

Stéphane de Gérando (*)

Virtualité du son et écriture musicale : pour une création algorithmique du timbre

SYNTHESE SONORE INFORMATIQUE /MODELE /TIMBRE /ECRITURE MUSICALE
/ESTHETIQUE

I. INTRODUCTION

Dans un précédent article intitulé *Modèles de synthèse sonore, présentation des techniques de synthèse numérique et introduction à une esthétique du timbre synthétique (Analyse Musicale n°47, 2003)*ⁱ, nous avons décrit les principaux modèles de synthèse en insistant sur le choix d'un type de modèle permettant l'invention et non la seule transformation du timbre dans une relation à l'écriture de l'œuvre. C'est ce que semble décrire l'utilisation du modèle de synthèse additive, répondant aux recherches d'Helmholtzⁱⁱ ou de Fourierⁱⁱⁱ à la fin du XIX^e siècle.

Prolongeant cette analyse, nous retraçons ici le premier aspect d'une recherche qui en comporte deux : créer des procédures automatisées de contrôle de la synthèse additive favorisant la réalisation de sons synthétiques au-delà de références sonores acoustiques naturelles ou instrumentales prédéfinies (premier aspect) et développer une écriture musicale algorithmique (réalisation et diffusion de l'œuvre par l'ordinateur) qui engendre une notion d'imprévisibilité synonyme d'un imaginaire inenvisageable au départ.

Deux niveaux de lecture sont proposés : le corps du texte résume les conditions de réalisation de cette recherche (aspects matériels et conceptuels), tandis que les annexes illustrent précisément le résultat d'une recherche expérimentale sur le contrôle, l'écriture et l'invention du timbre. Plus que de décrire les programmes de contrôle de la synthèse, nous choisissons de présenter le résultat des processus de contrôle automatisé du timbre sous la forme de fichiers tels qu'ils se présentent dans l'ordinateur.

II. LE CHOIX DES ENVIRONNEMENTS LOGICIELS

Au commencement de notre recherche en 1992, le choix des logiciels *Csound* et *Patchwork* s'impose au vu de leurs architectures ouvertes et programmables.

Csound est un environnement de synthèse modulaire écrit en langage C et développé dans plusieurs centres de recherche aux Etats-Unis, au Canada et en Angleterre notamment. Il est né de la famille des *Music* écrits par Max Mathews aux « Bell Laboratories » dans les années 60. Ce programme propose l'écriture de deux fichiers texte, l'un représentant le synthétiseur créé grâce à la combinaison d'algorithmes déjà programmés (fichier.orc) et l'autre, la partition (fichier.sco). *Csound* favorise l'utilisation du modèle de synthèse additive en l'associant à d'autres techniques comme la synthèse soustractive ou des modules de traitement du son. L'apport de procédés automatiques est essentiel pour écrire le fichier « partition », étant donné le très grand nombre de paramètres nécessaires pour synthétiser les sons (voir l'exemple du fichier « partition »).

Patchwork, environnement d'aide à la composition, est utilisé pour réaliser cette « partition ». Le programme a été écrit à l'origine par Mikael Laurson (1982) puis intégré et complété à l'IRCAM par Mikael Laurson, Camilo Rueda et Jacques Duthen puis par l'équipe dirigée par Gérard Assayag à l'IRCAM. Cet environnement de programmation graphique par modules fonctionnels permet non seulement de combiner les primitives du langage Lisp mais aussi de profiter de bibliothèques de modules spécialisés (combinatoires, stochastiques...).

III. PHASE EXPERIMENTALE (ANNEXE 1) ET PREMIERES CONSTATATIONS

Une série d'expériences (Annexe 1) est réalisée en 1998 sur la base d'un « feedback » entre la formalisation et l'écoute : la confrontation de l'aléatoire - notion théorique d'imprévisibilité - du modèle généraliste de synthèse additive et de la perception permet de complexifier progressivement l'écriture du synthétiseur et son programme de contrôle, sans référence à des modèles purement acoustiques^{iv}. Des remarques classées thématiquement et extraites de ces expériences sont à l'origine de la programmation des premiers modèles de contrôle de la synthèse.

Les notions suivantes de déterminisme^v esthétique ou scientifique font référence à un sens particulier défini pour les besoins d'une réflexion plus vaste sur l'évolution diachronique des concepts de cohérence et d'imaginaire musical (cf. opus cité).

3.1 Déterminisme esthétique musical

La composition d'un timbre synthétique ne se confond pas avec une démarche purement théorique, logique ou scientifique. La série d'expériences présentées montre que le goût, une esthétique du son perçu sont nécessaires à une recherche musicale. Dès les premières constatations, nous avons en effet trouvé le timbre « statique, monotone, artificiel, métallique voir agressif ». Ces jugements ont conduit à créer des modèles particuliers de contrôle du timbre pour que le son devienne plus « rond, profond (notion d'espace), homogène et équilibré ». Durant ces expérimentations, l'expérience et la mémoire du musicien sont mises à contribution.

3.2 Déterminismes scientifiques : acoustique et psychoacoustique

Parallèlement, pour résoudre ces questions, nous n'échappons pas à un déterminisme scientifique répondant principalement à des connaissances acoustiques ou psychoacoustiques. Le contrôle du nombre de partiels, la création de modèles de contrôle de spectre fréquentiel ou d'amplitude, la spatialisation des panoramiques ou l'épaississement de chaque sinus apportent des débuts de solutions simples.

a-Nombre de partiels

Plus le nombre de partiels choisi aléatoirement croît, plus la sensation de hauteur diminue : de 2 à 60 partiels, la perception est davantage harmonique (sensation de hauteur), à partir de 60 partiels la perception devient timbre (globalité, plus de notion de hauteur) et au-dessus de 300 partiels, apparaissent des notions de bruits statiques. Les moyens adoptés pour obtenir du « moelleux », de la rondeur ou de la chaleur sont très liés au contrôle du nombre d'harmoniques - observations d'Emile Leipp sur la typologie physique et perceptive des sons ; de 3 à 7 harmoniques avec des amplitudes décroissantes, au-dessus (14 harmoniques) le timbre devient éclatant, riche et plein.

b-Spectres harmonique, inharmonique, bruité

Un modèle aléatoire appliqué aux fréquences donne dans la majorité des cas des sons à structures inharmoniques ou bruitées (selon le nombre de partiels), d'où la nécessité de programmer différents modèles perceptifs de timbre pour diversifier leur qualité (harmonique avec déviation aléatoire ou d'autres techniques de déformation, modèle réalisé sur la série de Fibonacci, modèle formantique...)^{vi}.

c-Spectre d'amplitude

Un modèle aléatoire appliqué aux amplitudes du son favorise l'aspect métallique et déséquilibré de la sonorité. Nous programmons d'autres modèles de contrôle d'amplitude de chaque partiel du timbre, de type croissant ou décroissant, pair ou impair, formantique avec différentes techniques de déformation permettant par exemple de croiser des modèles croissants, formantiques et aléatoires.

Notons qu'un spectre unique fréquentiel ou d'amplitude - indépendamment d'autres facteurs de variations - laisse apparaître une morphologie sonore commune.

d-Espace et épaisseur du timbre

Le fait de superposer un même son transposé une ou plusieurs fois dans un ambitus restreint ou d'épaissir les fréquences sinusoïdales (sinus épaissis, multipliés par cinq par exemple) apporte une sensation de profondeur et d'espace qui alimente les micro-variations timbriques tout en lissant les aspérités du son original. Une variation aléatoire ou déterminée du panoramique associée à chaque partiel du son augmente l'effet.

3.3 Premières conséquences

Si l'on conserve l'idée d'un instrument virtuel ayant une autonomie de « création », la seule utilisation de l'aléatoire associée au contrôle de la synthèse additive ne suffit pas pour engendrer un imaginaire renouvelé du timbre. La programmation de modèles différenciés fait apparaître une structure de contrôle arborescente, le méta-modèle final étant à l'image d'un processus global d'écriture du timbre, d'une séquence de timbre ou potentiellement d'une oeuvre^{vii}...

