

Chapitre 2

Le synthétiseur de parole intégré MEA 8000

Ce chapitre est consacré à la description détaillée du MEA 8000, à son interfaçage avec le processeur de contrôle, ainsi qu'aux principes généraux de sa programmation.

Particularités du MEA 8000

Le MEA 8000 est un synthétiseur à formants et correspond de ce fait aux caractéristiques générales de ceux-ci, expliquées au chapitre précédent.

Du point de vue physique, il s'agit d'un circuit périphérique de microprocesseur ou microcontrôleur à bus de données 8 bits ; ses principales caractéristiques sont résumées à l'annexe 1, où l'on trouvera également son brochage et le schéma de principe général d'application. Les particularités essentielles du MEA 8000 sont les suivantes :

- **Quatre formants**, chacun réalisé sous forme d'un filtre numérique du second ordre à trois multiplicateurs (voir figure 6).

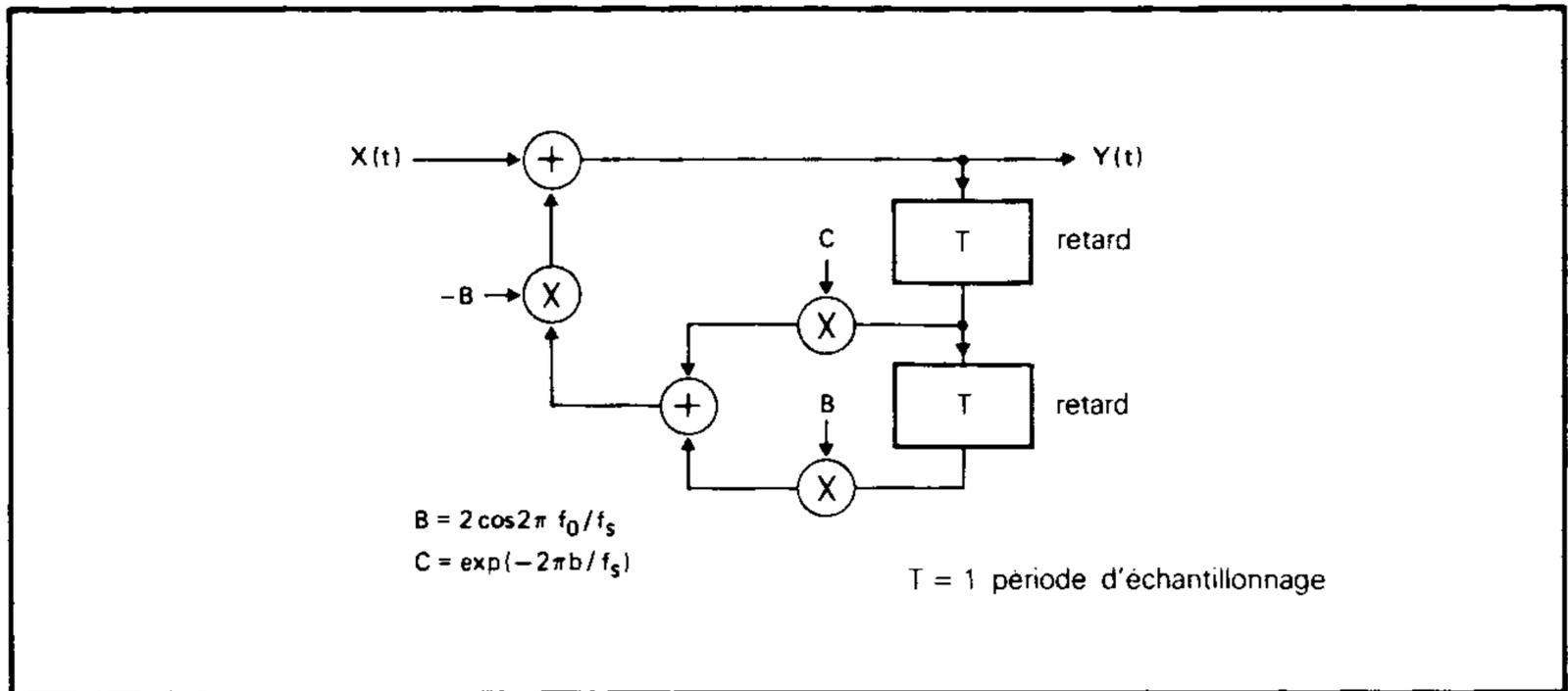


Figure 6 - Filtre numérique du 2^e ordre

La mise en cascade de ces quatre résonateurs reproduit le modèle du conduit vocal; elle est représentée par la figure 7.

