

DISCOURS À L'INTERFACE DE L'ART DIGITAL D'YVARAL ET DE LA MUSIQUE MINIMALISTE¹

FRÉDÉRIC ROSSILLE

« *Le monde est un système de correspondances* »
Alexandre Scriabine

JEAN-PIERRE YVARAL, PIONNIER DE L'ART NUMÉRIQUE

Figure 1 : Yvaral dans son atelier du faubourg Saint-Antoine, préparant son exposition « Mona Lisa synthétisée », au Pavillon des Arts à Paris en 1984
→ <http://frederic-rossille.net/or-atelier-fb-St-Antoine.jpg>

Jean-Pierre Vasarely, dit Yvaral (1934-2002), est le second fils de Claire et Victor Vasarely. Il s'engage tout d'abord dans la voie de l'abstraction géométrique constructive, élaborant ses compositions à l'aide de formes géométriques simples. Dès 1959 il systématise ses recherches en noir et blanc et adopte une méthodologie plus rigoureuse, faisant disparaître la composition libre. En 1960, il est cofondateur du Groupe de Recherche d'Art Visuel (GRAV) avec Horacio Garcia Rossi, François Morellet, Francisco Sobrino, Joël Stein et Julio Le Parc. Pendant neuf ans il va y développer un langage géométrique des formes.

Figure 2 : « Recherches B&W » (1958)
→ <http://frederic-rossille.net/02-RecherchesB&W1958.jpg>

Pendant cette période (1960/68), il travaillera entre autres sur l'effet de moiré dont Abraham Moles nous dit qu'il correspond à l'émergence naturelle d'un super signe par « interférence » de structures périodiques. Dans le moiré, un ensemble de nouvelles formes apparaît qui n'étaient pas dans le réseau initial.

Lorsqu'en 1967-68, Yvaral aborde la couleur, elle devra se plier aux mêmes contraintes que les formes élémentaires : modulable, combinable, permutable, elle obéira à des

¹ Ce texte est celui d'une conférence donnée sous le titre « *Yvaral et la musique minimaliste* » le 22 juin 2013 au

lois systématiques de répartition.

Figure 3 : « Polygamme BV » 504 (1968, 84x72)
→ <http://frederic-rossille.net/o3-PolygammeBV1968.jpg>

Au cours de la décennie 1970, Yvaral élabore des séries à thèmes. La série "Structures cubiques" présente des tableaux évocateurs de réseaux cristallographiques ou d'agencements moléculaires.

Figure 4 : « Structure cubique profonde » 1391 (1973, 160x160)
→ <http://frederic-rossille.net/o4-StructureCubiquePfde73.jpg>

La série "Horizons structurés" met en scène des paysages synthétiques planétaires.

Figure 5 : « Horizon structuré LG » 1742 (1977, 200x200) [NOTE 1]
→ <http://frederic-rossille.net/o5-HorizonStructureLG1977.jpg>

A partir de 1975, Yvaral expérimente l'art numérique avec un outil archaïque : diapositives, cellules photoélectriques et luxmètres. Il réalisera ainsi ses premiers portraits, paysages et monuments « digitalisés ». A partir de 1985 il se servira de l'outil informatique pour scanner et traiter ses images à l'aide d'algorithmes, permettant ainsi leur exploitation permutationnelle [NOTE 2]. Les algorithmes choisis seront souvent simples et appliqués récursivement.

En définitive, la beauté des images numérisées d'Yvaral ne doit rien à l'ordinateur. Bien que régi par les nombres, il ne s'agit pas d'un art informatique. L'ordinateur ne sera utilisé que comme simple outil de calcul et l'artiste restera fidèle à la technique de l'acrylique sur toile de grande dimension.

