



HAL
open science

All Watched Over by Machines of Loving Grace & A brief and subjective chronology of AI technics in music composition

Jean-Louis Giavitto

► **To cite this version:**

Jean-Louis Giavitto. All Watched Over by Machines of Loving Grace & A brief and subjective chronology of AI technics in music composition. 2020. hal-03018573

HAL Id: hal-03018573

<https://hal.science/hal-03018573>

Submitted on 22 Nov 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



All Watched Over by Machines of Loving Grace



A brief and subjective chronology of AI technics in music composition

Jean-Louis Giavitto

TR-2020-10-RepMus-JLG

October, 14 and October 15
France – Atlanta 2020

**Laboratoire STMS umr 9912
CNRS, IRCAM, Sorbonne Université, Ministère de la Culture**

Préambule

Ce rapport technique est constitué de deux textes qui ont accompagné l'organisation et la présentation de deux webinaires les 14 et 15 octobre 2020, sous l'égide de l'ambassade de France aux Etats-Unis et du consulat de France à Atlanta dans le cadre de l'événement France – Atlanta.

Organisé par Jean-Louis Giavitto, ces deux rencontres ont permis de réunir les partenaires américains du laboratoire STMS et de l'Ircam : [Georgia Tech's School of Music](#), [NYU Steinhardt](#) – Music Education, [UC Berkeley](#) Center for New Music and Audio Technologies, et le Atlanta Office of the Cultural Services of the Embassy of France in the United States.

L'enregistrement des deux séminaires peut se retrouver ici :

- Working Creatively with Machines
<https://youtu.be/Rits1jfrxuo>
- Performances with Machines
<https://youtu.be/GpMdZGQL344>

et la page dédiée à cet événement sur le site de France – Atlanta est accessible ici :

- <https://france-atlanta.org/?p=5949>

Les deux textes sont à destination d'un public de non-spécialiste. Destiné à être accessible sur le web, ils contiennent de nombreux liens vers des ressources qui ont servi à préparer les discussions avec les intervenants. Ces deux textes sont repris sur le site web du laboratoire STMS et sur le site du ForumIrcam.

La première note, *All Watched Over by Machines of Loving Grace*, est une courte introduction à l'impact social posé par la généralisation des techniques IA. La seconde note, *A brief and subjective chronology of AI technics in music composition*, donne quelques repères chronologiques et quelques notions clés pour comprendre les grands enjeux de l'usage de ces techniques dans le domaine de la composition musicale.

All Watched Over by Machines of Loving Grace

Introduction

All Watched Over by Machines of Loving Grace is a 1967 poem by Richard Brautigan that describes the peaceful and harmonious cohabitation of humans and computers.

You can [read the poem](#) or listen Richard Brautigan [reading it](#).

At that time, this vision may have seemed very far away from a reality where there were only a few hundred computers around the world, each occupying an entire room but no more powerful than today's pocket calculator. Fifty years later, [they are](#) more than two billion computers, five billion smart phones and twenty billion IoT devices in the world. With the technological revolutions brought about by the [internet](#), big data, the cloud and deep learning, Brautigan's vision resonates singularly and compel us to rethink our interactions with machines.

It is therefore not a coincidence that Adam Curtis used the title of Brautigan's poem for a [three episodes documentary](#) about how humans have been colonized by the machines they have built – "*Although we don't realize it, the way we see everything in the world today is through the eyes of the computers.*" Curtis argues that computers have failed to liberate humanity, and instead have "*distorted and simplified our view of the world around us*".

You can see [the first episode](#), [the second](#) and [the last one](#).

The attack is severe but deserved. The potential wide-ranging impact urges to look carefully at the ways in which these technologies are being applied now, whom they're benefiting, and how they're structuring our social, economic, and interpersonal lives. The social implications of data systems, machine learning and artificial intelligence are now under scrutiny, with for instance the emergence of a [dedicated research institute \(AI Now\)](#). The massive amount of data needed to couple the human's world and the machine's world, and their automatic handling, poses an [unprecedented threat](#) to individual freedom, [justice](#) and democracy.

But, beyond [the misuse of these technologies](#) that could perhaps be regulated by law, our face-to-face encounters with machines bring about [major anthropological changes](#) when they address not only the physical world, but also our [moods](#), [emotions](#) and [feelings](#). The question of how our personalities and preferences are [being shaped by our digital surroundings](#) seems more pressing than ever. [How are our tools shaping us](#) at the heart of the most intimate of human beings: emotion, art and creation?

Big Tech may turn to [ethology](#) to help advance artificial intelligence, self-driving cars, and more. We turn to artists and computer scientists who work with artists, to fuel our reflections and question them in [two webinars on October 14 and 15](#), on how digital tools, especially artificial intelligence, are shifting aesthetic issues and transforming the artistic workflow, challenging the notion of authorship, disrupting education and opening up new creative dimensions.

We give here a brief, subjective and partial chronology of the interactions between music and artificial intelligence for the sake of our discussion during the two webinars. The links between music and computer science have indeed existed since the birth of the latter. It is perhaps its

abstract character —the nature of imitation that connects music to the world is still discussed by philosophers— that has attracted computer scientists. In any case, people tried to get a computer to write music long before they tried to make it paint.

The few examples given will show that we are far from being able to replace composers and musicians. But above all, why do it?

What musical needs are met by the use of AI tools? How does one make music progress by using these tools? Our hypothesis is that music is an extraordinary field of experience that allows us to imagine new uses and new interactions with machines, going well beyond a tool towards a creative companionship; and that these machines allow us to better understand and to elaborate or test new answers to artistic questions: how do we evaluate a work, what is its value, what is the difference between novelty and modernity, how do we teach an artistic practice, what do we transmit on this occasion, and, among the most enigmatic, what is an artistic choice.

