

MODELOS MATEMÁTICOS E COMPOSIÇÃO ASSISTIDA POR COMPUTADOR, SISTEMAS ESTOCÁSTICOS E SISTEMAS CAÓTICOS

Mikhail Malt
IRCAM
mmalt@ircam.fr
1, Place Igor Stravinsky
75004 Paris
France

ABSTRACT

Este artigo propõe uma primeira reflexão sobre a noção de sistema, as relações entre modelos estocásticos, modelos caóticos e a escrita musical, em CAC, à partir da análise de dois exemplos compositionais: **Actrinou**¹ para piano solo e de **Lambda 3.99**² para violão e sintetizador controlado por computador. Estas peças foram formalizadas utilizando-se o paradigma 'sistema', dentro de um contexto de Composição Assistida por Computador. Sendo que, 'Actrinou' usa este paradigma numa visão estocástica, enquanto 'Lambda 3.99' foi composta num contexto de sistema caótico.

1. INTRODUÇÃO

No contexto da Composição Assistida por Computador a noção de sistema pode ser um instrumento precioso para a formalização de diversos processos musicais.

A grande maioria das práticas de composição assistida por computador (e de composição em geral) repousa sobre um protocolo³ bastante regular:

- a) Geração de um material pré-composicional "a-temporal"
(*"hors-temps"* como diria Iannis Xenakis)
- b) A articulação deste material inicial e a associação de uma estrutura ordenada,
- c) Definição de funções temporais para percorrer a estrutura "a-temporal" ordenada, de modo a ordená-la "temporalmente".

Este protocolo é nada mais, nada menos que a construção de um sistema à estados discretos.

De outro ponto de vista, inexistente atualmente uma reflexão profunda sobre as relações entre as características conceituais e técnicas de certos modelos e a escrita musical que se origina à partir do uso destes. Especialmente no que diz respeito ao uso de modelos estocásticos e caóticos, a visão de muitos compositores é ainda bastante ingênua, não indo além do uso destes modelos como algoritmos compositionais (**BIDLACK, Rick** (1992)) e da proposição metafórica sugerida pelos nomes dos modelos.

¹Criada na "Academie d'été" do IRCAM em julho 1993

²criada na Tribuna Internacional de Compositores da UNESCO, PARIS 1994

³Este protocolo baseia-se na observação das práticas compositionais dos seguintes compositores: Tristan Murail, Gérard Grisey, Claudy Malherbe, Iannis Xenakis, Brian Ferneyhough, Alessandro Melchiorre, e de duas turmas de compositores participantes ao "Cursus d'informatique e Composition Musicale", do IRCAM, no qual participo dando seminários sobre a composição assistida por computador (Para uma familiarização com as práticas compositionais de alguns destes compositores aconselhamos a leitura de **GRISEY**,

2. Sistema dinâmico discreto

Definiremos S como sistema dinâmico à estados discretos como sendo uma entidade possuindo:

- Uma função de transição G que determina à cada instante o estado assumido pelo sistema, aonde G é uma função do tempo:

$$G \Rightarrow G(t)$$

e
- um conjunto finito E dos estados possíveis que pode assumir o sistema, aonde e_t designa o estado assumido à cada instante "t" calculado à partir da função G .

$$E = \{e_0, e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\}$$

Cada estado e_i , sendo uma classe de equivalência, pode por sua vez ser um sistema, com seus próprios estados internos e suas funções de transição. Um sistema finito à estados discretos S será então definido como sendo o conjunto formado por uma função de transição $G(t)$ e um conjunto de estados E :

$$S = \{E, G(t)\}$$

3. Transição entre o formal e o musical

Musicalmente poderemos interpretar a formalização acima como sendo parte de um protocolo composicional⁴:

a) Inicialmente o compositor gera o seu material pré-composicional.

b) Como segunda fase o compositor organiza este material segundo vários parâmetros perceptivos e/ou lógicos. Nesta fase o compositor discretizou o seu material pré-composicional e associou-o à uma, ou várias estruturas ordenadas, criando o conjunto E dos estados possíveis que poderá assumir o sistema.

c) Finalmente o compositor vai construir caminhos através deste material para gerar um processo musical, o que significa que o compositor irá definir uma função de transição G que determinará como percorrer o conjunto dos estados criados.

