

UMTS par Satellite : Adaptation du standard 3GPP UTRA FDD W-CDMA

Béatrice MARTIN

Alcatel Space, 5, rue Noël Pons, 92 737 Nanterre Cedex
beatrice.martin@space.alcatel.fr

Résumé

Cet article présente l'interface radio S-UMTS (Satellite UMTS), interface pour laquelle un processus de redéfinition a été entamé en standardisation ETSI, du fait de l'évolution des besoins actuels. S-UMTS est en cours de recadrage sur la technologie du standard 3GPP UTRA FDD W-CDMA (Frequency Division Duplex Wide band Code Division Multiple Access), afin de permettre l'opérabilité de terminaux UMTS grand public adaptés pour la bande de fréquence MSS (Mobile Satellite Service). Cet article est centré sur la flexibilité du W-CDMA pour une adaptation à l'environnement satellite géostationnaire, sur les performances radio, la capacité du système ainsi qu'un exemple d'application au système S-DMB (Satellite Digital Multimedia Broadcast), système de diffusion de contenus multimédias vers des terminaux mobiles de 3^{ème} génération.

1 Introduction

L'objectif de l'UMTS par satellite (S-UMTS) est de fournir des moyens de communication complémentaires des réseaux cellulaires terrestres, c'est à dire de fournir un complément de couverture et/ou de service.

Le complément de couverture s'applique à des zones géographiques où la couverture terrestre n'est pas disponible :

- le réseau terrestre n'y a pas été déployé pour des raisons économiques (zones de faible densité d'utilisateurs), ou
- le réseau terrestre a été endommagé (situations de crise).

Le complément de service concerne des zones où les réseaux terrestres requièrent de la capacité radio supplémentaire, que ce soit de façon ponctuelle ou permanente.

L'utilisation de la forme d'onde W-CDMA permet la fourniture de services à des terminaux grand public, directement par satellite.

2 Système S-UMTS

2.1 Architecture système

S-UMTS permet la mise en place de communications directes entre satellite et terminaux UMTS compatibles de la norme 3GPP (mode FDD).

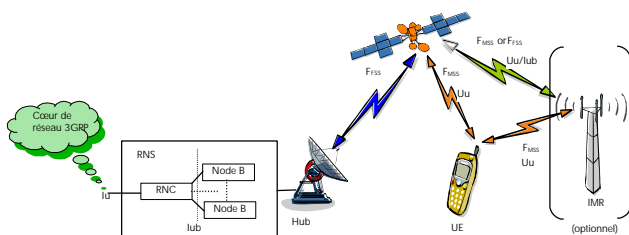


Figure 1 - Architecture système

Les terminaux (UE : User Equipment) sont connectés au réseau via un ou plusieurs satellites qui redirigent le signal radio vers le Hub. Le Hub connecte le signal au sous-système radio (RNS : Radio Network Sub-system) construit avec des infrastructures 3GPP (RNC+Node Bs). La connexion au cœur de réseau se fait via l'interface standardisée Iu.

La transmission du signal satellite est sujette à des obstructions du fait de bâtiments, montagnes, etc. Afin d'assurer la continuité de couverture, le système peut être complété avec des relais radio terrestres (IMR : Intermediate Module Repeater) dont le rôle est de ré-amplifier le signal satellite à destination d'une zone de couverture terrestre, dans la bande de fréquence MSS (Mobile Satellite Service).

2.2 Bandes de fréquence

S-UMTS est opéré dans la bande MSS (Mobile Satellite Service) adjacente à la bande T-UMTS (bande UMTS terrestre).

L'équipement utilisateur (UE) reçoit des informations du satellite (et/ou IMR) dans la bande 2 170-2 200 MHz (voie aller) et émet vers le satellite (et/ou IMR) dans la bande 1 980-2 010 MHz (voie retour).

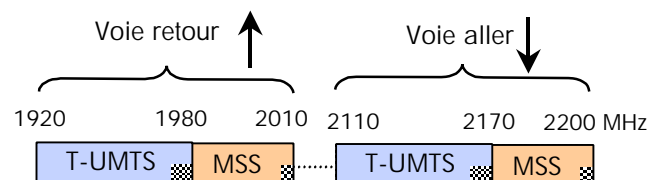


Figure 2 - Spectre IMT-2000/MSS (Europe)

Le lien entre Hub et satellite est opéré par exemple dans la bande 27.5-30 GHz.

