



# DAB

## la Radio Numérique

*1ère partie:  
Digital Audio Broadcasting:  
transmission de données radio à la perfection*



Avec le développement de la DAB au niveau européen on se trouve en présence d'un système de transmission radio à couverture territoriale permettant un flux de données net de 1,2 à 1,5 Mbits/s -et ceci

avec un risque de parasites très réduit, même dans la voiture ou le TGV. L'objectif premier de ce système est la Radio Numérique de qualité CD (*Compact Disc*) pour la maison et en route, cette révolution devant, dans les 10 ans à venir, remplacer le réseau FM. Outre des services de données additionnels avec graphique, image et texte, ce système de radio multimédia pourra également véhiculer des programmes TV.



Le système FM, introduit en 1949, a atteint ses limites. De par l'encombrement de la bande de fréquence concernée et les réceptions réfléchies, il est inévitable, en utilisation mobile, de se trouver confronté à des parasites. La transmission de données numériques additionnelles (RDS) n'est possible que de façon marginale et les perspectives d'une amélioration de la qualité du son sont inexistantes. C'est dans cet environnement que l'on a, il y a bien longtemps, défini un système numérique devant se substituer au réseau FM, et dont le développement a amené au DAB. Le système DAB a été développé par des sociétés et des instituts de recherche qui, en 1987, et au nombre de 18 membres fondateurs, ont fondé l'Initiative Eurêka 147. La RFA, ayant fourni le plus grand nombre de membres, pris la tête de cette aventure. En 1993, Eurêka 147 s'ouvrit à d'autres partenaires non-européens. On compte aujourd'hui, au nombre des membres de ce comité, la grande majorité des sociétés oeuvrant sur la scène de l'électronique grand-public.

Le procédé de transmission numérique COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex* = multiplexage à division de fréquences orthogonales) constitue, avec le développement du système de codage Musicam destiné à la réduction des flux de données audio, la raison primordiale des caractéristiques remarquables du système DAB. Si, en FM, la réception simultanée (due à la réflexion d'ondes radio) se traduisait par une distorsion du signal, voire sa disparition complète, ce problème a, avec la DAB, totalement disparu. Le système est insensible aux réflexions et, bien au contraire, met à profit les ondes réfléchies pour amplifier le signal encore plus. Le signal DAB numérique est en outre doté d'une correction d'erreur intelligente.

Le fonctionnement en onde entretenue pure des émetteurs, permis grâce au COFDM, fait que la DAB, en combinaison avec la réduction de données, utilise les fréquences et la puissance le plus économiquement possible. Il est possible ainsi, à l'intérieur d'un bloc de fréquences d'une bande passante de 1,5 MHz seulement, de véhiculer jusqu'à 7 programmes radio d'excellente qualité stéréo avec en plus des services de données. En résumé, il est possible, dans une même largeur de bande, de transmettre un nombre de programmes plus important que celui que permet actuellement la modulation de fréquence analogique. Un émetteur DAB se tire d'affaire avec une puissance pouvant être jusqu'à 90% moindre que celle que nécessite un émetteur FM. Ceci se traduit non seulement par une consommation d'énergie moindre, mais également par une

1

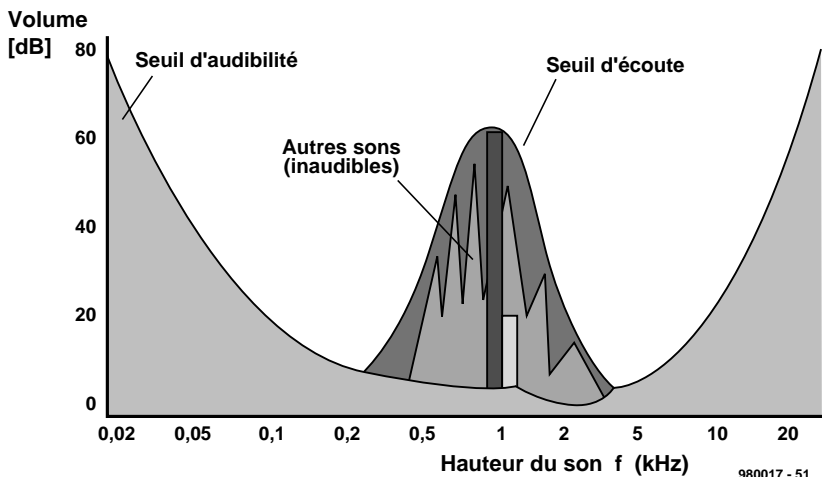


Figure 1. Dans le procédé de codage MUSICAM, on tire parti, pour réduire le flux de données, du phénomène de psycho-acoustique de recouvrement. (Source : DAB-Plattform e.V.)

