

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

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 72 (1994)

Heft: 4

Artikel: Radiodiffusion numérique (DAB) : principes et stratégies d'introduction = Radiodiffusione digitale (DAB) : basi e strategie di introduzione

Autor: Schwarz, Ernst / Vogel, Heinz

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874708>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Radiodiffusion numérique (DAB): principes et stratégies d'introduction

Radiodiffusione digitale (DAB): basi e strategie di introduzione

Ernst SCHWARZ et Heinz VOGEL, Berne

1 Introduction

Ayant fait connaissance avec les systèmes d'enregistrement audionumériques modernes tels que le disque compact (CD), la bande magnétique audionumérique (DAT), le minidisque (MD) et la cassette compacte numérique (DCC), mais aussi avec les programmes de radiodiffusion numériques émis par les satellites, l'auditeur des programmes radiophoniques OUC diffusés par des émetteurs conventionnels terrestres souhaite vivement que la qualité technique des émissions qu'il capte soit améliorée.

Une étape importante de la réalisation d'une qualité sonore numérique dans le domaine de la radiodiffusion a été franchie à la Fera de 1991 lors de l'introduction du système «Digital Satellite Radio», ou comme on l'appelle en Suisse «Digit Super Radio». Vu que ces signaux ne sont diffusés que par câble ou par satellite, ce système ne permet toutefois qu'une réception stationnaire.

Les auditeurs se déplacent de plus en plus souvent et ont en conséquence modifié leurs habitudes d'écoute. Ils souhaitent non seulement une meilleure qualité technique lors de la réception de la radio à domicile mais tout particulièrement lorsqu'ils circulent avec une voiture équipée d'un autoradio.

La radiodiffusion OUC analogique date des années 50 et 60 et a surtout été conçue pour la réception stationnaire au moyen d'une antenne à effet directif. Tout particulièrement dans les régions accidentées et compte tenu de la propagation par trajets multiples, les OUC — un procédé de diffusion analogique à bande étroite — sont extrêmement sensibles aux perturbations. Or, vu que le système OUC ne peut guère être perfectionné, il est pratiquement impossible de réaliser l'impérieuse amélioration de la couverture radiophonique parallèlement à l'augmentation croissante du nombre des émetteurs opérant en mode analogique.

Il est donc absolument nécessaire de disposer d'un système de radiodiffusion numérique terrestre en tant que complément, à moyenne échéance, du système analogique OUC FM, eu égard aux nombreux problèmes de desserte en suspens. D'autres pays européens se trouvent dans une situation analogue.

2 Quels sont les avantages du système DAB pour l'auditeur?

Le système DAB (Digital Audio Broadcasting) développé dans le cadre du programme de recherche EUREKA 147

1 Introduzione

I moderni sistemi digitali per la registrazione audio come il Compact Disc (CD), il Digital Audio Tape (DAT), il Mini Disk (MD), la Digital Compact Cassette (DCC) e i programmi digitali diffusi via satelliti risvegliano nell'ascoltatore di programmi radiofonici OUC terrestri convenzionali il desiderio di disporre di una migliore qualità tecnica.

Un importante passo avanti verso la qualità audio digitale nella radiodiffusione è stato compiuto con l'introduzione alla Fera 1991 del sistema «Digital Satellite Radio» o, come viene chiamato in Svizzera, del sistema «Digit Super Radio». Questo sistema, distribuito esclusivamente via cavo o via satellite, consente però solo la ricezione stazionaria.

La sempre crescente mobilità e i cambiamenti delle abitudini di ascolto che ne derivano richiedono oggi una migliore qualità tecnica della ricezione fissa e in particolare di quella mobile, soprattutto per quanto riguarda la ricezione radiofonica nei veicoli in movimento.

La radiodiffusione OUC analogica è stata introdotta negli anni cinquanta e sessanta ed è stata sviluppata soprattutto per la ricezione stazionaria con antenna direttiva. La radiodiffusione OUC non è adatta alla ricezione mobile soprattutto nelle regioni montagnose poiché il suo sistema analogico di trasmissione a banda stretta è particolarmente sensibile alla propagazione su cammini multipli. Dato che il sistema OUC è difficilmente perfezionabile, non è possibile migliorare nella misura desiderata la copertura considerato il costante aumento della densità dei trasmettitori nella tecnica analogica.

Per completare a media scadenza il sistema analogico OUC FM è quindi assolutamente indispensabile e, considerando i numerosi problemi attuali, urgente disporre di un sistema di radiodiffusione terrestre digitale. Altri Paesi europei si trovano in una situazione simile.

2 Cosa apporta la radiodiffusione digitale all'ascoltatore?

Grazie al sistema DAB (Digital Audio Broadcasting) sviluppato nell'ambito del programma di ricerca EUREKA 147 della CE sarà a disposizione a media-lunga scadenza un sistema di radiodiffusione che rispetto al sistema OUC FM presenta in sostanza i seguenti vantaggi:

– trasmissione senza disturbi di segnali anche in caso di intensa ricezione su cammini multipli

de la CE, représente, à moyenne et à longue échéance, un service de radiodiffusion sonore offrant les avantages suivants par rapport au procédé OUC FM analogique:

- Transmission exempte d'erreurs des signaux, même en cas de réception par trajets multiples
- Qualité audio comparable au disque compact CD
- Meilleure utilisation du spectre des fréquences disponibles (trois fois meilleure au moins qu'en OUC) lors de l'utilisation de réseaux dont les émetteurs opèrent sur la même fréquence
- Desserte simplifiée des récepteurs (choix du programme et non de la fréquence par simple pression sur une touche)
- Emploi de systèmes d'antennes simples (par ex. antennes fouet)
- Transmission plus aisée d'informations supplémentaires (radioguidage, données, appel de personnes, etc.)
- Puissance d'émission réduite pour les réseaux dont les émetteurs opèrent sur la même fréquence, étant donné que chacun d'eux peut diffuser plusieurs programmes.

3 Bases

Le système DAB repose sur deux principes de base, qui permettent d'utiliser aussi rationnellement que possible le spectre limité des fréquences disponibles. Le premier principe est le *codage à la source*, qui réduit à un volume «raisonnable» le flux de données provenant d'une source sonore. Le deuxième est le *schéma de modulation*, qui permet d'éliminer les problèmes bien connus affectant la radiodiffusion OUC, à savoir le fading, les problèmes de propagation par trajets multiples, etc. Ce procédé de modulation permet en outre l'exploitation de réseaux opérant sur la même longueur d'onde, d'où la possibilité d'utiliser économiquement le spectre des fréquences.

31 Codage à la source selon la technique MUSICAM

Il y a peu, on ne pouvait concevoir la mise en œuvre d'un système de radiodiffusion numérique, vu qu'une conversion directe du signal sonore eût utilisé un spectre de fréquences beaucoup trop large. En effet, un signal CD émis selon un procédé de codage conventionnel occuperait une largeur de bande d'environ 560 kHz, et cela sans aucune protection contre les erreurs.

Il s'agissait donc de trouver un moyen d'obtenir une réduction très importante du débit binaire élevé propre aux systèmes d'enregistrement numérique linéaire, sans pour autant être obligé de prendre en compte une détérioration perceptible de la qualité. La technique utilisée, dite MUSICAM (*Masking pattern adapted Universal Subband Integrated Coding And Multiplexing*) est un procédé développé en majeure partie à l'Institut allemand des techniques de radiodiffusion (IRT).

- qualité audio paragonable à celle du CD
- emploi meilleur du spectre des fréquences disponibles (fino a tre volte migliore rispetto a quello delle OUC) in caso di utilizzazione di *reti isofrequenziali*, i cui trasmettitori lavorano tutti sulla stessa frequenza
- emploi plus simple degli apparecchi di ricezione (selezione a tasti del programma e non della frequenza)
- impiego di sistemi di antenne più semplici (p. es. antenne ad asta)
- maggiori informazioni (sistemi di istradamento del traffico, dati, chiamata persone ecc.)
- potenza di trasmissione ridotta in caso di reti con la stessa onda dato che attraverso un trasmettitore si possono emettere vari programmi.

3 Basi

La radiodiffusione digitale DAB si basa su due principi fondamentali che consentono di utilizzare nel modo più efficiente lo spettro limitato delle frequenze. Il primo principio è la codifica di sorgente che consente di ridurre il flusso dei dati di una sorgente sonora ad un livello «ragionevole». Il secondo principio è lo *schema di modulazione* mediante il quale si possono eliminare i ben noti problemi insiti nella radiodiffusione OUC come ad esempio l'affievolimento e i problemi legati alla propagazione su cammini multipli. Questo sistema di modulazione consente infine l'esercizio di *reti con la stessa onda*, che permettono un uso parsimonioso dello spettro delle frequenze.

31 Codifica di sorgente secondo la procedura MUSICAM

Fino a poco tempo fa, l'impiego di un sistema digitale di radiodiffusione era impensabile poiché la trasformazione diretta del segnale sonoro avrebbe occupato troppo spettro. Un segnale CD inviato con un procedimento di codificazione convenzionale occuperebbe una larghezza di banda di circa 560 kHz senza nessuna protezione contro gli errori.

Si sono dovute pertanto trovare delle vie per ridurre drasticamente l'elevato tasso di dati di sistemi di registrazione digitali lineari senza subire perdite di qualità percepibili. La procedura MUSICAM (*Masking pattern adapted Universal Subband Integrated Coding And Multiplexing*) rappresenta la soluzione; si tratta di un procedimento sviluppato principalmente presso l'istituto tedesco per la tecnica di radiodiffusione (IRT).