Le lien entre satellite et IMR est opéré soit dans la bande MSS ("On-channel IMR"), soit dans la bande HDFSS (19.7-20.2 GHz).

2.3 Types de constellation satellite

S-UMTS n'introduit aucune restriction sur le type de constellation, à savoir LEO, HEO, MEO ou GEO. Cependant, afin de produire des scénarios réalistes, l'interface W-CDMA a été évaluée pour plusieurs configurations géostationnaires couvrant l'Europe :

- système mono-spot : un spot unique couvre l'ensemble du territoire européen,
- système mono-satellite/multi-spots : 1 satellite fournit une couverture européenne de 7 à 30 spots,
- système multi-satellites/multi-spots : plusieurs satellites assurent une couverture européenne, chaque satellite fournissant un nombre restreint de spots.

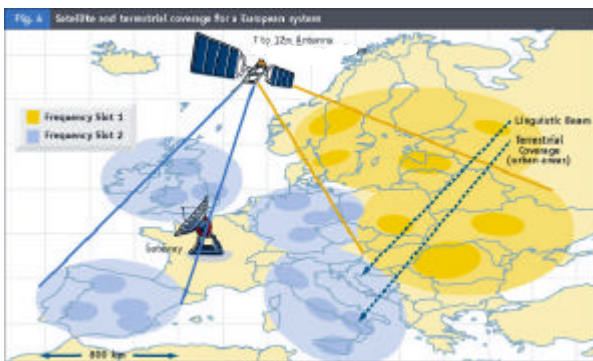


Figure 3 - Couverture européenne; ex: système 7 spots

Pour toutes ces configurations, le satellite est construit sur une plate-forme forte puissance (jusqu'à 18 kW pour la charge utile) et équipé d'une antenne de 7 à 12m. Des études actuelles envisagent la possibilité d'introduire des antennes jusqu'à 25m de diamètre.

2.4 Types de terminaux

Le système intègre différents types de terminaux :

- Handset standardisé 3GPP, avec extension de l'agilité en fréquence dans la bande MSS,
- Portable : PC sur lequel une antenne externe est branchée,
- Véhiculaire : le terminal est connecté à une antenne externe sur le toit du véhicule,
- Transportable : le couvercle du PC contient des antennes "flat patch" pointées manuellement vers le satellite,
- Aéronautique : le terminal est relié à une antenne installée sur le fuselage.

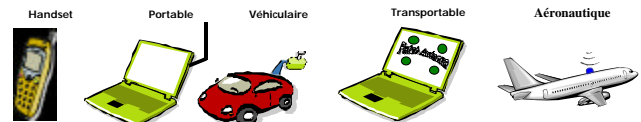


Figure 4 - Types de terminaux

UE type	Puissance de transmission Max.	Gain d'antenne de référence	PIRE Max.	G/T dB/°K
Handset 3G				
Classe 1	2W (33 dBm)		3 dBW	-24.6
Classe 2	500 mW (27 dBm)		-3 dBW	
Classe 3	250 mW (24 dBm)		-6 dBW	
Portable	2 W (33 dBm)	2 dBi	5 dBW	-21
Véhiculaire	8 W (39 dBm)	4 dBi	13 dBW	-20
Transportable	2 W (33 dBm)	14 dBi	17 dBW	-9
Aéronautique	2W (33 dBm)	3 dBi	6 dBW	

Table 1 - Caractéristiques RF des terminaux

La ré-utilisation de la technologie du standard 3GPP permet de bénéficier des économies d'échelle pour opérer des terminaux bas coût.

2.5 Principales différences entre radio satellite géostationnaire et terrestre

Les principales différences entre système satellite et système terrestre à prendre en compte pour la conception de S-UMTS, sont :

- des temps de propagation longs : ~120 ms entre satellite et terminal, et entre satellite et Hub, soit ~240 ms entre terminal et Hub,
- des pertes en espace libre élevées : de l'ordre de 192 dB, mais moins de variation entre utilisateurs (moins de "near-far-effect", le satellite est loin de tout le monde),
- une puissance bord (satellite) limitée,
- des multi-trajets de plus faible amplitude (distribution de Rice dans le cas de visibilité du satellite),
- des angles d'élévations entre terminal et satellite plus favorables que les angles d'élévations entre terminal et infrastructure terrestre,
- protection contre les accès frauduleux à la ressource radio.

