

# Mesures des performances de l'interface radio du Natel D GSM = Messung der Leistungsmerkmale der Natel-D-GSM- Funkschnittstelle

Autor(en): **De Weck, Jean-Paul / Schilling, Martin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und  
Telegraphenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes,  
téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda  
delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **71 (1993)**

Heft 9

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-875523>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Mesures des performances de l'interface radio du Natel D GSM

## Messung der Leistungsmerkmale der Natel-D-GSM-Funkschnittstelle

Jean-Paul DE WECK et Martin SCHILLING, Berne

### 1 Introduction

Le système de communication mobile Natel D GSM a été ouvert à l'exploitation commerciale le 9 mars 1993 lors du Salon de l'auto de Genève. La spécification, le développement, la validation, la production et finalement le déploiement du système à travers toute l'Europe furent un long processus qui débuta en 1982 déjà.

L'interface radio constitue le tendon d'Achille de tout système mobile. Les caractéristiques du canal radio mobile sont en effet bien plus problématiques que celles du réseau fixe et c'est pourquoi l'interface radio détermine en grande partie la qualité du service offert à la clientèle. Dans le système GSM un grand effort a dû être fourni pour la mise au point de cette interface qui fait appel à des concepts avancés de transmission numérique.

Dans le cadre des tests de vérification effectués avant l'ouverture commerciale, on a procédé à des mesures permettant de vérifier les performances de l'interface radio Natel D GSM (couche physique seulement). Ces mesures ont permis, d'une part, d'examiner si les spécifications GSM étaient tenues et, d'autre part, de valider les bases de planification du réseau radio.

L'intérêt particulier de cet article est dû surtout aux mesures des performances de l'interface en présence de dispersion temporelle. En effet, les PTT Télécom suisses ont joué un rôle de pionnier dans l'établissement d'une méthode de mesure efficace et dans le développement d'appareils permettant d'effectuer ces mesures. Les résultats des mesures ont aussi permis de vérifier le bien-fondé de cette méthode de mesure.

### 2 Couche physique de l'interface radio du Natel D GSM

Le système de communication mobile Natel D GSM possède une interface radio qui se caractérise par un accès multiple à répartition temporelle (AMRT). Cela signifie que huit utilisateurs sont multiplexés temporellement sur une même porteuse avec un débit binaire de 270,833 kbit/s. Chaque utilisateur émet ou reçoit périodiquement une salve de 148 bits à l'intérieur d'une fenêtre temporelle de 577  $\mu$ s. La structure de la trame AMRT ainsi que celle d'une salve sont décrites à la *figure 1*. Entre les salves, on a inséré un temps de garde correspondant à 8,25 bits. La transmission radio des salves se fait au moyen de la modulation *GMSK 0.3* (Gaussian Mini-

### 1 Einführung

Das Mobilkommunikationssystem Natel D GSM wurde am 9. März 1993 anlässlich des Automobilsalons in Genf in den kommerziellen Betrieb überführt. Die grundlegenden Arbeiten in Form von Systemspezifikationen begannen bereits 1982. Weitere Etappen des langen Entwicklungsprozesses bis zur Bereitstellung der Funknetze in ganz Europa waren die Entwicklung von Prototypen zur Überprüfung der Spezifikationen (System Validation) und die Herstellung von Ausrüstungen.

Die Funkschnittstelle stellt die Achillesferse jedes Mobilkommunikationssystems dar: Auf dem Funkübertragungsweg treten grössere Probleme auf als sie im festen Teil des Netzes anzutreffen sind. Deshalb bestimmt die Güte der Funkübertragung zum grössten Teil die Dienstleistungsqualität. Die Funkschnittstelle wurde aus diesem Grund mit fortschrittlicher digitaler Übertragungstechnik ausgestattet.

Im Umfeld der Verifikationstests vor der kommerziellen Eröffnung wurden Messungen vorgenommen, die eine Beurteilung der Leistungsmerkmale der GSM-Funkschnittstelle (ausschliesslich physikalische Schicht) erlauben. Diese Messungen ermöglichten einerseits zu überprüfen, ob die GSM-Spezifikationen eingehalten werden, andererseits dienten sie zur Bestätigung der Funknetz-Planungsgrundlagen.

Das Hauptinteresse der Untersuchung ist auf die Messungen der Leistungsmerkmale der Funkschnittstelle in Gegenwart von Zeitdispersion gerichtet. Tatsächlich spielte die schweizerische Telecom PTT eine Pionierrolle in der Entwicklung wirkungsvoller Messmethoden und von Geräten, die diese Art von Messungen ermöglichen. Die Ergebnisse bestätigen die Richtigkeit der Messmethode.

### 2 Die physikalische Schicht der Natel-D-GSM-Funkschnittstelle

Die Funkschnittstelle des Mobilkommunikationssystems Natel D GSM ist durch das verwendete Zeitmultiplex-Mehrfachzugriffsverfahren (TDMA = Time Domain Multiple Access) gekennzeichnet. Hierbei teilen sich acht Mobilteilnehmer zeitlich multiplexiert denselben Träger mit einer Datenrate von 270,833 kbit/s. Jeder Benutzer sendet oder empfängt periodisch ein Datenpaket (Burst) von 148 Bit innerhalb eines Zeitfensters von 577  $\mu$ s. Die

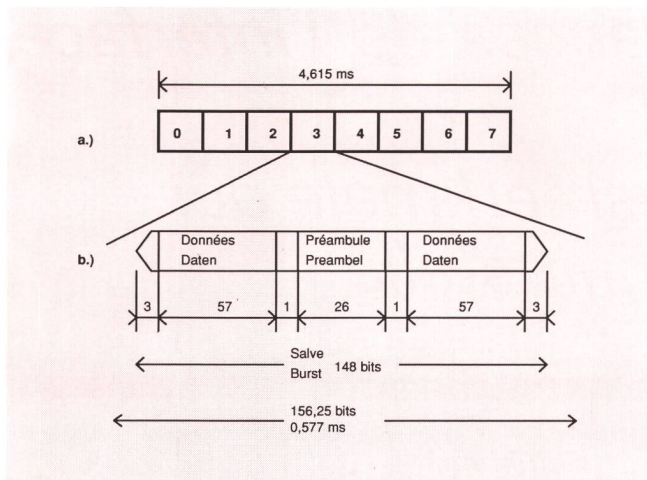


Fig. 1 a) Structure d'une trame AMRT du Natel D GSM - Aufbau eines Natel-D-GSM-TDMA-Rahmens  
b) Structure d'une salve - Aufbau eines Datenpakets (Burst)

mum Shift Keying avec un produit  $BT = 0,3$  où B est la largeur de bande et T la durée d'un symbole).

Les bits issus du codeur de parole (codage de source) sont divisés en trois classes (1a, 1b et 2) selon leur importance du point de vue des conséquences d'une erreur et sont ensuite protégés par un codage de canal adéquat (fig. 2) qui transforme 260 bits utiles d'information en 456 bits. La redondance introduite par ce codage de canal est considérable. Elle est nécessaire afin de combattre l'effet des distorsions importantes introduites par le canal radio. La signalisation est également protégée par une redondance importante. Finalement, de façon à ce que le fading n'entraîne pas la perte de trop longues chaînes de bits consécutifs, les bits d'une salve sont échangés avec ceux de huit salves consécutives selon un algorithme d'entrelacement.

La qualité de la parole transmise est bien sûr fonction du taux d'erreurs binaires (BER = Bit Error Rate) sur les bits reçus. Ce taux d'erreurs est quantifié à l'intérieur du système GSM en huit classes. Par des tests subjectifs, on a pu déterminer approximativement la dépendance entre ces classes d'erreurs et la qualité perçue.

Le tableau présente un résumé de la situation. Il faut noter que dans la planification du Natel D on a déterminé la classe 3 comme classe limite et la classe 4 comme admissible exceptionnellement (moyenne locale).

