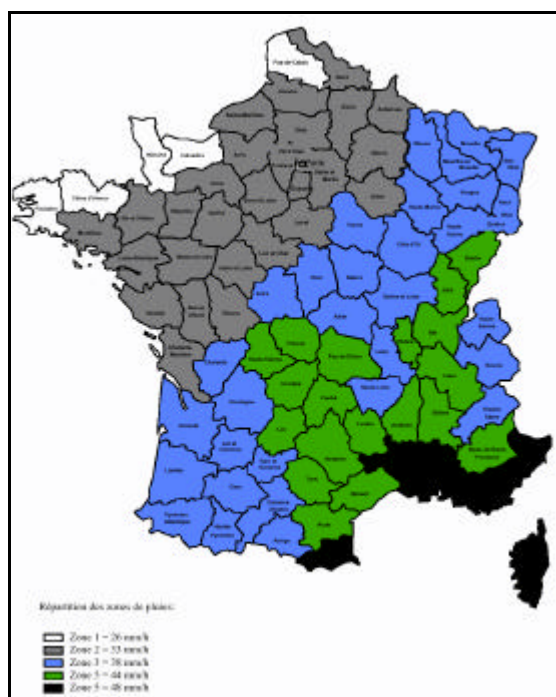


Figure 5 : Carte des Répartition des zones de pluies

Concernant les trajets multiples, il est également possible d'en réduire les effets en mettant en œuvre des techniques de diversité ²⁵.

3.2 Les débits

Les débits ont été normalisés par l'UIT-T pour les hiérarchies numériques plésiochrones (PDH) et synchrones (SDH). Ces débits englobent des multiples de E1 (2,048 Mbit/s), E3 (34,368 Mbit/s), sous-STM-1 (51,84 Mbit/s) et STM-1 (155,52 Mbit/s).

Le choix de la bande de fréquences se fait en fonction de critères technico-réglementaires. La distance maximale réalisable est inversement proportionnelle à la fréquence utilisée ²⁶. Pour

²⁵ Voir par exemple la recommandation UIT-R F.752-1

une distance donnée, on choisit en premier lieu la bande de fréquences la plus élevée possible. Parallèlement, le «schéma directeur pour l'utilisation des bandes de fréquences du service fixe» de l'ART fixe les grandes lignes de l'utilisation des fréquences pour les faisceaux hertziens en France.

La capacité d'un faisceau hertzien dépend principalement de la largeur de canal et de la modulation utilisée. Les modulations les plus couramment utilisées sont les modulations d'amplitude en quadrature (MAQ-4, MAQ-16, MAQ-32, MAQ-128, ...), les modulations de fréquences (MDF-4), modulations de phase (MDP-4 ou QPSK) et les modulations à phase continue (CPM).

Dans une modulation à M états (M=4, 16, 32, 64, 128, ...), chaque état peut être relié à une configuration de $n=\log_2(M)$ éléments binaires à transmettre durant un temps symbole T_s . Dans le cas d'une modulation d'amplitude en quadrature avec filtrage de Nyquist, la largeur de bande à 3 dB nécessaire est l'inverse du temps symbole : $B_{3dB}=1/T_s$ (théorème de Nyquist).

Les débits binaires réellement transmis par les faisceaux sont souvent supérieurs d'environ 6% au débit binaire utile, due à l'utilisation de codes correcteurs d'erreur ou à la maintenance interne des équipements. On obtient la relation suivante entre le débit utile R [Mbit/s], la largeur du canal utilisé B_{RF} [MHz] et le nombre d'états M :

$$B_{RF} = 1,06 R (1+\alpha) / \log_2(M)$$

où α est le facteur de décroissance progressive de Nyquist (en pratique : $0,35 < \alpha < 0,5$).

Ainsi, la largeur de canal donne une bonne indication de la capacité numérique des faisceaux hertziens. Le tableau 10 ci-dessous résume les différentes possibilités.

Débit binaire utile	2 E1	4 E1	8 E1	16 E1	32 E1	STM-1
Largeur de canal	4 Mbit/s	8 Mbit/s	16 Mbit/s	34 Mbit/s	2x34 Mbit/s	155 Mbit/s
3,5 MHz	4 états	16 états				
7 MHz		4 états	16 états			
13,75 MHz, 14 MHz			4 états	16 états		
27,5 MHz, 28 MHz, 29,65 MHz				4 états	16 états	128 états
55 MHz, 56 MHz						32 états

Tableau 10 : Capacité des faisceaux hertziens en fonction de la largeur de canal et de la modulation

Pour une largeur de canal donnée, le débit utile augmente (de façon logarithmique) avec le nombre d'états de la modulation. Les modulations complexes sont plus économiques en spectre, au prix d'un rapport signal-sur-bruit $(C/N)_{nécessaire}$ plus élevé pour atteindre le même taux binaire d'erreur (TBE).

Cette augmentation du rapport $(C/N)_{nécessaire}$ fait que, pour une puissance d'émission fixe, la longueur maximale réalisable diminue par rapport à une modulation moins complexe. Dans de nombreux cas - si la longueur du bond n'est pas contraignante - il est possible de doubler, voire quadrupler, le débit des liaisons existantes en gardant la même occupation spectrale.

Par ailleurs, les densités spectrales de puissance des différentes modulations d'amplitude en quadrature sont équivalentes. Pour une puissance d'émission donnée, la substitution d'une liaison par une liaison avec une modulation plus complexe ne change en rien l'interférence produite sur les liaisons FH existantes²⁷.

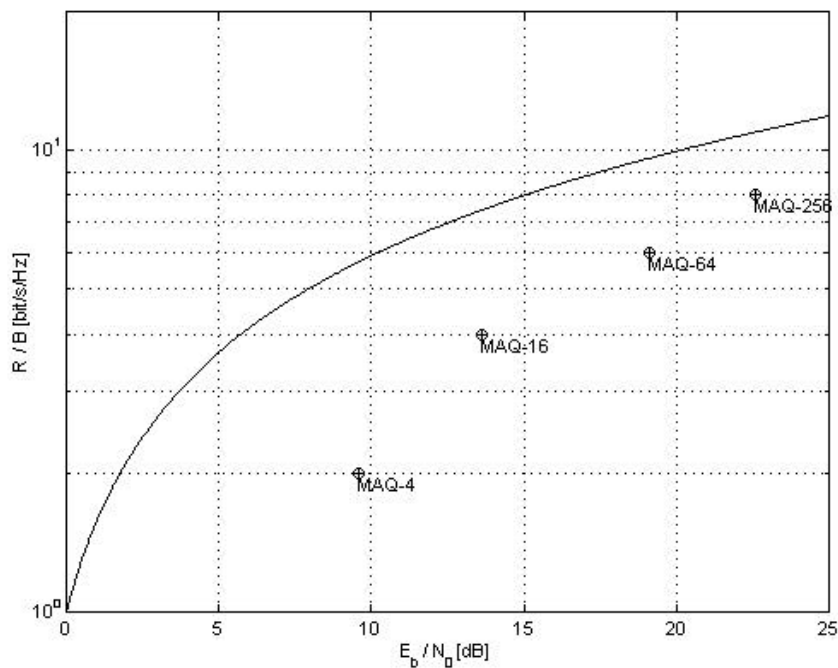
²⁶ La distance maximale réalisable dépend des caractéristiques techniques des équipements (puissances d'émission, gains d'antennes, sensibilité des récepteurs) et des conditions de propagation.

²⁷ Les interférences produites dépendent de la densité spectrale de l'émetteur (qui brouille), et du filtre de réception du récepteur (brouillé).

La limite supérieure de la capacité d'un canal est donnée par le théorème de Shannon²⁸ :

$$R_{\max} = B \log_2 (1+C/N)$$

Le graphique 7 compare les différentes modulations pour une efficacité spectrale normalisée R/B sur la base du rapport énergie par bit sur densité spectrale du bruit E_b/N_0 . A titre de comparaison, la courbe continue sur ce graphique montre la limite de Shannon en fonction du rapport E_b/N_0 (pour un taux binaire d'erreur de 10^{-5}).



Graphique 7 : Comparaison des différentes modulations d'amplitude en quadrature pour un taux binaire d'erreur de 10^{-5}

*

²⁸ Pour un canal à bruit blanc additif gaussien.

4 LES BESOINS EN SPECTRE

Ces dernières années, la demande en spectre s'est faite au profit de la mise en oeuvre des réseaux de télécommunications : faisceaux hertziens pour les déploiements de l'infrastructure des réseaux de radiotéléphonie mobile (essentiellement les réseaux GSM mais aussi, dans une moindre importance, pour les réseaux de sécurité : RUBIS et ACROPOL), la boucle locale radio et dans une moindre mesure pour le transport point à point indépendamment des deux types précédents.