3 Interface Radio

3.1 Forme d'onde

Les caractéristiques principales de la forme d'onde S-UMTS sont basées sur le W-CDMA du 3GPP.

Accès multiple	DS-SSMA
Duplexage	FDD
Débit Chip	3.840 Mcps
Espacement porteuses	5 MHz (200 kHz)
Durée trame	10 ms
Synchronisation inter-spots	Synchronisation précise non requise
Débit multiple/variable	Facteur d'étalement variable et multi-codes
Codage de canal	Code convolutif (débit $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{3}$) Turbo codage $\frac{1}{3}$
Accès paquets	Mode double (canaux communs et dédiés)

Table 2 - Forme d'onde S-UMTS

3.2 Pile de protocole

La pile de protocole S-UMTS est conforme au standard 3GPP.

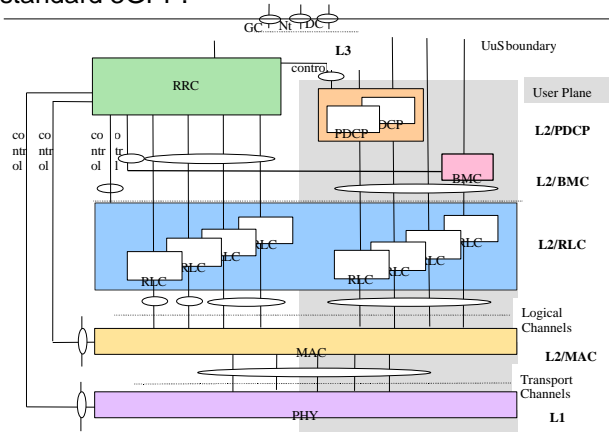


Figure 5 - Pile de protocole S-UMTS

Les protocoles 3GPP ont été conçus de façon que les paramètres d'accès radio du terminal puissent être configurés dynamiquement par le réseau et envoyés au terminal par la voie radio.

Ainsi, lorsque des adaptations sont requises pour opération en environnement satellite, elles sont faites autant que possible au niveau des algorithmes de gestion des ressources radio, dans le module RRC (Radio Resource Control). Ces algorithmes sont implantés côté Hub, et fixent les paramètres injectés dans les messages de protocole standard 3GPP, puis envoyés aux terminaux via l'interface radio.

Certaines temporisations des protocoles de niveau 2 sont adaptées au délai de propagation satellite.

4 Dimensionnement du système

4.1 Performances

L'ITU définit les canaux de propagation satellite en milieu rural, sub-urbain et urbain, pour lesquels les terminaux sont en vue directe du satellite (canal de Rice) ou indirecte (canal de Rayleigh), ainsi qu'aéronautique.

Lorsque des IMRs sont déployés et qu'ils utilisent le même code de brouillage que le spot, ils introduisent des multi- trajets artificiels. La réception du signal satellite et de ses multi-trajets est gérée par le récepteur Rake. Des modèles de propagation ont été définis dans le cadre du projet européen Satin, avec des IMRs faible puissance (portée : 400m) et forte puissance (portée : 2 km).

Les performances attendues en environnement LOS (Line Of Sight) sont similaires en environnement rural (facteur de Rice : K=10 dB), sub-urbain (K=7 dB) et urbain (K=3 dB), et varient d'environ 1dB pour des vitesses du terminal de 3 à 250 km/h.

Débit (kbps)	1.2	4.75	12.2	64	144	384
Rx Eb/Nt (dB)	10.2	10	8.3	5.2	4.7	5

Tableau 1 - Performances voie aller (LOS)

Débit (kbps)	1.2	4.75	12.2	64	144	384
Rx Eb/Nt (dB)	9.1	8.2	7.8	4.5	3.9	4

Tableau 2 - Performances voie retour (LOS)

En situation non-LOS, et sans déploiement d'IMR, les performances sont dégradées, particulièrement pour les terminaux à faible vitesse (3 km/h), pour lesquels il faut ajouter une marge de 8 dB par rapport aux terminaux de vitesse moyenne (50 à 120 km/h).

