



Commission de la Compatibilité Electromagnétique

Rapport d'étude sur la compatibilité à 5.9 GHz entre les systèmes RATP et les ITS.

Approuvé le 25 janvier 2010.

1. Introduction

Des systèmes opérés par la SNCF et la RATP ont été autorisés par l'ARCEP à 5.9 GHz. Dans le cadre de ses réflexions sur les ITS, l'ARCEP a demandé à la CCE de mener une étude de compatibilité entre les systèmes SNCF et RATP d'une part et les ITS d'autre part.

En l'absence de données sur les systèmes SNCF, les études se limitent aux systèmes envisagés par la RATP dans la bande 5915-5935 MHz.

Par le biais de la décision ECC(08)01, la bande 5875-5905 MHz est identifiée pour les applications de sécurité des systèmes de transport intelligents (ITS) avec la possibilité d'utilisation future de la bande 5905-5925 MHz.

5875	5905	5915	5925	5935
Bande ITS (Dec ECC(08)01)		Systèmes RATP		
		Extension ITS (Dec ECC(08)01)		

Cette étude a donc comme objectif d'étudier :

- la compatibilité en bande adjacente entre systèmes RATP (5915-5935 MHz) et ITS opérant dans la bande 5875-5915 MHz ;
- la compatibilité entre les systèmes RATP et les ITS susceptibles d'opérer dans la bande 5915-5925 dans le futur.

2. Caractéristiques des systèmes RATP

L'application utilisée par la RATP dans la bande de fréquence 5915-5935 MHz est une application de liaison radio bord/sol pour métro. Une liaison est composée :

- d'un émetteur/récepteur au sol (typiquement positionné sur le quai d'une station) ;
- d'un émetteur/récepteur mobile embarqué (métro)

CANALISATION PROPOSEE

4 canaux espacés de 5 MHz

$f_n = 5915 - 2,5 + 5 n$ MHz avec $1 \leq n \leq 4$ n Entier.

GABARIT SPECTRAL

Le système BRAD utilise une modulation de type DQPSK, au débit 2 Msymbol/s (4 Mbps).

Le C/I (signal/interférant) nécessaire relatif au canal adjacent est de 50 dB, compte-tenu du croisement possible de 2 systèmes.

Le gabarit du spectre émis est défini en annexe 1.

Espacement canal = 5 MHz

Largeur de bande occupée (99% puissance) < 3 MHz.

EMISSION NON ESSENTIELLE

Les émissions non essentielles sont définies par la Recommandation ERC 74-01 E.

Le système étant de type mobile, au delà de 250% de l'espacement canal, = puissance \leq -30 dBm (RBW 1 KHz).

PUISSANCE EMISE

Puissance nominale à la sortie de l'émetteur 24 dBm \pm 1dB. En pratique, compte tenu de la limite réglementaire sur la PIRE (cf ci-dessous), la puissance mise en œuvre sera inférieure.

La puissance maximale PIRE autorisée est de 900mW soit 29.5 dBm

ANTENNE STATIONS MOBILES EMBARQUEES

Antenne de type cornet de 17 dBi de gain

ANTENNE STATIONS FIXES AU SOL

- Antenne bidirectionnelle à 17 dBi de gain maximum dans chacune des 2 directions et ouverture de 15 à 20°
- Antenne unidirectionnelle à 19 dBi de gain max et ouverture de 15 à 20°.

3. Caractéristiques des systèmes ITS

Les caractéristiques des systèmes ITS sont dérivées du rapport ECC 101.

Il y a 2 types d'équipements ITS :

- OBU (On Board Unit): appareil mobile embarqué à bord d'une voiture.
- RSU (Road Side Unit): appareil fixe positionné au bord d'une route.