Figure 6 : « Marilyn numérisée » MM664 (1995, 130x130)
→ <http://frederic-rossille.net/o6-MarilynNumerisee1995.jpg>

Figure 7 :
« Mona Lisa synthétisée » ML270, ML 274, ML265 et ML 267 (1985, 200x135 et 259x175)
→ <http://frederic-rossille.net/o7-MonaLisaSynthetiseeX4.jpg>

Parmi ses réalisations les plus connues du grand public, citons le logo de la régie Renault qu'il crée en 1972 et la façade du groupe RTL (au 22 rue Bayard à Paris) qu'il crée en 1970 en collaboration avec Vasarely.

Très grand lecteur d'ouvrages et de revues de vulgarisation scientifique, Yvaral avait une réelle passion pour la théorie des nombres et la recherche mathématique. Voici d'ailleurs ce qu'il dira au cours des années 1970 : « Personnellement je me sens

beaucoup plus proche d'un biologiste, d'un physicien, d'un mathématicien que d'un peintre traditionnel ... je travaille un peu comme dans un laboratoire, j'expérimente des phénomènes visuels ».

Ses sources d'inspiration seront en grande partie de nature scientifique avec « les nombres, les polygones et polyèdres, la chimie moléculaire, la cristallographie, les structures atomiques, l'univers, la beauté mathématique dans la nature, les structures tridimensionnelles, les calculatrices digitales » (cité in « Yvaral » de Jean-Clarence Lambert). Le Village des Bories avec ses cabanes construites par juxtaposition de pierres plates, à côté de Gordes dans le Vaucluse, aura aussi pu l'inspirer. De même la Chaussée des Géants avec ses orgues basaltiques de forme hexagonale sur la côte de l'Irlande du Nord, qui l'aura sans doute invité au « sentiment océanique » (Romain Rolland).

ABORDONS LES COURANTS MINIMALISTE ET POST-MINIMALISTE AVEC QUELQUES ŒUVRES DE CES RÉPERTOIRES [NOTE 3]

Terry Riley, La Monte Young, Steve Reich et Phil Glass auront été les pionniers de la musique minimaliste, un mouvement apparu dans les années 1960 aux États-Unis, en réaction au sérialisme de l'école de Darmstadt et à l'indéterminisme de l'américain John Cage [NOTE 4].

Les premières œuvres minimalistes utilisent un matériau assez dépouillé : bourdons chez La Monte Young, techniques de répétition par décalage de phase (« phasing ») chez Steve Reich, addition / soustraction de motifs chez Philip Glass.

L'esthétique de la musique minimaliste se fonde sur trois caractéristiques principales :

- le retour à une harmonie consonante en rupture avec l'avant-garde.
- la répétition de phrases, de figures ou de cellules musicales, avec ou sans variations graduelles.
- une pulsation régulière.

A ces trois traits fondamentaux il convient d'ajouter :

- la poursuite constante d'un processus clair et audible pendant toute la durée de l'œuvre afin que l'auditeur puisse comprendre comment l'œuvre est construite.
- le primat donné à l'organisation de la durée qui devient autant sinon plus importante que l'organisation mélodique qui prédominait depuis la Renaissance. Est ainsi respecté le dictum de John Cage, affirmant que « la durée - seul paramètre commun au son et au silence - doit être au cœur de la pensée compositionnelle ».

« Eight Lines », de Steve Reich (1979-83)

Steve Reich est un compositeur new-yorkais, né en 1936. Au sein des pionniers, il est considéré comme l'intellectuel et le théoricien du groupe. Son essai de 1968 intitulé « La musique comme processus graduel » a d'ailleurs valeur de manifeste de la musique minimaliste.

En 1979, il compose « Octet » que lui a commandé la radio de Francfort, une pièce écrite pour un ensemble concertant de huit instrumentistes. On y retrouve des influences de la cantillation hébraïque que l'auteur avait étudiée les années précédentes. En 1983, Reich fait une réorchestration de sa pièce qu'il rebaptise alors « Eight Lines ». Cette nouvelle version convoque un ensemble de seize musiciens. Un quatuor à cordes a été rajouté et l'ensemble des instrumentistes doublé ce qui permet une plus grande facilité d'exécution et un enrichissement des lignes mélodiques.