I dati possono essere ridotti senza perdite di qualità percepibili mediante l'impiego di tecniche e di algoritmi che sfruttano le *proprietà psico-acustiche dell'udito*. Fondamentale è l'eliminazione dell'irrelevanza nel segnale audio da trasmettere:

- sfruttamento della soglia di «non udibilità» (ciò che non si sente non deve nemmeno essere trasmesso)
- sfruttamento delle caratteristiche di mascheramento proprie dell'orecchio (*Masking pattern*)

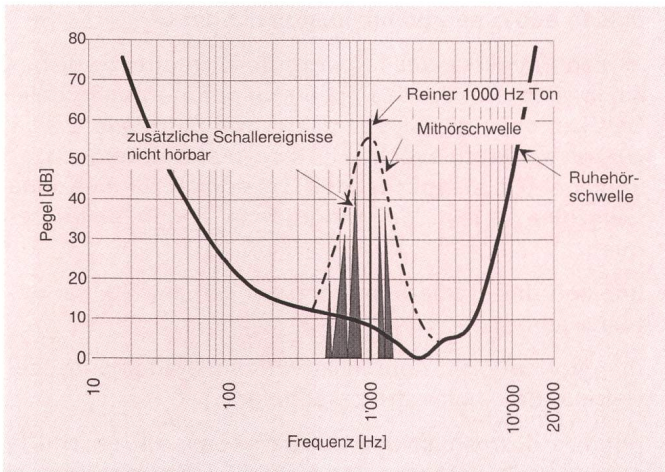


Fig. 1 *Caractéristiques de masquage de l'oreille humaine — Propriété di mascheramento dell'udito umano*

Pegel [dB] — Niveau [dB] — Livello [dB]
 Zusätzliche Schallereignisse nicht hörbar — Phénomènes sonores supplémentaires non audibles — Altri eventi acustici non udibili
 Reiner 1000-Hz-Ton — Son pur de 1000 Hz — Suono puro 1000 Hz
 Mithörschwelle — Seuil de co-audibilité — Soglia di «coudibilità»
 Ruhehörschwelle — Seuil de non-audibilité — Soglia di «non udibilità»
 Frequenz [Hz] — Fréquence [Hz] — Frequenza [Hz]

Les données peuvent donc être comprimées sans une dégradation audible de la qualité, en faisant appel à des techniques et à des algorithmes tirant parti des *caractéristiques psycho-acoustiques de l'oreille humaine*. Le principe consiste à retirer du signal sonore à transmettre toutes les informations qui ne sont pas significatives. Il est donc possible:

- d'utiliser le seuil de non-audibilité (ce que l'on n'entend pas ne doit pas être transmis)
- d'utiliser les caractéristiques de masquage auditif (Masking pattern)
- de répartir le spectre audible en sous-bandes (Subband).

Si l'on ne capte qu'un son pur, l'oreille superpose au seuil de non-audibilité un seuil de co-audibilité, qui dépend de la fréquence et du niveau du son reçu. Les sons supplémentaires, qui se situent au-dessous de ce seuil de co-audibilité, sont masqués, c'est-à-dire éliminés par filtrage. Il est clair que l'on peut ainsi enlever du signal d'origine les informations qui ne sont pas nécessaires.

A la *figure 1* est reproduite la courbe de sensibilité typique de l'oreille humaine, montrant le seuil de non-audibilité et, en présence d'un son, un seuil de co-audibilité superposé. Tous les sons dont le niveau se situe au-dessous de ce niveau combiné sont inaudibles et ne contribuent pas à la caractéristique sonore selon la définition du procédé MUSICAM.

A chaque échantillonnage du signal d'origine, le seuil de non-audibilité est superposé au seuil de co-audibilité momentané du signal, c'est-à-dire que le seuil de co-audibilité est recalculé à chaque échantillonnage.

- subdivision de la gamme audible en bandes partiales (Subband).

Se si riceve solo un suono puro, l'udito sovrappone alla soglia di «non udibilità» una soglia di «coudibilità» che dipende dalla frequenza e dal livello del suono ricevuto. Suoni supplementari che si trovano al di sotto di questa soglia di «coudibilità» vengono mascherati, ossia eliminati mediante filtraggio. È evidente che in questo modo l'informazione non necessaria può essere eliminata dal segnale originale.

La *figura 1* illustra l'audiogramma dell'orecchio umano composto dalla soglia di «non udibilità» e, in presenza di un suono, da una soglia di «coudibilità» sovrapposta. Tutti i suoni, il cui livello si trova al di sotto di questa soglia combinata, non sono udibili e, secondo la definizione MUSICAM, non contribuiscono alla caratteristica del suono.

Per ogni campionamento del segnale originale vengono sovrapposte al segnale la soglia di «non udibilità» e la soglia di «coudibilità» momentanea, ossia la soglia di «coudibilità» viene calcolata nuovamente per ogni campionamento.

Affinché questo compito possa essere un po' semplificato per i processori utilizzati, la gamma di frequenze trasmessa (16 Hz–24 KHz per un tasso di campionamento di 48 kHz) è suddivisa in 32 bande parziali di 750 Hz ciascuna. Ogni banda parziale viene ora, secondo il criterio di *Shannon*, sottoposta a campionamento con una frequenza di 1,5 kHz e codificata. Le proprietà temporali di mascheramento dell'udito consentono di riassumere 12 valori di campionamento in un blocco di 8 ms.

La codificazione non viene effettuata in modo lineare, ma anche in questo caso si tiene conto delle caratteristiche della musica e dell'udito, soprattutto della dinamica.

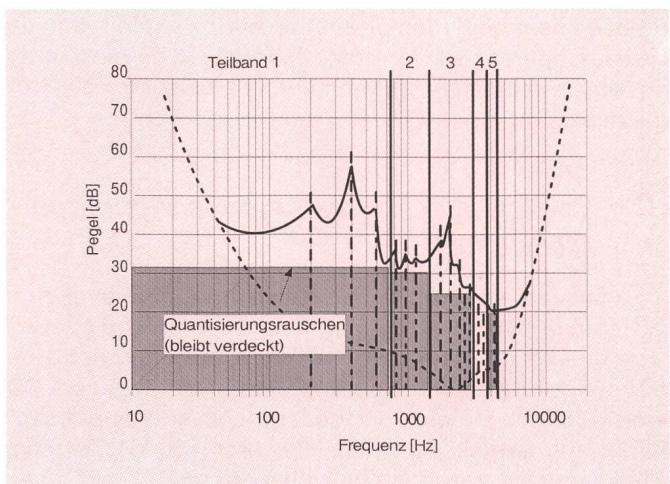


Fig. 2 *Subdivision de la plage audible en sous-bandes; quantification et souffle admissible — Suddivisione della gamma udibile in bande parziali; quantizzazione e rumore tollerabile*

Teilband 1 — Sous-bande 1 — Banda parziale 1
 Pegel [dB] — Niveau [dB] — Livello [dB]
 Quantisierungsrauschen (bleibt verdeckt) — Bruit de quantification (reste masqué) — Rumore di quantizzazione (rimane mascherato)
 Frequenz [Hz] — Fréquences [Hz] — Frequenza [Hz]

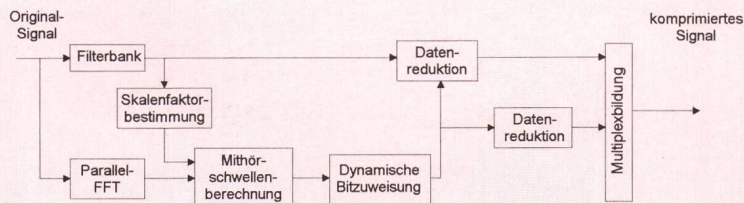


Fig. 3 *Principe du fonctionnement du codeur MUSICAM — Principio di funzionamento del codificatore MUSICAM*

Originalsignal — Signal original — Segnale originale	Dynamische Bitzuweisung — Affectation dynamique des bits — Attribuzione dinamica di bit
Filterbank — Cellules de filtrage — Banco di filtraggio	Datenreduktion — Compression des données — Riduzione dei dati
Skalenfaktorbestimmung — Détermination de l'échelonnement des valeurs — Determinazione dei fattori gradualità	Multiplexbildung — Multiplexage — Formazione del multiplex
Parallel-FFT — FFT en parallèle — FFT in parallelo	Komprimiertes Signal — Signal comprimé — Segnale compresso
Mithörschwellenberechnung — Calcul du seuil de co-audibilité — Calculo della soglia di «coudibilità»	

Afin de faciliter la tâche des processeurs de signaux utilisés à cet effet, la plage des fréquences à transmettre (de 16 Hz à 24 kHz pour un taux d'échantillonnage de 48 kHz) est subdivisée en 32 signaux de sous-bande de 750 Hz chacun. Chaque sous-bande est alors explorée et codée à une fréquence d'échantillonnage de 1,5 kHz selon le critère de *Shannon*. L'effet de masquage spectral temporel lors de la perceptibilité des sons permet de regrouper 12 valeurs d'échantillonnage en un bloc de 8 ms.

Le codage n'est pas effectué de manière linéaire, mais on prend aussi en compte les particularités de la musique et de la perception auditive, à savoir surtout la dynamique. Si l'on considère le niveau des composantes de fréquences d'une sous-bande, on s'aperçoit que les variations de niveau à l'intérieur d'un bloc sont relativement faibles.