O último item é de grande importância pois revela uma das grandes preocupações do compositor, que é o de definir caminhos, direções que serão tomadas pelo material. Esta preocupação se faz sentir ao nível da escrita musical em compositores como Tristan Murail, que calcula com muita precisão vários processos, altamente direcionais, que seguirá seu material; e de Brian Ferneyhough que constrói suas matrizes de estruturas altamente hierarquizadas, que ele percorre segundo algoritmos que lhe são próprios. Num caso como no outro estes processos nunca são deixados à vista, as pistas são apagadas, seja pela introdução de ruído (num sentido estocástico) ou seja pela quebra das regularidades calculadas.

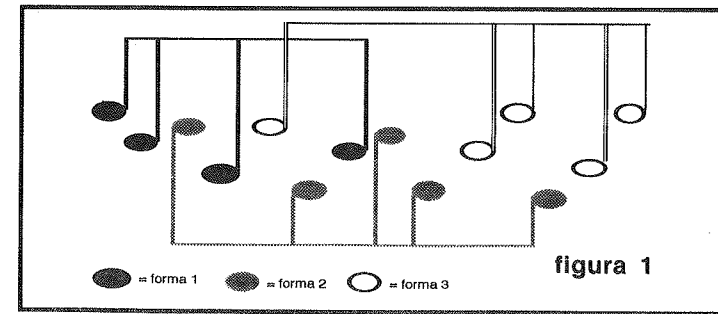
⁴Gostaria de lembrar que muitas destas reflexões podem ser aplicadas em casos particulares da composição mais tradicional, mas que estamos estudando este protocolo dentro de um contexto de C.A.C., isto é, composição assistida por computador, o que faz com que o roteiro da elaboração composicional tome rumos particulares. Além do que, deixamos de lado, voluntariamente, uma primeira fase que seria de elaboração conceitual, para nos concentrarmos sobre a fase diretamente ligada à manipulação do material com a ajuda do computador. Em vista destes aspectos gostaria de convidar o leitor a ler os artigos de DUFOUT, Hugues (1981) e BOULEZ, Pierre (1981) sobre a influência do computador no pensamento composicional.

4. Dois exemplos de aplicação

Ilustraremos à seguir os conceitos mais importantes na composição e formalização das duas peças. Mas é necessário lembrar que as indicações que daremos aqui não são uma análise detalhada de cada peça, mas indicações gerais que podem nos ajudar a compreender o uso do conceito abstrato de sistema em composição musical.

4.1. Os conceitos musicais

Um dos conceitos motores que guiou a composição de Actrinou e de Lambda 3.99 foi o uso da idéia de "polifonia virtual". Este conceito amplamente conhecido de todos os músicos é o que regeu a composição das suites e sonatas de J. S. Bach. A idéia de base era de aplicar este conceito não somente à notas, mas à estruturas mais elaboradas, de modo que à partir de um jogo estritamente sequencial pudessemos dar a ilusão auditiva de uma polifonia de fluxos, ou seja uma polifonia de estruturas. Esta questão dos fluxos auditivos foi estudada exaustivamente por Mc ADAMS, Steve et A. Bregman (1987)-



Para podermos concretizar este conceito precisamos construir microformas (ou gestos) que pudessem ser reconhecidos como entidades autônomas e diferenciadas. Em função destas restrições cada gesto foi idealizado de maneira a ter suas características próprias (veja como exemplo as figuras 2a e 2b):

- uma morfologia de frequências,
- uma articulação,
- uma dinâmica,
- uma estrutura temporal local
- uma textura própria que decorre da conjunção dos parâmetros anteriores.

