

# Sommaire

<b>Introduction</b>	
<b>1. Quelques rappels sur le son</b>	
A.	Propagation des ondes sonores ..... 2
B.	Les caractéristiques des ondes sonores ..... 3
C.	La propagation des ondes sonores dans l'air ..... 5
D.	Du timbre au spectre ..... 7
<hr/>	
<b>2. La numérisation du son</b>	
A.	Pourquoi l'échantillonnage ? ..... 11
B.	L'échantillonnage est non-destructeur ..... 12
C.	Le repliement spectral ou <i>aliasing</i> ..... 13
D.	Éviter le repliement spectral ..... 16
E.	Quelle fréquence d'échantillonnage pour quelle application ? ..... 17
F.	La quantification du signal ..... 18
G.	La précision ..... 20
<hr/>	
<b>3. D'un monde à l'autre...</b>	
A.	La chaîne de traitement audio numérique . 22
B.	Les convertisseurs analogique/numérique 22
B.1	Les convertisseurs à approximations successives .....23
B.2	Les convertisseurs delta .....25
B.3	Les convertisseurs sigma-delta .....26
B.4	Améliorer la précision des convertisseurs .....29
C.	Les convertisseurs numérique/analogique 30
C.1	Le convertisseur parallèle à échelle R-2R .....30
C.2	Les convertisseurs à sources pondérées .....31
C.3	Les convertisseurs sigma-delta ..... 34
D.	Les liaisons entre convertisseurs et DSP ..35
D.1	Les liaisons série synchrones ..... 35
D.2	Le protocole PS ..... 36
D.3	Les protocoles TDM ..... 37
D.4	Le protocole AC'97 ..... 38
D.5	Le protocole AES/EBU (standard IEC958) ..... 41
D.6	Le protocole ADAT ..... 43
D.7	Le protocole MADI/AES10 ..... 44
D.8	L'audio sur Ethernet ..... 45
<hr/>	
<b>4. Des microprocesseurs aux DSP</b>	
A.	La structure de Von Neumann ..... 48
B.	La structure Harvard ..... 49
C.	Du microcodage au CISC ..... 50
D.	Prenons des RISC ..... 51
E.	Les DSP : l'optimisation ultime ..... 51
F.	DSP contre processeurs génériques ..... 52
<hr/>	
<b>5. L'arithmétique des DSP</b>	
A.	Les nombres binaires non signés ..... 57
B.	Les nombres binaires signés ..... 58
C.	Les nombres à virgule fixe ..... 59
D.	Les limites du format à virgule fixe ..... 60
D.1	Gamme dynamique limitée ..... 60
D.2	Précision limitée ..... 60
D.3	Altération du rapport signal/bruit ..... 62
E.	Les opérations arithmétiques sur nombres entiers et à virgule fixe ..... 62
E.1	L'addition et la soustraction en virgule fixe ..... 62
E.2	Multiplication entière sur n bits ..... 63
E.3	Multiplication en virgule fixe ..... 64

E.4	Formatage automatique entier/flottant sur les DSP .....	65
E.5	Division de nombres binaires à virgule fixe ou flottante .....	66
F.	Les nombres à virgule flottante .....	68

## 6. Développer sur DSP

A.	Les DSP génériques .....	71
A.1	Les DSP Texas Instruments .....	71
A.2	Les DSP On Semiconductors (anciennement Motorola) .....	73
A.3	Les DSP Analog Devices .....	75
B.	Les DSP spécialisés pour applications audionumériques .....	79
C.	Développer sur DSP Analog Devices .....	80
C.1	L'assembleur Analog Devices .....	80
C.2	L'environnement Visual DSP++ .....	86
C.3	Les kits de développement EZKit-Lite .....	90
C.4	Le cycle de développement sous Visual DSP++ .....	93
C.5	Étendre les possibilités des systèmes à DSP .....	101
D.	Développer sur des systèmes DSP préfabriqués .....	103
D.1	Les cartes industrielles à DSP .....	103
D.2	Les stations de travail à DSP .....	103