On code de ce fait avec un échelonnement des valeurs d'une résolution de 6 bits, constant pour un bloc déterminé, et une valeur d'échantillonnage instantanée d'une longueur de 4 bits au plus. La précision nécessaire de la valeur d'échantillonnage est limitée par le bruit de quantification, qui doit se trouver au-dessous du seuil de co-audibilité de la sous-bande considérée (fig. 2).

La subdivision en sous-bandes d'une largeur constante pose des problèmes au niveau de la précision d'échantillonnage, surtout dans la sous-bande inférieure comprenant plusieurs octaves. Pour cette raison, on procède parallèlement au filtrage du signal sonore à une transformée rapide de Fourier. Elle sert à une analyse spectrale du signal plus précise, qui permet de déterminer avec la meilleure précision possible le seuil de co-audibilité et de réaliser en conséquence une affectation minimale des bits pour les 32 sous-bandes, compte tenu d'une qualité subjective maximale. La *figure 3* montre le principe de fonctionnement du codeur MUSICAM. Ce procédé est standardisé selon la norme ISO 11172-3, couche II.

Se si osserva il livello delle parti di frequenza in una banda parziale si constata che le variazioni di livello all'interno di un blocco sono relativamente ridotte.

Si codifica pertanto mediante un fattore di graduazione con una risoluzione di 6 bit che è costante per ogni blocco e mediante il relativo valore di campionamento momentaneo lungo al massimo 4 bit. La precisione necessaria del valore di campionamento risulta dal rumore di quantizzazione, che deve trovarsi al di sotto della soglia di «coudibilità» nella relativa banda parziale (fig. 2).

La suddivisione in bande parziali con una larghezza di banda costante causa problemi per ciò che riguarda la precisione di campionamento, soprattutto nella banda parziale inferiore, che comprende varie ottave. Per questo motivo, parallelamente al filtraggio del segnale audio viene eseguita una rapida trasformata di Fourier (Fast Fourier Transform, FFT). Quest'ultima serve ad un'analisi spettrale più esatta del segnale per determinare nel modo più preciso le soglie di «coudibilità» e per ottenere così un'assegnazione di bit minima per le 32 bande parziali con la massima qualità soggettiva. La *figura 3* illustra il principio di funzionamento del codificatore MUSICAM. Questo procedimento è normalizzato in base alla norma ISO 11172-3, Layer II.

Le funzioni presenti nel codificatore sono assai complesse e richiedono un notevole lavoro di calcolo. La realizzazione di un codificatore è quindi costosa e di conseguenza i prezzi di ogni apparecchio sono relativamente elevati.

Al contrario, la realizzazione del decodificatore non presenta difficoltà: le funzioni del codificatore vengono semplicemente invertite. Soprattutto i ricevitori dotati di decodificatore integrato devono poter essere prodotti a prezzi vantaggiosi (fig. 4).

32 Schema di modulazione COFDM

Il COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) caratterizza due importanti particolarità:

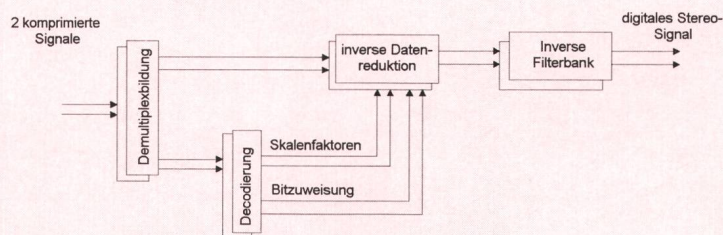


Fig. 4 Principe de fonctionnement du décodeur MUSICAM — Principio di funzionamento del decodificatore MUSICAM

2 komprimierte Signale — 2 signaux comprimés — 2 segnali compressi
 Demultiplexbildung — Démultiplexage — Formazione del demultiplex
 Decodierung — Décodage — Decodificazione
 Skalenfaktoren — Facteurs d'échelonnement des valeurs — Fattori graduali

Bitzuweisung — Affectation des bits — Attribuzione di bit
 Inverse Datenreduktion — Compression inverse des données — Riduzione inversa dei dati
 Inverse Filterbank — Cellule de filtrage inverse — Banco di filtraggio inverso
 Digitales Stereosignal — Signal stéréophonique numérique — Segnale stereo digitale

Les fonctions qu'accomplit le codeur sont extrêmement complexes et exigent une haute puissance de calcul. C'est la raison pour laquelle la construction d'un codeur est très coûteuse, d'où son prix fort élevé.

En revanche, la structure du décodeur est simple, les fonctions du codeur sont simplement inversées. Il importe avant tout que les récepteurs et le codeur qu'ils contiennent puissent être vendus à un prix attrayant (fig. 4).

- la transmission parallèle dell'informazione attraverso un grande numero di subportanti
- la codification del canale, la quale protegge le informazioni da errori di trasmissione.

Si tratta in sostanza di uno sviluppo del CCETT francese (Centre Commun d'Etudes de Télédiffusion et Télécommunications).

Il sistema è stato adattato alle caratteristiche del canale di radiocomunicazione. In questo modo vengono evitati in particolare i problemi dal lato della ricezione che sorgono nel caso della ricezione mobile OUC (affievolimento, ricezione su cammini multipli). Dall'addizione di più onde (riflessioni) risultano massimi e minimi (fading selettivo). Le relazioni di fasi e le relative ampiezze possono portare a una cancellazione pressoché completa dell'intensità di campo locale. Questa variazione dipende dalla larghezza della banda: quanto più è grande la larghezza della banda tanto più piccole sono le variazioni misurabili localmente (fig. 5).

32 Schéma de modulation COFDM

COFDM est le sigle de Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex, en français multiplexage par répartition en fréquences orthogonales avec codage convolutif. Les deux caractéristiques essentielles de ce principe sont les suivantes:

- fractionnement de l'information à transmettre en un grand nombre de sous-porteuses
- codage du canal protégeant les informations contre les erreurs de transmission.

Il s'agit pour l'essentiel d'un développement de l'organisme français CCETT (Centre Commun d'Etudes de Télédiffusion et Télécommunications).

Le procédé a été adapté aux caractéristiques du canal radio. Il est ainsi en particulier possible d'éviter les problèmes côté réception, tels qu'ils apparaissent lors de la réception des OUC à bord d'un véhicule (évanouissements, réception par trajets multiples). Lorsque plusieurs ondes s'additionnent (réflexions), il en résulte d'importantes fluctuations (fading sélectif). Les relations de phase et les amplitudes relatives peuvent conduire à une suppression quasi totale du champ local. Cette variation dépend de la largeur de bande; plus celle-ci est élevée, moins les variations locales sont mesurables (fig. 5).

En vue de réduire le fading sélectif, il importe donc de choisir une largeur de bande de transmission aussi

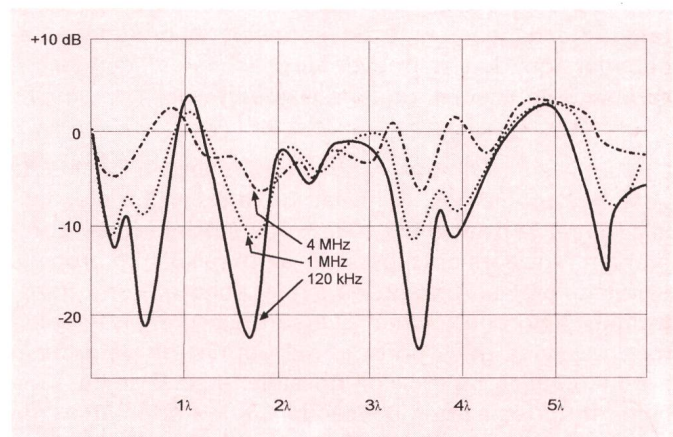


Fig. 5 Evanouissement le long d'un trajet pour diverses largeurs de bande (fading sélectif) — Fading lungo un percorso in caso di diverse larghezze di banda (fading selettivo)

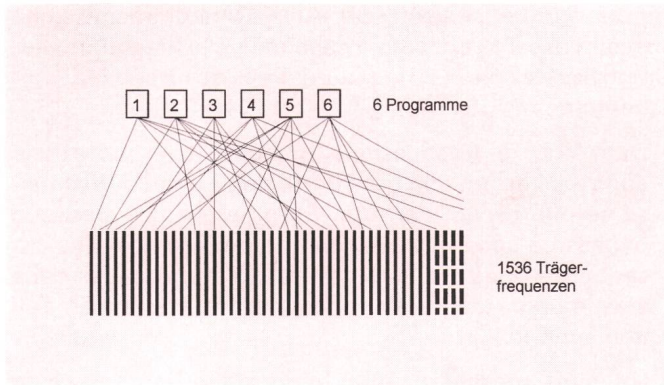


Fig. 6 Répartition des divers programmes sur les sous-porteuses du modulateur COFDM — Suddivisione dei singoli programmi sulle subportanti del modulatore COFDM

6 Programme — 6 programmi — 6 programmi
1536 Trägerfrequenzen — 1536 fréquences porteuses — 1536 frequenze portanti

grande que le permet le spectre des fréquences utilisables. Un tel procédé est aussi appelé «Spread Spectrum System». Il est vrai que les exigences en matière d'économie de fréquences et l'emploi d'une grande largeur de bande permettant de supprimer le fading sont des conditions apparemment incompatibles.