Participants

- *Working Creatively with Machines*

- [Carmine Emanuele Cella](#) (CNMAT - CU Berkeley)
Composer and computer scientist, Carmine develops (amongst other thing) [Orchidea](#) an automated system to help instrumentation and orchestration.
- [Rémi Mignot](#) (Ircam)
Rémi do researches about audio indexing and classification (MIR) at [STMS](#) lab. Since 2018, he has been responsible of researches on music information retrieval in the analysis-synthesis team.
- [Nicolas Obin](#) (Sorbonne Université - Ircam)
Nicolas is associate professor at the Faculty of Sciences of Sorbonne Université and researcher in the [STMS](#) lab where his work focuses on speech synthesis and transformations, conversational agent and computational musicology. You can see some example of speech synthesis and “voice fake” on [his web page](#).
- [Alex Ruthman](#) (NYU)
Alex is Associate Professor of Music Education & Music Technology, and the Director of the NYU [Music Experience Design Lab \(MusEDLab\)](#) at NYU Steinhardt where he creates new technologies and experiences for music making, learning, and engagement. Digital technologies have disrupted art education and in particular music education. They have the potential to make [Creative Musical Expression more accessible](#) to all.
- [Jason Freeman](#) (Georgia Tech)
Jason is a Professor of Music at Georgia Tech and Chair of the School of Music. His artistic practice and scholarly research focus on using technology to engage diverse audiences in collaborative, experimental, and accessible musical experiences.
Recently, Jason co-designed [EarSketch](#), a free online learning platform that leverages the appeal of music to teach students how to code. Used by over 500,000 show how students [combine music and coding to create expressive computational artifacts](#), and exemplify how machine learning will create even deeper connections between music and.

- *Performances with Machines*

- [Jérôme Nika](#) (Ircam)
Jérôme is researcher in human-machine musical interaction in the Music Representations Team / [STMS](#) lab at IRCAM. Through the development of generative software instruments, Jérôme Nika’s research focuses on the integration of scenarios in music generation processes, and on the dialectic between reactivity and planning in interactive human-computer/music improvisation. His work takes place in the broad family of Omax approaches to [man-machine musical interactions](#).

- [Benjamin Levy](#) (Ircam)
Benjamin is a computer music designer at IRCAM. He collaborated on both scientific and musical project implying AI, in particular around the OMax improvisation software. The artistic project [A.I. Swing](#) marks several years of artistic and experimental experiences with musician and jazz improviser [Raphaël Imbert](#).
- [Grace Leslie](#) (Georgia Tech)
Grace is a flutist, electronic musician, and scientist at Georgia Tech. She develops [brain-music interfaces](#) and other physiological sensor systems that reveal aspects of her internal cognitive and affective state to an audience.
- [Daniele Ghisi](#) (composer)
Daniele studied and composition. He is the creator, together with Andrea Agostini, of the project [bach: automated composer's helper](#), a real-time library of computer-aided composition. AI technics were instrumental in his work for [La Fabrique des Monstres](#). His work explores many facets of the relationship between digital tools and music. In the installation [An Experiment With Time](#), which can be viewed [online from October 12 to October 18](#), is journey through three different time cycles, their dreams and the construction of a time-dilating machine.
- [Elaine Chew](#) (CNRS)
Elaine is a senior researcher and pianist at the STMS Lab and PI of the ERC projects [COSMOS](#) and [HEART.FM](#). She designs mathematical representations and analytical computational processes to decode musicians' knowledge and explain artistic choices in expressive musical performance. She integrates her research into concert-conversations that showcase scientific visualisations and lab-grown compositions. She has collaborated with [Dorien Herremans](#) to create the [Morpheus](#) system, and used algorithmic techniques to make [pieces based on arrhythmia electrocardiograms](#).

Special online Event

From online from October 12 to October 18, the audience can access

[*An Experiment With Time*, an audio and video installation by Daniele Ghisi](#)

inspired by a book bearing the same name published by [John W. Dunne](#), an aeronautical engineer and philosopher. John Dune believed that he experienced precognitive dreams and proposed that our experience of time as linear is an illusion brought about by human consciousness.

A central theme addressed in the installation of Daniele Ghisi is the construction and sharing of time and dreams between humans, and its transformation in the face of technology. If Richard Brautigan's vision comes true, how will we share our time with machines? How can we reconcile the elastic time of our human activities, from the *dolce farniente* to the ubris of our the Anthropocene era, and the regulated, chronometric, [Procrustean](#) time of the tireless machine?

A brief and subjective chronology of AI technics in music composition

Electronic music *i.e.*, music that employs electronic musical instruments, has been produced since the end of the 19th century. But producing a sound by a computer needed the existence of computers and the earliest known recording of computer music was recorded at Alan Turing's Computing Machine Laboratory in Manchester in 1951:

- <https://soundcloud.com/the-british-library/first-recording-of-computer-music-1951-copeland-long-restoration>
- The story of this recording [is told here](#).

In the late 1940s, Alan Turing noticed that he could produce notes of different pitches by modulating the control of the computer's loudspeaker used to signal the end of a calculation batch. Christopher Strachey used this trick to make the first pieces: the national anthem, a nursery rhyme and Gleen Miller's "In the Mood".

By the summer of 1952, Christopher Strachey develop "*a complete game of Draughts at a reasonable speed*". He was also responsible of the strange love-letters that appear on the notice board of Manchester University's Computer Department from August 1953.

- http://www.alpha60.de/art/love_letters/
- <https://www.gingerbeardman.com/loveletter/>

Strachey's method of generating love letters by computer is to expand a template by substituting randomly chosen words at certain location. Locations belong to certain categories and each category corresponds to a pool of predefined words. The algorithm used by Strachey is as follows:

Generate Salutation 1 and Salutation 2,

Do this 5 times:

Randomly generate one of the following two templates:

1. "**You are my**" Adjective Noun

2. "**My**" Adjective(optional) Noun Adverb(optional) Verb, **Your** Adjective(optional) Noun

*Generate "**Your**" Adverb, "**MUC**"*

Algorithmic control is in italic, locations (placeholders) are underlined and fixed sequence in the output are in bold.

It is the same process that was used in the 18th century by the Musikalisches Würfelspiel to randomly generate music from precomposed options. One of the earliest known examples are the *Der allezeit fertige Menuetten- und Polonaisencomponist* proposed in 1757 by Johann Philipp Kirnberger. An example by the Kaiser string quartet :

- https://youtu.be/3SQYWsfL_Fo

Carl Philipp Emanuel Bach used the same approach in 1758 to propose *Einfall, einen doppelten Contrapunct in der Octave von sechs Tacten zu machen, ohne die Regeln davon zu wissen* (German for "A

method for making six bars of double counterpoint at the octave without knowing the rules"). A perhaps better-known example is that of Mozart:

- [W. A. Mozart's Musikalisches Würfelspiel K.516f Trio 2](#) proposed here by Derek Houll

At the time, people chose at random using a dice. In 1957, a computer was used: [Lejaren Hiller](#), in collaboration with [Leonard Issacson](#), programmed one of the first computers, the [ILLIAC at the University of Illinois at Urbana-Champaign](#), to produce what is considered **the first score entirely generated by a computer**. Named *Illiac suite*, it later became the *String Quartet number 4*.