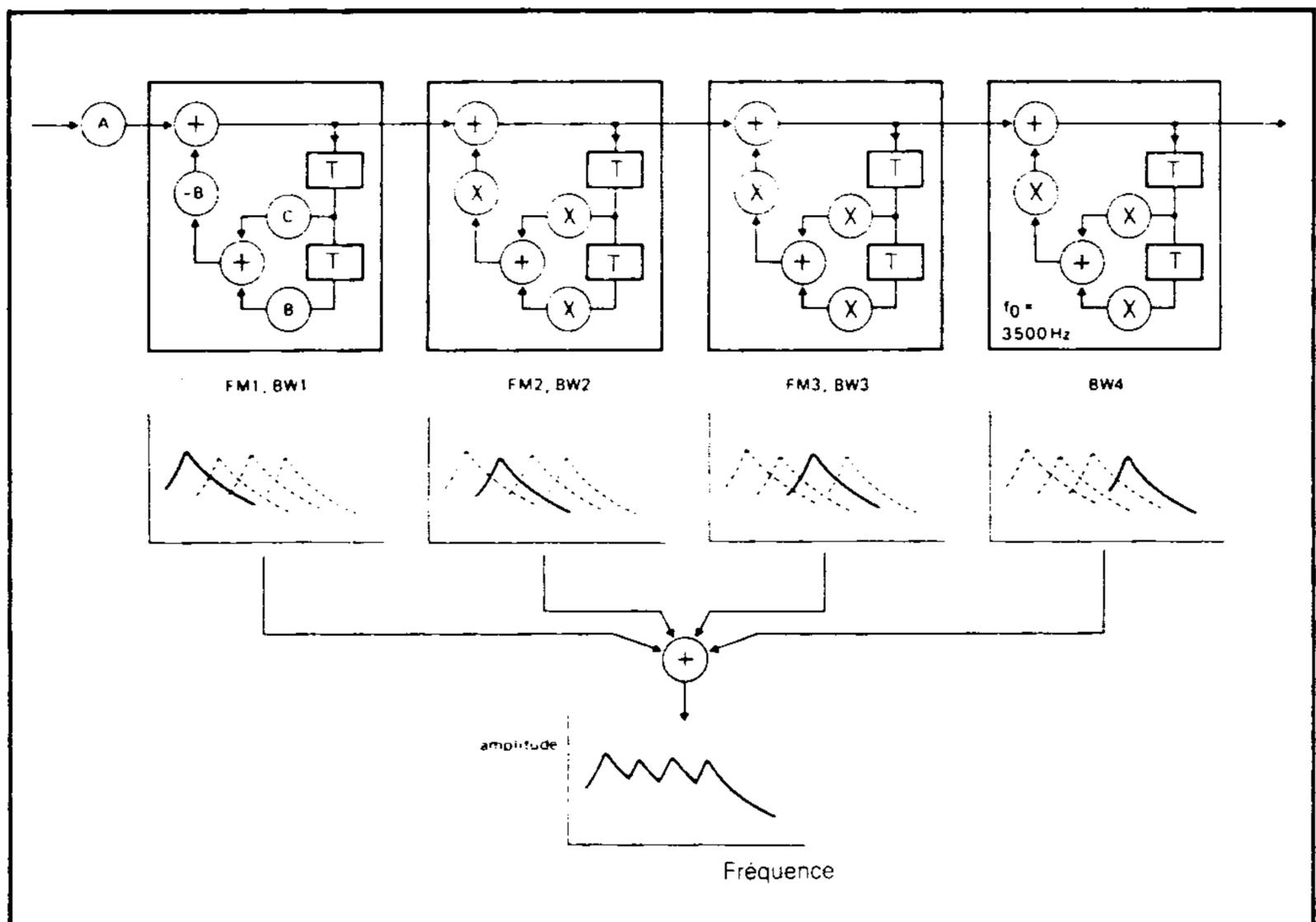


Figure 7 - Filtre complet simulant le conduit vocal

Dans le cas du MEA 8000, les trois premiers formants sont programmables en fréquence centrale (FM1, FM2, FM3) et en bande passante (BW1, BW2, BW3). Le quatrième formant n'est programmable qu'en bande passante (BW4), sa fréquence centrale étant fixée à 3500 Hz.

Outre les sons purement vocaux, le synthétiseur est capable de reproduire d'autres types de sons tels que des bruits ou de la musique.

Une méthode simple pour générer des sons musicaux consiste à utiliser comme générateur la source de bruit et à accorder les formants 1 et 2 sur la même fréquence (celle de la note à générer) pour créer un filtre très sélectif; il est également possible d'utiliser le générateur périodique en accordant les formants sur des harmoniques de celui-ci pour créer le timbre recherché.

L'enveloppe du son (attaque et décroissance) peut être obtenue en créant une courbe d'amplitude appropriée. Le nombre et la durée des trames utilisées déterminera celle de la note.

Il est toutefois certain que les performances du MEA 8000 en ce domaine n'égalent pas celles des synthétiseurs musicaux spécialisés qui offrent une gamme d'octaves plus étendue et plusieurs voix simultanées.

La génération de bruits spéciaux (explosion, coup de feu, train, etc.) est possible en utilisant le générateur de bruit et en jouant sur les formants, l'amplitude et la répétition des sons ; quelques sons de ce type sont fournis à titre d'exemple en fin d'ouvrage.

- **Durée de trame programmable** ; dans le cas du MEA 8000, la durée de trame est programmable en quatre valeurs de 8, 16, 32, 64 ms au moyen de 2 bits du code de trame qui en compte 32 en tout. Ceci permet de tirer parti de certains passages où les paramètres varient lentement ou pas du tout en utilisant une durée de trame de 32 ou 64 ms.

A l'inverse, l'utilisation des trames de 16, et, plus rarement, de 8 ms permet une reproduction fidèle des passages tels que les plosives (sons p, t, k par exemple), caractérisées par une évolution rapide des paramètres vocaux. L'utilisation judicieuse de la durée de trame lors du codage permet d'obtenir une parole de qualité avec un débit de l'ordre de 1000 bits/seconde.

- **Convertisseur numérique/analogique de sortie intégré** ; ce convertisseur incorpore un circuit de suréchantillonnage qui intercale sept échantillons interpolés entre deux échantillons à 8 kHz fournis par la partie "synthèse" du circuit. Ceci a pour effet de fournir, en sortie du circuit, un signal dont la fréquence d'échantillonnage est de 64 kHz, très supérieure à la fréquence limite d'audition, et donc beaucoup plus facile à éliminer du signal de sortie (un simple filtre RC passe bas suffit dans la majorité des cas).

Outre les fonctions liées à la synthèse proprement dite, le circuit incorpore un générateur d'horloge à quartz (4,00 MHz), une interface microprocesseur et un circuit de sortie analogique. La figure 8 représente le synoptique simplifié du MEA 8000.

