

Le Collège des Experts

Liège, le 19.04.2002

Claude HERION c/ SA MOBISTAR

Objet: «Antenne GSM»

Maître Bernard CEULEMANS
Maître Michel DELNOY
Maître Bruno DELACROIX
Monsieur Claude HERION
MOBISTAR (M. VAN DEN BOSSCHE)
M. DANZE
Bureau LOUIS (M. MARCHAL)

Maître, Messieurs,

Objet: Tribunal de Première Instance de Liège - Chambre des Référés
Aud. des Référés du 14.08.2001 - Rôle Référés 01/466/C - Rép. n° 01/13868
Claude HERION c/ SA MOBISTAR

La note jointe, valant Préliminaires, a pour objet de :

1. répondre à la demande exprimée par M. DANZE lors de la réunion du 29.01.2002. M. DANZE avait insisté sur l'importance des modulations d'amplitude de basse fréquence qui donnent au champ rayonné par les antennes GSM un caractère pulsé ;
2. préciser le type de signaux qui seront produits lors des tests de provocation et en particulier décrire les caractéristiques du champ électromagnétique produit par les antennes-relais GSM

rem : l'aspect relatif aux modulations d'amplitude de basse fréquence traité dans la note découle essentiellement d'une analyse du document de l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) intitulé « Multiplexing and Multiple Access in the Radio Path ». Rappelons encore que les modulations d'amplitude de basse fréquence générées par une antenne-relais sont différentes de celles produites par un téléphone portable. Seul le premier cas nous concerne ici.

La Présente et son annexe valent Préliminaires.

Nous vous prions d'agréer, Maître, Messieurs, nos sincères salutations.

Louis GENDARME
Ingénieur Civil A.I.Lg.
4020 Liège - Bd E. de Laveleye, 203
Tél: 04/343.88.22 - Téléfax: 04/343.55.33

Alain WALTREGNY,
Docteur en Médecine et en Sciences
Neurochirurgie - Neuropsychiatrie
4000 Liège - rue Louvrex, 64
Tél : 04/252.86.76 - Fax: 04/254.00.49

1 - NORME GSM - CARACTÈRE PULSÉ DES CHAMPS RAYONNÉS

Les réseaux de mobilophonie GSM 900 et GSM 1800 fonctionnent respectivement à des fréquences voisines de 900 et 1800 MHz. Dans le cas du GSM 900¹, la bande de fréquences comprise entre 880 et 915 MHz est utilisée pour la transmission du portable vers l'antenne-relais, tandis que la bande comprise entre 925 et 960 MHz est utilisée dans l'autre sens. Dans la terminologie GSM, la transmission du portable vers l'antenne-relais est appelée «voie montante», la transmission de l'antenne-relais vers le portable est, quant à elle, appelée «voie descendante».

Les fréquences utilisables sont normalisées au niveau international; elles sont en nombre limité et sont allouées, en Belgique, par l'IBPT². L'affectation des différentes bandes attribuées à la S.A. MOBISTAR est résumée dans le tableau 1.