Il existe en principe deux possibilités de combiner ces exigences: «Frequency Hopping» (procédé du saut de fréquence) ou transmission jumelée de plusieurs programmes. La deuxième variante a été choisie pour le système DAB. Dans ce procédé, le signal à haute fréquence se compose de 1536 porteuses distribuées sur une largeur de bande de 1,5 MHz. Chaque porteuse est modulée à un débit binaire peu élevé selon le procédé de la modulation de phase différentielle en quadrature (DQPSK). L'écart entre porteuses correspond à la valeur inverse de la durée des bits (cette disposition orthogonale conduit à une efficacité spectrale d'environ 1,6 bit/s/Hz). Un certain nombre de programmes audio, c'est-à-dire un multiplex de programmes est réparti sur cette porteuse (fig. 6).

Un autre problème de la réception mobile est la sélectivité temporelle du canal de transmission (par ex. des évanouissements lors du passage dans une zone d'ombre). En DAB, on pare à cet inconvénient par un entrelacement temporel du signal audio. Les divers blocs de données du programme font l'objet d'une mémorisation intermédiaire puis d'une réémission selon un autre ordre. Côté récepteur, l'ordre correct est reconstitué par lecture asservie de la mémoire de réception (fig. 7).

En vue de corriger les erreurs qui se produisent sur le trajet de transmission, on applique divers procédés de reconstitution et de recouvrement, suivant la longueur de l'interruption:

- Etant donné que la transmission est protégée contre les erreurs, la majeure partie des erreurs de transmission peut être corrigée. Si tel n'est pas le cas, on répète, par exemple, le dernier train binaire reçu correctement. En raison de l'entrelacement temporel, ces brefs recouvrements sont inaudibles.

Per ridurre il fading selettivo si dovrebbe scegliere la larghezza di banda di trasmissione massima sopportabile dal punto di vista delle frequenze. Un tale sistema viene anche chiamato «Spread Spectrum System». Tuttavia le esigenze di economizzare frequenze da un lato e di disporre di una grande larghezza di banda di trasmissione contro il fading dall'altro sono in contrapposizione.

Le due esigenze possono per principio essere combinate in due modi: «Frequency Hopping» (metodo di salto di frequenza) o la contemporanea trasmissione di più programmi. Per la radiodiffusione digitale è stata scelta la seconda variante. Il segnale ad alta frequenza è costituito nell'ambito di questo metodo, di 1536 portanti suddivise su una larghezza di banda di 1,5 MHz. Ogni portante è modulata con un tasso di dati limitato nella modulazione DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) e la distanza delle portanti corrisponde al valore inverso della durata del bit (questa disposizione ortogonale fornisce un'efficienza dello spettro di circa 1,6 bit/s/Hz). Un numero di programmi audio, il programma Multiplex, viene ripartito su queste portanti (fig. 6).

Un ulteriore problema per ciò che concerne la ricezione mobile è la selettività temporale del canale di trasmissione (p. es. interruzioni in zone d'ombra). Questo problema viene risolto mediante uno sfasamento temporale del segnale del programma. I singoli blocchi di dati del programma vengono memorizzati temporaneamente e trasmessi in un'altra successione. Nel ricevitore viene ristabilita l'esatta successione mediante la lettura comandata a partire dalla memoria di ricezione (fig. 7).

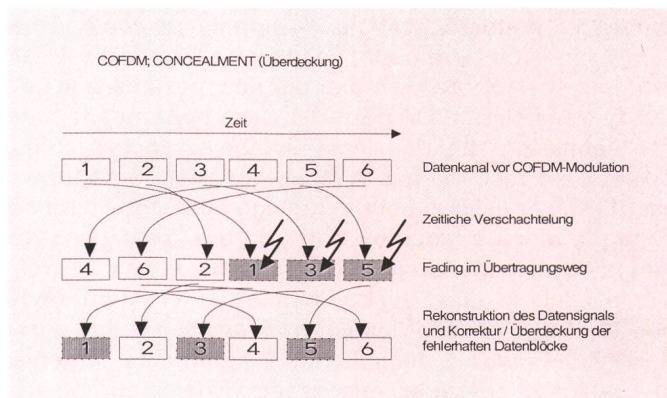


Fig. 7 Occultation (recouvrement) d'erreurs par entrelacement temporel — Concealment (mascheramento) di errori mediante sfasamento temporale COFDM, CONCEALMENT (Überdeckung) — COFDM, occultation (recouvrement) — COFDM, CONCEALMENT (mascheramento)

Zeit — Temps — Tempo
Datenkanal vor COFDM-Modulation — Canal de données avant la modulation COFDM — Canale dei dati prima della modulazione COFDM
Zeitliche Verschachtelung — Entrelacement temporel — Sfasamento temporale
Fading im Übertragungsweg — Evanouissement sur le trajet de transmission — Fading sulla via di trasmissione
Rekonstruktion des Datensignals und Korrektur/Überdeckung der fehlerhaften Datenblöcke — Ricostruzione del segnale dei dati e correzione/mascheramento dei blocchi dei dati difettosi

- Un autre procédé de masquage des erreurs consiste en une brève substitution d'un canal stéréophonique par l'autre, dans la mesure où celui-ci n'est pas perturbé.

La description de ces procédés pourrait faire penser qu'ils conduisent à une dégradation insupportable du signal musical. Or, l'oreille humaine est très tolérante à l'égard des erreurs et a la faculté étonnante de corriger les impressions reçues de manière à ce que l'on perçoive le son voulu. Il est clair que l'on a tenu compte en conséquence de ces seuils de perceptibilité lors de la conception du système.

Un inconvénient dû à ces procédés, impossible à supprimer, réside cependant dans le fait que l'entrelacement temporel des signaux des mémoires d'émission et de réception interdit les transmissions «en direct»; en effet, l'auditeur perçoit le signal avec un retard de 0,5 s environ, d'où la nécessité de prendre des mesures voulues côté studio (signal horaire, monitoring, etc.).

Afin que le récepteur puisse se synchroniser sur ce signal numérique à large bande, les données sont conditionnées en conséquence. Une caractéristique importante de ce système est l'insertion d'un intervalle de garde temporel entre symboles successifs. Cet intervalle est important en présence de fortes réflexions affectées d'un retard, étant donné que le prochain bit n'est émis que lorsqu'il n'est plus guère probable qu'une réflexion du bit précédent soit envisageable. L'intervalle de garde comporte environ un quart de la durée du symbole. En «mode 1» (*fig. 8*), qui convient pour la diffusion terrestre, l'intervalle de garde est de 246 ms.

Le signal numérique est organisé en plusieurs paquets. Durant le premier symbole — appelé *symbole 0* — l'émission est interrompue. Pendant ce temps, il est par exemple possible de contrôler par des mesures si le canal de transmission est perturbé, sans pour autant couper l'émission. Le deuxième symbole, appelé «Sine Sweep» est reconnu par le récepteur quant à sa forme est utilisé par celui-ci pour le réglage du décodeur, dans l'optique d'une adaptation optimale aux distorsions de temps de propagation de groupes et aux échos. Le troisième symbole, dit «Service Channel» ou «Fast Information Channel» contient les informations sur la composition instantanée du multiplex de programmes, le genre de protection contre les erreurs, etc. Finalement, on envoie les données caractérisant les programmes.

Suivant les exigences, chaque programme peut être muni d'un système de protection contre les erreurs différent. C'est ainsi que la transmission de données requiert par exemple une protection plus efficace qu'une transmission en direct d'un reportage sportif en monophonie.

33 Débits binaires audio, multiplex de programmes

Les caractéristiques du système DAB permettent une structuration souple du débit binaire utile, qui peut également être configurée différemment pendant une

Per correggere gli errori sorti sulla tratta di trasmissione possono essere applicate a seconda della lunghezza dell'interruzione diverse procedure di ricostruzione o di mascheramento:

- Dato che la trasmissione presenta una protezione contro gli errori, una gran parte degli errori di trasmissione può essere corretta. Se gli errori non possono più essere corretti viene ripetuta per esempio l'ultima sequenza di bit ricevuta correttamente. A causa dello sfasamento temporale questi brevi mascheramenti non sono udibili.
- Un altro mascheramento di errori è rappresentato dalla breve sostituzione di un canale stereo con l'altro se quest'ultimo non è disturbato.

Tutto ciò può sembrare una spaventosa «violenza» nei confronti del segnale musicale. L'udito umano tollera tuttavia molto bene gli errori ed ha una straordinaria capacità di correggere le impressioni. Queste soglie di percettibilità sono state naturalmente considerate durante la creazione del sistema.

Un inconveniente irrisolvibile dovuto al sistema è tuttavia il fatto che a causa dello sfasamento temporale vengono utilizzate memorie dal lato della trasmissione e dal lato della ricezione che non consentono vere e proprie trasmissioni «live»; il segnale giunge nell'ascoltatore con circa 0,5 secondi di ritardo. Per risolvere questo problema bisognerebbe prendere dei provvedimenti soprattutto per quanto riguarda lo studio (comunicazione dell'ora, monitoring ecc.).

Affinché il ricevitore si possa sincronizzare su questo segnale a larga banda digitale, i dati vengono adeguatamente preparati. Un'importante caratteristica è l'introduzione di un intervallo di protezione fra due simboli. L'intervallo di protezione è importante in caso di presenza di forti riflessioni differite in quanto il bit seguente viene inviato solo quando la probabilità è grande che non ci si deve aspettare nessun riflesso dal bit precedente. L'intervallo di protezione è di circa $\frac{1}{4}$ del tempo del simbolo. Nel «modo 1» (*fig. 8*), che è adatto alla trasmissione terrestre, l'intervallo di protezione è di 246 ms.