### 3 Canal radio mobile

Chaque ingénieur sait que tout système est complètement décrit par sa réponse impulsionnelle. Cela est bien sûr vrai aussi pour le canal radio mobile. La propagation des ondes entre la station de base et la station mobile est telle que le signal transmis est réfléchi par de multiples obstacles avant de parvenir au récepteur. De ce fait, si l'émetteur transmettait une impulsion de Dirac  $\delta(\tau)$ , le récepteur recevrait une multitude de copies de cette impulsion avec une atténuation  $\alpha_i$  et un retard  $\tau_i$ .

Structure des TDMA-Rahmens sowie jene des Bursts werden in *Figur 1* beschrieben. Zwischen den Bursts wurde eine Schutzzeit (Guard Time) von 8,25 Bitdauer Länge eingefügt. Die Funkübertragung der Bursts geschieht mit der Modulationsart *GMSK 0.3* (Gaussian Minimum Shift Keying,  $BT = 0,3$ , wobei B = Bandbreite und T = Symboldauer).

Die vom Sprachcodierer (Quellencodierung) gelieferten Bits werden entsprechend ihrer Wichtigkeit bezüglich der Auswirkung eines Fehlers in drei Klassen (1a, 1b und 2) unterteilt und mit einer darauf abgestimmten Codierung versehen (*Fig. 2*). Aus den ursprünglichen 260 Bit Nutzinformation werden so total 456 Bit. Diese beträchtliche Redundanz ist nötig, um die durch den Funkkanal verursachten Störungen zu bekämpfen. Die Signalisierungsdaten sind ebenfalls durch eine stark redundante Kanalcodierung geschützt. Zuletzt werden die Bits eines Bursts mit jenen von acht nachfolgenden Bursts aufgrund eines Verschachtelungsalgorithmus untereinander ausgetauscht. Dies verhindert, dass ganze Bitfolgen durch Schwund (Fading) verlorengehen.

Die Qualität der Sprachübertragung ist eine Funktion der Bitfehlerwahrscheinlichkeit ( $BER = \text{Bit Error Rate}$ ) der empfangenen Bits. Diese wird innerhalb des GSM-Systems in acht Klassen unterteilt. Durch subjektive Tests konnte man den ungefähren Zusammenhang zwischen diesen BER-Klassen und der entsprechenden Übertragungsqualität bestimmen.

Die *Tabelle* zeigt eine Zusammenfassung. Es gilt zu bemerken, dass in der Planung von Natel D die Klasse 3 als Grenzklasse und die Klasse 4 als ausnahmsweise zulässig (lokaler Mittelwert) betrachtet wird.

### 3 Der Mobilfunkkanal

Jedes System kann durch seine Stossantwort vollständig beschrieben werden. Dies trifft natürlich auch auf den Mobilfunkkanal zu. Die Wellenausbreitung zwischen der Basisstation und der Mobilstation ist durch mehrfache Reflexion des Signals an Hindernissen auf dem Übertragungsweg zum Empfänger gekennzeichnet. Wenn nun der Sender einen Dirac-Impuls  $\delta(\tau)$  aussenden würde, kämen beim Empfänger eine Vielzahl von Kopien dieses Impulses mit einer Dämpfung  $\alpha_i$  und einer

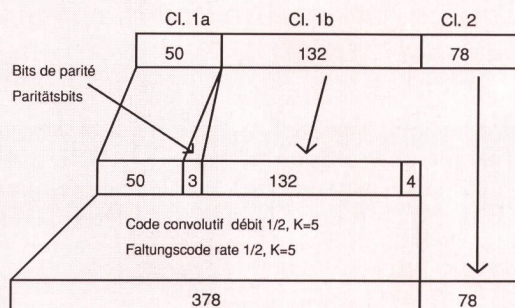


Fig. 2 Codage de canal du Natel D GSM pour la parole - Natel-D-GSM-Kanalcodierung für die Sprache

Tableau. Définition des classes d'erreurs dans le système GSM et qualité de parole perçue correspondante  
 Tabelle. Definition der GS-BER-Klassen und entsprechende Sprachqualität

Classe d'erreur Fehlerklasse	Limites de la classe Klassengrenzen	Qualité subjective de la parole Subjektive Sprachqualität
0	$BER > 2 \cdot 10^{-3}$	Excellent — Ausgezeichnet
1	$2 \cdot 10^{-3} \leq BER < 4 \cdot 10^{-3}$	Pas de dégradation perceptible — Keine spürbare Verschlechterung
2	$4 \cdot 10^{-3} \leq BER < 8 \cdot 10^{-3}$	Pas de dégradation perceptible — Keine spürbare Verschlechterung
3	$8 \cdot 10^{-3} \leq BER < 1,6 \cdot 10^{-2}$	Pas de dégradation perceptible — Keine spürbare Verschlechterung
4	$1,6 \cdot 10^{-2} \leq BER < 3,2 \cdot 10^{-2}$	Dégradation juste acceptable — Noch akzeptable Verschlechterung
5	$3,2 \cdot 10^{-2} \leq BER < 6,4 \cdot 10^{-2}$	Dégradation inacceptable — Unakzeptable Verschlechterung
6	$6,4 \cdot 10^{-2} \leq BER < 1,28 \cdot 10^{-1}$	Mauvais — Schlecht
7	$BER \geq 1,28 \cdot 10^{-1}$	Très mauvais — Sehr schlecht

D'autre part, comme l'utilisateur mobile se déplace, les différents trajets se modifient constamment, ce qui fait que les atténuations et les retards de ces trajets sont fonction du temps absolu  $t$ . La réponse impulsionnelle du canal radio peut donc être exprimée ainsi:

$$h(t, \tau) = \sum_{i=0}^N \alpha_i(t) \cdot \delta[\tau - \tau_i(t)] \quad (1)$$

La figure 3 illustre cette équation en montrant l'évolution de la réponse impulsionnelle mesurée sur un petit segment de route dans la région de Veyrier (GE) lorsque l'antenne de la station de base de Chêne-Bourg est tournée vers le Mont Salève.

Dans un cas réel, le canal de transmission radio est limité en largeur de bande autour de la fréquence centrale  $f_0$  par une fonction passe-bande de réponse impulsionnelle  $f(t)$ . On peut montrer que l'enveloppe complexe de la réponse impulsionnelle du canal radio mobile peut se mettre sous la forme suivante:

$$h_{f_0}(t, \tau) = \sum_{i=0}^N \alpha_i(t) \cdot \exp(j2\pi v_i t + j\Phi_i) \cdot f[\tau - \tau_i(t)] \quad (2)$$

où  $v_i$  est l'écart Doppler de la réflexion  $i$  et  $\Phi_i$  la phase initiale du trajet  $i$ .

La réponse impulsionnelle d'un canal radio mobile se mesure à l'aide d'un *sondeur de canal*. Un tel dispositif se compose d'un émetteur qui transmet un signal de test et d'un récepteur qui par corrélation avec le signal transmis estime la réponse impulsionnelle du canal. Chaque écho est ainsi détecté par un pic de corrélation. Pour les mesures présentées plus loin, on a utilisé le sondeur de canal RCS-900 développé par Télécom PTT. Ce sondeur est décrit dans [1]. En transmettant une séquence binaire pseudo-aléatoire avec un débit de 1,66 Mbit/s, il permet d'acquérir l'amplitude de la réponse impulsionnelle avec une résolution temporelle de 0,6  $\mu$ s.

L'acquisition de la réponse impulsionnelle est un premier pas. Il faut ensuite traiter les données afin d'en ex-

pliquer la réponse impulsionnelle d'un canal radio mobile se mesure à l'aide d'un *sondeur de canal*. Un tel dispositif se compose d'un émetteur qui transmet un signal de test et d'un récepteur qui par corrélation avec le signal transmis estime la réponse impulsionnelle du canal. Chaque écho est ainsi détecté par un pic de corrélation. Pour les mesures présentées plus loin, on a utilisé le sondeur de canal RCS-900 développé par Télécom PTT. Ce sondeur est décrit dans [1]. En transmettant une séquence binaire pseudo-aléatoire avec un débit de 1,66 Mbit/s, il permet d'acquérir l'amplitude de la réponse impulsionnelle avec une résolution temporelle de 0,6  $\mu$ s.

$$h(t, \tau) = \sum_{i=0}^N \alpha_i(t) \cdot \delta[\tau - \tau_i(t)] \quad (1)$$

Figur 3 illustre cette équation en montrant l'évolution de la réponse impulsionnelle mesurée sur un petit segment de route dans la région de Veyrier (GE) lorsque l'antenne de la station de base de Chêne-Bourg est tournée vers le Mont Salève.

