

L'étincelle #18  
journal de la création à l'Ircam



# MANIFESTE 2018

festival  
6 – 30 juin

# MANI-FESTE 2018

FESTIVAL  
6 - 30 JUIN  
LES RENDEZ-VOUS

## Thinking Things\*

APERGHIS  
6, 7 JUIN / 20H30  
CENTRE POMPIDOU

## Not Here

GINOT / APERGHIS\*, KURTÁG\*,  
LACHENMANN\*, RIVAS\*, SAUNDERS  
6 JUIN / 22H30  
ÉGLISE SAINT-MERRY

## VxH - La voix humaine\*

AUZET  
7, 8 JUIN / 20H  
9 JUIN / 17H ET 20H, 10 JUIN / 17H  
LE CENTQUATRE-PARIS

## Illumination\*

ENSEMBLE INTERCONTEMPORAIN/  
HENKE, NIKODIJEVIC  
8 JUIN / 20H30  
CITÉ DE LA MUSIQUE

## La Fabrique des monstres\*

PEYRET, GHISI  
8, 12, 13 JUIN / 20H30  
9 JUIN / 18H30, 10 JUIN / 16H30  
MC93

## Monologues

KLANGFORUM WIEN / BEDROSSIAN\*,  
ELDAR\*, SAUNDERS\*  
11 JUIN / 20H30  
CENTRE POMPIDOU

## Forum Vertigo « Coder-décoder le monde »

| MUTATIONS / CRÉATIONS 2  
13 - 16 JUIN / 11H - 18H  
CENTRE POMPIDOU

## Inscape

ENSEMBLE INTERCONTEMPORAIN/  
ORCHESTRE NATIONAL DE LILLE/  
BARTÓK, PARRA\*, XENAKIS  
14 JUIN / 20H30  
CITÉ DE LA MUSIQUE

## Expositions « Coder le monde » « Ryoji Ikeda »

| MUTATIONS / CRÉATIONS 2  
15 JUIN - 27 AOÛT  
CENTRE POMPIDOU

## Ryoji Ikeda

15 JUIN / 20H30  
16 JUIN / 15H, 18H, 20H30  
CENTRE POMPIDOU

## Concerts du Cursus\*

16 JUIN / 19H ET 21H  
LE CENTQUATRE-PARIS

## In Vivo Théâtre\*

JEANNETEAU / CHEN, MAKOVSKY  
19, 20, 21 JUIN / 20H  
22 JUIN / 19H, 23 JUIN / 18H  
T2G - THÉÂTRE DE GENNEVILLIERS

## Gérard Pesson, un instantané

L'INSTANT DONNÉ  
19 JUIN / 20H30  
NOUVEAU THÉÂTRE DE MONTREUIL -  
CDN

## Réplicas - La Mulette

BASCHET, MUNIZAGA\*  
22 JUIN / 21H  
T2G - THÉÂTRE DE GENNEVILLIERS

## Pockets of Space\*

BARRETT, OPENENDEDGROUP  
23, 24 JUIN / 13H - 20H30  
CENTRE POMPIDOU

## Art + son = art sonore?

23 JUIN / 14H-19H  
IRCAM

## Stockhausen 1

| ACADÉMIE  
CONCERT DE L'ATELIER DE COMPOSITION  
ET DE LA MASTER CLASS  
D'INTERPRÉTATION POUR ORCHESTRE  
ORCHESTRE PHILHARMONIQUE  
DE RADIO FRANCE / ENSEMBLE ULYSSES  
23 JUIN / 20H30  
LE CENTQUATRE-PARIS

## C'le chantier - Goebbels

| ACADÉMIE  
26 JUIN / 18H30  
LE CENTQUATRE-PARIS

## Angelin Preljocaj

HELIKOPTER + STILL LIFE\*  
28, 29, 30 JUIN / 20H30  
LA VILLETTE

## Stockhausen 2

ENSEMBLE LINKS / LEVINAS, ROTELLA\*,  
STOCKHAUSEN  
29 JUIN / 20H30  
CENTRE POMPIDOU

## Concert de l'atelier d'interprétation des musiques électro- acoustiques

| ACADÉMIE  
30 JUIN / 15H  
CENTRE POMPIDOU

## Final

| ACADÉMIE  
ENSEMBLE INTERCONTEMPORAIN,  
ENSEMBLE ULYSSES / FURRER,  
JARRELL, LACHENMANN  
30 JUIN / 21H  
LE CENTQUATRE-PARIS

## AVANT-PROPOS

Volontairement prospectif, le programme annuel «Mutations/Créations» au Centre Pompidou réunit les arts, les sciences et les technologies, les protagonistes du sensible et de l'intelligible qui infléchissent ou transgressent le présent. Après une première édition dédiée à l'impression 3D, le Centre Pompidou et l'Ircam se consacrent en 2018 au code et aux écritures numériques, au travers du festival ManiFeste-2018 et de deux expositions. «Coder le monde» et ses lignes de temps liées aux disciplines artistiques qui sont bouleversées par le numérique. «Ryoji Ikeda» avec l'immersion visuelle et sonore conçue par l'artiste japonais.

Depuis l'avènement de l'ordinateur dans les années 60, l'algorithme est présent dans tous les champs artistiques et dans nos processus d'apprentissage. La musique fut pionnière en tout, et elle le reste aujourd'hui, comme en témoignent les concerts, spectacles et ateliers du festival de l'Ircam, tout au long du mois de juin. La cohabitation entre l'homme et la machine mobilise également les rencontres du Forum Vertigo, en particulier autour des «humanités numériques».

Coder et décoder le monde? Un enjeu artistique, politique et anthropologique pour notre temps.

### SERGE LASVIGNES

PRÉSIDENT DU CENTRE POMPIDOU

é L'étincelle journal de la création à l'Ircam #18

#### ÉDITÉ PAR L'IRCAM-CENTRE POMPIDOU

Ircam, Institut de recherche et coordination acoustique/musique: 1, place Igor-Stravinsky 75004 Paris 01 44 78 48 43 - www.ircam.fr  
Directeur de la publication Frank Madlener, Coordination éditoriale Claire Marquet, Communication & Partenariats Marine Nicodeau.  
Ont participé à ce numéro Moreno Andreatta, Georges Aperghis, Gérard Assayag, Natasha Barrett, José L. Besada, Scott deLahunta, Nicolas Donin, Philippe Esling, Daniele Ghisi, Robert Henke, Nick Montfort, Marko Nikodijevic, Jean-François Peyret, Jérémie Szpirglas, Peter Van Roy. | En couverture François Morellet. *Random Distribution of 40,000 Squares using the Odd and Even Numbers of a Telephone Directory* Centre Pompidou - Mnam/CCI- Bibliothèque Kandinsky-Philippe Migeat © ADAGP, Paris 2018  
| Conception graphique BelleVille | Imprimerie Lamazière

## 5 Édito

PAR FRANK MADLENER

## 6 APPRENDRE : HOMME-MACHINE

## 7 Thinking Things, puzzle robotique

ENTRETIEN AVEC GEORGES APERGHIS  
PAR NICOLAS DONIN

## 11 Aïe l'IA

PAR GÉRARD ASSAYAG

## 15 Enseigner aux monstres

TRIPLE ENTRETIEN AVEC JEAN-FRANÇOIS PEYRET,  
DANIELE GHISI ET PHILIPPE ESLING  
PROPOS RECUEILLIS PAR JÉRÉMIE SZPIRGLAS

## 18 ŒUVRE COLLECTIVE

## 19 Natasha Barrett

PAR JÉRÉMIE SZPIRGLAS

## 21 Partager un rêve

ENTRETIEN CROISÉ AVEC MARKO NIKODIJEVIC  
ET ROBERT HENKE PAR JÉRÉMIE SZPIRGLAS

## 24 INSCAPE d'Hèctor Parra

PAR JOSÉ L. BESADA

## 26 CODER LE MONDE

## 27 Musique et codage du monde

PAR MORENO ANDREATTA

## 31 La programmation du futur

PAR PETER VAN ROY

## 33 Quand la danse devient données

PAR SCOTT DELAHUNTA

## 36 Programmer l'art littéraire

PAR NICK MONTFORT

# FORUM VERTIGO CODER-DÉCODER LE MONDE



# VERTIGO

## MUTATIONS / CRÉATIONS 2

**13 JUIN**  
**HUMANITÉS NUMÉRIQUES**  
coder-décoder la connaissance

**19H DÉBAT AU CENTRE**  
**CODE ET IA**  
de nouveaux maîtres pour la connaissance et la création ?

**14 & 16 JUIN**  
**CODER LE MONDE**  
algorithmique, art et société / coder le corps  
/ IA et générativité / littérature / architecture et design  
/ arts visuels, musique et interaction

**15 JUIN**  
**JOURNÉE DU PROJET EUROPÉEN**  
**STARTS RESIDENCIES**

ENTRÉE LIBRE

**AVEC**  
Moreno Andreatta, Gérard Assayag, Natasha Barrett,  
Rocio Berenguer, Sophie Bertrand, Mathieu Bonicel,  
Bertrand Braunschweig, Vera Bühlmann, Dominique Cardon,  
Pierre Cassou Noguès, Emmanuel Cyriaque, Scott deLahunta,  
Marc Downie, Driessens / Verstappen, Philippe Esling,  
Sarah Fdili Alaoui, John Fraser, Daniele Ghisi,  
Jean-Louis Giavitto, Claire Giraudin, Pierre Godard,  
Emmanuel Guez, Frédéric Kaplan, Olga Kisseleva,  
Camille Lenglois, Marcella Lista, Winy Maas,  
Catherine Malabou, Emmanuel Mahé, Nicolas Maigret /  
Maria Roszkowska, Frédéric Migayrou, Christian Mio Loclair,  
Nick Montfort, Tobias Nolte / Andrew Witt, François Pachet,  
Jörg Piringer, Jasia Reichardt, Maël Renouard, Chris Salter,  
Liz Santoro, Beat Suter, Denis Teyssou, Troïka, Olivier Zeitoun...

AVEC LE SOUTIEN DE



EN PARTENARIAT AVEC



Centre  
Pompidou

## Apprendre

Apprendre et désapprendre, coder et décoder : quatre actes fondateurs pour le festival et l'académie de l'Ircam, pour le Forum Vertigo et l'exposition pluridisciplinaire du Centre Pompidou. Apprentissage entre vivants et machines, apprentissage profond et non supervisé dans l'informatique, désapprentissage des acquis, l'intrigue de ManiFeste-2018 se joue entre l'intelligence humaine et l'algorithme.

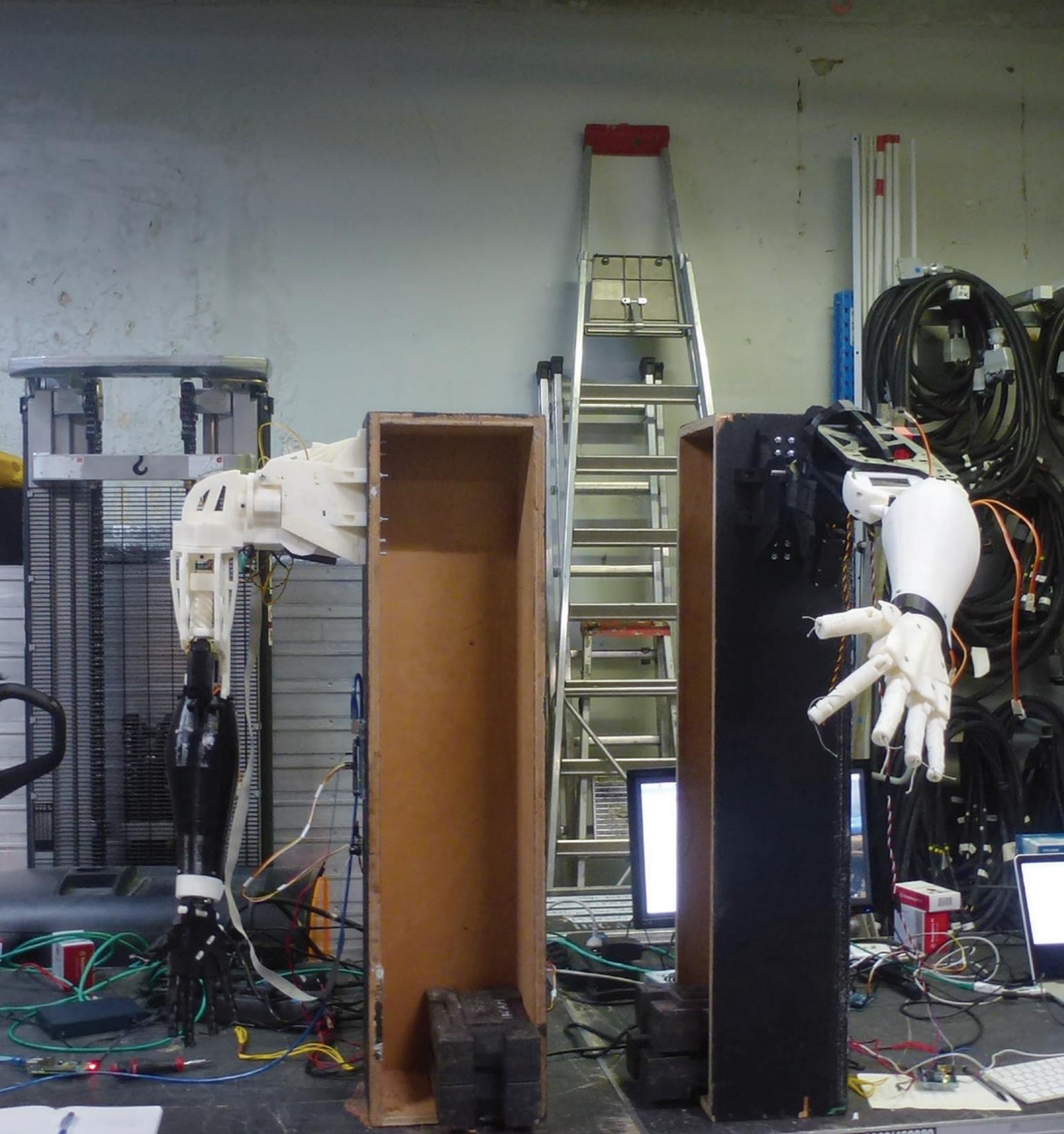
«Apprendre», le concept appartient pleinement à l'intelligence artificielle qui suscite aujourd'hui tant de fantasmagories massives et opposées, l'enthousiasme des apologues et l'effacement des détracteurs, adoptant tour à tour leur «désormais». Plutôt que de refaire le procès apocalyptique d'une ère, la nôtre, le Forum Vertigo transforme la rhétorique figée d'une actualité en problème immanent à l'art et à la vie. Au cœur de *Thinking Things* de Georges Aperghis et du *Frankenstein* inspiré de Mary Shelley, la maîtrise et la perte de contrôle, le *deep learning* et l'abandon profond. Une traversée des labyrinthes de l'apprentissage et de l'oubli créateur.

Apprendre? Un glissement s'est opéré du maître savant au maître ignorant – le logiciel dans son état initial agnostique –, du maître ignorant aux maîtres ignorés – les données massives exploitées par les entreprises du net. L'essor de la créativité artificielle et de la générativité brouille la notion même d'auteur, son unicité et sa liberté. Présente dans les œuvres à plusieurs signatures, une intelligence collective pourrait-elle dépasser les affres de l'intelligence artificielle, le compagnonnage entre humains et machines remplaçant alors la dialectique verrouillée de la domination et de la servitude?

Le code a croisé depuis longtemps l'imaginaire artistique, la musique précédant ici toutes les autres disciplines. Invention de l'électronique et de l'informatique musicale, primat du musical en vis-à-vis du scientifique, de Iannis Xenakis à Hector Parra, exaltation de la démesure en regard du chiffre avec Stockhausen, la stimulation entre l'homme et le computationnel s'accélère avec la jeune génération de musiciens. Apprendre? Le pari de l'académie renouvelée de l'Ircam est de solliciter le chercheur aux aguets plutôt que savant en tout, avec les ateliers de Rebecca Saunders et Franck Bedrossian, de Beat Furrer et Stefano Gervasoni, de Heiner Goebbels et Daniel Jeanneteau.

L'ultime scène de ManiFeste-2018 confiée aux jeunes musiciens de l'Ensemble européen ULYSSES, mêle l'apprentissage et le désapprentissage de toutes les habitudes contractées par l'interprète, l'un des enjeux centraux de l'œuvre de Helmut Lachenmann. Dans *Musik mit Leonardo*, le texte atomisé des Carnets de Léonard de Vinci vibre au travers de l'instrumentarium. Pas à pas nous avançons dans un paysage méditerranéen grandiose et tourmenté, la nature «imitant» l'art. S'il n'y a pas eu de brouillard sur la Tamise avant Turner, suivant l'expression heureuse d'Oscar Wilde, il n'y a pas eu d'éruption du Mongibello avant *Zwei Gefühle*. La voix du récitant déchiffre à tâtons le texte ou le code, en proie à deux émotions, *Zwei Gefühle, due cosi*: le désir de connaître et la peur d'avoir connu. L'intelligence n'est pas seulement la possibilité de simuler un monde, c'est la capacité à l'interrompre.

**FRANK MADLENER**  
DIRECTEUR DE L'IRCAM



# APPRENDRE: HOMME-MACHINE

## Thinking Things, puzzle robotique

ENTRETIEN AVEC **GEORGES APERGHIS**

Chaque création de Georges Aperghis à l'Ircam est l'occasion d'une transformation du « théâtre musical » qui l'a rendu célèbre depuis les années 1970 : *Machinations* (2000) mettait en scène l'ordinateur, *Avis de tempête* (2004) la prédiction et l'aléa, *Luna Park* (2011) la vidéosurveillance. En 2018, place aux robots qui s'intègrent à nos vies, avec *Thinking Things*.

**Le titre de ton prochain spectacle comporte une ambivalence suggestive: «*thinking things*» renvoie à des « choses pensantes », mais aussi, bien que l'usage transitif du verbe penser soit plus rare en anglais qu'en français, à l'action de « penser les choses ». Y aura-t-il sur scène à la fois des machines intelligentes et des intelligences humaines ?**

On verra d'abord un grand robot, dont les parties principales seront disjointes. Une tête au-dessus. Deux bras espacés de 7 ou 8 mètres. En bas, des jambes. Et c'est tout. Un robot ouvert, pas fini, dont on peut voir le fonctionnement: c'est plus inquiétant qu'un simili-corps humain. Ici, les humains ne seront pas des modèles que la machine devrait imiter mais des partenaires faisant système avec ce puzzle robotique qu'ils actionnent de façon manuelle ou virtuelle. Les humains auront des côtés robotiques et les robots, des côtés humains. Et il faudra encore compter avec un bébé robot, conçu par Olivier Pasquet: sorte de petite momie entourée de bandelettes, il aura droit à une cérémonie funèbre comme les Japonais en font pour les robots. Puis il s'allumera et commencera à s'animer!

**Quel sera l'univers sonore de ces partenaires humains et non humains ?**

Tout ce que les quatre humains présents sur scène auront à dire et à chanter est inspiré du son des imprimantes 3D, au même titre que la partie électroacoustique. C'est un monde sonore très artificiel, que l'on dirait fait de cellophane ou de plastique. On retrouvera des interprètes avec lesquels je travaille depuis longtemps: les chanteurs Donatienne Michel-Dansac et Lionel Peintre, la danseuse et chorégraphe Johanne Saunier, le percussionniste Richard Dubelski. Ce dernier portera une couronne de six micros piézoélectriques: afin de produire du son, il sera amené à faire des gestes qui ont une grande force évocatrice, tant de l'amnésie que de la divination.

**Ce quatuor évoque d'autres dans ta production scénique, tout particulièrement les quatre « manipulatrices » de *Machinations* (qui fut ta première production à l'Ircam**

AGENDA

**GEORGES APERGHIS**  
**THINKING THINGS**

MERCREDI 6 ET SAMEDI 7 JUIN, 20H30  
CENTRE POMPIDOU, GRANDE SALLE

Atelier de Georges Aperghis © Daniel Lévy

en 2000) et les quatre cabines de *Luna Park* (2011), autre spectacle multimédia incubé à l'Ircam auquel participaient d'ailleurs Johanne et Richard. À chaque fois, les interprètes étaient séparés les uns des autres et faisaient face au public.