Il flusso di dati viene impacchettato in trame. Durante il tempo del primo simbolo — *simbolo nullo* — non vengono effettuate trasmissioni. In questo tempo si può p. es. misurare la situazione di disturbo nel canale di trasmissione senza che sia necessario interrompere una trasmissione. Il secondo simbolo «Sine Sweep» è noto nella sua forma al destinatario, il quale lo utilizza per regolare il decodificatore adattativo per un ottimale adattamento alle distorsioni del tempo di propagazione e agli echi. Il terzo simbolo «Service Channel» o «Fast Information Channel» contiene informazioni sulla composizione momentanea del programma Multiplex, sul tipo di protezione contro gli errori ecc. Seguono poi i dati del programma.

A seconda delle esigenze ogni programma può essere dotato di una protezione diversa contro gli errori. Per fare un esempio, la trasmissione di dati richiede una

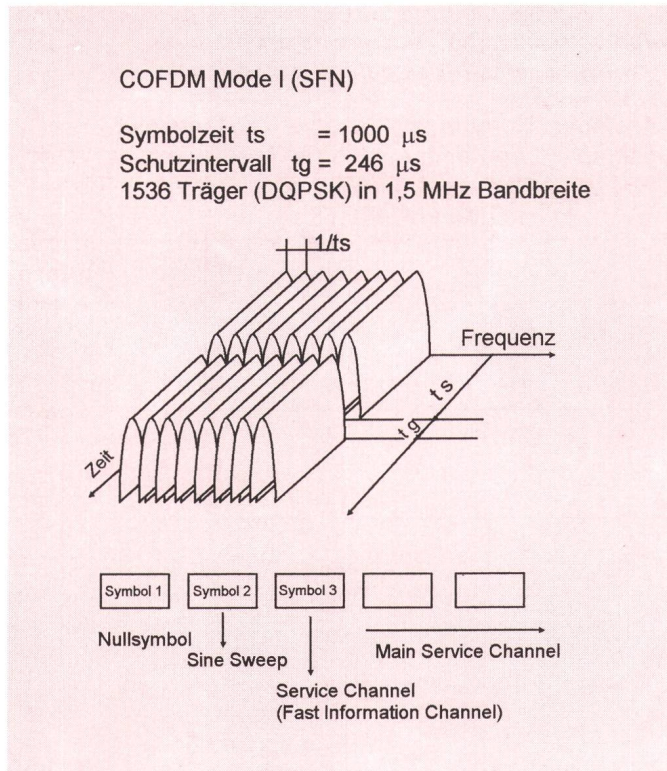


Fig. 8 Structure du signal COFDM — Struttura del segnale COFDM

– Gepulste Aussendung mit Schutzintervall — Emission pulsée avec intervalles de garde — Trasmissione a impulsi con intervallo di protezione

– Rahmenstruktur — Structure de la trame — Struttura della trama

COFDM Mode I (SFN) — Mode COFDM I (SFN) — COFDM modo I (SFN)

Symbolzeit $t_s = 1000 \mu s$ — Durée d'un symbole $t_s = 1000 \mu s$
 — Tempo del simbolo $t_s = 1000 \mu s$

Schutzintervall $t_g = 246 \mu s$ — Intervalle de garde $t_g = 246 \mu s$
 — Intervallo di protezione $t_g = 246 \mu s$

1536 Träger (DQPSK) in 1,5 MHz Bandbreite — 1536 porteuses (DQPSK) pour une largeur de bande de 1,5 MHz — 1536 portanti (DQPSK) nella larghezza di banda 1,5 MHz

Frequenz — Fréquence — Frequenza

Symbol — Symbole — Simbolo

Nullsymbol — Symbole zéro — Simbolo nullo

Sine Sweep — Exploration sinusoïdale — Sine Sweep

Main Service Channel — Canal de service principal — Main Service Channel

Service Channel (Fast Information Channel) — Canal de service (canal pour informations rapides) — Service Channel (Fast Information Channel)

courte durée (journal régional). Selon les expériences faites jusqu'ici, on peut retenir ce qui suit:

- Au moyen d'un débit binaire de 128 kbit/s par canal stéréophonique (soit 256 kbit/s par programme stéréophonique), une qualité transparente est réalisable, ce qui signifie qu'un décodage multiple n'engendre pas une détérioration perceptible de la qualité audio par rapport au signal original. Avec un débit binaire de 2×96 kbit/s, les hautes exigences de qualité en radiodiffusion (JIWP 10-CMTT/1-7), telles qu'elles ressortent des recommandations du CER pour la compression des données audionumériques, sont encore remplies. A 48 kbit/s, on atteint une qualité comparable à la radiodiffusion en modulation d'amplitude, à 32 kbit/s la qualité suffit à la transmission de la parole.

protezione più elevata rispetto alla trasmissione diretta di una manifestazione sportiva in qualità mono.

33 Tassi di bit audio, programma Multiplex

Le caratteristiche della radiodiffusione digitale consentono una strutturazione flessibile del tasso di bit utile, che può essere anche configurata diversamente per poco tempo (notiziario regionale). In base alle conoscenze attuali si può affermare quanto segue:

- con un tasso di bit di 128 kbit/s per ogni canale stereo (ossia 256 kbit/s per ogni programma stereo) è ottenibile una qualità trasparente, ossia molteplici codificazioni/decodificazioni non peggiorano la qualità in modo percettibile rispetto al segnale originale. Un tasso di bit di 2×96 kbit/s consente di soddisfare le raccomandazioni dell'Unione Europea di Radiodiffusione (European Broadcasting Union) in materia di riduzione digitale degli audiodati per elevate esigenze di qualità nelle applicazioni di radiodiffusione (JIWP 10-CMTT/1-7). A 48 kbit/s si raggiunge la qualità ottenuta con la radiodiffusione a modulazione di ampiezza; 32 kbit/s possono bastare per la trasmissione della voce.

- Il sistema MUSICAM accetta tutti i tassi di bit di 32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160–192 kbit/s per ogni monocanale. Un programma Multiplex o blocco di programma che al momento dell'emissione occupa un blocco di frequenze di 1,5 MHz, potrebbe essere configurato secondo la *tabella*.

Per la fase iniziale, il tasso di bit è stato fissato a 2×96 kbit/s (esempio 3). In un blocco di frequenze vengono emessi sei programmi stereofonici. Per l'occupazione di un canale TV con la radiodiffusione digitale possono di conseguenza essere emessi 24 programmi stereofonici (fig. 9).

34 Reti di trasmissione isofrequenziali (SFN)

SFN è l'abbreviazione di *Single Frequency Network*, che significa isofrequenziale. La procedura di modulazione COFDM con l'intervallo di protezione è concepita in particolare per l'esercizio di reti isofrequenziali. In queste reti i trasmettitori sono sincronizzati nella frequenza e fase. La distanza fra le stazioni emittenti può essere p. es. nella banda VHF di circa 70 km senza che ci sia da temere un peggioramento della ricezione a causa delle differenze del tempo di propagazione. I segnali che giungono dopo l'intervallo di protezione hanno un effetto sempre più interferente e la parte costruttiva diminuisce (fig. 10).

La radiodiffusione digitale è soprattutto attrattiva per un'estesa copertura che permette da una lato di economizzare le frequenze e dall'altro un *guadagno di rete*, in altre parole nelle regioni di ricezione in cui parti di segnale di più trasmettitori si sostengono a vicenda può essere ridotta la potenza dei singoli trasmettitori.

– Le système MUSICAM accepte tous les débits binaires de 32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160 à 192 kbit/s par canal monophonique. Un multiplex de programmes ou un bloc de programmes, qui occuperait à l'émission un bloc de fréquences de 1,5 MHz, pourrait être configuré selon le *tableau* ci-dessus.

Durant la phase de l'introduction, le débit binaire a été fixé à 2×96 kbit/s (exemple 3). Dans un bloc de fréquences, on transmet six programmes stéréophoniques. Si l'on occupe un canal TV par une transmission DAB, il est possible d'émettre en conséquence 24 programmes stéréophoniques (*fig. 9*).

34 Réseaux d'émetteurs opérant sur une même fréquence (SFN)

SFN signifie *Single Frequency Network*, c'est-à-dire réseau à fréquence unique ou réseau opérant sur la même fréquence. Le procédé de modulation COFDM, avec l'intervalle de garde évoqué, est spécialement conçu pour l'exploitation de réseaux à fréquence unique. Dans ces réseaux, les émetteurs sont synchronisés en fréquence et en phase. Dans la plage VHF, les émetteurs peuvent par exemple être espacés de 70 km environ, sans qu'il en résulte une détérioration de la qualité de réception due à des différences de temps de propagation de groupes. Si des signaux sont reçus après l'intervalle de garde, on observe de plus en plus d'interférences et l'essai de combinaison additive diminue (*fig. 10*).

Le système DAB est surtout intéressant pour la desserte de grandes surfaces, d'une part, parce qu'il est économique en fréquences, d'autre part, parce qu'il procure un *gain général du réseau*, à savoir que dans les régions où les composants de signaux de plusieurs émetteurs s'additionnent, la puissance de chacune des stations peut être réduite.