Dans un cas réel, le canal de transmission radio est limité en largeur de bande autour de la fréquence centrale  $f_0$  par une fonction passe-bande de réponse impulsionnelle  $f(t)$ . On peut montrer que l'enveloppe complexe de la réponse impulsionnelle du canal radio mobile peut se mettre sous la forme suivante:

$$h_{f_0}(t, \tau) = \sum_{i=0}^N \alpha_i(t) \cdot \exp(j2\pi v_i t + j\Phi_i) \cdot f[\tau - \tau_i(t)] \quad (2)$$

$v_i$ : Dopplerverschiebung der Reflexion  $i$ .  
 $\Phi_i$ : Anfangsphasenlage der Reflexion  $i$ .

Die Stossantwort des Mobilfunkkanals lässt sich mit Hilfe eines *Channel-Sounders* messen. Diese Messeinrichtung setzt sich zusammen aus einem Sender, der ein Testsignal aussendet, und einem Empfänger, der die Kanalstossantwort durch Korrelation des empfangenen Signals mit dem ausgesendeten Signal schätzt. Jedes Echo wird demzufolge mit einer Korrelationsspitze erfasst. Für die vorgestellten Messungen kam der von der Telecom PTT entwickelte Channel Sounder RCS-900 zum Einsatz. Dieses Messinstrument wird in [1] beschrieben. Indem eine binäre, pseudozufällige Sequenz mit einer Rate von 1,66 Mbit/s übertragen wird, kann die Amplitude der Stossantwort mit einer zeitlichen Auflösung von 0,6  $\mu$ s bestimmt werden.

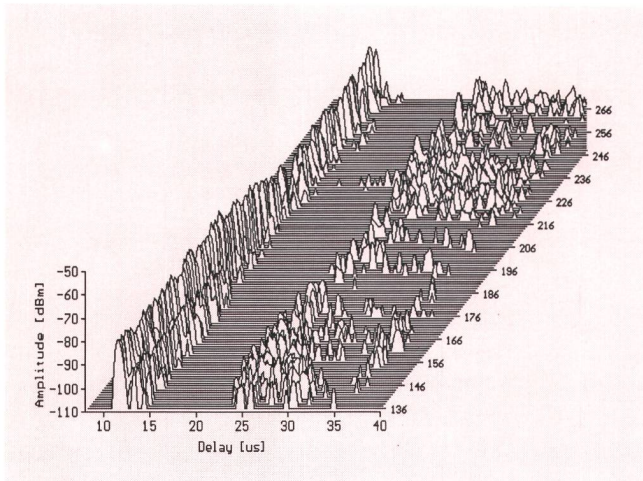


Fig. 3 Exemple de réponse impulsionnelle d'un canal radio mobile mesuré dans la région de Veyrier (GE) – Exemple d'une Kanalstossantwort gemessen in der Gegend von Veyrier (GE)

L'amplitude des échos reçus est représentée en fonction de leur retard  $\tau$  et de leur évolution dans le temps absolu  $t$ . Le signal de test était émis depuis la station de base de Chêne-Bourg avec une antenne tournée dans la direction de Veyrier. Les échos retardés proviennent du Mont Salève – Die Amplitude der empfangenen Echos ist in Funktion ihrer Verzögerung  $\tau$  und der Veränderung in der absoluten Zeit  $t$  aufgetragen. Das Testsignal wurde von der Basisstation Chêne-Bourg mit einer nach Veyrier gerichteten Antenne ausgestrahlt. Die stark verzögerten Echos stammen vom Mt. Salève  
Delay – Retard – Verzögerung

traire des paramètres permettant de quantifier la qualité du canal par rapport à un certain système de transmission. Ces paramètres sont de trois types:

- l'intensité globale du signal reçu ou le rapport signal-sur-bruit
- le niveau des interférences dues principalement aux cellules réutilisant les mêmes fréquences
- la dispersion temporelle des échos.

### 31 Puissance reçue

La première caractéristique s'obtient en faisant la somme des puissances reçues des différents échos. Cette somme pourrait se faire sans autre si ces échos pouvaient être mesurés avec une résolution temporelle infiniment fine ou, autrement dit, si l'on mesurait la réponse impulsionnelle du canal avec une largeur de bande infinie. On obtiendrait ainsi en un point donné une estimation de la *moyenne locale de la puissance reçue* (ou de l'intensité de champ reçue) autour de ce point. En pratique, on mesure non des échos spéculaires, mais des «paquets d'ondes» où se combinent déjà un certain nombre de réflexions. Ces paquets d'ondes vont dès lors subir le phénomène bien connu du fading et la somme des puissances de ces paquets d'ondes donnera une estimation d'autant moins précise de la moyenne locale de la puissance reçue que la largeur de bande du canal mesuré est petite. C'est pourquoi, en pratique, on additionne la puissance des paquets d'ondes et on calcule une valeur moyenne de cette somme sur une certaine distance. Pour la planifi-

Die Erfassung der Stossantwort ist ein erster Schritt. Es geht nun darum, aus diesen Rohdaten jene Parameter zu extrahieren, welche die Qualität des Funkkanals bezüglich eines vorgegebenen Übertragungssystems beschreiben. Es gibt drei Typen solcher Parameter:

- die gesamte Leistung des empfangenen Signals oder der Signal-Rausch-Abstand
- der Interferenzpegel, der vor allem durch Zellen verursacht wird, die dieselben Frequenzen wiederverwenden
- die Zeitdispersion der Echos.

### 31 Empfangene Leistung

Die erste Kanaleigenschaft wird durch Aufsummieren der Teilleistungen aller empfangenen Echos gewonnen. Diese Summe könnte ohne weiteres berechnet werden, falls die Echos mit einer unendlich hohen zeitlichen Auflösung gemessen werden könnten; oder anders gesagt, falls die Kanalstossantwort mit einer unendlich grossen Bandbreite gemessen würde. Man würde somit an einem gegebenen Punkt eine Schätzung des lokalen Mittelwerts der Empfangsleistung (oder der empfangenen Feldstärke) um diesen Punkt erhalten. In der Praxis werden nicht Einzelechos, sondern vielmehr «Wellenbündel» gemessen, die sich bereits aus mehreren Reflexionen zusammensetzen. Diese Wellenbündel unterliegen dem bekannten Schwundphänomen (Fading). Je kleiner nun die Bandbreite des gemessenen Kanals ist, um so ungenauer wird die Schätzung des lokalen Mittelwerts der Empfangsleistung ausfallen. In der Praxis werden deshalb die Leistungen der Wellenbündel aufsummiert und danach ein lokaler Mittelwert dieser Summe über eine bestimmte Distanz berechnet. Die Planung für Nattel D GSM legt folgende Minimalwerte für die Empfangsfeldstärke fest:

- lokaler Mittelwert grösser als 35 dB $\mu$ V/m in 90 % der Fälle
- Medianwert grösser als 40 dB $\mu$ V/m.

### 32 Signal-Interferenz-Verhältnis

Die zweite Qualitätseigenschaft eines Übertragungskanals ist der lokale Mittelwert des Signal-Interferenz-Verhältnisses ( $C/I$  = Carrier-to-Interference ratio). Jedes Übertragungssystem arbeitet bis zu einem minimalen  $C/I$  korrekt. Unterschreitet man diesen Wert, wird die Qualität inakzeptabel. Für Nattel D GSM beträgt der minimale lokale Mittelwert für  $C/I$  [2, 3]:

- $C/I$  grösser als 9 dB ohne Berücksichtigung des Rauschens
- $C/I$  grösser als 12 dB unter Berücksichtigung des Rauschens.