Caractéristiques de réception		
Largeur de bande du récepteur	10	MHz
Sensibilité du récepteur	-82	dBm
Gain d'antenne	8	dBi
Sensibilité du récepteur à l'entrée de l'antenne	-100	dBm/MHz
C/I	6	dB
Puissance d'interférence autorisée à l'entrée de l'antenne de réception	-106	dBm/MHz
Caractéristiques d'émission		
Largeur de bande	10	MHz
Tx _{out} e.i.r.p	33	dBm
Tx _{out} e.i.r.p par MHz	23	dBm/MHz
Valeur supposée pour le contrôle de puissance	8	dB
Net Tx _{out} e.i.r.p	15	dBm/MHz
Gain d'antenne	8	dBi

Table 1: Paramètres techniques pour les ITS.

Les diagrammes d'antenne pour les OBU et RSU sont disponibles dans le rapport ECC 101.

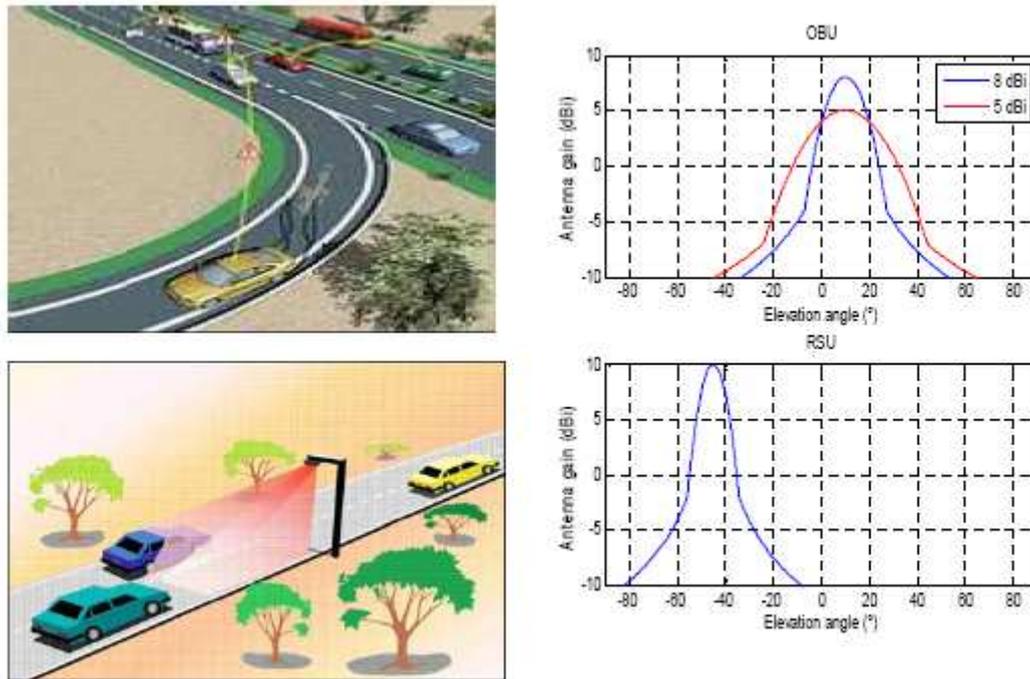


Figure 5: OBU and RSU antenna patterns

Figure 1 : Diagrammes d'antenne des RSU et OBU

4. Scénarios de compatibilité

Il est prévu que cette étude traite principalement de l'impact des émissions des systèmes RATP sur les ITS.

On se propose d'étudier les cas les plus critiques relatifs aux installations RATP sur les lignes aériennes. Il est effectivement envisageable que dans les cas des voies souterraines, la compatibilité soit assurée par l'atténuation.

5. Interférence des systèmes RATP sur les ITS

5.1 RATP embarqué/RSU

Le scénario d'interférence étudié est le suivant : une ligne RATP extérieure longe une route où est localisé un RSU. On étudie l'interférence reçue par le RSU de la part d'un émetteur RATP à bord du métro (cf Figure 2). Le faisceau principal de l'émetteur embarqué RATP arrive horizontalement sur le RSU, c'est-à-dire dans le lobe secondaire. Le gain d'antenne du RSU à adopter est de -10 dBi selon la Figure 1.