Il y a beaucoup de liens entre ces œuvres. J'aimerais un jour pouvoir donner sous forme de trilogie *Machinations*, *Luna Park* et *Thinking Things* – en trois soirées, ou peut-être en une journée dans trois salles différentes. En un sens, *Thinking Things* n'est que l'étape suivante d'un processus d'intégration des humains et des machines dont *Luna Park* interrogeait les limites (à partir du thème de la vidéosurveillance), et *Machinations*, les archétypes. Comme tu le suggères, tous ces spectacles ont en commun des dispositifs scéniques qui empêchent ou médiatisent le face-à-face entre les interprètes. Même si le plateau de *Thinking Things* offre une plus grande latitude de déplacement aux interprètes, il n'est pas le lieu de rencontres ou de dialogues sur un mode théâtral classique. À un moment, Lionel et Donatienne opèrent un mouvement de balancier, sorte de duo en ombres chinoises, comme un passant le verrait depuis la rue à travers des rideaux : on ne parvient pas à discerner si ce sont des humains ou une machine. Ce qui est sûr en tout cas, c'est que ce n'est pas un face-à-face. Les protagonistes ne se parlent pas. Nul besoin de se voir pour interagir : je fais tel geste et le robot vient ; je suis en train de parler ici mais la même scène se produit là-bas au loin en noir et blanc, sur un écran. Dans cette pièce, tout passe toujours par des robots, des projections, cet environnement qui, en intégrant machines et humains, altère l'altérité.

**Tes machines ne cherchent pas à nous imiter, c'est entendu, mais ne nous ressemblent-elles pas malgré tout ?**

Lorsqu'on voit bouger les deux bras du robot, c'est plus qu'humain – comme une sorte de survivant essayant de retrouver des mouvements qu'il avait jadis su faire, continuant à vivre par bras interposés en répétant à l'infini un même geste. Une dimension tragique transparait dans cette essentialisation involontaire de l'humain. Je m'interroge : si toute activité cessait et qu'il y avait juste ce mouvement de bras, qu'est-ce que cela donnerait ? Cela fait un boucan terrible, en plus. En fait, j'ai envie qu'ils s'arrêtent à un moment donné et que la tête, elle, reste face à la salle, telle une statue de l'Île de Pâques.

**Tout cela est glaçant.**

Oui et non. Ce que j'essaie de faire, tout comme dans *Luna Park* sur un sujet différent, c'est de trouver une distance, un point d'où considérer notre situation. Cela induit un élément de comique presque forain, à la Méliès. Face aux technologies nouvelles, je n'aime pas le pathos – que celui-ci vise à les dénoncer ou à les exalter. Selon moi, celui qui est allé le plus loin dans l'interrogation de notre parti-

icipation au monde des machines, c'est Chaplin dans *Les Temps modernes*. Le travail à la chaîne, le robot qui fait manger Charlot, c'est fou ! Ces scènes géniales confrontent le spectateur à une réalité terrifiante en le faisant pourtant rire de bon cœur. Je ne me priverai pas de cette ressource dans *Thinking Things*. Les doigts du robot apprennent à jouer du piano en imitant la main humaine. Des têtes couvertes d'électrodes font soudainement du son. Et le grand totem en quoi consistent les fragments robotiques et humains est tout à la fois angoissant et comique. Ressasser l'idée que les robots annulent la décision humaine n'apporte rien, cela nous empêche juste de regarder notre situation. Plutôt que de faire la leçon (« c'est mauvais »), j'approche tout cela comme un jeu d'enfant. Libre ensuite au spectateur de se dire : « Mais ce n'est tout de même pas un jeu d'enfant, c'est beaucoup plus grave ! »

**Une lecture qui t'a marqué en abordant ce projet est la *Théorie du drone* de Grégoire Chamayou, essai philosophique sur les questions éthiques, juridiques et politiques soulevées par les drones militaires et leur usage au XXI<sup>e</sup> siècle. La documentation de Chamayou concerne l'action de l'armée des États-Unis au Moyen-Orient, mais sa réflexion porte plus globalement sur la « mutation des conditions d'exercice du pouvoir de guerre [...] dans le rapport de l'État à ses propres sujets ». Il conclut son introduction par la question : « Qu'impliquerait, pour une population, de devenir le sujet d'un État-drone ? » Qu'as-tu fait résonner de cette lecture dans ton œuvre ?**

Les partisans des drones militaires assurent que la guerre est plus propre grâce à l'absence de psychologie des robots. Le robot exécute l'ordre de tuer mais ne torture pas. Entre ce qu'un drone détecte sur le théâtre d'opérations et ce qu'il va y effectuer, il y a l'analyse et la décision d'une équipe militaire, immergée dans une cabine de contrôle à des milliers de kilomètres de là. Ce n'est qu'un cas extrême du couplage, de plus en plus banalisé, du corps humain avec des extensions robotiques. Nous vivons l'âge des implants oculaires, des prothèses intelligentes, bref, du corps augmenté. Et cela affecte la pensée, la décision. La *Théorie du drone* de Chamayou m'a aidé à appréhender cela. J'en ai également extrait un dialogue entre des militaires de la base de Creech, Nevada, menant en 2010 une opération en Afghanistan<sup>1</sup>. J'envisage de transposer ce verbatim en l'associant à l'image d'une route dans le désert, vue d'avion, où file une voiture. Lionel Peintre dirait aussi le récit de la mort d'Hippolyte par Théramène (Racine, *Phèdre*, v, 6) : le héros conduit son char sur le chemin de Mycènes quand surgit l'indomptable monstre marin. Les gens courent se cacher dans le temple, on ne sait pas ce que c'est mais il y a catastrophe. Ce serait un parallèle magnifique entre deux topiques : celle d'une époque où l'on pouvait encore se cacher pour se préserver, l'autre sans reste.



Georges Aperghis © Éditions Durand/Kai Biennert

**Pourtant, il y aura un espace dissimulé à l'arrière de la scène, contrairement à *Machinations* et *Luna Park* où tout se jouait sur un plan latéral sans profondeur et sans coulisse.**

Derrière le dispositif frontal se trouve en effet l'atelier vidéo, que le spectateur verra par la médiation d'une caméra. C'est une sorte d'extérieur perpendiculaire au plan d'action du robot. Joanne Saunier pourra arriver de loin avec le bébé robot dans les bras, on la suivra d'abord sur écran puis traversant le décor pour déboucher sur la scène. Les chanteurs pourront également s'y engager. C'est pire que les cabines parallèles des spectacles que tu mentionnes : ici, même la coulisse est intégrée à la machine. On peut bien libérer les prisonniers, de toute façon ils n'iront pas loin.

**Si je comprends bien la différence avec *Luna Park*, ici, il n'y a pas de cache possible, donc, il ne peut y avoir d'insurrection, de contournement, de braconnage ?**

Non. C'est une machine pour l'éternité. Le pas supplémentaire par rapport à la société de surveillance mise en scène dans *Luna Park*.

**Entre les robots et les humains, n'y a-t-il pas de place pour d'autres êtres, d'autres entités qui ne seraient pas entièrement déterminées par ce système totalisant ?**

Il y aura peut-être un oiseau. Et il y aura surtout des restes d'« avant » : de la ficelle, un morceau de bois, des objets techniques, un noyau de pêche... tout cela en désordre sur une table rétroéclairée, où Lionel les assemblera pour faire des sortes de phrases, qu'il vocalise. Ainsi juxtaposés, ces objets hétérogènes et apparemment insignifiants prennent une valeur. Filmés d'une certaine façon, ils peuvent devenir des étoiles, une constellation.

**Ils occuperont donc une zone intermédiaire entre le mot, l'image et l'objet.**

C'était le cas aussi des indices récoltés par Jean Clareboudt, dont le travail m'a inspiré<sup>3</sup>. Je l'ai rencontré au CAPC de Bordeaux, où il se trouvait invité en même temps qu'avec l'ATEM [Atelier de théâtre et musique, 1976-1997], nous menions une action auprès d'enfants. Son truc, c'était de voyager et de récolter des objets par terre, à droite à gauche – des choses qui, sans raison explicable, étaient pour lui

1. Grégoire Chamayou, *Théorie du drone*, La fabrique éditions, Paris, 2013, p. 31. / 2. Le document original obtenu par le *Los Angeles Times* est consultable à <http://documents.latimes.com/transcript-of-drone-attack/>

3. Artiste français né en 1944, mort en 1997, à l'œuvre protéiforme, proche du *land art* et de l'*arte povera*.

chargées d'émotion. Il les mettait bout à bout et c'était comme s'il prenait des notes de voyages... sauf qu'il s'agissait d'objets, qui ne racontent rien de précis. Ils formaient à la fois un rébus, une partition, des restes d'une vie antérieure. Contrairement à moi, Clareboudt ne s'intéressait pas du tout au technologique mais plutôt à tout ce qui était périssable, destiné à la poubelle. J'en étais plus proche dans *Machinations* où les protagonistes manipulaient des cheveux sur les surfaces rétroéclairées, toujours dans l'idée de témoigner de quelque chose qui a existé mais dont on ne sait trop ce que c'était, parce que l'ordre est perdu, le code complètement déplacé.

**Toute ton œuvre explore la question de l'imprévisible d'une manière ou d'une autre mais, dans ce spectacle-ci, le thème est le machinique en tant que tel. Or, la création parisienne se fera dans le contexte du Forum Vertigo : «coder-décoder le monde», qui interrogera la dimension algorithmique de l'art et du vivant. Où se logerait l'indétermination dans *Thinking Things*?**

Le comportement des humains y est codé par la partition, à chaque fois pour un fragment de 1 à 2 minutes. Mais chaque comportement est imprévisible par rapport au suivant ou au précédent : il n'y a pas de suite logique, ils tournent, font volte-face. C'est là que j'essaie d'intervenir le plus : quand tout est fait pour que ça aille là et finalement, non, ça n'y va pas là. Mais je pense qu'un jour on pourra tout coder, y compris la surprise, c'est-à-dire les possibilités d'aller à droite et à gauche tandis qu'on attendait autre chose.

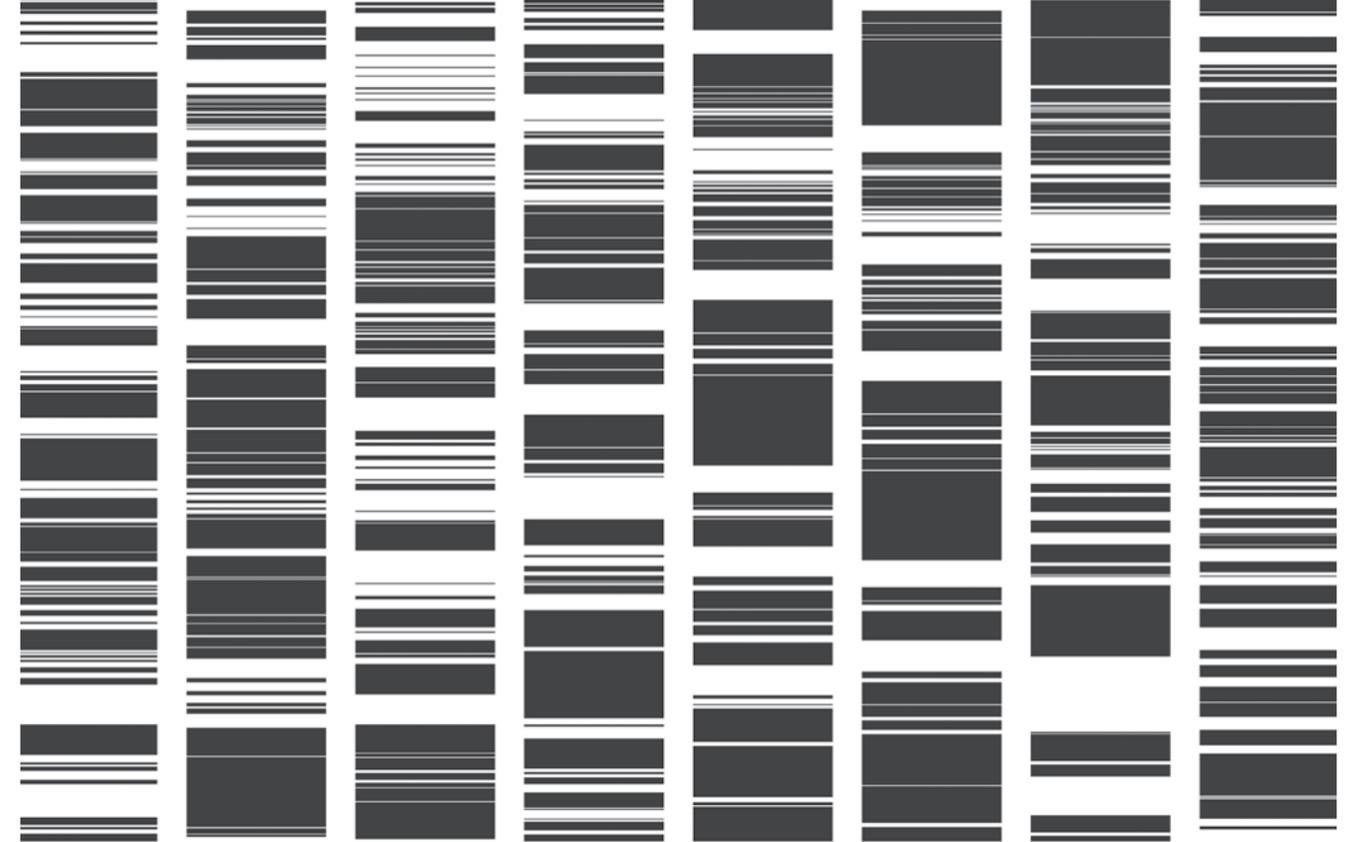
**On pourra coder les surprises grâce à l'intelligence artificielle, vraiment? Et pourra-t-on écrire automatiquement dans ton style?**

Je ne sais pas. Ce que je veux dire c'est que si tu fais un programme du comportement de quelqu'un, tu peux aussi coder l'inclusion des surprises ou des parenthèses. Mais tant d'autres paramètres entrent en jeu dans nos actions. Comment le cerveau arrive-t-il à prendre une décision? Peut-être saura-t-on coder cela dans un siècle? Ce qui est intéressant dans les décisions qui se prennent, c'est que, souvent, elles ne sont pas prévisibles. Pendant une répétition, ou même quand j'écris, je me vois faire et finalement vient une prémonition qu'il faut aller «là» parce que c'est le seul endroit où tout m'indique qu'il ne faut pas aller. J'y vais. Soit c'est la catastrophe et j'en repars, soit un tout autre univers s'ouvre. La direction prise est le fruit de je ne sais combien de calculs, fonctions de ma mémoire, ma situation, ma physiologie. Cela me semble très difficile à coder. C'est là que la musique de Bach est incroyable. Ses basses continues ne vont jamais où on croit qu'elles vont aller. Ce ne sont que des expériences contre le codage : «ah vous pensez que...?» Eh bien non! Cela me réjouit extraordinairement. ■

**Propos recueillis par Nicolas Donin, musicologue, responsable de l'équipe Analyse des pratiques musicales Ircam-STMS.**



Jean Clareboudt, Nœuds de fer, Objet Kà Bà, 1972-1979  
Collection FRAC Bourgogne © ADAGP, Paris. Photo © André Morin



© Ryoji Ikeda Studio

## Aïe l'IA

PAR GÉRARD ASSAYAG, RESPONSABLE DE L'ÉQUIPE REPRÉSENTATIONS MUSICALES IRCAM-STMS

«Ahi, ahi, ahi. Ah, monsieur, ah, ah, ah, ah»  
Molière, *Les Fourberies de Scapin*

De nos jours il est rare d'ouvrir un journal ou une revue sans qu'y apparaisse un article intrigué, dubitatif, convaincu, alarmé, voire apocalyptique sur l'intelligence artificielle élevée au rang de sujet de société majeur, rivalisant à cet égard avec le dérèglement climatique ou les révolutions biotechnologiques. Pourtant, les bouleversements sociétaux positifs ou néfastes, voire les catastrophes décrites, ne sont pas encore visibles, comme si tout se tenait encore pour l'IA dans la potentialité, l'annonce, l'anticipation – autre nom de la *science-fiction*, rejoignant en cela la conquête spatiale dans le rêve humain. C'est peut-être bien dû à la nature évanescence du concept en jeu. Qu'est-ce en effet que l'IA? Si l'on excepte la définition qu'en donnait mon ancien maître

Jean-Louis Laurière<sup>1</sup> pour ouvrir son cours d'université («L'intelligence artificielle, c'est le contraire de la bêtise naturelle»), et peut-être au fond, comme toute définition pataphysique, la seule qui vaille, on est bien obligé de se demander d'abord qu'est-ce que l'intelligence? et quel genre d'artifice tente-t-on de lui substituer? Robert Ostertag<sup>2</sup> a bien cerné cette question lors de sa conférence (*keynote*) aux journées «ImproTech Paris-Philly» à Philadelphie en décembre 2017<sup>3</sup>. Ostertag note que ce qui définit véritablement l'intelligence artificielle est le projet de simuler par une machine des comportements humains encore irréductibles à... ce qu'une machine sait faire mécaniquement dans sa bêtise artificielle. C'est donc le péri-

mètre des capacités computationnelles ou automatiques des machines qui définit différemment la contrée (encore) inexplorée et mystérieuse de l'«intelligence», qu'il importe donc de viser constamment comme idéal pour élever la compétence des dites machines. Il en découle naturellement, qu'à chaque victoire provisoire de cette lutte sans fin, les fragments de fonctions de l'esprit embrassées dans la modélisation algorithmique (schémas de raisonnement et d'apprentissage, logiques intuitives, dynamiques créatives, résolution de problèmes, etc.) sortent aussitôt du champ de l'intelligence artificielle pour se fondre dans celui de l'ingénierie ambiante donc banale (ce qui reviendrait à l'idée que l'IA par construction n'existe jamais dans un état stable mais ne peut constituer

1. J.-L. Laurière (1945-2005) a introduit l'enseignement de l'IA, dont il est une des grandes figures, au niveau des maîtrises dans l'université française /2. Compositeur, pionnier de la scène électronique improvisée, politologue engagé dans la guerre civile au Salvador, la rumeur l'associe au groupe de guérilla médiatique les Yes Men, habitués des actions spectaculaires, dont l'échange des boîtes vocales de 300 poupées Barbie et G.I. Joe avant de les remettre en magasin. /3. ikparishilly.ircam.fr

qu'un grand dessein qui, cependant, fait concrètement progresser pas après pas la puissance technologique).

Ceci explique l'histoire paradoxale de cette activité, identifiée et enseignée depuis un demi-siècle et semblant être redécouverte avec ravissement par chaque génération médiatique alors que se succèdent nouvelles avancées ou retour récurrent des paradigmes théoriques (comme les réseaux de neurones artificiels par exemple). Ces concepts sont d'abord mathématiques dans l'algèbre computationnelle, puis connexionnistes avec les premiers travaux sur les neurones formels, inspirés biologiquement avec les automates cellulaires et la cybernétique, puis résolument aristotéliens et booléens dans l'exploration de la logique formelle, puis connexionnistes de nouveau à l'orée des années 1980, probabilistes et fondés sur l'apprentissage, ouvrant à la robotique et la cognition incarnée (*embodied cognition*)<sup>4</sup>, enfin marqués par l'apprentissage profond de réseaux neuronaux sur de vastes ensembles de données (*big data*), dernier avatar connexionniste contemporain revisitant en une saisissante synthèse une partie de cette histoire<sup>5</sup>, avec des résultats techniques quelquefois éblouissants et relayés comme un feuilleton dans la presse grand public.

C'est ainsi que l'intelligence artificielle, évanouie aussitôt qu'atteinte, substance qu'aucun contenant ne contient, est devenue – le Graal.