The piece is a pioneering work for string quartet, corresponding to [four experiments](#). The two composers, professor at the University, explicitly underline the research character of this suite, which they regard as a laboratory guide. The rules of composition and order that define the music of different epochs are transformed in automated algorithmic processes:

- [the first](#) is about the generation of cantus firmi
- [the second](#) generates four-voice segments with various rules
- [the third](#) deals with rhythm, dynamics and playing instructions
- [the fourth](#) explores various stochastic processes

Whether in musical dice games or in the *Illiac suite*, a dialectic emerges between a set of rules driving the structure and form of a piece, and the randomness used to ensure a certain diversity and the exploration of an immense combinatorial game. This dialectic is at work in almost every automated composition system.

At the same time, in France, [Iannis Xenakis](#) was also exploring several stochastic processes to generate musical material. He will also mobilize other mathematical notions to design new generative musical processes. In his first book, *Musiques formelles* (1963; translated in English with three added chapters as [Formalized Music – Thought and mathematics in composition](#), 1972), he previews for instance the application to his work of probability theory (in the pieces *Pithoprakta* and *Achorripsis*, 1956-1957), ensemble theory (*Herma*, 1960-1961) and game theory (*Duel*, 1959; *Stratégie*, 1962).

We jump in time to the eighties. [Expert systems](#) are flourishing. This set of technics takes a logical approach to knowledge representation and inference. The idea is to apply a set of predefined rules to facts to produce a reasoning or answer a question. These systems have been used to generate scores by explaining rules that describe a musical form or the style of a composer. The rules of [fugue](#), or [Schenkerian analysis](#), for example, are used to harmonize in the style of Bach.

A notable example of the rule approach is given by the work of [Kemal Ebcioğlu](#) at the end of the eighties. In his PhD thesis work (*An Expert System for Harmonization of Chorales in the Style of J.S. Bach*) he develops the [CHORAL](#) system based on 3 principles:

- the encoding of a large amount of knowledge about the desired musical style,
- the use of constraints both to automatically generate solutions (with *backtrack*) and to eliminate those that would be unacceptable (so there are rules to evaluate the quality of the result),
- the use of style-specific *heuristics* to prioritize the choices of the algorithm when extending a partially created composition.

Backtracking is a technique used in particular for constraint satisfaction problems, which allows a series of choices to be questioned when these choices lead to an impasse. For example, if we build

a musical sequence incrementally, it may happen at some point that we can no longer increment this sequence without violating the constraints we have set ourselves. The idea is then to go back to a previous point of choice and make another choice to develop an alternative. If there are no further possible choices, one has to go back to the previous choice point, and so on until one can develop a complete solution.

Heuristics are practical methods, often relying on incomplete or approximate knowledge, which do not guarantee correct reasoning, but which often produce satisfactory results (and quickly). When the search for an optimal solution is not feasible nor very practical, heuristic methods can be used to speed up the process of finding a suitable solution.

- Here is [an example of chorale harmonization](#) (first the original Bach's harmonization then the result produced by CHORAI at 4'42). The [concert note](#) sketches the expert system.

Another outstanding example from the same decade is the [EMI system](#) "Experiment in Music Intelligence" developed by *David Cope* at the University of Santa Cruz. David Cope began to develop this system while he was stuck on writing an opera:

"I decided I would just go ahead and work with some of the AI I knew and program something that would produce music in my style. I would say 'ah, I wouldn't do that!' and then go off and do what I would do. So it was kind of a provocateur, something to provoke me into composing."
<https://computerhistory.org/blog/algorithmic-music-david-cope-and-emi/>

The system analyzes the pieces submitted to it as input characterizing a "style". This analysis is then used to generate new pieces in the same style. The analysis of EMI applied to his own pieces, makes the composer aware of his own idiosyncrasies, of his borrowings and finally leads him to make his writing evolve:

"I looked for signatures of Cope style. I was hearing suddenly Ligeti and not David Cope." the composer noted, "As Stravinski said, 'good composers borrow, great composers steal'. This was borrowing, this was not stealing and I wanted to be a real, professional thief. So I had to hide some of that stuff, so I changed my style based on what I was observing through the output [of] Emmy, and that was just great."
<https://computerhistory.org/blog/algorithmic-music-david-cope-and-emi/>

You can hear many pieces produced by this system :

- A [Mazurka in the style of Chopin](#) produced by EMI,
- An [intermezzo in the manner of Mahler](#)

Right from the start, David Cope wanted to distribute this [music in the classic commercial circuit](#). They are often co-signed with Emmy, the little name that designates his system. Over the years, the system has evolved with sequels called Alena and Emily Howell who are also recorded artists.

- An [example produced by Emily Howell](#)

When David Cope is asked if the computer is creative, he answers :

"Oh, there's no doubt about it. Yes, yes, a million times yes. Creativity is easy; awareness, intelligence, that's hard."

Subsequent versions of EMI also use learning techniques that blossomed again in the early 2000s. As a matter of fact, throughout the history of computer science, two approaches have confronted each other.

Symbolic reasoning denotes the AI methods based on understandable, explicit and explainable high-level "symbolic" (human-readable) representations of problems. Knowledge and information is often represented by logical predicates. The preceding examples fall more into this category.

Machine learning relies on numerical representations of the information to be processed. An example of a technique that falls within this domain are [artificial neural networks](#). This technique was already used in the 1960s with the [perceptron](#) invented in 1957 by *Frank Rosenblatt* which allows supervised learning of classifiers. For instance, a perceptron can be trained to recognize the letters of the alphabet in handwriting. The input of the system is a pixel array containing the letter to be recognized, and the output is the recognized letter. During the learning phase many examples of each letter are presented and the system is adjusted to produce the correct output categorization. Once the training has been completed, a pixel array can be presented containing a letter that is not part of the examples used for training and the system correctly recognizes the letter.

Depending on the time, the dominant paradigm in AI has fluctuated. In the sixties, machine learning was fancy. But at the end of the decade, a famous article put the brakes on this field, showing that perceptrons could not classify anything. This was because its architecture was reduced to a single layer of neurons. It is shown in the following that more complex classes of examples can be recognized by increasing the number of neuron layers. Unfortunately, there was no learning algorithm available at that time to train multi-layered networks.

Such an algorithm appeared in the 1980s but it is still very heavy to implement and it is also realized that to train a multi-layer network, you need a lot, a lot of data.

At the beginning of the 2000s, the algorithms are still making progress, the machines are much faster and we can access numerous databases of examples as a result of the development of all digital techniques. This favorable conjunction relaunched numerical machine learning techniques and we now encounter the term "*deep learning*" at every turn (here "deep" refers to the many layers of the network to be trained).