réduction sensible du rayonnement HF (*E-smog*) dans la zone de l'émetteur. Un récepteur DAB offre le confort d'un récepteur numérique visualisant le nom de la station et le type de programme musical. Il fournit en outre, sous la forme de texte, des informations additionnelles concernant ledit programme. Au-delà de cet aspect, ce nouveau principe de transmission numérique et transparent pave la route à de nouveaux services allant des informations sous la forme de données, de texte, voire d'images, jusqu'à la transmission d'images mouvantes voire même de programmes de TV que l'on pourra recevoir dans le bus ou le train. Les premiers récepteurs DAB produits en série devraient apparaître sur le marché dans les prochains mois. Il est fort probable que l'on rencontre, dans les prochains salons internationaux consacrés à l'Audio, outre les auto-radios DAB présentés l'an dernier à l'IFA et l'IAA, des récepteurs de salon, voire portatifs, sans oublier les cartes pour PC qui pourront traiter

directement les informations DAB chez soi ou au bureau.

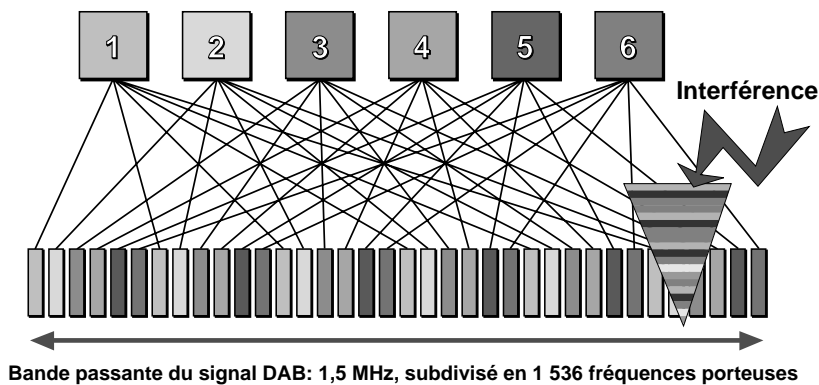
### CODAGE AUDIO

Le CD utilise, pour l'enregistrement d'un signal audio stéréophonique, un flux de données de 1 411 kbits/s, soit près de 1,5 Mbits. Au même flux, la DAB est en mesure de véhiculer 20 signaux audio (sans service de données additionnel). Cette étonnante multiplication est due au processus baptisé MUSICAM (*Masking pattern Universal Sub-band Integration Coding And Multiplexing*) qui, sans perte de qualité sensible, réduit très sensiblement la quantité de données audio. Le procédé MUSICAM a été développé par le Centre Commun d'Études de Télédiffusion et Télécommunications français (CCETT), l'Institut de radio-

Figure 2. On arrive, par répartition et subdivision continue entre plus de 1 500 sous-porteuses des données à transmettre, en combinaison avec une correction d'erreur efficace, à éviter qu'une disparition partielle suite à des parasites ou des réflexions n'ait d'effet sur la réception. (Source : DAB-Plattform e.V.)

2

### Exemple de 6 programmes



## Tableau 1. Caractéristiques techniques du codage audio DAB par MUSICAM (MPEG Layer II)

Modes audio :	Mono Stéréo Bi-canal Audio multi-canal (MUSICAM-SURROUND)
Fréquence d'échantillonnage :	48 kHz LSF (Lower Sampling Frequency) : 24 kHz
Plage des fréquences retransmises :	0 Hz - 20,25 kHz LSF : 0 Hz - 11,25 kHz
Résolution du signal PCM :	jusqu'à 22 bits/échantillon
Flux de données audio :	de 32 kbits/s (mono) à 384 kbits/s (stéréo) en 14 niveaux LSF : de 8 kbits/s à 160 kbits/s en 14 niveaux
Longueur de la trame audio :	24 ms, soit 1 152 échantillons PCM LSF : 48 ms
Lower Sampling Frequency:	La division par 2 de la fréquence d'échantillonnage lors de la transmission accroît la qualité audio à des flux de bits faibles (entre 32 et 64 kbits/s environ). Ce procédé est particulièrement intéressant pour des programmes parlés tels que canaux d'information. Le doublement de la longueur de la trame se traduit par une division par 2 du flux de données pour les PAD.
<b>Autres applications de MUSICAM</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Astra Digital Radio (ADR)</li> <li>• CDI</li> <li>• Applications multimédia pour PC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TV par câble et satellite (DVB, DirecTV aux USA)</li> <li>• Retransmission entre stations radio via le téléphone/ISDN</li> <li>• Systèmes d'édition électronique pour traitement du son par ordinateur</li> </ul>