Cette expérimentation donne lieu à cette époque à un développement du processus de contrôle du synthétiseur en travaillant spécifiquement sur le renouvellement algorithmique de la perception du timbre (intégrant les modèles cités). Il existe dix-huit paramètres de contrôle sur chaque partiel du timbre, d'une fréquence d'un jitter^{viii} à une réverbération ou un panoramique indépendant. Nous nous inspirons d'une pensée musicale contrapuntique proposant des vitesses potentiellement indépendantes de variations de chaque partiel du son. Pour ce faire, l'architecture du synthétiseur impose de concevoir des programmes (patch) d'échantillonnage et d'interpolation qui sont de plus en plus imposants, au vu du nombre de données qui peuvent être calculées.

Une fois cette étape franchie, chaque nouvelle complexification devient difficile à maîtriser. Une notion s'impose davantage, celle de l'efficacité des processus de contrôle : il existe un décalage entre la complexité naissante des procédés de contrôle du son, le résultat auditif et les aspects purement matériels et logiciels (durée de calcul...). Tout en gardant l'idée d'un instrument virtuel doué d'une forme d'intelligence, nous centrons notre réflexion sur la création d'un outil (synthétiseur et modèles de contrôle) favorisant la possible existence de l'œuvre musicale^{ix}.

IV. RECHERCHE EN COURS

D'une conception « horizontale » du timbre (contrôle indépendant de chaque partiel du timbre), nous évoluons aujourd'hui vers une appréhension plus verticale de la synthèse additive, avec comme principe, un enchaînement mixé de trois formes d'onde à déterminer (sinusoïdales ou complexes).

4.1 Exemple d'un fichier « orchestre » en cours d'élaboration dans *Csound*

La description détaillée des paramètres de contrôle du timbre (fichier représentant « le synthétiseur » réalisé dans le programme *Csound*) montre que différentes techniques de synthèse peuvent être combinées, en dehors même de la synthèse additive.

4.1.1 Définition des paramètres de contrôle du fichier « orchestre »

Nous prévoyons une cinquantaine de paramètres à définir (dans le fichier « orchestre ») pour synthétiser les trois formes d'onde choisies. Outre les paramètres de numéro d'instrument (p1), de date (p2) et de durée (p3), les autres sont classées par grandes catégories (voir le fichier « .orc » en cours d'écriture dans *Csound* – deuxième annexe) :

Enveloppe de la forme d'onde (oscillateur ou timbre complexe)

p4 = amplitude maximum (db)
p5 = durée de l'attaque (en seconde)
p6 = durée du decay (s)

Fréquence de la forme d'onde

p7 = fréquence de départ (Hz)
p8 = fréquence d'arrivée (Hz)

Traitements de la forme d'onde

vibrato

p9 = delay du vibrato exprimé en pourcentage (entre 0 et 1) de la durée : 1 équivaut à une absence de délai, 0 à un delay progressif maximum équivalent à la durée du son (attention, il peut y avoir contradiction entre p9 et p10 et p11)
p10 = amplitude de l'attaque du vibrato
p11 = amplitude du decay du vibrato
p12 = fréquence de départ du vibrato (Hz)
p13 = fréquence d'arrivée du vibrato (Hz)

jitter

p14 = delay du jitter exprimé en pourcentage (entre 0 et 1) de la durée : 1 équivaut à une absence de délai, 0 à un delay progressif maximum égal à la durée du son
p15 = amplitude de l'attaque du jitter
p16 = amplitude du decay du jitter
p17 = fréquence de départ du jitter (Hz)
p18 = fréquence d'arrivée du jitter (Hz)

Traitement de l'amplitude de la forme d'onde

vibrato (amplitude)

p19 = delay du vibrato en % de la durée (1 = pas de délai, 0 delay maximum)
p20 = amplitude de l'attaque du vibrato (amplitude)
p21 = amplitude du decay du vibrato (amplitude)
p22 = fréquence de départ du vibrato (amplitude) (Hz)
p23 = fréquence d'arrivée du vibrato (amplitude) (Hz)

jitter (amplitude)

p24 = delay du jitter en % de la durée (entre 0 et 1 = pas de délai)
p25 = amplitude de l'attaque du jitter (amplitude)
p26 = amplitude du decay du jitter (amplitude)
p27 = fréquence de départ du jitter (amplitude) (Hz)
p28 = fréquence d'arrivée du jitter (amplitude) (Hz)

Formes d'onde

p29 = forme d'onde-1 (ason1)
p30 = forme d'onde-2 (ason2)
p31 = forme d'onde-3 (ason3)

Chorus (fréquences * ason x)

p32 = freq1 (*ason2) (1ère forme d'onde)
p33 = freq2 (*ason3)
p34 = freq3 (*ason4)
p35 = freq4 (*ason5)
p36 = freq1 (*ason7) (2ème forme d'onde)
p37 = freq2 (*ason8)
p38 = freq3 (*ason9)
p39 = freq4 (*ason10)
p40 = freq1(*ason12) (3ème forme d'onde)
p41 = freq2(*ason13)
p42 = freq3(*ason14)
p43 = freq4(*ason15)

Delay lié au fader (en % de la durée) 1 et 2 (contrôle de l'enchaînement des 3 formes différentes d'onde)

p44 = delay du fader 1
p45 = delay du fader 2

Réverbération + spatialisation du son

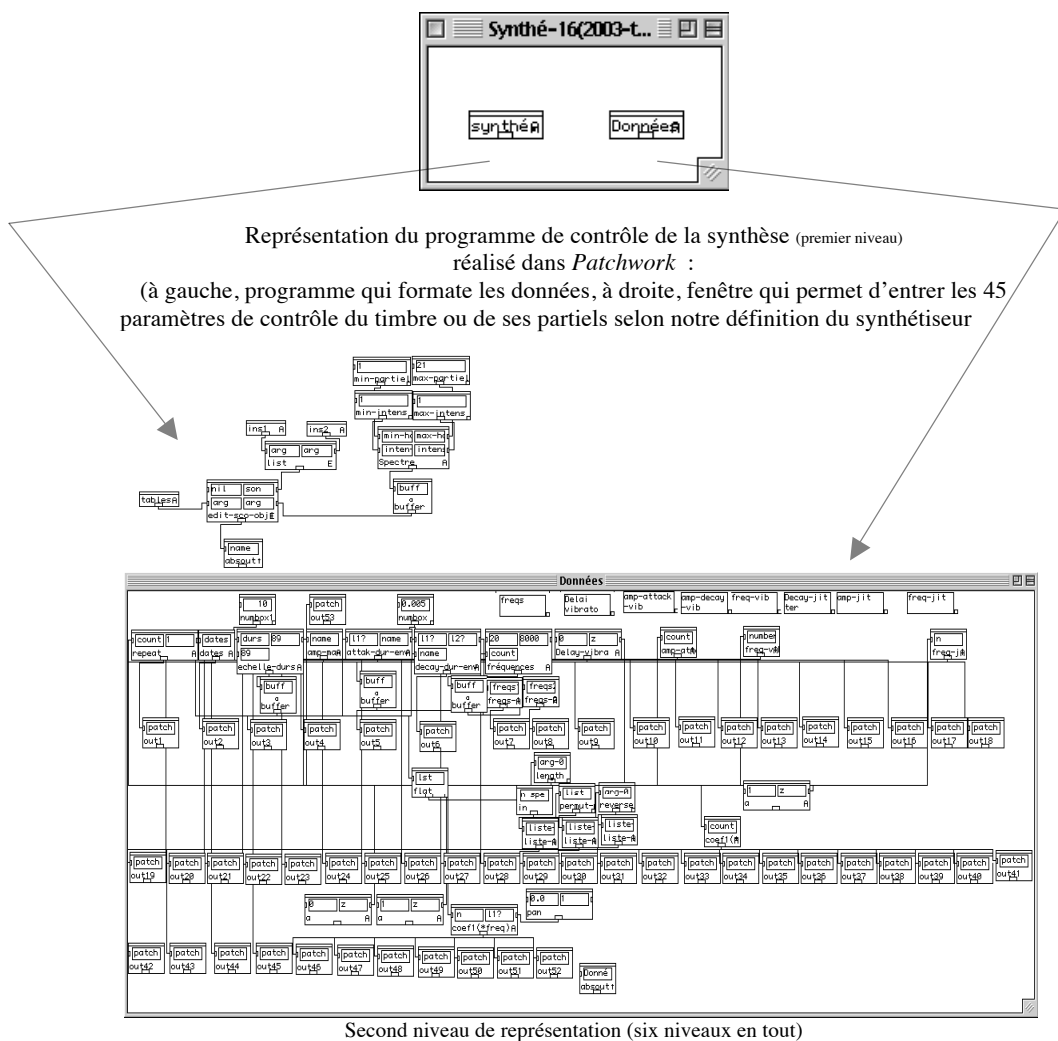
p1 = instrument 99
p4 = durée de la réverbération
tablei 98 = intensité de la réverbération
kx table 99, ky table 100 = quadriphonie traitée dans un repère cartésien
table 2 = variation de l'amplitude du son

4.1.2 Production automatisée des données qui contrôlent le synthétiseur : l'exemple d'un fichier « .sco » (partition Csound)

Résumons la situation « logicielle » permettant de synthétiser les sons grâce à l'ordinateur^x :

Programme <i>Patchwork</i>	Programme <i>Csound</i>
Réalisation de programmes de contrôle de la synthèse sonore qui génèrent automatiquement un fichier « .sco » (partition) formatée pour répondre à la définition des paramètres du synthétiseur défini dans <i>Csound</i> .	Réalisation d'un synthétiseur (fichier « .orc ») contrôlé par le fichier « .sco » (« partition se présentant sous forme numérique).