Qu'en est-il en art? et d'abord les artistes sont-ils intelligents – au sens, bien sûr, de ce qui serait à simuler dans une IA artistique? L'expérience de l'Ircam parmi d'autres temples de la rationalité artistique devrait être éclairante. Écoutons Michaël Levinas revenir sur les débuts de l'Ircam<sup>6</sup>. « Il existe un concept occidental très important en art: l'innovation. Laquelle a bien évidemment trait aux techniques et aux sciences. L'exemple qui me vient naturellement est

celui de Léonard de Vinci, dont le concept d'innovation est associé à la recherche en ingénierie et à la prospection de l'avenir. À ce titre, la naissance de l'Ircam m'est apparue dès sa création comme une concrétisation du rêve de Léonard de Vinci: la notion d'innovation dans le domaine de la création musicale implique la possibilité de l'exploration scientifique du phénomène acoustique; l'innovation est de plus en plus présente dans le domaine du timbre, faisant de la technologie un élément central et l'Ircam incarnait alors cette réunion de l'innovation, de la création et de la recherche. »

Cependant, Levinas oppose déjà dans le même texte un concept antagoniste: « [...] la notion de "trouaille". Quelque chose qui arrive inopinément, mais qui n'est plus de l'ordre de la recherche rationnelle. Quelque chose qui arrive comme cela, par hasard, et qu'il faut savoir capter. Boulez appelait cela "accident". »

Cette opposition résume bien le paradoxe de la recherche musicale, ancrée dans l'histoire occidentale de l'art: celle du système et du singulier, dans la quête de la nouveauté formelle (est-il besoin de rappeler que la notion d'innovation ne détermine en aucune manière universelle la notion d'art, cette dernière pouvant être conçue ailleurs, au contraire, comme la répétition indéfinie de canons déterminant par leur fixité même la beauté singulière de la variation, d'où l'intérêt central de l'idée d'improvisation).

Si toute la recherche musicale, alimentée par les sciences du son et l'informatique, a fait appel à ce fonds de modélisation et d'ingénierie dont il est fait état plus haut, et pour ce qui, de la pratique artistique, faisait le plus système, c'est probablement dans cette quête de la singularité que s'est illustrée l'IA musicale spécifiquement. C'est, par exemple, le cas dans le travail récent de Daniele Ghisi avec l'équipe Représentations musicales à l'Ircam pour la création d'un « Frankenstein

sonore » par apprentissage automatique intensif sur des corpus de lieder à l'aide de Sample RNN<sup>7</sup>, un algorithme de réseaux de neurones profonds (*deep learning*) permettant de générer la musique au niveau de l'échantillon et de capturer des sources de variation significatives à différentes échelles temporelles dans le signal d'entrée.

Les commentaires de Ghisi<sup>8</sup> sont sans ambiguïté à ce sujet: « L'idée, pour nous, c'est la perte de contrôle. [...] On s'attend à découvrir quelque chose et on a autre chose. Cela déroute, et au bout de dix jours, on trouve ça beau. Il faut se mettre en retrait et écouter, considérer ce que propose la machine. »

C'est bien à la recherche d'une singularité que se déploie cette tentative prométhéenne (le monstre créé est allumage soudain d'une vie sonore unique, et, dans le cas de cette œuvre, une sorte de voix d'outre-tombe troublante, faisant songer à *l'Ève future* de Villiers de l'Isle-Adam<sup>9</sup>), et il est intéressant de noter qu'à la différence de l'IA classique, développée depuis de nombreuses années dans les équipes de recherche musicale (celle qui se base sur le raisonnement à l'aide d'outils symboliques dénotant des abstractions de haut niveau), cette expérience de composition « artificielle » puise à la complexité infrasymbolique du signal sonore brut.

Mais qu'en est-il de la fameuse « intelligence » alors, si l'unité de raisonnement se tient à cette pauvre chose, l'échantillon numérique de signal acoustique? où sont les idées, les concepts, les schèmes, les structures, et les signes qui portent ces derniers? pourquoi désigner cette méthode d'« intelligence artificielle » si elle puise dans l'infra-monde (la *chôra* plutôt que *l'eidos*, dans la métaphysique platonicienne<sup>10</sup>).

Pour comprendre cela dans un contexte d'histoire des sciences, il faut remonter quelques années en arrière, à la formulation du paradoxe de Moravec<sup>11</sup>. Selon ce dernier et ses collègues (Marvin Minsky et Rodney

Brooks) parmi les fondateurs historiques de la discipline, les fonctions élevées du raisonnement abstrait conscient requièrent peu d'énergie computationnelle, alors que les fonctions de bas niveau, inconscientes, sensorimotrices, sont extrêmement difficiles à modéliser et calculer. Une des explications avancées par Moravec est que l'intelligence au sens de la pensée abstraite est relativement récente dans l'évolution biologique, et son « implémentation » est loin d'être aussi intégrée et optimisée que l'ensemble des fonctions de base de l'organisme permettant la perception et l'action, résultant, elles, de centaines de millions d'années d'évolution intégrative du vivant. L'effort pour comprendre et imiter une fonction (en faire selon les mots de l'auteur le *reverse-engineering*) serait alors directement proportionnel au temps qui a mené à sa complexification biologique.

Bien entendu, ce prétendu paradoxe peut-être largement discuté (en particulier la confusion entre quantité d'informations ou complexité algorithmique et quantité de calculs ou efficacité algorithmique<sup>12</sup>). Mais, l'important en termes d'histoire des idées est qu'il est formulé au départ de la « nouvelle IA », celle par exemple des robots et systèmes sensorimoteurs capables d'actions complexes et efficaces sans nécessairement intégrer un étage de représentation abstraite lié au raisonnement. Il prélude aussi à la synthèse épistémologique plus récente des neurosciences cognitives et du néo-connexionnisme indiquant que ces fonctions supérieures de l'abstraction conceptuelle ne se forment pas indépendamment de l'histoire des interactions corporelles, et doivent être considérées comme phénomènes émergents d'une boucle perception-action<sup>13</sup>, ou, du côté de la simulation par des neurones artificiels, comme la sortie d'un « bouillon » subsymbolique que l'on manipule expérimentalement mais que l'on comprend aussi

peu scientifiquement que l'intégration énactive du corps et de l'esprit<sup>14</sup>.

Les musiciens, comme toujours, sont sensibles aux développements les plus actuels des sciences, et les usages récents de la recherche musicale pointent ainsi vers ces développements épistémologiques: approches subsymboliques, apprentissage profond, robotique musicale, développement de la co-créativité entre agents artificiels et humains par des machines perceptives et réactives, notamment à travers l'exploration du paradigme de l'improvisation (intégration sensorimotrice et culturelle s'il en est) comme dans le projet DYCI2 de l'Ircam<sup>15</sup>. Il est à cet égard intéressant de voir que la musique contemporaine – et la recherche musicale ouverte et expérimentale qui la soutient – garde son rôle de pionnier et de laboratoire pour les évolutions à venir des usages artistiques en opérant la veille des idées scientifiques récentes.

Dans un autre ordre de création, qu'en est-il de l'agitation actuelle autour des musiques populaires dites « créées par/avec IA »? La commercialisation d'album de musiques « pour tous » composées intégralement par des IA et jouées par des musiciens experts existe depuis fort longtemps, avec par exemple les disques produits par David Cope<sup>16</sup> au début des années 1990. Elle connaît un regain aujourd'hui, en résonance médiatique évidente (et dans l'oubli de l'histoire habituel au genre) avec les avancées spectaculaires des méthodes scientifiques renouvelées de l'IA connexionniste; beaucoup ignorent cependant que de telles productions relèvent souvent des procédés classiques de l'IA symbolique et statistique (entrant par leur maîtrise même comme nous l'avons dit dans l'établi de base de l'ingénieur), procédés réglant l'ossature générale mélodico-harmonique, selon le vieux paradigme tonal de la culture occidentale passé à l'ère de sa « reproduction mécanisée<sup>17</sup> »; la

matière finale, celle qui frappe finalement l'oreille (et n'est pas, selon le bon mot de Bernard Lubat, « désagréable à l'oseille ») étant peaufinée artisanalement par de talentueux humains en assurant la saveur et le charme. Au-delà de l'effet de curiosité, ces expériences calibrées par le marketing révèlent une contradiction voire un contresens: leur objectif est à l'inverse de celui pointé par Levinas – l'innovation, ou plutôt l'invention formelle caractéristique de l'esthétique créative savante depuis près d'un millénaire – en portant plutôt sur la fabrication automatisée du mainstream dans une certaine forme de banalité, et en réservant le talent humain à la singularité de la réalisation sonore selon l'esthétique créative pop. C'est quelque part une manière d'affirmer que ce niveau de la créativité où opère l'algorithme est finalement le moins important, car le plus stéréotypé – et donc le moins nécessaire de haute technologie.

En définitive, le caractère « évanouissant » de cette recherche en IA est peut-être métaphorique de la recherche musicale elle-même, dans la culture de l'invention formelle où nous nous situons: s'intéressant aux défis plus qu'aux acquis. ■

**FORUM VERTIGO:**  
**CODER-DÉCODER LE MONDE**  
DU MERCREDI 13 AU SAMEDI 16 JUIN  
CENTRE POMPIDOU, PETITE SALLE

4. « La robotique bio-inspirée explore un nouveau paradigme pour lever les verrous de l'autonomie, en reconsidérant l'intelligence comme une propriété émergeant des interactions du corps de la machine animale avec le monde qui l'entoure, c'est l'intelligence incarnée, la morphologie computationnelle. » Frédéric Boyer, IRCCyN (Institut de recherche en communication et cybernétique de Nantes) in *L'intelligence incarnée, une approche bio-inspirée en robotique*, revue en ligne de l'Institut Mines-Télécom, 20 avril 2015. / 5. Très tôt, dans cette histoire, les deux génies fondateurs de l'informatique « classique », Alan Turing et John von Neumann, posent incidemment les bases de ces futures révolutions (théorie de l'apprentissage, approches formelles des structures neurales) dans deux ouvrages visionnaires: A. M. Turing, *Computing Machinery and Intelligence*, Mind, 59:433-460, 1950. ] Jon Neumann, *The Computer and the Brain*, Yale University Press, 1958. / 6. Entretien avec Michaël Levinas, propos recueillis par Jérémie Szpirglas le 28 novembre 2017 pour la Biennale Musique en Scènes. / 7. *SampleRNN: An Unconditional End-to-End Neural Audio Generation Model*. S. Mehri, K. Kumar, I. Gulrajani, R. Kumar, S. Jain, J. Sotelo, A. Courville, Y. Bengio. arXiv.org, 22 décembre 2016. / 8. *Une Truite transgénétique dans les labos de l'Ircam*, par Guillaume Tion. Hors-série Libération, « Voyage au cœur de l'IA », décembre 2017. *La Fabrique des monstres ou démesure pour mesure*, conception Jean-François Peyret, musique de Daniele Ghisi avec IA, création au Théâtre Vidy-Lausanne en janvier 2018. / 9. « La voix – riieuse sur cette dernière parole – de l'être invisible que l'électricien venait d'appeler Sowana, bruisait, toujours discrète et basse, en une patère des rideaux violacés. Celle-ci formait plaque sonore et frémissait sous un chuchotement lointain apporté par l'électricité: c'était un de ces nouveaux condensateurs, inventés d'hier à peine, où le prononcé des syllabes et le timbre des voix sont distinctement transmis. » Villiers de l'Isle-Adam, *L'Ève future*, Eugène Fasquelle, 1909. / 10. Dans le *Timée* de Platon, la *chôra* est un genre d'être correspondant au chaos, au milieu inintelligible et indéterminé mais générateur de devenir, l'eidos étant la forme et l'idée, le modèle intelligible des choses. / 11. Voir Hans Moravec, *Mind Children, the Future of Robot and Human Intelligence*, Harvard University Press, 1988, et Rodney Brooks, *Intelligence Without Representation*, MIT Artificial Intelligence Laboratory, 1986.

/ 12. Voir les travaux de Kolmogorov et Chaitin initiés dans les années 1960. Pour une discussion plus spécialement musicale de la complexité, voir la thèse de doctorat de Fabien Lévy *Complexité grammatologique et complexité aperceptive en musique*, Ircam/EHESS, 2004, et, du même auteur, *Le compositeur, son oreille et ses machines à écrire. Déconstruire les grammatologies du musical pour mieux les composer*, Librairie Philosophique J. Vrin, 2014, pour un regard critique sur la modernité occidentale et ses enjeux compositionnels. / 13. Voir Antonio Damasio, *L'erreur de Descartes, la raison des émotions*, Odile Jacob, 1995. / 14. Eleanor Rosch, Evan Thompson, Francisco J. Varela. *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press, 1991. / 15. [dyciz.ircam.fr](http://dyciz.ircam.fr) / 16. Voir, par exemple, sur discogs.com David Cope, *Bach By Design: Computer Composed Music* ou *Virtual Mozart – Experiments In Musical Intelligence*, Centaur Records. / 17. Walter Benjamin, *L'Œuvre d'art à l'époque de sa reproductibilité technique* (1939), Paris, Payot, 2013. Le terme « mécanisée » est employé par Pierre Klossowski dans sa traduction originale de 1936.

Joël Maillard, Jeanne Balibar

© Mathilda Olmi

# Enseigner aux monstres

TRIPLE ENTRETIEN AVEC **JEAN-FRANÇOIS PEYRET, DANIELE GHISI ET PHILIPPE ESLING**

Pour son spectacle *La Fabrique des monstres*, présenté dans le cadre du festival ManiFeste-2018, Jean-François Peyret revisite le mythe du monstre de Frankenstein passé au crible de l'intelligence artificielle (IA). S'associant au compositeur Daniele Ghisi, il s'est rapproché des équipes de l'Ircam avec, en son sein, le chercheur Philippe Esling. Un processus sinueux sur lequel ils reviennent.

## Comment est né le projet ?

**JEAN-FRANÇOIS PEYRET :** Il est né au bord du lac Léman, lors de discussions avec Vincent Baudriller, le directeur du théâtre de Vidy. Et, pour le dire vite, mon théâtre tournant depuis des années autour de l'artificialisation du vivant, ma rencontre avec Frankenstein était sans doute inéluctable. Le fait que Mary Shelley a commencé son roman sur les bords du lac a été l'élément déclencheur... Victor Frankenstein et sa créature sont deux spectres qui hantent le lac. Ensuite, après mon dernier spectacle, *Citizen Jobs*, Frank Madlener et moi-même avons eu le désir de travailler ensemble. Je lui ai parlé de *La Fabrique des monstres* et, notamment, de l'idée d'une machine qui *fabriquerait* de la musique qui échapperait à son créateur, en me demandant si cette façon de poser la question aurait un sens pour un compositeur... C'est alors que l'Ircam m'a fait rencontrer Daniele Ghisi, jeune diplômé du doctorat de composition<sup>1</sup>.

**DANIELE GHISI :** La musique devait donc, au départ, «incarner» le «monstre» de la pièce. De là, j'ai imaginé m'embarquer dans un projet où la maîtrise du discours musical était déléguée (en grande partie) à une «machine compositrice» – mon rôle en tant que compositeur étant de concevoir et réaliser la machine ainsi que de sélectionner les fragments musicaux que la machine composerait. Un effet secondaire, plus ou moins attendu, de ce travail devait être une forme de «test de Turing» qui s'appliquerait à la musique produite par la machine...

**PHILIPPE ESLING :** Au cours de ces dernières années, nous avons échangé et collaboré avec Daniele sur de nombreux projets et j'ai toujours été très respectueux et admiratif de son approche musicale qui arrive à allier, à parts égales, mathématiques, outils informatiques et composition. Ainsi, lorsque nous avons fait la première réunion sur ce projet, il a tout de suite été question d'une phase exploratoire pour découvrir comment l'apprentissage automatique pouvait servir un but compositionnel. Cependant, son approche était aux antipodes de la recherche scientifique dans lequel l'apprentissage n'est qu'un moyen pour arriver au but qu'est la génération, ce qui a rendu le projet d'autant plus stimulant. Focaliser le musical sur le processus d'apprentissage lui-même était pour moi un concept tout aussi

## AGENDA

### LA FABRIQUE DES MONSTRES

VENDREDI 8, MARDI 12,

MERCREDI 13 JUIN, 20H30

SAMEDI 9 JUIN, 18H30

DIMANCHE 10 JUIN, 16H30

MC93, SALLE OLEG EFREMOV

<sup>1</sup>. doctorat de musique: recherche en composition (Sorbonne Université/Ircam)



© Mathilda Olmi

déroutant que fascinant. Ce projet occupe ainsi une place toute singulière dans l'ensemble de mes travaux car il réussit à être simultanément orthogonal et pourtant cohérent avec nos recherches sur l'intelligence créative.

**Comment s'est élaboré le discours, non seulement autour du sujet, mais autour du rôle de l'intelligence artificielle (IA) dans la pièce?**

**J.-F.P.:** Ce qui me frappe dans la lecture du roman de Mary Shelley, c'est l'importance qu'elle accorde à l'apprentissage de la créature, alors que celle-ci est lâchée dans la nature avec un cerveau quasi vierge, comme si le «reset» était complet. La créature suit une trajectoire complète de l'organisation mentale, des sensations premières jusqu'à l'acquisition d'une grande culture: à la fin de cet apprentissage, il aura lu Goethe, Plutarque, Milton! C'est ce qui est systématiquement oublié dans les adaptations du mythe au cinéma, où le monstre est représenté comme une brute définitive quand on ne lui a pas tout bonnement implanté un cerveau de fou ou d'assassin. Pourtant Mary Shelley ne dit

rien du cerveau de la créature: ce doit donc être un cerveau normal... Cela ne l'empêche pas de basculer dans le crime et de terminer son apprentissage par celui du meurtre. Nos conversations ont donc tourné autour de l'apprentissage et Daniele a commencé à nous expliquer comment sa machine apprendrait. L'IA n'est pas à proprement parler un personnage (du reste, dans mon théâtre, il n'y a pas de personnage); en revanche cette question du *machine learning* a été au centre de nos conversations. Comment les cerveaux apprennent et comment les machines apprennent. Les idées sont venues de là, et le tri – eh bien, le tri se fait toujours tout seul. Question de tact.

**Jean-François, vous dites souvent que vous «exposez» votre travail à la science, comme on l'expose au soleil ou aux risques: comment vous êtes-vous «exposé» à l'intelligence artificielle?**

**J.-F.P.:** J'aime bien cette expression – «exposer mon théâtre à la science» – pour éviter tout malentendu: il ne s'agit ni d'un théâtre de vulgarisation scientifique, ni d'un théâtre qui aurait la prétention d'être scientifique. Pour autant, mon histoire avec l'IA est assez particulière et remonte à ma première rencontre, voilà maintenant plus de vingt ans, avec Alan Turing – lequel ne cesse depuis, tel un spectre lui aussi, de hanter mon théâtre. J'ai toujours pensé que le théâtre – avec le comédien: une créature chez qui la frontière entre le vivant et l'artificiel est floue, trouble – est un lieu privilégié pour interroger cette intelligence artificielle et tâcher d'imaginer, sinon comprendre, ses opérations. Le théâtre a fait du dialogue son fonds de commerce: il ne peut pas, selon moi, se désintéresser du dialogue homme-machine... Une de mes ambitions serait, par les moyens du théâtre, de comprendre comment «pensent» les machines. J'ai lu l'article de Turing dans *Mind* (1950), et je ne sais pas si elles pensent effectivement. Mais ce que nous savons, c'est que nous sommes conduits (condamnés?) à penser avec des machines surpuissantes, et, du coup, peut-être, de plus en plus, à penser *comme* des machines, ou comme elles «veulent» que nous pensions. Il y a là matière à penser.

**Et vous, Daniele, comment avez-vous envisagé ce travail? Vous qui avez déjà l'habitude de travailler à partir de bases de données, cette extension vers le «machine learning» vous a-t-elle semblé naturelle?**

**D.G.:** Oui, je travaille habituellement à partir de bases de données. Dans le cas présent, toutefois, il s'agissait d'utiliser ces bases non pas pour composer directement, mais pour entraîner une machine à composer. Ce qui est intéressant, c'est à la fois le processus d'apprentissage (voir comment une machine entraînée à partir d'une base de lieder

pour baryton et piano, par exemple, apprend à chanter et à jouer à la fois...), et le fait que les résultats obtenus sont parfois «déplacés», bizarres, mais assez intrigants (à bien les écouter!).