Eight Lines est une pièce composée d'un mouvement unique d'une durée de 15 à 18 minutes, écrit en mesure à 5/4 dans un tempo rapide. Elle est constituée de cinq sections pratiquement indissociables, avec des parties superposées qui assurent la continuité. L'ostinato syncopé du piano en est le moteur rythmique. Autour de lui évoluent des bois et des cordes qui imitent les figures pianistiques, développent leurs propres mélodies ou jouent des notes tenues dans l'arrière-plan sonore. La pièce utilise beaucoup d'imitations et l'impression globale est celle de variations minimales mais continues. Pour l'essentiel, l'œuvre semble ainsi relever d'un véritable « art permutatif ».

Steve Reich reconnaîtra partager une attitude commune avec les plasticiens du courant minimaliste et de l'art conceptuel (Richard Serra, Sol Le Witt, Bruce Nauman, Michael Snow ou Nancy Graves). Leurs travaux respectifs relèvent d'une communauté d'aspects géométrique et métaphorique, sans toutefois qu'il existe des influences réciproques directes.

➔ Ecouter la pièce « Eight Lines » interprétée par l'Ensemble Modern [NOTE 5] : <https://www.youtube.com/watch?v=4NpgyApXDg4>

« Manny's Gym », de John Adams (1996)

John Coolidge Adams est un américain de la côte Ouest, né en 1947 et qui revendique l'étiquette de compositeur « post-moderne » [NOTE 6]. Il fait cependant partie de la vague « post-minimaliste » qui apparaît en 1975 alors que les compositeurs vont commencer à intégrer dans leurs musiques des éléments plus riches : davantage de mélodie et d'harmonie, voire de contrepoint. Le « post-minimalisme » est un vaste mouvement regroupant diverses esthétiques. Une d'entre elles, le « minimalisme mystique », a pour chef de file le compositeur estonien Arvo Pärt dont le style propre

est qualifié de « tintinnabulum ».

Après avoir adopté un style en mosaïque, « melting-pot » de diverses influences, John Adams va écrire ses premières œuvres minimalistes, avec en 1984 la pièce « Harmonielehre » dont le titre fait allusion au célèbre traité d'harmonie d'Arnold Schönberg.

Prenant ses distances avec l'avant-garde européenne, John Adams dira au cours d'une interview de 2011 : « J'ai compris que la complexification progressive de la musique, calquée sur la science, était une impasse. J'ai une conception dionysiaque de la musique. (...), l'absence de centre tonal, de périodicité, a abouti à une musique pauvre, stérile, inexpressive, alors que parallèlement, le jazz, la soul, le rock touchaient des millions de gens » (in Libération, 11 juin 2011, cité par Guillaume Kosmicki in Musiques savantes).

« Manny's Gym est le second mouvement du concerto pour piano « Century Rolls ». Le titre « Manny's Gym » fait référence à la première « Gymnopédie » d'Erik Satie, écrite en $\frac{3}{4}$ sur un tempo lent et dont la pièce s'inspire. Avec sa « Première Gnossienne » et ses « Vexations » [NOTE 7], Erik Satie est considéré comme l'un des précurseurs de la musique minimaliste. « Manny » est aussi le surnom du pianiste Emanuel Ax pour qui l'œuvre a été écrite.

→ Ecouter la pièce : <https://www.youtube.com/watch?v=z--k4oIhHHI>

« Farewell to Philosophy », de Gavin Bryars (1995)

Écoutons maintenant un extrait du premier mouvement de « Farewell to Philosophy », un concerto pour violoncelle écrit par le britannique post-minimaliste Gavin Bryars, né en 1943. L'œuvre est dédiée au violoncelliste Julian Lloyd Webber.