In der Annahme, dass in den durch Interferenzen gestörten Gegenden das empfangene Nutzsignal meist sehr schwach ist, wird für die Planung von Nattel D GSM der zweite Wert (12 dB) verwendet. Die gemessenen Werte

cation du Natel D GSM, on a retenu les valeurs minimales suivantes pour l'intensité du champ reçu:

- moyenne locale supérieure à 35 dB $\mu$ V/m dans 90 % des cas
- valeur médiane supérieure à 40 dB $\mu$ V/m.

### 32 Rapport signal-sur-interférences

La deuxième caractéristique de la qualité d'un canal de transmission est la moyenne locale du rapport signal-sur-interférences (C/I = Carrier-to-Interference ratio). Chaque système de transmission travaille correctement jusqu'à un C/I minimal en dessous duquel la qualité devient inacceptable. Pour le Natel D GSM, la moyenne locale minimale pour le C/I [2, 3] est telle que:

- C/I supérieure à 9 dB en l'absence de bruit de fond
- C/I supérieure à 12 dB en présence de bruit de fond.

Etant donné que les endroits perturbés par les interférences sont en général ceux où le signal utile reçu est très faible, c'est la deuxième valeur qui est retenue pour la planification du Natel D GSM. D'autre part, dans une cellule donnée, les valeurs mesurées sur l'ensemble de la cellule doivent être supérieures à cette valeur limite dans 95 % des cas au moins.

### 33 Dispersion temporelle des échos

La troisième caractéristique, à savoir la dispersion temporelle, se mesure à l'aide d'un paramètre dépendant du système de transmission. En effet, chaque type de récepteur utilise une certaine partie des échos reçus et ignore les autres qu'il considère comme des interférences. Les récepteurs Natel D GSM sont équipés d'un égaliseur permettant d'utiliser l'information apportée par les échos parvenant au récepteur dans une fenêtre temporelle de quatre symboles (env. 15  $\mu$ s). Les échos parvenant au-delà de ce retard ne peuvent plus être pris en considération et les signaux qu'ils transportent seront donc considérés par le récepteur comme des interférences. En utilisant cette approche, on a montré dans [1] qu'il est possible de caractériser la dispersion temporelle de la réponse impulsionnelle  $h_{fo}(t, \tau)$  mesurée à l'instant  $t$  par un rapport d'autointerférences généralisé  $Q(t)$  interprétable de la même manière qu'un rapport signal-sur-interférences:

$$Q(t) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} |h_{fo}(t, \tau)|^2 \cdot C(t, \tau) \cdot d\tau}{\int_{-\infty}^{+\infty} |h_{fo}(t, \tau)|^2 \cdot [1 - C(t, \tau)] \cdot d\tau} \quad (3)$$

$$\text{où: } C(t, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} |R_e(\tau - \tau')|^2 \cdot c(t, \tau') \cdot d\tau'$$

et

$c(t, \tau') = 1$  lorsque le récepteur utilise la puissance arrivant avec le retard  $\tau'$

sinon

$c(t, \tau') = 0$ .  
 $R_e(\tau)$  est la fonction d'autocorrelation de la forme d'onde utilisée pour transmettre les symboles d'information.

Werte innerhalb der gesamten Zelle müssen allerdings in mindestens 95 % der Fälle besser als dieser Grenzwert sein.

### 33 Zeitdispersion der Echos

Die dritte Eigenschaft, nämlich die Zeitdispersion, wird mit Hilfe eines Parameters gemessen, der vom untersuchten Übertragungssystem abhängt. Jeder Empfängertyp verwertet nur einen Teil der empfangenen Echos, während der Rest als Interferenz betrachtet wird. Die Natel-D-GSM-Empfänger sind mit einem Entzerrer ausgestattet, der in der Lage ist, eintreffende Echos innerhalb eines Zeitfensters von vier Symbolen (etwa 15  $\mu$ s) zu verwerten. Die Echos, die ausserhalb dieses Fensters eintreffen, können demzufolge nicht mehr ausgewertet werden und werden deshalb vom Empfänger als Interferenz betrachtet. Dieser Ansatz führt in [1] zu einer Charakterisierung der Stossantwort  $h_{fo}(t, \tau)$  mit Hilfe eines verallgemeinerten Selbstinterferenzverhältnisses  $Q(t)$ , das analog einem Signal-Interferenz-Verhältnis zu interpretieren ist:

$$Q(t) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} |h_{fo}(t, \tau)|^2 \cdot C(t, \tau) \cdot d\tau}{\int_{-\infty}^{+\infty} |h_{fo}(t, \tau)|^2 \cdot [1 - C(t, \tau)] \cdot d\tau} \quad (3)$$

$$\text{wobei: } C(t, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} |R_e(\tau - \tau')|^2 \cdot c(t, \tau') \cdot d\tau'$$

und

$c(t, \tau') = 1$ , falls der Empfänger die Leistung, die mit der Verzögerung  $\tau'$  eintrifft, verwerten kann,

andernfalls

$c(t, \tau') = 0$ .  
 $R_e(\tau)$  ist die Autokorrelationsfunktion der zum Übertragen der Informationssymbole verwendeten Wellenform.

Um den obenstehenden Ausdruck zu verstehen, muss man berücksichtigen, dass die Funktion  $C(t, \tau)$  die Stossantwort  $h_{fo}(t, \tau)$  derart gewichtet, dass sich die nutzbare Leistung der Echos im Zähler und jene der störenden Echos im Nenner befindet.

Im Falle einer Natel-D-GSM-Übertragung kann das obenstehende allgemeine Ergebnis durch das Selbstinterferenzverhältnis  $Q_{16}(t)$  angenähert werden. Der Parameter  $Q_{16}$  ist definiert als das Verhältnis der Leistung der Echos, die innerhalb von 16  $\mu$ s eintreffen, zur Leistung der Echos, die ausserhalb dieses Fensters eintreffen. Man setzt dabei voraus, dass der Empfänger optimal synchronisiert ist, und plziert das Zeitfenster von 16  $\mu$ s Länge derart, dass das Verhältnis  $Q_{16}$  maximal gross wird. Figur 4 illustriert die Berechnung des Selbstinterferenzverhältnisses.

Dieser Ansatz zur Beschreibung der Zeitdispersion ist sehr interessant, weil die Komplexität der Stossantwort auf eine einfache Zahl reduziert werden kann, die sich zudem gleich interpretieren lässt wie das Verhältnis C/I.

Pour comprendre l'expression ci-dessus, il faut considérer que la fonction  $C(t, \tau)$  pondère la réponse impulsionnelle  $h_{fo}(t, \tau)$  de telle sorte que la puissance des échos utiles se trouve au numérateur et celle des échos perturbateurs au dénominateur.

Dans le cas d'une transmission Natel D GSM, on peut approcher le résultat général ci-dessus en calculant pour une réponse impulsionnelle donnée le rapport d'autointerférences  $Q_{16}(t)$  entre la puissance portée par les échos arrivant dans une fenêtre de  $16 \mu s$  et ceux arrivant en dehors de cette fenêtre. On considérera que le récepteur est synchronisé de manière optimale et on placera cette fenêtre sur la réponse impulsionnelle de telle sorte que ce rapport soit maximisé. La figure 4 illustre le calcul de ce rapport d'autointerférences.

L'intérêt de cette approche pour caractériser la dispersion temporelle est que la complexité de la réponse impulsionnelle se réduit à un simple nombre qui, de plus, s'interprète de la même manière que le rapport C/I introduit préalablement. Ainsi pour le Natel D GSM:

- si  $Q_{16}$  supérieur à 12 dB la dispersion temporelle est acceptable
- si  $Q_{16}$  inférieur à 12 dB elle est inacceptable.

Dans une cellule donnée, la dispersion temporelle doit être acceptable dans 95 % des cas en moyenne.

#### 4 Résultats des tests dans le réseau Natel D GSM

L'interface radio du Natel D GSM a été testée dans la région de Genève ainsi qu'à Berne afin de se rendre compte de son comportement aux valeurs limites d'intensité de champ, de niveau d'interférences et de dispersion temporelle indiquées ci-dessus. Les résultats sont présentés dans cette section.