Dans les faits, sur certaines bases de données, les meilleurs résultats obtenus ne sont jamais utilisés dans la pièce, car la machine a si bien réussi à apprendre que les fragments musicaux obtenus ne troubleraient personne!

**Comment avez-vous conçu cette machine? Comment fonctionne-t-elle?**

**P.E.:** Après notre rencontre avec Daniele, nous avons en réalité commencé à travailler au sein d'un atelier regroupant plusieurs chercheurs. Détail intéressant: chacun des membres de ce groupe est allé dans la direction qui lui était propre. Nous avons ainsi poussé le vice de l'expérimentation sur des chemins aux antipodes les uns des autres. De cette réflexion sont nées plusieurs émanations (dont certaines feront l'objet de publication), allant de mécanismes permettant des hybridations audio aux espaces de synthèses non-supervisés. Mais le fait le plus remarquable est que Daniele a développé par lui-même la solution qui a été retenue pour la pièce. De par notre carcan scientifique, je pense que nous voulions trop une «machine pour compositeur» là où Daniele recherchait un «compositeur machine». Nous avons donc par la suite tenté d'aider Daniele au mieux dans ses recherches, mais je pense que c'est à lui que revient tout le mérite du développement de la machine que les spectateurs auront le plaisir d'entendre apprendre.

**D.G.:** Philippe exagère un peu: je n'ai pas créé moi-même la «machine». Je n'ai absolument pas les compétences nécessaires à la conception d'un tel algorithme à partir de rien. Cette «machine» est en fait un réseau de neurones entraîné («trained») sur des jeux de données (datasets), capable de reproduire des motifs appris grâce auxdits datasets (pour être précis, le modèle de départ choisi s'appelle SampleRNN, et est accessible sur GitHub<sup>2</sup>). J'ai également été grandement aidé par Robin Meier. Mes échanges avec lui, son travail et ses retours ont été précieux.

Ce qui était essentiel pour moi est le fait que la machine devait être absolument «ignorante»: au début de la pièce, elle n'a aucune connaissance des syntaxe et lexique musicaux (notes, accords, harmonie, intensité, réverbération...). Elle apprend tout au fur et à mesure, sur les datasets qu'on lui donne! Elle ne connaît rien d'autre que la séquence d'échantillons audio, ainsi que les variations de pression dues aux ondes sonores. Tout le reste, on doit le lui inculquer... Ce qui est étonnant, c'est que, à partir de cela et uni-

quement de cela, la machine apprend à prédire une séquence d'échantillons qui incorporent une certaine «créativité» – à moins que ce ne soit nous qui l'interprétons ainsi.

**Daniele: comment la machine s'intègre-t-elle au processus de composition? Quelle musique produit-elle finalement?**

**D.G.:** Elle a produit des mois de musique, à différents degrés de son apprentissage par rapport aux jeux de données originels. Mon rôle dans le processus de composition s'est limité à «sélectionner» des fragments générés par cette machine que j'estime les plus intéressants, et à les «monter». Pour moi, le véritable enjeu était de me mettre «à l'écoute» de la machine: écouter, organiser, trier et, enfin, sélectionner. Indépendamment du résultat dans cette pièce-ci, la démarche est certes radicale, mais intéressante. Certains résultats m'ont poussé à remettre en question bien des présupposés en termes de syntaxe et lexique musicaux, et le processus m'a déjà beaucoup apporté. Cela soulève des enjeux essentiels qui touchent à la propriété intellectuelle, à la paternité, sans parler du légal. Qui a écrit ces morceaux? La «machine» qui les a générés? Moi qui les ai sélectionnés et/ou montés? Toutes les personnes qui ont créé l'algorithme? Aucune loi, morale ou sociétale, ne le dit. J'aime questionner cet aspect de la production artistique, et, à bien des égards, ce travail de «composition anonyme» fait écho au travail de «composition collective» que je défends au sein du groupe /nu/thing, dont je fais partie.

Le processus à l'œuvre interroge une autre de mes obsessions: le mécanisme que j'ai utilisé pour cette pièce relève véritablement d'un nouveau type de synthèse sonore (et non pas d'échantillonnage). Et c'est un type de synthèse qui s'imposera toujours plus dans les prochaines années. On entend déjà dire que les échantillonneurs remplacent les musiciens, ici, on va plus loin encore, puisque ces machines remplaceront «certains» des usages pour lesquels on fait appel aux compositeurs... Nous devons nous confronter à cette question, sans toutefois imaginer le pire, en développant une réflexion de fond sur le sens que l'on accorde au concept de «créativité», et en défendant nos idées et notre indépendance. ■

Propos recueillis par Jérémie Szpirglas, journaliste et écrivain

<sup>2</sup> Il a été développé par Soroush Mehri, Kundan Kumar, Ishaan Gulrajani, Rithesh Kumar, Shubham Jain, Jose Sotelo, Aaron Courville et Yoshua Bengio. [https://github.com/soroushmehri/sampleRNN\\_ICLR2017](https://github.com/soroushmehri/sampleRNN_ICLR2017)



ŒUVRE COLLECTIVE



Natasha Barrett réalisant des enregistrements de sources ambisoniques, CCRMA, Stanford.  
© Fernando Lopez-Lezcano

## Natasha Barrett - Pour un contrepoint de l'espace

PAR **JÉRÉMIE SZPIRGLAS**, JOURNALISTE ET ÉCRIVAIN

Compositrice, habitée autant par la recherche scientifique que par sa quête esthétique, Natasha Barrett présente dans le cadre de ManiFeste-2018 un projet immersif réalisé en collaboration avec le collectif OpenEndedGroup: *Pockets of Space*. L'occasion de se plonger dans l'univers de cette artiste dont l'imaginaire envahit l'espace.

AGENDA

**EXPOSITION « CODER LE MONDE »**  
**POCKETS OF SPACE (INSTALLATION)**  
DU VENDREDI 15 JUIN AU LUNDI 27 AOÛT  
CENTRE POMPIDOU, GALERIE 4

**POCKETS OF SPACE**  
SAMEDI 23 ET DIMANCHE 24 JUIN,  
13H-20H30  
CENTRE POMPIDOU, GRANDE SALLE

Test LED © Robert Henke

Née dans l'est de l'Angleterre dans une famille non musicienne mais hautement mélomane, la jeune Natasha Barrett est rapidement fascinée par ces œuvres orchestrales que son père écoute à longueur de temps, mais aussi par les musiques plus contemporaines, populaires ou non. La question « Comment invente-t-on de telles musiques ? » est à l'origine d'une curiosité qui ne la lâchera plus et guidera ensuite ses études, recherches et processus de composition. Encore adolescente, elle joue également du magnétophone pour faire ses premières expériences rudimentaires de musique sur bande – et lorsqu'elle abordera la composition, son et forme seront toujours approchés de ces deux versants jumeaux : instrumental et électroacoustique.

Mais le grand bouleversement pour Natasha Barrett survient au cours de ses études, en 1994 : inscrite en master de composition électroacoustique à l'université de Birmingham auprès de Jonty Harrison, elle y découvre le BEAST (Birmingham ElectroAcoustic Sound Theatre), gigantesque orchestre de haut-parleurs, qui lui ouvre les yeux quant aux richesses compositionnelles de la spatialisation – à commencer par les concepts de « contrepoint spatial » ainsi que d'« hyperréalité » de l'espace sonore, qui deviennent aussitôt deux de ses obsessions musicales –, ainsi que sur les possibilités d'« interprétation spatiale » lors de la diffusion sonore d'une œuvre, même électroacoustique – elle s'attachera plus tard à élargir l'acousmonium<sup>1</sup> classique pour l'adapter aux nouvelles technologies de diffusion sonore spatialisée.

Cette découverte l'encourage à s'engager dans une deuxième carrière, en parallèle de celle de musicienne et compositrice : désireuse de fabriquer les outils nécessaires à la concrétisation de ses rêves compositionnels les plus fous, elle se lance dans la recherche scientifique, plus spécifiquement sur l'enregistrement et la diffusion sonore en trois dimensions.

Ce sont ces recherches qui l'amènent tout naturellement dans les entrailles de l'Ircam, où se trouve un bijou unique en son genre : l'Espace de projection. Les 75 haut-parleurs de sa voûte constituent alors l'un des systèmes de diffusion en Ambisonics les plus aboutis au monde, développé par une équipe à la pointe de la technologie, sous la direction d'Olivier Warusfel. Laquelle équipe développe également la technologie Wave Field Synthesis (WFS) qui représente également à ses yeux un riche champ d'investigation.

À l'Ircam, les recherches de Natasha Barrett suivent trois axes principaux. Tout d'abord, sur le système Ambisonics lui-même. Le contrôle des sons et de leurs évolutions spatiales dépendant d'un codage plus ou moins complexe (on parle d'ailleurs de Higher Order Ambisonics, ou HOA, pour Ambisonics aux Ordres Supérieurs), jusqu'où faut-il pousser cette complexité ? Sachant qu'une surenchère de complexité entraîne des calculs supplémentaires de la part de la machine, quel degré de précision suffit à nos sens, dans le cadre de la diffusion d'une œuvre musicale et/ou audiovisuelle ? Quels types de sons profiteraient d'une surcomplexité ? Et, dans le cas particulier de la musique de

Natasha Barrett : quelle complexité est nécessaire et suffisante pour rendre justice aux savants contrepoints spatiaux qu'elle développe ?

Le deuxième axe de recherche, qui examine la notion de « distance » en musique, l'amène à étudier la possibilité de donner le sentiment à l'auditeur que la source sonore est située, non pas à la même distance que les haut-parleurs ou plus loin, mais plus près, entre le dispositif et son oreille... Enfin, le troisième et dernier axe concerne les techniques d'enregistrement d'un champ sonore et le transcoding de cet enregistrement – la question, là encore, étant de déterminer le seuil de complexité nécessaire et suffisante à nos oreilles.

Ce contact avec les scientifiques nourrit sa musique à plus d'un titre : l'un des pans de son œuvre s'organise effectivement autour de la « sonification » de données scientifiques. Selon le processus qu'elle choisit pour donner une réalité spatiale sonore aux résultats numériques des chercheurs, elle peut soit offrir à ceux-ci de nouvelles perspectives sur leurs travaux, soit générer de nouveaux matériaux qu'elle pourra exploiter musicalement. Au reste, les données scientifiques ne sont pas les seules qu'elle exploite ainsi : elle n'hésite pas non plus, dans le cadre de ses œuvres mixtes, à faire interagir le son électroacoustique spatialisé avec les musiciens eux-mêmes, en extrayant diverses variables liées à la performance (geste instrumental, variations du son émis, etc.).

Son traitement du matériau musical doit beaucoup à la démarche scientifique : elle aime à le démonter, le déconstruire, jusqu'à en dégager chacune des briques élémentaires, chacun de ces atomes étant ensuite réassemblé pour bâtir un objet nouveau. Pour cette compositrice fascinée par les divers artefacts de notre civilisation et des précédentes, œuvres d'art ou objets du quotidien qui, aussi anodins soient-ils, témoignent du contexte dans lequel ils ont vu le jour, la musique est toujours le lieu d'une narration, quand bien même obscure et abstrait : une narration qui a peu à voir avec les transformations que subit le matériau sonore, mais bien plus avec le langage qu'il charrie. Par un heureux hasard, ces préoccupations sont aussi celles de l'OpenEndedGroup, duo d'artistes vidéastes américains avec lequel elle collabore pour la première fois pour *Pockets of Space*, une installation de concert présentée en création au cours de ManiFeste. ■

1. Dispositif destiné à contrôler l'« orchestre » de haut-parleurs pour l'interprétation en concert des musiques composées dans un studio électroacoustique et fixées sur un support audio (œuvres dites « acousmatiques »).



Test LED © Robert Henke

## Partager un rêve

ENTRETIEN CROISÉ AVEC **MARKO NIKODIJEVIC** ET **ROBERT HENKE**

Le 8 juin prochain, les deux compositeurs proposent au public de la Philharmonie une expérience de concert immersive et complète, *From Within...*, fruit d'un processus de collaboration à la fois complexe et intuitif. Conversation à bâtons rompus.

**Comment vous êtes-vous rencontrés ? Connaissez-vous vos travaux respectifs au paravant ? Qu'est-ce qui vous a décidé à travailler ensemble ?**

**MARKO NIKODIJEVIC :** Je suis un grand admirateur de Robert Henke depuis des années, et lorsque l'Ensemble intercontemporain et l'Ircam m'ont passé commande d'une œuvre d'envergure, qui occuperait toute une soirée, nous avons tout de suite pensé y ajouter un élément visuel, susceptible d'enrichir l'expérience du concert grâce aux multiples possibilités ouvertes par l'informatique et les nouvelles technologies. Après ses travaux dans les domaines de la musique électronique, ses albums techno et ses installations sonores, Robert m'a d'emblée semblé l'artiste idéal. Ce qui est amusant, c'est que nous avons chacun comme un pressentiment de ce que devait être cette expérience de concert élargie, mais ce n'est qu'ensemble que nous avons effectivement été capables de la bâtir en pra-

tique. C'est peut-être la quintessence de la collaboration : partager un rêve auquel nous pouvons tous deux contribuer.

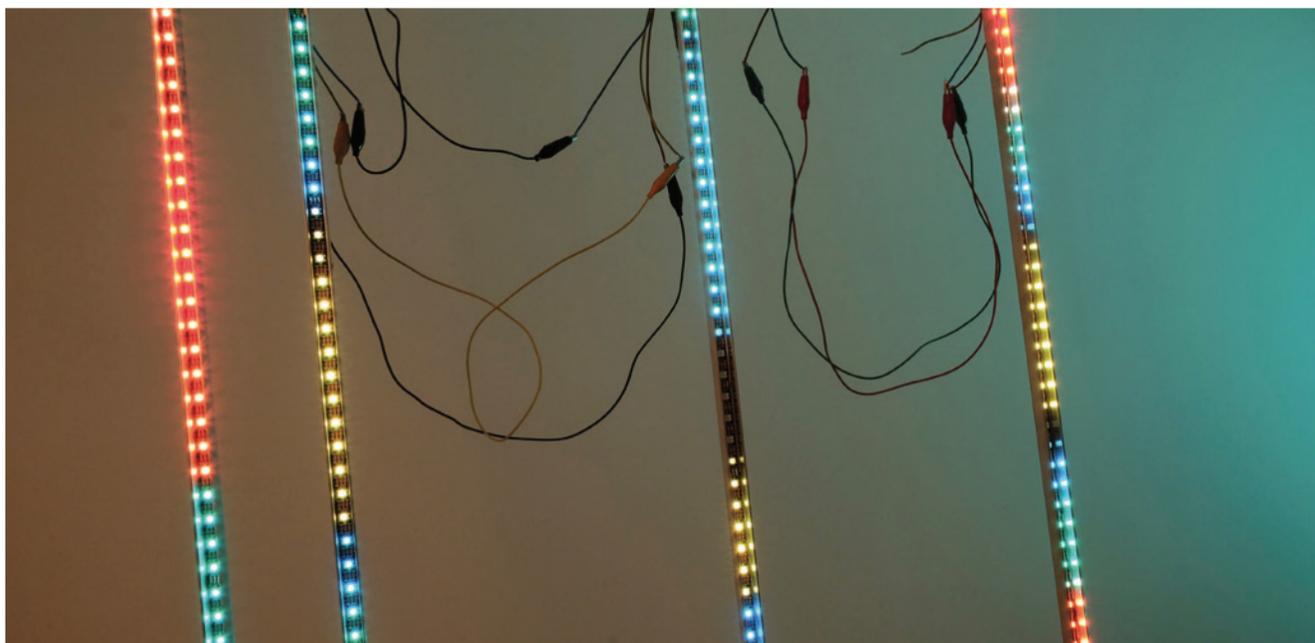
**ROBERT HENKE :** Je ne connaissais pas Marko lorsqu'il m'a contacté. Lorsque j'ai écouté sa musique, j'ai entendu une voix affirmée, pleine d'une délicate énergie. Cela m'a plu et a éveillé ma curiosité. Nous avons décidé de nous rencontrer à Paris, à l'Ircam, pour un premier contact en chair et en os, et nous avons finalement passé la journée à nous promener dans la ville, découvrant chacun la personnalité de l'autre. Pour qu'une collaboration soit réussie, il est évidemment important de bien s'entendre avec l'autre d'un point de vue professionnel. Cette journée m'a suffi pour m'assurer que le projet serait possible. Nous avons parlé musique, son, structure, mais, bien sûr, nous avons également pris diverses décisions concernant la direction à prendre, où et quand s'arrêter pour prendre un café. Si ces décisions simples

AGENDA

ILLUMINATION

8 JUIN, 20H30

CITÉ DE LA MUSIQUE, SALLE DES CONCERTS



Test LED © Robert Henke

avaient été difficiles à prendre, il aurait été inenvisageable de collaborer sur un projet d'envergure.

**M.N.:** J'ai eu l'impression que Robert et moi-même avions manifestement des goûts artistiques similaires, mais la création d'une œuvre d'art collaborative reste un processus fragile. La réussite repose sur des éléments mystérieux, que l'on ne peut ni expliquer ni rationaliser, mais qui n'en donnent pas moins un sens au projet abouti. Lors de notre première rencontre, le contact fut incroyablement maladroit, parce que nous ne parvenions pas à communiquer réellement. Ce n'est qu'à notre deuxième rencontre que, qui sait comment, la glace s'est brisée et que nous avons pu commencer à échanger des idées quant à ce que nous voulions proposer au public, des points de vue tant sonore que visuel – c'est-à-dire l'essence même de l'expérience.

**Comment ce projet a-t-il pris forme justement? Comment vous êtes-vous mis d'accord sur le sujet et le format?**

**M.N.:** J'avais sans doute en amont quelques vagues idées sur l'émotion, ou du moins l'empreinte émotionnelle, que la pièce devait laisser sur son public. Lors de notre deuxième rencontre, nous nous sommes rapidement entendus sur de nombreux éléments fondamentaux. Comme le fait qu'une salle de concert rectangulaire traditionnelle est une solution idéale, tant du point de vue de ses

propriétés acoustiques que de son aspect général. Ou que l'ensemble tout entier sera sur scène. Ou que nous devons maîtriser les lumières de la salle, comme celles de la scène. C'est Robert qui a eu l'idée de la WFS, pour faire pièce à la précision spatiale des instruments acoustiques, ainsi que celle de l'utilisation de LED en tant qu'objets physiques émetteurs de lumière. Ainsi, en une journée, nous sommes arrivés à une idée très grossière de ce que la pièce devrait être. Ensuite, Robert a fait plusieurs esquisses de la sculpture LED jusqu'à imaginer sa forme finale: simple, certes, mais ouverte, du point de vue combinatoire, à de hauts niveaux de complexités internes, abstraite, mais directe dans son appréhension. Mon instinct est que, au cours de cette journée, nous étions aussi tombés d'accord au sujet de l'indicible, de l'incommunicable. C'est-à-dire ce qui nous séduisait tant dans ce vaste espace sonore, apparemment infini, la possibilité d'explorer une forme de «transparence» du design sonore, celle de faire «briller» le son ou au contraire de le «salir» par diverses distorsions sonores, et, plus généralement, la possibilité d'interroger le sens et la justesse de mouvements abstraits générés par algorithmes. Ce n'est qu'en offrant au public l'expérience de tout cela mis ensemble que nous pourrions partager notre vision.

**R.H.:** L'amorce du travail a consisté à écouter beaucoup de musique, afin d'écarter certains archétypes orchestraux ou électroacous-

tiques, et de définir une direction globale. À l'heure où nous parlons (NDLR: mi-janvier 2018), nous sommes encore au milieu du gué, et nous avons encore beaucoup à apprendre pour collaborer et communiquer. Nous avons commencé nos échanges via un médium que nous maîtrisons tous deux: l'écrit. Nous avons essayé de décrire les éléments qui nous intéressent pour ce projet. Une grande partie de ces éléments sont d'ordre métaphysique, et ne sont donc pertinents que s'ils entrent suffisamment en résonance avec nos imaginaires intimes respectifs. Par exemple, le concept «d'érosion» fait-il naître en nous des pensées similaires? L'étape suivante a été d'élaborer une vaste partition graphique, afin de définir les contours globaux de la pièce. Et nous nous engageons à présent dans la mise au point du détail, étape par étape.