Selon le gabarit spectral donné en annexe 1 :

- Si le signal RATP est dans la bande adjacente à l'ITS, une atténuation de -40dBc peut être appliquée dans la bande de réception de l'ITS.
- Si le signal RATP n'est pas dans la bande directement adjacente, une atténuation de -50 dBc peut être appliquée dans la bande de réception de l'ITS.

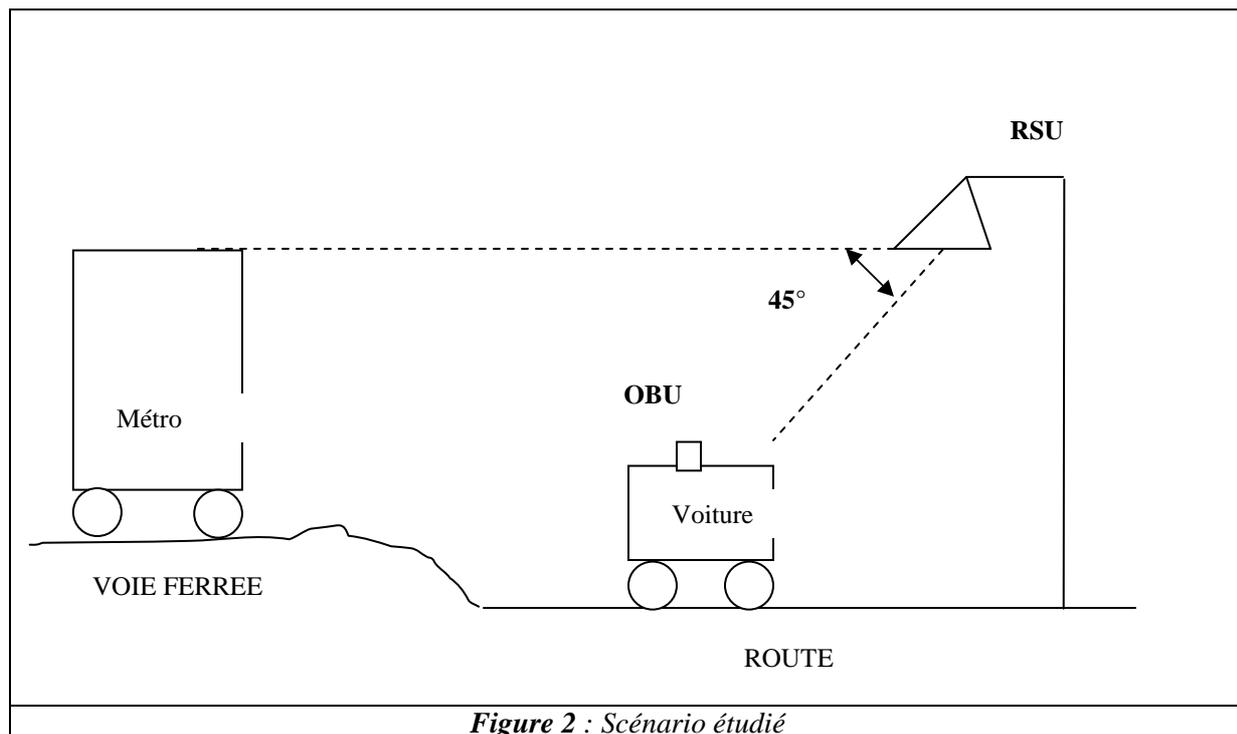


Figure 2 : Scénario étudié

Les résultats des calculs MCL pour ces 2 cas sont détaillés ci-dessous, en utilisant le modèle de propagation à plusieurs pentes du rapport ECC 101 sur les ITS (cf annexe 2), en milieu urbain :