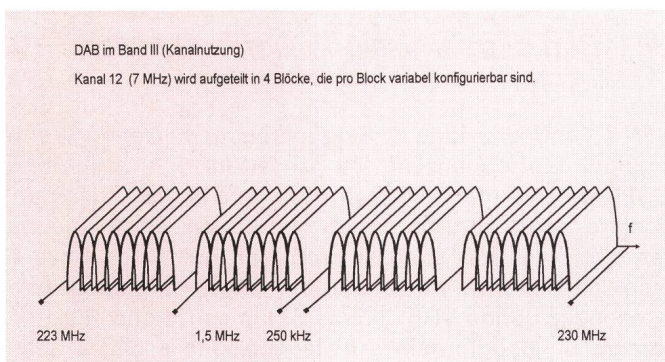


Fig. 9 Occupation d'un canal de télévision à 7 MHz par quatre blocs de fréquences DAB — Occupazione di un canale televisivo di 7 MHz con quattro blocchi di frequenza DAB

DAB im Band III (Kanalnutzung) — DAB dans la bande III (utilisation du canal) — DAB nella banda III (utilizzazione del canale)

Kanal 12 (7 MHz) wird aufgeteilt in 4 Blöcke, die pro Block variabel konfigurierbar sind — Canal 12 (7 MHz) est subdivisé en 4 blocs, à configuration variable pour chaque bloc — Il canale 12 (7 MHz) viene suddiviso in 4 blocchi che sono variamente configurabili per ogni blocco

*Tableau. Exemple de blocs de programme
Tabella. Esempi di blocchi di programma*

Exemple Esempio	Nombre de programmes Numero di programmi	Audio kbit/s Audio kbit/s	Données Dati	
			$R \cong 1/2$	$R \cong 1/3$
1	4	256	160	96
2	5	224	48	32
3	6	192	56	32
4	7	160	96	56
5	9	128	32	24
6	1	256		
	4	192	64	48
	1	128		
7	3	192		
		192*	64	48
	1	128*		
	2	128		

* Multisound
* Multisound

($R \cong 1/3$, c'est-à-dire 2 bits de protection en moyenne par bit de données) — ($R \cong 1/3$ significa in media 2 bit di protezione per ogni bit di dati)

4 Gamme di frequenze per la radiodiffusione digitale

41 Una panoramica

La radiodiffusione digitale è prevista sia per la diffusione e la ricezione diretta da satelliti sia per la diffusione terrestre. In occasione della conferenza WARC 92 (World Administrative Radio Conference) è stata stabilita una banda larga 40 MHz nella gamma 1,5 GHz (banda L) che nella maggior parte dei Paesi sarà per completamente disponibile solo nel 2007.

Al servizio di radiodiffusione digitale terrestre, le frequenze non sono ancora state invece attribuite in modo definitivo. Questo è il compito della prossima conferenza UIT prevista per il 1997/98.

L'impiego di frequenze di satelliti per una diffusione terrestre con copertura capillare della superficie sembra poco razionale. Per raggiungere la stessa copertura come nella banda VHF sarebbero infatti necessari più trasmettitori. La diffusione via satelliti realizzata in un secondo tempo verrebbe inoltre pregiudicata. Studi comparativi sull'utilizzazione terrestre della gamma di 1,5 GHz sono cominciati in ottobre 1993 in Germania, Francia e Inghilterra.

L'Unione europea di radiodiffusione cerca di allestire un piano comune delle frequenze. Tuttavia esistono notevoli problemi poiché nei singoli Paesi operano nelle bande I e III servizi militari diversi.

I lavori eseguiti finora dimostrano che dovrebbe essere possibile diffondere almeno sei programmi stereo a li-

4 Bandes de fréquences assignées au système DAB

41 Aperçu général

Le système DAB est non seulement prévu pour la diffusion par satellite et la réception directe mais aussi pour la couverture par des émetteurs terrestres. La Conférence administrative mondiale des radiocommunications CAMR 92 a assigné une bande de 40 MHz de largeur dans la gamme des 1,5 GHz (bande L) à la radiodiffusion DAB par satellite, bande qui ne sera cependant entièrement disponible dans la plupart des pays qu'à partir de l'an 2007.

En revanche, le service DAB terrestre n'a pas encore bénéficié d'une assignation de fréquences fixe. Ce sera la tâche de la prochaine conférence de l'UIT qui aura vraisemblablement lieu au cours de 1997/98.

Il ne semble guère judicieux d'utiliser les fréquences réservées aux satellites pour une couverture terrestre s'étendant à tout un territoire. Cette manière de faire requerrait plus d'émetteurs pour un même degré de couverture dans la bande VHF, sans compter que la diffusion ultérieure par le moyen de satellites serait entravée. Des études comparatives portant sur l'utilisation terrestre de la gamme de 1,5 GHz ont été mises en chantier au mois d'octobre 1993 en Allemagne, en France et en Grande-Bretagne.

L'Union européenne de radiodiffusion tente d'établir une planification des fréquences commune, mais se heurte à des problèmes importants, étant donné que les divers pays exploitent encore des stations militaires dans les bandes I et III.

Les travaux effectués jusqu'ici montrent qu'il devrait être possible de diffuser au moins six programmes stéréophoniques à l'échelle régionale et nationale en utilisant optimalement les quatre blocs de fréquences disponibles dans le canal de télévision 12 (bande III) pour des réseaux DAB à fréquence unique. Si l'on voulait satisfaire des besoins plus importants, il faudrait, si possible, recourir également à des parties des bandes I ou II et à la bande de 230 à 240 MHz réservées actuellement à des services militaires. Les fréquences de la bande de 1,5 GHz seront vraisemblablement utilisées judicieusement dans le service terrestre pour des émetteurs dits extenseurs de couverture ou d'appoint, notamment dans les zones à haute densité urbaine.

En Suisse, une telle solution obligerait les concepteurs à transférer sur d'autres canaux les émissions d'une série de réémetteurs TV opérant sur le canal 12, dans le cadre du programme de substitution existant, ce qui n'entraînerait pas de frais excessifs. En revanche, l'utilisation des canaux 2 à 4 pour le système DAB en Suisse soulèverait vraisemblablement de grandes difficultés, eu égard à la couverture de base dans la bande I.

Dans ces considérations, il n'a pas été tenu compte de la diffusion locale d'un service DAB, car c'est ici le point faible du système. Lorsqu'on exploite un émetteur unique (qui ne diffuse donc qu'un programme au lieu des six possibles), une exploitation économe en fréquences et en puissance n'est guère possible. Pour cette raison,

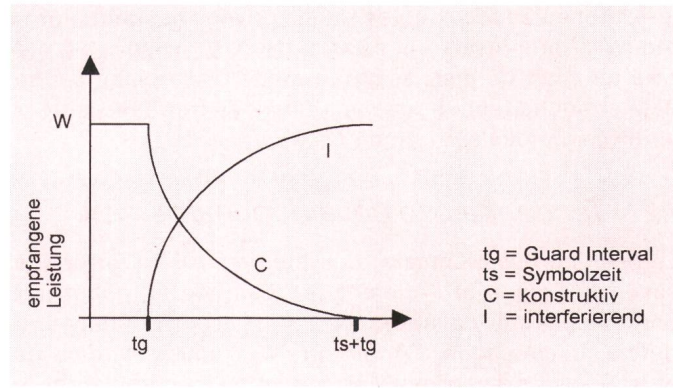


Fig. 10 Effets des composantes de signal constructives (C) et interférentes (I) en cas d'échos survenant plus tard que l'intervalle de garde (tg). Le temps ts correspond à la durée d'un symbole — Contributi delle parti di segnale costruttive (C) e interferenti (I) in caso di echi subentranti dopo l'intervallo di protezione (tg). Il tempo ts corrisponde al tempo del simbolo

Empfangene Leistung — Potenza ricevuta
tg = Guard Interval — tg = intervalle de garde — tg = intervallo di protezione
ts = Symbolzeit — ts = durée d'un symbole — ts = tempo del simbolo
C = konstruktiv — C = constructif — C = costruttivo
I = interferierend — I = interférant — I = interferente

vello regionale o nazionale impiegando in modo ottimale i quattro blocchi di frequenze per le reti a frequenze comuni DAB impiegabili nel canale televisivo 12 (banda III). Per le esigenze più elevate si dovrebbero, dove possibile, impiegare anche parti delle bande I o II e della banda militare attuale da 230 a 240 MHz. Probabilmente sarebbe più razionale l'impiego terrestre delle frequenze nella gamma di 1,5 GHz per trasmettitori ausiliari o complementari p. es. nei grandi agglomerati.

Se in Svizzera si adottasse una tale soluzione bisognerebbe trasferire ad altri canali una serie di ripetitori TV del canale 12 nell'ambito del piano di sostituzione esistente e quindi senza costi straordinari. Sembra invece che l'impiego dei canali 2-4 per la radiodiffusione digitale DAB in Svizzera crei grandi difficoltà in considerazione della copertura di base nella banda I.

In queste riflessioni non si tiene però ancora conto della diffusione DAB locale poiché proprio in quest'ambito il sistema DAB presenta un punto debole. L'esercizio di un trasmettitore singolo (solo con un programma al posto dei possibili 6) non consente un impiego economico dal punto di vista della potenza e della frequenza. Per questo motivo i gestori di radio locali e gli organizzatori privati non possono completamente sostenere la radiodiffusione digitale. Essi pretendono di partecipare alla pianificazione e, di conseguenza, di ricevere frequenze per la diffusione DAB locale.

42 Previsioni

La collaborazione, rivelatasi all'inizio eccellente, fra i pionieri della radiodiffusione digitale in Europa, Francia e Germania, in merito alla pianificazione delle frequenze si è irrigidita. Mentre la Germania, la Gran Bretagna, i

les diffuseurs locaux et les radios privées hésitent à promouvoir sans réserve le service DAB. Ils exigent à juste titre un droit de discussion au stade de la planification déjà et souhaitent se réserver ainsi des fréquences pour la diffusion locale en mode DAB.