## 7. Des applications audionumériques en temps réel sur micro-ordinateur

A.	Windows MME .....	106
B.	Windows Direct X .....	107
C.	ASIO .....	108
D.	Apple CoreAudio .....	109
E.	Linux ALSA .....	110
F.	Le problème de la latence .....	110
G.	Quel langage et quels compilateurs utiliser ? .....	113
H.	Portage d'applications audionumériques entre plates-formes .....	114
	Utilisation du système PortAudio .....	115

	<i>Téléchargement et compilation de PortAudio .....</i>	115
	<i>Utiliser PortAudio .....</i>	116
	<i>Démarrer PortAudio .....</i>	117
	<i>Identifier les périphériques audio .....</i>	117
	<i>La notion de flux audio .....</i>	117
	<i>La fonction de rappel de PortAudio .....</i>	118
	<i>On ferme et on range .....</i>	120

I.	Développer des effets sous forme de <i>plugins</i> .....	121
I.1	Les <i>plugins</i> VST .....	122
I.2	Les <i>plugins</i> DirectX .....	123
I.3	Les <i>plugins</i> AudioUnits .....	123
I.4	Les <i>plugins</i> Digidesign/ProTools .....	124
I.5	Les autres formats de <i>plugins</i> .....	124

## 8. La génération de signaux

A.	Ce qu'il ne faut surtout pas faire... ..	126
B.	Génération de signaux par table d'échantillons .....	127
C.	Le problème de la production de signaux à fréquence variable .....	128
D.	La quadrature du cercle .....	129
E.	L'interpolation entre en scène .....	131
F.	Générateurs de bruit .....	135
F.1	Qu'est-ce que le bruit ? .....	135
F.2	Produire du bruit blanc avec les DSP .....	135
F.3	Colorons un peu le bruit... ..	136

## 9. Les traitements et les effets liés au gain

A.	Implémentation d'un calcul de gain .....	138
B.	Le problème de la réponse de l'oreille ...	139
C.	Un mélangeur numérique .....	140
D.	Le contrôle d'image panoramique .....	141
E.	La balance stéréo .....	142
F.	Le trémolo .....	144
G.	Générateur automatique de panoramique (ou trémolo stéréophonique) .....	144

H.	Générateur d'enveloppe .....	145	A.2	La réponse en phase .....	172
I.	Modulateur d'amplitude et modulateur en anneau .....	145	A.3	La réponse à l'échelon .....	172
—————			A.4	La réponse impulsionnelle .....	174
<b>10.</b>	<b>Les effets à retard constant (delays)</b>		A.5	Les réponses caractéristiques .....	174
A.	Origine physique des retards .....	147		<i>Le filtre RC ou filtre du 1er ordre</i> .....	174
B.	Différence entre retard, écho et réverbération .....	147		<i>Réponse caractéristique de Butterworth</i> .....	175
C.	Petite histoire du retard .....	148		<i>Réponse caractéristique de Chebyshev</i> .....	176
D.	Obtention d'un retard constant avec un DSP .....	149		<i>Réponse caractéristique de Bessel</i> .....	176
E.	Utilisation des générateurs d'adresse des DSP .....	150		<i>Réponse caractéristique de Causer</i> .....	176
F.	Utilisation des retards constants dans les effets .....	151		<i>Les autres réponses caractéristiques</i> .....	177
F.1	Le retard simple .....	151		<i>Les cellules de filtrage</i> .....	177
F.2	Le doubleur .....	152	B.	Premier pas vers les filtres numériques : modélisation d'un filtre RC passe-bas .....	177
F.3	L'écho simple .....	154	C.	Filtre passe-bas RC : vers une modélisation plus exacte .....	180
G.	Le filtre en peigne ( <i>comb filter</i> ) .....	155	D.	Modélisation numérique d'un filtre à variable d'état .....	181
G.1	L'écho à sorties multiples .....	155	D.1	Modélisation d'un intégrateur numérique .....	182
G.2	Le « Ping-Pong » stéréo .....	159	D.2	Modélisation d'une cellule à variable d'état du second ordre .....	184
—————			—————		
<b>11.</b>	<b>Les effets à retard variable</b>		<b>13.</b>	<b>Les filtres numériques en pratique</b>	
A.	Obtenir des retards variables .....	160	A.	Les filtres récursifs (ou filtres à réponse impulsionnelle infinie) .....	185
B.	Modulation du retard .....	161	B.	Les filtres RIF/FIR .....	187
C.	Les effets à retards variables .....	162	C.	Les filtres en treillis ( <i>lattice filters</i> ) .....	188
C.1	Le vibrato .....	162	D.	La boîte à outils du filtrage audio : les filtres d'égalisation .....	188
C.2	Effet Leslie .....	163	D.1	Des filtres pour égaliseur graphique .....	189
C.3	Chorus .....	164	D.2	Des filtres de correction de tonalité .....	190
C.4	<i>Flanger</i> .....	165	D.3	Filtre paramétrique .....	190
D.	Le transposeur .....	167	D.4	Les filtres de croisement .....	191
D.1	Comment ça marche ? .....	170	E.	Un filtre déphaseur pour effet de phaseur .....	193
—————			F.	Les filtres RIF : des filtres à géométrie variable .....	196
<b>12.</b>	<b>Premiers pas vers les filtres numériques</b>		F.1	Première étape : savoir ce que l'on veut .....	200
A.	Les notions génériques des filtres .....	171	F.2	Deuxième étape : numériser les courbes .....	200
A.1	La réponse en fréquence .....	171	F.3	Troisième étape : passer dans le domaine temporel .....	202
			F.4	Dernière étape : vérifier la réponse réelle .....	204
			G.	D'autres outils pour calculer les filtres numériques .....	205