#### 41 Qualité en fonction de l'intensité du champ reçue

Des mesures ont été effectuées à Berne (station de base de Breitenrain) à un endroit où la dispersion temporelle et les interférences étaient négligeables. Dans la figure 5 on a représenté la classe d'erreurs pour le lien descendant (station de base vers station mobile) en fonction de la puissance reçue (moyenne locale).

Le graphique montre deux choses:

- Lorsque la limite inférieure d'intensité de champ de  $40 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  est atteinte, la classe d'erreur 4 n'est pas dépassée.
- Lorsque la limite inférieure de  $35 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  est atteinte, la proportion des points avec qualité acceptable (classe d'erreurs égale ou inférieure à 4) est supérieure à 75 %, ce qui d'après [4] entraîne une couverture moyenne de la cellule supérieure à 90 %.

Ces deux conclusions montrent que les critères de planification sont correctement choisis.

Damit gilt für Natel D GSM:

- Falls  $Q_{16}$  grösser ist als 12 dB, ist die Zeitdispersion akzeptabel.
- Falls  $Q_{16}$  kleiner ist als 12 dB, ist sie inakzeptabel.

In einer gegebenen Funkzelle muss die Zeitdispersion durchschnittlich in mehr als 95 % der Fälle akzeptabel sein.

#### 4 Messergebnisse im Funknetz Natel D GSM

Die Natel-D-GSM-Funkschnittstelle wurde in der Region Genf sowie in Bern getestet, um deren Verhalten bei Grenzwerten von Feldstärke, Interferenzabstand und Zeitdispersion zu überprüfen.

#### 41 Qualität in Abhängigkeit der empfangenen Leistung

In Bern (Basisstation Breitenrain) wurden Messungen durchgeführt, bei denen Zeitdispersion und Interferenzen vernachlässigbar klein waren. In Figur 5 wird die Bitfehlerklasse in Abhängigkeit der Empfangsleistung (lokaler Mittelwert) für die Verbindung Basisstation zu Mobilstation (Downlink) dargestellt.

Die Grafik zeigt zwei Dinge:

- Bis die untere Grenze der Feldstärke von  $40 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  erreicht ist, wird die Bitfehlerklasse 4 nicht überschritten.

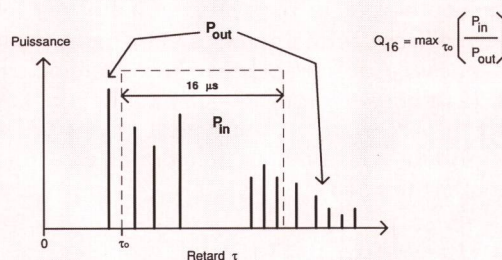


Fig. 4 Calcul du rapport d'autointerférences  $Q_{16}$  permettant de caractériser l'effet de la dispersion temporelle du canal sur une transmission Natel D GSM - Berechnung des Selbstinterferenzverhältnisses  $Q_{16}$ . Dieses erlaubt, den Einfluss der Zeitdispersion des gemessenen Funkkanals auf die Übertragung mit Natel D GSM zu bestimmen

Ce rapport s'interprète de la même manière qu'un rapport signal-sur-interférences C/I - Das Verhältnis lässt sich auf gleiche Weise interpretieren wie ein Signal-Interferenz-Verhältnis C/I  
 Puissance - Leistung  
 Retard - Verzögerung

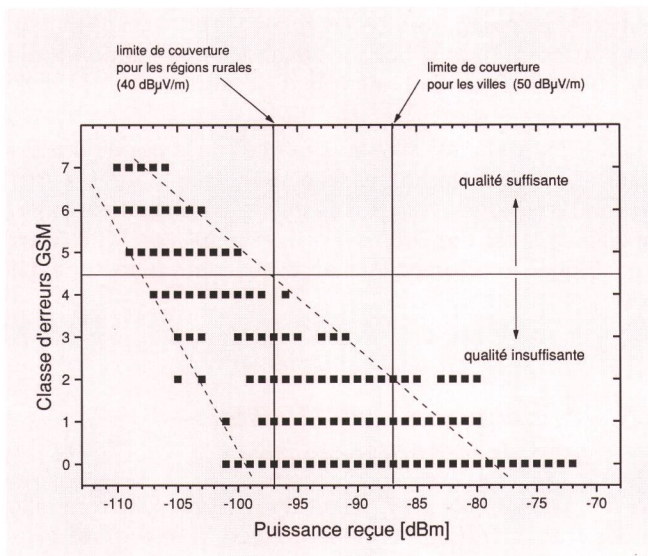


Fig. 5 Graphique représentant la classe d'erreur des bits reçus en fonction de la puissance reçue (lien descendant) pour une transmission GSM en l'absence d'interférences et de dispersion temporelle – GSM-Bitfehlerklasse der empfangenen Bits in Abhängigkeit der Empfangsleistung (Downlink) während einer GSM-Übertragung ohne Zeitdispersion und Interferenzen

Ces données ont été obtenues à Berne (station de base de Breitenrain) – Diese Daten wurden in Bern (Basisstation Breitenrain) gemessen

Classe d'erreur – Fehlerklasse

Puissance reçue – Empfangene Leistung

Limite de couverture – Bedienungsgrenze

Pour les régions rurales – Für ländliche Gebiete

Pour les villes – Für Stadtgebiet

Qualité suffisante – Genügende Qualität

Qualité insuffisante – Ungenügende Qualität

Il est à noter que dans la figure 5, le rapport entre l'intensité du champ et la puissance reçue à l'entrée du récepteur tient compte d'un facteur d'antenne de 27 dB et de pertes additionnelles de 3 dB.

## 42 Qualité en fonction des interférences dans le même canal

Pour mesurer les performances du lien descendant en présence d'interférences dans le même canal, on a émis sur la même porteuse dans les stations de base voisines de Chêne-Bourg et de la poste du Mt-Blanc à Genève. On a ensuite mesuré la classe d'erreur du signal utile reçu de Chêne-Bourg ainsi que sa puissance. Parallèlement, on a mesuré la puissance du signal perturbateur reçu de la poste du Mt-Blanc. Finalement on a représenté (fig. 6) la classe d'erreur en fonction du rapport signal-sur-interférences en ne conservant que les points pour lesquels la puissance utile était supérieure à -95 dBm. Il fallait en effet supprimer les points pour lesquels les erreurs étaient dues au bruit de fond et non aux interférences.

La figure 6 montre qu'à une exception près la classe d'erreurs est inférieure à la classe 4 lorsque le rapport signal-sur-interférences est supérieur à 12 dB. Cette mesure, de même que d'autres prouvent que cette li-

– Bis die untere Grenze von 35 dBµV/m erreicht ist, weisen mehr als 75 % der Punkte ausreichende Qualität (Fehlerklasse 4) auf, was nach [4] eine durchschnittliche Versorgung der Zelle in mehr als 90 % der Fälle bedeutet.

Diese beiden Schlussfolgerungen zeigen, dass die Planungsrichtwerte richtig gewählt wurden.

Es ist zu erwähnen, dass sich in Figur 5 das Verhältnis zwischen Feldstärke und empfangener Leistung am Empfängereingang aus dem Antennenfaktor von 27 dB und zusätzlichen Verlusten von 3 dB zusammensetzt.