Débit (kbps)	1.2	4.75	12.2	64	144	384
Rx Eb/Nt (dB)	11.2	14.4	12.9	10.1	9.8	12.5

Tableau 3 - Performances voie aller (NLOS-50 km/h)

Débit (kbps)	1.2	4.75	12.2	64	144	384
Rx Eb/Nt (dB)	10.4	12.4	12.2	7.9	7.4	11.8

Tableau 4 - Performances voie retour (NLOS-50 km/h)

4.2 Amélioration des performances

Le déploiement d'IMRs permet de d'assouplir les contraintes pour les terminaux faible vitesse (3km/h) en environnement NLOS, et de réduire la marge requise de 3 dB (service bas débit : 1.2 kbps) à 10 dB (service 384 kbps).

L'utilisation de diversité de satellite, c'est à dire la mise en communication d'un terminal avec plusieurs satellites (mécanisme identique au soft handover du 3GPP), permet de réduire la probabilité d'obstruction du signal et de réduire la marge nécessaire pour les situations de forte atténuation.

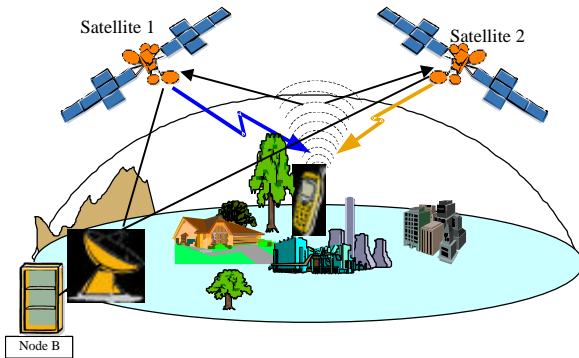


Figure 6 - Diversité de satellite

Un terminal peut également être équipé de deux antennes. La diversité d'antenne ainsi introduite conduit à une réduction de marge de 2 à 7 dB selon l'environnement radio considéré.

Enfin la configuration de la couche physique peut être optimisée, par exemple par augmentation du facteur d'entrelacement (réduction de la marge de 2 à 9 dB selon l'environnement radio considéré).

4.3 Capacité système

Les bilans de liaison, calculés pour les différentes configurations de terminaux sous couverture d'un satellite géostationnaire équipé d'une antenne de 12m et de couverture européenne à 30 spots, ont montré la faisabilité y compris pour des terminaux de faible puissance (Handset).

En environnement rural, pour des terminaux Handset d'élévation moyenne de 30°, la capacité sur la voie aller est :

Débit	Capacité/porteuse/spot (kbps)	Nb de codes/porteuse/spot	Efficacité spectrale (bit/s/Hz)
1.2 kbps	360	299	0,0766
4.75 kbps	860	361	0,1830
12.2 kbps	1 160	190	0,2474
64 kbps	2 300	36	0,4918
144 kbps	2 450	17	0,5225
384 kbps	2 690	7	0,5738

Table 3 - Capacité voie aller

Sur la voie retour, la capacité du système dépend de la configuration du terminal. Seuls les services bas débit (1.2 et 4.75) sont opérables sur la voie retour pour des terminaux Handset Classe 3 (250mW). Un débit supérieur nécessite l'ajout d'un amplificateur externe et d'une antenne optimisée.

Néanmoins, il est aujourd'hui envisageable d'équiper les satellites avec des antennes de diamètre supérieur (jusqu'à 25m), ce qui permet d'anticiper une capacité supérieure pour la voie retour.

Débit	Capacité/porteuse/spot (kbps)	Nb de codes/porteuse/spot	Efficacité spectrale (bit/s/Hz)
Handset (3)			
1.2 kbps	184,8	154	0,0394
4.75 kbps	327,75	138	0,0350
Portable			
1.2 kbps	301,2	251	0,0643
4.75 kbps	788,5	332	0,0842
12.2 kbps	585,6	96	0,0625
64 kbps	1 152,0	18	0,2459
144 kbps	1 296,0	9	0,2766
Véhiculaire			
1.2 kbps	309,6	258	0,0661
4.75 kbps	819,4	345	0,0875
12.2 kbps	671,0	110	0,0716
64 kbps	1 600,0	25	0,3415
144 kbps	2 304,0	16	0,4918
384 kbps	1 920,0	5	0,4098
Transportable			
1.2 kbps	309,6	258	0,0661
4.75 kbps	824,1	347	0,0880
12.2 kbps	683,2	112	0,0729
64 kbps	1 664,0	26	0,3552
144 kbps	2 304,0	16	0,4918
384 kbps	2 304,0	6	0,4918

Table 4 - Capacité voie retour (antenne sat. 12m)

5 Opération en environnement satellite

Les adaptations sont faites par configuration des paramètres radio gérés par le Hub (RNC) des protocoles du standard 3GPP. Outre la nécessité d'assurer l'agilité en fréquence des terminaux à la bande MSS, plusieurs points nécessitent une attention particulière : l'accès aléatoire, le contrôle de puissance, les contraintes de déploiement des répéteurs terrestres.