4.1 L'accès local ou boucle locale

Plusieurs techniques d'accès local sont envisageables. Elles ne sont pas exclusives, et peuvent présenter une certaine complémentarité : par exemple les technologies xDSL s'adressent plutôt aux travailleurs indépendants ou ayant choisi le télé-travail, alors que l'accès radio fixe est mieux adapté aux PME. Il est malgré tout indéniable que l'utilisation préférentielle de l'une des techniques peut entraîner des conséquences économiques pour l'existence de certaines autres. Ainsi, on peut citer parmi les techniques d'accès local radio :

- L'accès radio fixe (appelé Boucle locale radio).
- Les terminaux de réseaux mobiles. Cet accès est actuellement à très faible débit. L'UMTS permettra un débit par utilisateur de l'ordre de 300 kb/s en mobilité ou 2 Mb/s à l'arrêt et en utilisant toute la ressource du canal dans ce dernier cas.
- Le MVDS/MMDS avec voie de retour.
- Le service de diffusion numérique (DAB et DVB-T) associé dans le futur à des voies de retour.
- Les services par satellite.
- La réalisation de l'accès local peut également utiliser des supports filaires, en particulier les technologies xDSL.

Dans cette étude, on ne s'intéresse qu'au premier cas. Les quantités de spectre ont été définies et ont fait l'objet d'études pour les autres catégories.

4.1.1 2 Mb/s pour qui ?

Il a été annoncé l'objectif de 2 Mb/s pour tous (Comité interministériel pour la société de l'information Juillet 2000). Il faut cependant bien définir cet objectif en termes techniques de télécommunications afin d'obtenir un besoin en spectre rejoignant une réalité.

Deux types de besoins sont identifiés :

- Les besoins des grandes entreprises, auxquels les opérateurs répondent déjà ;
- Les besoins en matière de haut débit " grand public ", des réseaux qui doivent irriguer de très nombreux points du territoire et qui doivent permettre aux particuliers et aux services publics comme les écoles ou les hôpitaux de manipuler aisément de véritables contenus multimédias.

La plus grande difficulté que l'on identifie concerne d'une part la quantification de ces besoins en haut débit grand public et d'autre part les moyens pour les supporter. Il faut disposer des réseaux, fournir des services et former les citoyens à adopter cette nouvelle forme de communication. Il existe déjà un réseau d'infrastructures de transport, un réseau de fibres

optiques à très haut débit qui irrigue de nombreux points sur le territoire. Le défi n'est donc plus, aujourd'hui, dans le transport, mais dans l'accès : il s'agit de permettre aux petites entreprises, aux écoles, aux hôpitaux, aux particuliers, de bénéficier d'une connexion à haut débit. Plusieurs technologies sont ou seront à même d'assurer cet accès du grand public au haut débit. Un effort a été fait avec la mise à disposition dans un certain nombre de villes de l'ADSL. Il faut aussi citer le câble, la boucle locale radio, voire le téléphone mobile de troisième génération. Certaines de ces technologies ne sont pas encore mûres mais le seront dans les années à venir.

Par ailleurs, on note que dans un réseau haut débit, le maillon le plus cher est le dernier maillon, celui qui permet l'accès aux abonnés. Le problème est que les technologies actuelles n'offrent pas de solution très satisfaisante de ce point de vue pour les zones rurales.

D'après la société Tactis, la couverture de l'ADSL dans 16 départements, seulement moins de 14% des habitants ont la possibilité de se raccorder en mode DSL. Par contre, en Ile de France, Seine-Maritime, Alpes Maritimes et dans la région lyonnaise plus de 72% des habitants sont raccordables. En 2001, FT prévoit la possibilité de raccorder 65% de la population. Au total, avec les difficultés de qualité, une population nationale théoriquement couverte ne l'est pratiquement qu'à 85%²⁹.

Enfin, il ne faut pas exclure que l'accès aux différentes catégories d'utilisateurs peut se faire avec l'aide de plusieurs techniques suivant la catégorie ou le service attendu. Ainsi, on peut utiliser les possibilités de diffusion du haut débit de type multimédia grâce aux systèmes de diffusion tels que le DAB pour la réception mobile ou le DVB-T pour la réception sur antenne fixe voire portable. Les voies de retour ne demandant que des débits plus faibles utilisent alors des réseaux fixes ou de radiotéléphonie mobile. De même, les offres de liaisons satellitaires, qui présentent encore des inconvénients majeurs, pourraient évoluer dans les années qui viennent et ce service pourrait offrir des accès à des coûts alors acceptables.

4.1.2 Un exemple de calculs d'estimation en spectre : la Bretagne

Afin d'illustrer ces besoins, on prend dans cet exercice l'exemple de la Bretagne.

Cet exemple est retenu pour les caractéristiques suivantes :

- C'est une des régions françaises la plus étendue. (D'autres exemples de régions existent, mais elles sont plus petites, concentrées autour d'agglomérations importantes où l'utilisation de techniques n'utilisant pas les liaisons hertziennes ont tout leur intérêt).
- La densité moyenne de 105 habitants au km² (« La France et ses régions NSEE édition 1997 ») mais avec des zones plus denses (Rennes et Brest), moyennement denses et des zones rurales.
- Par ailleurs, les télécommunications sont particulièrement développées dans cette région, avec notamment la mise en place de réseaux à hauts débits utilisant une fibre optique.

Les hypothèses de calcul pour la Bretagne sont les suivantes :

- Un utilisateur raccordé à 2Mb /s a un trafic de 20 heures par mois, réparti sur 20 jours dont les trois-quarts en heures de pointe (3 h), ce qui correspond à 15mn par heure chargée, soit 0,25 Erlang, si on considère un trafic continu en mode circuit. Cependant pour une utilisation de type Internet, ce trafic est ramené à 30 kb/s en moyenne sur la

²⁹ Couverture ADSL de France Télécom en France métropolitaine "Les 1000 premières communes" Synthèse organique de Tactis Octobre 2000 (www.tactis.fr)

base de communications de l'ordre de 30 mn pour 60 pages consultées de taille moyenne 100 octets.

- Les professionnels communicants constituent 10% des abonnés qui transmettent 10 fois plus. On ajoute donc autant de capacité que pour les ménages. Au total un circuit à 2Mb/s peut accueillir 33 utilisateurs.

Les hypothèses s'appuient sur les données résumées ci-dessous qui reprennent les données précédemment citées (tableaux 6 et 7), c'est à dire :

- Moyenne mondiale : 9h par mois,
- Temps passé par session 32 mn et 43 pages vues (en Italie et Pays-Bas, on relève respectivement 7h05 / 7h08 et 31 mn / 28 mn).

La **zone rurale** est par caractérisée par une densité de population inférieure à 70 hab/km², (51hab/km² en Bretagne). En Bretagne, il y a 474 000 habitants soit 14364 circuits pour 9220 km², ou encore 1,56 circuit au km² (1,56MHz/km²). Si on considère que la cellule de couverture radioélectrique est de 200 km² (r=8 km), on a alors 47 stations de base (BS) soit 306 circuits par BS.

- Dans un motif à 9 cellules on obtiendrait 2 754 circuits soit, avec un système à efficacité spectrale de 2b /s/hertz, une utilisation de 2 754 MHz.

En **zone urbaine** caractérisée par une densité de population supérieure à 70 km², on a 2 235 000 habitants sur une surface de 18 023 km² soit 124 hab/km².

On a alors 3,75 circuits au km² et 3,75 MHz/km².

- Avec un motif à 9 cellules de surface 10 km² (r=1,8 km), il faut alors : 338 MHz (3,75*90). Une telle configuration requiert 1 803 BS, soit un potentiel de 1240 utilisateurs par BS. On peut comparer ce chiffre à celui de la zone rurale pour laquelle chaque BS couvre potentiellement environ 10 000 habitants soit 8 fois plus.

Ces estimations supposent que tous les utilisateurs sont raccordés par la BLR. Ce qui ne sera évidemment pas le cas.

En urbain on peut faire l'hypothèse de pénétration de 10% pour les abonnés « individuels », ce qui implique un besoin en fréquence de 34 MHz. Le taux de pénétration pour les PME sera sans doute sensiblement supérieur, générant un besoin additionnel, en particulier dans les zones d'entreprises. En rural, le taux de pénétration devrait être supérieur. En prenant 20%, on aurait au total un besoin de 550 MHz.

4.1.3 Conclusions pour la BLR

France Télécom concentrait encore environ 87% des commandes de nouvelles lignes en 1998. L'opérateur historique poursuit la numérisation de son réseau et remplace certains de ses commutateurs de 2^{ème} génération par des plates-formes de 3^{ème} génération. Son monopole sur la boucle locale s'est achevé avec la délivrance en 2000 de 2 autorisations nationales et de 40 autorisations régionales à des opérateurs de BLR. L'enjeu de la boucle locale en général est énorme lorsqu'on sait qu'elle absorbe aujourd'hui près de 70 % des coûts d'infrastructure.

L'intérêt croissant pour la boucle locale radio haut débit s'explique par les mutations qui apparaissent dans les mondes des télécommunications et de la diffusion audio et vidéo, telles la convergence (au sens de l'intégration de différents médias d'information – voix, données, vidéo – sur un seul et unique support de transmission), les lignes d'abonné numériques, la vidéo à la demande, l'intégration fixe/mobile, la téléphonie via l'Internet, la troisième génération de systèmes mobiles ou encore les systèmes hertziens de distribution vidéo.