The contribution of these digital learning techniques is considerable. It allows for example to generate sound directly and not a score (the sound signal being much richer in information, it takes many layers to do this and hours of recorded music to train the network). We have [examples of instrument sounds](#) reconstructed by these techniques. Of course, one can also compose, and there are many examples of Bach's choir. Here is [an example](#) of an [organ piece](#) produced by a neural network (folk-rnn) and then harmonized by another ([DeepBach](#)). And [another example](#) of what can be achieved (with folk-rnn) by training a network on 23,962 Scottish folk songs (from midi type transcriptions).

One challenge faced by machine learning is that of the learning data. For reasons that are rarely discussed, and despite all academic and non-academic researches, the project of interpreting music is a profoundly complex and relational endeavor. Music is a remarkably slippery thing, laden with multiple potential meanings, irresolvable questions, and contradictions. Entire subfields of philosophy, art history, and media theory are dedicated to teasing out all the nuances of the unstable relationship between music, emotion and meanings. The [same question](#) haunts the domain of images.

The economic stakes are not far away. A company like [AIVA](#) thus organized a [concert](#) (at the Louvre Abu Dhabi) featuring five short pieces composed by their system and played by a symphony orchestra. Other examples include

- a piece composed especially [for the Luxembourg national holiday](#) in 2017.
- An example in [some chinese style](#)

But beware, in fact only the melody is computer generated. The orchestration work, arrangements, etc., are then done by humans: <https://www.aiva.ai/engine>. This is also true for a lot of systems that are claiming automatic machine composition.

Making music automatically with a computer is probably of little interest to a composer (and to the listener). But the techniques mentioned can be used to solve compositional problems or to develop new kind of performances. An example in composition is to produce an [interpolation between two rhythms A and B](#) (given at the beginning of the recording)

Another compositional example is to help orchestration problems. The [Orchid*](#) software family, initiated in Gérard Assayag's RepMus team at IRCAM, proposes an orchestral score that comes as close as possible to a given target sound as input. The latest iteration of the system, [Orchidea](#), developed by Carmine Cella, composer and researcher at the Univ. of Berkeley, gives not only interesting but also useful results. Some (short) examples are available on the page:

- An original [archeos bell](#) and its [orchestral imitation](#)
- A [girl's](#) and an [orchestra's screaming](#)
- Falling [drops](#) and the [orchestral results](#)
- A [roaster](#) and its [musical counterpart](#)

Far from a *replacement approach*, where AI substitutes for man, these new techniques suggest the possibility of a *musical companionship*.

This is the objective of the [OMax family of systems](#), developed at IRCAM, still in Gérard Assayag's team. These systems propose a machine that co-improvise in real-time with musicians on stage:

- An example conceived and developed by Georges Bloch with Hervé Sellin at the piano, to which [Piaf and Schwartzkopf respond on the theme of The Man I Love](#).
- [Here, the saxophonist Remy Fox and Jérôme Nika](#), author of one of the extensions of the system which allows to impose high level predefined scenarios to the response of the machine and thus to better manage the evolutions in the duration:
 - from 9', the system's response corresponds to excerpts from speeches whose prosody aligns with what Remy Fox plays
 - from 10'40, the system response evolves to respond with sung voices.

The type of scenario used to co-improvise in the last example, was also used for [Lullaby Experience](#), a project developed by Pascal Dusapin using nursery rhymes [collected from the public via the Internet](#). There is no improvisation here. The system is used to produce material which is then taken up with the composer and integrated with the orchestra.

A last example where AI assists the composer rather than substituting for her or him, is given by [La Fabrique des Monstres](#) by *Daniel Ghisi*. The musical material of the piece is the output of a network of neurons at various stages of its learning on various corpuses. At the beginning of the learning process, the music generated is rudimentary, but as the training progresses, one recognizes

more and more typical structures. A remarkable passage is [StairwayToOpera](#) which gives a “summary” of great moments typical of operatic arias.

These examples show that while it is possible to make music that is not very interesting with these techniques, they can also offer new forms of interaction, open new creative dimensions and ask intriguing and still unresolved questions:

How could emotional music be coming out of a program that had never heard a note, never lived a moment of life, never had any emotions whatsoever? ([Douglas Hoffstader](#))

Jean-Louis Giavitto
CNRS – STMS lab, IRCAM, Sorbonne Université, Ministère de la Culture
giavitto@ircam.fr

Une brève chronologie subjective de l'usage de l'intelligence artificielle en composition musicale¹

Les prémices

On produit de la musique électronique, c'est-à-dire de la musique qui a recours à des instruments de musique électroniques, depuis la fin du XIXe siècle. Mais la production d'un son par un ordinateur exige l'existence desdits ordinateurs, et le plus ancien enregistrement d'une musique générée par un ordinateur est celle produite par la machine développée au laboratoire d'Alan Turing² à Manchester en 1951. On peut écouter un enregistrement de cette musique, restauré par Copeland et Long³, ainsi que le récit de cette nuit passée à programmer pour donner naissance à cette création, suivi de la réaction de Turing à l'écoute du résultat le matin suivant :⁴

À la fin des années 1940, Alan Turing s'est aperçu qu'il pouvait produire des notes de hauteur variée en modulant le signal contrôlant le haut-parleur relié à son ordinateur, lequel haut-parleur servait alors à signaler la fin d'une série de calculs. Bientôt, Christopher Strachey (https://en.wikipedia.org/wiki/Christopher_Strachey) tire profit de cette petite astuce pour produire ses premières mélodies : l'hymne national (*God Saves the King*), une petite comptine et « *In the Mood* » de Glenn Miller.

À la fin de l'été 1952, Christopher Strachey développe un « jeu de dames complet jouant à une vitesse raisonnable »⁵. Il est aussi responsable des étranges lettres d'amour qui apparaissent sur le tableau d'affichage du département informatique de l'université de Manchester à partir d'août 1953^{6 7}.

La méthode de Strachey pour générer ses lettres d'amour consiste à extrapoler un échantillon en substituant aléatoirement des mots présélectionnés à certains endroits de la phrase. Ces endroits correspondent à des catégories déterminées, et chaque catégorie ouvre à une collection de mots prédéfinis. L'algorithme utilisé par Strachey est le suivant :

Generate Salutation 1 and Salutation 2,

Do this 5 times:

Randomly generate one of the following two templates:

1. "**You are my**" Adjective Noun

2. "**My**" Adjective(optional) Noun Adverb(optional) Verb, **Your** Adjective(optional) Noun

*Generate "**Your**" Adverb, "**MUC**"*

¹ The following translation has been made by Jérémie Szpirglas for a publication on the IRCAM and Forum Ircam web sites / Cette traduction du texte précédent a été réalisée par Jérémie Szpirglas pour une reprise sur les sites web de l'Ircam et du ForumIrcam. Les liens qui accompagnent la version anglaises ont été repris dans cette version française sous forme de liens dans les notes (pour ce document).