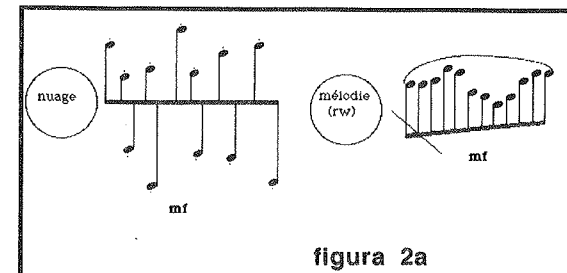


figura 2a

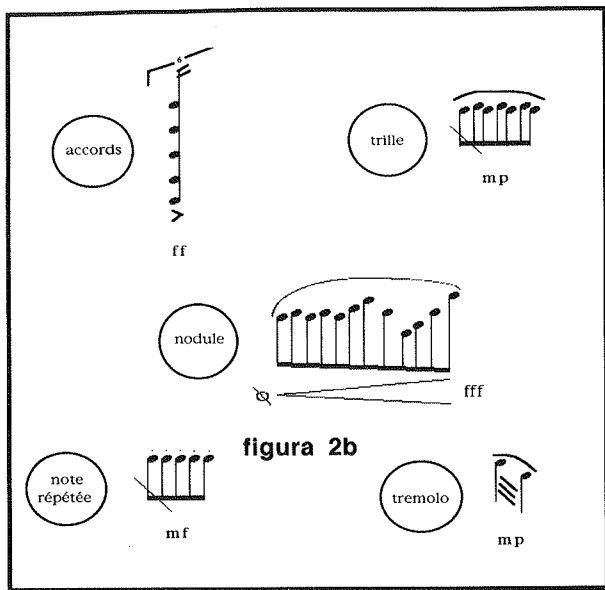


figura 2b

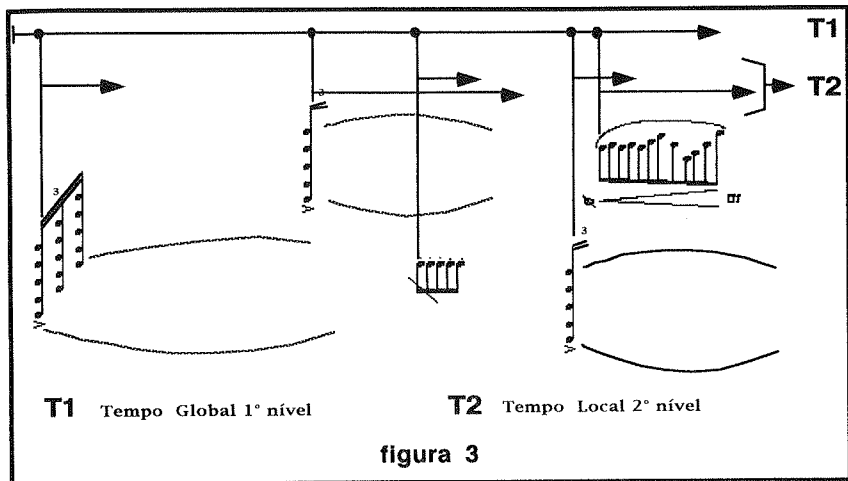


figura 3

Desta primeira formalização poderemos deduzir a existência de duas camadas temporais superpostas (ver figura 3):

- a) Um tempo local, definido pelas características estruturais de cada gesto, e
- b) um tempo global que gera a evolução das nossas microformas

Além deste conceitos gerais, existem ainda outros que geram o detalhe dos campos harmônicos e do ritmo, cuja a análise não será abordada neste artigo.

4.2. Os conceitos formais

Duas idéias formam a base para a formalização destas duas peças:
 a) É possível representar a evolução de um processo musical por um sistema dinâmico.
 b) Todo processo musical pode ser analisado como sendo a evolução de várias formas, independentes, tendo cada uma destas uma evolução própria.

No nosso caso isso significa, definir um conjunto **E** dos estados possíveis e definir uma função **G (t)**.

4.3. Actrinou

Para Actrinou nosso conjunto **E** era constituído de sete gestos de base (veja figura 2). A única transformação que cada gesto poderia sofrer era uma simples translação no espaço das frequências (transposição). A nossa função **G (t)** (estocástica) era função de um vetor de probabilidade calculado à partir de sete outras funções (determinadas graficamente) que indicavam a cada instante "t" a probabilidade do sistema assumir um estado em particular. Neste caso particular tínhamos:

$$G(t) = [f_{\text{notes}}(t), f_{\text{acordes}}(t), f_{\text{trillo}}(t), f_{\text{tremolo}}(t), f_{\text{RW}}(t), f_{\text{notrep}}(t), f_{\text{nodule}}(t)]$$

onde cada função $f_{\text{gesto}}(t)$ é definida graficamente (veja as curvas gráficas na figura 4). A figura 4 representa uma janela do programa gráfico "Patchwork"⁵, na qual foram calculadas as diferentes secções da peça.

O uso destas funções auxiliares se mostrou inevitável, pois uma das propriedades de base dos modelos estocásticos mais simples (excluindo os modelos markovianos) é a ausência de memória. Do ponto de vista composicional esta "amnésia" era perturbadora, pois não permitia um controle do processo. A introdução destas funções auxiliares permitiu, pelo menos à um nível global um maior controle sobre a evolução de cada gesto, simulando uma memória (normalmente ausente) pela variação, no tempo, das densidades de probabilidade de cada gesto. Para gerar o tempo global da peça usamos uma interpolação entre um tempo gerado por uma distribuição exponencial de densidade baixa (aproximadamente .5 eventos por unidade de tempo) e uma distribuição gaussiana de média de 150 milésimos de segundo. Este tipo de interpolação entre modelos permitiu também de gerar o aspecto escrita musical de uma maneira mais flexível.