Le développement de technologies d'accès avancées crée un nouveau courant d'investissement. Ceux-là ont concerné essentiellement au cours de la période récente trois types d'acteurs :

- les opérateurs de réseaux métropolitains qui ont déployé des réseaux de distribution en fibre optique pour desservir des zones d'affaires essentiellement,
- les câblo-opérateurs qui adaptent leurs infrastructures pour offrir des services de télécommunications, Internet en particulier,
- et bien sûr, France Télécom qui a investi, et continue à le faire, dans le déploiement de l'ADSL.

Dans le futur, on peut ajouter d'éventuels nouveaux acteurs :

- les réseaux de diffusion hertziens numériques, utilisant la technique « push » associée aux voies de retour (GSM, UMTS ou des réseaux spécifiques),
- les réseaux par satellite avec leurs voies de retour.

Le taux de développement de la BLR devrait rester limité. Dans les hypothèses citées dans l'exemple ci-dessus, la demande en spectre ne devrait pas dépasser 550 MHz.

4.2 L'infrastructure des réseaux de télécommunications mobiles

Un réseau de radiotéléphonie mobile a pour premier rôle de permettre les communications des abonnés mobiles entre eux, et avec les abonnés des autres opérateurs — réseau téléphonique commuté public (RTCP) ou des autres opérateurs mobiles. Il peut se découper en deux parties :

- la partie radio qui assure les transmissions radioélectriques entre les terminaux des abonnés mobiles et les stations de base du réseau (BTS). Cette partie du réseau est constituée d'un tissu très dense de stations de base sur l'ensemble du territoire national. La surface sur laquelle une station de base peut établir une liaison est appelée cellule. Dans le cas du GSM1800, le rayon des cellules varie de quelques dizaines de mètres (pico-cellules) jusqu'à environ 10 km (macro-cellules) ;
- le réseau d'infrastructure qui assure l'interconnexion des différents éléments du réseau : le maillage très dense de stations de base est relié aux nœuds de distribution (DN), contrôleurs de stations de base (BSC) et commutateurs (MSC). Le réseau d'infrastructure utilise différentes techniques de transmission : fibre optique (FO) et faisceaux hertziens (FH). Ces liaisons peuvent être propres à l'opérateur mobile ou, dans certains cas, être louées à des opérateurs tiers (liaisons louées LL).

4.2.1 Techniques de transmission

Le réseau d'infrastructure est principalement basé sur des techniques de transmission par fibres optiques et faisceaux hertziens numériques. Ces deux technologies sont complémentaires ; le

choix entre la fibre optique et les faisceaux hertziens se fait selon des critères technico-économiques. Celui de l'architecture des systèmes radio (point à point ou point à multipoint) dépend de leur position dans le réseau d'infrastructure (réseau de desserte ou réseau capillaire) et de la densité des stations de base à desservir.

Le choix de la bande de fréquences se fait également en fonction de critères technico-réglementaires. La distance maximale réalisable est inversement proportionnelle à la fréquence utilisée³⁰. Pour une distance donnée, on choisit en premier lieu la bande de fréquences la plus élevée possible et tenant compte du « schéma directeur pour l'utilisation des bandes de fréquences du service fixe » de l'ART.

Le mode d'assignation des fréquences aux opérateurs mobiles pour leur réseau d'infrastructure doit aussi être repensé en fonction des caractéristiques prévues des réseaux de 3^{ème} génération. Un mode d'assignation apparu récemment consiste, pour la mise en place des niveaux hiérarchiques les plus bas de ces réseaux, à allouer aux opérateurs des blocs de fréquences dans lesquels ils ont toute liberté de mettre en œuvre leurs équipements et d'utiliser, selon les cas, des systèmes point à point ou point à multipoint ou une juxtaposition de ces deux solutions.

4.2.2 Un exemple d'architecture d'infrastructure d'un réseau mobile GSM

Le schéma logique de cet exemple est décrit dans la figure 7. Il n'est cité ici que pour illustration des besoins, d'autres schémas existent : structures des réseaux différentes, utilisation de liaisons enterrées, etc. Toutefois cet exemple est basé sur un déploiement intensif de faisceaux hertziens et constitue une approche donnant une enveloppe réaliste des besoins en liaisons hertziennes.

Les différents éléments du réseau sont représentés par niveaux : TSC (transit-MSC), MSC, BSC, DN et BTS. Les TSC et MSC sont interconnectés par un réseau haut débit maillé. Cette figure montre également la proportion des techniques de transmission dans chaque couche du réseau. La couche qui relie les TSC-MSC entre eux est constituée de 75% de fibres optiques, 20% de faisceaux hertziens, et 5% de liaisons louées. Plus on descend dans l'architecture du réseau, plus la proportion des faisceaux hertziens devient importante. Dans la couche MSC-BSC, la proportion des faisceaux hertziens est de 70% contre 5% de fibre optique et 25% de liaisons louées. Finalement, la couche BSC-DN-BTS est constituée de 70% de faisceaux hertziens moyen et bas débit, et 30% de liaisons louées.

On distingue principalement deux entités : le réseau de desserte (TSC-MSC-BSC-DN) et le réseau capillaire (BSC-DN-BTS).

³⁰ La distance maximale réalisable dépend des caractéristiques techniques des équipements (puissances d'émission, gains d'antennes, sensibilité des récepteurs) et des conditions de propagation.

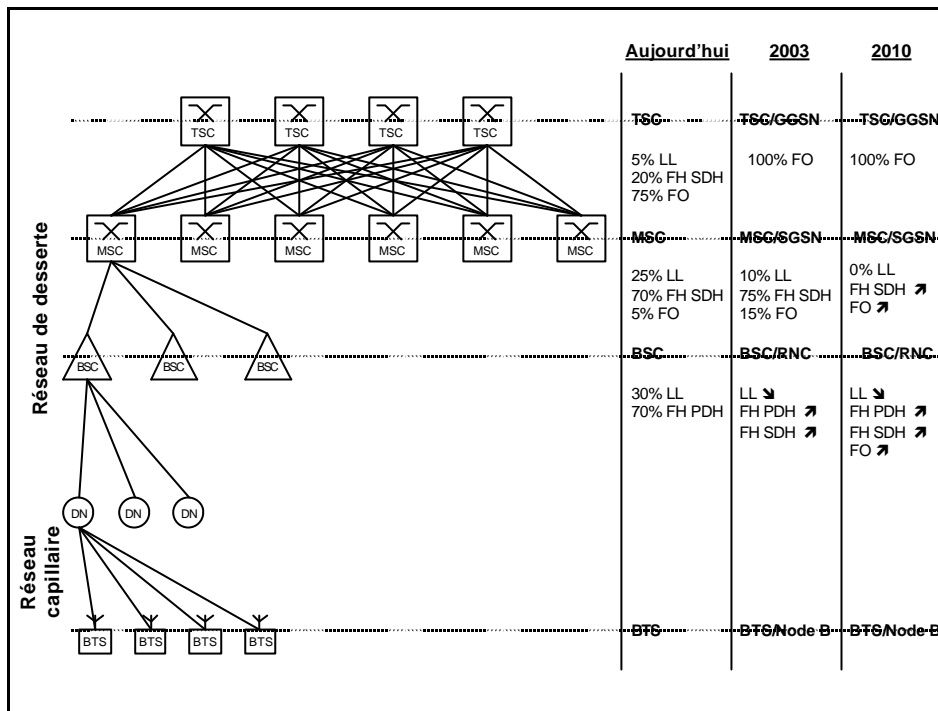


Figure 7 : Schéma logique du réseau d'infrastructure

Le noyau du réseau de desserte est constitué de la boucle optique nationale et des boucles optiques urbaines. La figure 8 décrit la boucle optique nationale, ainsi que les villes qui sont reliées à la boucle optique nationale par des faisceaux hertziens haut débit.