Concernant l'élaboration de notre patch de contrôle de la synthèse (*Patchwork*), nous avons choisi de séparer la partie « données » du processus spécifiquement lié à l'écriture automatique du fichier « partition », comme le montre la représentation ci-dessous :



Au lieu de décrire l'architecture arborescente du patch de contrôle (six niveaux imbriqués de représentation), il nous a semblé moins fastidieux de présenter directement un exemple de son fonctionnement algorithmique, via la réalisation d'un fichier « .sco » (partition).

L'unique contrainte de départ est ici de synthétiser dix sons consécutifs de cinq secondes chacun^{xi}, le reste des paramètres notés ci-dessous étant le résultat du processus algorithmique de contrôle du timbre.

Ce fichier *partition* débute par une série de fonctions appelées « f ». Les fonctions 99 et 100 décrivent une spatialisation quadraphonique stochastique en relation avec la durée

globale du son et selon un repère cartésien x, y (la fonction 98 une variation d'intensité de la réverbération trop longue à présenter ici) :

f99	0.0000	4096.0000	7.0000	0.7500	10.0000	0.5000	130.0000	0.5000	180.0000	0.7500
	31.0000	0.5000	55.0000	1.0000	91.0000	0.7500	111.0000	0.0000	166.0000	0.7500
	166.0000	1.0000	22.0000	0.2500	127.0000	1.0200	27.0000	0.0000	42.0000	0.7500
	61.0000	0.7500	58.0000	0.0000	63.0000	0.4900	56.0000	0.7500	85.0000	0.9700
	131.0000	0.7600	121.0000	0.0000	19.0000	1.0000	104.0000	0.5000	71.0000	0.0000
	69.0000	1.0100	60.0000	0.0000	87.0000	0.7600	138.0000	0.2500	120.0000	0.7300
	150.0000	0.7600	8.0000	1.0000	92.0000	0.0000	13.0000	0.4900	11.0000	0.7500
	22.0000	0.2500	102.0000	1.0000	143.0000	1.0000	73.0000	0.4900	138.0000	0.4900
	129.0000	0.2500	52.0000	0.7500	167.0000	0.2500	26.0000	1.0000	41.0000	0.5000
	98.0000	0.7500	200.0000	0.2500	155.0000	1.0000	75.0000			
f100	0.0000	4096.0000	7.0000	0.5100	10.0000	0.2600	130.0000	0.2500	180.0000	0.2500
	31.0000	0.7500	55.0000	0.5000	91.0000	0.5100	111.0000	0.0000	166.0000	0.2500
	166.0000	0.2500	22.0000	1.0000	127.0000	1.0100	27.0000	0.2500	42.0000	0.7700
	61.0000	0.7300	58.0000	1.0000	63.0000	0.7400	56.0000	0.2500	85.0000	1.0000
	131.0000	0.7500	121.0000	0.0000	19.0000	0.7500	104.0000	0.7400	71.0000	0.7500
	69.0000	0.7500	60.0000	0.2500	87.0000	0.0000	138.0000	0.2500	120.0000	0.2600
	150.0000	0.2500	8.0000	0.0000	92.0000	0.7400	13.0000	0.2500	11.0000	0.0000
	22.0000	0.0000	102.0000	0.2500	143.0000	0.2500	73.0000	0.5000	138.0000	0.7300
	129.0000	1.0000	52.0000	1.0000	167.0000	0.7700	26.0000	1.0000	41.0000	0.5100
	98.0000	0.4900	200.0000	0.7500	155.0000	1.0000	75.0000			

Le programme « gen9 » génère un spectre harmonique ou inharmonique (dans cet exemple, 19 spectres, des fonctions 10 à 19). Les chiffres qui apparaissent en gras représentent le coefficient multiplicateur d'une fréquence fondamentale (déterminée comme les 7 et 8^e paramètres du fichier), les deux autres chiffres suivant l'amplitude et la phase des partiels (exemple ci-dessous) :

Num. table	Date	Nbre de points	Num. programme	Partiel 1 : freq. fond *1.0000	Amplitude du partiel 1	Phase du partiel 1	Partiel 2 : freq. fond *2.0000
f10	0.0000	4096.0000	9.0000	1.0000	16779.6900	0.0000	2.0000.....

La détermination de cette série de spectres répond à un choix stochastique équilibré contrôlant une diversité de modèles déterministes d'élaboration du timbre, selon trois grandes catégories de perception : harmonique, inharmonique et bruitée^{xii}. La diversité du nombre de partiels, des structures intervalliques des spectres de fréquence et d'amplitude montre un résultat qui tient compte d'une double volonté : renouveler dans la continuité. Les variations numériques présentées en exemple ci-dessous répondent à des seuils quantitativement définis favorisant un équilibre de la perception ; en effet, les sons à la morphologie et au timbre trop particuliers prennent en effet une dimension perceptive écrasante et trop prégnante.

Définition des formes d'onde (timbre du son)