## Tableau 2. Caractéristiques techniques du procédé de transmission DAB

Caractéristiques du radio-signal	Mode I	Mode II	Mode III	Mode IV
Bande passante	1,536 MHz (du Mode I au Mode IV)			
Nombre de porteuses	1 536	384	192	768
Durée de modulation totale	1,246 ms	0,312 ms	0,156 ms	0,623 ms
Intervalle de garde	0,246 ms	0,062 ms	0,031 ms	0,123 ms
Modulation	modulation quadri-phase différentielle (QPSK)			
<b>Correction d'erreur</b>				
(Moyenne de valeurs de signaux son, les signaux de commande sont mieux protégés encore)				
Degré 1 :	code de repliement R = 0,39			
Degré 2 :	code de repliement R = 0,47			
Degré 3 :	pour réception mobile, code de repliement R = 0,55			
Degré 4 :	code de repliement R = 0,64			
Degré 5 :	pour câble par exemple, code de repliement R = 0,80			
<b>Transmission</b>				
Plage de fréquences	< 375 MHz	< 1,5 GHz	< 3 GHz	< 1,5 GHz
Zone de transmission pour émetteur isolé	terrestre montagnoux	terrestre plat satellite	terrestre plat satellite	terrestre plat
Transmission supra-nationale via	-	-	-	-
Espacement des émetteurs pour réseau à onde entretenue terrestre	jusqu'à ±80 km	jusqu'à ±20 km	jusqu'à ±10 km	jusqu'à ±40 km
<b>Caractéristiques de multiplexage</b>				
Flux de données brut	2,304 Mbits/s			
Flux de données net (degré 3)	±1,2 Mbits/s			
Liberté de configuration	jusqu'à 64 programmes audio et services de données, typiquement 5 à 8 programmes audio et plusieurs services de données			
Reconfigurabilité	dynamique en cours d'émission du programme			
Configuration inégale type	6 programmes stéréo à 192 kbits/s chacun avec PAD + 24 kbits/s pour les services de données			
<b>Services de données</b>				
PAD	0,6 à 16 (ultérieurement 64) kbits/s enfoui dans le signal son			
Stream Mode	capacité au choix par pas de 8 kbits/s			
Packet Mode	capacité à choisir en fonction des besoins			

## Tableau 3.

### Plages de fréquences attribuées pour l'introduction de la DAB

Plage de fréquences	Bande	Canal TV	Utilisation actuelle	Nombre de blocs DAB prévus.
47-68 MHz	VHF Bande I	2-4	émissions TV, radio, radio mobile	12 (Blocs 2A-4D)
174-230 MHz	VHF Bande III	5-12	émissions TV, radio mobile	32 (Blocs 5A-12D)
230-240 MHz	VHF Bande III	« 13 »	radio mobile, utilisé en partie par les militaires	6 (Blocs 13A-13F)
1 452-1 467,5 MHz	Bande L	-	émissions radio fixe et mobile	9 (Blocs LA-LI)

Les blocs DAB sont normalement désignés par le nombre du canal TV associé à la lettre majuscule suivante. Comme il est possible de prévoir 4 blocs de fréquence par canal TV, les 4 blocs, du canal 12 par exemple, s'appellent ainsi : 12A, 12B, 12C et 12D. On procède de la même façon pour les plages hors-canaux TV (Bande L).

technique (IRT) de Munich en RFA et la société Philips. La commission MPEG (*Moving-Picture Experts Group*) a choisi, au milieu de 14 procédés concurrents et ce après des tests intensifs, les propositions de Eurêka 147 basées sur MUSICAM pour la définition des normes ISO/IEG (connues sous la dénomination de MPEG-Audio Layer II). MPEG Layer II est en mesure de diviser par 7 le flux de données CD (codage PCM); on travaille donc à 192 Kbits/s sans perte de qualité audible. Ceci est obtenu par l'utilisation d'algorithmes spécifiques qui reposent sur des effets psycho-acoustiques. L'ouïe humaine n'est pas en mesure d'entendre des sons qui se trouvent en-deçà de ce que l'on appelle le seuil d'audibilité. De plus des sons faibles sont écrasés par des sons d'intensité plus importante lorsqu'ils sont de même hauteur et qu'ils se trouvent dans le domaine d'audibilité. MPEG Layer II tire parti de ces effets et ne véhicule que les parties de l'information sonore effectivement audibles. C'est ce qu'illustre le croquis de la **figure 1**. En fonction du contenu du signal et des exigences de qualité, on peut travailler à des flux de données différents, la bande passante allant de 8 à 192 kbits/s pour chaque canal monophonique. La transmission d'un signal stéréo se fait en mode stéréo normal sous la forme de signal 2 canaux (double du flux mono). L'utilisation du mode stéréo commun, dans lequel les 2 canaux ne transmettent pas en double l'information qui leur est commune, permet de réduire encore le flux de données. Lors du codage audio déjà on réserve, dans chaque trame de données audio, de la place pour les données accompagnatrices (PAD = *Program Associated Data*). Le **tableau 1** récapitule les caractéristiques techniques les plus importantes du codage audio.