## 42 Qualité in Abhängigkeit von Gleichkanalinterferenzen

Um die Leistungsfähigkeit der Verbindung Basisstation zu Mobilstation in Gegenwart von Gleichkanalinterferenzen zu untersuchen, wurde in den benachbarten Basisstationen Mt. Blanc und Chêne-Bourg derselbe Träger ausgesendet. Danach wurden Bitfehlerklasse und Leistung des Nutzsignals, das von Chêne-Bourg abgestrahlt wurde, gemessen. Parallel hierzu wurde die Leistung des Störsignals der Basisstation Mt. Blanc gemessen. Schliesslich wurde die Bitfehlerklasse in Abhängigkeit des Signal-Interferenz-Verhältnisses dargestellt (Fig. 6). Es wurden nur Messungen ausgewertet, bei de-

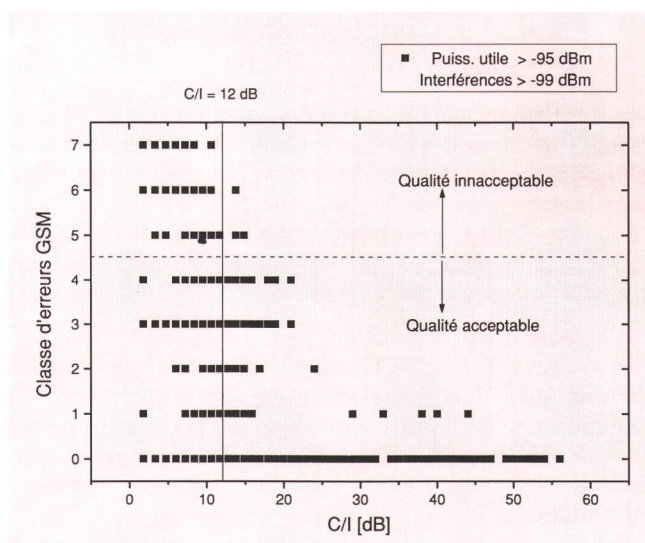


Fig. 6 Classe d'erreur en fonction du rapport signal-sur-interférences (C/I) pour un lien descendant Natel D GSM mesuré sur la station de base de Chêne-Bourg en présence d'un signal perturbateur en provenance de la poste du Mt-Blanc à Genève – Bitfehlerklasse in Abhängigkeit des Signal-Interferenz-Verhältnisses für den Natel D GSM Downlink. Die Messung wurde mit Hilfe der Basisstationen Chêne-Bourg (Nutzsinal) und Mt. Blanc (Interferenzsignal) durchgeführt

Classe d'erreurs – Fehlerklasse

Puissance utile – Nutzleistung

Interférences – Störsignale

Qualité inacceptable – Nicht annehmbare Qualität

Qualité acceptable – Annehmbare Qualität



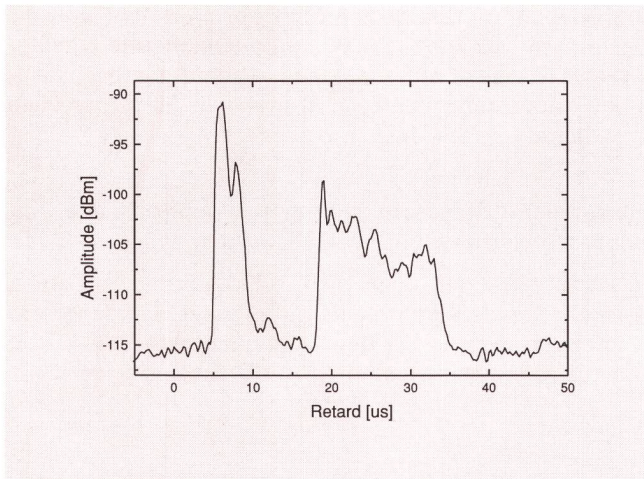


Fig. 7 Réponse impulsionnelle moyenne sur un trajet dans la région de Veyrier où la dispersion temporelle est importante – Moyenne Stossantwort auf einem Wegabschnitt in der Gegend von Veyrier mit sehr ausgeprägter Zeitdispersion

De forts échos proviennent du Mont Salève avec un retard situé entre 15 et 30  $\mu$ s par rapport à l'onde directe – Starke, vom Mont Salève stammende Echos treffen zwischen 15 und 30  $\mu$ s nach der direkten Welle ein  
Retard – Verzögerung

mite est correctement choisie pour la moyenne locale du rapport signal-sur-interférences.

### 43 Qualité en fonction de la dispersion temporelle

Afin de mesurer les performances de l'interface radio du Natel D GSM en présence de dispersion temporelle, il a fallu créer une cellule artificielle au pied du Mont Salève dans la région genevoise, à partir de la station de base de Chêne-Bourg. En effet, les cellules existantes sont correctement planifiées et ne permettent pas de tester le système jusqu'à ses limites.

Les figures 7, 8 et 9 montrent ce qui se passe sur un trajet particulier à Veyrier lorsque la dispersion temporelle est très forte. Sur ce trajet, la puissance reçue était en tout point supérieure à  $-90$  dBm et les interférences dans le même canal négligeables. Ainsi, ce trajet se prêtait bien à l'analyse des effets de la dispersion temporelle seule.

A la figure 7 on a représenté la réponse impulsionnelle moyenne mesurée sur ce trajet. On remarque des échos importants arrivant avec un retard situé entre 15 et 30  $\mu$ s par rapport à l'onde directe. A la figure 8, on a représenté la moyenne locale de la classe d'erreurs en fonction de la puissance reçue de manière similaire à la figure 5. On remarque que la classe 4 est dépassée pour des intensités de champ jusqu'à 55 dB $\mu$ V/m soit bien au-delà de 40 dB $\mu$ V/m. Cela montre l'effet sournois de la dispersion temporelle dans des zones où la couverture semble parfaitement correcte. Finalement, à la figure 9, on a représenté l'évolution comparée de la classe d'erreurs sur les bits reçus et du paramètre  $Q_{16}$  le long du trajet. Les évolutions montrent une grande similitude dans leur forme générale bien que la concordance

nen die Leistung des Nutzsignals über  $-95$  dBm lag. Dies war zur Unterdrückung jener Messwerte nötig, die durch das Rauschen beeinträchtigt wurden.

Figur 6 zeigt bis auf eine Ausnahme, dass bei einem Signal-Interferenz-Verhältnis von mehr als 12 dB die Bitfehlerklasse unter 4 liegt. Diese wie andere Messungen beweisen, dass der Grenzwert für den lokalen Mittelwert des Signal-Interferenz-Verhältnisses richtig festgesetzt ist.

### 43 Abhängigkeit der Qualität von der Zeitdispersion

Bevor Messungen der Natel-D-GSM-Funkschnittstelle unter kritischen Rahmenbedingungen in bezug auf Zeitdispersion durchgeführt werden konnten, musste am Fusse des Mt. Salève eine besondere Funkzelle geschaffen werden. Dazu wurde die Basisstation Chêne-Bourg in der Region Genf ausgewählt. Die bestehenden Zellen sind sorgfältig geplant und erlauben es daher nicht, das System bis an dessen Grenzen auszutesten.

Figuren 7, 8 und 9 zeigen, was sich auf einem Wegstück mit ausgeprägter Zeitdispersion abspielt. Die Empfangs-

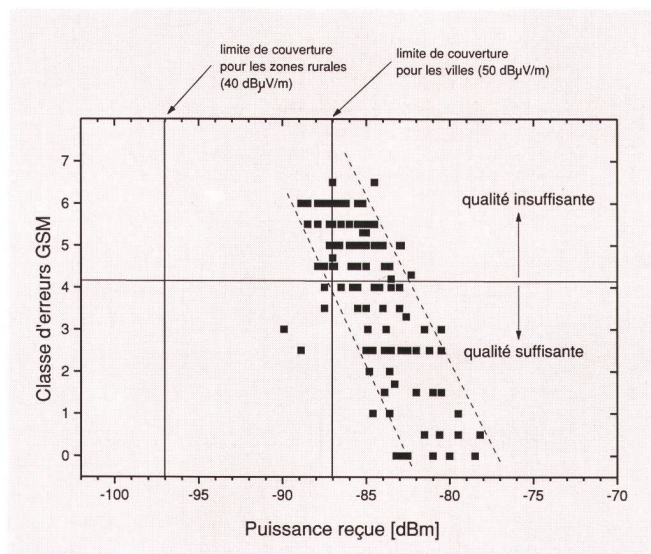


Fig. 8 Graphique représentant la classe d'erreurs des bits reçus en fonction de la puissance reçue (lien descendant) pour le trajet indiqué à la figure précédente – Downlink-Bitfehlerklasse der empfangenen Bits in Funktion der Empfangsleistung auf dem Wegabschnitt der Figur 7