f10	0.0000	4096.0000	9.0000	1.0000	16779.6900	0.0000	2.0000	18656.0800	0.0000	3.0000
	17751.5500	0.0000	4.0000	26761.7200	0.0000	5.0000	24661.4000	0.0000	6.0000	18359.7200
	0.0000	7.0000	31277.8500	0.0000	8.0000	28746.0400	3.0000	9.0000	11396.3300	0.0000
	10.0000	33448.1400	156.0000	11.0000	17414.5000	0.0000	12.0000	1.0400	175.0000	13.0000
	5520.0500	0.0000	14.0000	23231.3000	0.0000	15.0000	11990.7000	0.0000	16.0000	6598.4000
f11	0.0000	4096.0000	9.0000	1.0000	31557.2900	0.0000	2.0000	16045.0400	0.0000	3.0000
	894.6300	189.0000	4.0000	10566.3900	0.0000	5.0000	30267.7300	0.0000	6.0000	24714.0100
	0.0000	7.0000	0.9400	0.0000	8.0000	30237.5400	0.0000	9.0000	17572.6000	0.0000
	0.0000	4096.0000	9.0000	1.0000	1.0000	0.0000	2.0000	18902.6800	0.0000	3.0000
	11402.5700	0.0000	4.0000	7911.9100	0.0000	5.0000	29213.6500	0.0000	6.0000	27588.3000
f12	0.0000	4096.0000	9.0000	1.0000	14532.2100	0.0000	8.0000	32664.7800	0.0000	9.0000
	0.0000	7.0000	14532.2100	0.0000	8.0000	32664.7800	0.0000	9.0000	28844.8300	0.0000
	0.0000	4096.0000	9.0000	1.0000	7210.3800	57.0000	2.0000	31553.2100	0.0000	3.0000
	12442.8200	0.0000	4.0000	11155.7900	0.0000	5.0000	1.0100	0.0000	6.0000	20788.8900
	38.0000	0.0000	4.0000	11155.7900	0.0000	5.0000	1.0100	0.0000	6.0000	20788.8900
f13	0.0000	4096.0000	9.0000	1.0000	10199.3500	0.0000	2.0000	2989.5800	0.0000	3.0000
	19493.2200	0.0000	4.0000	30577.2900	0.0000	5.0000	2360.4700	0.0000	6.0000	2821.5800
	0.0000	7.0000	4174.3700	0.0000	8.0000	30565.5100	348.0000	9.0000	30063.0400	0.0000
	10.0000	19477.9900	0.0000	11.0000	19064.0100	367.0000	12.0000	7958.5700	365.0000	13.0000
	6350.1400	0.0000	14.0000	3406.2200	258.0000	15.0000	15254.5500	0.0000	16.0000	15840.7900
f14	0.0000	4096.0000	9.0000	1.0000	102.0000	18.0000	23728.9600	0.0000	19.0000	14861.3700
	0.0000	1.0000	0.0000							
	22434.1600	100.0000	4.0000	258.2000	289.0000	5.0000	24545.6600	0.0000	6.0000	5338.2200
	0.0000	7.0000	0.9900	0.0000	8.0000	12281.3600	0.0000	9.0000	31339.9800	0.0000
	10.0000	4050.4800	0.0000	11.0000	9890.2600	0.0000	12.0000	25703.8400	0.0000	13.0000
f15	19746.0400	0.0000	14.0000	32632.6000	0.0000	15.0000	31005.7200	0.0000	16.0000	14534.7500
	103.0000	17.0000	9039.3000	0.0000	18.0000	23732.9000	0.0000			
	0.0000	4096.0000	9.0000	1.0000	11934.3900	0.0000	2.0000	23884.8200	0.0000	3.0000
	24298.3500	0.0000	4.0000	12093.4800	0.0000	5.0000	31597.4800	0.0000	6.0000	8994.9600
	0.0000	7.0000	4097.6500	188.0000	8.0000	1043.9000	217.0000	9.0000	3642.4700	0.0000
f16	10.0000	20409.0200	172.0000	11.0000	10484.3200	314.0000	12.0000	15536.9100	0.0000	13.0000
	29619.7500	0.0000	14.0000	3158.1500	0.0000	15.0000	6411.3600	0.0000	16.0000	3686.2400
	0.0000	17.0000	0.9700	0.0000	18.0000	11762.5600	277.0000			
	0.0000	4096.0000	9.0000	1.0000	24179.2700	0.0000	2.0000	6215.7600	0.0000	3.0000
	9347.6500	0.0000	4.0000	32033.9400	0.0000	5.0000	10980.1600	0.0000	6.0000	27844.4800
f17	0.0000	7.0000	14738.3800	0.0000	8.0000	1.0100	231.0000	9.0000	18714.3200	375.0000
	10.0000	25465.5800	0.0000	11.0000	10790.1000	127.0000	12.0000	32364.7600	0.0000	13.0000
	23180.2700	0.0000	14.0000	18163.6200	0.0000	15.0000	28963.1000	0.0000	16.0000	25918.0800

Virtualité du son et écriture musicale : pour une création algorithmique du timbre

	0.0000	17.0000	23629.1600	137.0000	18.0000	27677.5000	82.0000	19.0000	23799.7900	20.0000
	20.0000	5392.2000	0.0000							
fl8	0.0000	4096.0000	9.0000	1.0000	14483.7400	0.0000	1.4700	31992.1900	296.0000	2.0000
	23697.0900	0.0000	2.8100	17741.1800	0.0000	2.8600	5218.1500	0.0000	3.0000	3204.3200
	254.0000	3.0300	33111.9400	238.0000	3.3700	2848.6700	0.0000	4.0000	4742.7300	0.0000
	7.0000	11829.3600	185.0000	10.4300	11460.8200	0.0000	11.0000	28793.1800	0.0000	13.0000
	15976.6100	0.0000	13.0000	16085.8300	0.0000	17.0000	2007.8700	28.0000	39.1600	3154.3800
	325.0000	50.8900	0.9500	0.0000	54.8900	9575.1600	56.0000	75.3300	32253.6700	248.0000
fl9	0.0000	4096.0000	9.0000	1.2900	25589.2400	0.0000	1.4900	7465.2900	0.0000	2.0000
	23115.9300	0.0000	2.8800	14195.1700	0.0000	3.4400	31395.3300	0.0000	3.5200	28190.3500
	297.0000	3.8000	4419.9500	0.0000	4.9000	3647.0200	0.0000	6.0300	20517.4500	96.0000
	7.0000	1.0300	0.0000	12.0000	28723.8400	24.0000	13.0000	0.9500	0.0000	26.0000
	24293.9200	166.0000								

La description du fichier se poursuit par l'écriture automatique des 45 paramètres pour chaque son (i1, i2...). La composition du timbre est basée dans cet exemple sur trois spectres combinés entre eux selon le protocole suivant : le second spectre répond à une permutation aléatoire du premier alors que le dernier est son rétrograde (cf. paramètres 29, 30, 31).

p1 : num. instru	p2 : date	p3 : durée en seconde	p4 : amplitude maximale	p5 : durée de l'attaque	p6 : durée du decay	p7 : fréquence de départ	p8 : fréquence d'arrivée	p9 : delay du vibrato	p10 : amplitude du vibrato
i1	0.0000	5.0000	32000.0000	0.0030	0.0060	2387.0000	2387.0000	0.8100	6.1613
ii	5.0000	5.0000	32000.0000	0.0020	0.0090	6830.0000	6804.5820	0.5600	6.8227
iii	10.0000	5.0000	32000.0000	0.0020	0.0080	1546.0000	1566.6110	1.0000	4.6261
iiii	15.0000	5.0000	32000.0000	1.3260	0.0080	5287.0000	5287.0000	1.0000	12.1293
iiiii	20.0000	5.0000	32000.0000	1.7950	0.0080	3352.0000	3352.0000	0.3000	5.7098
iiiiii	25.0000	5.0000	32000.0000	0.0010	1.8320	995.0000	1007.3490	1.0000	6.9588
iiiii	30.0000	5.0000	32000.0000	0.0030	1.6690	5067.0000	5044.4420	0.3000	6.7259
iiii	35.0000	5.0000	32000.0000	0.0020	0.0090	5345.0000	5345.0000	0.4700	14.2073
iii	40.0000	5.0000	32000.0000	0.0050	2.1140	5595.0000	5595.0000	0.5300	6.2401
ii	45.0000	5.0000	32000.0000	1.1520	1.7070	1743.0000	1753.7640	0.5500	11.9267
p11 : amp. du decay	p12 : fréq. départ vibrato	p13 : fréquence arrivée du vibrato	p14 : delay du jitter	p15 : amp. attaque jitter	p16 : amplitude decay du jitter	p17 : fréq. départ du jitter	p18 : fréq. arrivée jitter	p19 : delay du vibrato (amp.)	
11.2548	5.5579	6.1922	0.5700	1.1078	579.0000	27.0000	17.1097	0.4300	
2.5853	5.0778	0.0000	0.2000	2.6796	13.7913	145.0000	0.0000	0.4900	
6.2826	5.8436	6.6122	0.3800	4.1320	13.2138	14.5711	42.0000	0.1600	
5.9884	6.6464	6.8107	0.6900	4.4875	14.4438	42.0000	33.0000	0.3200	
8.3613	0.0000	6.4270	0.3900	6.7486	11.8344	0.0000	43.0000	0.6400	
7.5563	6.6463	1.8317	0.9600	12.1105	11.6116	3.0639	25.0000	0.8400	
42.0000	6.9936	5.9041	1.0000	11.4626	8.4220	22.0000	48.0000	0.5700	
11.3825	0.0000	0.0000	0.8600	10.8766	11.2029	0.0000	44.0000	0.9600	
14.4960	0.0000	5.7577	0.7200	9.9467	2.5870	26.0000	10.4099	0.2000	
11.6410	5.4427	9.2850	0.0800	1.5565	13.9786	35.0000	0.0000	0.7200	
p20 : amp. attaque du vibrato (amp.)	p21 : amp. decay vibrato (amp.)	p22 : fréquence départ du vibrato (amp.)	p23 : fréq. arrivée du vibrato	p24 : delay du jitter (% durée)	p25 : amplitude attaque du jitter (amp.)	p26 : amplitude du decay du jitter (amp.)	p27 : fréq. départ du jitter	p28 : fréquence d'arrivée du jitter (ampl.)	
10.7322	6.7926	0.0000	5.7446	0.0400	6.2191	1.1922	0.0000	36.0000	
14.9053	9.4464	9.1658	6.4706	0.0300	6.5110	5.6618	30.0000	17.7433	
4.0201	12.7183	0.0000	0.0000	0.5900	6.5995	6.5821	47.0000	46.0000	
12.8579	6.4316	1.8399	5.4189	1.0000	7.1744	14.9498	38.0000	49.0000	
11.9880	1.2059	95.0000	2.1903	1.0000	1.7395	6.9284	0.0000	49.0000	
4.2816	10.5368	0.0000	6.4496	1.0000	6.9768	11.1412	29.0000	0.0000	
13.9412	1.4307	6.6978	0.0000	0.3400	14.2611	2.7266	36.0000	0.0000	
9.1967	8.4891	6.6961	0.0000	0.6500	2.5351	2.8110	0.0000	0.0000	
11.4196	4.7615	13.0000	6.1500	1.0000	2.1933	1.1318	0.0000	0.0000	
4.8576	6.2816	0.0000	2.9769	1.0000	6.1907	2.1545	22.0000	0.0000	
p29 : forme d'onde- 1 (ason1)	p30 : forme d'onde- 2 (ason2)	p31 : forme d'onde-3 (ason3)	p32 : freq1 (*ason 2) (1ère FO)	p33 : freq2 (*ason 3) (2ème FO)	p34 : freq3 (*ason4)	p35 : freq4 (*ason5)	p36 : freq1 (*ason 7) (2ème FO)	p37 : freq2 (*ason8)	
10.0000	19.0000	19.0000	1.0006	1.0012	0.9987	1.0125	0.9966	0.9985	
11.0000	15.0000	18.0000	1.0107	1.4203	1.0000	0.9982	0.9999	0.9973	
12.0000	16.0000	17.0000	0.9978	1.0036	1.7579	1.0037	1.5507	0.9969	
13.0000	12.0000	16.0000	1.0000	1.0038	1.0027	1.9977	1.0019	1.0038	
14.0000	13.0000	15.0000	0.9981	0.9974	0.9984	1.6091	1.0004	0.9989	
15.0000	17.0000	14.0000	1.0007	1.0025	1.0009	1.0039	1.0037	1.7630	
16.0000	10.0000	13.0000	1.0008	0.9993	1.0019	0.9989	1.0022	1.2017	
17.0000	11.0000	12.0000	1.0000	1.0038	0.9981	0.9974	0.9996	1.0035	
18.0000	14.0000	11.0000	1.0000	1.0000	1.0024	1.0000	0.9997	0.9962	
19.0000	18.0000	10.0000	1.0000	0.9964	1.0000	1.0023	0.9997	1.0013	
p38 : freq3 (*ason 9)	p39 : freq4 (*ason 10) FO)	p40 : freq1*ason1 2 (3ème FO)	p41 : freq2* ason13	p42 : freq3* ason14	p43 : freq4(*as on15)	p44 : delay du fader 1	p45 : delay du fader 2		
0.9999	0.9972	0.9967	0.9999	1.4157	1.0001	0.4400	0.7200		
1.0000	0.9980	1.0000	1.0011	0.9961	1.0000	0.9600	0.0800		
0.9990	1.0010	0.9970	1.0015	0.9971	1.0021	0.8400	1.0000		
13.0000	12.0000	16.0000	1.0000	1.0038	1.0027	1.9977	1.0019		
0.9990	0.9998	1.0000	1.0014	1.0000	1.0038	1.0000	0.3000		