² https://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing

³ <https://soundcloud.com/the-british-library/first-recording-of-computer-music-1951-copeland-long-restoration>

⁴ <https://blogs.bl.uk/sound-and-vision/2016/09/restoring-the-first-recording-of-computer-music.html>

⁵ <https://videogamehistorian.wordpress.com/2014/01/22/the-priesthood-at-play-computer-games-in-the-1950s/>

⁶ http://www.alpha60.de/art/love_letters/

⁷ <https://www.gingerbeardman.com/loveletter/>

Les instructions algorithmiques sont en italique, les positions (espaces réservés aux collections de mots) sont soulignées et les séquences invariantes en sortie sont en gras (l'acronyme MUC correspond à : « Manchester's University Computer »).

C'est en réalité le même processus qui a été utilisé au XVIIIe siècle par les *Musikalisches Würfelspiel* (« Jeu de dés musical ») pour générer aléatoirement de la musique à partir d'un réservoir d'options pré-composées. L'un des exemples les plus anciens qui nous soient parvenus sont les *Der allezeit fertige Menuetten- und Polonaisencomponist* (« Menuets et polonaises prêts à composer ») proposée en 1757 par Johann Philipp Kirnberger. En voici un exemple, interprété par le Quatuor Kaiser⁹.

Carl Philipp Emanuel Bach a suivi la même approche en 1758 pour proposer *Einfall, einen doppelten Contrapunct in der Octave von sechs Tacten zu machen, ohne die Regeln davon zu wissen* (« Principe pour composer un double contrepoint de six mesures à l'octave sans en connaître les règles »). Un autre exemple, peut-être plus fameux, est celui des *Musikalisches Würfelspiel K.516f* de Wolfgang Amadeus Mozart. En voici le *Trio no. 2*, proposé par Derek Houll¹⁰.

À l'époque, on choisit grâce à un jet de dé. En 1957, un ordinateur est utilisé : Lejaren Hiller¹¹, en collaboration avec Leonard Isaacson¹², programme un des premiers ordinateurs, l'ILLIAC à l'université de l'Illinois à Urbana-Champaign¹³, pour produire ce qui est considéré comme la première partition entièrement générée par ordinateur. Intitulée *Illiad Suite*, c'est devenu plus tard le *Quatuor à cordes numéro 4*.

La pièce est une œuvre pionnière pour quatuor à cordes, résultat de quatre expériences¹⁴. Les deux compositeurs, professeurs à l'université, soulignent explicitement l'aspect « recherche » de cette suite, qu'ils considèrent comme une expérience de laboratoire. Les règles et ordres de composition qui définissent les caractéristiques de la musique d'une période donnée, sont transformés en processus algorithmiques automatiques : la première expérience traite de la génération de *cantus firmi*, la deuxième génère des segments à quatre voix régis par diverses règles, la troisième concerne le rythme, les dynamiques et les indications de jeu, la quatrième explore divers processus stochastiques.¹⁵

Que ce soit au cours d'un jeu de dé musical ou pour la *Illiad Suite*, une dialectique se fait jour entre une série de règles régissant la structure et la forme d'une pièce, et l'aléatoire utilisé pour s'assurer d'une certaine variété et de l'exploration de l'immense champ des possibles de la combinatoire. Cette dialectique est à l'œuvre dans quasiment tous les systèmes de composition automatisée.

À la même époque, en France, Iannis Xenakis explorait lui aussi de nombreux processus stochastiques pour générer du matériau musical. Il mobilisera d'autres notions mathématiques pour mettre au point de nouveaux processus musicaux génératifs. Dans son livre *Musiques formelles*¹⁶

⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Musikalisches_Würfelspiel

⁹ https://youtu.be/3SQYWsfl_Fo

¹⁰ <https://youtu.be/yGLSSiYWSUA>

¹¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Lejaren_Hiller

¹² https://en.wikipedia.org/wiki/Leonard_Isaacson

¹³ <https://music.illinois.edu/ems-history-illiac-j>

¹⁴ <https://www.musicainformatica.org/topics/illiac-suite.php>

¹⁵ Lejaren Hiller – Illiac Suite pour quatuor à cordes :

- [1/4] <https://youtu.be/n0njBFLQSk8>
- [2/4] <https://youtu.be/MrN0pOnA1x4>
- [3/4] https://youtu.be/cuq4smO_4js
- [4/4] <https://youtu.be/QyqiSbbwHls>

¹⁶ https://iannis-xenakis.org/fxc/ecrits/mus_form.html

https://monoskop.org/images/7/74/Xenakis_Iannis_Formalized_Music_Thought_and_Mathematics_in_Composition.pdf

(1963), il donne par exemple à voir l'application, à son travail de composition, de la théorie probabiliste (dans ses pièces *Pithoprakta* et *Achborripsis*, 1956-1957), de la théorie des ensembles (*Herma*, 1960-1961) et de la théorie des jeux (*Duel*, 1959 et *Stratégie*, 1962).

Systèmes experts et représentation symbolique des connaissances

Faisons à présent un saut dans le temps jusque dans les années 1980. On assiste alors à l'explosion des systèmes experts¹⁷. Cet ensemble de techniques suit une approche logique de la représentation et de l'inférence des connaissances. L'idée est d'appliquer aux faits un ensemble de règles prédéfinies afin de produire un raisonnement ou de répondre à une question. Ces systèmes ont été utilisés pour générer des partitions sonores en explicitant des règles qui décrivent une forme musicale ou le style d'un compositeur. Les règles de la fugue¹⁸, ou l'analyse schenkérienne¹⁹, par exemple, sont mises à profit pour réaliser des harmonies dans le style de Bach.

Un exemple remarquable de cette approche par règles nous est offert par le travail de Kemal Ebcioglu²⁰ à la fin des années 1980. Dans sa thèse de doctorat (intitulée « Un système expert pour l'harmonisation des chorales dans le style de J. S. Bach »), il développe le système CHORAL²¹ qui s'appuie sur trois principes :

- l'encodage d'une grande quantité de connaissances sur le style musical considéré
- l'utilisation de contraintes, à la fois pour générer automatiquement des solutions (avec algorithmes de retour-arrière) et pour éliminer celles qui seraient inacceptables (ce qui suppose l'instauration de règles pour évaluer la qualité du résultat)
- l'utilisation d'heuristiques spécifiques au style considéré, afin de hiérarchiser les choix de l'algorithme dans le cas de l'extension d'une composition partiellement existante.