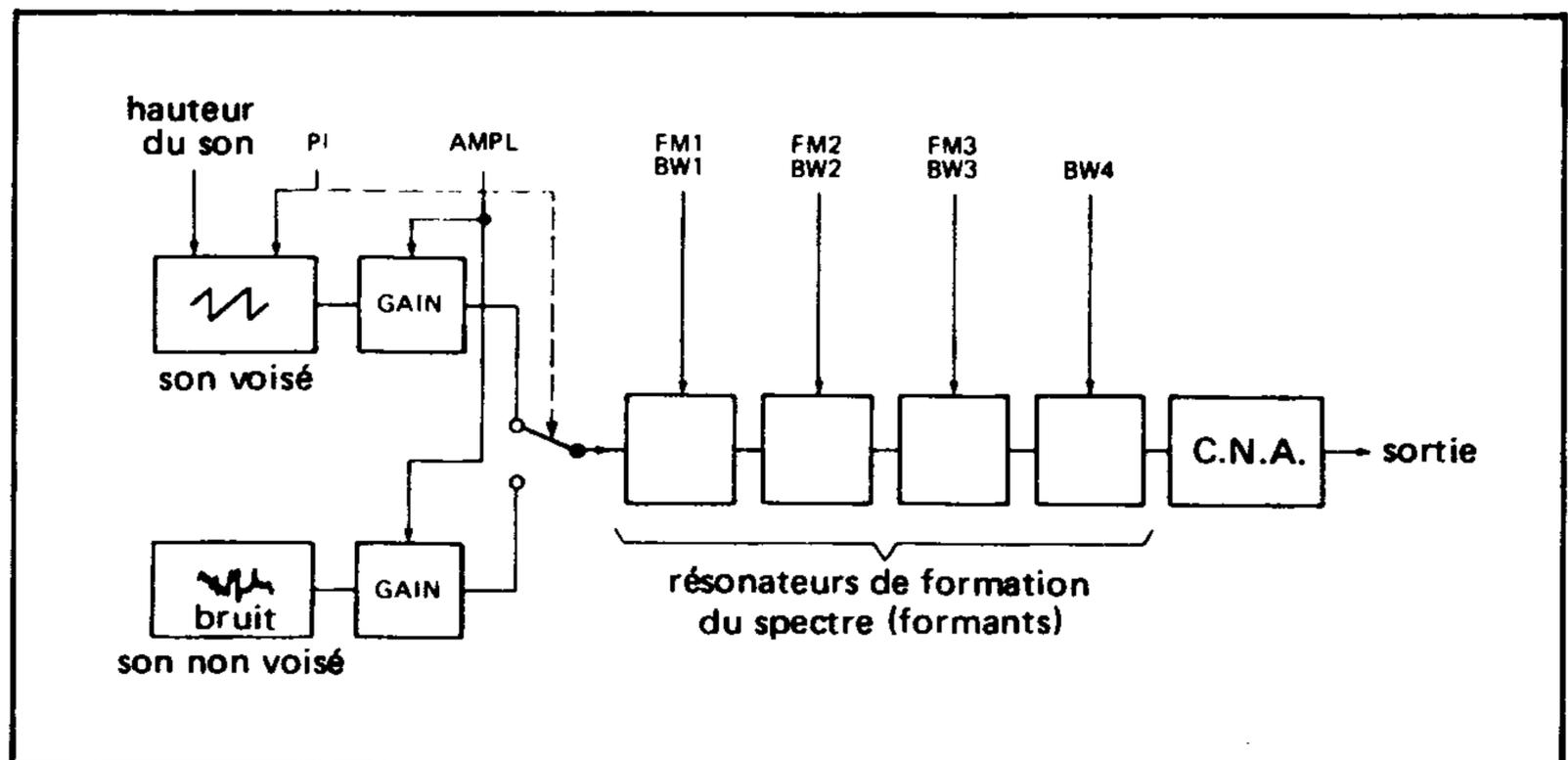


Figure 8 - Synoptique fonctionnel du synthétiseur MEA 8000

Description du circuit

Le synoptique détaillé du MEA 8000 est représenté par la figure 9 sur laquelle on peut distinguer trois grands blocs fonctionnels.