→ Ecouter la pièce : <https://www.youtube.com/watch?v=kFDdodRRVoE>

Dans une interview de 1996, Gavin Bryars dit ne pas se sentir appartenir à un mouvement particulier, mais accepte cependant l'étiquette de « post-minimaliste ». D'après lui : « Il faut se rendre à l'évidence que le courant « tonal » n'est plus considéré comme anachronique mais comme parfaitement contemporain. (...) Écrire de la musique tonale n'est pas une démarche passéiste ». Et plus loin : « au XX^e siècle s'est peu à peu imposée l'idée que la musique est une discipline qui ne doit pas être compréhensible par Monsieur Tout-le-monde. Un postulat arrogant et sujet à caution ».

Alors qu'il était encore étudiant, il a arrêté ses études en philosophie pour commencer à écrire de la musique et s'orienter vers le bouddhisme zen. La pensée de Ludwig

Wittgenstein éclaire selon lui les bouleversements apparus à Vienne au tournant du siècle, notamment dans le domaine musical. Il aime beaucoup les musiques de cette période qui sont « dangereusement tonales » et ont « la tentation de l'Ailleurs » tout en restant fidèles à leurs racines. Et de citer ainsi les lieder de Wolf et Mahler, le Schoenberg des « Gurrelieder » ou de « La Nuit Transfigurée », le premier Zemlinsky.

Avec son concerto pour violoncelle, l'objectif de Gavin Bryars était de concevoir une œuvre à la fois lyrique et réfléchie. L'idée de départ était que sa pièce puisse se joindre à l'un des concertos de Haydn. Le sous-titre « Farewell to Philosophy » fait d'ailleurs référence à deux symphonies de Haydn : The Philosopher (n°22) et The Farewell Symphony (n°45).

« O Superman », de Laurie Anderson (1981)

La musique minimaliste a influencé un grand nombre de musiciens de la scène pop parmi lesquels Laurie Anderson, une artiste new-yorkaise née en 1947, réputée pour ses performances scéniques. « O Superman » est un morceau datant de 1981 qu'elle a interprété au Town Hall de New York le 19 septembre 2001, quelques jours seulement après les attaques du 11 septembre. Les paroles apocalyptiques de cette chanson « This is the hand, the hand that takes / Here come the planes / They're American planes. Made in America / Smoking or non-smoking ? » - y prirent une consonance toute particulière. Le texte évoque en effet une attaque par des avions américains. Laurie Anderson s'est inspirée de l'aria « Ô Souverain, ô juge, ô père » (O Sovereign, O Judge, O Father) de l'opéra Le Cid de Jules Massenet (1885). Elle cite également Hérodote et le Tao Te Ching.

La musique de « O Superman » consiste en l'alternance de deux accords (la bémol majeur et do mineur) sur une note pédale (do 3) jouée tout du long par la répétition continue de la syllabe « Ha » selon une pulsation de 150 par minute. Le chant est traité par un vocoder.

Empruntant au monde sonore du minimalisme sans toutefois respecter les codes de la révolution formelle de ce mouvement, cette musique est plus volontiers « minimale » que « minimaliste ».

→ Ecouter la pièce : https://www.youtube.com/watch?v=bk_-fLpmM4E
→ Paroles de « O Superman » : <http://www.teenagewildlife.com/Songs/O/OS.html>

« 1919 », de Ryuichi Sakamoto (1996)

Ce compositeur et interprète d'origine japonaise est né en 1952. Il vit actuellement entre New York et Tokyo. En 1978 il s'associe aux musiciens Haruomi Hosono et Yukihiro Takahashi pour fonder le groupe de technopop « Yellow Magic Orchestra ».

Très influencé par le mouvement minimaliste, Ryuichi Sakamoto compose en 1983 la musique du film « Merry Christmas Mr. Lawrence » de Nagisa Oshima, une musique qui le fera instantanément accéder à une notoriété internationale.

Sa pièce « 1919 » est écrite pour un trio piano, violon, violoncelle. Son rythme en spirale procure une sorte d'équivalent sonore de l'effet visuel de moiré. Un enregistrement de la voix de Lénine figure dans l'arrière-plan. C'est le 2 mars 1919 que Lénine prononça le discours d'ouverture du premier congrès de l'Internationale Communiste.