		Cas co-canal (si extension ITS)	1° canal adjacent	2° canal adjacent
Victime : ITS RSU				
Fréquence centrale	MHz	5917.5	5907.5	5897.5
Largeur de bande en fréquence	MHz	10	10	10
Gain (élévation 0°)	dBi	-10	-10	-10
Niveau d'interférence maximum	dBm/MHz	-106	-106	-106
Brouilleur : émetteur RATP embarqué, 900mW de PIRE				
Fréquence centrale	MHz	5917.5	5917.5	5917.5
Largeur de bande en fréquence	MHz	3	3	3
Puissance	dBm	29,5	-10,5	-20,5
Gain	dBi	17	17	17
Puissance dans la direction de la victime	dBm	29,5	-10,5	-20,5
Atténuation requise	dB	120,77	80,77	70,77
Distance de protection	m	497	44	14

Table 2: Calculs MCL RATP embarqué/RSU

Avec une PIRE de 900 mW, les distances de protection sont de 500m en co canal, 44m en bande adjacente et de 14m pour le système RATP dans bande espacée de 5MHz.

5.2 RATP embarqué/OBU

Le calcul de la distance de protection des ITS à bord des véhicules (OBU) vis-à-vis des systèmes RATP embarqués est similaire, à la différence du gain d'antenne de la victime : dans le pire cas, l'interférence provenant du système RATP peut arriver dans le lobe principal de l'antenne OBU sur le véhicule, c'est-à-dire avec un gain de réception maximal en élévation.

Les autres paramètres restent identiques.

		Cas co-canal (si extension ITS)	1° canal adjacent	2° canal adjacent
Victime : ITS OBU				
Fréquence centrale	MHz	5920	5910	5900
Largeur de bande en fréquence	MHz	10	10	10
Gain (élévation 0°)	dBi	8	8	8
Niveau d'interférence maximum	dBm/MHz	-106	-106	-106
Brouilleur : émetteur RATP embarqué, 900mW de PIRE				
Fréquence centrale	MHz	5917.5	5917.5	5917.5
Largeur de bande en fréquence	MHz	3	3	3
Puissance	dBm	29,5	-10,5	-20,5
Gain	dBi	17	17	17
Puissance dans la direction de la victime	dBm	29,5	-10,5	-20,5
Atténuation requise	dB	138,77	98,77	88,77
Distance de protection	m	1304	153	86

Table 3: Calculs MCL RATP embarqué/OBU

Avec une PIRE de 900 mW, les distances de protection sont de 1,3 km en co-canal, 153m en bande adjacente et de 86m pour le système RATP dans bande espacée de 5MHz.

Outre la distance de séparation plus élevée, il est à noter que l'interférence RATP/OBU est plus critique puisqu'elle peut durer plus longtemps si l'automobile équipée d'un OBU roule dans la même direction que le métro sur une route parallèle à la voie ferrée.

5.3 Station RATP au sol/OBU ou RSU

Compte tenu des déploiements du système RATP et des caractéristiques techniques similaires, les distances de protection pour les stations RATP au sol seront comparables à celles obtenues pour les stations embarquées.

5.4 Discussion sur les interférences provenant des systèmes RATP

Dans le cas co-canal, les distances de protection entre systèmes RATP (embarqués ou au sol) et les stations ITS (OBU ou RSU) étant supérieures à 1km, il convient d'éliminer ce risque d'interférence en évitant les situations co-canal pour les systèmes RATP extérieurs : Cela est possible si les systèmes RATP sur les lignes aériennes extérieures se limitent à l'utilisation des 2 canaux supérieurs (entre 5925 MHz et 5935 MHz). Pour les lignes RATP souterraines, la forte atténuation de propagation élimine a priori tout risque d'interférence.