1.0007	1.0000	0.9975	0.9981	0.9994	1.0000	0.8700	0.3800
0.9986	0.9996	1.0014	1.0000	1.0000	0.9999	1.0000	0.3800
1.0038	1.5717	0.9969	1.0833	1.0015	0.9980	0.6600	0.7800
1.6032	0.9971	0.9998	0.9963	1.2258	0.9980	1.0000	0.6400
1.0007	0.9994	1.0016	0.9999	0.9992	1.0000	1.0000	0.6300

V. PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Associer le résultat imprévisible d'un modèle de génération de nombres aléatoires au contrôle d'un modèle de synthèse de type additif a fait émerger la nécessité de réintroduire des déterminismes que l'on souhaitait pourtant fuir à l'origine. Cependant, contrairement à l'utilisation de références acoustiques trop schématiques (sons naturels ou instrumentaux existants), nous nous réapproprions des analyses scientifiques décrivant les propriétés physique et psychoacoustique du phénomène sonore pour les lier à des procédures inventées d'écriture du timbre. Dans ce contexte où le déterminisme de l'objet (son) fait un pas vers l'abstraction, équilibrer les modèles de contrôle de la synthèse, qu'ils soient combinatoires, aléatoires ou stochastique reste une orientation de recherche qu'il semble important de prolonger.

Par ailleurs, les différentes étapes présentées rappellent l'évolution commune des outils techniques (programmes) et conceptuels. Ce choix méthodologique est décisif, la création du synthétiseur progresse au même rythme que la programmation de ses modèles de contrôle, eux-mêmes définis par une complexification croissante des relations entre une combinatoire symbolique et la perception (phase expérimentale). Les nouvelles potentialités offertes par l'outil technologique sont bien réelles ; possibilité d'écrire tous types de timbre, de le contrôler intérieurement avec une précision qui dépasse les facultés psychophysiologique de la perception humaine, interrelation des paramètres physique et perceptif du son... L'idée de modèle se substituant à une compréhension et une représentation traditionnelle du timbre, ce sont les paramètres (fichier « .orc ») du contrôle de la synthèse (comme la durée, l'espace, l'intensité...) qui participent à son imaginaire, à son écriture et à sa production^{xiii}. Mais plus encore, la globalité de notre recherche montre que les frontières entre le contrôle du timbre et du son ne sont plus claires, différents niveaux d'écriture apparaissent de manière imprévisible, la création du son « micro et macroscopique » fusionnant avec le projet de l'œuvre musicale.

L'instrument virtuel (fichier symbolisant le synthétiseur et les programmes de contrôle) est bien moyen autonome d'invention. L'écriture automatique du fichier partition montre comment cette idée d'autonomie apparaît très concrètement.

Dès lors, les frontières interdisciplinaires se trouvent atomisées. Nous le ressentons déjà très fortement, mais il existe un véritable danger à confondre les objectifs entre eux, sans discerner l'importance des enjeux d'une recherche théorique et appliquée. C'est probablement à cet endroit que se manifesterà le futur de notre réflexion, avec la perspective de valoriser un nouveau champ disciplinaire favorisant la dimension musicale ou plus globalement artistique (arts virtuels interactifs poly-sensoriels) de la recherche en créant ses propres concepts et méthodes de pensée.

Bibliographie (écrits cités de l'auteur)

de GERANDO, Stéphane, « Se séparer pour découvrir un imaginaire – L'expérience d'une écriture musicale » in *Imaginaire et inconscient*, revue d'études psychothérapeutiques, L'Esprit du Temps - Presses Universitaires de France, 2002

de GERANDO, Stéphane, « Modèles de synthèse sonore informatique - Présentation des techniques de synthèse numérique et introduction à une esthétique du timbre synthétique », *Analyse Musicale* (n°47), ADAM, 2003

de GERANDO, Stéphane, *Contingence et déterminisme procédural appliqués à la synthèse sonore informatique et l'écriture musicale*, Septentrion – Presses Universitaires, 1998

[La liste des autres références bibliographiques est empruntée à ce dernier ouvrage.](#)

Exemples d'œuvres réalisées à l'aide des nouvelles technologies numériques

Binaurale pour bande numérique, sons synthétisés par ordinateur (1999), création à Muret en 1999.

Commentaire : œuvre algorithmique (création d'un programme informatique), écriture et réalisation de l'œuvre grâce à l'ordinateur.

Intumescence, pour 15 instrumentistes, bande numérique deux pistes et électronique (1997), commande de Radio-France, coproduction INA-GRM, création et enregistrement au "Festival Présence 97" par l'Ensemble de l'Orchestre Philharmonique de Radio-France.

Commentaire : la partie instrumentale et électroacoustique a été réalisée à partir des mêmes programmes informatiques.

Ce que tout cadavre devrait savoir, septuor avec soprano et récitant, commande de l'Ensemble 2E2M, (1995) (env. 13 minutes), création et enregistrement par l'Ensemble 2E2M au Centre Pompidou, le 29 mai 1996.

Commentaire : utilisation de la composition assistée par ordinateur pour penser et écrire l'œuvre.

Du sens au sens pour flûte en ut (1994) (env. 13 minutes), dédiée à Pierre-Yves Artaud, création au Festival de Musique Contemporaine de Darmstadt par Pierre-Yves Artaud (enregistrement du concert par le festival), Prix International du Festival de Darmstadt.