➔ Ecouter la pièce :

<https://www.youtube.com/watch?v=rKwM2r5FR2k&list=PLmBa5agNe6fUs6TZBXDvPJzFB57tGtpVb&index=5>

« Dream Colored Mobile » Op.58, de Takashi Yoshimatsu (1993)

Takashi Yoshimatsu est un compositeur japonais né en 1953. Il est considéré au Japon comme le porte-drapeau du néo-romantisme. Sa pièce « Mobile aux couleurs de rêve » emploie des procédés hérités du minimalisme. Une première version a été écrite pour saxophone, harpe et quatuor à cordes. L'interprète Joe Sakimoto est à l'harmonica dans la version que je vous propose d'écouter aujourd'hui.

➔ Ecouter la pièce : <https://www.youtube.com/watch?v=SNDxk-G4hwU>

NUMÉRIQUE VERSUS ANALOGIQUE : DEUX MONDES EN UN ?

En architecture, l'escalier - qui avance par marches - n'est-il pas la traduction numérique de la pente - continue ?

Les traditions ancestrales de la mosaïque et de la tapisserie sont l'expression d'une pensée numérique avant l'heure. Dans son essai « Art numérique, art combinatoire », Stanley Hopkins prend pour exemples les mosaïques d'une cour de Délos ou d'une fontaine de Pompéi, les tapisseries de l'Apocalypse d'Angers ou de La Dame à la licorne.

Le code morse inventé en 1832 pour la télégraphie est un code numérique très simple, n'utilisant que deux caractères pour coder toutes les lettres de l'alphabet, les chiffres et quelques signaux. Il est considéré comme le précurseur des communications numériques.

En arts plastiques, les gammes colorées étalonnées de Vasarely et d'Yvaral sont la traduction numérique du dégradé subtil obtenu par le coup de pinceau. Le cercle

chromatique de l'infrarouge à l'ultraviolet déroule ses couleurs sur un intervalle d'octave. Isaac Newton décomposa ce cercle en sept couleurs qu'il fit correspondre aux sept notes de la gamme diatonique. Yvaral le décomposera en douze couleurs pouvant être mises en correspondance avec les douze sons de la gamme chromatique. Dans une démarche mystique, Alexandre Scriabine (1872-1915) tentera de créer « un tout » capable d'exprimer les liens vibratoires qui relie la musique à l'univers. Il cherchera à établir des correspondances entre le cycle des tonalités, le spectre chromatique et les états spirituels. Son « accord mystique » (do fa# sib mi la ré) en sera l'expression ultime.

Figure 8 :

Voici un diagramme montrant les correspondances entre tonalités, couleurs et états psychiques imaginées par Scriabine (inspiré de l'article « Sons et couleurs » de Patrick Crispini).

→ <http://frederic-rossille.net/o8-TonalitesCouleursEsprit.jpg>

Environ dix ans après la découverte en 1953 de la structure en double hélice de l'ADN, Marshall Nirenberg déchiffre le code génétique. Ce code fait correspondre le langage de quatre lettres de l'ADN (les quatre bases nucléiques Adénine, Cytosine, Guanine, Thymine) avec le langage de vingt lettres des protéines (les vingt acides aminés qui les constituent). Pour passer d'un alphabet de quatre lettres à un de vingt lettres, la nature utilise un code qui obéit à un programme logique : chaque acide aminé sera codé par un groupe de trois bases successives appelé « codon ». Un tel dispositif génère soixante-quatre codons différents ce qui est amplement suffisant pour coder chaque acide aminé. Ainsi, une logique mathématique « naturelle » est intervenue au moment de la mise en place du code génétique qui est utilisé par toutes les formes de la vie terrestre.