Le retour-arrière est une technique utilisée en particulier pour résoudre des problèmes de satisfaction de contrainte (CSP), qui permet de remettre en question une suite de choix lorsque celle-ci mène à une impasse. Par exemple, si on élabore une séquence musicale de manière incrémentale, il peut arriver qu'on se trouve à un moment dans l'impossibilité d'incrémenter une nouvelle fois la séquence sans violer les contraintes qu'on a soi-même fixées. L'idée est alors de revenir sur ses pas jusqu'à la décision précédente, afin d'en prendre une autre et de développer une solution alternative. S'il n'y a pas d'autres choix possible, on revient alors à un choix antérieur, et ainsi de suite jusqu'à développer une solution complète.

Une heuristique désigne une méthode empirique, reposant bien souvent sur des connaissances incomplètes ou approximatives, qui ne garantit pas la rectitude du raisonnement, mais qui produit bien souvent (et rapidement) des résultats satisfaisants. Lorsque la recherche d'une solution optimale n'est pas faisable ou praticable, des méthodes heuristiques peuvent être mises en œuvre pour accélérer le processus et trouver une solution acceptable.

Voici un exemple d'une harmonisation de choral²² (d'abord l'harmonisation originale de Bach, puis le résultat produit par CHORAL à 4'42). La note de concert²³ propose une esquisse du système expert.

¹⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Expert_system

¹⁸ <https://www.britannica.com/art/fugue>

¹⁹ <http://schenkerguide.com/>

²⁰ <http://global-supercomputing.com/people/kemal.ebcioglu/bio.html>

²¹ <http://global-supercomputing.com/people/kemal.ebcioglu/pdf/Ebcioglu-JLP90.pdf>

²² <http://global-supercomputing.com/people/kemal.ebcioglu/music/1989-01-28-Concert-Chorales.mp3>

²³ <http://global-supercomputing.com/people/kemal.ebcioglu/pdf/1989-01-28-Concert-Program.pdf>

Un autre exemple remarquable né au cours de cette même décennie est le système EMI²⁴, « Experiment in Music Intelligence » (Expérience dans le domaine de l'intelligence musicale), développé par David Cope à l'université de Santa Cruz. David Cope commence à travailler à ce système alors qu'il est bloqué dans l'écriture d'un opéra²⁵ :

« J'ai décidé de passer le pas et de travailler avec une forme d'intelligence artificielle que je connaissais pour programmer quelque chose qui produirait de la musique dans mon propre style. L'idée était que je me ferais la remarque "Ah, je n'écrirais jamais un truc pareil !" et que je me sentirais alors obligé d'abandonner l'ordinateur pour aller écrire ce que j'aurais écrit à la place. C'était donc un peu pour me provoquer, quelque chose qui me donnerait l'impulsion d'aller composer. »

Le système analyse donc les pièces qui lui sont soumises en tant qu'entrées caractéristiques d'un « style ». Cette analyse est ensuite utilisée pour générer de nouvelles pièces dans le même style. Cependant, l'analyse d'EMI appliquée à ses propres pièces met le compositeur face à ses propres idiosyncrasies, à ses propres emprunts et, finalement, l'oblige à faire évoluer son écriture²⁶ :

« Je cherchais la signature d'un style "Cope". Et, tout d'un coup, j'entendais du Ligeti, et non du David Cope », constate le compositeur, « exactement comme le dit Stravinsky : "les bons compositeurs empruntent, les géniaux volent". Ce que j'entendais était de l'emprunt, ce n'était pas du vol, alors que je voulais être un voleur véritable, un professionnel. Il fallait donc que je cache tout cela, au moins en partie, et j'ai changé mon style à partir de ce que je pouvais observer par le biais de ce que me renvoyait EMI, et ça, c'est tout simplement génial. »

On peut écouter nombre de pièces produites par ce système. Par exemple, cette *Mazurka dans le style de Chopin*, produite par EMI, et un intermezzo à la manière de Mahler²⁷.

Dès le début, David Cope veut diffuser cette musique via le circuit commercial classique²⁸. Les pièces sont bien souvent cosignées avec Emmy, le petit surnom qu'il a donné à son système. Au fil des ans, Emmy a eu deux petites sœurs, Alena et Emily Howell²⁹, qui verront également leurs enregistrements largement diffusés.

Quand on demande à David Cope si l'ordinateur fait preuve de créativité, il répond : « Oh, je n'ai aucun doute à ce sujet. Oui, oui, un million de fois oui. La créativité, c'est simple ; la conscience, l'intelligence, c'est ça qui est difficile. ».

Approches numériques versus GOFAI (« Good Old Fashioned Artificial intelligence » ou Bonne vieille intelligence artificielle)

Les versions postérieures d'EMI ont également recours à des techniques d'apprentissage qui ont prospéré au début des années 2000. De fait, tout au long de l'histoire de l'informatique, deux approches ont été concurrence.

²⁴ <https://youtu.be/yFImmDsNGdE>

²⁵ <https://computerhistory.org/blog/algorithmic-music-david-cope-and-emi/>

²⁶ Ibid.

²⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=DqNcnIkYM4s>

Mazurka (d'après Chopin) by David Cope (1994?) : <https://soundcloud.com/machinelearningmusic/mazurka-after-chopin-by-david-cope> Intermezzo à la manière de Mahler by David Cope : <https://youtu.be/uVXYvhiG430>

²⁸ http://artsites.ucsc.edu/faculty/cope/Bibliography_page_2.htm

²⁹ <https://www.youtube.com/embed/Z2NyhgOENSI>

Le raisonnement symbolique correspond aux méthodes d'intelligence artificielle s'appuyant sur une représentation symbolique (c'est-à-dire lisible par l'humain) des problèmes, représentation de haut niveau, compréhensible, explicite et explicable. Les exemples précédents peuvent être classés dans cette catégorie. L'intelligence artificielle symbolique du milieu des années 1980 est aujourd'hui affublée du sobriquet GOF AI (« Good Old Fashioned Artificial intelligence » ou Bonne vieille intelligence artificielle).