### TRANSMISSION ET FRÉQUENCES

À l'inverse d'un émetteur AM ou FM qui n'utilise qu'une unique (fréquence) porteuse modulée en amplitude ou en fréquence par le signal à transmettre,

le système DAB repose sur le principe de porteuses multiples baptisé OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* = multiplexage à division de fréquences orthogonales). S'agissant d'un signal à codage numérique, ce processus devient COFDM (pour *Coded OFDM*). Avant transmission, l'information numérique est subdivisée en plusieurs flux de bits, à flux de données réduit, utilisés chacun pour la modulation, à QPSK différentielle, des différentes porteuses. Cette répartition sur de multiples canaux à bande étroite on ne perd, en cas de parasitage d'une plage de fréquence, qu'une information partielle, alors qu'en FM on perd, dans les mêmes conditions, la totalité du programme. De manière à réduire le mieux possible les conséquences de parasites, le COFDM dote le signal utile d'une correction d'erreur efficace (redondance). On procède en outre à une émission décalée des différents symboles COFDM de sorte que les ondes réfléchies arrivant (au récepteur) à l'intérieur de l'intervalle considéré soient reconnues sans équivoque et utilisées le cas échéant. Un symbole COFDM est un extrait du signal à transmettre. Au cours de la durée de ce symbole on maintient constantes les phases des porteuses de même décalage et amplitude. Chaque porteuse se voit, d'un symbole à l'autre, modulée par 4 différences de phases différentes (modulation quadriphase différentielle QPSK = *Quadrature Phase Shift Keying*), ce qui donne un flux de bits brut de 2 bits par porteuse et symbole.

Une distribution incessante du flux de bits entre les différentes porteuses évite que 2 valeurs de données successives d'une source donnée puissent, simultanément, être effacées par réflexions (**figure 2**). Au contraire, on se sert des réflexions sises à l'intérieur de l'intervalle de garde d'un symbole COFDM pour améliorer la qualité.

On a, après de longues recherches pour trouver le meilleur rapport entre bande passante et qualité de réception, opté pour des blocs de fréquence de 1,5 MHz de large dans lesquels on regroupe, en fonction du mode de

transmission, entre 192 et 1 536 porteuses. On peut donc, à l'intérieur d'un seul canal TV (bande passante de 7 MHz) regrouper 4 blocs DAB, ce qui signifie, dans la pratique, que l'on peut, dans « l'espace » occupé par un unique programme TV, transmettre, typiquement, 24 programmes stéréo et nombre de services de données. La totalité de l'information transmise (programme + données) à l'intérieur d'un tel bloc a été appelée « Bouquet » et connaît un flux de (transmission de) bits brut de 2,304 Mbits/s, ce qui nous donne, en fonction du degré de correction d'erreur, un flux de bits net de quelque 1,2 à 1,5 Mbits/s. Le **tableau 2** reprend les caractéristiques techniques les plus marquantes du procédé DAB. Le **tableau 3** récapitule les bandes de fréquence prévues lors de l'introduction de la DAB. Pour une couverture générale terrestre, ce sont les blocs de fréquence du domaine VHF qui conviennent le mieux, alors que les blocs de la bande L sont prévus pour des programmes régionaux et locaux. Où que l'on se trouve, une simple antenne télescopique suffit pour la réception. On constate, à la lecture du **tableau 2**, que l'on peut, en fonction de la plage de fréquences, opter pour un mode de transmission différent. Le Mode I comporte le plus grand nombre de porteuses et l'intervalle de garde le plus long; il convient le mieux pour réseaux VHF à onde entretenue aux émetteurs très éloignés les uns des autres. Le mode II convient mieux aux émetteurs locaux et de façon limitée aux réseaux à onde entretenue. Le mode III convient tout particulièrement à l'émission via satellite, câble et stations terrestres, convient, pour toutes les fréquences jusqu'à 3 GHz, pour la réception mobile et paraît le moins sensible au bruit de phase. Le mode IV est destiné à la bande L en cas de distances inter-stations importantes; il présente cependant, dans le cas d'une réception mobile par véhicule se déplaçant à grande vitesse, la plus grande sensibilité aux parasites.

980017-1