La physique classique présuppose que la matrice du monde est de nature continue. Leucippe et Démocrite avaient bien postulé un monde constitué d'atomes insécables, et avec sa monadologie Leibniz imaginait une substance simple entrant dans tous les composés de l'univers. Cependant, à l'époque de Leibniz, Isaac Newton (1642-1727) élaborait la mécanique classique et découvrait les lois de la gravitation universelle, tous domaines faisant intervenir des valeurs continues pour les mesures des longueurs, des masses, des forces et du temps. Cette conception du continu en physique ne fut remise en cause que 200 ans plus tard avec l'arrivée de la mécanique quantique : Max Planck et sa théorie du corps noir en 1900, suivi par Albert Einstein et son interprétation de l'effet photoélectrique en 1905. L'hypothèse d'un fonctionnement discret de la matière à l'échelle de l'infiniment petit annonçait l'arrivée d'un changement de paradigme révolutionnaire. Au jour d'aujourd'hui, la grande unification de la relativité générale et de la mécanique quantique dans une théorie du tout (gravitation quantique) demeure le Graal de la physique contemporaine. Certains scientifiques émettent l'hypothèse que macrocosme, mésocosme et microcosme pourraient obéir à des lois physiques

différentes. Comme les tableaux d'Yvaral vont nous le montrer, le fonctionnement de l'univers changerait-il selon l'échelle d'observation ? Y aurait-il à la fois plusieurs univers ... et un seul ? Un univers unique mais en même temps multiple ? Jusqu'à présent, seules les religions ont pu imaginer des dogmes reposant sur des conceptions aussi étranges...

L'influx nerveux est une activité électrique qui se transmet le long de l'axone sous la forme d'une séquence de potentiels d'action. Le codage des messages nerveux fait intervenir le nombre de potentiels d'actions émis, leur fréquence, leur organisation en salves et leur durée. Il s'agit donc d'un codage séquentiel, discret. Et ce codage fonctionne de manière identique dans le domaine sensitif (axones issus d'un récepteur sensoriel), le domaine moteur (axones à destination d'une cellule effectrice) et central (entre deux neurones à l'intérieur du névraxe).

La musique occidentale classique est polyphonique et tonale. Elle repose sur une double discrétisation : celle de l'espace continu des hauteurs et celle de l'échelle temporelle. Les vibrations étant une fonction du temps, la discrétisation de l'espace des hauteurs peut être envisagée comme un cas particulier de celle du temps. La musique en tant qu'art combinatoire temporel est donc un art numérique. L'arrivée des techniques sonores digitales n'y a rien changé ! Mais allons plus loin. L'échelle tempérée divise l'intervalle d'octave en douze demi-tons égaux également répartis. Elle permet de construire toutes sortes de gammes dont les gammes heptatoniques majeures et mineures qui dérivent des anciens modes ecclésiastiques et caractérisent notre système tonal. Il existe une concordance quasi parfaite entre la série des harmoniques données par la résonance naturelle du corps sonore et les hauteurs prescrites par le tempérament égal. Le fonctionnement de la nature - ici la résonance naturelle - obéit ainsi presque parfaitement à une loi mathématique rigoureuse ! La concordance est « inouïe », à tel point que nos oreilles ne font que difficilement la différence entre les deux systèmes. Et c'est cette concordance qui nous permet de moduler dans tous les tons sans avoir la nécessité de changer d'échelle. Le tempérament égal, cette mathématisation de l'espace des hauteurs, a ainsi ouvert le système tonal à un champ infini de possibilités [NOTE 8]. Entre 1722 et 1744, Jean-Sébastien Bach l'utilisera pour écrire ses deux livres du Clavier bien tempéré qui contiennent chacun vingt-quatre préludes et fugues écrits dans tous les tons et demi-tons de la gamme.

MAIS ALORS ... LE MONDE EST-IL DE NATURE DISCRÈTE OU CONTINUE ?