5.1 L'accès aléatoire

5.1.1 Problème de synchronisation

L'accès aléatoire 3G est basé sur la méthode ALOHA slotté. Un terminal émet des préambules de 4196 chips dans des slots d'accès de 5120 chips, soit une tolérance de 266µs. Ces slots d'accès sont synchronisés sur la balise pilote diffusée en permanence par le satellite.

Du fait de la taille des zones de couvertures, les divergences de temps de propagation entre des terminaux situés de part et d'autre d'un spot sont importantes, de l'ordre de 2 ms (couverture régionale) à 13 ms (couverture européenne).

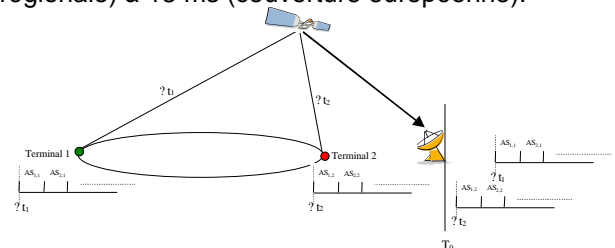


Figure 7 - Divergences de temps de propagation

Par suite, la réception des préambules est désynchronisée au niveau du Hub par rapport aux fenêtres d'acquisition.

Une solution est d'invalider un certain nombre de slots dans la table des slots d'accès disponibles (diffusée en permanence par le satellite), ce nombre étant configuré dans le Hub en fonction de la taille des spots. Néanmoins, le Hub implémente des fenêtres d'acquisition sur ces slots invalidés, permettant ainsi la récupération de tous les préambules.

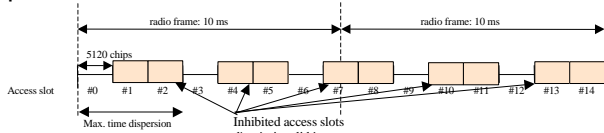


Figure 8 - Exemple de carte de slots d'accès disponibles

5.1.2 Procédure de "ramp-up"

Le standard 3GPP définit une procédure de répétition des préambules avec augmentation progressive de la puissance d'émission, jusqu'à réception d'un acquittement de niveau couche physique (AICH : Acquisition Indicator Channel), le délai maximum de réception de cet acquittement est diffusé par le réseau sur le canal BCH, et est limité à 3.33 ms. C'est incompatible des temps de transmission par satellite (jusqu'à $\sim 2 \times 120$ ms en géostationnaire).

Il est donc nécessaire d'adapter les temporisations d'attente d'AICH dans le terminal, soit par paramétrage dans l'équipement, soit par extension des valeurs possible dans le message BCH. La seconde solution est plus flexible car elle permet de configurer dynamiquement les terminaux en fonction du type de réseau (terrestre, satellite géostationnaire, etc), mais elle nécessite une modification (minime) de l'interface radio standard.

Par ailleurs, il est courant dans les réseaux satellite de forcer le terminal à émettre un seul préambule à puissance maximum. L'interface 3GPP le permet car le nombre maximum de préambules (de 1 à n) et les paramètres pour le calcul de la puissance d'émission sont diffusés sur le canal BCH.

Dans le cas où l'on autorise le terminal à répéter des préambules, il est possible d'améliorer leur acquisition dans le Hub (Node B), par combinaison des préambules courts reçus. Les performances d'une telle méthode sont en cours d'évaluation.

5.2 Le contrôle de puissance

Le standard 3GPP spécifie un contrôle de puissance en boucle fermée, géré au niveau de la couche physique, à la cadence de 1500 commandes par seconde. Ce contrôle est destiné à compenser les fading rapides.

Dans le cas d'un satellite géostationnaire, le temps de réception d'une commande de contrôle de puissance est d'au minimum 240 ms : le fading rapide a changé entre-temps, et la commande n'est plus valide.

Le contrôle de puissance rapide est inhibé pour des terminaux opérés en environnement S-UMTS et remplacé par un contrôle de puissance lent, géré au niveau de la couche 3 (RRC), qui permet de combattre le fading lent.