**Avez-vous chacun des domaines d'action propre au sein du processus de création? Vous arrive-t-il d'intervenir dans le domaine d'action de l'autre?**

**R.H.:** Je fais entière confiance à Marko s'agissant de l'écriture pour ensemble. Toute tentative d'orchestration de ma part serait certainement désastreuse et Marko est un maître dans ce domaine. Dans la répartition des tâches, une grande partie de mon rôle est de construire la machine lumineuse. Celle-ci constitue le cadre technique qui nous permet de marier l'ensemble instrumental aux

sons générés par l'ordinateur ainsi qu'à l'expérience visuelle. Il ne s'agit pas simplement de technique: le système que nous développons a un impact sur ce que nous pouvons en faire artistiquement. Un constant dialogue s'instaure entre les possibilités et contraintes technologiques et les idées et aspirations artistiques: le produit final sera le résultat de cette interaction. Il faut bien comprendre que, de mon point de vue, ladite «machine» englobe la somme de tous les éléments qui composent le dispositif: le chef, les musiciens, leurs instruments et tous les éléments électroniques. Ma vision de cette machine est très romantique: tous ses éléments constitutifs doivent fonctionner ensemble comme une entité unique. Ce n'est que dans ces circonstances que la magie se réalisera.

D'un point de vue plus pragmatique, je partage mon temps entre des tâches d'ingénierie, l'écriture de code informatique, la mise au point du matériel pour la sculpture LED et la recherche de timbres de synthèses intéressants, destinés à tisser le discours électroacoustique. Et, bien sûr, la composition de la partition, l'invention de motifs et de gestes, qui sont autant de briques élémentaires avec lesquelles Marko peut composer. Marko et moi-même échangeons de nombreux échantillons audio, nous avons également enregistré quelques esquisses qu'il a écrites, et que j'utilise pour créer des transformations sonores, ou comme source d'inspiration pour générer la partie électronique.

**M.N.:** J'écris la partition d'ensemble, et je conçois aussi une partie du traitement en temps réel des instruments, mais tout ceci n'est en réalité qu'une exécution purement technique de nos idées communes. La génération de l'expérience esthétique dans sa globalité est une entreprise commune. J'utilise ainsi les esquisses et échantillons de Robert pour composer davantage de musique. C'est un processus très circulaire, avec de nombreux objets mobiles, mais je trouve fascinant la manière dont les trois réalités – acoustiques, électroniques et lumineuses – influencent notre perception interne de la temporalité, et la manière dont le matériau musical se doit d'évoluer dans le temps, justement. Dans le domaine de la musique électronique, les collaborations sont monnaie courante, nous avons simplement décidé de pousser la nôtre un peu plus loin, en fusionnant trois médias différents et leurs univers associés.



Robert Henke © Ircam/Deborah Lopatin

**Quel est votre modus operandi? Comment prenez-vous les décisions importantes?**

**R.H.:** À l'heure où nous parlons, l'échange de sons et d'idées se fait par e-mail. Marko travaille sur une partie centrale de la pièce, tandis que je crée des timbres électroniques. Nous nous rencontrerons très souvent dans les prochaines semaines, afin d'assembler les bribes et fragments produits au sein d'un contexte plus large. Le processus de prise de décision n'est pas clairement défini, mais fonctionne bien jusqu'à présent. Je pense que cela tient au respect mutuel que nous avons pour le travail et l'expertise l'un de l'autre. Si Marko fait une suggestion, je me dis qu'il a probablement ses raisons et que nous devrions la suivre. Sauf si j'ai le sentiment que ce serait malvenu, auquel cas, je me dois de trouver un argument raisonnable pour le justifier. Dans ce cas, je suis certain que Marko m'écouterait.

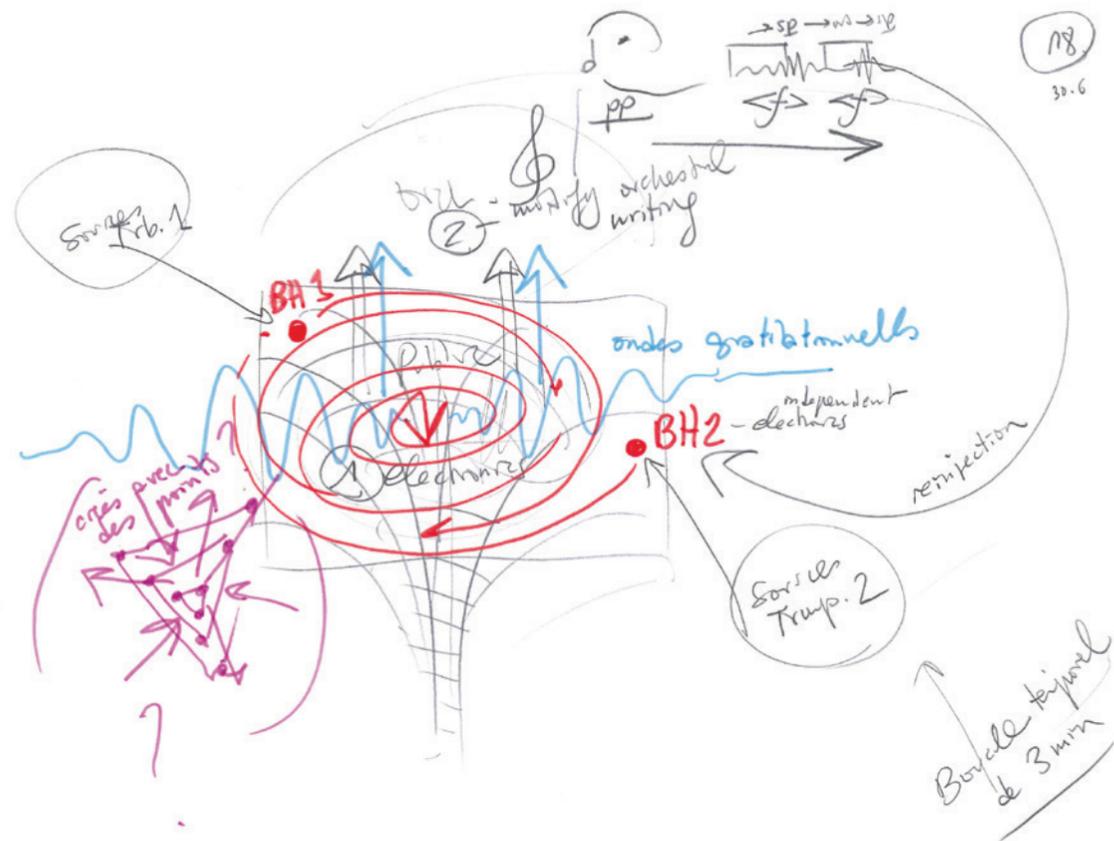
**M.N.:** En réalité, tout se passe remarquablement bien. Pour moi, la création est habituellement un phénomène hautement méditatif: suite à une longue période de concentration sur le sujet choisi, la solution appropriée s'impose d'elle-même, si l'on prend la peine de creuser. À deux, on a deux fois plus de doutes, mais aussi deux fois plus de convictions, et cela rend le processus de prise de décision beaucoup plus évident. L'essentiel de ce processus consiste en un ping-pong de questions-réponses et de suggestions-explications.

**Quelles sont les difficultés et atouts propres à une collaboration comme celle-ci?**

**R.H.:** Les éléments que je ne contrôle pas sont bien plus nombreux que dans mes travaux personnels. Cela m'effraie un peu, je l'avoue, mais cela a aussi un impact sur ma manière de concevoir le cadre technique. Je ne sais pas encore comment je m'y prendrai exactement, mais je m'assurerai de maîtriser l'essentiel des parties électroniques au cours des répétitions et des concerts. Cette maîtrise concernera principalement «l'expressivité», ce qui garantira une égale «présence» de l'électronique par rapport à l'ensemble instrumental. D'un autre côté, ce qui rend ce projet si enrichissant, c'est aussi la richesse d'inspiration et de connaissance que je gagne en côtoyant Marko et l'Ensemble intercontemporain. C'est une expérience précieuse et belle.

**M.N.:** Pour moi, c'est un rêve qui se réalise: parvenir à une telle symbiose entre trois médias, au sein d'une pièce organique et d'une installation audiovisuelle! Nous savons tous deux que tout ceci serait impossible l'un sans l'autre: seuls nous ne pourrions réaliser ni l'essentiel, ni le nécessaire. ■

**Propos recueillis par Jérémie Szpirglas, journaliste et écrivain**



Hèctor Parra, esquisses © José L. Besada

# INSCAPE d'Hèctor Parra:

## extraits du journal de bord (d'un passager clandestin)

PAR JOSÉ L. BESADA, MUSICOLOGUE

### PRÉLUDE

En 2014, Hèctor Parra est compositeur en résidence à l'Orchestre symphonique de Barcelone et national de Catalogne. L'institution invite le musicien à soumettre un projet pour une nouvelle commande en 2017. Parra conçoit le plan synoptique d'une œuvre pour ensemble soliste divisée en plusieurs groupes, orchestre et électronique. Ensuite, il obtient le soutien d'autres partenaires: l'Ensemble intercontemporain, l'Ircam, l'Orchestre national de Lille et l'Orchestre du Gürzenich de Cologne.

Le projet soumis fait plusieurs références à *L'Univers chiffonné*, œuvre de vulgarisation signée par Jean-Pierre Luminet. En effet, la manière dont le compositeur suggère une distribution spatiale des effectifs instrumentaux et de l'électronique établit une analogie avec la topologie de l'Univers proposée par l'astrophysicien.

### 28 JANVIER 2016

Il fait beau ce matin à Marseille: même s'il fait froid, on profite des rayons du soleil à la terrasse chez Luminet. C'est une petite pause pendant le deuxième *brainstorming* entre

Hèctor et le physicien. Le compositeur est arrivé hier chez lui afin de travailler ensemble, lui demandant un coup de main pour «construire ces deux, trois jours une forme». Les trous noirs en tant qu'élan créatif, déjà explorés dans son œuvre *Caressant l'horizon*, sont revenus chez Hèctor; il a proposé la conception «d'un voyage vraiment réaliste» vers ces objets sans cacher son émotion éprouvée avec le film *Interstellar*. La géométrie dodécaédrique de *L'Univers chiffonné* demeure en ce moment un aspect secondaire. Hier, Hèctor a montré à Jean-Pierre les esquisses précompositionnelles de *Caressant l'horizon*, dont l'inspiration majeure provenait d'un autre livre à lui: *Le destin de l'Univers*. Ensuite, et à travers d'autres textes, des simulations numériques et des vidéos sur YouTube, ils ont parlé des ondes gravitationnelles causées par la coalescence d'étoiles à neutrons {dont la détection réelle sera annoncée quelques semaines après} et de la gravitation quantique à boucles, des crêpes stellaires à cause des forces de marée et des *baby universes*.

Aujourd'hui, après une nuit à réfléchir séparément, les deux acteurs font le point. Ils exposent leurs brouillons respectifs issus de la première discussion et certaines coïncidences remarquables émergent. On y trouve même des

reprises du passé, comme un dessin d'Hèctor lié au principe holographique qui était déjà présent dans les esquisses de *Caressant l'Horizon*, provenant à son tour de l'un des livres de Jean-Pierre. Hèctor se sent fortement motivé pour façonner un premier story-board formel de son œuvre, tout en incorporant les suggestions de Jean-Pierre.

### 29 JUIN 2016

Ce matin à l'Ircam, Hèctor a l'air d'être très fatigué et légèrement démotivé. Il fait chaud, il a énormément travaillé les derniers jours avec les élèves du cursus<sup>1</sup> pour leur concert, et, surtout, la date pour la création d'*INSCAPE* a été reportée d'un an en février. Cela a conduit à une reconfiguration complète des créneaux des RIMs<sup>2</sup>; entre-temps, Hèctor a mis ses forces dans d'autres commandes. Pourtant, il se sent assez confiant: Thomas Goepfer est à nouveau son RIM. En effet, ce binôme collaboratif a déjà rencontré plusieurs succès, comme les œuvres *Tentatives de Réalité*, *Hypermusic Prologue* et *Te craindre en ton absence en témoignent*. Par ailleurs, *Hypermusic Prologue* marqua sa première collaboration avec un physicien, en l'occurrence la chercheuse Lisa Randall.

Pendant la matinée, Hèctor montre à Thomas son nouveau story-board pour le faire ainsi rentrer dans le monde des analogies entre musique et physique auparavant conçu avec Jean-Pierre. Au cours de ses explications, une activation surprenante de la mémoire émerge. Hèctor discute avec Thomas de la détection des ondes gravitationnelles et lui raconte la manière dont il avait déjà eu recours à leurs prédictions, il y a presque six ans, afin de «créer la sensation que l'orchestre palpite en suivant cette forme d'onde» dans *Caressant l'horizon*. Soudain, le compositeur refait par cœur un fragment de l'esquisse pour cette œuvre, lié aux ondes gravitationnelles, tout en se demandant comment adapter les stratégies instrumentales dans le cadre des moyens électroniques.

Thomas consacre l'après-midi à expliquer à Hèctor certains logiciels pour calculer des trajectoires de spatialisation ainsi qu'à réfléchir aux dispositifs matériels les plus aptes à une diffusion sonore adéquate aux besoins de la nouvelle œuvre. Ce n'est pas encore évident pour eux d'évoquer, par ce biais, ce que nous éprouverions si nous subissions les effets drastiques de la physique relativiste, mais leurs tâches à long terme pour *INSCAPE* sont assez bien définies.

### 16 JANVIER 2017

Hèctor, Jean-Pierre et Thomas se dirigent vers le studio 1 de l'Ircam. C'est la toute première fois que les trois participants à la conception du projet *INSCAPE* se rencontrent. Le

compositeur et le RIM ont décidé d'inviter Jean-Pierre pour lui montrer leurs avancées concernant la partie électronique, afin de savoir s'il considère que leurs parallélismes entre les enjeux astrophysiques et les résultats sonores sont réussis et en quelque sorte «réalistes».

Hier, Hèctor et Thomas ont achevé leurs premières tentatives de patchs et de tests. En particulier, une implémentation des courbes liées aux ondes gravitationnelles ressort: elles agissent comme profil contrôlant les niveaux de plusieurs traitements afin de transformer le son en temps réel. De plus, Thomas a saisi l'occasion pour façonner la courbe (tactilement, à travers un iPad) afin de rendre l'outil plus interactif; aujourd'hui, Hèctor et Jean-Pierre s'amuse avec le dispositif. Le compositeur annonce, qu'en tout état de cause, il va profiter d'une nouvelle commande pour violoncelle et électronique, visant à mieux affiner et développer l'ensemble de patchs avec Thomas.

Vers la fin de la journée, le trio décide de poursuivre le lendemain pour enregistrer Jean-Pierre tout en déclamant un court texte de lui, conçu *ex professo* pour ce projet. Hèctor vise à l'utiliser, ainsi que tout un éventail de chuchotements, pour développer les «sections holographiques» de l'œuvre. Ici, on retrouve à nouveau la réactivation de sa mémoire: l'une des esquisses pour la fin de la pièce contient la phrase «nous sommes un hologramme codé aux confins de l'univers». C'est assez proche de «nous sommes même un hologramme qui est *warpé*», que l'on trouve (en catalan) dans le story-board de *Caressant l'horizon*, paraphrasant à son tour un court passage de *The Black Hole War*, un livre du physicien Leonard Susskind.

### POSTLUDE

Le 4 septembre 2017 a lieu la création de *Limite les rêves au-delà*, avec Arne Deforce à la Ruhrtriennale; Thomas et Hèctor ont travaillé pendant l'été avec le violoncelliste au Grame. Avec cette pièce, ils ont pu bâtir leur *toy model* pour adapter un patch sophistiqué aux besoins d'*INSCAPE*, une tâche soigneusement commencée à partir de novembre à l'Ircam. ■

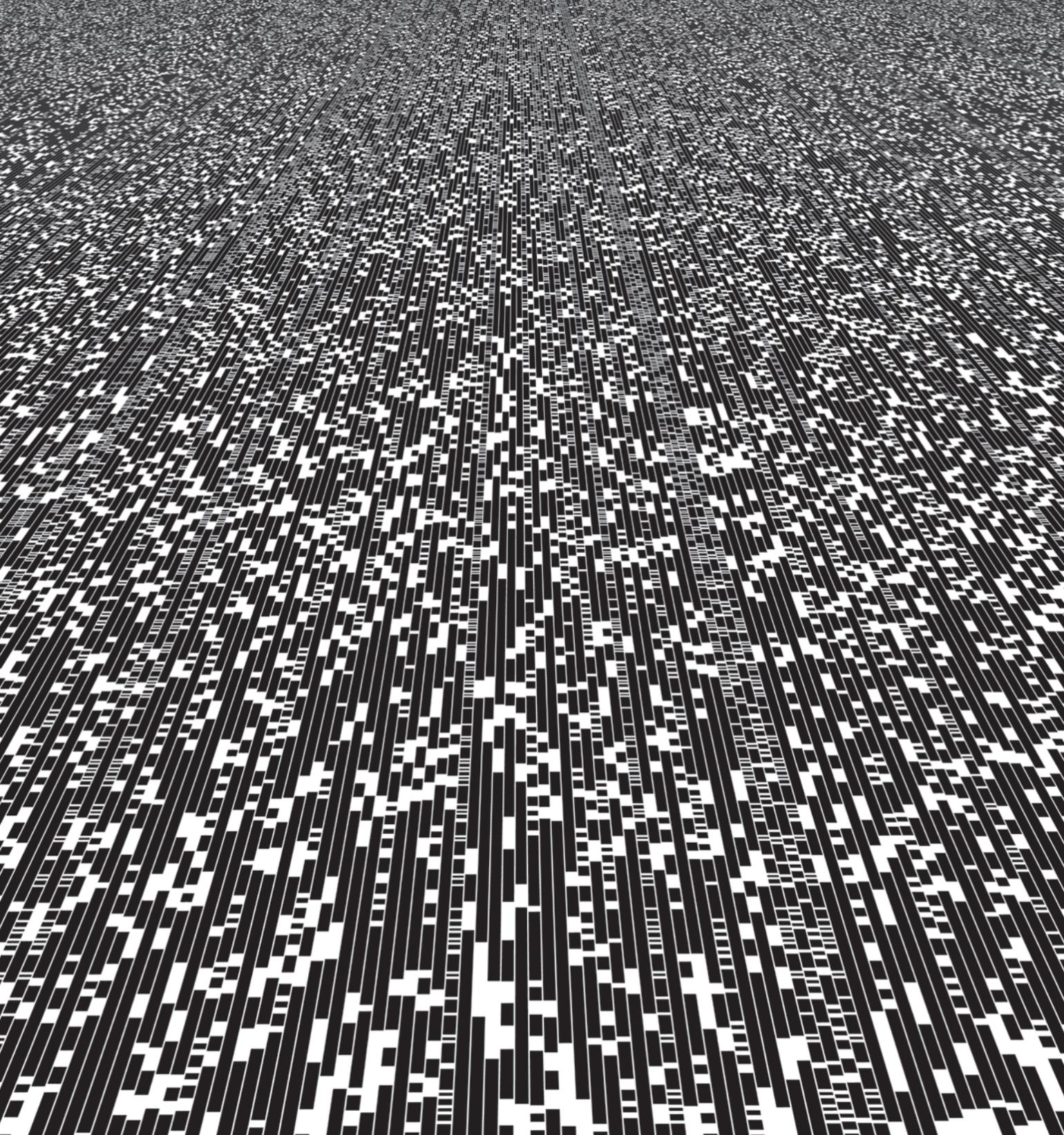
AGENDA

### INSCAPE

JEUDI 14 JUIN, 20H30

CITÉ DE LA MUSIQUE, SALLE DES CONCERTS

1. Cursus de composition et d'informatique musicale de l'Ircam / 2. Réalisateur en informatique musicale.



# Musique et codage du monde : entre formalisation mathématique et calcul informatique

PAR **MORENO ANDREATTA**, DIRECTEUR DE RECHERCHE AU CNRS, IRCAM-STMS-SORBONNE UNIVERSITÉ, CHERCHEUR INVITÉ À L'INSTITUT DE RECHERCHE MATHÉMATIQUE AVANCÉE (IRMA) AINSI QUE *FELLOW* DE L'INSTITUT D'ÉTUDES AVANCÉES DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG (USIAS)

Quels sont les paradigmes qui ont accompagné l'émergence de l'idée de « codage » en musique ? Quel rôle ont joué les mathématiques dans ce processus ? Cet article retrace les grandes lignes des rapports entre théorisation musicale, formalisation mathématique et calcul informatique à partir de la vision combinatoire du monde du XVII<sup>e</sup> siècle jusqu'au développement de la composition algorithmique et des recherches autour du temps réel, de la microinformatique, des langages de programmation, de l'informatique ubiquitaire, du web audio et des nouvelles frontières de la créativité artificielle.