On peut être tenté d'imaginer que le codage numérique - celui-là même utilisé par Yvaral - est « un mode d'être » très répandu dans l'Univers. Certes le mésocosme se présente à nous dans une apparente continuité, mais les avancées récentes de la physique laissent à penser qu'à l'échelle du microcosme le monde est de nature

quantique, discrète, discontinue. Et cette discrétisation du réel qui concerne la matière pourrait également s'appliquer à l'espace et au temps, possiblement eux-aussi de nature discontinue aux plus petites échelles. Le continu ne serait-il alors qu'une abstraction mathématique, un idéal jamais atteint ?

Les œuvres digitalisées d'Yvaral traduisent très habilement et très clairement ce nouveau paradigme. Vus d'une certaine distance, les visages digitalisés de Marilyn ou de La Joconde nous apparaissent dans tous leurs détails et c'est alors le monde du continu qui s'offre à notre regard. En vision rapprochée, disparaissent Marilyn et La Joconde, et c'est la trame du tableau avec ses unités élémentaires (carrés, rectangles, hexagones, cercles, parallélogrammes, etc.) qui nous plongent soudain dans le monde du discret. Le changement d'échelle nous a fait basculer d'un monde à l'autre.

L'organisation discrète du monde semble avoir cependant quelques exceptions sérieuses dans la nature. Bien que l'univers ne soit pas de nature fractale, nous savons depuis Benoît Mandelbrot (1924-2010) que beaucoup d'objets naturels expriment une géométrie fractale caractérisée par une autosimilarité indépendante de l'échelle. Les fractales constituent l'exception à la règle énoncée par le physicien Charles-Eugène Guye (1866-1942) selon laquelle « c'est l'échelle qui crée le phénomène ». Les exemples de structures fractales fourmillent dans la nature, du flocon de neige au modèle-même d'univers fractal, en passant par les nuages, les montagnes, les réseaux des rivières, les côtes découpées de Bretagne ou des Everglades en Floride, les rocs de Bryce Canyon ou de Capitol Reef, les arbres et les fougères, les poumons, les vaisseaux sanguins, etc. Or, si certains objets naturels font preuve d'autosimilarité, n'est-ce pas là une victoire du continu sur le discret ? Tout au moins une forme de continuité ou de régularité entre les différents niveaux hiérarchiques de la matière.

Dans le domaine sonore, le bruit blanc regroupe toutes les fréquences audibles. Il présente une temporalité fractale : que l'on étire ou que l'on compresse ce bruit dans la durée, il restera toujours égal à lui-même. De par sa nature, la musique tonale relève dans une certaine mesure d'une logique fractale : ce sont en effet les mêmes lois tonales qui s'appliquent ici à l'échelle de la cellule (motif, accord), de la phrase (enchaînements harmoniques, cadences) et de la pièce (modulations). Cette logique fractale participe certainement pour beaucoup dans le sentiment d'unité que nous éprouvons à l'écoute d'une pièce tonale. Les musiques modales, dodécaphoniques, sérielles, électro-acoustiques expriment également certaines propriétés fractales. Et l'on peut même imaginer des constructions sonores se déroulant dans le temps selon des processus obéissant à des mathématiques fractales, sortes de traductions sonores de ces images fascinantes que nos ordinateurs calculent.

ADONNONS-NOUS MAINTENANT AU JEU DES CORRESPONDANCES ENTRE ART NUMÉRIQUE ET MUSIQUE MINIMALISTE

I. UNE CONCEPTION MODULAIRE

Les œuvres d'Yvaral sont constituées de modules combinables, assemblés selon des systèmes rigoureux

L'artiste utilise une bibliothèque de formes et de couleurs. On y retrouve les figures fondamentales qui, d'après Oskar Schlemmer et les fondateurs du Bauhaus, seraient les véritables « atomes » d'une perception intelligible : cercles, triangles équilatéraux, carrés, losanges, segments, prismes, etc., le tout constituant un magasin de morphèmes modulaires qui n'aurait pas déplu à Galilée [NOTE 9]. Les modules sont choisis de façon à ce qu'ils soient capables de réaliser un pavage du plan. La signification de l'œuvre émergera indépendamment de la nature des éléments de base qui la constituent et c'est d'ailleurs une des lois de la théorie de la forme que celle-ci soit indépendante de la nature de ses éléments.