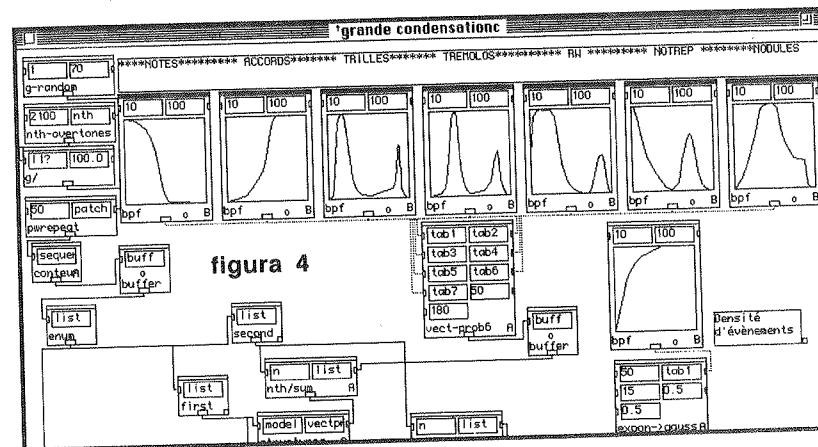
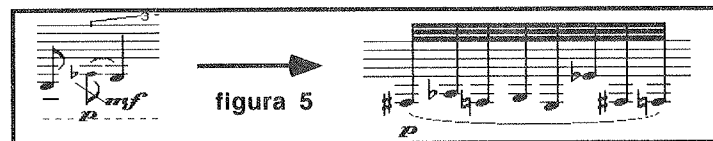


figura 4

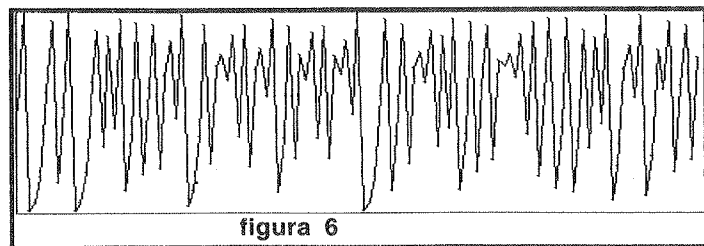
⁵O programma Patchork é um programa, desenvolvido no IRCAM, destinado à composição assistida por computador. Foi idealizado pelo finlandês Mikael Laurson e sua versão atual foi

4.4. lambda3.99

Basicamente, **lambda3.99** segue o mesmo processo de **Actrinou**. Inicialmente definimos o conjunto **E** à partir, não mais de gestos estáticos, mas à partir de classes de equivalência. Por exemplo um dos estados possíveis era o que chamamos de "apogiatura", este estado continha um conjunto de gestos ordenados evoluindo de uma "apogiatura" simples à uma nuvem estocástica em torno de uma nota central (ver figura 5):



Em seguida, um ponto importante era a escolha de uma função de transição que tivesse propriedades interessantes do ponto de vista musical. Uma propriedade que nos interessou nos sistemas caóticos são certos conjuntos de valores gerados por soluções numéricas de equações diferenciais, chamados atratores estranhos (ver Ruelle D. (1980) in CVITANOVIC, Predrag (1989)), como o gráfico da figura 6. Uma das propriedades destes conjuntos de valores é a de possuir simetrias internas (PEITGEN, H. O. ; JÜRGENS, Harmut; SAUPE, Dietmar (1993) & CVITANOVIC, Predrag (1989)-), mas de uma maneira que lembra a escrita musical: uma oscilação entre memória e informação. Não discutiremos aqui do porquê destas simetrias, visto que este sujeito se acha explicado detalhadamente na bibliografia citada.