S'il est vrai que tout est nombre, comme l'affirmaient les pythagoriciens, la musique occupe une place tout à fait singulière au sein des disciplines à l'aide desquelles l'homme a essayé de mathématiser le monde. Art du temps, mais aussi de l'espace, inspiration mais également « calcul secret qui l'âme fait à son insu », comme l'écrivait Leibniz à son collègue mathématicien Christian Goldbach, la musique accompagne depuis toujours la quête vers une meilleure compréhension du cosmos. Sa place tout à fait singulière parmi les autres disciplines (arts plastiques, littérature, architecture et danse) autour desquelles s'articule l'exposition « Coder le monde » suggère la possibilité d'organiser une *timeline* consacrée à la musique à l'aide d'une typologie permettant au visiteur de mieux cerner les rapports entre théorisation musicale, formalisation mathématique et calcul informatique.

même de codage, dans sa composante éminemment calculatoire. On passe ainsi de la vision combinatoire du monde du XVII<sup>e</sup> siècle portée par le père Marin Mersenne aux premières machines mécaniques pour calculer la musique du XIX<sup>e</sup> siècle, véritables prémisses de la conception de la musique comme « art/science ». En effet, si l'on doit à Mersenne l'invention de la combinatoire, et cela à partir d'un problème de calcul et énumération exhaustive de toutes les mélodies possibles, d'autres branches de mathématiques, comme la théorie des graphes par exemple, trouvent également leur acte de naissance au sein d'une théorisation musicale. Ce sont en particulier les travaux du mathématicien Leonhard Euler autour de la géométrisation de l'espace des hauteurs à l'aide du *Speculum musicum* (1773) qui ouvrent la voie à l'émergence d'un nouveau champ disciplinaire au sein des mathématiques, une théorie – celle des graphes – qui, de même que le calcul combinatoire fondé par Mersenne, resteront jusqu'à présent des outils privilégiés pour coder le monde musical.

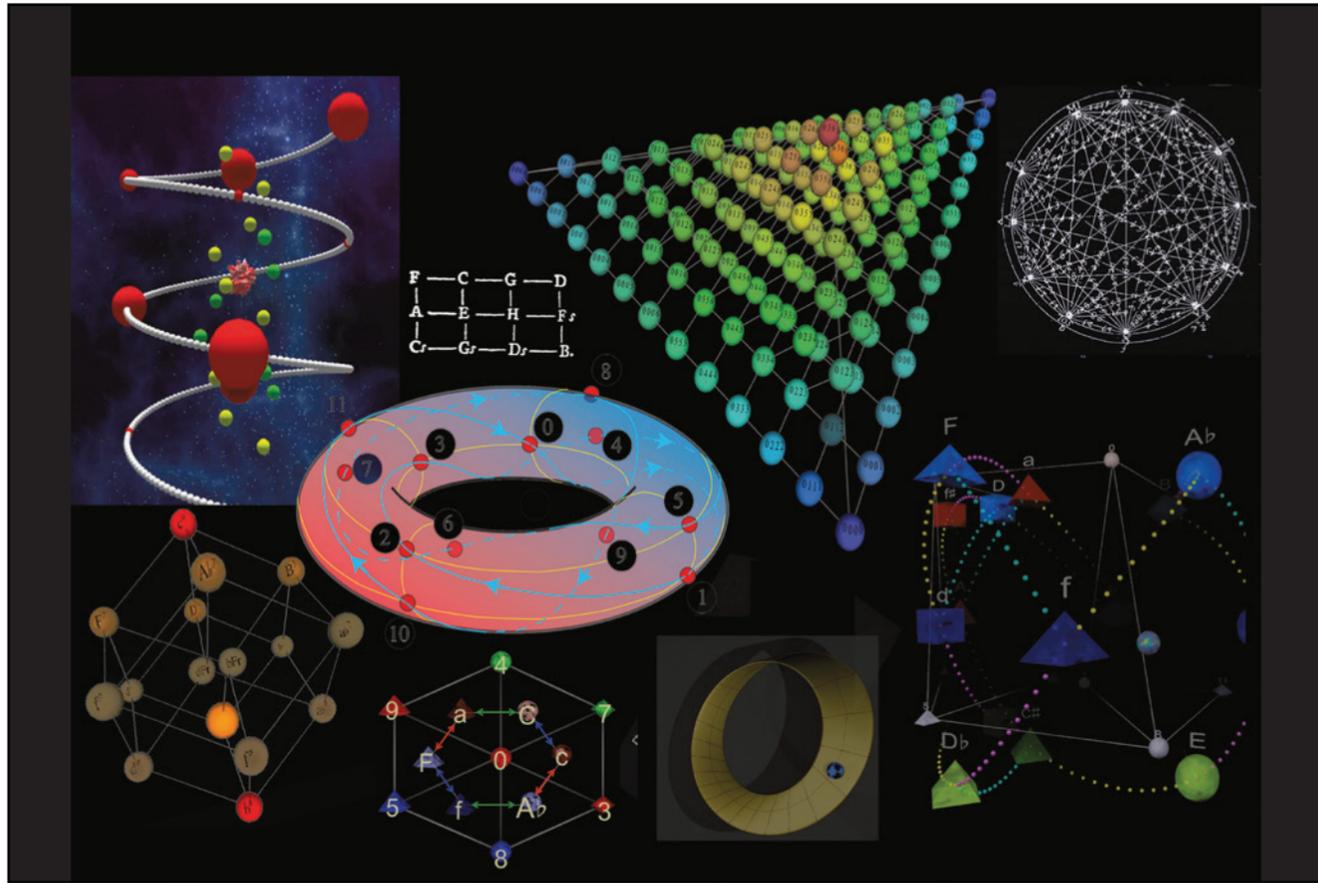
Cette typologie montre l'évolution au cours des siècles de quelques idées majeures ayant favorisé et ensuite accompagné jusqu'à nos jours l'émergence de l'idée

AGENDA

**FORUM VERTIGO:**  
**CODER-DÉCODER LE MONDE**  
DU MERCREDI 13 AU SAMEDI 16 JUIN  
CENTRE POMPIDOU, PETITE SALLE

**CODER LE MONDE**  
**EXPOSITION**  
DU VENDREDI 15 JUIN  
AU LUNDI 27 AOÛT  
CENTRE POMPIDOU, GALERIE 4

# CODER LE MONDE



La galaxie des espaces « mathémusicaux » au service de la musicologie computationnelle (de haut en bas et de gauche à droite : « Spiral Array » d'Elaine Chew, *Spéculum musicum* de Leonhard Euler, *Orbifold* de Dmitri Tymoczko, représentation circulaire de Marin Mersenne, espace tridimensionnel des accords de septième, maillage hexagonal ou Tonnetz, ruban de Möbius, hypersphère des accords de Gilles Baroin. Au centre de la figure le « Tore des tierces » de Guerino Mazzola (équivalent en trois dimensions du Tonnetz)... © Gilles Baroin

La vision combinatoire du monde favorise la conception d'automates et de machines à composer la musique, comme l'atteste le traité *Musurgia universalis* (1650) du théoricien Athanasius Kircher. Ce sont des machines déterministes, à l'image d'un monde cartésien n'ayant pas encore intégré la notion de hasard. Il faudra en effet attendre encore un siècle pour assister à l'introduction de procédés aléatoires en composition musicale. Cela se fera grâce aux innombrables *Musikalische Würfelspiele* ou jeux musicaux de dés, proposant des recettes pour composer des menuets, des valse ou des polonaises en lançant des dés. Et c'est précisément avec le jeu de dés que l'aléa devient un composant musical. On retrouvera ces mêmes procédés aléatoires dans les machines mécaniques du XIX<sup>e</sup> siècle, comme le *Componium* conçu en 1821 par Dietrich Nikolaus Winkel et permettant de produire des variations d'une mesure de musique avec un procédé aléatoire.

La musique voit donc s'enrichir sa palette d'outils théoriques, bien que le calcul algébrique reste le paradigme dominant, comme le témoigne l'ouvrage *Technie, ou lois générales du système harmonique* (1855) de Camille Durutte, écrit en collaboration avec le logicien et mathématicien polonais Hoëne Wronski. La musique devient ainsi « corporification de l'intelligence dans les sons », une démarche qui sera revendiquée un siècle plus tard par Edgar Varèse qui reprendra et prolongera cette idée d'une relation étroite entre approche artistique et démarche scientifique, en contribuant ainsi à l'émergence d'un nouveau paradigme disciplinaire : le paradigme de l'art/science.

Le XX<sup>e</sup> siècle marque l'intensification des rapports et des compagnonnages entre musique, mathématique et informatique tout d'abord avec l'introduction de procédés mathématiques en composition algorithmique. Les techniques analytiques et composition-

nelles de Joseph Schillinger, auteur notamment des ouvrages *The Mathematical Basis of Art* (1943) et *The Schillinger System of Musical Composition* (1946), constituent un exemple remarquable de préfiguration, de la part d'un compositeur, de concepts et outils informatiques<sup>1</sup>.

La musique accompagne ensuite les débuts de cette nouvelle science, l'informatique, dont les développements auront à leur tour une influence directe dans la pensée musicale. La conception, en 1955-1956, du premier synthétiseur programmable (le *RCA Mark II Sound Synthesizer*) au centre de musique électronique de Columbia-Princeton, est suivie par la composition de la première pièce algorithmique, la *Suite Illiac* pour quatuor à cordes, de Lejaren Hiller et Leonard M. Isaacson, composée en 1957 à l'aide de l'*Illinois Automatic Computer*. De la même année date la conception de MUSIC, premier langage modulaire pour la syn-

thèse sonore par Max Mathews aux Bell Laboratories (voir p.30). Ces mêmes années marquent la naissance de la cybernétique et de la théorie de l'information, deux paradigmes qui constituent le véritable terreau conceptuel d'un grand nombre d'expériences autour de la composition algorithmique. En effet, comme l'affirment C. Shannon et W. Weaver dans leur traité *The Mathematical Theory of Communication* (1949), « cette théorie [la théorie de l'information] est si générale, que l'on n'a pas besoin de dire quelles sortes de symboles sont considérées – que ce soient des mots ou des lettres écrits, ou des notes musicales, ou des mots parlés, ou de la musique symphonique ou des images ».

La prise de distance par rapport au paradigme cybernétique et informationnel de la part de certains compositeurs et, en particulier, Iannis Xenakis, témoigne cependant d'un désir de dépassement du caractère langagier de la musique, qui était le postulat implicite de la théorie de l'information. Comme l'affirmera quelques années plus tard le compositeur, architecte et ingénieur grec dans son essai de théorisation métamusical, « les identifications musique-message, musique-communication, musique-langage sont des schématisations qui entraînent vers des absurdités et des dessèchements. Trop de flou en musique ne peut se plier à trop de précision théorique. Plus tard, avec l'affinement et l'invention de nouvelles théories, peut-être<sup>2</sup> ». La parution, en 1963, de l'ouvrage *Musiques formelles* permettra de comprendre la place de l'informatique dans l'univers compositionnel de Xenakis grâce, en particulier, à une première typologie d'œuvres obtenues à partir des mathématiques et de l'ordinateur (stochastique générale, stochastique markovienne, stratégique, stochastique à l'ordinateur et symbolique). L'ouvrage signe également le passage de l'informatique à l'âge de la maturité, avec une décennie (1965-1975) marquée par les recherches de Jean-Claude Risset sur les sons paradoxaux aux Bell Laboratories (1965-1968), la création en 1966 par Iannis Xenakis de l'EMAMu (Équipe de mathématique et automatique musicales), qui deviendra ensuite le CEMAMu (Centre d'études de mathématique et automatique musicales) et la publication d'un certain nombre d'ouvrages-manifeste sur les approches mathématiques en analyse et compositions musi-

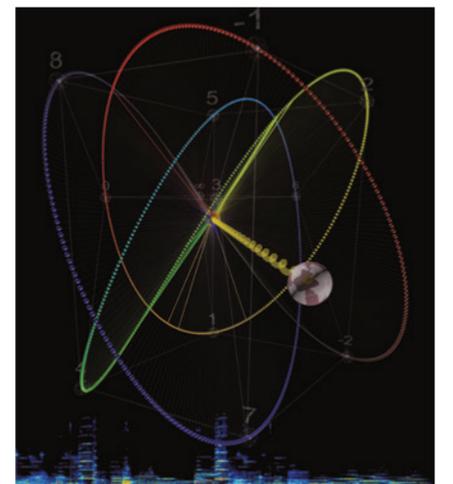
cales. On citera les deux ouvrages de Pierre Barbaud, *Initiation à la composition musicale automatique* (1966) et *La musique discipline scientifique* (1968), et le traité *Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition* (1971) de Iannis Xenakis, dont le sous-titre montre la place désormais incontournable de la théorisation mathématique dans le codage du monde de la musique.

Sous l'impulsion, entre autres, des mathématiques, l'informatique évolue de façon incessante à partir des années 1975, une période qui marque l'émergence de la micro-informatique et des premiers systèmes de traitement temps réel de l'information musicale. Ces synthétiseurs numériques temps réel, parmi lesquels on peut mentionner les séries des synthétiseurs 4A, 4B, 4C et 4X de l'Ircam (1976-1984), l'UPIC du CEMAMu (1977) et les environnements SYTER (1984) et GRM Tools (1993) du Groupe de recherches musicales, auront désormais une influence directe sur les œuvres des compositeurs. Cela sera notamment le cas de *Mycènes alpha* (1978) de Xenakis (pour système UPIC), *Répons* (1981-1984) de Boulez (pour six solistes, ensemble de chambre, sons électroniques et électronique en direct, système 4X) ou *Jupiter* de Philippe Manoury, pour flûte et électronique, première pièce utilisant le Synthetic Performer (Score Follower) conçu par Barry Vercoe à l'Ircam et le synthétiseur 4X. Les années 1980 signent également la date de naissance des premiers environnements d'écriture assistée par ordinateur de l'Ircam (C.R.I.M.E., par Gérard Assayag et Claudy Malherbe) et d'autres environnements pour la synthèse sonore (tels FORMES par Pierre Cointe, Xavier Rodet et Yves Potard à l'Ircam et CSound par Barry Vercoe au MIT) ou le temps réel (tel *The Patcher*, environnement graphique temps réel conçu à l'Ircam par Miller Puckette et Philippe Manoury et renommé ensuite Max, en l'honneur de Max Mathews).

Les années 1990 ont marqué l'émergence et la cristallisation de nouvelles tendances de la musicologie, dont la composante computationnelle favorise la réflexion autour de la créativité artificielle et tire bénéfice du développement incessant des langages de programmation pour la composition assistée par ordinateur. C'est notamment le cas de PatchWork, initialement conçu à l'Ircam par Mikael Laurson, Jacques Duthen et Camilo Rueda ainsi qu'OpenMusic, également

conçu à l'Ircam par Gérard Assayag et Carlos Agon et dont les musicologues computationnels ne vont pas tarder à se servir à des fins analytiques. C'est une tendance qui continue voire s'accroît, de nos jours, avec des environnements pour l'improvisation assistée par ordinateur (tel OMax) et dont la double perspective analytico/synthétique dépasse le cadre des approches symboliques et intègre également des techniques issues du traitement audio dans une articulation permanente entre signe et signal. Des mathématiques de plus en plus sophistiquées, proposant une panoplie d'outils algébriques, topologiques et issus de la théorie des catégories, sont désormais au service du musicologue computationnel, dans des environnements pédagogiques – tel Hexachord par exemple – facilitant de façon considérable la transmission d'idées et de concepts parfois très techniques auprès du grand public.

Avec l'informatique ubiquitaire, le Web audio et les nouvelles frontières de l'intelligence artificielle, la quête vers le codage du monde se poursuit, dans une perspective dépassant désormais de façon systématique les frontières entre les genres savant et populaire, miroir d'un village global dans lequel la musique est à nouveau capable de cristalliser la réflexion théorique autour de ses rapports à la fois anciens et nouveaux avec les mathématiques et l'informatique. ■



Version spectrale de l'hypersphère des accords de Gilles Baroin © Gilles Baroin

1. Il s'agit à l'occurrence du format MIDI, une norme qui ne sera créée par John Chowning, concepteur également du synthétiseur Yamaha DX7 basé sur la synthèse FM, qu'une quarantaine d'années plus tard. / 2. Iannis Xenakis, « Vers un métamusique », in *La Nef*, 29, 1967.

## TABLEAU SYNTHÉTIQUE DES PRINCIPAUX STUDIOS DE MUSIQUE ÉLECTRONIQUE

Fondation au début des années 1950 des premiers studios de musique électronique (Cologne, par Robert Beyer et Herbert Eimert, sous l'influence de Werner Meyer-Eppeler), *tape music* (Columbia, par Otto Luening et Vladimir Ussachevski), phonologie (Milan, par Luciano Berio et Bruno Maderna) et communications (Bell Laboratories).

Premier Groupe de recherche de musique concrète – GRMC. Fondation à Tokyo du premier studio de musique expérimentale (Toshiro Mayuzumi et Toru Takemitsu). Experimental Music Center at the University of Illinois (1958), dénomination du Groupe de recherches musicales (GRM) en 1958 et création du Service de la recherche de la Radiodiffusion-télévision française, auquel s'intègre le GRM (1960).

Fondation par Xenakis de l'EMAMu (Équipe de mathématique et automatique musicales), qui deviendra ensuite le CEMAMu (Centre d'études de mathématique et automatique musicales) en 1972, puis Les Ateliers UPIC en 1985, CCMIX (Centre de création musicale Iannis Xenakis) en 2000 et CIX (Centre Iannis Xenakis).

Création en 1977 de l'Ircam, l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique, par Pierre Boulez.



Studio à l'Ircam © Philippe Barbosa

## LISTE CHRONOLOGIQUE DES PRINCIPAUX LANGAGES DE PROGRAMMATION POUR LA MUSIQUE

**1957-1966**

MUSIC-n (de MUSIC I à MUSIC V) par Max Mathews aux Bell Telephone Laboratories.

**1978**

MUSCMP par John Tovar à Stanford University.

**1980**

C-Music (en langage C) par F. Richard Moore et Gareth Loy à l'UCSD La Jolla.

**1983**

Sythetic Performer (Score Follower) par Barry Vercoe à l'Ircam.

**1984**

Arctic (Real-Time functional language) par Roger Dannenberg à Carnegie-Mellon et C.R.I.M.E (premier environnement d'écriture assistée par ordinateur) par Gérard Assayag et Claudy Malherbe à l'Ircam.

**1985-1986**

FORMES par Pierre Cointe, Xavier Rodet et Yves Potard à l'Ircam, CSound par Barry Vercoe au MIT et 4XY par Robert Rowe à l'Ircam.

**1988**

Esquisse par Pierre-François Baisnée, Jacques Duthen et Magnus Lindberg et Max par Miller Puckette et Philippe Manoury à l'Ircam.

**1989**

Common Music par Rick Taube au CCRMA, Stanford, puis au ZKM, Karlsruhe.

**1991**

PatchWork par Mikael Laurson, Jacques Duthen et Camilo Rueda, et Modalys par Jean-Marie Adrien, René Caussé et Joseph Morrison à l'Ircam.