Le risque de brouillage en canal adjacent entre les systèmes RATP et les ITS est faible (distance de protection de 150m entre systèmes RATP et ITS/OBU) : en effet, les systèmes de réception RATP au sol sont situés le long de la voie et au-dessus du train (entrée d'un tunnel par exemple), donc les émissions des antennes embarquées sont dirigées vers le haut et dans l'axe de la voie. Ainsi, un récepteur ITS ne peut se trouver à moins de 153m dans le lobe principal de l'émetteur ITS que s'il est situé à moins de 26m de l'axe de la voie ferrée (cf Figure 3), ce qui est très peu probable.

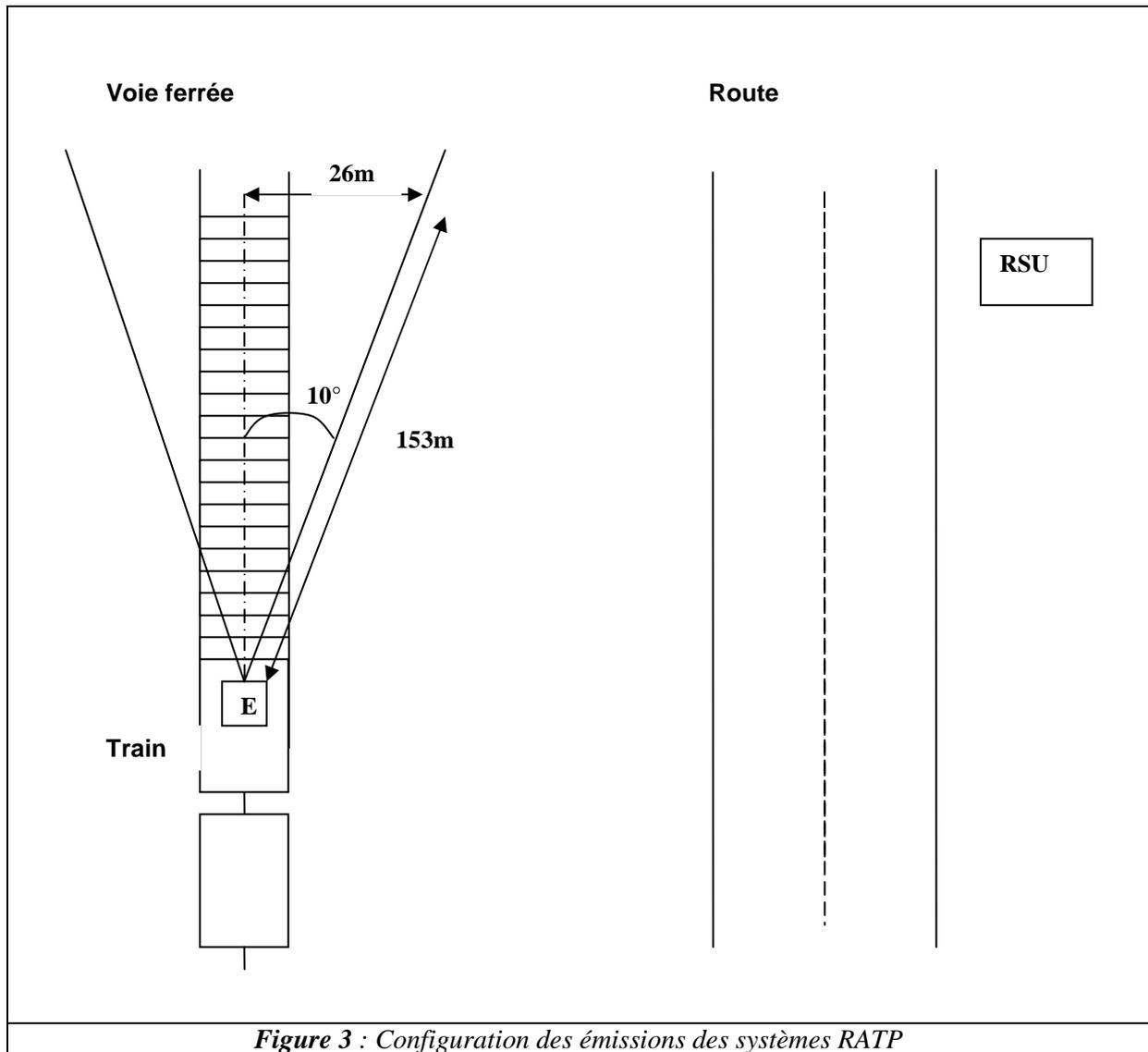
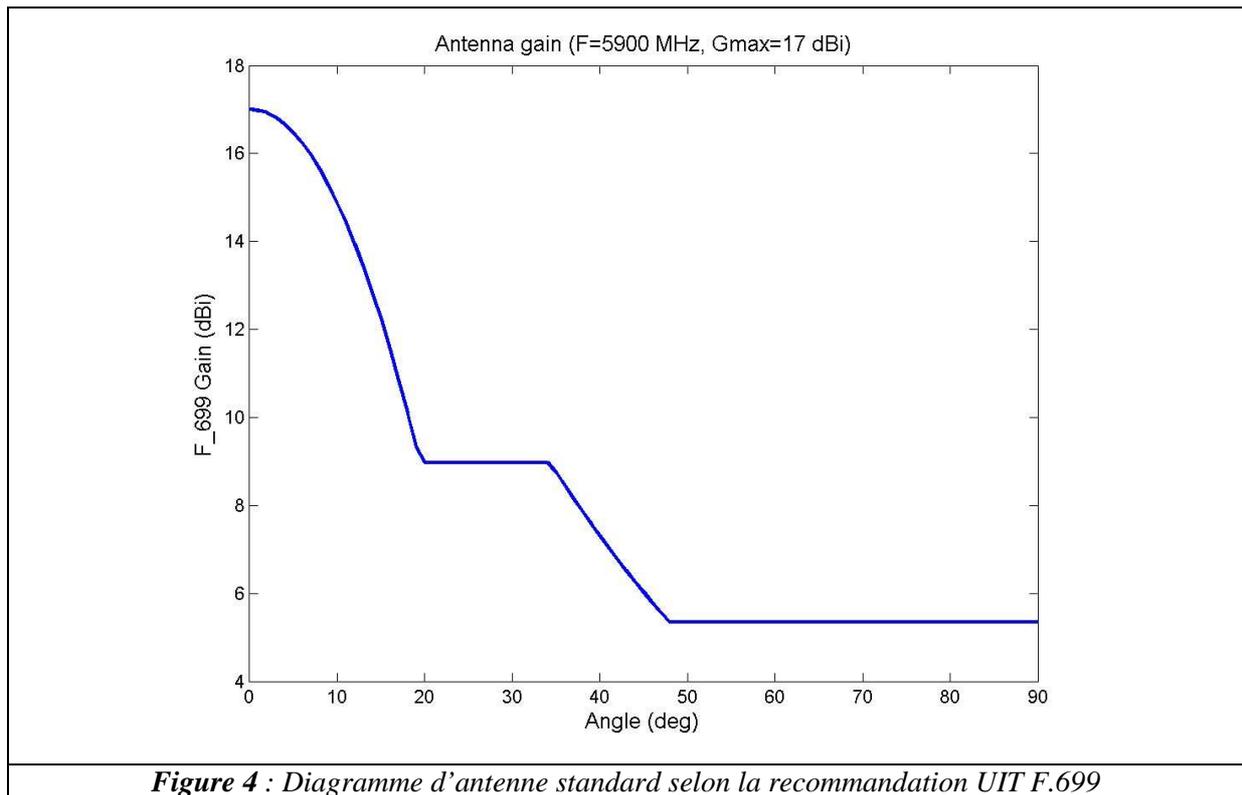


Figure 3 : Configuration des émissions des systèmes RATP

Si émission d'un système RATP vers un récepteur ITS il y a, ce sera dans un lobe secondaire de l'émetteur. La Figure 4 donne le diagramme d'antenne d'une antenne de gain maximal 17 dBi à 5900 MHz selon la recommandation UIT-R F.699 : le gain d'antenne tombe à 5.3 dBi pour des angles supérieurs à 45° environ.