42 *Tendances de développement*

La position des pionniers du système DAB en Europe, à savoir la France et l'Allemagne, marquée au début par une excellente collaboration, s'est considérablement durcie. L'Allemagne, l'Angleterre, les pays scandinaves et la Suisse préconisent comme jusqu'ici d'implanter le système DAB terrestre dans les bandes de radiodiffusion I à III (40 à 350 MHz), bien qu'elles soient fortement occupées. Ils estiment que cette solution est économique et judicieuse du point de vue physique, tandis que la France voudrait immédiatement utiliser pour le service DAB terrestre les fréquences réservées au service DAB par satellite lors de la CAMR 92 (1,5 GHz, une bande non occupée en France). Les positions en fréquences de la France dans la bande L seraient affectées à une date ultérieure à un service DAB par satellite et l'on utiliserait pour le service terrestre les positions de la bande L d'autres pays, pour autant qu'une coordination soit possible. Bien que cette option aille à l'encontre des décisions de la CEPT, elle revêt un caractère essentiellement politique, puisqu'il s'agit en réalité de revitaliser l'industrie des constructeurs français de récepteurs, durement frappée par la récession. Il est prévu de diffuser six programmes DAB dans la région de Paris vers la fin de 1993 déjà. En remettant des récepteurs à des auditeurs témoins, Télédiffusion de France (TdF) souhaite recueillir des expériences pratiques.

Selon les spécifications EUREKA 147, le système DAB représente cependant comme jusqu'ici la base technique des essais effectués dans les deux camps et l'Allemagne examine également la possibilité d'utiliser la bande de 1,5 GHz, eu égard aux avantages financiers possibles que cela procurerait (par exemple la diminution du nombre d'émetteurs de télévision opérant sur le canal 12 à transférer sur d'autres canaux).

Mis à part l'Europe, seul le Canada a décidé d'introduire dès 1995 un réseau DAB fondé sur la norme EUREKA. Ce pays de grande surface préconise une couverture par satellites assistée par des émetteurs extenseurs de couverture et un service de radiodiffusion mixte satellite/Terre (réseaux à fréquence unique).

Aux Etats-Unis, on a développé et parfois même démontré un «service DAB en bande», où la porteuse DAB est superposée à la porteuse OUC avec un abaissement de niveau extrême de 30 dB et plus. A l'encontre du procédé européen, ce système convient en premier lieu à une réception par poste fixe et comme support d'un programme supplémentaire en qualité CD. Il est vrai que la zone de couverture est nettement plus faible que celle que procure la porteuse FM utilisée, en raison du fort abaissement du niveau de puissance. L'auditeur, en revanche, bénéficierait dans une petite zone de couverture de la qualité audionumérique sans que le compartimentage des zones desservies doive être entièrement redéfini. A condition que l'on dispose de récepteurs compatibles, il serait concevable d'utiliser de tels systèmes en

Paesi scandinavi e la Svizzera continuano ad essere dell'opinione che sia più razionale attribuire fisicamente la radiodiffusione digitale terrestre nelle bande di frequenza di radiodiffusione I—III ampiamente occupate (40—350 MHz), la Francia vuole utilizzare le frequenze riservate in occasione della WARC 92 alla radiodiffusione digitale via satelliti (1,5 GHz, in Francia banda non occupata) immediatamente per la radiodiffusione digitale terrestre. Le posizioni delle frequenze della Francia nella banda L verrebbero attribuite a un servizio di satelliti DAB da stabilire in un secondo tempo e per il servizio terrestre verrebbero utilizzate le posizioni della banda larga di altri Paesi se coordinabili. Sebbene contraria alle decisioni CEPT, questa procedura è dettata da motivi politici; si tratta di risanare la propria industria dei ricevitori che si trova in piena recessione. Si prevede di diffondere già alla fine del 1993 6 programmi DAB nella zona di Parigi. La Télédiffusion de France (TdF) vuole fare esperienze pratiche con ricevitori consegnati a persone partecipanti a un test.

Il sistema DAB secondo le specifiche EUREKA 147 continua a costituire la base tecnica delle prove di entrambe le parti e anche in Germania l'impiego della banda 1,5 GHz verrà analizzato in considerazione di possibili vantaggi finanziari (p. es. l'impedimento dello spostamento dei trasmettitori TV del canale 12).

Al di fuori dell'Europa solo il Canada ha deciso di introdurre a partire dal 1995 una rete DAB basata sulla norma EUREKA. Questo Paese mira a una copertura via satelliti sostenuta da «Gapfiller» («tappabuchi») nel procedimento ibrido (isofrequenziale).

Negli Stati Uniti «i sistemi In Band DAB», che sono sovrapposti con un'elevata differenza di livello (30 dB e più) alla portante OUC, sono in fase di sviluppo e in parte già collaudati. Essi sono adatti, contrariamente al sistema europeo, in primo luogo alla ricezione fissa e in secondo luogo quali portanti di un ulteriore programma nella qualità CD. Ad ogni modo il loro campo di copertura, determinato dal livello di potenza molto ridotto, è sensibilmente inferiore rispetto a quello della portante FM utilizzata. In compenso l'ascoltatore godrebbe in piccole zone di copertura dell'ascolto digitale senza che sia necessario modificare gli ambienti di trasmissione. A condizione che i ricevitori siano compatibili, simili sistemi potrebbero fra l'altro essere utilizzati anche in Europa per le zone di copertura locali. In Germania e in Francia sono in corso i relativi accertamenti.

5 *Struttura della rete*

Il sistema DAB digitale non è compatibile con il sistema OUC FM analogico. La richiesta di un impiego ottimale dello spettro delle frequenze e di un urgente miglioramento della qualità della ricezione mobile implica che le nuove reti DAB digitali sostituiscano o completino in parte le reti OUC analogiche esistenti. Ciò rende però necessari un ricevitore con più norme e una nuova rete di trasmissione per la radiodiffusione digitale.

Per gli stessi lavori di copertura, i costi di investimento e d'esercizio di una rete DAB (rete cellulare) sono per ogni programma diffuso sensibilmente inferiori rispetto a quelli di una rete OUC convenzionale.

Europe également pour la desserte de zones locales. L'Allemagne et la France procèdent actuellement à des études dans ce domaine.

5 *Structure du réseau*

Le système DAB numérique n'est pas compatible avec le système OUC FM analogique. Une utilisation optimale du spectre des fréquences ainsi que le souhait pressant d'améliorer la qualité de la réception mobile exigent que de nouveaux réseaux DAB numériques remplacent en partie ou complètent les réseaux OUC analogiques existants. Ces conditions ne peuvent être remplies que si l'on dispose de récepteurs multinormes et d'un nouveau réseau d'émetteurs pour le système DAB.

Il est vrai que les investissements et les frais d'exploitation d'un réseau DAB (réseau cellulaire), seraient nettement inférieurs pour la diffusion d'un programme donné que ceux liés à un réseau OUC conventionnel, pour les mêmes conditions de couverture.

A défaut d'indications précises sur la conception du réseau, qui seraient différentes parce que largement déterminées par la structure des programmes, il est encore difficile aujourd'hui de procéder à une analyse coût/utilité financièrement valable pour le complément à long terme et le remplacement partiel du réseau OUC analogique par un réseau de radiodiffusion DAB numérique.

Eu égard aux progrès rapides de la planification en Allemagne et en France, la Suisse est cependant bien inspirée si elle participe aujourd'hui déjà aux travaux de planification des fréquences DAB applicables à l'Europe centrale au moins. En faisant cavalier seul, la Suisse pourrait se manœuvrer dans une situation peu satisfaisante en se voyant une fois de plus attribuer des fréquences non optimales.

Il est cependant inévitable que la situation dans les pays avoisinants expliquée sous le point 42 entrave notre planification et nos essais. Cela est d'autant plus vrai que l'ARD a décidé d'introduire le système DAB en 1997 au plus tôt. En outre, de grandes difficultés ont surgi entre les autorités militaires allemandes et françaises au sujet de l'utilisation du canal de télévision 12 et des canaux 3 et 4 aux frontières de ces Etats. Une partie de ces canaux sont utilisés par les services militaires et les intéressés ne sont guère disposés à les céder pour des applications civiles sans qu'on leur octroie des fréquences de remplacement.

Or, pour participer efficacement aux négociations européennes concernant la coordination des fréquences, l'exploitant de réseaux Télécom PTT ne saurait se passer d'élaborer au préalable une conception claire en la matière avec les responsables des programmes sous l'égide de l'Office fédéral de la communication (OF-COM). Des travaux dans ce sens ont déjà été mis en chantier.

6 *Travaux entrepris ou prévus en vue de l'introduction d'un service DAB terrestre en Suisse*

Pour assurer une desserte satisfaisante de la population au moyen du service DAB, il est essentiel de connaître

Per mancanza di dati precisi sul diverso concetto della rete, determinato ampiamente dalla struttura del programma, è oggi difficile presentare un'analisi costi-profitto fondata in vista del completamento a lunga scadenza e in parte per la sostituzione della rete OUC analogica con una rete di radiodiffusione digitale DAB.

Tenuto conto del rapido avanzamento dei lavori di pianificazione in Germania e in Francia, la Svizzera dovrebbe partecipare già oggi almeno alla pianificazione di frequenze DAB dell'Europa centrale. Se non partecipasse, la Svizzera si potrebbe trovare in una situazione insoddisfacente in quanto ancora una volta le frequenze verrebbero attribuite in modo non ottimale per il nostro Paese.