**1993**

Nyquist par Roger Dannenberg à l'université Carnegie-Mellon.

**1996**

OpenMusic par Gérard Assayag et Carlos Agon à l'Ircam et SuperCollider par James McCartney.

**2002**

GENESIS par Claude Cadoz et les membres du laboratoire ACROE-ICA de Grenoble, un outil de création musicale qui s'appuie sur le formalisme de modélisation et de simulation des objets physiques CORDIS-ANIMA.

**2002**

ChucK (Strongly-timed, Concurrent, and On-the-fly Music Programming Language pour le Live coding) à l'université de Princeton et IanniX par Thierry Coduys (La Kitchen), Adrien Lefevre (Adlef), et Gérard Pape (CCMIX).

**2004**

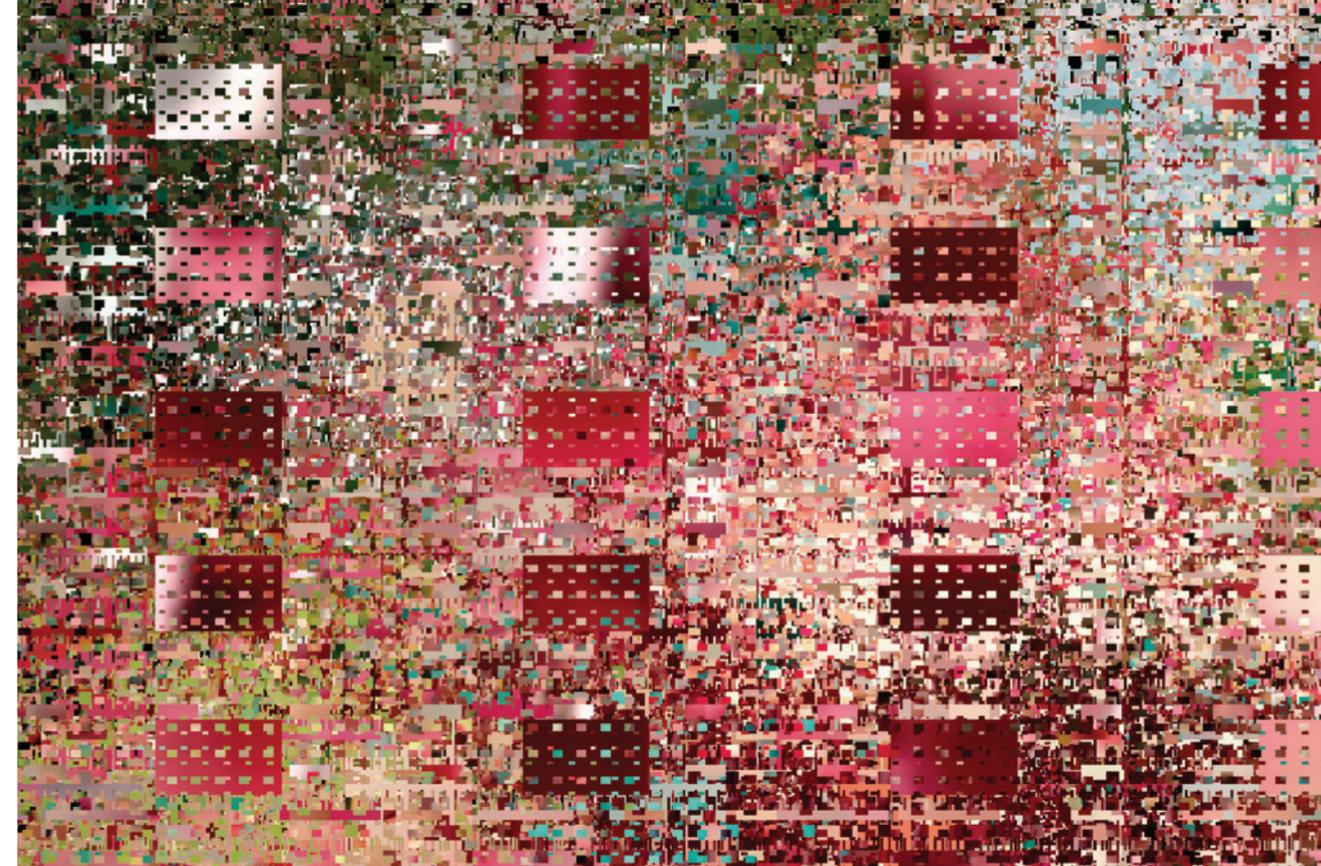
Faust (Functional Audio Stream) par l'équipe de Yann Orlaey au Grame de Lyon.

**2007**

Antescofo par Arshia Cont (Ircam, équipe-projet MuTant) en collaboration avec le compositeur Marco Stroppa, système modulaire de suivi de partitions (*Modular Score Follower*) ainsi que langage de programmation synchrone pour la composition musicale.

**2013**

Hexachord par Louis Bigo (en collaboration avec Jean-Louis Giavitto, Antoine Spicher et Moreno Andreatta) pour l'analyse et la génération topologique de la musique assistée par ordinateur.



Casey Reas, *Tox Screen*, 2013, deux ordinateurs, écrans ou projecteurs, dimensions variables

## La programmation du futur

PAR PETER VAN ROY, PROFESSEUR D'INGÉNIEURIE INFORMATIQUE À L'UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN

Les systèmes de programmation subissent actuellement deux changements profonds : la convergence et l'apprentissage. À la différence des améliorations incrémentales que l'on peut observer dans les différents langages de programmation (langages multi-agents, programmation réactive, langages fonctionnels...), ces changements constituent des véritables révolutions.

### LA CONVERGENCE OU LA MAINTENANCE AUTOMATISÉE DES DONNÉES

Il a toujours été difficile pour un logiciel de représenter fidèlement le monde réel à travers des éléments d'une base de données, celles-ci n'offrant qu'une perspective statique et limitée de la vérité changeante du monde réel. Le logiciel doit à tout moment laborieusement corriger ces données pour qu'elles restent valables. Dans l'avenir, cela changera complètement grâce à une correction automatique des données et de leur validité. Il s'agit d'un nouveau type de pro-

grammation que l'on peut appeler la programmation *convergente*.

La programmation convergente est le résultat de la complexité croissante des fonctionnalités des logiciels qui sont de plus en plus répartis, c'est-à-dire étalés sur de nombreux ordinateurs liés par un réseau de communication. Le passage à la programmation convergente implique un changement paradigmatique dans notre rapport avec l'ordinateur, surtout en ce qui concerne la vérocité de ses données. Loin de représenter des anomalies, les défaillances d'un système réparti deviendront des événements normaux qui

font partie de la vie du logiciel et qui pourront même avoir une utilité non négligeable. La propriété de « cohérence convergente », généralisant celle de « cohérence à terme » (*eventual consistency*<sup>1</sup>) dans un environnement de programmation convergente, exprime la possibilité de faire converger de façon continue les résultats des calculs vers des résultats corrects par rapport aux données vraies, à savoir celles qui sont les plus proches du monde réel : elles ne sont pas dans la base de données, mais au bord du système, dans des dispositifs de l'Internet des Objets, chez les clients et à l'aide de tout type

1. Sebastian Burckhardt, *Principles of Eventual Consistency*, Foundations and Trends in Programming Languages, Now Publishers, octobre 2014. / 2. Christopher Meiklejohn, « A Certain Tendency of the Database Community », salon des Refusés (workshop colocalisé avec le congrès « Programming » 2017), Bruxelles, Belgique, 3-6 avril 2017.

de capteurs. Dans un logiciel de type convergent, le contenu de la base de données converge continuellement et automatiquement vers les données vraies du monde réel<sup>2</sup>. Il s'agit donc non seulement d'une programmation qui tolère naturellement les défaillances, mais dans laquelle les pertes de messages et les partitionnements de réseau ont pour seul effet de ralentir la convergence et pas de produire des erreurs. Ceci est vrai si l'on suppose que l'état d'exécution existe toujours quelque part dans le système. Depuis quelques années, la convergence est devenue un sujet de recherche dans la communauté des systèmes répartis. À titre d'exemple, on peut citer notre projet de recherche «LightKone» centré sur la construction d'un système convergent appelé Lasp<sup>3,4</sup> (*Lattice Programming*). Il est basé sur une structure de données convergente qui s'appelle un CRDT<sup>5</sup> («Type de Données Répliqué sans Conflit» ou *Conflict-free Replicated Data Type*). Dans Lasp, on peut combiner des CRDTs pour faire une exécution complète tout en gardant la propriété de convergence. Nous développons Lasp pour faire des applications qui marchent bien sur des infrastructures où les défaillances sont nombreuses, en particulier dans l'Internet des Objets. Notre système actuel s'exécute avec succès sur 1024 ordinateurs en réseau<sup>6</sup>.

#### L'APPRENTISSAGE OU LA CONCEPTION AUTOMATISÉE DES ALGORITHMES

L'apprentissage automatique constitue la deuxième révolution au sein des langages de programmation. Parmi les formes les plus populaires d'apprentissage automatique, on peut citer l'«apprentissage profond» (*deep learning*) qui a connu une série de succès majeurs à partir de 2011 et cela dans plusieurs domaines tels la classification d'image (AlexNet), les langues naturelles (IBM Watson) ou encore le jeu de Go (AlphaGo)<sup>7</sup>. L'apprentissage profond a la capacité de reconnaître des formes hiérarchiques dans toutes sortes de données brutes (textes, dessins, images, vidéos, son, etc.), avec un niveau de qualité

comparable aux êtres humains. Son formalisme se base sur des réseaux neuronaux multicouches qui utilisent des fonctions non-linéaires dérivables. Les paramètres de ces réseaux sont déterminés lors d'une phase de formation qui utilise des techniques de rétro-propagation<sup>8</sup>. La phase de formation demande une grande puissance de calcul qui est responsable de la très grande inventivité dans les solutions trouvées. Grâce à la disponibilité de la puissance des calculs dans les GPUs et dans les smartphones, on assiste à une utilisation massive de techniques issues de l'apprentissage profond dans toute tâche de reconnaissance des formes. L'apprentissage profond joue également un rôle important dans le développement des logiciels, au point qu'il est en train de devenir une partie du génie logiciel. Dans les années à venir, on assistera à une complexification des logiciels par l'ajout de composants intelligents à tous les niveaux, composants qui marcheront précisément à cause de l'inventivité de la phase de formation. Celle-ci n'est rien d'autre qu'une forme de *compilation*, comme la compilation du code source d'un logiciel. Dans l'avenir, l'apprentissage profond deviendra une partie du langage de programmation et sera utilisé de façon automatique comme c'est le cas pour la compilation au sein d'un logiciel.

Des résultats récents montrent que cette évolution améliorera grandement les capacités des logiciels tout en réduisant l'effort de leur développement, l'apprentissage profond pouvant trouver des algorithmes parfois assez pointus – comme les algorithmes récursifs grâce à des couches récursives dans les réseaux neuronaux multicouches – et cela dans plusieurs domaines du calcul informatique. Comme l'observe Thomas Breuel<sup>9</sup>, l'apprentissage profond a montré sa puissance dans le domaine de l'algorithmique traditionnelle (par exemple dans des problèmes consistant à trouver le chemin le plus court dans un graphe), de la vision par ordinateur (par exemple dans la détection des contours de John Canny), la reconnaissance de formes,

le traitement de signal, la théorie des jeux et la théorie de la décision. Dans tous ces domaines, un réseau neuronal profond peut trouver automatiquement une bonne solution lors de la phase de formation. Cela est dû premièrement à la structure du réseau neuronal multicouche, qui donne un espace de solutions expressif et, deuxièmement, à la grande puissance de calcul utilisée lors de la phase de formation.

#### CONCLUSIONS

Les langages de programmation du futur permettront d'exprimer une complexité logicielle bien au-delà de ce que l'on peut faire aujourd'hui. Ils soutiendront une relation avec le monde réel basé sur la *convergence*, qui permet de gérer les données dans une infrastructure matérielle où les défaillances sont acceptées comme normales. Ils trouveront eux-mêmes des algorithmes complexes sans besoin de les programmer, en se basant sur l'inventivité apportée par l'*apprentissage*. Les preuves de concept pour la convergence et l'apprentissage existent déjà et on peut raisonnablement prévoir que dans les années à venir ces deux techniques feront de plus en plus partie des langages de programmation. C'est ainsi que la programmation passera véritablement à la vitesse supérieure! ■



Fig. 1 : Des danseurs travaillent avec Becoming dans le studio pendant la création d'Atomos. Photographie : David Bickerstaff.

# Quand la danse devient données<sup>1</sup>

PAR **SCOTT DELAHUNTA**, CHERCHEUR, CENTRE FOR DANCE RESEARCH DE L'UNIVERSITÉ DE COVENTRY (ROYAUME-UNI); SENIOR RESEARCH FELLOW AU DEAKIN MOTION.LAB DE L'UNIVERSITÉ DEAKIN (AUSTRALIE); CODIRECTEUR DE MOTION BANK À L'UNIVERSITÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES DE MAYENCE

Pas de deux entre la danse et le numérique. Coder et annoter le mouvement? Réinventer le jeu de l'interactivité en scène? Depuis les années 2000, la recherche technologique vient stimuler des chorégraphes d'envergure. L'essor de cette aventure encore jeune est ici observé par le chercheur Scott deLahunta.

#### AGENDA

**FORUM VERTIGO :  
CODER-DÉCODER LE MONDE**  
DU MERCREDI 13 AU SAMEDI 16 JUIN  
CENTRE POMPIDOU, PETITE SALLE

**CODER LE MONDE  
EXPOSITION**  
DU VENDREDI 15 JUIN  
AU LUNDI 27 AOÛT  
CENTRE POMPIDOU, GALERIE 4

En 2000, un projet de recherche intitulé *Software for Dancers* a réuni à Londres quatre chorégraphes et cinq artistes numériques afin de développer des concepts pour la création d'«outils informatiques de répétition» destinés à la danse<sup>2</sup>. Ce projet a donné lieu à des discussions qui ont mis en évidence le potentiel de création de la technologie numérique lorsqu'elle est utilisée pour mieux comprendre les méthodes chorégraphiques. Inspirés par ce potentiel, plusieurs chorégraphes de renom – Wayne McGregor

(Royaume-Uni), Emio Greco | PC (Pays-Bas), William Forsythe (Allemagne) et Deborah Hay (États-Unis) – se sont lancés, au cours des dix années suivantes, dans des projets explorant les atouts de cette technologie afin de rendre compte d'une manière inédite des processus de l'entreprise chorégraphique, et de les enrichir, les visualiser et les diffuser. Wayne McGregor est parti de l'idée d'un *agent chorégraphique à intelligence artificielle*, capable de «produire des solutions spécifiques, apportées à des problèmes cho-

/3. LightKone (Lightweight Computations on the Edge), Projet H2020, janvier 2017 - décembre 2019. Voir [lightkone.eu](http://lightkone.eu) /4. Christopher Meiklejohn et Peter Van Roy, «Lasp: A Language for Distributed, Coordination-free Programming», in *Proceedings of the 17<sup>th</sup> ACM International Symposium on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP 2015)*, Sienne, Italie, juillet 2015. /5. Marc Shapiro, Nuno Preguiça, Carlos Baquero et Marek Zawirski, *Conflict-free Replicated Data Types*, INRIA Rapport de Recherche RR7687, juillet 2011. /6. Christopher Meiklejohn, Vitor Enes, Junghun Yoo, Carlos Baquero, Peter Van Roy et Annette Bieniusa, «Practical Evaluation of the Lasp Programming Model at Large Scale», in *Proceedings of the 19<sup>th</sup> ACM International Symposium on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP 2017)*, Namur, Belgique, 9-12 octobre 2017. /7. Université de Deusto et Université Rovira i Virgili. International Summer School on Deep Learning 2017. Bilbao, Espagne, 17-21 juillet 2017. /8. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio et Aaron Courville, *Deep Learning*, MIT Press, 2016. /9. Thomas Breuel. «Different Views of Deep Learning», International Summer School on Deep Learning, Université de Deusto et Université Rovira i Virgili, Bilbao, Espagne, 17-21 juillet 2017.

1. La version intégrale en anglais de cet article a paru dans la rubrique «Commentaire» de «Comuting the Corporeal», numéro spécial de la revue *Computational Culture, a Journal of Software Studies*, sous la direction de Nicolas Salazar Sutil et Scott deLahunta (<http://computationalculture.net/>; dernière consultation le 17 décembre 2017). /2. Les chorégraphes étaient Wayne McGregor, Shobana Jeyasingh, Siobhan Davies et Ashley Page, et les artistes/développeurs Guy Hilton, Joseph Hyde, Bruno Martelli, Ade Ward et Christian Ziegler. Voir <http://www.sdela.dds.nl/sfd/sfdz/descrip.html> (dernière consultation le 28 janvier 2018). /3. Scott deLahunta, «Wayne McGregor's Choreographic Language Agent», dans Maaike Bleeker (dir.), *Transmission in Motion: The Technologizing of Dance*, Londres, Routledge, 2016, p.108.



Fig. 2 : Barbara Meneses, danseuse de la troupe Emio Greco | PC, dans l'installation interactive Double Skin/Double Mind. Photographie : Thomas Lenden.



Fig. 3 : Photogramme extrait de la vidéo annotée illustrant des alignements selon la méthode employée par William Forsythe pour concevoir des rapports spatio-temporels. Photographie : Synchronous Objects Project, The Ohio State University et The Forsythe Company.



Fig. 4 : Photogramme vidéo montrant la superposition numérique de 21 versions du solo de No Time to Fly par les danseurs et chorégraphes Jeanine Durning, Ros Warby et Juliette Mapp. Photographie vidéo : Motion Bank.

régraphiques et d'élargir les processus de création dans le studio<sup>3</sup>.» Le projet *Choreographic Agents* a connu deux itérations principales grâce aux logiciels développés par les artistes numériques Marc Downie et Nick Rothwell<sup>4</sup>. La première itération, le *Choreographic Language Agent (CLA)*, était destinée à étudier les variations dans les instructions chorégraphiques à partir de la manière dont McGregor et ses danseurs travaillent avec les images pour créer des mouvements. De 2009 à 2011, le CLA a été employé comme logiciel d'esquisse afin de réaliser des géométries dynamiques utilisables sous forme de mouvements par les danseurs au sein du studio<sup>5</sup>. La deuxième itération de *Choreographic Agents* a été baptisée *Becoming*. Semblable au CLA, *Becoming* s'appuyait sur les capacités des danseurs à travailler avec les images pour créer de nouveaux mouvements. Toutefois, au lieu d'être programmé par les danseurs et d'être visualisé sur de petits écrans d'ordinateur à la périphérie du studio, *Becoming* était doté d'un corps virtuel à la même échelle qu'un corps humain, qui s'affichait sur un écran en 3D d'un mètre quatre-vingt (fig. 1). Le stimulus dynamique de ce corps virtuel reposait sur des données (géométrie, couleur, mouvement) extraites d'un célèbre film de science-fiction des années 1980 et utilisées pour animer le corps virtuel. Les danseurs ont ainsi bénéficié de « solutions spécifiques » au cours de la création d'*Atomos* en 2013<sup>6</sup>.

Le projet de recherche intitulé *Capturing Intention*, réalisé avec Emio Greco | PC (Pieter C. Scholten), est fondé sur l'analyse d'un atelier de formation approfondie que ces artistes ont créé en 1996 sous l'appellation *Double Skin/Double Mind (DSDM)*. Cette analyse a identifié plusieurs thèmes (par exemple, respirer, sauter, élargir) et permis de réaliser une installation interactive susceptible de transmettre les principes de la formation DSDM<sup>7</sup>. Ce projet a bénéficié de la collaboration étroite de Frédéric Bevilacqua, responsable de l'équipe Interactions son, mu-

sique, mouvement à l'Ircam<sup>8</sup>, et de son travail sur le « suivi de mouvement ». Le suivi de mouvement emploie un système de reconnaissance « fondé sur un ensemble d'exemples catégorisés permettant à l'ordinateur d'"apprendre"<sup>9</sup>. » Selon cette approche, des séquences de mouvement extraites de l'atelier DSDM ont été enregistrées en vidéo et combinées à des données recueillies simultanément grâce à des accéléromètres fixés sur le corps du danseur effectuant ces mouvements. Associées à des annotations effectuées manuellement, ces données ont permis de « former » le suivi de mouvement au cours d'une série d'expériences qui ont produit des « paradigmes d'interaction<sup>10</sup> » incorporés ensuite à l'installation interactive DSDM (fig. 2).