G.1	Des outils prêts à l'emploi pour calculer des filtres .....	205
G.2	Les ressources de l'Internet .....	206
<b>H.</b>	Quelques conseils pour finir... ..	206
—————		
<b>14.</b>	<b>Les effets de réverbération</b>	
<b>A.</b>	De l'écho à la réverbération .....	209
<b>B.</b>	Utilité de la réverbération .....	209
<b>C.</b>	Petite histoire de la réverbération .....	211
<b>D.</b>	Modélisation numérique de la réverbération .....	211
<b>E.</b>	Les algorithmes de Schroeder .....	213
<b>F.</b>	Les algorithmes de Moorer .....	213
<b>G.</b>	Les réverbérations à blocage ( <i>gate reverberation</i> ) .....	216
<b>H.</b>	Les réverbérations inversées ( <i>reverse reverberation</i> ) .....	217
<b>I.</b>	Et encore des algorithmes... ..	217
—————		
<b>15.</b>	<b>Le traitement de la dynamique</b>	
<b>A.</b>	Compresseurs .....	220
<b>B.</b>	Expansesurs .....	223
<b>C.</b>	L'expansesur négatif ( <i>noise gate</i> ) .....	223
<b>D.</b>	Mesurer le niveau du signal .....	226
—————		
<b>16.</b>	<b>Les effets de distorsion</b>	
<b>A.</b>	Du défaut léger à l'effet acoustique .....	229
<b>B.</b>	L'effet de distorsion en analogique .....	232
<b>C.</b>	La saturation en numérique .....	232
<b>D.</b>	La modélisation des amplificateurs à tube .....	235
—————		
<b>17.</b>	<b>La transformée de Fourier et ses applications audio numériques</b>	
<b>A.</b>	Domaine temporel et domaine fréquentiel .....	237
<b>B.</b>	Une transformée, quatre familles .....	237
<b>C.</b>	Transformées directe et inverse .....	238
<b>D.</b>	Calculer les transformées discrètes de Fourier directe et inverse .....	240
<b>E.</b>	La transformée de Fourier rapide .....	241
<b>F.</b>	Fenêtrage .....	245
<b>G.</b>	Les applications et effets basés sur la transformée de Fourier .....	247
G.1	Analyse spectrale .....	247
G.2	Filtrage .....	247
G.3	Transposition ( <i>pitch shifting</i> ) .....	248
G.4	Étirement temporel ( <i>time stretching</i> ) .....	248
G.5	Conclusion .....	249
—————		
	<b>Conclusion .....</b>	<b>250</b>
	<b>Remerciements .....</b>	<b>250</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>250</b>
	<b>Glossaire .....</b>	<b>251</b>
	<b>Contenu de la page Internet associée à ce livre .....</b>	<b>257</b>