Commentaire : œuvre réalisée de manière algorithmique, de l'écriture à la réalisation de la partition.

En toi, avec lui et en lui pour 52 solistes et auditoire de chambre (quatre groupes orchestraux répartis autour du public) (1991) (env. 10 minutes), créée au Festival "Présence 1992" au Grand Auditorium de Radio-France (janvier 1992), enregistrements Radio-France et enregistrement quadriphonique CNSMDP.

Commentaire : œuvre composée d'après une analyse spectrale d'un signal corticographique (activité électrique du cerveau d'un chat) (en collaboration avec le laboratoire de neurophysiologie comparée - Professeur Busser, faculté des sciences de Paris VI)

Puisqu'il en est ainsi pour orchestre symphonique et bande magnétique huit pistes (1989) (env. 30 minutes), au Grand Auditorium de la Maison de la Radio, le 8 mars 1990, à Paris, enregistrement Radio-France.

ANNEXE 1

Description d'une série de 13 expériences au sujet du contrôle de la synthèse additive

Première expérience

Description de l'expérience :

- six sons de 3, 10, 30, 60, 150 800 partiels
- choix aléatoire des fréquences (entre 15 et 20000Hz) et des amplitudes (entre 0 et 100)
- durée des sons, 3 secondes
- panoramique au centre (0.5)

Constatation générale :

A l'audition, le caractère statique, monotone, artificiel et agressif semble l'emporter sur les divergences des six sons. Plus le nombre de partiels croît, plus la sensation de hauteurs diminue : de 2 à 60 partiels, la perception est davantage harmonique (sensation de hauteur), à partir de 60 partiels la perception devient timbre (globalité, plus de notion de hauteur), et au-dessus de 300 partiels, nous avons la sensation de bruits statiques. L'aléatoire produit des situations différentes même s'il génère le plus fréquemment des sons dits inharmoniques (composantes fréquentielles multiples flottantes de la fondamentale).

Deuxième expérience

Description de l'expérience :

- 6 sons différents possèdent le même nombre de partiels (30)
- choix aléatoire des fréquences (entre 15 et 20000Hz) et des amplitudes (entre 0 et 100)
- panoramique au centre (0.5)
- durée, 3 secondes

Constatation générale :

Paradoxalement, les sons évoluent, prenant tour à tour des caractéristiques dissemblables malgré une écoute lisse, métallique et sans profondeur toujours présente. La perception de hauteur influe sur ce renouvellement. Moins le cadre de l'expérience est contraignant ("sons diversifiés"), plus l'écoute semble exiger un renouvellement significatif du son. La perception de la dynamique générale sonore est proche. La fréquence des sons ou leur timbre ont tendance à stationner dans le médium ou l'aigu, les graves faisant défaut.

Troisième expérience

Description de l'expérience :

- 6 sons
- spectre unique de 30 partiels tirés aléatoirement entre 15 et 20000 Hz avec des amplitudes différentes pour chaque son
- panoramique au centre (0.5)
- durée, 3 secondes

Constatation générale :

Ce test laisse apparaître une morphologie commune de sons. Les timbres conservent cependant des aspects lisses et métalliques. Les transformations paraissent originales dans leurs procédés et résultats auditifs (modification des enveloppes d'amplitude d'un spectre donné) car elles peuvent être traitées indépendamment de tout autre élément constitutif du son.

Quatrième expérience

Description de l'expérience :

- 6 sons
- les sons ont un spectre d'amplitude unique choisi aléatoirement
- le spectre en fréquence (30 partiels) diffère pour chaque son

Constatation générale :

C'est la même configuration que l'expérience précédente mais "inversée", avec la sensation d'une famille de sons plus traditionnelle dans les rapports entretenus (sorte de variation fréquentielle d'un même instrument acoustique). Nous saisissons le rôle prépondérant de l'enveloppe d'amplitude. Cette expérience prend sa pleine signification à partir d'enveloppes caractéristiques. Cette première série d'expériences rappelle deux spécificités : l'une liée à une fatigue, un ennui face à un complexe sonore inerte et sans évolution, l'autre, davantage conditionnée par la constitution spectrale des sons à dominantes harmoniques et inharmoniques. Un modèle aléatoire appliqué à tous les paramètres du son donne dans la majorité des cas des sons à structures inharmoniques.

Cinquième expérience

Objectif :

Nous proposons le développement d'un modèle de contrôle du timbre harmonique. Ce nouvel aspect sera complété par l'apport de variations au cours du temps et le développement d'enveloppes d'amplitudes spécifiques afin de contrôler davantage la couleur du son (éviter l'aspect "métallique").

Description de l'expérience :

- 4 sons
- spectre à caractère harmonique de 200 composantes fréquentielles, fondamentale à 88 Hz
- Son1 :
 - 200 harmoniques
 - fondamentale à 88 Hz
 - amplitudes à caractère décroissant

- Son2 :
Mêmes caractéristiques, avec des amplitudes qui évoluent d'un état aléatoire à un état décroissant
- Son3 :
Mêmes caractéristiques que le son1 avec une déformation aléatoire du spectre fréquentiel entre - 0.5 Hz et + 0.5 Hz
- Son4 :
Mêmes caractéristiques que le dernier son avec un "quintuplement" aléatoire (*5) de 150 "harmoniques" sur 200 choisis dans un ambitus de - 1 et + 0.5 Hz

Constatation générale :

Nous abordons des éléments nouveaux constitutifs du son; une empreinte harmonique du spectre fréquentiel, des variations temporelles du spectre, ainsi que des notions d'épaississement et d'instabilité du son. Le son1 présente une apparence toujours aussi rigide mais plus homogène (perception d'une fondamentale (fa), et d'un timbre nasillard). Le son2 introduit une variation des amplitudes au cours du temps qui change très distinctement la physiologie sonore. Les variations temporelles du son3 particulièrement intéressantes découlent de la structure même du spectre qui n'est plus complètement harmonique. Nous ne forçons pas l'évolution du son, il subit les interactions fréquentielles du spectre. Il prend ici un caractère fragile et instable prêt à renouveler l'audition et à développer « une mise en relief ». Le son4 paraît moins homogène (apparition d'harmoniques aigus), mais plus diffus. L'espace et la profondeur semblent amplifiés. Pour les exemples ayant une enveloppe d'amplitude décroissante, le timbre a gardé sa couleur originelle malgré les variations décrites.

Sixième expérience

Objectif :

Nous franchissons une nouvelle étape en cherchant à attribuer au son un timbre plus rond. Pour ce faire, nous utilisons de nouveau des structures spectrales uniques.

Description de l'expérience :

- 4 sons
- Sons contenant assez peu d'harmoniques (structure unique)
- son1 : 3 harmoniques, fondamentale à 250 Hz, amplitudes décroissantes (05)
- son2 : 4 harmoniques, fondamentale à 250 Hz, amplitudes aléatoires (01)
- son3 : 12 harmoniques, fondamentale à 250 Hz, amplitudes aléatoires (02)
- son4 : 20 harmoniques, fondamentale à 250 Hz, amplitudes décroissantes (04)

Constatation générale :

Le critère de rondeur d'un son défini par Leipp (fondamentale relativement intense et peu d'harmoniques) s'applique à ces exemples. Les moyens adoptés pour obtenir du "moelleux", de la rondeur ou de la chaleur sont aussi inspirés des observations de Leipp sur la typologie physique et perceptive des sons ; de 3 à 7 harmoniques avec des amplitudes décroissantes, au-dessus (14 harmoniques) le timbre devient éclatant, riche et plein.

Septième expérience

Objectif :

Dans la continuité de l'appréhension de rondeur du son, nous recherchons ici la profondeur, l'épaississement...

Description de l'expérience :

- 3 sons
- 12 harmoniques
- fondamentale à 250 Hz
- amplitudes aléatoires (son2 de l'expérience précédente), puis le même son épaissi (harmoniques quintuplés), avec une évolution légère des fréquences et des amplitudes dans le temps (10 par seconde), le 3e son représentant le mixage de ce dernier son avec son double légèrement transposé (-15 cents).

Constatation générale :

Le son est plus épais, plus profond, plus dynamique. Le fait de superposer un même son transposé une ou plusieurs fois dans un ambitus restreint ou d'épaissir les fréquences sinusoïdales constituant le timbre apporte une sensation de profondeur et d'espace qui alimente les micro-variations de timbre tout en lissant légèrement les aspérités du son original.