Au cours de la dernière décennie, on a assisté à un retour en force de toute une série de techniques digitales, souvent inspirées par la biologie, mais prenant également en compte les avancées dans les domaines de la science statistique et de *l'apprentissage machine numérique*. *L'apprentissage numérique* repose sur des représentations numériques de l'information à traiter. Un exemple emblématique de ce genre de techniques peut se trouver dans les *réseaux de neurones artificiels*³⁰. Cette technique avait déjà été utilisée au cours des années 1960, avec le perceptron³¹ inventé en 1957 par Frank Rosenblatt, qui permettait un apprentissage supervisé de classificateurs (un algorithme permettant de décider si l'entrée qu'on lui présente appartient à une catégorie donnée). Par exemple, un perceptron peut être entraîné à reconnaître les lettres de l'alphabet écrites à la main (ici les catégories sont les lettres de l'alphabet). On entre dans le système une matrice de pixels contenant une lettre à reconnaître, et le système donne comme résultat la lettre reconnue. Au cours de la phase d'apprentissage, de nombreux spécimens de chaque lettre sont présentés et le système est ajusté pour donner la classification correcte. Une fois l'apprentissage terminé, une matrice de pixels peut être présentée contenant une lettre qui ne fait pas partie des spécimens utilisés pour l'apprentissage, et le système reconnaît correctement la lettre.

Selon l'époque, le paradigme dominant de l'intelligence artificielle a fluctué. Dans les années 1960, l'apprentissage machine était à la mode. Mais à la fin de cette décennie, un fameux article a mis un frein à ce champ de recherche, en montrant que les perceptrons n'étaient pas en mesure de classer tous les objets. Cela était dû à son architecture, réduite à une couche unique de neurones. On verra plus loin que des classes plus complexes de spécimens peuvent être reconnues en augmentant le nombre de couches de neurones. Malheureusement, il n'existait alors aucun algorithme d'apprentissage pour entraîner des réseaux multicouches.

Un tel algorithme apparaît dans les années 1980 mais il est encore terriblement lourd à implémenter et l'on se rend également compte que l'apprentissage d'un réseau multicouche exige une masse faramineuse de données.

L'apprentissage machine

Au début des années 2000, les algorithmes progressent encore, les machines sont de plus en plus rapides, et l'on a un accès de plus en plus important à nombre de bases de données d'exemples, résultat du développement de toutes les techniques digitales. Cette conjonction favorable a relancé la mode des techniques numériques d'apprentissage machine, et on peut entendre dorénavant à tout bout de champ l'expression *deep learning*³² ou apprentissage profond (le terme « deep » ou « profond » fait référence à l'épaisseur des couches du réseau à entraîner).

La contribution de ces nouvelles techniques d'apprentissage digitales est considérable. Elle permet par exemple de générer des sons directement, et non pas via une partition (le signal sonore étant bien plus riche en informations, son apprentissage nécessite de nombreuses couches et

³⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network

³¹ <https://blogs.umass.edu/brain-wars/files/2016/03/rosenblatt-1957.pdf>

³² <https://adeshpande3.github.io/adeshpande3.github.io/The-9-Deep-Learning-Papers-You-Need-To-Know-About.html>

d'innombrables heures de musique enregistrée³³). Voici quelques spécimens de sons instrumentaux reconstitués grâce à ces techniques³⁴.

Bien sûr, ces techniques ont été appliquées à la composition, et on trouve de nombreux exemples de chorals de Bach. Voici un exemple³⁵ d'une pièce d'orgue³⁶ produite par un réseau de neurones (folk-rnn), puis harmonisée par un autre réseau de neurones (DeepBach). Et voici un autre exemple³⁷ de ce qui a pu être accompli (avec folk-rnn) en entraînant un réseau avec 23.962 chansons traditionnelles écossaises (à partir de transcriptions MIDI).

L'un des enjeux soulevés par l'apprentissage machine est celui des données utilisées pour ledit apprentissage. Pour des raisons rarement évoquées, et malgré les nombreuses recherches, académiques ou non, la compréhension musicale est un processus profondément complexe et relationnel. La musique est un objet éluif, chargé de polysémies, de questions insolubles et de contradictions. Des pans entiers de la philosophie, de l'histoire de l'art et de la théorie des médias sont consacrés à la mise en évidence de toutes les nuances qui entrent dans la relation ambiguë entre musique, émotion et sens. Les mêmes questions hantent le champ des images mais celles-ci peuvent souvent être abordées sous l'angle de la représentation. La musique, plus abstraite, reste plus insaisissable.

Les enjeux économiques ne sont en outre jamais bien loin. Une entreprise comme AIVA a ainsi organisé un concert au Louvre Abou Dabi³⁸ avec au programme cinq courtes pièces composées par son système et interprétées par un orchestre symphonique. On peut aussi citer l'exemple d'une pièce composée spécifiquement pour la fête nationale du Luxembourg³⁹ en 2017, et celui de cet extrait d'un album de musique chinoise⁴⁰ :

Mais attention, seule la mélodie est effectivement générée par l'ordinateur. Le travail d'orchestration, d'arrangement, et le reste, a été réalisé par des humains : <https://www.aiva.ai/engine>. C'est aussi vrai de nombre de systèmes qui se prétendent des machines de composition automatique, y compris la *Symphonie inachevée* de Schubert, complétée par un smartphone Huawei⁴¹.

³³ <https://magenta.tensorflow.org/nsynth>

³⁴

- Contrebasse
 - Original : https://magenta.tensorflow.org/assets/nsynth_04_05_17/sounds/Bass-Original.mp3
 - Wavenet : https://magenta.tensorflow.org/assets/nsynth_04_05_17/sounds/Bass-WaveNet.mp3
- Glockenspiel
 - Original : https://magenta.tensorflow.org/assets/nsynth_04_05_17/sounds/Glockenspiel-Original.mp3
 - Wavenet : https://magenta.tensorflow.org/assets/nsynth_04_05_17/sounds/Glockenspiel-WaveNet.mp3
- Bugle
 - Original : https://magenta.tensorflow.org/assets/nsynth_04_05_17/sounds/Flugelhorn-Original.mp3
 - Wavenet : https://magenta.tensorflow.org/assets/nsynth_04_05_17/sounds/Flugelhorn-WaveNet.mp3

³⁵ <https://theconversation.com/machine-folk-music-composed-by-ai-shows-technologys-creative-side-74708>

³⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=BUrbZS5eXc&feature=youtu.be>

³⁷ <https://youtu.be/Wm5yQR336cI>

³⁸ <http://www.abudhabi2.com/innovation-week-at-louvre-arts-event-in-abu-dhabi/>

³⁹ <https://youtu.be/H6Z2n7BhMPY>

⁴⁰ <https://youtu.be/Bd9p2oi760g>

⁴¹ <https://consumer.huawei.com/uk/campaign/unfinishedsymphony>

De la composition automatique au compagnonnage musical

Générer de la musique automatiquement avec un ordinateur est probablement assez peu intéressant pour un compositeur (ainsi que pour l'auditeur). Mais les techniques mentionnées peuvent être utilisées pour résoudre des problèmes compositionnels ou pour développer des performances d'un nouveau genre. Un exemple, dans le domaine de la composition, serait de produire une interpolation entre deux rythmes A et B (donnés au début de l'enregistrement)⁴².