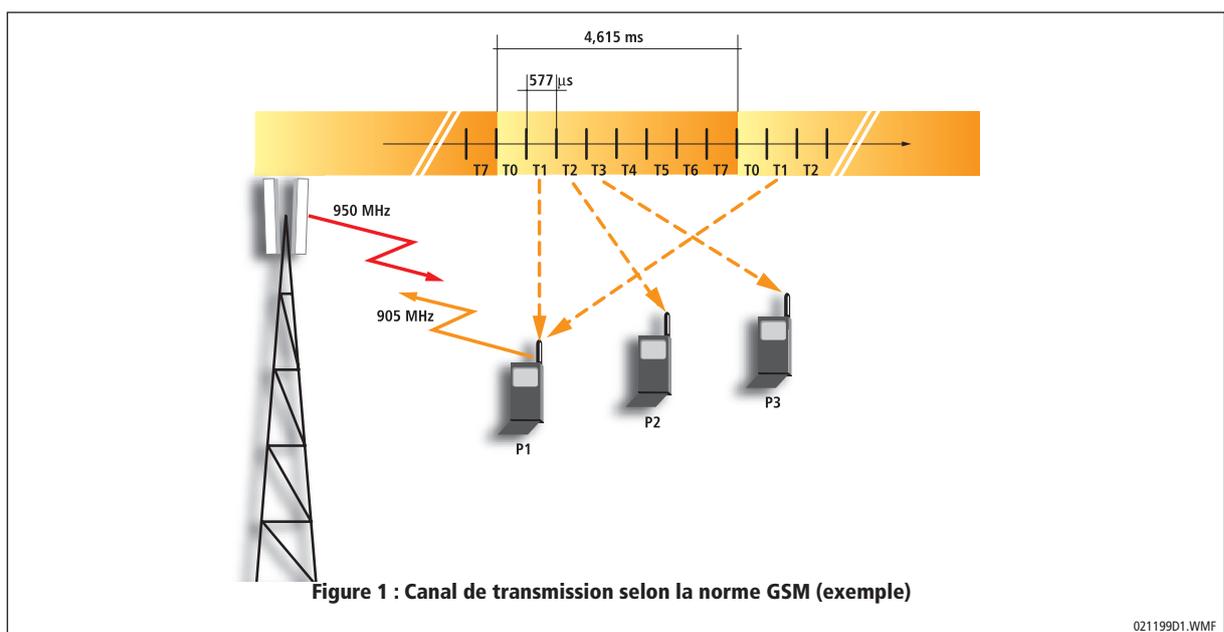
Tableau 1
Bandes de Fréquences allouées à la S.A. MOBISTAR (GSM 900)

Voie	Bande de fréquences(MHz)
Montante	896, 2 à 902 et 908,6 à 914
Descendante	941, 2 à 947 et 953,6 à 959

Une communication entre un portable et une antenne-relais utilise deux canaux de transmission : un pour la voie montante et un pour la voie descendante. Un canal est constitué d'une onde électromagnétique (appelée porteuse) dont la fréquence varie dans une plage de 0,2 MHz de largeur et pendant un huitième du temps.

L'exemple de la figure 1 illustre le principe utilisé : une antenne-relais transmet vers 3 portables, notés P1, P2 et P3, au moyen d'une porteuse à la fréquence nominale de 950 MHz. La voix (ou éventuellement des données) module (c'est-à-dire fait varier) la fréquence instantanée de la porteuse dans une plage étroite centrée autour de la fréquence nominale. Les réseaux GSM utilisent une modulation appelée GMSK pour «Gaussian Minimum Shift Keing» qui est une forme évoluée de modulation de fréquence ; cette modulation est caractérisée par une « enveloppe » constante et ne produit donc pas de variation de l'amplitude du champ. La porteuse ainsi modulée occupe, dans l'exemple de la figure 1, une largeur de 0,2 MHz comprise entre 949,9 et 950,1 MHz.

Pendant un premier intervalle de temps T1, d'une durée de 577 µs, la porteuse est utilisée pour transmettre vers le portable P1; cet intervalle de temps est appelé «time slot» dans la terminologie GSM ; ensuite, le portable P2 reçoit pendant le second «time slot» T2. De la même manière, le portable P3 recevra les informations qui lui sont destinées pendant le troisième «time slot» T3, et ainsi de suite s'il y a d'autres portables dans la cellule.