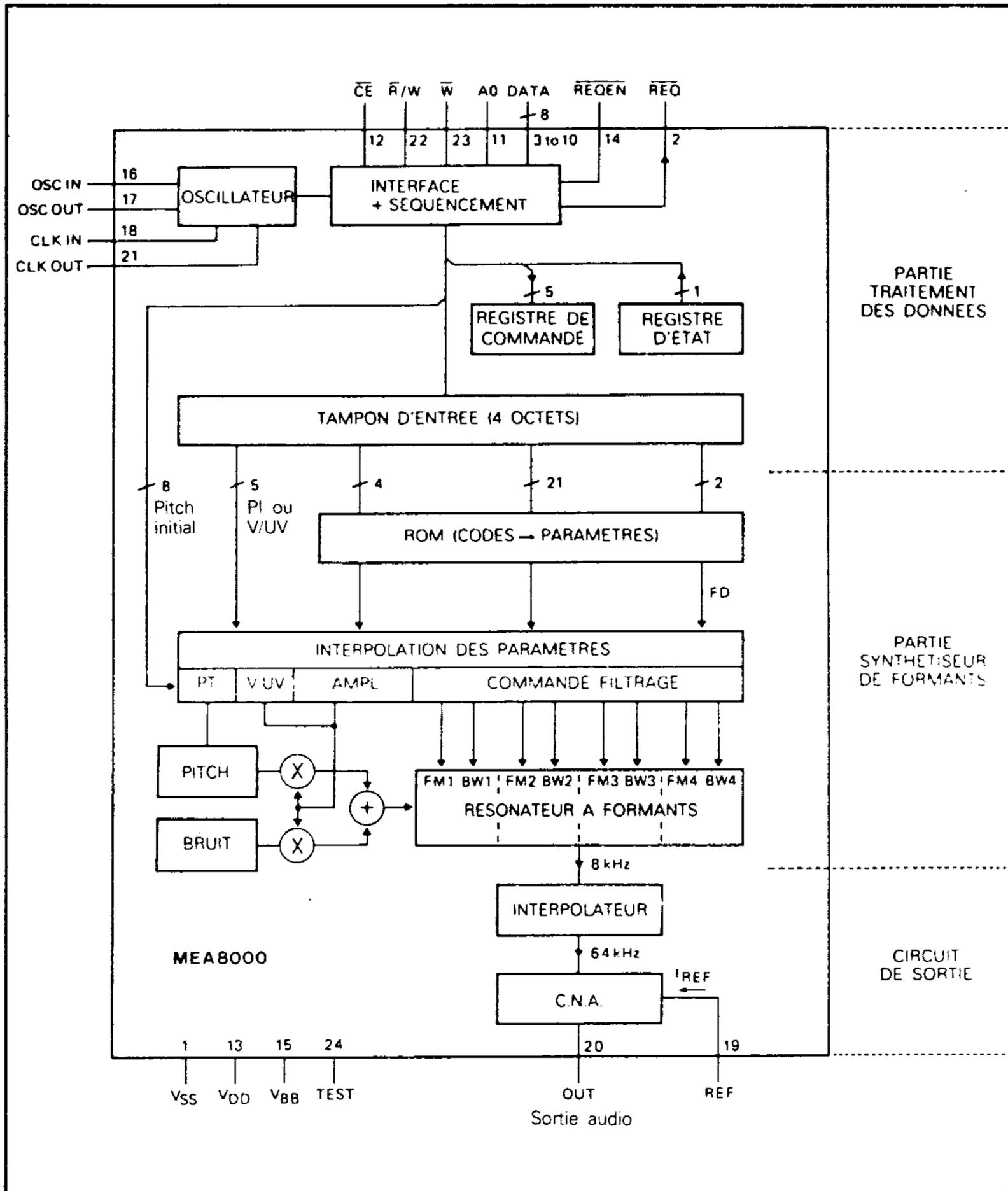


Figure 9 - Synoptique complet du synthétiseur MEA 8000

La partie “synthétiseur à formants”

Elle est située au centre du synoptique. La source périodique, la source de bruit et les quatre résonateurs à formants décrits au chapitre précédent consistent en fait en un ensemble de multiplicateurs et d'additionneurs à 16 bits qui calcule les échantillons vocaux au rythme de 8 kHz. Les échantillons de 16 bits résultants sont tronqués à 11 bits avant application au circuit de sortie.

Le synthétiseur est contrôlé par 11 paramètres représentant la hauteur (pitch) et sa variation pour les sons voisés, ou la source de bruit pour les sons non voisés, l'amplitude ainsi que les quatre fréquences centrales et les quatre bandes passantes des formants.

Chaque paramètre est défini sur 14 bits, d'où un total de 154 (11×14) bits pour commander l'ensemble du synthétiseur sur une trame. Pour réduire le nombre de bits nécessaires à la définition d'une trame, chaque paramètre est codé au moyen d'une quantification appropriée ; ceci permet de réduire à 27 le nombre des bits nécessaires au codage des paramètres du conduit vocal.

La logique d'interpolation de paramètres calcule la différence entre deux valeurs consécutives et réalise une interpolation linéaire entre elles pour lisser les transitions ; l'intervalle d'interpolation est obtenu par décodage des deux bits FD qui déterminent la durée de trame. Ce sont les sorties de cette logique qui commandent toutes les fonctions de synthèse (pitch, voisé/non voisé, amplitude, formants).

D'autre part, le codage du pitch est effectué en valeur relative (variation en Hz sur un intervalle de 8 ms) ; ceci permet de réduire de 8 à 5 le nombre de bits nécessaire au codage de ce paramètre, autorisant une variation de -15 à $+15$ Hz/8 ms soit près de ± 2 kHz/s, ce qui est suffisant. La valeur particulière 16 sélectionne le générateur de bruit pour les sons non voisés. Une trame est donc entièrement définie au moyen de 32 bits.

Cette méthode de codage implique de fournir la valeur initiale du pitch en début d'expression, sous forme d'un premier octet, avant l'envoi des données relatives à la première trame à prononcer. Chaque trame est ensuite définie par quatre octets.

Circuit d'interface et de traitement des données

C'est la partie supérieure du synoptique de la figure 9. Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, les paramètres du synthétiseur doivent être actualisés de façon périodique. Ces données sont fournies au circuit par un bus parallèle à 8 bits et envoyées dans un registre tampon de 32 bits lorsque $A0 = 0$. La figure 10 indique l'affectation des différents bits du code de trame.

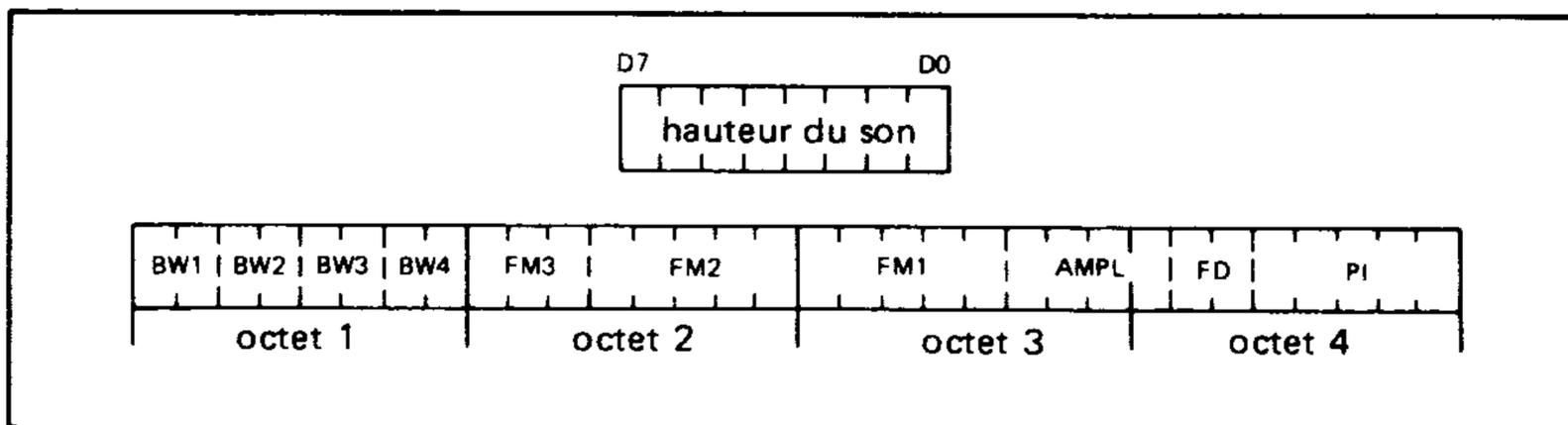


Figure 10 (a) - Les différents bits du code de trame

Code	Bits	Paramètre
Hauteur	8	Valeur initiale de la hauteur du son
FD	2	Durée de la trame de parole
PI	5	Incrément (vitesse de variation) de la hauteur du son ou sélection du générateur de bruit
AMPL	4	Amplitude
FM1	5	Fréquence du 1er formant
FM2	5	Fréquence du 2ème formant
FM3	3	Fréquence du 3ème formant
FM4	0	Fréquence du 4ème formant (fixe)
BW1	2	Largeur de bande du 1er formant
BW2	2	Largeur de bande du 2ème formant
BW3	2	Largeur de bande du 3ème formant
BW4	2	Largeur de bande du 4ème formant

Figure 10 (b) - et leur signification

La figure 11 représente les valeurs correspondantes des paramètres en fonction du code de trame.