Um conjunto de valores como os da figura 6 acima tem um certo interesse, mas se quisermos orientar o nosso processo deveremos transformá-lo, achar uma estratégia que possa dar-lhe uma direção; por esta razão utilizamos uma função da forma:

$$G(t) = \sigma(t)F(t) + \alpha(t)$$

aonde⁶,

$$F(t) = F(t-1)\lambda[1-F(t-1)]$$

$$F(0) = 0.512$$

$$\lambda = 3.99$$

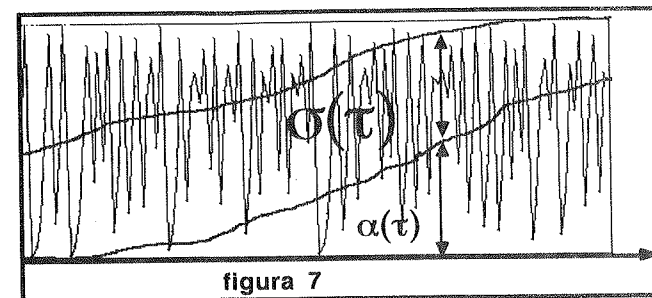
$\sigma(t)$ = fator de contração

$\alpha(t)$ = fator de deslocamento

⁶A equação recursiva $F(t)$ é conhecida também como equação logística.

⁷ $F(0)$ -valor inicial para as interações de $F(t)$, e λ é o coeficiente de turbulência da

isto-é aplicaremos uma transformação, localmente linear, sobre este conjunto de maneira a podermos dar uma direção à este processo e manter boa parte das simetrias de origem:



Este mesmo procedimento será então aplicado à cada classe de equivalência, de maneira a que durante o processo teremos estados que evoluirão não só por translação mas que assumirão diferentes morfologias dentro de uma lógica de proximidade perceptiva.

5. Conclusões

O paradigma sistema poderá ser um bom modelo para formalizar vários processos em composição musical assistida por computador, pois permite uma grande flexibilidade na escolha do material pré-composicional (construção do conjunto **E**), e na escolha da função de transição **G(t)**. A definição da função de transição é um dos pontos vitais deste paradigma, pois é esta função que determinará o desenvolvimento do processo modelizado. Como consequência imediata esta mesma função será portadora de informações sobre a forma do processo, na medida que entendermos que a evolução dinâmica dos elementos musicais participa naquilo que chamamos "forma". E, finalmente poderemos dizer que um uso consequente da composição musical assistida por computador deverá passar, obrigatoriamente, por um desenvolvimento de um solfejo de modelos, que permitirá de fazer a ligação entre as características dos modelos e as suas potencialidades musicais.

6. Referências

1. AMES, Charles (1991) - "A Catalog of Statistical Distributions: Techniques for Transforming Random, Determinate and Chaotic Sequences" in *Leonardo Music Journal*, vol 1, n° 1, pp. 55-70.
2. BARNESLEY, Michael (1988) - *Fractals Everywhere*, Academic Press, Inc.
3. BIDLACK, Rick (1992) - "Chaotic Systems as Simple (but complex) Compositional Algorithms", in *Computer Music Journal*, vol 16, n° 3, Fall 1992.
4. BOULEZ, Pierre (1981) - "L'in(dé)fini et l'instant", in *Le compositeur et L'ordinateur*, IRCAM, Paris.
5. CVITANOVIC, Predrag (1989) - *Universality in Chaos*, Adam Hilger, Grande -Bretagne.
6. DELATTRE P. (1985), *Systèmes de transformation*, in *Encyclopaedia Universalis*, France S.A.
7. DELATTRE, P. (1976), *Langage interdisciplinaire et Théorie des Systèmes*, in *Structure et*

8. DODGE, C. and JERSE, T.A. (1985), *Computer Music*, Schirmer Books N.Y. .
9. DUFOURT, Hugues (1981)- "Les difficultés d'une prise de conscience théorique", in *Le compositeur et L'ordinateur*, IRCAM, Paris.
10. GRISEY, G. (1989), "Tempus Ex Machina", in *Entretiens* n° 8, Paris, France.
11. LORRAIN, D. (1980), *Une Panoplie de Canons Stochastiques*, Rapport IRCAM-n° 30, Paris.
12. MALT, Mikhail (1991)- *Trois aspect de formalisation dans Achorrispsis de Iannis Xenakis* . Mémoire de D.E.A., sob a orientação de Hugues Dufourt, EHSS-Ecole des Hautes Études en Sciences Sociales et IRCAM-Institut de Recherches et Coordination Acoustique Musique.
13. MALT, Mikhail (1992)- *PW-Alca-librairie de Modèles stochastiques*, IRCAM, Paris, France.
14. MALT, Mikhail (1993)- *Introduction à Patchwork* , IRCAM, Paris, France.
15. MALT, Mikhail (1994)- *Chaos-librairie de modèles chaotiques et de fractales* , IRCAM, Paris, France.
16. Mc ADAMS, Steve et A. Bregman (1987)- "L'audition des flux musicaux", in *Marsyas*, Institut de pédagogie musicale et chorégraphique, La Villette, Paris (3-4) décembre 1987, PP 97-118.
17. MURAIL T. (1989) - "Questions de cible " in *Entretiens* n° 8, Paris, France.
18. PEITGEN, H. O. ; JÜRGENS, Harmut; SAUPE, Dietmar (1993)- *Chaos and Fractals*, New Frontiers of Science, Springer-Verlag, New York.
19. WALLISER, Bernard (1977)- *Systèmes et Modèles*, Editions du Seuil, Paris.
20. XENAKIS, I. (1976), *Musique Architecture*, Casterman, Paris
21. XENAKIS, Iannis (1981) - *Musiques Formelles*, Stock Musique, Paris.