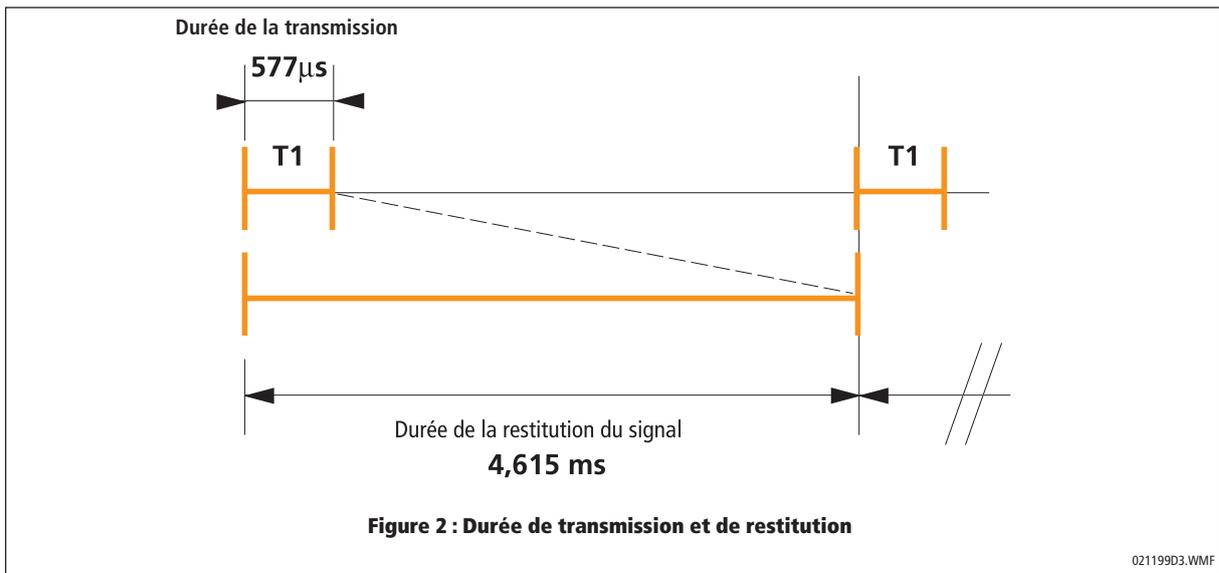


¹ Les antennes de la S.A. MOBISTAR implantées sur le pylône voisin des lieux du litige émettent suivant la norme GSM 900

² Institut Belge des Postes et des Télécommunications

Une porteuse peut ainsi être partagée par 8 portables ; à la fin du «time slot» T1, le portable P1 devra attendre pendant 7 «time slots» avant de recevoir à nouveau. La transmission d'un canal (c'est-à-dire une conversation) se fait donc de manière discontinue ; ce principe est appelé « multiplexage temporel » ou TDMA (pour « Time Division Multiple Access »). Une succession de 8 « time slots » constitue une trame; sa durée est de 4,615 ms.

Il est à noter que le fait que la transmission soit discontinue n'est pas perceptible pour l'utilisateur, car l'émission pendant un «time slot» s'effectue à un débit 8 fois supérieur à celui correspondant à la restitution du signal. Autrement dit, la transmission vers le portable P1 s'effectue pendant le «time slot» T1 et la restitution du signal vocal occupe 8 «time slots» (c'est-à-dire 4,615 ms). La figure 2 illustre ce processus.



Pour fonctionner, un réseau GSM requiert un canal de contrôle par cellule ; il s'agit d'un «time slot» d'une porteuse qui diffuse en permanence diverses informations. Celles-ci comprennent, notamment, un code d'identification de l'opérateur et le numéro de la cellule, ce qui permet aux portables de se localiser. Le canal de contrôle comprend :

- le BCCH (Broadcast Control Channel)
- le FCCH (Frequency Correction Channel)
- le SCH (Synchronisation Channel)
- le CCCH (Common Control Channel).