On remarque que la classe d'erreurs 4 est franchie pour des intensités de champ de l'ordre de 55 dB $\mu$ V/m – Man erkennt, dass die Bitfehlerklasse 4 bei Feldstärken in der Größenordnung von 55 dB $\mu$ V/m überschritten wird  
Classe d'erreur – Fehlerklasse  
Puissance reçue – Empfangene Leistung  
Classe d'erreur – Fehlerklasse  
Puissance reçue – Empfangene Leistung  
Limite de couverture – Bedienungsgrenze  
Pour les régions rurales – Für ländliche Gebiete  
Pour les villes – Für Stadtgebiet  
Qualité suffisante – Genügende Qualität  
Qualité insuffisante – Ungenügende Qualität

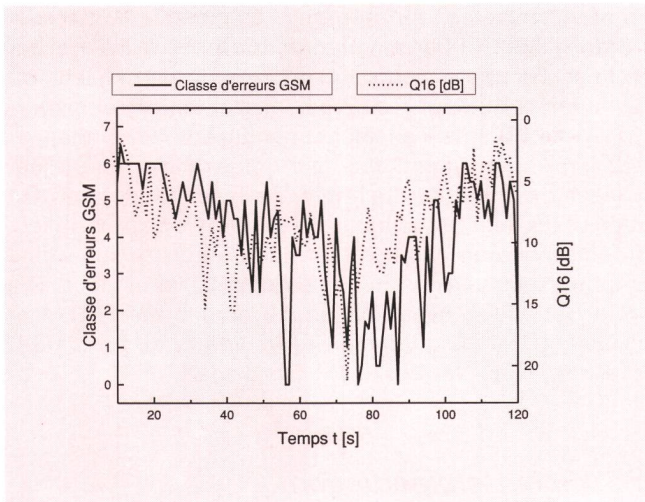


Fig. 9 Graphique représentant l'évolution comparée de la classe d'erreurs des bits reçus et du paramètre  $Q_{16}$  – Die Bitfehlerklasse wird mit dem Parameter  $Q_{16}$  verglichen

On remarque une allure générale très semblable. Les différences locales s'expliquent par le fait que le taux d'erreurs de la transmission et la dispersion temporelle ont été mesurés sur des fréquences légèrement différentes – Man reconnaît une grosse similitude. Les différences locales s'expliquent par le fait que la mesure de la transmission et la mesure de la dispersion temporelle ont été effectuées sur des fréquences différentes. De ce fait, le fading instantané n'est pas le même et seules des moyennes locales peuvent être comparées.

Classe d'erreurs – Fehlerklasse  
Temps – Zeit

ne soit pas exacte au niveau de chaque point. Ceci s'explique par le fait que les mesures du taux d'erreurs binaires de la transmission et de la réponse impulsionnelle du canal ont été effectuées sur des fréquences différentes. De ce fait, le fading instantané n'est pas le même et seules des moyennes locales peuvent être comparées.

A la figure 10, on a représenté la moyenne locale de la classe d'erreurs en fonction du paramètre  $Q_{16}$  pour un très grand nombre de mesures, y compris des mesures où la puissance reçue était faible. La moyenne locale a été évaluée sur un segment glissant de 90 m. Il apparaît clairement que si  $Q_{16}$  est inférieur à 12 dB et donc que la dispersion temporelle est inacceptable, la classe d'erreurs est supérieure à la classe 3 quel que soit le niveau de puissance reçu. La déduction inverse, à savoir que si  $Q_{16}$  est supérieur à 12 dB, la qualité est toujours acceptable, n'est pas possible à partir de ce graphique. En effet des erreurs sont aussi dues à une puissance reçue trop faible malgré un  $Q_{16}$  suffisant. Toutefois la première déduction renforce déjà la validité du paramètre  $Q_{16}$  et de la limite inférieure de 12 dB pour juger de la qualité d'un canal radio Natel D GSM.

## 5 Conclusions

Les résultats des mesures présentées ci-dessus montrent essentiellement trois choses:

- Les spécifications GSM concernant les performances de l'interface radio sont effectivement tenues dans la réalité d'un réseau commercial.

leistung war in allen Fällen höher als  $-90$  dBm, und die Interferenzen waren im gleichen Kanal vernachlässigbar. Deshalb eignete sich dieser Abschnitt sehr gut zur isolierten Untersuchung des Einflusses der Zeitdispersion.

In Figur 7 ist die mittlere Stossantwort, gemessen auf diesem Wegstück, dargestellt. Man erkennt, dass starke Echos mit einer Verzögerung von 15 bis 30  $\mu$ s bezogen auf die direkte Welle eintreffen. In Figur 8 wird in ähnlicher Weise wie in Figur 5 der lokale Mittelwert der Bitfehlerklasse in Funktion der Empfangsleistung dargestellt. Man stellt fest, dass die Fehlerklasse 4, die normalerweise erst bei Feldstärken kleiner als 40 dB $\mu$ V/m erreicht wird, selbst bei Feldstärken bis zu 55 dB $\mu$ V/m überschritten wird. Dies zeigt den heimtückischen Einfluss der Zeitdispersion in Gebieten, wo die Versorgung in Ordnung zu sein scheint. Schliesslich wird in Figur 9 die Bitfehlerklasse der empfangenen Bits dem Parameter  $Q_{16}$  gegenübergestellt. Die Kurven weisen eine grosse Ähnlichkeit in ihrem allgemeinen Verlauf auf, obwohl sich punktweise nicht immer eine exakte Übereinstimmung finden lässt. Dies kann durch die Tatsache erklärt werden, dass die Messung der Natel-D-GSM-Übertragungsbitfehlerrate und die Bestimmung der Kanalschwingantwort auf unterschiedlichen Frequenzen durchgeführt wurde. Aus diesem Grund ist der Kurzzeit-Signalschwund (Short Term Fading) nicht für beide Kanäle derselbe, was bedeutet, dass nur lokale Mittelwerte verglichen werden können.

In Figur 10 ist der lokale Mittelwert der Bitfehlerklasse in Funktion des Parameters  $Q_{16}$  für eine sehr grosse Zahl von Messungen, darunter auch solche mit schwacher

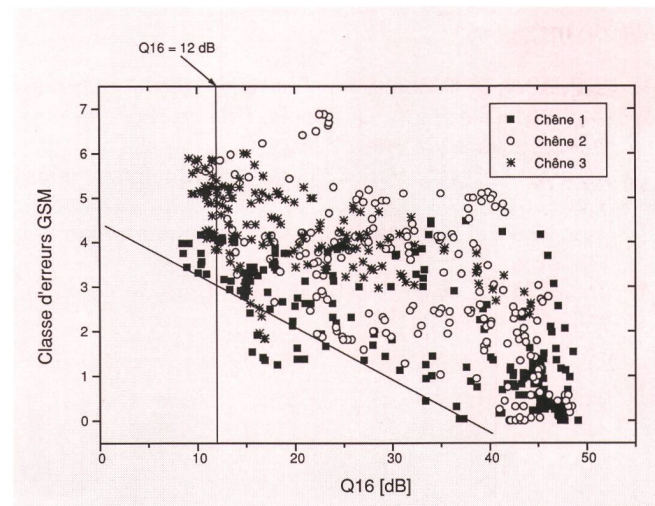


Fig. 10 Classe d'erreurs sur les bits reçus en fonction du paramètre  $Q_{16}$  pour des moyennes locales évaluées sur un segment glissant de l'ordre de 90 m – Bitfehlerklasse der empfangenen Bits in Abhängigkeit des Parameters  $Q_{16}$  für lokale Mittelwerte über ein gleitendes Segment von 90 m Länge

On remarque que si  $Q_{16}$  est inférieur à 12 dB, alors la classe d'erreurs est toujours supérieure à la classe 3. Les données ont été collectées sur trois trajets différents (dénotés Chêne 1, 2 et 3) – Falls  $Q_{16}$  über 12 dB liegt, ist die Bitfehlerklasse immer besser als 3. Die Daten wurden auf drei unterschiedlichen Abschnitten gemessen (benannt Chêne 1, 2 und 3)

Classe d'erreur – Fehlerklasse

- Les bases de planification établies par les PTT Telecom pour le réseau radio Natel D GSM sont correctes et leur respect conduit à une qualité de service suffisante.
- La validité de la méthode de caractérisation de la dispersion temporelle développée aux PTT a été vérifiée. Dans cette méthode on part du principe qu'il y a de «bons et de mauvais échos» et on remplace la complexité de la réponse impulsionnelle par un paramètre appelé rapport d'autointerférences exprimant le rapport entre la puissance reçue effectivement utilisée par le récepteur et les interférences dues à des échos inutilisables. Ce paramètre s'interprète de la même manière qu'un rapport signal-sur-interférences.