Huitième expérience

Objectif :

Recherche d'une mise en espace du son

Description de l'expérience :

- 2 sons
- ajout aléatoire des panoramiques (10 variations par seconde)
- Son1 :
 - 20 harmoniques
 - enveloppe d'amplitude à caractère décroissant
 - variation 10 fois par seconde (fréquences et amplitudes)
 - sinus épaissis (*5)
- son2 :
 - 10 harmoniques (variations 10 fois par seconde)
 - enveloppe d'amplitude à caractère décroissant (variations 10 fois par seconde)
 - sinus épaissis (*5)
 - variation aléatoire des panoramiques 10 fois par seconde

Constatation générale :

L'impression d'espace et de profondeur est tangible, le son acquiert, par la même, une dimension temporelle.

Neuvième expérience

Description de l'expérience :

- 2 sons dont un transposé
- Panoramiques aléatoires conservés avec ici un son inharmonique
- Son1 :
 - spectre aléatoire inharmonique entre 15Hz et 1000Hz
 - 10 partiels *10 (épaissis)
 - enveloppe à caractère décroissant
 - durée, 5 secondes avec 10 variations par seconde
- son2 :
 - son1 transposé dans l'aigu

Constatation générale :

Le son est homogène, avec la perception d'une fréquence fondamentale alors que le spectre est inharmonique, le son se comporte avec une certaine "beauté plastique".

Dixième expérience

Description de l'expérience et constatation :

- Même type de situation que la dernière expérience (son inharmonique...) avec plus de partiels (30 au lieu de 10 précédemment) pour le deuxième son.
- Son1 :
 - Même situation que le son1 dans le test antérieur (9)
 - Spectre aléatoire inharmonique entre 15Hz et 1000Hz
 - 10 partiels *10 (épaissis)
 - Enveloppe à caractère décroissant
 - Durée : 10 secondes avec 10 variations par seconde
- Son2 :
 - Spectre aléatoire inharmonique entre 15Hz et 20000Hz
 - 30 partiels *10 (épaissis)
 - Enveloppe à caractère décroissant
 - Durée : 5 secondes avec 10 variations par seconde

S'il y a trop d'harmoniques aigus le timbre a tendance à être métallique et aigu (cas des sons inharmonique-son2). Le son1 apparaît moins homogène que son homologue (son1-expérience précédente). Pourquoi le son est-il homogène dans

un cas et beaucoup moins dans l'autre alors que les deux sons ont une configuration inharmonique ? Tentons de répondre à la question.

Exp. 9 /son1 (son homogène)

Exp. 10 /son1 (son moins homogène)

Spectre simplifié (en Hz)

31 32 33 (Hz)	27 (Hz)
73 74	47 48
79 80	189 190
139 140 141	411 412 413
270 271	506 507 508
470 471 472	673 674 675
546 547	724725
715716	737 738
815 816	838 839
901	840

Spectre harmonique 1 = (32 64 96 128 160 192 224 256 288 320 352 384 416 448 480
n°: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
différence entre test9 et spectre h.1 : -9hz +16 -12 -14 +9

512 544 576 608 640 672 704 736 768 800 832 864 896 928 960 992 1024)
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32

Spectre harmonique2 = (27 54 81 108 135 162 189 216 243 270 297 324 351 378 405
n°: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

432 459 486 513 540 567 594 621 648 675 702 729 756 783 810 837 864)
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32

Les deux spectres présentent une déformation d'un spectre harmonique dont on aurait sélectionné certains rangs. Cette comparaison corrobore le caractère franchement inharmonique du son1 exp.9 comparé au son1 exp.10 (ce dernier comporte 3 harmoniques - le reste étant des partiels - alors que le test 9 n'intègre que des partiels; les amplitudes sont dans les deux cas à caractère décroissant). La répartition des fréquences centrée davantage sur les graves dans le premier exemple, concourt vraisemblablement à donner la sensation d'homogénéité contraire à la structure originelle du son.

Onzième expérience

Objectif :

Recherche d'homogénéité et d'équilibre spectral

Description de l'expérience et constatation :

- Son modélisé à partir de la série de Fibonacci qui favorise les graves en écartant les aigus (fondé sur les constatations de l'expérience 10). Les sons 3, 4 et 7 sont des transpositions des sons précédents.
- 7 sons dont 3 transposés
- Son1 :
Spectre selon la suite de Fibonacci + déformation (son inharmonique)
13 partiels *10 (épaissis) - déformation2 (aléatoire maximum de 50%)
Enveloppe à caractère décroissant
Durée : 5 secondes avec 10 variations par seconde
Les variations fréquentielles des partiels sont perçues (pourcentage de déviation aléatoire égale à 50% de la fréquence).
- Son2 :
Spectre selon la suite de Fibonacci + déformation (=>son inharmonique)-
9 partiels *10 (épaissis) - déformation2 (aléatoire maximum de 29%)
Enveloppe à caractère décroissant
Durée : 5 secondes avec 10 variations par seconde
Le modèle basé sur l'expérience 9 semble fonctionner, le son étant homogène.
- Sons5 :

Spectre selon la suite de Fibonacci + déformation (son inharmonique)-
partiels *10 (épaissis) - entre 45 Hz et 18565 Hz
variations des fréquences entre -2 et 2 Hz
Enveloppe à caractère décroissant
Durée : 5 secondes avec 10 variations par seconde
Des fréquences aiguës se détachent du spectre.

• Son6 :

Même situation avec des variations fréquentielles plus fines
Spectre selon la suite de Fibonacci + déformation (=>son inharmonique)
15 partiels *10 (épaissis) - entre 45 Hz et 18565 Hz
Variations des fréquences entre -0.5 et 0.5 Hz
Enveloppe à caractère décroissant
Durée : 5 secondes avec 10 variations par seconde
Il y a peu de différence avec les sons précédents. On perçoit 2 fréquences.
Plus que l'homogénéité de timbre, le modèle de Fibonacci permet d'établir un
spectre équilibré (relation entre les aigus et les graves). Reste le problème non
résolu d'une ou plusieurs perceptions fréquentielles constitutives du timbre.

Douzième expérience

Objectif :

Recherche de nouveaux timbres associés à de nouveaux modèles de contrôle.
Comparaison d'un son à caractère harmonique avec un spectre d'amplitude à
tendance décroissante (son1) puis à "structure formantique" (son2-son3)

Description de l'expérience :

• 3 sons

• Son1 :

30 harmoniques, fondamentale de 100Hz
Déformation entre -16 et +16 Hz
5 variations par seconde
Durée de 5 secondes
Sinus * 3
Amplitudes à tendance décroissante

• Son2 :

Même spectre
Amplitudes à structure formantique(2), 4 formants, val-max au début
Aléa 1 à 18 % aléa 2 à 50%

• Son3 :

même spectre- amplitudes à structure formantique, 4 formants (1)
aléa 1 à 18 % aléa 2 à 50 %

Constatation générale :

Plus les graves sont intenses, plus le son sonne profond et rond. Les
structures formantiques (amplitudes) apportent une variation plus ou moins
nasillarde du timbre (sons 2 et 3).

Treizième expérience

Description de l'expérience :

• Modèle qui privilégie les harmoniques pairs et impairs

• Son 1 :

30 harmoniques (*3) avec une déformation fréquentielle (spectre à
tendance inharmonique)
Amplitudes paires favorisées

• Son 2 :

30 harmoniques (*3) avec une déformation fréquentielle (spectre à
tendance inharmonique)
Amplitudes impaires favorisées

Constatation générale :

Une légère différence de timbre accentue le caractère plus rond et diffus
attribué au son2 (harmoniques impairs).