Un autre exemple, dans le cadre compositionnel, est l'aide à la résolution de problèmes d'orchestration. La famille de logiciels Orchid, initiée par l'équipe RepMus de Gérard Assayag à l'Ircam, propose une partition d'orchestre produisant un résultat sonore le plus proche possible d'un « son » donné comme cible, en entrée. La dernière itération du système, développée par Carmine Emanuele Cella, compositeur et chercheur à l'université de Berkeley, donne des résultats non seulement intéressants, mais utiles. Quelques exemples (brefs) sont disponibles sur la page du compositeur⁴³.

Loin d'une *approche remplaciste*, où l'IA se substitue à l'humain, ces nouvelles techniques suggèrent la possibilité d'un *compagnonnage musical*.

C'est l'objectif de la famille de systèmes OMax⁴⁴, développé à l'Ircam, toujours par l'équipe de Gérard Assayag. OMax et ses équivalents ont été mis en œuvre partout dans le monde, avec de grands artistes, et nombre de vidéos de performances et de concerts publics⁴⁵ témoignent des capacités du système. Ces systèmes implémentent des agents qui produisent de la musique en navigant avec créativité dans une mémoire musicale apprise en amont ou durant la performance. Ils offrent une vaste palette de styles de « composition » ou de « jeu ».

- Un exemple conçu et développé par Georges Bloch avec Hervé Sellin au piano, auquel Piaf et Schwatzkopf répondent sur le thème de *The Man I Love*. La deuxième partie de la vidéo met en œuvre un agent réactif qui écoute le saxophoniste Rémi Fox, et qui joue en réponse des phrases musicales enregistrées en direct peu avant ou durant la même performance⁴⁶.

Dans cet autre exemple, un saxophone virtuel dialogue avec un saxophone humain en temps réel, en suivant la structure d'une musique funk. La dernière version d'OMax développée par Jérôme Nika, chercheur à l'Ircam, combine une notion de « scénario musical » préétabli à une écoute

⁴² <https://youtu.be/OsxP4lFp76I>

⁴³

- Une cloche archeos originale et son imitation orchestrale
 - http://www.orch-idea.org/targets/archeos_bell-sound-b.wav
 - http://www.orch-idea.org/archeos2/solution_0.wav
- Un cri de petite fille et un cri d'orchestre
 - <http://www.orch-idea.org/targets/girl-scream.wav>
 - http://www.orch-idea.org/scream/solution_0.wav
- Des gouttes d'eau et leur reproduction orchestrale
 - <http://www.orch-idea.org/targets/drops.wav>
 - <http://www.orch-idea.org/drops/connection.wav>
- Un coq et son homologue musical
 - <http://www.orch-idea.org/targets/coque.wav>
 - <http://www.orch-idea.org/coque1/connection.wav>

⁴⁴ <https://www.stms-lab.fr/shop/product/omax/>

⁴⁵ <https://www.dailymotion.com/RepMus>

⁴⁶ <https://vimeo.com/showcase/7325210/video/376887800> et <https://vimeo.com/454041143>

réactive, pour naviguer dans la mémoire musicale. Dans les trois courts extraits suivants, le système répond au saxophone de Rémi Fox⁴⁷.

Le type de stratégie utilisé pour co-improviser dans le dernier exemple a également été mis en œuvre dans *Lullaby experience*⁴⁸, projet développé par Pascal Dusapin utilisant une collection de berceuses collectées auprès du public via Internet (<https://www.lullaby-experience.eu/>). Il n'y a ici nulle improvisation. Le système est utilisé pour produire du matériau dont s'empare ensuite le compositeur pour l'intégrer à l'orchestre⁴⁹.

Un dernier exemple où l'IA offre une assistance à la compositrice ou au compositeur, plus qu'elle ne substitue à elle ou lui, nous vient de *La Fabrique des Monstres* de Daniele Ghisi⁵⁰. Le matériau musical de la pièce est le résultat donné par un réseau de neurones à différentes étapes de son apprentissage de divers corpus. Au début de son processus d'apprentissage, la musique générée est rudimentaire, mais, à mesure qu'il progresse, on reconnaît de mieux en mieux les structures musicales archétypales. Dans une *mise en abîme* poétique, l'humanisation de la créature de Frankenstein se reflète dans l'apprentissage de la machine⁵¹.

Un passage remarquable, intitulé *StairwayToOpera*, offre comme une « synthèse » des grands moments caractéristiques des arias opératiques⁵².

En guise de conclusion, nécessairement provisoire

Ces exemples montrent que, bien que ces techniques soient capables de fabriquer de la musique qui n'est pas (souvent) très intéressante, elles peuvent aussi offrir de nouveaux modes d'interaction, de nouvelles dimensions créatives, et renouveler au passage notre approche de certaines questions fascinantes et encore irrésolues :

« Comment une musique émouvante peut-elle sortir d'un logiciel qui n'a jamais entendu une note, jamais vécu un instant de vie, jamais éprouvé quelque émotion que ce soit ? »⁵³

Jean-Louis Giavitto⁵⁴

CNRS – STMS lab, Ircam, Sorbonne Université, ministère de la Culture
giavitto@ircam.fr

⁴⁷ en se concentrant

- d'abord sur le timbre (du début jusqu'à la 28^e seconde)
 - <https://youtu.be/5pUddjiTGAI>
- puis sur l'énergie (29 sec – 57 sec)
 - <https://youtu.be/5pUddjiTGAI?t=29%3E>
- enfin sur la mélodie et l'harmonie (58 sec jusqu'à la fin)
 - <https://youtu.be/5pUddjiTGAI?t=58%3E>

⁴⁸ <https://medias.ircam.fr/xb22ae8>

⁴⁹ <https://youtu.be/PJf7zEJVVsQ>

⁵⁰ <http://www.danieleghisi.com/works/la-fabrique-des-monstres/>

⁵¹ <https://soundcloud.com/lafabriquedesmonstres>

⁵² <https://soundcloud.com/lafabriquedesmonstres/18-stairwaytoopera?in=lafabriquedesmonstres/sets/la-fabrique-des-monstres>

⁵³ Douglas Hoffstadter, <https://courses.cs.washington.edu/courses/cse403/04wi/materials/Essay-Douglas-Hofstadter.htm>

⁵⁴ <http://repmus.ircam.fr/giavitto>