Dans le cadre de ces deux projets (*Choreographic Agents* et *Capturing Intention*), les chercheurs ne se sont préoccupés ni de la gestion ni du stockage des données sur le long terme. Le travail de codage a généralement porté sur l'application immédiate et non sur la réalisation d'infrastructures de conservation ou de diffusion des données. Pour *Synchronous Objects for One Flat Thing, reproduced*, fondé sur l'utilisation d'Internet et initié par William Forsythe, une tout autre approche a été adoptée. Forsythe et son équipe de l'Ohio State University ont essentiellement cherché à permettre aux publics de visualiser la complexité d'une organisation chorégraphique. Le matériau source de ce projet était une représentation de *One Flat Thing, reproduced*, chorégraphie conçue par Forsythe, filmée en haute définition, analysée, décodée et quantifiée sous la forme de données susceptibles de produire des visualisations sur un site Internet (fig. 3). À partir d'annotations manuelles, l'analyse a consisté à appliquer des systèmes de codages correspondant à trois types de structure chorégraphique (signaux de départ, alignements et matériau thématique). Ces structures ont ensuite été traitées selon deux catégories de données, *Spatial* (coordonnées des danseurs dans l'es-

pace) et *Attribute* (élaborée à partir des témoignages directs des danseurs sur la structure chorégraphique)<sup>11</sup>.

Parallèlement au développement de *Synchronous Objects* et à la suite du lancement du site Internet de ce projet en 2009, William Forsythe et une autre équipe se sont lancés dans un nouveau projet, appelé *Motion Bank* [Banque de mouvements]. Il s'agissait de continuer à étudier comment la conception assistée par ordinateur pouvait permettre la diffusion d'« idées chorégraphiques » auprès de toutes sortes de danseurs et de chorégraphes<sup>12</sup>. Comme dans le cas de *Synchronous Objects*, la quantification en données des chorégraphies des artistes invités pour *Motion Bank* a fait appel à la fois à l'annotation manuelle et au traitement informatique. Deborah Hay, chorégraphe invitée, s'est démarquée des approches des autres artistes; selon elle, « le mouvement peut changer, mais la chorégraphie proprement dite ne change pas<sup>13</sup>. » Son projet a consisté en l'enregistrement de vingt et une adaptations d'un solo qu'elle a créé sous le titre *No Time to Fly*. Ces enregistrements ont été synchronisés, annotés et appliqués à l'analyse du parcours suivi par chaque danseur (fig. 4). L'un des principaux résultats de cette recherche réside dans l'identification de mouvements inattendus dans toutes les adaptations, découverte impossible à réaliser sans l'aide de la technologie numérique. *Motion Bank* poursuit actuellement l'étude de cet ensemble de données chorégraphiques dans le cadre de *Choreographic Coding Labs* et d'autres projets de recherche et de création<sup>14</sup>. En outre, *Motion Bank* développe de nouveaux logiciels destinés à être utilisés par les danseurs pour enregistrer, annoter et présenter des corpus de données chorégraphiques, et mettre ces données à la disposition d'autres chercheurs et artistes afin qu'elles soient analysées, transformées et enrichies<sup>15</sup>. ■

Traduit de l'anglais par Jean-François Cornu

/4. «Choreographic Agents» a été mis au point dans le cadre de FIELD, logiciel en accès libre conçu par Downie avec l'OpenEndedGroup. Voir <http://openendedgroup.com/field/> (dernière consultation le 28 janvier 2018).  
/5. Voir Luke Church, Nick Rothwell, Marc Downie, Scott deLahunta et Alan Blackwell, «Sketching by Programming in the Choreographic Language Agent», dans *Proceedings of the Psychology of Programming Interest Group Annual Conference* (2012), p. 163-174. /6. *Atomos* a été présenté pour la première fois à Londres. Une capture en vidéo de l'utilisation de *Becoming* dans le studio est consultable sur <http://waynemcgregor.com/productions/atomos> (dernière consultation le 28 janvier 2018). Voir James Leach et Scott deLahunta, «Dance Becoming Knowledge: Designing a Digital "Body"», *Leonardo*, vol. 50, no 5, 2017, p. 461-467. /7. Voir Bertha Bermúdez Pasqual, «Double Skin/Double Mind: Emio Greco | PC's interactive installation», dans Maaike Bleeker (dir.), *Transmission in Motion*, op. cit., p. 91-98. /8. Voir le site de l'IRCAM «Sound, Music, Movement Interaction»: <http://ismm.ircam.fr/> (dernière consultation le 28 janvier 2018). /9. Frédéric Bevilacqua, «Momentary notes on capturing gestures», dans Scott deLahunta (dir.), *Capturing Intention: Documentation, analysis and notation research based on the work of Emio Greco|PC*, Amsterdam, Emio Greco|PC et Amsterdam School of the Arts, 2007, p. 28. /10. *Ibid.*, p. 30. /11. Voir Norah Zuniga Shaw, William Forsythe et Maria Palazzi, «Dance, Data, Objects», *Synchronous Objects*, The Ohio State University, 2009 (<https://synchronousobjects.osu.edu/assets/objects/introduction/danceDataObjectEssays.pdf>); dernière consultation le 9 octobre 2017). /12. Voir Scott deLahunta, «Publishing Choreographic Ideas: Discourse from Practice», dans Edith Boxberger et Gabriele Wittmann (dir.), *pARTnering documentation: approaching dance, heritage, culture*, Munich, epodium Verlag, 2013, p. 18-25. /13. Deborah Hay, *No Time to Fly: a solo dance score written by Deborah Hay*, 2010 ([http://x.motionbank.org/ntf\\_score/ntf\\_score.pdf](http://x.motionbank.org/ntf_score/ntf_score.pdf)); dernière consultation le 10 janvier 2018). /14. Voir le site Motion Bank Documentation: <http://motionbank.org/>; la chorégraphie en ligne de Deborah Hay: <http://scores.motionbank.org/dh/>; Choreographic Coding Labs: <http://choreographiccoding.org/> (dernière consultation de ces trois sites le 28 janvier 2018). /15. Anton Koch, «Dance Becoming Data Part Two: Conversation between Anton Koch and Scott deLahunta», *Computational Culture, a Journal of Software Studies*, n° 6, numéro spécial «Computing the Corporeal» (<http://computationalculture.net/>); dernière consultation le 21 janvier 2018).

# Programmer l'art littéraire

PAR **NICK MONTFORT**, PROFESSEUR DE MÉDIAS NUMÉRIQUES AU MIT (UNIVERSITÉ DE BOSTON)

Coder et recoder l'écriture: au risque du pléonasm, des écrivains attachent leur langue et leur grammaire au développement des langages informatiques. D'un devenir algorithmique de la littérature? Très engagé dans les médias numériques, Nick Montfort pose quelques jalons pour cette poésie du codage.



The Policeman's Beard Was Half Constructed © Nick Montfort

On a beaucoup glosé sur la littérature combinatoire. Au XIII<sup>e</sup> siècle, le moine catalan Ramon Llull met au point des combinaisons pour produire des propositions toutes vraies sur la bonté de Dieu. Le satiriste Jonathan Swift décrit une machine pouvant servir à imprimer des articles universitaires combinatoires. Plus près de nous, l'imaginaire foisonnant du Polonais Stanislaw Lem et de l'Italien Italo Calvino ont permis aux lecteurs de comprendre le potentiel de l'écriture combinatoire.

Aujourd'hui, malgré la crainte qu'inspire à certains la littérature produite par ordinateur, nous sommes parvenus à une passionnante étape historique. Car cette forme de littérature a désormais une histoire. On réalise depuis des décennies des programmes de production littéraire de toutes sortes, nés au sein de traditions littéraires et informatiques fort différentes. Nous ne sommes pas encore parvenus à une norme unique d'écriture de

ces programmes; ceux qui les élaborent – écrivains, programmeurs, chercheurs, parfois réunis en une seule et même personne – se livrent à de prolifiques explorations et expérimentations. Ce bref panorama évoque quelques grandes tendances de la littérature produite à l'aide d'algorithmes.

## DE LA PERMUTATION AUX GRAMMAIRES

À la suite de Llull, le peintre et poète Brion Gysin s'est lancé, au cours des années 1960, dans l'écriture manuscrite de poèmes fondés sur la permutation. L'un d'eux est construit sur toutes les permutations des mots «KICK THAT HABIT MAN» [Laisse tomber cette habitude, mec]; un autre permute les mots d'une version anglaise du verset de la Bible «I AM THAT I AM» [Je suis celui qui est]. Ce processus a été automatisé avec l'aide du mathématicien Ian Sommerville.

Auparavant, en 1959, l'informaticien allemand Theo Mutz avait constitué un ensemble de sujets et d'objets extraits du roman de Kafka *Le Château* et présenté des paires de propositions échantillonnées de manière aléatoire dans ses «Stochastische Texte». Les résultats sont fascinants car le vocabulaire et la syntaxe sont kafkaïens: «UN ŒIL EST MUET. AUCUN CHÂTEAU N'EST OUVERT.» C'est peut-être Christopher Strachey qui, en 1952, est à l'origine de la première génération de langage créatif obtenu à l'aide un ordinateur numérique généraliste, avec un court programme réalisé sur le Ferranti Mark 1. Il a produit de brèves lettres d'amour à partir d'un modèle de formulation et une grammaire à peine plus complexe que celle de Lutz, avec des résultats surprenants comme «Mon ardeur chérit bizarrement ton désir tendre» {MY EAGERNESS CURIOUSLY TREASURES YOUR FOND LONGING}. Ce projet ne relève précisément ni de la poésie ni de la fiction, mais constitue une forme extraordinaire d'écriture expérimentale.

En 1961 au MIT, Victor H. Yngve travaille à la conception d'un système de traduction automatique. Il veut prouver qu'en partant d'une

représentation abstraite, il est possible de produire une phrase à l'aide d'une grammaire d'un type plus élaboré permettant la récurrence. À partir de dix phrases extraites d'un livre pour enfants en anglais et sans même avoir l'intention d'écrire un générateur de poèmes, Yngve écrit la grammaire la plus simple possible, capable de produire toutes ces phrases.

## PROGRAMMES MINIMAUX

Une brève remarque sur les programmes qui ne produisent que deux mots différents, à l'image de l'ordinateur binaire. En 1989, par exemple, Michal Murin écrit *Random Poetry* [Poésie aléatoire] et n'imprime que les mots «oui» et «non» en slovaque. En 1990, Geert Mul produit *Toen en Nu* avec un programme AmigaBASIC, révisé pour Internet en 2017 sous le titre *Then and Now*.

## JEU ET INTERACTION

L'informatique est également imbriquée dans la littérature car il existe des langages de programmation susceptibles d'être utilisés à des fins poétiques. Dans *Poèmes ALGOL* de Noël Arnaud (1968), les mots-clés français définis par la norme ALGOL 68 sont remixés sous une forme poétique et servent à créer des rébus et des énigmes visuelles. *Poèmes ALGOL* est un exercice ludique réalisé avec ce langage informatique, mais ne propose pas de programmes valides; la création de poèmes qui soient également exécutables est une pratique plus récente, que l'on range dans la catégorie «poésie du codage». Ces poèmes sont souvent en vers rimés mais, bien qu'ils soient censés constituer des programmes valides, il n'est pas nécessaire qu'ils fassent quoi que ce soit, ni même quelque chose d'intéressant. On trouve des exemples plus sophistiqués d'art du codage dans des pratiques comme l'élaboration de codes impénétrables: l'effet voulu est obtenu par la manière dont le programme fonctionne, avec ses aspects complexes et difficiles à comprendre, et par sa forme visuelle. Bien entendu, les ordinateurs permettent aux utilisateurs d'interagir avec eux et de créer des textes. C'est notamment possible dans une situation où l'ordinateur est autonome, comme dans la célèbre simulation informatique d'un psychiatre, appelée ELIZA – à moins que ce ne soit une parodie de psychiatre –, où l'ordinateur entretenait des conversations simples, mais surprenantes avec des gens sur un téléscripteur. ELIZA est considérée comme le premier personnage informatique.

Si l'on s'intéresse à ce qui se passe lorsque le nombre de participants humains augmente et que le rôle de l'ordinateur est réduit, on est en présence d'une écriture collaborative en réseau. L'un des premiers exemples de cette forme d'écriture collective utilisant l'informatique est l'invitation lancée par Jean-François Lyotard à vingt-six intellectuels à répondre à des messages de guidage et à participer à une écriture collective en ligne à l'aide du Minitel, dans le cadre de la fameuse exposition *Les Immatériaux* en 1985. De nombreux projets ont montré qu'il est aussi possible de faire intervenir l'ordinateur afin de restreindre certaines interventions lors de conversations à plusieurs (avec l'application de contraintes utilisées par l'Oulipo, par exemple) ou de traiter et de manipuler les écrits produits par les humains.

## GRANDS SYSTÈMES, GÉNÉRATION

### EN PROFONDEUR ET EXPÉRIENCES ISOLÉES

Tandis que certains projets n'emploient qu'une seule technique – permutation, production de textes à partir d'une grammaire, interaction et utilisation de textes rédigés par des usagers –, il existe des tentatives significatives de développement de systèmes à grande échelle possédant une architecture très élaborée et un grand nombre de modules différents. Racter, l'un des tout premiers du genre, également utilisable avec un ordinateur personnel, a servi à la rédaction d'un livre intitulé *The Policeman's Beard Was Half Constructed* [La barbe du policier est à demi construite] (1984). Plusieurs décennies plus tard, le système ETC (Electronic Text Composition/Eric T. Carter) a été utilisé pour la présentation d'une exposition et la composition d'une brochure. Il a également servi à faire des canulars en produisant, par exemple, une anthologie littéraire de 3 785 pages, *Issue 1* (2008), dans laquelle les poèmes créés par ordinateurs ont été attribués à des poètes vivants, ce qui a provoqué un tollé dans certains milieux de la poésie nord-américaine et des éclats de rire dans d'autres.

Dans la production de nouvelles, le programme Mexica de Rafael Pérez y Pérez constitue l'exemple fascinant d'un système fondé sur des méthodes et des tentatives symboliques (plutôt que statistiques) de modélisation du processus d'écriture. Ce système a été mis au point pour raconter des histoires concernant les habitants du Mexique préhispanique. Il modélise le principe de participation-réflexion de l'«écriture créative», comportant une période consacrée à la «rêverie»

et à la production d'idées, suivie d'une phase de critique et de modification. Ce processus peut se répéter plusieurs fois. Mexica est un générateur d'intrigues qui produit à présent des textes en espagnol et en anglais. Il existe un autre système hispanophone, mis au point à Madrid, appelé WASP, générateur de poèmes régi par des règles.

Au lieu de suivre une approche fondée sur «l'intelligence artificielle à l'ancienne», on peut adopter un modèle statistique formé à partir d'un corpus de textes littéraires. L'un des types les plus simples considère les probabilités conditionnelles des lettres, des mots et autres «grammes», par séquences d'un ou deux de ces éléments, voire plus; il est connu sous le nom de modèle «n-gramme». Le programme Mark V. Shaney est l'un des premiers exemples de production de textes littéraires. Développé au début du XXI<sup>e</sup> siècle, le logiciel libre Gnoetry est une plateforme très utilisée pour la production statistique de poésie en anglais. Les techniques d'intelligence artificielle de niveau industriel, comme l'apprentissage profond, ont plus récemment influencé la création littéraire, par exemple avec le livre de Sofian Audry, *for the sleepers in this quiet earth* [pour ceux qui dorment en cette terre tranquille].

Malgré l'intérêt de ces projets de grande envergure, beaucoup d'œuvres littéraires fortes ne proviennent pas de la recherche universitaire, mais du développement isolé de «bots» Twitter et de personnes participant au «mois annuel de la production de romans» (National Novel Generation Month, NaNoGenMo), au cours duquel on demande à des programmeurs de produire des romans de 50 000 mots de n'importe quelle nature, à l'aide de n'importe quelle technique. Ces projets modestes, réalisés par des artistes-programmeurs individuels, ont donné naissance à des textes extrêmement élaborés; ces textes réclament du lecteur une attention poussée et évoquent particulièrement ce que Calvino appelait les «fantômes» culturels et personnels du lecteur. Dans ce domaine, il n'est pas indispensable de mettre en œuvre les ressources d'une université ou d'une entreprise de très grande taille; ce champ profite tout autant des écrits produits par des artistes-programmeurs individuels qui ne bénéficient guère de la reconnaissance traditionnelle. C'est pourquoi les liens qui s'établissent désormais entre informatique et littérature doivent susciter notre intérêt, sans nous les faire craindre. ■

Traduit de l'anglais par Jean-François Cornu

## FORUM VERTIGO:

### CODER-DÉCODER LE MONDE

DU MERCREDI 13 AU SAMEDI 16 JUIN

CENTRE POMPIDOU, PETITE SALLE

## CODER LE MONDE

### EXPOSITION

DU VENDREDI 15 JUIN

AU LUNDI 27 AOÛT

CENTRE POMPIDOU, GALERIE 4



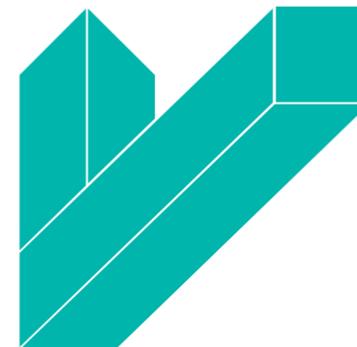
François Morelet,  
*Random Distribution of 40,000  
Squares using the Odd and  
Even Numbers of a Telephone  
Directory* Centre Pompidou -  
Mnam/CCI- Bibliothèque  
Kandinsky-Philippe Migeat  
© ADAGP, Paris 2018

## FRANÇOIS MORELLET

Peintre, graveur, sculpteur, François Morelet (1926-2016) est l'une des figures majeures de l'abstraction géométrique.

Son œuvre met en jeu les séries programmées, le jeu, les règles, toute la poésie de l'aléatoire et du chiffre. Les formes sont soumises à un ordre ou un système, procédant par superposition, fragmentation, juxtaposition, interférence. Morelet fut dans les années 1960 l'un des protagonistes de l'art cinétique. Sa pensée emprunte directement aux procédures mathématiques, réduisant la part de la subjectivité, hormis l'humour du protocole de départ, qui s'annonce souvent dans le titre. Ainsi l'œuvre reproduite par l'affiche de ManiFeste-2018 expose-t-elle directement son propre algorithme: «répartition aléatoire de 40 000 carrés suivant les chiffres pairs et impairs d'un annuaire de téléphone, 50% bleu, 50% rouge.»

« Une expérience véritable doit être menée à partir d'éléments contrôlables en progressant systématiquement suivant un programme. Le développement d'une expérience doit se réaliser de lui-même, en dehors du programmeur. »  
François Morelet.



**STARTS RESIDENCIES**  
**2017-2020 : 45 résidences**  
**d'artistes dans des**  
**projets de recherche**  
**technologique**  
**en Europe**

## Journée **STARTS RESIDENCIES**

**Collaborations Art/Science en Europe: l'art**  
**comme facteur d'innovation technologique**

Une journée pour :

- Tout savoir sur l'initiative STARTS
- Rencontrer les artistes en résidence et les chercheurs avec lesquels ils collaborent
- Découvrir leurs prototypes
- Connaître les lauréats de l'appel 2018
- Débattre sur les enjeux de l'art et de l'innovation en Europe

[starts.eu/residencies](https://starts.eu/residencies)

**VENDREDI 15 JUIN**  
**12H-20H**  
**CENTRE POMPIDOU, PETITE SALLE**  
**Entrée libre**



è

le journal de la création à l'Ircam

[manifeste.ircam.fr](http://manifeste.ircam.fr)