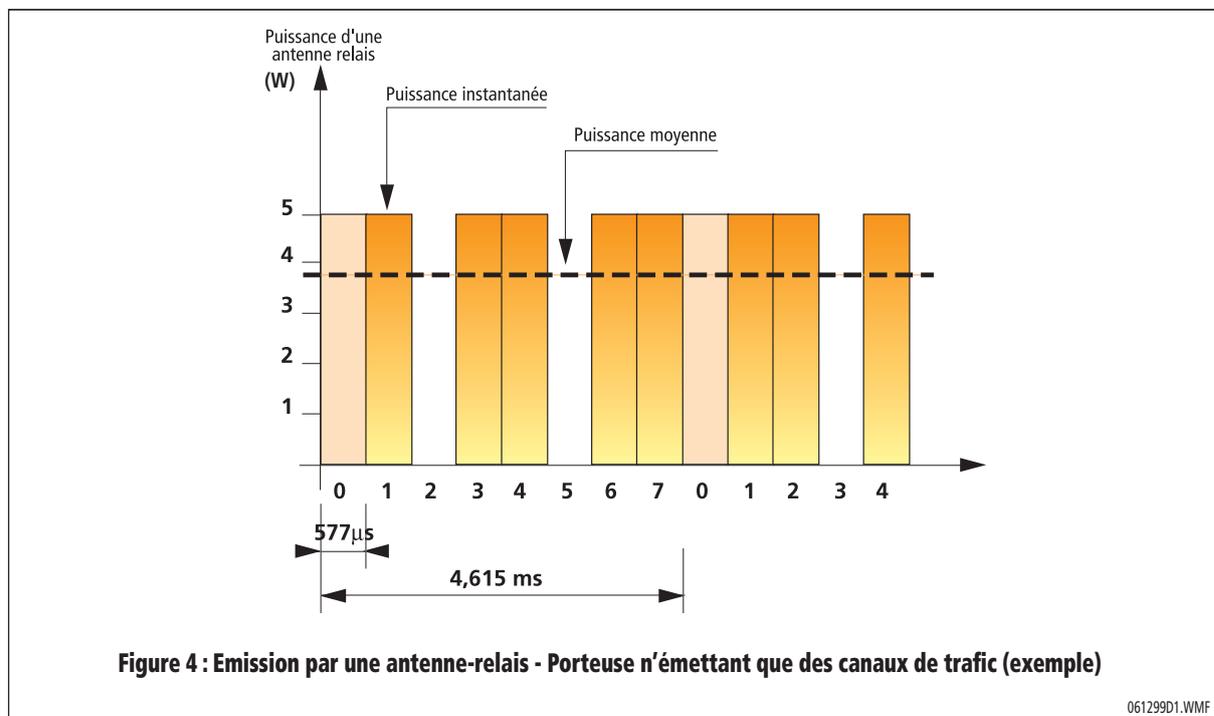
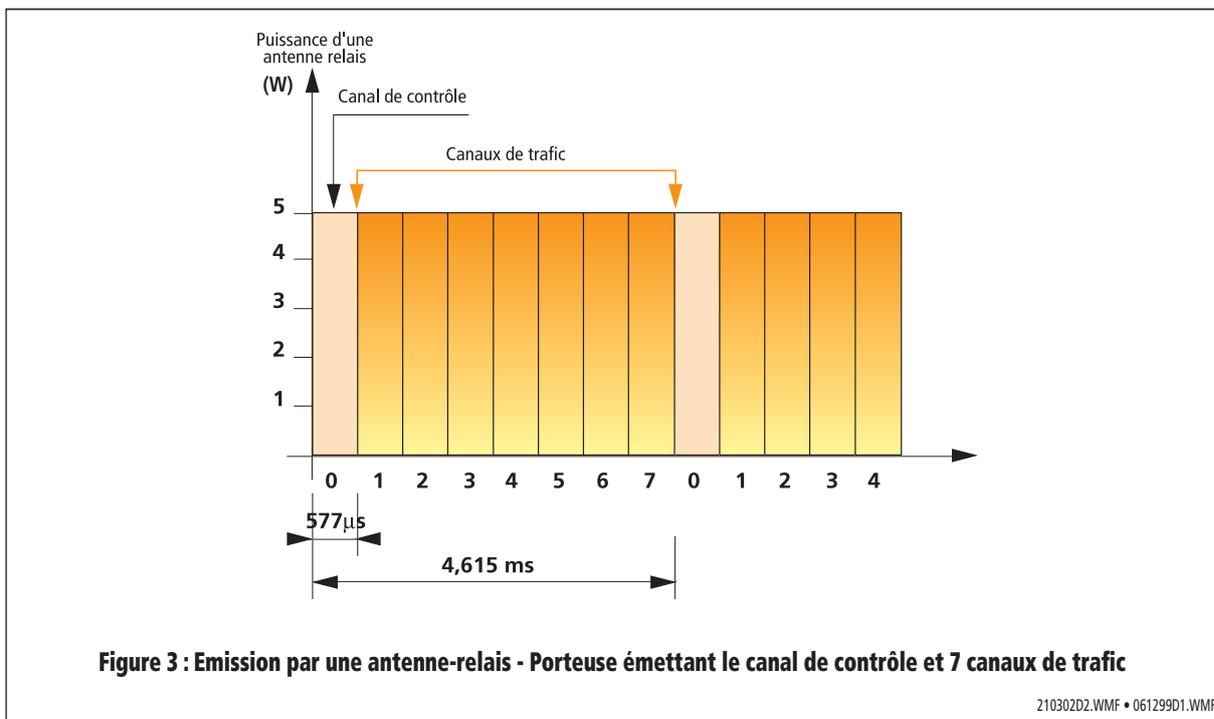
Le canal de contrôle transmet aussi le numéro des portables que le réseau est en train d'appeler. Lorsqu'il est en veille (c'est-à-dire sous tension, mais pas en communication), un portable est en permanence à l'écoute du canal de contrôle de la cellule. Même en l'absence de toute communication dans la cellule, le canal de contrôle est émis en permanence ; c'est toujours le «time slot» TO d'une des porteuses qui lui est alloué.