Avec un gain d'antenne de 5.3 dBi au lieu de 17 dBi pour le système RATP embarqué, la distance de protection vis-à-vis d'un ITS/OBU en canal adjacent est de 77m au lieu de 153m.



6. Interférence des ITS sur les systèmes RATP

L'architecture du système Radio RATP (Directivité des antennes, utilisation des canaux 5925 / 5935 MHz en zone aérienne, rejection des canaux adjacents 50dBc, utilisation de redondance avant arrière en embarqué), ainsi que la modulation DQPSK utilisées permettent d'affirmer que le risque d'interférences des systèmes ITS sur le système RATP peut être considéré comme nul.

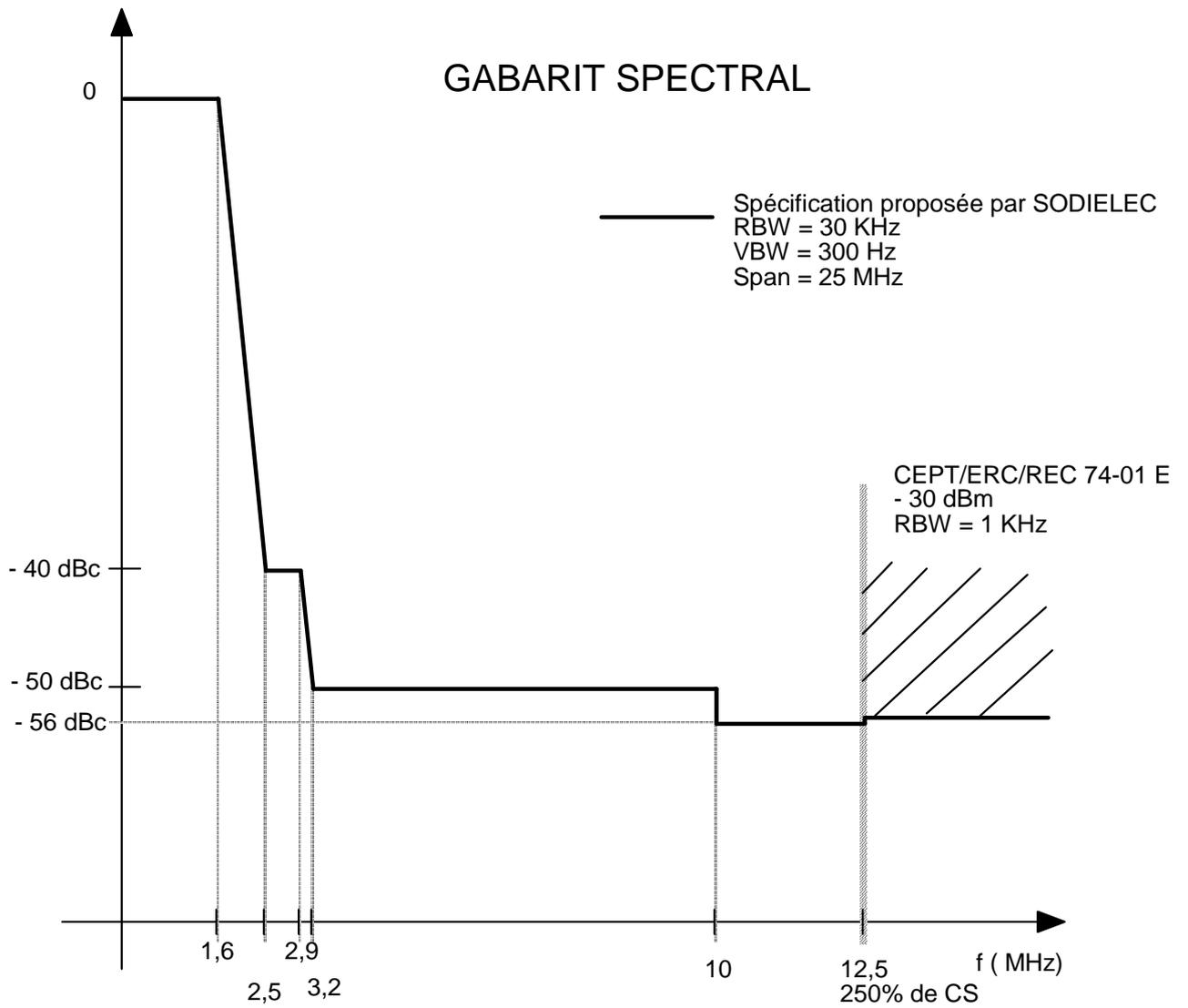
7. Conclusion

L'étude se fonde sur le schéma d'utilisation de fréquences suivant ;

5875	5905	5915	5925	5935
Bande ITS (Dec ECC(08)01)		Systèmes RATP		
		Extension ITS (Dec ECC(08)01)		

- Pour ce qui est de l'utilisation de la bande ITS de départ (5875-5905 MHz), il n'y a pas de risque d'interférence provenant des systèmes RATP opérant entre 5915 et 5925 MHz.
- En cas d'utilisation future de la bande 5905-5925 MHz par les ITS, il est recommandé de limiter les systèmes RATP fonctionnant en extérieur sur les lignes aériennes aux 2 canaux supérieurs entre 5925 et 5935 MHz. Les systèmes RATP fonctionnant dans les lignes souterraines ne sont pas susceptibles de créer des interférences vis-à-vis des systèmes ITS.

Annexe 1: gabarit spectral des systèmes RATP



Annexe 2 : Modèle de propagation

Extrait du rapport ECC 101, section 2.6