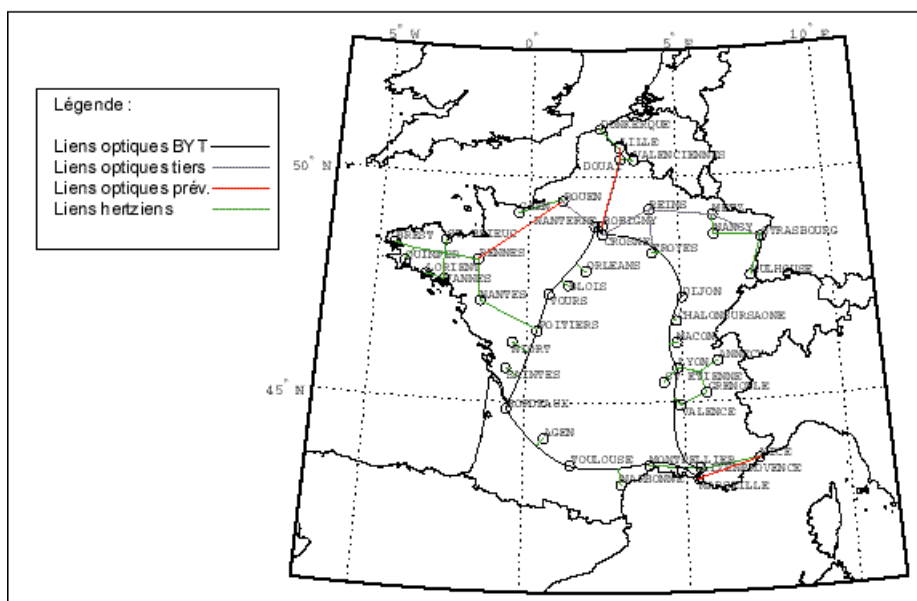


Figure 8 : Boucle optique nationale et les sites rattachés par faisceaux hertziens SDH

Autour de la boucle optique nationale se développe tout le réseau de desserte en faisceaux hertziens dans les bandes de fréquences 6 GHz, 13 GHz et 18 GHz qui est représenté dans la figure 9.

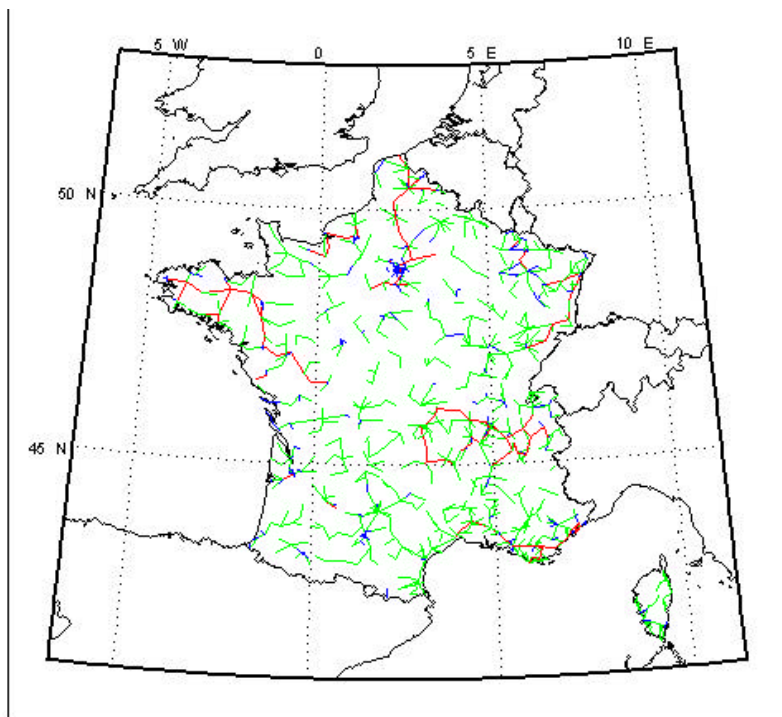


Figure 9 : Faisceaux hertziens du réseau de desserte dans les bandes de fréquences 6 GHz (rouge), 13 GHz (vert) et 18 GHz (bleu)

Comme mentionné au paragraphe 3.1, l'utilisation des bandes de fréquences n'est pas tout à fait la même dans toutes les régions, en raison des différences de pluviométrie. En région Méditerranée par exemple, les distances maximales réalisables dans la bande 18 GHz sont significativement plus courtes que dans les autres régions. Il en résulte une utilisation plus importante de la bande 13 GHz dans cette région.

Le réseau capillaire relie le tissu très dense des stations de base aux nœuds de distribution ou directement aux contrôleurs de station de base. La figure 10 détaille la distribution des faisceaux hertziens dans les bandes 23 GHz et 38 GHz sur le territoire national.

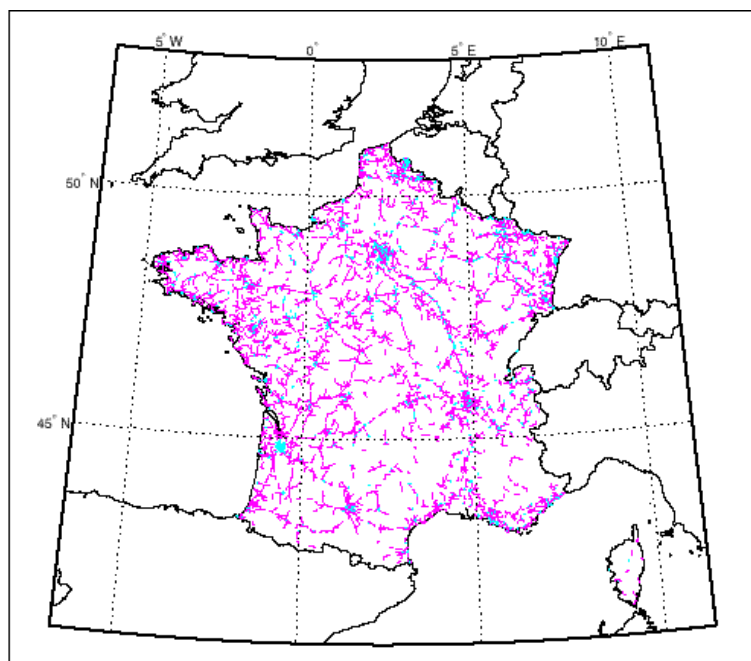


Figure 10 : Faisceaux hertziens du réseau capillaire dans les bandes de fréquences 23 GHz (magenta) et 38 GHz (turquoise)

Dans l'exemple utilisé ici, pour des raisons d'économie de spectre, l'architecture retenue pour le réseau capillaire est une architecture en étoile à deux bonds. La figure 11 illustre cette architecture en étoile à deux bonds sur une zone urbaine très dense comme Paris.

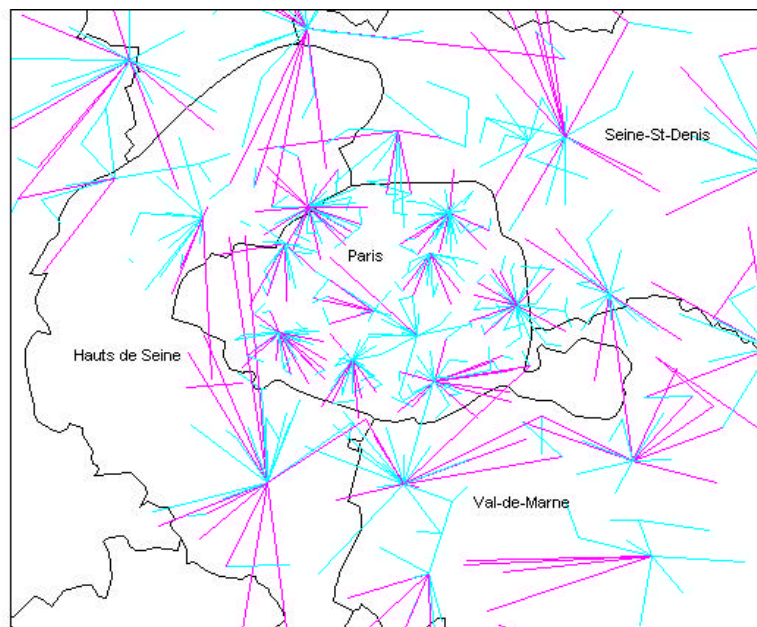


Figure 11 : Faisceaux hertziens du réseau capillaire sur Paris dans les bandes de fréquences 23 GHz (magenta) et 38 GHz (turquoise)

4.2.3 Infrastructure d'un réseau mobile UMTS

Les besoins du service fixe pour IMT2000 ont fait l'objet d'une étude détaillée par le SE19³¹. On retrouve une architecture comparable à l'exemple donné ci-dessus et représentée par la figure 12. La taille estimée des rayons des cellules est de l'ordre de 8 km en rural, 2 km pour les macro-cellules et 0,5 km pour les micro-cellules. Les résultats se résument dans les 2 tableaux 12 et 13 suivants.

Si dans la phase de démarrage, il apparaît un intérêt plus important pour l'hertzien, à terme cette étude montre une évolution vers l'emploi de la fibre optique pour une partie du réseau, ce qui ne devrait pas accroître la demande en spectre pour des liaisons à grande elongation. Pour le réseau capillaire, la taille des cellules induira le choix des gammes de fréquences qui seront plutôt élevées.