Pour le contrôle de la voie retour, les commandes sont envoyées via les messages de reconfiguration de canal spécifiés par le 3GPP. Pour la voie aller, la puissance est réglée en fonction des comptes-rendus de mesures renvoyés périodiquement par le terminal.

Les performances ont été évaluées dans le cas de fading sinusoïdal lent et d'obstruction brutale du signal (10 dB d'atténuation). Pour la voie retour, un gain de 4 à 7 dB (selon le débit du service) est obtenu. Pour la voie aller, le gain est de 2 à 5 dB.

La réponse impulsionnelle montre une période transitoire de 250 ms après l'apparition du fading lent due au temps de propagation.

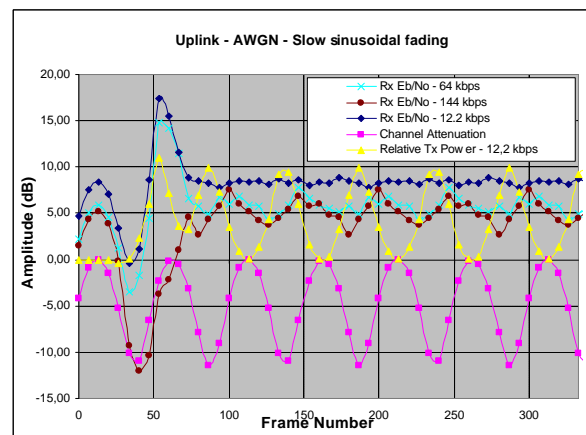


Figure 9 - Réponse impulsionnelle au contrôle de puissance lent

Un contrôle de puissance en boucle ouverte est appliqué parallèlement au contrôle de puissance lent afin de corriger la période transitoire. L'évaluation des performances est en cours.

5.3 Déploiement d'IMRs

Les IMRs répètent le signal satellite dans la bande MSS :

- soit sur une porteuse différente de celle du satellite,
- soit sur la même porteuse que le satellite.

Répétition sur une porteuse différente :

Dans ce cas, l'opérateur doit disposer d'au minimum 2 porteuses et planifier l'utilisation des fréquences. Le terminal sélectionne la porteuse de meilleure qualité, une re-sélection cellule est appliquée. Il y'a orthogonalité entre les 2 porteuses, donc réduction des interférences entre satellite et IMRs.

Répétition sur la même porteuse :

Un opérateur peut déployer le système avec une porteuse unique et la planification de fréquence n'est pas nécessaire.

Soit les IMRs sont alloués le même code de brouillage que le satellite : la taille maximale de la fenêtre du récepteur Rake du terminal introduit des contraintes de synchronisation sur la transmission des IMRs par rapport au satellite.

Soit les IMRs sont alloués un code de brouillage différent du satellite : il y'a interférences entre IMRs et satellite. Le terminal gère la réception simultanée de la même façon qu'il gère le soft handover dans les réseaux terrestres.

6 Exemple d'application : S-DMB

Un exemple d'application de l'interface radio S-UMTS est le système S-DMB (Satellite Digital Multimedia Broadcast), système de diffusion de contenus multimédia vers des terminaux mobiles de 3^{ème} génération.

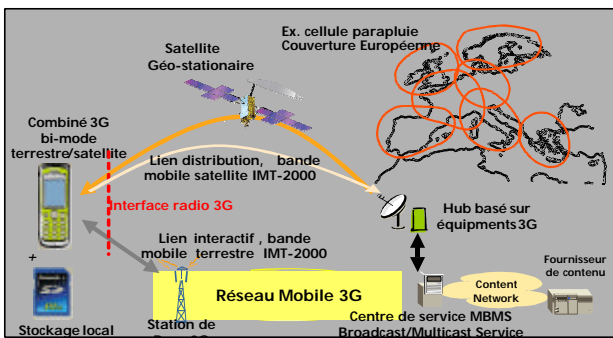


Figure 10 - Système S-DMB

Les caractéristiques du satellite géostationnaire actuellement envisagées sont : diamètre d'antenne de 7,5 à 9 m, 6 spots, charge utile de 11.5 kW, PIRE¹ jusqu'à 74 dBW par spot.

Les terminaux sont bi-mode terrestre/satellite. La mémoire locale est utilisée pour le stockage des contenus multimédias. Les modifications par rapport aux terminaux 3G des réseaux terrestres portent principalement sur l'agilité en fréquence dans la bande MSS.