Une antenne-relais émet, en général, un nombre de porteuses GSM 900, par cellule, compris entre 2 et 6. Il est à noter qu'une antenne n'émet 6 porteuses que dans les cellules où il peut y avoir une forte concentration d'abonnés (par exemple : en zone urbaine ou à proximité de lieux où se produisent des manifestations culturelles, sportives, etc.). Une porteuse ayant une capacité de 8 canaux et 1 canal étant réservé pour le canal de contrôle, 1 cellule à 2 porteuses aura donc une capacité maximale de 15 conversations simultanées (2 x 8 - 1). De même, une cellule à 4 porteuses a une capacité de 31 conversations simultanées (4 x 8 - 1). Dans la terminologie GSM, un canal alloué à la transmission de la voix, ou de données, est appelé canal de trafic.

N.B. : Selon les informations communiquées par la S.A. MOBISTAR, l'antenne qui produit, sur les lieux du litige, le champ le plus élevé, émet actuellement 2 porteuses ; la capacité est donc de 15 communications simultanées.

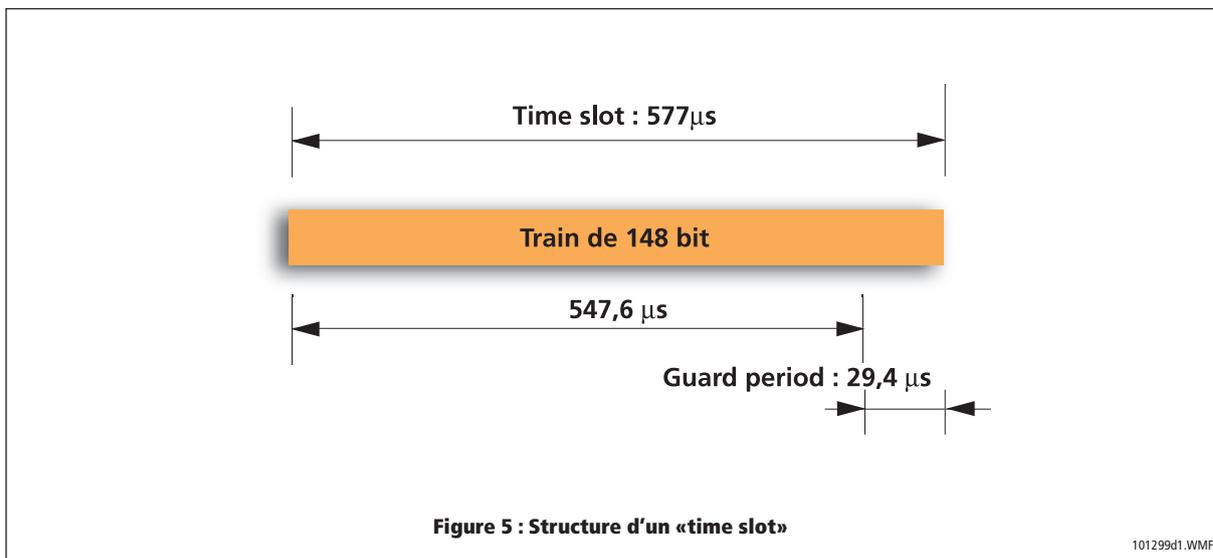
Le nombre de canaux actifs dans une cellule, à un moment donné, dépend du nombre de communications en cours ; lorsqu'il n'y en a aucune, seul le canal de contrôle est réellement utile, c'est-à-dire 1/8e de porteuse. Toutefois, pour des raisons techniques, les 7 canaux inoccupés de la porteuse qui transmet le canal de contrôle sont « artificiellement » occupés par ce qui est appelé des « dummy bursts ». La figure 3 représente l'affectation de « time slots » de la porteuse qui transmet le canal de contrôle.