Code binaire	FD (ms)	Hauteur (Hz)	PI Hz/8 ms	Ampl.	FM1 (Hz)	FM2 (Hz)	FM3 (Hz)	BW (Hz)
0	8	0	0	0	150	440	1179	726
1	16	2	1	0.008	162	466	1337	309
2	32	4	2	0.011	174	494	1528	125
3	64	6	3	0.016	188	523	1761	50
4		8	4	0.022	202	554	2047	
5		10	5	0.031	217	587	2400	
6		12	6	0.044	233	622	2842	
7		14	7	0.062	250	659	3400	
8		16	8	0.088	267	698		
9		18	9	0.125	286	740		
10		20	10	0.177	305	784		
11		22	11	0.250	325	830		
12		24	12	0.354	346	880		
13		26	13	0.500	368	932		
14		28	14	0.707	391	988		
15		30	15	1.00	415	1047		
16		32	bruit		440	1110		
17		34	- 15		466	1179		
18		36	- 14		494	1254		
19		38	- 13		523	1337		
20		40	- 12		554	1428		
21		42	- 11		587	1528		
22		44	- 10		622	1639		
23		46	- 9		659	1761		
24		48	- 8		698	1897		
25		50	- 7		740	2047		
26		52	- 6		784	2214		
27		54	- 5		830	2400		
28		56	- 5		880	2609		
29		58	- 3		932	2842		
30		60	- 2		988	3105		
31		62	- 1		1047	3400		
.		.						
.		.						
.		.						
255		510						

La fréquence de FM4 est fixée à 3 500 Hz. La colonne BW (largeur de bande) s'applique aux quatre filtres. Pour obtenir les valeurs exactes, il convient de multiplier par 1,0244 les chiffres portés dans les colonnes "hauteur du son" et PI (incrément de la hauteur du son).

Figure 11 - Valeur des différents paramètres en fonction du code de trame

Le circuit possède également un registre de commande vers lequel les données sont aiguillées lorsque $A0 = 1$. Ceci permet de déterminer le mode de fonctionnement du synthétiseur par l'envoi d'une commande "STOP" (voir "Mise en oeuvre du MEA 8000"). Un registre d'état à 1 bit (REQ) permet de connaître l'état du synthétiseur pour l'envoi des données vocales en mode actif. Des signaux de contrôle \overline{CE} , \overline{W} , $\overline{R/W}$ permettent un interfaçage simple avec le processeur de commande.

Le circuit de sortie

C'est la partie inférieure du synoptique de la figure 9. Après un arrondi à 8 bits, les échantillons à 8 kHz provenant de la sortie des filtres numériques sont appliqués à un interpolateur linéaire qui intercale 7 échantillons interpolés entre deux échantillons consécutifs à 8 kHz ; ceci accroît donc la fréquence effective d'échantillonnage en sortie à 64 kHz et permet un post-filtrage analogique très simple.

Ces échantillons de 8 bits à 64 kHz attaquent ensuite le convertisseur analogique/numérique de la figure 12, dont le courant de référence I est défini par la résistance externe connectée à la borne REF (borne 19). Les 4 bits de poids fort déterminent le temps de conduction d'un générateur de courant $16 \times I$, et les 4 bits de poids faible celui d'un générateur de courant I . Ceci permet donc un total de $16 \times 16 = 256$ combinaisons nécessaires à la conversion 8 bits.

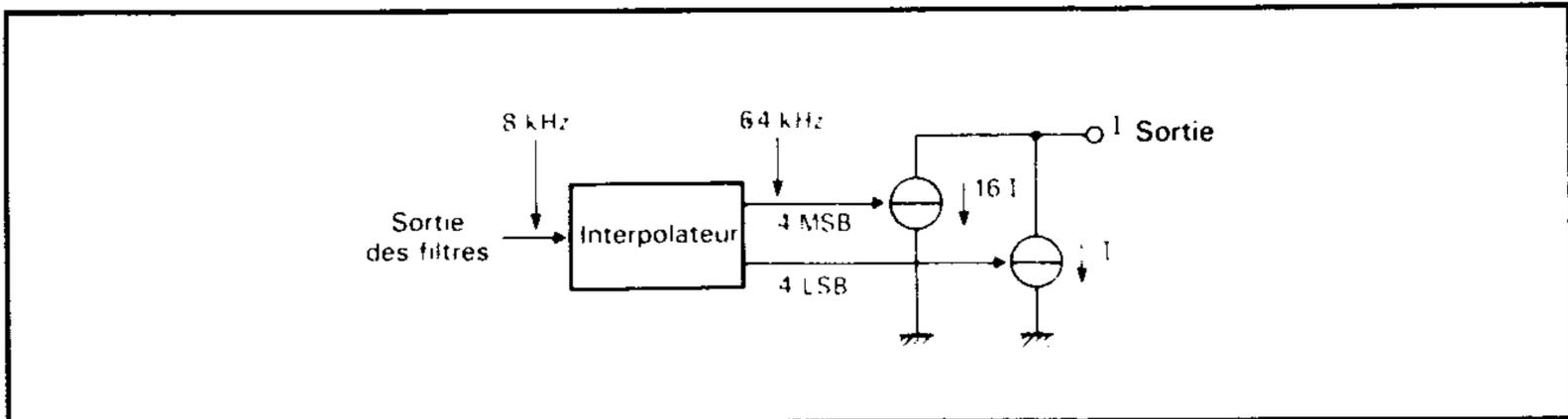


Figure 12 - Interpolateur et C.N.A. de sortie

L'amplificateur de puissance externe peut être réalisé de façon très simple au moyen du schéma de la figure 13 pour attaquer une ligne, un casque ou un petit haut-parleur d'impédance 50 à 100 ohms ; il assure également le filtrage de sortie.