Le lien avec les réseaux mobiles terrestres est activé pour les communications interactives. Le lien satellite sur la voie descendante transporte principalement des données de diffusion, et est utilisé sur la voie montante pour les terminaux situés dans des zones où aucun réseau terrestre n'est disponible.

La couche de transport du système S-DMB implémente des mécanismes de répétition permettant au terminal de récupérer l'intégralité du service de diffusion lorsqu'il a interrompu sa réception pour établir une communication terrestre.

Des IMRs sont déployés pour l'extension de la couverture à des zones où le signal satellite est fortement atténué (intérieur de bâtiments, tunnels, canyons, etc.). Actuellement, la configuration du système S-DMB est telle que les IMRs répètent sur alloué la même fréquence porteuse et les mêmes codes que le satellite S-DMB. D'autres schémas d'allocation des codes de répétition des IMRs sont en cours d'étude.

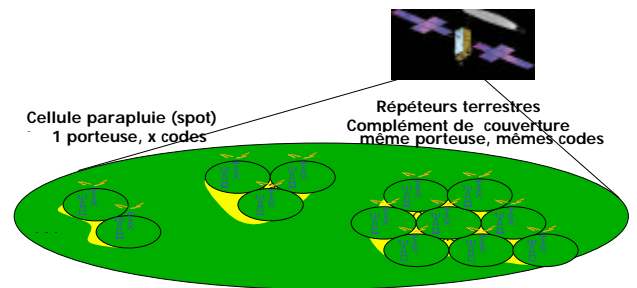


Figure 11 - Allocation ressources radio des IMRs

Le système offre une capacité de 2*384 kbps par porteuse et par spot pour la diffusion de données multimédia.

Le système est inter-opéré avec les réseaux 3G terrestres par l'adoption des interfaces standard, tel qu'indiqué dans le schéma d'architecture réseau suivant :

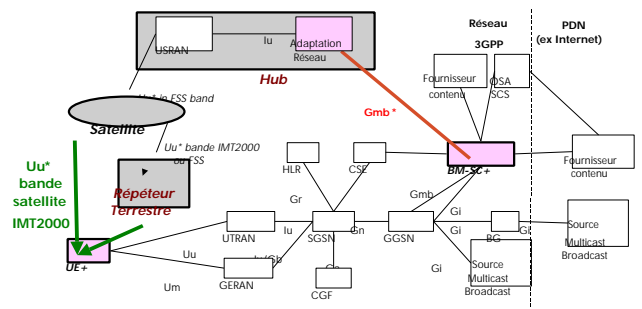


Figure 12 - Architecture réseau

Le système S-DMB a été conçu avec le support de l'ESA (European Spatial Agency), du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), ainsi que la Commission Européenne, via les projets Satin (phase de conception), MoDiS (plate-forme de démonstration) et est actuellement en cours de développement au sein du projet Maestro.

¹ Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente

7 Conclusion

L'étude de faisabilité du W-CDMA UTRA FDD en environnement satellite faite dans le cadre du groupe ETSI SES/S-UMTS a montré les points suivants :

- S-UMTS peut apporter un complément de capacité aux réseaux terrestres dans la bande MSS,
- S-UMTS est inter-opérable avec l'UMTS terrestre,
- possibilité d'opérer des terminaux grand public bas coût,
- la réutilisation d'équipement d'infrastructure terrestre autorise des économies de mise en service,
- possibilité d'étendre la couverture et/ou la capacité système par déploiement d'IMRs,
- S-UMTS est applicable à différents types de constellation satellite,
- S-UMTS est applicable à des systèmes de diffusion (par exemple S-DMB),
- le système est pré-emptable pour des missions de sécurité (situations de crise).

8 Références

- [1] ETSI TR 102 058 : Satellite Earth Stations and Systems (SES); Satellite Component of UMTS/IMT-2000; Evaluation of the W-CDMA UTRA FDD as a Satellite Radio Interface
- [2] ITU-R M.1225 : Guidelines for evaluation of Radio Transmission Technology for the International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000)
- [3] Standards 3GPP : <http://www.3gpp.org>
- [4] Projet Satin : <http://www.ee.surrey.ac.uk/Satin/>
- [5] Projet MoDiS : www.ist-modis.org
- [6] Projet Maestro : <http://ist-maestro.dyndns.org/>