Par contre, dans le cas des porteuses qui ne sont utilisées que pour transmettre des canaux de trafic, seuls les canaux utiles sont effectivement transmis, la figure 4 est un exemple de porteuse pour laquelle 6 « time slots » sont occupés.



N.B. : La transmission du portable vers l'antenne-relais fonctionne selon un principe similaire, mais l'émission se fait sur une fréquence inférieure de 45 MHz à celle utilisée par la voie descendante (c'est-à-dire à 905 MHz dans notre exemple de la figure 2). Toutefois, et comme indiqué précédemment, le portable ne transmet que pendant un « time slot », alors qu'une antenne-relais émet pendant plusieurs « time slots » puisqu'elle communique, simultanément, avec plusieurs portables.

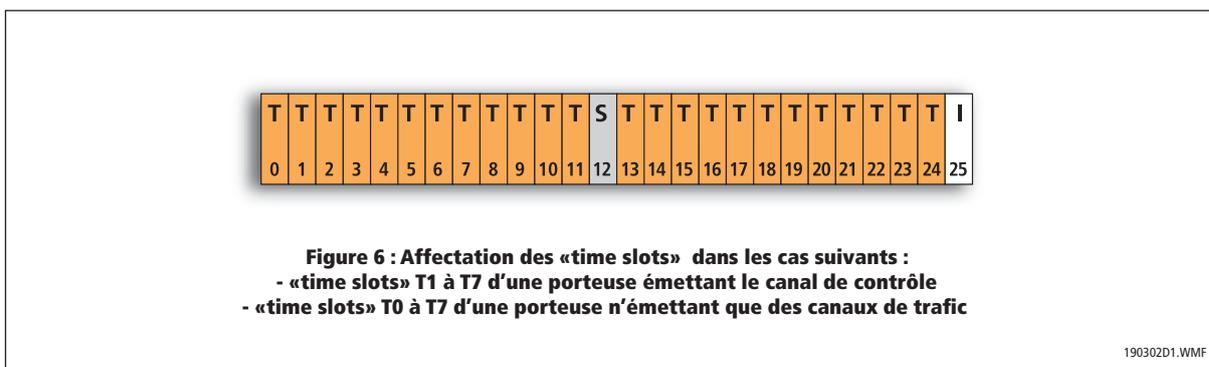
La figure 5 présente la structure d'un «time slot». Il comprend un train de 148 bits d'une durée de 3,7 μ s, ce qui correspond à 547,6 μ s. Ces 148 bits représentent la voix numérisée, ainsi que des bits de synchronisation. La durée d'un «time slot» étant de 577 μ s, le train de 148 bits est en fait suivi d'une interruption de la transmission (appelée «guard period»), d'une durée de 29,4 μ s, et dont le but est de séparer le contenu de 2 «time slots» successifs.



Le champ produit par les portables et les antennes-relais GSM présentent un caractère pulsé qui est principalement dû à l'utilisation d'un multiplexage temporel décrit ci-dessus. Il existe toutefois d'autres périodicités qui résultent du fait que la transmission est interrompue pendant certains « time slots » ; il convient, tout d'abord, de distinguer le cas de la porteuse qui transmet le canal de contrôle (suivi de 7 canaux de trafic) de celles qui ne transmettent que des canaux de trafic.