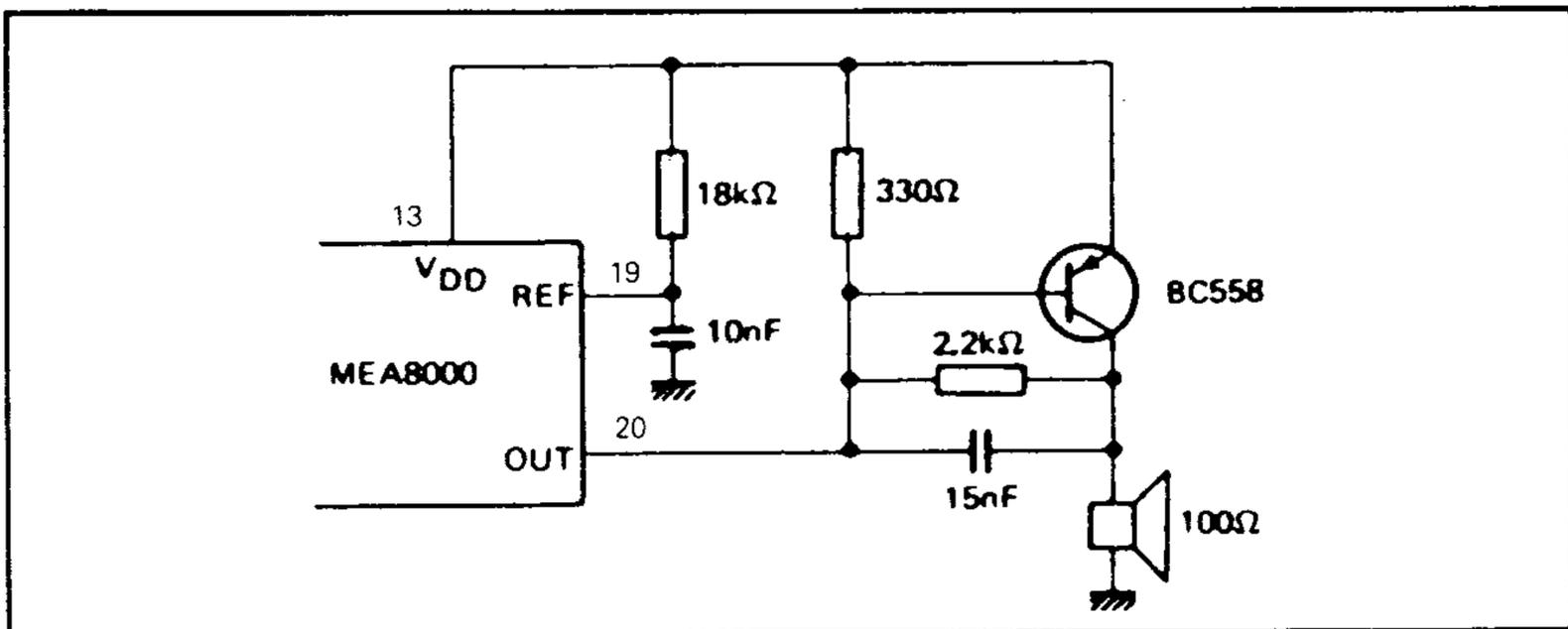


Figure 13 - Un amplificateur audio ultra-simple

Mise en œuvre du MEA 8000

Le MEA 8000 est un circuit périphérique de microprocesseur ou microcontrôleur et peut être adressé comme un circuit d'entrée/sortie ou une mémoire, grâce aux signaux de contrôle \overline{CE} , \overline{W} , $\overline{R/W}$, à l'entrée d'adresse A0 et au signal \overline{REQ} .

Le registre de commande et le tampon d'entrée sont à écriture seule, alors que le registre d'état est à lecture seule. La table de vérité de la figure 15 indique la manière d'y accéder. Les caractéristiques temporelles des signaux sont données en annexe au paragraphe "Caractéristiques principales du MEA 8000".

\overline{CE}	\overline{W}	$\overline{R/W}$	A0	Opération
0	0	1	0	ECRITURE DE DONNEES
0	0	1	1	ECRITURE DE COMMANDE
0	X	0	X	LECTURE D'ETAT
0	1	1	X	} BUS DE DONNEES TROIS ETATS
1	X	X	X	

Figure 15 - Accès aux registres du MEA 8000

Registre tampon d'entrée

Ce registre de 32 bits (4 octets) contient les codes d'une trame de parole et peut être adressé lorsque A0 = 0.

Registre d'état

Ce registre n'est constitué en fait que d'un seul bit appelé REQ. Il peut être lu sur le bit 7 du bus de données lorsque $\overline{R/W}$ est à l'état bas et apparaît également (inversé) sur la borne \overline{REQ} si elle a été validée. Lorsque le bit REQ est à "0", le MEA 8000 est occupé et ne peut recevoir de nouvelles données. Il indique qu'il demande ses données par la mise à "1" du bit REQ. La borne \overline{REQ} (active bas) peut être validée par mise à la masse de la borne 14 (\overline{REQEN}) ou par logiciel en mettant "1" le bit ROE du registre de commande avec \overline{REQEN} à l'état haut. Ceci permet donc l'utilisation du MEA 8000 en interruption ou en scrutation.

Registre de commande

Le MEA 8000 dispose d'un registre de commande de 5 bits dans lequel un mot de commande peut être écrit lorsque $A0 = 1$. Le tableau ci-dessous indique le rôle des différents bits de ce registre :

D4	D3	D2	D1	D0
STOP	CONT enable	CONT	ROE enable	ROE
0 = sans effet	0	X	0	X
1 = STOP	1	0 = ARRET LENT	1	0 = \overline{REQ} validée
	1	1 = CONTINU	1	1 = \overline{REQ} inhibée
D5, D6, D7 inutilisés.		ROE = valid. de la sortie \overline{REQ} .		X = indifférent.

STOP (D4) : si ce bit est à l'état "1", le synthétiseur s'arrêtera dès la réception du mot de commande (initialisation).