È tuttavia inevitabile che la situazione, presentata al punto 42, negli Stati a noi vicini abbia un effetto frenante sulla nostra pianificazione e sulle nostre prove. Tanto più che l'ARD ha deciso di introdurre la radiodiffusione digitale al più presto nel 1997. Fra le autorità militari tedesche e quelle francesi esistono inoltre grandi difficoltà per ciò che riguarda l'utilizzazione del canale televisivo 12 risp. dei canali 3 e 4 nella regione di frontiera di questi Stati. Parti di questi canali vengono utilizzate per scopi militari e non vengono messe volentieri a disposizione per applicazioni civili senza frequenze di sostituzione.

Per poter però partecipare con successo alle riunioni europee di coordinamento delle frequenze, per le Telecom PTT in qualità di gestore di reti è inevitabile elaborare precedentemente un chiaro programma insieme con i programmatori, sotto il patronato dell'Ufficio federale delle comunicazioni (UFCOM). Questi lavori sono già iniziati.

6 *Preparativi in corso e in programma per una possibile introduzione terrestre della radiodiffusione digitale DAB in Svizzera*

Per assicurare alla popolazione una buona copertura mediante la radiodiffusione digitale è in primo luogo indispensabile disporre di conoscenze precise sulle caratteristiche di propagazione di questo nuovo sistema di radiodiffusione. È inoltre molto d'aiuto conoscere le intenzioni dei nostri vicini. Per questo motivo, specialisti delle Telecom PTT sono attivi in diversi gruppi di lavoro, fra l'altro nella piattaforma DAB, in gruppi di specialisti dell'Unione Europea di Radiodiffusione e in altre organizzazioni europee e internazionali.

Parallelamente alle esperienze che vengono scambiate in questi gruppi, le Telecom PTT elaborano conoscenze di base anche mediante proprie prove in campo e test. La particolarità e la struttura della topografia svizzera, soprattutto nelle regioni montagnose richiede che vengano effettuate prove soprattutto in queste regioni dato che esse non sono prioritarie all'estero. A Attinghausen (cantone di Uri) verranno pertanto effettuate a partire dall'autunno 1993 le prime diffusioni di prova nel canale 12, che consentono di riconoscere meglio le caratteristiche di diffusione. Interessa particolarmente il modo in cui la zona di copertura di un trasmettitore può essere ampliata mediante lo sfruttamento mirato delle riflessioni.

aussi bien que possible les conditions de propagation de ce nouveau système de radiodiffusion. Le fait de savoir quelles sont les intentions de nos voisins est aussi un facteur très utile. Pour cette raison, des spécialistes de Télécom PTT œuvrent au sein de divers groupes de travail, notamment dans la plate-forme DAB, une société dûment constituée, dans des groupes de spécialistes du Comité européen de radiodiffusion (CER) et dans d'autres organismes européens et internationaux.

Parallèlement aux expériences que ces groupes échangent, Télécom PTT s'emploie également à acquérir des connaissances fondamentales au moyen d'essais sur le terrain et de tests. Les particularités de la topographie suisse et la structure dispersée de l'habitat, surtout dans les régions de montagne, exigent que les essais soient surtout effectués dans ces zones, vu que ce problème n'est pas prioritaire à l'étranger. C'est pourquoi dès l'automne 1993 des premiers essais de diffusion sur le canal 12 ont été réalisés à Attinghausen (canton d'Uri). Il a été ainsi possible de mieux se familiariser avec les conditions de propagation. La manière d'utiliser sciemment les réflexions pour étendre la région desservie par un émetteur présente un intérêt particulier.

Les connaissances ainsi obtenues permettront à l'avenir d'optimiser la planification des réseaux, en d'autres termes d'utiliser au mieux les emplacements des émetteurs actuels ainsi que les fréquences disponibles en nombre limité. Le but de Télécom PTT est de posséder les connaissances et l'expérience nécessaires lors de l'introduction du système DAB en Europe, de manière à pouvoir coopérer de manière compétente lors de la répartition des fréquences et d'être en mesure de mettre ensuite sur pied des réseaux DAB dans les meilleurs délais.

Il est vrai qu'à l'heure actuelle il est difficile d'évaluer quand une telle introduction aura lieu. Etant donné que l'Allemagne possède de loin le marché le plus important en Europe, la décision des organismes de radiodiffusion de droit public allemands de différer la décision jusqu'en 1997 freine tout particulièrement la motivation de l'industrie des récepteurs en ce qui concerne la production immédiate de récepteurs DAB.

On court ainsi le risque de manquer maintenant une occasion et de voir apparaître des systèmes de radiodiffusion numériques non compatibles qui se concurrenceront inutilement sur le marché du futur.

Le conoscenze così elaborate consentono in futuro un'efficace pianificazione della rete, che permette di sfruttare in modo ottimale le ubicazioni dei trasmettitori esistenti e le frequenze limitate. L'obiettivo delle Telecom PTT è di riuscire a possedere le conoscenze e le esperienze necessarie al momento dell'introduzione della radiodiffusione digitale in Europa per poter discutere in modo competente durante l'attribuzione delle frequenze e in seguito allestire le reti DAB rapidamente.

Ad ogni modo al momento attuale è difficile valutare quando tale introduzione potrà avvenire. Dato che il mercato tedesco è di gran lunga il più grande in Europa, il decreto dell'ente di radiodiffusione di diritto pubblico in Germania di spostare la decisione al 1997 ha un effetto frenante sull'intenzione dell'industria dei ricevitori di sviluppare subito ricevitori DAB.

Sussiste il pericolo che si perdi ora un'occasione e che in futuro altri sistemi di radiodiffusione digitali fra loro incompatibili competano inutilmente l'uno con l'altro sul mercato.

Zusammenfassung

Digitaler Hörrundfunk (DAB): Grundlagen und Einführungsstrategien

Zuerst werden die Gründe, die zur Entwicklung des digitalen Hörrundfunks (DAB) geführt haben, erörtert, also vor allem die unbefriedigende Tonqualität und die Frequenzknappheit beim FM-UKW-Rundfunk, die im Zeitalter der digitalen Tonträger dem Hörer nicht den erwarteten hochqualitativen Empfang anzubieten vermögen. In einem weiteren Abschnitt werden die Grundlagen des im Projekt EUREKA 147 entwickelten DAB (Digital Audio Broadcasting) erklärt, hauptsächlich die beiden «Grundpfeiler» MUSICAM (ein Verfahren zur Datenreduktion bei Audiosignalen) und COFDM (ein Modulationsschema, das gegen Reflexionen und Schwunderscheinungen weitgehend immun ist). Schliesslich erläutern die Autoren die äusserst komplexe und schwierige Frequenzsituation, die sich bei der Einführung von DAB in Europa (und erst recht weltweit) ergibt. Mit den Aktivitäten der PTT, der Mitarbeit in internationalen Gremien und den Zukunftsaussichten wird der Artikel abgeschlossen.

Résumé

Radiodiffusion numérique (DAB): principes et stratégies d'introduction

Les auteurs expliquent les raisons qui ont conduit au développement de la radiodiffusion numérique (DAB), à savoir surtout la qualité sonore peu satisfaisante et la pénurie de fréquences en radiodiffusion FM OUC. En effet, l'auditeur habitué à la qualité des enregistrements audionumériques (CD/DAT) ne retrouve plus sur les ondes l'excellente qualité sonore à laquelle il s'attend. Un autre paragraphe décrit les principes de la DAB développés dans le cadre du projet EUREKA 147, notamment les deux «piliers» MUSICAM (compression des données pour signaux audio) et COFDM (modulation assurant une large immunité contre les réflexions et le fading). L'article traite aussi de la situation difficile et très complexe en matière de fréquences qu'entraîne l'introduction de la DAB en Europe (plus particulièrement à l'échelle mondiale) et se termine par un survol des activités des PTT, de la collaboration au sein d'organismes internationaux et des perspectives d'avenir.

Riassunto

Radiodiffusione digitale (DAB): basi e strategie di introduzione

Gli autori spiegano dapprima i motivi che hanno condotto allo sviluppo della radiodiffusione digitale (DAB) prendendo in esame soprattutto la qualità audio insoddisfacente e la scarsità di frequenze per quanto riguarda la radiodiffusione OUC-FM; questi motivi non consentono all'ascoltatore, nell'epoca dei supporti sonori digitali, di godere della ricezione di alta qualità che egli si attende. Gli autori in seguito presentano le basi del DAB (Digital Audio Broadcasting) sviluppato nel progetto EUREKA 147 e soprattutto i due «pilastri» MUSICAM (un sistema per la riduzione dei dati dei segnali audio) e COFDM (uno schema di modulazione ampiamente immune alle riflessioni e agli affievolimenti dei segnali). Essi infine descrivono la situazione estremamente complessa e difficile nell'ambito delle frequenze in Europa (e ancora più difficile a livello mondiale) al momento dell'introduzione del DAB. Gli autori terminano il loro articolo illustrando le attività delle PTT, la collaborazione in seno a enti internazionali e le previsioni per il futuro.

Summary

Digital Audio Broadcasting (DAB): Basics and Introduction Strategy

At first the reasons which have led to the development of the Digital Audio Broadcasting (DAB) are discussed, i.e. in particular the unsatisfactory tone quality and the frequency shortage of FM radio which are not able to offer the high quality reception to meet the listener's expectations in this age of digital sound media. In a further section the authors explain the basics of the technique which was developed in the EUREKA 147 project, in particular both «basic pillars» — MUSICAM (a method for data reduction of audio signals) and COFDM (a modulation scheme which is to a large degree immune against reflections and fading). Finally the authors explain the extremely complex and difficult frequency situation which arises with the introduction of DAB in Europe (and all the more worldwide). The article closes with the activities of the PTT, the cooperation in international committees and the future prospects.