a) Porteuse transmettant le canal de contrôle et 7 canaux de trafic

Comme expliqué ci-dessus, c'est le « time slot » T0 d'une des porteuses de la cellule qui est utilisé pour transmettre le canal de contrôle ; les 7 « time slots » restants sont disponibles pour transmettre des canaux de trafic. Dans le cas où certains canaux de trafic ne sont pas utilisés, ils sont, pour des raisons techniques, « artificiellement » occupés par ce qui est appelé des « dummy bursts ». L'occupation des « time slots » d'une telle porteuse est illustrée à la figure 3. Il faut toutefois préciser que l'émission s'interrompt avant la fin de chaque « time slot », comme le montre la figure 5. L'antenne-relais émet donc un signal sinusoïdal pendant une durée de l'ordre de 547,6 μ s, suivie d'un arrêt pendant 29,4 μ s. La périodicité correspondant au « time slot » étant de 577 μ s, il y correspond une fréquence de 1733,1 Hz ($1/577 \cdot 10^{-6}$).



Les « time slots » 1 à 7 (c'est-à-dire ceux qui sont utilisés par les canaux de trafic) reçoivent une « affectation » définie par une structure constituée d'une suite de 26 trames représentée à la figure 6, laquelle correspond à une durée de $26 \times 4,615 \text{ ms} = 120 \text{ ms}$, cette affectation est la suivante :

- les 12 premières sont utilisées pour transmettre la voix ou des données (canal de trafic)
- la 13e est un canal de contrôle appelé SACCH (« Slow Associated Control Channel »)
- les 12 suivantes (c'est-à-dire de la 13e à la 25e) sont également utilisées pour transmettre la voix ou des données (canal de trafic)
- la 25e n'est pas utilisée (transmission interrompue)

L'antenne-relais émet donc pendant les « time slots » T1 à T7 des 25 premières trames, mais n'émet pas pendant les « time slots » T1 à T7 de la 26e trame. Du fait de l'absence d'émission pendant la 26e trame, le signal émis par l'antenne-relais présente donc une périodicité de 120 ms à laquelle correspond une fréquence de $8,3 \text{ Hz} (1/120 \cdot 10^{-3})$



Figure 7 : Affectation des «time slots» T0 dans le cas d'une porteuse émettant le canal de contrôle

210302D1.WMF

Le « time slot » T0 (c'est-à-dire celui utilisé par le canal de contrôle) reçoit une « affectation » définie par une structure constituée d'une suite de 51 trames représentée à la figure 7, laquelle correspond à une durée de $51 \times 4,615 \text{ ms} = 235,38 \text{ ms}$; cette affectation est la suivante :

- les 50 premières sont utilisées pour transmettre les différentes parties du canal de contrôle, c'est-à-dire :
 - le BCCH (Broadcast Control Channel)
 - FCCH (Frequency Correction Channel) symbole F
 - le SCH (Synchronisation Channel) symbole S
 - le CCCH (Common Control Channel)
- la 51e n'est pas utilisée (transmission interrompue).

L'antenne-relais émet donc pendant le premier « time slot » des 50 premières trames, mais n'émet pas pendant le premier « time slot » de la 51e trame. Du fait de l'absence d'émission pendant la 51e trame, le signal émis par l'antenne-relais présente donc une périodicité de 235,38 ms à laquelle correspond une fréquence de $4,2 \text{ Hz} (1/235,38 \cdot 10^{-3})$

D'autre part, les nombres 26 et 51 n'ayant pas de diviseur commun, il apparaît une périodicité supplémentaire dont la durée est égale à $26 \times 51 \times 4,615 \text{ ms} = 6,12 \text{ s}$; cette durée (qui correspond à ce qui est appelé une « superframe » dans la terminologie GSM) est celle qui est nécessaire pour retrouver le même décalage temporel entre canaux de trafic et de contrôle ; il y correspond une fréquence de 0,16 Hz.

b) Porteuse ne transmettant que des canaux de trafic

Ce cas est plus simple que le précédent. L'occupation des « time slots » d'une telle porteuse est celui décrit à la figure 4. Comme dans les autres cas, l'émission s'interrompt à la fin de chaque « time slot » (voir aussi figure 5). L'antenne-relais émet donc un signal sinusoïdal pendant une durée de l'ordre de $547,6 \mu\text{s}$ suivie d'un arrêt pendant $29,4 \mu\text{s}$. La périodicité correspondant au « time slot » étant de $577 \mu\text{s}$, il y correspond une fréquence de $1733,1 \text{ Hz} (1/577 \cdot 10^{-6})$.