³¹ Doc SE19(01)98r1 Liaison statement from SE19 [approved by WGSE] on fixed service requirements for UMTS/IMT-2000 Networks

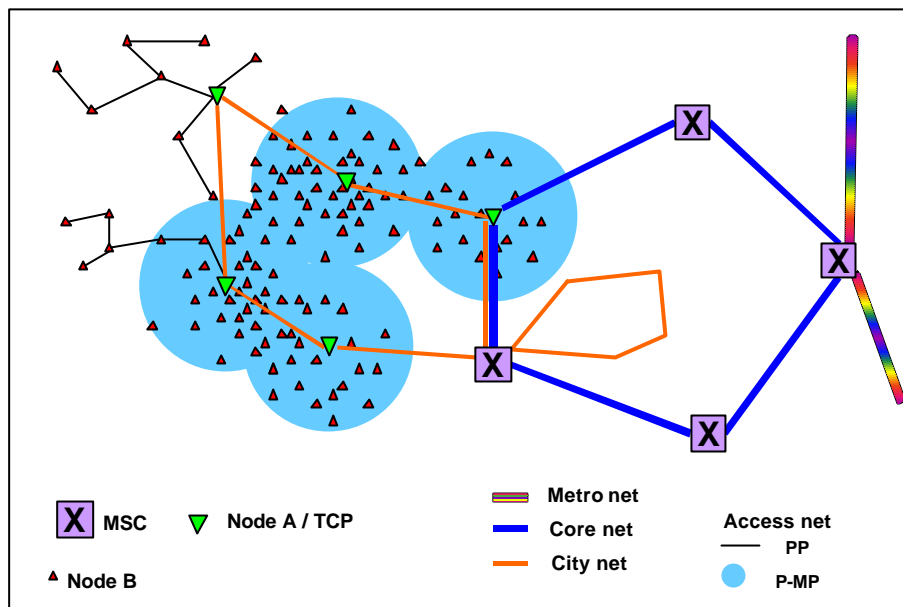


Figure 12 : Schéma des liaisons entre les niveaux d'un réseaux IMT 2000

Les liaisons sont constituées ainsi :

- Accès réseau (Accès d'un Node B au TCP et/ou Node A) principalement par liaisons FH Point à Point (PP) et Point à Multipoint (PMP) ou câble;
- Boucle urbaine (Interconnexion du Node A et du RNC) par FH Point à Point (PP) et fibres optiques;
- Boucle métropolitaine (Interconnexion entre les RNC, MSC et d'éventuels POP au réseau) principalement par fibres optiques.
- Cœur du réseau (Interconnexion entre MSC) principalement par fibre optiques.

	Urbain	Rural
single Node B	0.5 – 1.4 km	5 – 16 km
Node B --> TCP	0.5 – 2.5 km	5 – 20 km
TCP --> Node A	2.0 – 5.0 km	5.0 – 20 km
Node A --> RNC	5 – 10 km	5.0 – 50 km
RNC --> MSC/SGSN	0 – 20 km	0 – 20 km

Tableau 11 : Longueur des bonds pour l'interconnexion des différents niveaux des couches des réseaux IMT 2000

niveau	Année					
	fin 2003			2010		
	MW ¹	Câble	FO ²	MW	Câble	FO
Node B --> TCP	Haute	moyenne	basse	haute	basse	moyen
TCP --> Node A	haute	-	basse	haute	-	moyen
Node A --> RNC	haute	-	moyenne	moyenne	-	haute
RNC --> MSC/SGSN	haute	-	moyenne	basse	-	haute

¹FH ²Fibre optique

Tableau 12 : Prévission des types de moyens d'interconnexion des différents niveaux de couches des réseaux IMT 2000

4.3 Le transport

Le rapport de l'Idate en matière de transmission estime le marché français à environ 3,2 milliards de francs en 1999, dont les deux tiers correspondent à des investissements de France Télécom. L'opérateur historique annonçait des investissements de 2,5 milliards de francs sur le segment de la transmission en 1998 et a vraisemblablement investi un montant équivalent en 1999 ; la majeure partie de ces investissements est consacrée aux boucles

synchrones urbaines et régionales, des déploiements qui ont commencé en 95/96 et qui font partie d'un des programmes d'investissements parmi les plus ambitieux du groupe.

A côté de l'opérateur historique, le groupe Cegetel (y compris Telecom Développement) représente la seconde «force» du marché, concentrant en 1999 près de 16% de l'investissement dans le domaine tandis que l'ensemble des autres opérateurs alternatifs pesait environ 15% !

Les statistiques montrent qu'il n'y a pas de développement majeur dans les faisceaux hertziens pour les réseaux de transport.

*

5 L'ANALYSE DES BANDES DE FREQUENCES POSSIBLES POUR LE SERVICE DE RADIOCOMMUNICATION FIXE TERRESTRE

5.1 L'énumération des bandes de fréquences

Les tableaux 14-1 et 14-2 extraits de la recommandation UIT-R 746 dresse un panorama des bandes et de leur potentialité. On se référera autant que de besoin aux recommandations pertinentes de l'UIT-R.

5.2 La situation du TNRBF

Le tableau 15 représente la transposition dans le tableau national des bandes de fréquences attribuées au service fixe. Il précise les conditions d'utilisation.

Bande (GHz)	Gamme de fréquences (GHz)	Recommandations UIT-R Série F	Espacement entre canaux (MHz)
1,4	1,35-1,53	1242	0,25; 0,5; 1; 2; 3,5
2	1,427-2,69 1,7-2,1; 1,9-2,3 1,7-2,3 1,9-2,3 1,9-2,3 1,9-2,3 2,3-2,5 2,29-2,67 2,5-2,7	701 382 283 1098 1098, Annexes 1, 2 1098, Annexe 3 746, Annexe 1 1243 283	0,5 (espacement de base) 29 14 3,5; 2,5 (espacements de base) 14 10 1; 2; 4; 14; 28 0,25; 0,5; 1; 1,75; 2; 3,5; 7; 14; 2,5 (espacement de base) 14
4	3,8-4,2 3,6-4,2 3,6-4,2	382 635 635, Annexe 1	29 10 (espacement de base) 90; 80; 60; 40; 30
5	4,4-5,0 4,4-5,0 4,4-5,0 4,54-4,9	746, Annexe 2 1099 1099, Annexe 1 1099, Annexe 2	28 10 (espacement de base) 40; 60; 80 40; 20
L6	5,925-6,425 5,85-6,425	383 383, Annexe 1	29,65 90; 60
U6	6,425-7,11 6,425-7,11	384 384, Annexe 1	40; 20 80
7	7,425-7,725 7,425-7,725 7,435-7,75 7,11-7,75	385 385, Annexe 1 385, Annexe 2 385, Annexe 3	7 28 5 28
8	8,2-8,5 7,725-8,275 7,725-8,275 8,275-8,5 7,9-8,4	386 386, Annexe 1 386, Annexe 2 386, Annexe 3 386, Annexe 4	11,662 29,65 40,74 14; 7 28
10	10,3-10,68 10,5-10,68 10,55-10,68	746, Annexe 3 747, Annexe 1 747, Annexe 2	20; 5; 2 7; 3,5 (espacements de base) 5; 2,5; 1,25 (espacements de base)
11	10,7-11,7 10,7-11,7 10,7-11,7 10,7-11,7	387, Annexes 1 et 2 387, Annexe 3 387, Annexes 4 et 6 387, Annexe 5	40 67 60 80
12	11,7-12,5 12,2-12,7	746, Annexe 4, § 3 746, Annexe 4, § 2	19,18 20 (espacement de base)
13	12,75-13,25 12,75-13,25 12,7-13,25	497 497, Annexe 1 746, Annexe 4, § 1	28; 7; 3,5 35 25; 12,5
14	14,25-14,5 14,25-14,5	746, Annexe 5 746, Annexe 6	28; 14; 7; 3,5 20
15	14,4-15,35 14,5-15,35 14,5-15,35	636 636, Annexe 1 636, Annexe 2	28; 14; 7; 3,5 2,5 (espacement de base) 2,5

Tableau 13-1 : Disposition des canaux radioélectriques pour les faisceaux hertziens fonctionnant dans des bandes de fréquences en dessous de 17 GHz environ

Bande (GHz)	Gamme de fréquences (GHz)	Recommandations UIT-R Série F	Espacement entre canaux (MHz)
18	17,7-19,7 17,7-21,2 17,7-19,7 17,7-19,7 17,7-19,7 17,7-19,7	595 595, Annexe 1 595, Annexe 2 595, Annexe 3 595, Annexe 4 595, Annexe 5	220; 110; 55; 27,5 160 220; 80; 40; 20; 10; 6 3,5 27,5; 13,75; 7,5; 5; 2,5; 1,25 7; 3,5; 1,75
23	21,2-23,6 21,2-23,6 21,2-23,6 21,2-23,6 21,2-23,6 22,0-23,6	637 637, Annexe 1 637, Annexe 2 637, Annexe 3 637, Annexe 4 637, Annexe 5 637, Annexe 1	3,5; 2,5 (espacements de base) 112 à 3,5 28; 3,5 112 à 3,5 50 112 à 3,5 112 à 3,5
27	24,25-25,25 25,25-27,5 24,5-26,5 27,5-29,5 27,5-29,5	748 748 748, Annexe 1 748 748, Annexe 2	3,5; 2,5 (espacements de base) 3,5; 2,5 (espacements de base) 112 à 3,5 3,5; 2,5 (espacements de base) 112 à 3,5
31	31,0-31,3	746, Annexe 7	25; 50
38	36,0-40,5 36,0-37,0 37,0-39,5 38,6-40,0 39,5-40,5	749 749, Annexe 3 749, Annexe 1 749, Annexe 2 749, Annexe 3	3,5; 2,5 (espacements de base) 112 à 3,5 140; 56; 28; 14; 7; 3,5 50 112 à 3,5
55	54,25-58,2 54,25-57,2 57,2-58,2	1100 1100, Annexe 1 1100, Annexe 2	3,5; 2,5 (espacements de base) 140, 56, 28, 14 100

Tableau 13-2 : Disposition des canaux radioélectriques pour les faisceaux hertziens fonctionnant dans des bandes de fréquences au-dessus de 17 GHz environ

NOTE 1 – Une disposition donnée des canaux radioélectriques peut être considérée soit comme intercalée, soit comme entrelacée, suivant le débit numérique en ligne transmis par les faisceaux hertziens. On peut en principe combiner des canaux intercalés avec une réutilisation des fréquences dans le même canal.