7. Agradecimentos

Escrevo este artigo como bolsista do CNPq na EHSS-IRCAM-Paris, para a realização de um Doutorado em Música e musicologia do século XX sobre "Modelos Matemáticos e Composição Assistida por Computador" sob a direção de Hugues Dufourt e Jean Baptiste Barrière.

Synthesizing Music with Sampled Sound

YEBON LO (muse@leland.stanford.edu) and DAN HITT (hitt@cs.stanford.edu)
 Center for Computer Research in Music and Acoustics
 Stanford University
 Stanford, California 94305
 USA

Abstract

Sampled sounds are now an important resource for modern music-making and multi-media events. But except for certain classes of sampled sounds, digital synthesis methods have to be crafted to exploit them fully. A method involving a certain form of analysis is described here. Some results are presented and its musical applications discussed.

1 Emergence of Sampled Sounds

Sampled sounds are now an important resource for modern music-making and multi-media events. As magnetic storage costs less than \$1 (US) per megabyte and gets cheaper all the time and as flash memory becomes increasingly available, the advantage of sampled sounds in music computing is obvious. For example, there is much less compelling reason to use an algorithm to generate, or synthesize, plucked-string sounds when the latter are readily available from a CD-ROM or hard-disk memory.

Using samples not only speeds up the run-time process, thus making real-time performance attainable after a certain threshold in hardware speed is crossed, but also saves the user development cost, because the operation becomes as simple as file I/O management instead of coding and debugging a piece of numerical calculation in a typically larger and more complex music computing environment (which combines and manipulates samples)¹. In other words, the space advantage of algorithmic synthesis is now overshadowed by time considerations.

So it seems that samples are replacing synthesis at least where acoustic instrument timbres are concerned. And indeed one might argue that any sound of nonacoustic origin may be similarly made available as samples at the factory, saving user cpu as well as development time as discussed above².

2 Potential and Controversy

Now by means of widely available sequencing software, one can easily explore combining samples with control over choice of sound material, amplitude, timing, spatial movement and even reverberation. Therefore it is not surprising that some see samples to replace the orchestra soon if not already. Surprising, however, is that not everyone shares this bright outlook and there are those who are just as vehement in believing that even from a purely musical standpoint, sampled sounds (with all the help they can get from the computer) will never replace the orchestra!

Thus the questions are: Do we still need synthesis in a widely applicable sense? That is, do we still need synthesis if we are only interested in making music from available sampled sounds? If we do, why? And what form of synthesis do we need?

To answer these questions, it might be profitable to examine some of the issues pertaining to working with sampled sounds. Those who believe in the role of the orchestra or live acoustic ensemble more or less put their money where their ears are. Most trained musicians who rely on their ears to do their business will say the music written for an orchestra and realized by sampled sounds are "second-rate" at best. (So far we haven't examined the source of this less-than-second-ratedness.)

¹To be sure, we might still want to filter the samples, detune them, shape them and "warp" them in all manner one can imagine, superpose them and sequence them, but these would be necessary additional operations anyway in the music synthesis paradigm whether samples are used or algorithm are invoked. The advantage of sampled sound in this instance illustrates the advantage of a whole class of sounds which are point-excited in origin—contributing to the popularity of drum machines.

²Here synthesis is used in the traditional sense of the word in sound synthesis by digital computer: the generation of a sequence of numbers that approximates the waveform to be heard (excluding a transformation for scaling—within the limits of linearity—which is nothing more than turning a dial on your amplifier in the analog domain).