The calculations developed in the different compatibility studies used the same propagation model as in ECC Report 68 . In the table 6.2.2 of this report, data about FWA Central Station (CS) is provided, representative of all FWA devices located at high elevations, whereas the FWA Terminal Station (TS) models FWA devices deployed at low elevations. It is then proposed to consider ITS system as TS, therefore the breakpoints and exponents corresponding to the TS case will be used.

It means that propagation losses L_{FS} are considered as the conventional expression up to d_0 and corrected expression beyond.

$$L_{FS} = \begin{cases} 20\text{Log}\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) & d \leq d_0 \\ 20\text{Log}\left(\frac{\lambda}{4\pi d_0}\right) - 10n_0\text{Log}\left(\frac{d}{d_0}\right) & \text{if } d_0 < d \leq d_1 \\ 20\text{Log}\left(\frac{\lambda}{4\pi d_0}\right) - 10n_0\text{Log}\left(\frac{d_1}{d_0}\right) - 10n_1\text{Log}\left(\frac{d}{d_1}\right) & d > d_1 \end{cases}$$

Another propagation model is also proposed in the ITS SRDoc ETSI TR 102 492-1 [2] [3]. Assumptions are a first breakpoint distance d_0 at 15m and exponent beyond $n_0=2.7$. Separation distances presented below will investigate both cases.

	Urban	Suburban	Rural	ETSI
Breakpoint distance d_0 (m)	64	128	256	15
Pathloss factor n_0 beyond the first break point	3.8	3.3	2.8	2.7
Breakpoint distance d_1 (m)	128	256	1024	1024
Pathloss factor n_1 beyond the second breakpoint	4.3	3.8	3.3	2.7

Table 3: Parameters of propagation