NOTE 2 – La définition et l'application du XPD sont différentes de la définition et de l'application de l'isolement de polarisation (XPI), défini dans la Recommandation UIT-R P.310.

NOTE 3 – La définition de la NFD est fondée sur les hypothèses suivantes:

- le XPD éventuel des canaux adjacents n'est pas pris en compte,
- un seul canal brouilleur adjacent est pris en considération; pour deux brouilleurs modulés adjacents, la valeur de NFD qu'il faut considérer devrait être prise inférieure de 3 dB.

NOTE 4 – Cette question est traitée dans les Recommandations UIT-R F.1093 et UIT-R P.530 relatifs aux méthodes de prévision de la propagation et des interruptions.

NOTE 5 – Un système multiporteuses est un système dans lequel n signaux de porteuses à modulation numérique (n + 1) sont émis (ou reçus) simultanément par le même équipement radiofréquences. La fréquence centrale doit être considérée comme la moyenne arithmétique des n fréquences porteuses du système multiporteuses. Lorsqu'on met en œuvre un système multiporteuses dans une disposition de canaux radioélectriques préexistante, il peut être commode de transférer la fréquence centrale de ce système au milieu de deux canaux adjacents de la disposition de base.

Tableau 14 : Informations sur les principales bandes du Service fixe

Bande	Bande associée	Rec	Rapport ERO (05/98)	Remarque sur l'utilisation en France
1350-1375	1492-1517			Non utilisable en France (radioloc. DEF)
1375-1400	1427-1452	T/R 13-01	426 FH	ART: 2*2 MHz pour les RRI + IRT ③. Réarrangement à prévoir pour migrer dans le plan CEPT
1384-1400	1452-1460 et 1484-1492		375 FH PMP 2MHz	ART ⑤. IRT1500-2000 à recalculer dans le plan CEPT pour introduire le DAB
1610-1626,5				DEF TRRL
1700-1800	1800-1900	UIT-R 283-5	600 FH 2/8/34 Mb/s	DEF. PP Canalisation 14 MHz. Dégagé au profit du GSM1800 et DECT (aussi pour BLR)
1900-2000	2000-2100	UIT-R 283-5	2250 FH	DEF. Dégagé au profit UMTS (au plus tard 31/12/2003)
2025-2110	2200-2290			DEF. Recouvert partiellement par les plans existants. Pleinement utilisable après le 1/1/2004 (pour du PP) en partage avec services spatiaux. tenir compte des TRRL (2x45 MHz) post 2007 et ENG/OB
2100-2200	2200-2310	UIT-R 283-5	2250 FH	ART. FH opérés. Dégagé au profit UMTS (au plus tard 31/12/2003)
2310-2690			600 FH 14 MHz 2-34 Mb/s	DEF. En cours de réaménagement (mise en conformité plan CEPT au plus tard 31/12/2003)
2520-2575	2615-2670		800 FH 2-8 Mb/s	DEF. TRRL Bande identifiée pour IMT2000. réarrangement à prévoir
3400-3800				ART ①. Transport audiovisuel canaux 30 MHz et 1 MHz. Libération progressive terminée au plus tard en [2007])
3400-3500	3500-3600	REC 14-03	0	ART ③ PRIO, INT. Il existe aussi un plan à 50 MHz d'écart duplex. 3x30 MHz pour la BLR. P-MP. Décision ART 99-830.
3600-3700	3700-3800		Non indiqué	ART ①. Il existe aussi un plan à 50 MHz d'écart duplex Pas d'utilisation actuelle selon ces plans.
3800-4000	4000-4200	REC 12-08	2516 FH 155 Mb/s	ART ①. PP Canalisation 29 MHz en partage avec le SFS.
4400-5000		UIT-R 746, 1099		DEF. HMB type 1
5850-5925				DEF
5925-6175	6175-6425	UIT-R F383-5	300FH 155 Mb/s	ART ①. PP Canalisation 29,65 MHz FH à forte capacité
6425-6770	6770-7110	UIT-R F384-5	2530 FH 155 Mb/s	ART ①. PP forte capacité Canalisation 40 MHz 4 canaux pour FT 4 canaux pour autres opérateurs.
7110-7250				ART ①. FH transportables de TDF. PP
7375-7564,5	7585,5-7750	UIT-R F 385-6	2230 FH	DEF PRIO, AC, ART. PP Canalisation 7/28 MHz. Dégagement de ART au profit de DEF terminé au plus tard en 2010
7750-7890		UIT-R 386		ART ①. FH transportables de TDF
7890-7900		UIT-R 386		DEF
8025-8246	8272-8500	UIT-R 386	504 FH + 1000 dans 8400-8500 MHz	ART ③ PRIO, DEF, INT. PP. Dec ART 99-37 et arrêté du 10/03/99 transport audiovisuel bande d'accueil des FH FT à 2GHz et TDF à 3,4 GHz
10,5-10,59	10,59-10,68	UIT-R F747 A1	382 FH	ART ⑤. FH d'intervention FT PP
10,7-11,2	11,2-11,7	UIT-R 387-6 REC 12-06	1674 FH	ART ① PRIO. AC, DEF. PP Canalisation 40 MHz Liaisons forte capacité (FT a désinvesti ; nouv. Op. 140 7) ERC/DEC/(00)08 du 19/10/2000. aussi utilisé par la radiodif. par satellite.
12,75-13	13-13,25	UIT-R 497-4 A1	2441 FH 2/4/34/52 Mb/s	
12,75-13	13-13,25	REC 12-02		ART ⑤ PRIO, AC, INT. PP RRI arrêtés des 7/9/94 et 17/7/96 Canalisation 1,75/3,5/7/14/28MHz 7
14,25-14,5			2400 FH	ART. PP Canalisation 10/14 MHz
14,5-15,25		UIT-R 636		DEF 14.62-15.23 GHz HMB type 1
15,25-15,35		REC 12-07?	300 FH	ART, DEF. PP non conforme CEPT pour FT (accueille des FH 2GHz et 7 GHz). Canalisation 10 MHz
17,3-17,7				Transport audiovisuel à l'étude. pas dans le TNRBF. Odj prochaine CMR-03. Plutôt HDFSS.

Bande	Bande associée	Rec	Rapport ERO (05/98)	Remarque sur l'utilisation en France
17,7-18,960	18,710-19,7	REC 12-03	200 FH 140 Mb/s 27,5/55/220 MHz	ART ❶ PRIO, DEFPP canalisation à 55 MHz pour du STM1 ou 140 Mb/s ou subdivisé en 27,5 MHz pour STM0 ou 16*2 Mb/s. Subdivision à 13,75 MHz possible. Infra mob 300 FH❷; ATPC à partir du 1/1/2003 selon ERC/DEC/(00)07 du 19/10/2000
21,2-22		UIT-R 637		ART. PP. 21.4-22 bande HDTV au 1/4/2007, candidate pour HDFSS. Stratégie à développer. Voir brief CMR-03. Liaisons video temp. transférées à 24 GHz
22-22,6	23-23,6	T/R 13-02	1125 FH 2-24 Mb/s	ART ❸ PRIO, INT. PP opérés et RRI Arrêtés des 7/9/94 et 17/7/96 Canalisation 3,5/7/14/28MHz.❹
22,5-23,065	23,065-23,5	UIT-R 637		ART PRIO, INT. Pas de nouvelles liaisons
24,25-24,5				ART ❷ prévue pour les ENG/OB en remplacement des bandes 22, 23 et 38 GHz.
24,5- 25,5	25,5-26,5	T/R 13-02	30 FH 3,5 MHz	8 canaux duplex pour la BLR❷ (PMP) et 3 canaux duplex pour le PP; 4 canaux pour la Défense. ❹❹ 16 FH PP. Décision ART 99_831. Canalisation 14/28/56 MHz.❹
26,5-27,5		UIT-R 748	Non indiqué	DEF HMB type 2
27,5- 28,5	28,5-29,5	T/R 13-02	0+	ART ❷ et DEF. décision CEPT partageant la bande entre FS et FSS (ERC/DEC/(00)09 du 29/10/2000) PMP. Répartition ART et DEF à revoir suite à la décision ERC.
31-31,3		UIT-R 746	350 FH 28 MHz low cap.	ART. PP. désinvesti par FT.
31,8-33,4				ART. PP et PMP plutôt infrastructure.
36-37,268		UIT-R 749	30 FH	36-37 GHz HMB type 1
37-38,25	38,25-39,5	T/R12-01	619 FH 3,5-28 MHz à 2/8 Mb/s + 150 ENG	Besoins militaires. Pour l'existant et le futur FS ART ❸ PP opérés et RRI. PP arrêtés des 7/9/94 et 17/7/96. Canalisation 3,4/7/14/28 MHz.❹
39,5-40,5		UIT-R 749		DEF limité à 500 MHz (pas nécessairement limité à FIXE), le reste pour du SFS.
40,5-42,5		DEC(99)15	No FS use	ART et CSA pour mettre en oeuvre la DEC(99)15. Expérimentations
42,5-43,5		DEC(99)15	No FS use	ART pour mettre en œuvre la DEC(99)15
47,2-50,2		ERC REC 12-10		ART. 47,2-47,5/47,9-48,2 pour les HAPS
50,4-51,4				DEF limité à 500 MHz (pas nécessairement limité à FIXE), le reste pour du SFS.
51,4-52,6		REC 12-11	No FS use	ART. plutôt infra. Pas de demande pour le moment.
55,78-59		ERC REC 12-12		ART et DEF Statut sera revu en fonction des décisions CEPT sur le HDFSS. Expérimentations 57-59 GHz
59-64		REC 12-12, 12-09		ART et DEF
64-66			No FS use	ART et DEF Statut sera revu en fonction des décisions CEPT sur le HDFSS
>71				Pas d'affectataire désigné dans les bandes ouvertes au FIX