Lorsque tous les « time slots » d'une trame ne sont pas occupés, ce qui est pratiquement toujours le cas, il apparaît donc une périodicité de 4,615 ms.

Tous les « time slots » reçoivent une « affectation » définie par une structure constituée d'une suite de 26 trames représentée à la figure 6, laquelle correspond à une durée de $26 \times 4,615 \text{ ms} = 120 \text{ ms}$; cette affectation est la suivante :

- les 12 premières sont utilisées pour transmettre la voix ou des données (canal de trafic)
- la 13e est un canal de contrôle appelé SACCH (« Slow Associated Control Channel »)
- les 12 suivantes (c'est-à-dire de la 13e à la 25e) sont également utilisées pour transmettre la voix ou des données (canal de trafic)
- la 25e n'est pas utilisée (transmission interrompue)

L'antenne-relais émet donc pendant un « time slot » des 25 premières trames, mais n'émet pas pendant la 26e trame. Du fait de l'absence d'émission pendant la 26e trame, le signal émis par l'antenne-relais présente donc un périodicité de 120 ms à laquelle correspond une fréquence de 8,3 Hz ($1/120 \cdot 10^{-3}$).

Le tableau 2 résume les différentes périodicités rencontrées selon les cas et qui exercent une influence sur l'amplitude du champ rayonné par une antenne-relais. Le nombre qui précède la barre oblique donne la période, celui qui suit la barre oblique est la fréquence correspondante.

Tableau 2
Périodicités propres aux champs rayonnés par les antennes-relais

Equipements	Type de porteuse	Périodicité / fréquence
Antenne-relais	Porteuse transmettant le canal de contrôle	577 μ s / 1733,1 Hz
	577 μ s / 1733,1 Hz	120 ms / 8,3 Hz 235,38 ms / 4,2 Hz 6,12s / 0,16 Hz
	Porteuse ne transmettant que des canaux de trafic	577 μ s / 1733,1 Hz 4,615 ms / 216,7 Hz 120 ms / 8,3 Hz

Pour être complet, il y a lieu d'ajouter qu'il existe deux périodicités qui n'ont pas été mentionnées ci-dessus, il s'agit de celles correspondant à une période :

- de 3 h 28 min 52,76 s qui sert de référence pour le cryptage des signaux transmis,
- de 4,615 ms (durée d'une trame) comprise entre deux sauts de fréquence successifs.

Comme ces deux périodicités n'influencent pas l'amplitude du champ électromagnétique, il n'apparaît pas utile d'en tenir compte.

2. CONDITIONS D'EXPOSITION DURANT LES TESTS DE PROVOCATION

Les tests de provocation se dérouleront dans un local où on aura vérifié que les champs extérieurs sont négligeables.

L'antenne d'émission sera alimentée par un générateur RF produisant une porteuse transmettant le canal de contrôle et 7 canaux de trafic ; il s'agit du cas de figure qui comporte le plus grand nombre de modulations d'amplitude de basse fréquence.

Le générateur RF produira des séquences répétitives dont la durée sera égale à 6,12 s et correspondant à 10,608 « time slots » (8 x 26 x 51) numérotés de 0 à 10607.

Chaque « time slot » reproduira la structure de la figure 5; il comportera l'émission d'une porteuse à une fréquence fixe (c'est-à-dire sans modulation GSMK, ce qui correspond à une transmission d'un train de bits identiques) pendant 547,6 µs, suivi d'un arrêt de 29,4 µs (durées approximatives).

Compte tenu de ce qui a été exposé ci-dessus, la transmission sera interrompue pendant les « time slots » portant les numéros suivants :

$N^{\circ} \text{ TS} = 400 + i \times 408$ avec i variant de 0 à 25 (périodicité du canal de contrôle)

$N^{\circ} \text{ TS} = 200 + k + j \times 208$ avec k variant de 1 à 7, et
avec j variant de 0 à 50 (périodicité du canal de trafic)