Dans cet article on a présenté des concepts permettant de caractériser la qualité d'un canal radio par rapport à un système de transmission donné. Ces concepts ne sont pas exclusivement applicables au Natel D GSM. Ils peuvent être réutilisés pour la plupart des systèmes mobiles numériques. Ils permettent soit de juger l'interface radio du système, soit de valider la planification du réseau radio.

## Bibliographie

- [1] *De Weck J.-P.* Real-Time Characterization of Wide-band Mobile Radio Channels, Dissertation, Technische Universität Wien, 1992.
- [2] Rec. GSM 05.05, Ver. 4.3.0. Radio Transmission and Reception.
- [3] Rec. GSM 03.30, Ver. 4.0.1. Radio Network Planning Aspects.
- [4] *Jakes W. C.* Microwave Mobile Communications, Wiley, New York, 1974.

Empfangsleistung, aufgetragen. Der lokale Mittelwert wurde gleitend über ein Segment von 90 m Länge berechnet. Es zeigte sich deutlich, dass in den Fällen, wo  $Q_{16}$  unter 12 dB liegt – also bei inakzeptabler Zeitdispersion –, die Bitfehlerklasse unabhängig von der Eingangsleistung immer über 3 lag. Die umgekehrte Herleitung, wonach die Bitfehlerklasse immer klein sein sollte, falls  $Q_{16}$  über 12 dB liegt, ist anhand dieser Grafik nicht möglich. Bitfehler werden nämlich hier auch durch zu schwache Empfangsleistung bei genügendem  $Q_{16}$  verursacht. Die erste Herleitung bestätigt jedoch bereits die Gültigkeit des Parameters  $Q_{16}$  und die Grenze von 12 dB für die Beurteilung eines Natel-D-GSM-Funkkanals.

## 5 Schlussfolgerungen

Die vorgestellten Messungen zeigen grundsätzlich drei Ergebnisse:

- Die GSM-Spezifikationen über die Leistungsmerkmale der Funkschnittstelle werden in einem kommerziellen Netz tatsächlich eingehalten.
- Die Planungsgrundlagen der Telecom PTT für das Funknetz Natel D GSM sind richtig, und ihre Einhaltung führt zu einer ausreichenden Qualität des Dienstes.
- Die Gültigkeit der bei den PTT entwickelten Methode zur Charakterisierung der Zeitdispersion wurde bestätigt. Bei dieser Methode wird vom Ansatz ausgegangen, dass eine Stossantwort «gute und schlechte Echos» enthält. Damit reduziert man die Komplexität einer Stossantwort auf einen Parameter, nämlich das Selbstinterferenzverhältnis. Dieses drückt das Verhältnis der verwertbaren Empfangsleistung zu den Interferenzen aus, die durch unverwertbare Echos verursacht werden. Der Parameter kann gleich wie ein Signal-Interferenz-Verhältnis interpretiert werden.

In diesem Artikel wurden Methoden erklärt, die es erlauben, den Funkkanal in bezug auf ein bestimmtes Funkübertragungssystem zu beschreiben. Diese Methoden sind nicht ausschliesslich für Natel D GSM, sondern für die meisten digitalen Mobilfunksysteme anwendbar. Sie erlauben entweder die Funkschnittstelle zu beurteilen oder die Planung des Funknetzes zu überprüfen.

## Zusammenfassung

*Messung der Leistungsmerkmale der Natel-D-GSM-Funkschnittstelle*

Die Leistungsfähigkeit der Natel-D-GSM-Funkschnittstelle wurde in den Netzen Genf und Bern untersucht. Die Messungen erlaubten, die Grundlagen der Funknetzplanung zu überprüfen. Es werden die Kenngrößen beschrieben, welche die Qualität des Funkkanals bezüglich eines vorgegebenen Übertragungssystems charakterisieren. Weiter wird eine neuartige Methode vorgestellt, um die durch Mehrewegausbreitung verursachte Zeitdispersion zu beschreiben. Bei dieser Methode wird vom Prinzip ausgegangen, dass es «gute» und «schlechte» Echos gibt. Die Komplexität einer Funkkanal-Stossantwort wird auf einen Parameter, nämlich das Selbstinterferenzverhältnis, reduziert. Dieses drückt das Verhältnis der vom Empfänger tatsächlich verwertbaren Empfangsleistung zu den Interferenzen aus. Das Selbstinterferenzverhältnis lässt sich gleich interpretieren wie ein Signal-Interferenz-Verhältnis. Die Gültigkeit dieser Methode wird mit Hilfe von Messergebnissen untermauert.

## Résumé

*Mesures des performances de l'interface radio du Natel D GSM*

Les performances de l'interface radio Natel D GSM ont été testées dans le réseau à Genève et à Berne. Ces mesures ont permis de valider les bases de planification du réseau radio. Dans cet article, on explique quels sont les paramètres permettant de caractériser la qualité du canal radio par rapport à un système de transmission donné. Une méthode originale de caractérisation de la dispersion temporelle est présentée. On part du principe qu'il y a de «bons» et de «mauvais» échos et on remplace la complexité de la réponse impulsionnelle par un paramètre appelé rapport d'autointerférences, exprimant le rapport entre la puissance reçue effectivement utilisée par le récepteur et les interférences dues à des échos inutilisables. Ce paramètre s'interprète de la même manière qu'un rapport signal-sur-interférences. La validité de cette méthode est vérifiée à l'aide de résultats de mesures.

## Riassunto

*Misura delle caratteristiche dei collegamenti Natel D GSM*

Nelle reti di Ginevra e di Berna è stata esaminata l'efficienza dei collegamenti radio Natel D GSM. Le misure hanno permesso di controllare le basi della pianificazione delle reti di radiocomunicazione. Gli autori descrivono le grandezze caratteristiche che contrassegnano la qualità del canale radio per ciò che concerne un determinato sistema di trasmissione. In seguito presentano un nuovo metodo che consente di descrivere la dispersione temporale causata dalla propagazione su cammini multipli. Si parte dal principio che l'eco possa avere un effetto «negativo» o «positivo». La complessità di una risposta impulsiva del canale radio viene ridotta a un parametro, ossia al rapporto di autointerferenza. Quest'ultimo rappresenta il rapporto fra la potenza di ricezione realmente sostenibile dal ricevitore e le interferenze. Il rapporto di autointerferenza può essere interpretato come un rapporto segnale/interferenza. La validità di questo metodo viene confermata dai risultati di misura.

## Summary

*Measurement of the Performance Characteristics of the Natel D GSM Radio Interface*

The performance of the Natel D GSM radio interface was tested in the Geneva and Bern networks. The measurements made it possible to verify the assumptions used for the radio network planning. The parameters are described which characterize the quality of the radio channel in relation to a given transmission system. Furthermore, a new method is presented for characterizing the time dispersion caused by multipath propagation. This method is based on the principle that there are «good» and «bad» echoes. The complexity of the radio channel impulse response is reduced to one parameter called self-interference ratio. It is defined as the ratio between the power of the echoes used by the receiver and the one of the echoes unusable by the receiver. The self-interference ratio can be interpreted in the same way as a signal to interference ratio. The effectiveness of this method is verified by means of field test results.