Entre 1 et 64 GHz, il y a environ 22000 assignations de liaisons fixes au fichier national dont plus de 90 % pour l'ART.

- ❶ pour liaisons longue distance, forte ou moyenne capacité
- ❷ pour liaisons courte distance, forte ou moyenne capacité
- ❸ pour liaisons longue ou moyenne distance, faible ou moyenne capacité
- ❹ pour liaisons courte distance, faible ou moyenne capacité

TRRL Tactical radio relay links : sont utilisées dans le cadre du service mobile mais aussi du service fixe pour des liaisons temporaires. Une situation similaire apparaît pour les liaisons de reportage.

HMB Harmonised military bands : bandes militaires harmonisées dans le cadre de l'accord civilo-militaire ARFA.

6 LA DISCUSSION DE LA CRDS SUR LA PLANIFICATION A LONG TERME DES BANDES DE FREQUENCES POUR LES FAISCEAUX HERTZIENS

L'essentiel des développements concernera la BLR et les infrastructures des réseaux mobiles (réseaux ouverts au public et réseaux des administrations).

Pour la BLR, les recommandations ERC qui identifient les bandes 3,4-3,6 GHz et 24,5-26,5 GHz devraient permettre la satisfaction des besoins. Le trafic supplémentaire généré par les hauts débits devrait être absorbé par les technologies concurrentes comme la fibre optique ou l'ADSL et par des capacités supplémentaires offertes par les opérateurs régionaux et nationaux de BLR. L'enquête de 2001 de l'ART met en évidence une priorité pour des débits importants supérieurs ou égal à 34 Mb/S sur des distances comprises entre 2 et 30 km, besoins pouvant être satisfaits dans les bandes 16, 23 et 38 GHz. Pour les courtes distances (inférieures à 2 km), les bandes au-dessus de 50 GHz (50, 52 et 58 GHz) pourront être étudiées. Pour les bonds intermédiaires (entre 2 et 30 km) la bande 32 GHz devrait être examinée à court terme. Les arrangements de bandes sont détaillées au paragraphe 6.1 ci-après.

Concernant le réseau de transport, l'augmentation des besoins seront couverts par les capacités grandissantes des fibres optiques (aussi bien pour leur capacité que pour leur déploiement et leur densification).

Dans la perspective de l'évolution des réseaux de télécommunications mobiles, La figure 13 montre un exemple d'évolution des besoins en transmission dans les différentes couches du réseau d'infrastructure.

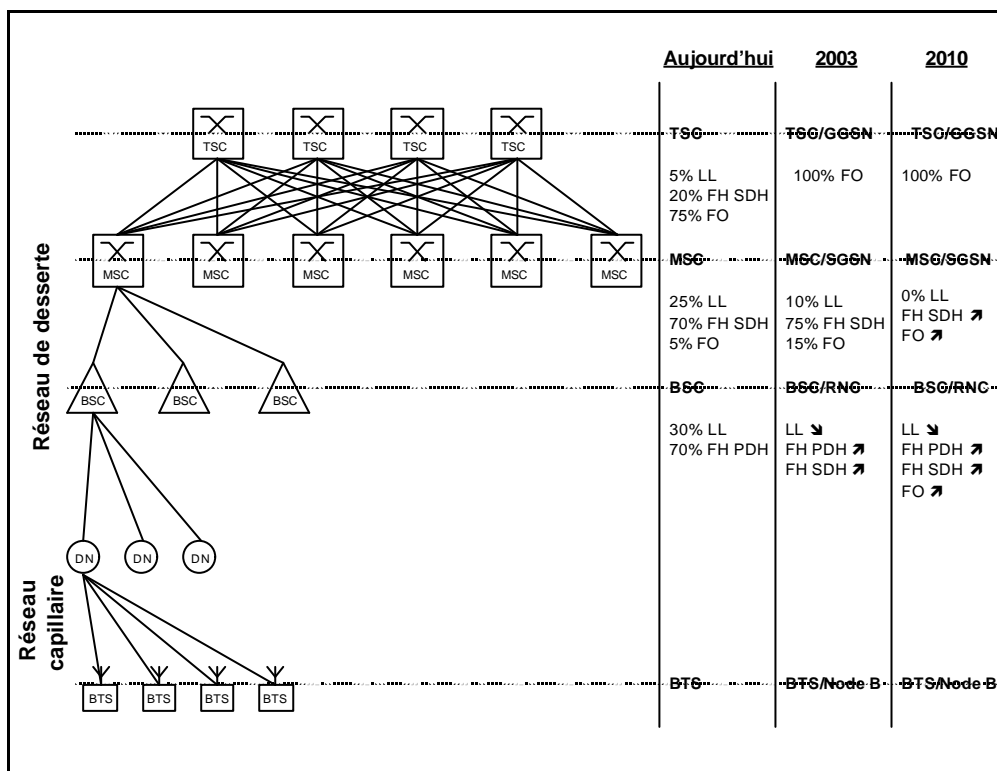


Figure 13: Evolution du réseau d'infrastructure

La figure 13 propose un schéma d'évolution des besoins en fréquences :

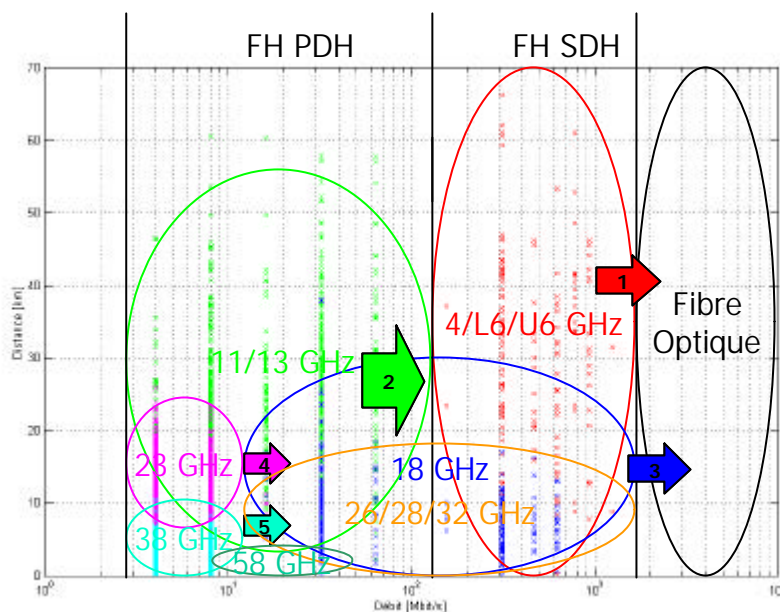


Figure 14 : Evolution des besoins en fréquences

De manière générale, l'arrivée des services données haut débit sur le mobile entraînera un déplacement vers la droite (débits plus élevés) des liaisons représentées dans la figure 14.