CONT (D2) : ce bit ne peut être modifié que si le bit CONT enable (D3) est à l'état "1"; si CONT est à l'état "1", le synthétiseur répètera indéfiniment la dernière trame en cas d'interruption dans la réception des codes.

ROE (D0) : ne peut être modifié que si le bit ROE enable (D1) est à l'état "1". ROE = "1" entraîne l'apparition du bit REQ (inversé) sur la borne \overline{REQ} . Le même résultat est obtenu en mettant la borne \overline{REQEN} à "0".

A la mise sous tension, les bits CONT et ROE sont mis à "0", ce qui équivaut à l'envoi du mot de commande 0001 1010 (Hex 1A) ; c'est donc la lecture de REQ sur le bus de données (D7) et la procédure "arrêt lent" qui sont sélectionnés par défaut.

Modes de fonctionnement

Le MEA 8000 a deux modes de fonctionnement :

- **Mode INACTIF** : caractérisé par une sortie silencieuse et le bit d'état REQ à "1". Ce mode est provoqué par la mise sous tension ou l'envoi d'une commande STOP qui provoque un arrêt immédiat du synthétiseur, ou bien à la fin d'une procédure d'arrêt lent (voir ci-dessous). Dans ce cas, la trame est répétée avec une amplitude réduite avant l'arrêt du synthétiseur.
- **Mode ACTIF** : ce mode est activé par la réception de l'octet de pitch initial, et le circuit prononce ensuite les sons correspondant aux trames reçues. Pour un fonctionnement normal, les 4 octets de la trame suivante doivent être reçus avant la fin de la trame en cours de prononciation. Si tel

n'est pas le cas, le circuit entame l'une des deux procédures suivantes selon l'état du bit CONT :

— ARRET LENT si CONT = "0" (répétition de la trame avec amplitude réduite, puis retour au mode INACTIF).

— CONTINU si CONT = "1" : dans ce cas, le circuit répète indéfiniment la dernière trame reçue jusqu'à la réception d'une nouvelle trame ou d'une commande STOP.

La figure 16 montre l'évolution du signal de sortie en cas d'interruption des codes selon que l'une ou l'autre procédure a été choisie.

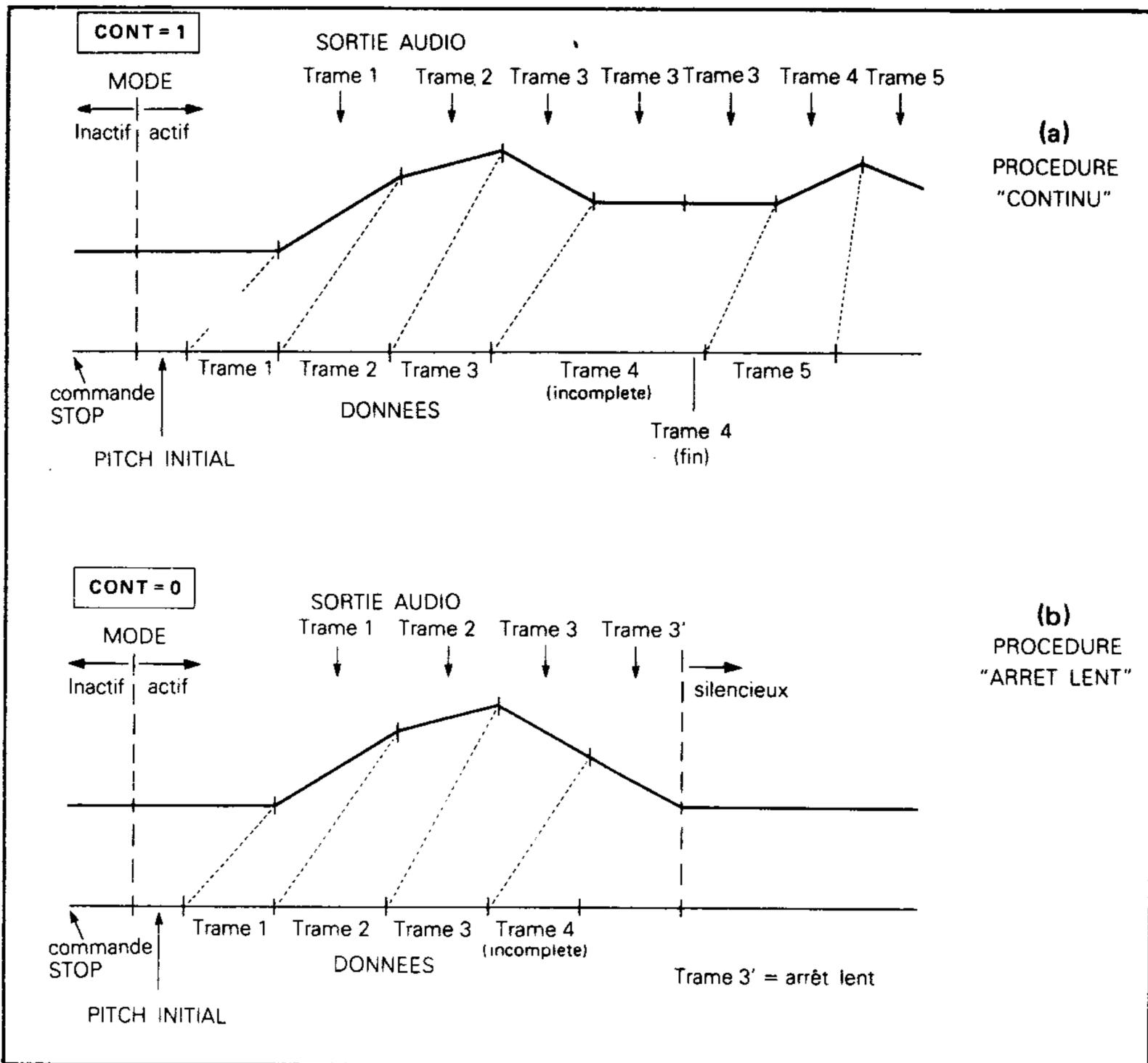


Figure 16 - Evolution du signal de sortie (a) continu, (b) arrêt lent

La figure 17 correspond au cas de fonctionnement "normal", avec arrêt du synthétiseur par une commande STOP. Afin que la dernière trame du message ne soit pas raccourcie, cette commande ne doit pas arriver avant la fin de la prononciation de celle-ci. Le moyen le plus simple d'y parvenir consiste à envoyer une trame silencieuse (constituée par exemple de 4 octets à "00") après la dernière trame utile du message, et d'envoyer ensuite la commande STOP.