ANNEXE 2

Écriture du fichier « .orc » (orchestre) tel qu'il se présente dans l'environnement Csound (détermination du synthétiseur ou d'une partie de l' « instrument virtuel »)

```

sr          =          44100
kr          =          4410
ksmps      =          10
nchnls     =          4
garvbsig   init      0
instr 1
;Oscillateur (ou forme d'onde) + enveloppe
kenv        linen      p4,p5,p3,p6
afreq       linseg     p7,p3,p8
;Traitement de la fréquence de l'oscillateur
idéelle     =          p3 - (p9*p3)+0.0001
irelvib     =          .0001
isusvib     =          p3 - (idelvib - irelvib)
ideljit     =          p3 - (p14*p3)+0.0001
ireljit     =          0.0001
isusjit     =          p3 - (ideljit - ireljit)
kenvib      linseg     0, idelvib,p10, isusvib,p11, irelvib, 0 ; env-vib-freq
kfreqvibgliss linseg   p12, p3, p13 ; freq-vib-freq
kfreqvib    oscil     kenvib, kfreqvibgliss, 1 ; vib-freq
kenvjtfreq  linseg     0, ideljit, p15, isusjit, p16, ireljit, 0
kfreqjitt   linseg     p17,p3,p18
kjitfreq    randi     kenvjtfreq, kfreqjitt
;Traitement de l'amplitude de l'oscillateur
idelviba    =          p3 - (p19 * p3) + 0.0001
irelviba    =          .0001
isusviba    =          p3 - (idelviba - irelviba)
idéalité    =          p3 - (p24 * p3) + 0.0001
ireljita    =          .0001
isusjita    =          p3 - (ideljita - ireljita)
kenvibamp   linseg     0, idelviba,p20, isusviba,p21, irelviba, 0 ; env-vib-freqamp
kfreqvibglissamp linseg p22, p3, p23 ; freq-vib-freqamp
kfreqvibamp oscil     kenvibamp, kfreqvibglissamp, 1 ; vib-freq
kenvjtfreqamp linseg   0, ideljita, p25, isusjita, p26, ireljita, 0
kfreqjittamp linseg   p27, p3, p28
kjitfreqamp randi     kenvjtfreqamp, kfreqjittamp
;Multiplication de la fréquence de l'oscillateur
ason1       oscili     kenv + kfreqvibamp + kjitfreqamp, afreq + kfreqvib + kjitfreq, p29
ason2       oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, (afreq + kfreqvib + kjitfreq) * p32, p29
ason3       oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, (afreq + kfreqvib + kjitfreq) * p33, p29
ason4       oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, (afreq + kfreqvib + kjitfreq) * p34, p29
ason5       oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, (afreq + kfreqvib + kjitfreq) * p35, p29
ason6       oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, afreq + kfreqvib + kjitfreq, p30
ason7       oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, (afreq + kfreqvib + kjitfreq) * p36, p30
ason8       oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, (afreq + kfreqvib + kjitfreq) * p37, p30
ason9       oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, (afreq + kfreqvib + kjitfreq) * p38, p30
ason10      oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, (afreq + kfreqvib + kjitfreq) * p39, p30
ason11      oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, afreq + kfreqvib + kjitfreq, p31
ason12      oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, (afreq + kfreqvib + kjitfreq) * p40, p31
ason13      oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, (afreq + kfreqvib + kjitfreq) * p41, p31
ason14      oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, (afreq + kfreqvib + kjitfreq) * p42, p31
ason15      oscili     kenv+ kfreqvibamp + kjitfreqamp, (afreq + kfreqvib + kjitfreq) * p43, p31
;Fader forme d'onde
idelfade1   =          p3 - (p44 * p3) ;p44 = delay en % de la durée (entre 0 et 1 = pas
de délai)
irelfade1   =          p3 - idelfade1
idelfade2   =          p3 - (p45 * p3) ;p45 = delay du jitter en fb de la durée (entre 0
et 1 = pas de delà)
irelfade2   =          p3 - idelfade2
kfade1      linseg     1, idelfade1,0, irelfade1, 0
afunc1      =          kfade1 * (ason1+ ason2 + ason3 + ason4 + ason5) / 5
afunc2      =          (1 - kfade1) * (ason6 + ason7 + ason8 + ason9 + ason10) / 5
kfade2      linseg     1, idelfade2, 0, irelfade2, 0
afunc3      =          kfade2 * (afunc1 + afunc2)
afunc4      =          (1 - kfade2) * (ason11 + ason12 + ason13 + ason14 + ason15)/5
ason        =          (afunc3+ afunc4)
garvbsig    =          afunc3 + afunc4
endin
; Réverbération + spatialisation du son
instr 99
irevtime    =          p4
;irvbgain   =          kgainrev
kindrev     line      0,p3, 4096
kgainrev    tablei    kindrev,98

```



```

asigr          reverb          garvbsig, irevertime
asig           =               garvbsig * (1- kgainrev) + (asigr * kgainrev)
;quadriphonie
kind           line            0,p3, 4096
kx             tablei          kind,99
ky             tablei          kind,100
asig1, asig2, asig3, asig4    pan          asig,kx,ky, 2, 1, 0 ; table numéro 2 = variation de l'amplitude du son
outq asig1, asig2, asig3, asig4
garvbsig       =               0
endin
    
```

(*) Directeur Pédagogique du Département Musique du Centre de Formation des Enseignants de la Danse et de la Musique d'Aquitaine, Université Bordeaux III, stephane.degerando@free.fr

Notes

ⁱ S. de Gérand, « Modèles de synthèse sonore informatique - Présentation des techniques de synthèse numérique et introduction à une esthétique du timbre synthétique », *Analyse Musicale* (n°47), ADAM, 2003, pp. 5 à 17

ⁱⁱ Physicien et physiologiste allemand (1821-1894).

ⁱⁱⁱ Mathématicien français (1772-1830).

^{iv} A plus long terme, il s'agit de développer un instrument virtuel doué d'autonomie.

^v Notre définition du déterminisme musical s'applique aussi à la technique d'écriture et à l'esthétique de l'œuvre.

Un processus formel décrivant un engendrement logique voire automatique est le signe d'une technique d'écriture déterministe. A partir d'un extrait musical, l'analyse d'un système d'écriture déterministe devrait permettre de recomposer l'œuvre. Nous avons conscience qu'il existe peu de compositions, à l'échelle de l'histoire, qui soient la traduction directe d'un procédé systématique ; de ce fait, nous assimilons le déterminisme technique aux œuvres qui s'inspirent de cette démarche élargie à des caractéristiques synonymes d'une combinatoire ouverte et diversifiée (pluralité des systèmes...).

Quant au déterminisme esthétique, il se définit à travers des notions de causalisme (relations de cause à effet...) et de finalisme (directionnalités, buts...). Le déterminisme esthétique peut être consécutif ou extérieur à la technique d'écriture, tout en étant un processus plus ou moins conscient pour le compositeur. Il peut alors se créer des dissociations et /ou des paradoxes entre la volonté esthétique originelle du compositeur et l'œuvre achevée dans son rapport aux techniques d'écriture utilisées et la perception. Dans certaines situations musicales, le déterminisme esthétique est assimilé à des habitudes réflexes de nature historique ou simplement personnelle, habitudes qui déclenchent parfois des antagonismes stylistiques (chez Schoenberg, exemple du traitement novateur des hauteurs en rapport avec une utilisation plus traditionnelle ou rétrograde de la forme : cf. Boulez).

^{vi} cf. opus déjà cité, pp.172 à 208

^{vii} Les relations entre le contrôle du microcosme sonore et la globalité d'une œuvre sont imbriquées sans impérativement les penser de manière hiérarchique.

^{viii} Variation aléatoire (irrégulière) du timbre, s'oppose à la définition électronique du vibrato (variation régulière).

^{ix} Cependant, une distance s'impose entre une pensée théorique, historique et esthétique, sa traduction numérique et l'œuvre en devenir.

^x Insistons sur les nouveaux types de représentation musicale pour le musicien (fichier numérique ou programme comme le montre les schémas présentés), le temps du calcul différé réalisant « sans limite » la rupture de la pensée à sa réalisation, contrairement à la contrainte du temps réel.

^{xi} Nous aurions aussi pu faire fonctionner directement le programme de contrôle du synthétiseur puisqu'il intègre la possibilité de produire automatiquement des durées (cf. *Du sens au sens*, pièce algorithmique écrite pour flûte traversière, cf. opus cité, pp. 222 à 243). De manière générale, tout processus associé au contrôle micro ou macro structurel du temps se réfère à une échelle élémentaire des durées^{xi} réalisée sur la base du seuil différentiel de perception et des formalismes de Woodrow et de Chatterja (1964).

^{xii} cf. types de modèles programmés, opus déjà cité, pp. 179 à 208

^{xiii} L'exemple type d'une variation de hauteur entraînant la perception d'une modulation de timbre puis sa transformation est flagrant (« modulation de fréquence »).