6.1 Evolution des besoins en fréquences dans le réseau de desserte

1. **Evolution du L6 GHz:** la bande 6 GHz continuera d'être fortement utilisée pour des boucles SDH régionales. Une partie des liaisons va être établie en fibre optique, mais il sera localement nécessaire d'utiliser des canaux supplémentaires dans d'autres bandes de fréquences comme le U6 GHz ou le 4 GHz.
2. **Evolution du 13 GHz:** avec l'arrivée de l'UMTS, un très grand nombre de liaisons 34 Mbit/s dans la bande 13 GHz vont arriver à saturation. Pour faire face à cette augmentation de trafic, il sera indispensable d'utiliser une autre bande de fréquences avec des conditions de propagation équivalentes (comme le 11 GHz), ou d'autoriser l'utilisation de liaisons SDH avec une canalisation de 28 MHz, ce qui permettra de quadrupler le débit de nombreuses liaisons existantes.
3. **Evolution du 18 GHz:** la bande 18 GHz est essentielle pour les liaisons SDH urbaines et le raccordement des sites aux boucles en fibre optique en milieu rural. Cette bande occupe également une place importante pour les liaisons moyen débit (PDH). Pour désengorger le 13 GHz et absorber en partie l'augmentation du trafic prévue dans le 23 GHz, il sera nécessaire d'autoriser la canalisation de 13,75 MHz en France.

6.2 Evolution des besoins en fréquences dans le réseau capillaire

Les débits nécessaires dans le réseau capillaire vont rapidement augmenter avec l'arrivée de nouveaux services haut débit sur le mobile. Les besoins en fréquences qui en résultent peuvent être estimés en effectuant des simulations de réseau avec différentes hypothèses de trafic par station de base (Node B) sur une zone urbaine.

4. **Evolution du 23 GHz et 38 GHz:** Plusieurs solutions sont envisagées pour faire face cette augmentation de capacité dans le réseau capillaire :
 - **Utilisation de largeurs de canaux plus importantes** (14 MHz, voire 28 MHz) dans les bandes de fréquences existantes 23 GHz et 38 GHz;

- **Utilisation de modulations plus performantes** comme la MAQ-16 ; la diminution de la longueur de bond maximale reste acceptable dans les zones urbaines denses ;
- **Utilisation de nouvelles bandes de fréquences entre 23 GHz et 38 GHz** : compte tenu de l'occupation actuelle des bandes 23 GHz et 38 GHz, il sera difficile d'aménager les besoins en fréquences supplémentaires dans ces deux bandes. On peut raisonnablement estimer les besoins en fréquences à un minimum de 2x112 MHz par opérateur de réseaux mobiles ouverts au public dans les bandes de fréquences entre 23 GHz et 38 GHz³² ;
- **Utilisation de nouvelles bandes de fréquences au-dessus de 50 GHz** : Les liaisons très courtes qui relieront les pico-cellules (distances < 700 m) pourront être établies dans des bandes de fréquences au-dessus de 50 GHz, comme le 58 GHz ;

6.3 Bandes de fréquences prises en compte

Le tableau 16 ci-après indique les principales bandes de fréquences prises en compte dans l'estimation des besoins en spectre futurs.

	Limites de bande	Nombre de canaux bidirectionnels et largeur de canal max.	Commentaire
4	3,8 – 4,2 GHz	6 canaux de 29 MHz	Besoin à moyen terme.
L6	5,925 – 6,425 GHz	8 canaux de 29,65 MHz	Actuellement utilisée.
U6	6,425 – 7,110 GHz	8 canaux de 40 MHz	Besoin à court terme.
11	10,7 – 11,7 GHz	12 canaux de 40 MHz	Brouillage des récepteurs de télévision par satellite. Décision ERC qui donne la priorité aux FH haut débit.
13	12,75 – 13,25 GHz	8 canaux de 28 MHz	Cette bande est d'ores et déjà saturée en région Méditerranée.
18	17,7 – 19,7 GHz	17 canaux de 55 MHz	Les terminaux utilisateurs satellites prévus dans la bande 18,8 – 19,3 GHz risquent d'être brouillés par les FH. Cette question sera traitée lors de la prochaine CMR en 2003.
23	22,0 – 23,6 GHz	21 canaux de 28 MHz	Pour faire face aux augmentations de capacité du réseau capillaire, la canalisation maximale devra évoluer vers 14 MHz, voire 28 MHz.
26	24,5 – 26,5 GHz	12 canaux de 56 MHz	3 canaux de 56 MHz peuvent être utilisés pour des liaisons d'infrastructure point-à-point.
28	27,5 – 29,5 GHz	32 canaux de 28 MHz	Un concept de segmentation géographique de la bande a été développé pour permettre le partage entre les terminaux utilisateurs satellite et les applications terrestres.
32	31,8 – 33,4 GHz	27 canaux de 28 MHz	Ce plan de fréquences vient d'être développé en juillet 2000. Ouverture de la bande envisagée en 2002.
38	37,0 – 39,5 GHz	43 canaux de 28 MHz	Pour faire face aux augmentations de capacité du réseau capillaire, la canalisation maximale devra évoluer vers 14 MHz, voire 28 MHz.
58	57,0 – 59,0 GHz	10 canaux de 100 MHz	Des expérimentations techniques sont en cours.

Tableau 15 : Bandes de fréquences prises en compte dans l'estimation des besoins en spectre

Les faisceaux hertziens forment une pièce maîtresse du réseau d'infrastructure d'un opérateur mobile. Les résultats d'études européennes montrent l'importance de la disponibilité d'une quantité suffisante de spectre pour les réseaux d'infrastructure des opérateurs mobiles de troisième génération.

³² document SE19(00)46 : UMTS/GSM structure, spectrum requirements Iub- and Iur-Interface, spectrum requirements Iu-interface, E-plus.

Il est proposé que l'évolution des besoins en transmission porte sur les quatre axes principaux suivants :

- **Augmentation de la part des liaisons en fibre optique** : de plus en plus de liaisons haut débit vont être établies en fibre optique ;
- **Augmentation de l'efficacité spectrale** : l'utilisation de modulations plus efficaces permettra de doubler, voire quadrupler, les débits dans certaines bandes de fréquences pour une même occupation spectrale ;
- **Ouverture de nouvelles bandes de fréquences pour le service fixe terrestre** : à moyen terme si, compte tenu des autres axes, de nouvelles bandes de fréquences sont nécessaires pour soutenir le développement de l'UMTS ;
- **Densification du réseau** : dans une certaine mesure, le rapprochement des sites permettra un redéploiement des stations et une montée en fréquences vers des bandes de fréquences moins encombrées.

*

DOCUMENTS DE REFERENCE

- * Normes et ETR ETSI relatives aux faisceaux hertziens, DECT - ETR 139
- * CEPT :
 - Final report on MWS and convergence (May 1999)
 - ERC/FM Candidates bands for MWS (May 1999)
 - ERC Report 97 – Fixed Wireless Access (FWA) Spectrum Engineering and Frequency Management Guidelines (qualitative) – Naples, February 2000
 - ERC Recommendations for fixed wireless access (FWA)
 - Fixed Service Trends Post 1998. ERO
 - Results of the detailed Spectrum Investigation by the management team and project team. 3400 MHz to 105 GHz Mars 1993
 - Wireless Local Loop – Etude ERO Octobre 1997
- *ART :
 - Consultation ART sur la BLR - Synthèse des réponses
 - La boucle locale à hauts débits, des conditions de concurrence équilibrée -synthèse des réponses à la consultation publique -Analyses de l'ART
 - Bilan des besoins en fréquences pour du service fixe point à point des opérateurs de boucle locale radio pour fin juin 2001, 2002 et fin 2005 (Enquête ART – 2001)
- *Aménager la France de 2020 - DATAR -La Documentation française -Paris 2000. Texte rédigé par Jean-Louis Guigou
- *Ouverture à la concurrence du secteur des télécommunications : conséquences sur l'emploi et l'investissement. Rapport réalisé par l'IDATE pour la DiGITIP Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie.
- *INSEE :
 - La France et ses régions - 1997
- *Insee Première :
 - N° 516 Pôles urbains et périurbanisation – le zonage en aires urbaines. Avril 1997
 - N° 603 L'urbanisation se poursuit dans les années 90. Août 1998
 - N° 664 La population des régions (métropole) Recensement de la population de 1999. Juillet 1999
 - N0 691 La population légale au recensement de 1999. Janvier 2000-12-28
- *GITEP : Boucle locale radio haut débit. Rapport GITEP Janvier 1999
- *Etude prospective sur le besoin en spectre du service de radiocommunication fixe terrestre à l'horizon 2010. Contribution de Bouygues Telecom à la CRdS -Septembre 2000-12-28
- *Le marché des faisceaux hertziens à 1,5 GHz. Etude Procast pour la DGPT - Juin 1995
- *An overview of the standardisation in the area of the broadband fixed wireless access. Par Jean-Pierre Bonin. Annales des télécommunications , 54, n° 9-10, 1999
- *Rapport UIT-R SM.2015 Méthodes de détermination des stratégies nationales à long terme pour l'utilisation du spectre. UIT 1998
- *Tableaux de fréquences :

Tableau national d'attribution des bandes de fréquences - ANFR
Frequency Range 29.7 MHz to 105 GHz and associated European table of Frequency
allocations and utilisations. ERC Rapport 25

Catalogues de produits FH des constructeurs membres du GITEP

*