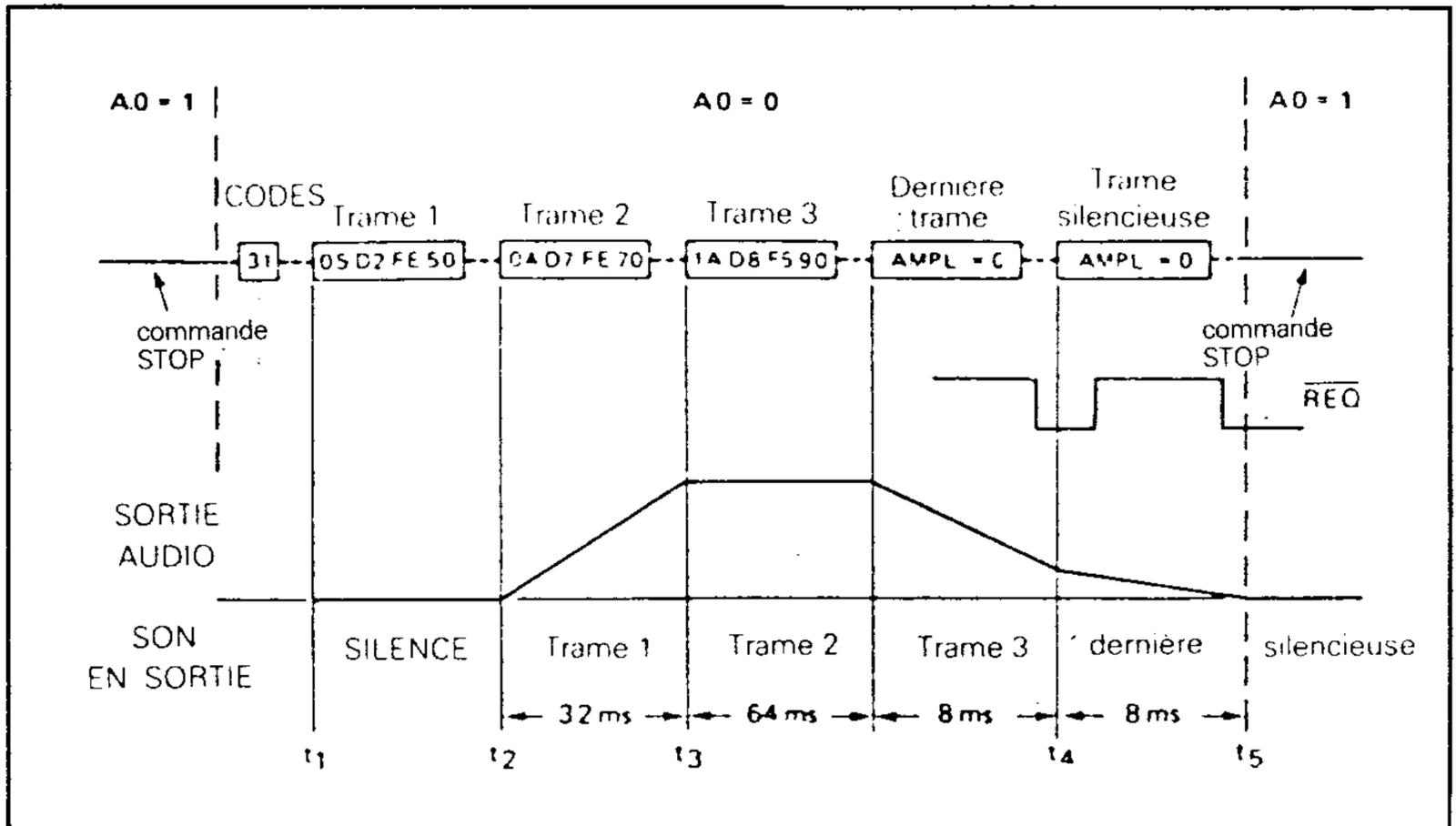


Figure 17 - Evolution du signal de sortie (cas de fonctionnement normal)

Envoi des données vocales au MEA 8000

Les codes vocaux peuvent être envoyés vers le registre tampon d'entrée du synthétiseur lorsque \overline{CE} , \overline{W} et $A0$ sont à "0" et $\overline{R/W}$ à "1", alors que le bit REQ est à l'état "1". REQ est remis à "0" à chaque opération d'écriture d'un octet.

A partir du mode INACTIF, le premier octet reçu est interprété comme la valeur initiale du fondamental (pitch initial) et le bit REQ repasse à l'état "1" au bout d'un maximum de 8 ms. Les quatre octets suivants sont interprétés comme les codes de la première trame du message et, bien que le bit REQ passe à l'état "1" entre chaque octet, il suffit de lire son état à la fin de chaque trame pour envoyer la suivante.

Le MEA 8000 commence donc à parler après le cinquième octet reçu. Pour que le fonctionnement soit normal (ininterrompu), il faut que les octets de la trame suivante soient tous arrivés au MEA 8000 avant la fin de la prononciation de la trame en cours. Compte tenu de la durée de trame minimale de 8 ms, cela ne pose aucun problème pour tout microprocesseur programmé en langage-machine, mais interdit l'emploi du BASIC pour cette partie du programme.

La lecture de REQ par scrutation de D7 interdit au microprocesseur toute autre tâche pendant que le MEA 8000 parle ; pour éviter cela, on devra utiliser la borne \overline{REQ} pour actionner une entrée d'interruption. Dans ce cas, la synthèse ne demandera que quelques pour cent du temps du microprocesseur qui pourra vaquer à d'autres occupations comme si de rien n'était.

Ces données nous permettent maintenant de concevoir un logiciel pour commander le MEA 8000 ; c'est l'objet du chapitre suivant.