Dans cet art du jeu visuel sur la limite, il existe un seuil au niveau duquel notre vision oscille entre deux niveaux d'analyse : celui des modules et celui des contours induits par leur assemblage. De la tension géométrique entre les éléments et l'ensemble découle un conflit entre les différentes modalités de la perception. Cette tension représente selon Abraham Moles « la dialectique même de l'intelligence, la dialectique de la partie et du tout ». Et il insiste sur l'idée que cette dialectique de la reconnaissance se joue ici non pas entre forme et fond comme dans la Gestalt, mais entre globalité (en vision distante) et élémentarité (en vision rapprochée).

Mais cette dialectique global-local peut également se concevoir comme une dialectique ordre-chaos. Expliquons-nous. En vision rapprochée, l'image globale signifiante disparaît. Elle n'est plus là pour donner à chaque élément son sens, le rôle qu'il assume dans le tout. Les jeux de variations d'intensités et de nuances sur chaque élément pris séparément nous apparaissent alors comme aléatoires. Le tableau et son système - son mode d'élaboration - sont alors perçus comme de nature chaotique. Lorsque la vision s'éloigne et que l'image globale réapparaît, chacun des composants de l'ensemble retrouve son sens, celui de supporter l'image globale, celui d'être une des pièces du puzzle placée au bon endroit. Il apparaît ainsi que selon l'échelle d'observation, le tableau et son système d'élaboration seront perçus selon un mode soit ordonné, soit chaotique. La dialectique global-local peut donc également s'interpréter dans les termes d'une dialectique ordre-chaos.

« Le chaos était présent à l'origine du monde, et l'on peut à bon droit soutenir que c'est à la frontière de l'ordre – qui fige tout – et du chaos – qui bouleverse tout – qu'il peut y avoir évolution, émergence, surgissement, innovation, création. (...) Le site fertile est donc aux confins de l'ordre et du chaos ».

Jean-Claude Risset (in *Musique, recherche, théorie, espace, chaos*, 1991)

Les modules ayant été définis, construits, choisis, Yvaral appliquera sur eux les algorithmes qui vont définir leurs modalités d'assemblage. Ce seront des algorithmes souvent simples qui pourront éventuellement être employés selon un mode itératif. Une pensée structuraliste nous dirait volontiers que les modules sont le vocabulaire d'un texte dont les algorithmes constituent la grammaire générative. Comme chacun sait, le langage verbal est constitué de plusieurs niveaux hiérarchisés (l'alphabet, les mots, les phrases, le discours..) dont chacun a ses propres lois. Le langage est l'outil avec lequel s'exprime le discours lui-même porteur de sens. Quant au sens du discours artistique d'Yvaral, il participera du registre de l'apparition (apparition du visage de Marilyn ou de celui de La Joconde..) mais aussi de l'exploration de nos facultés cognitives comme nous le verrons bientôt.

Ainsi, Yvaral aura développé comme un thème l'idée que « le monde est toujours constitué d'éléments simples, assemblés selon certaines règles qui génèrent les formes » (Abraham Moles). Cette intuition est proche de l'idée leibnizienne des monades réglées pour s'accorder ensembles dans une harmonie préétablie. Comme dans un jeu de Lego, les patterns de base constitutifs de l'image pourront toujours être réassemblés pour constituer de nouvelles images.

La répétition des motifs dans les musiques minimalistes

Comme nous avons pu l'entendre dans nos exemples, des cellules musicales ou des motifs souvent très simples sont répétés à l'identique ou légèrement variés.

Compositeur et théoricien du mouvement minimaliste, auteur en 1974 de l'ouvrage « Experimental Music / Cage et au-delà », Michael Nyman avance l'idée que « les procédés répétitifs ont ainsi pour but avoué de détruire toute forme de relief sonore, notamment tout rapport perceptible entre une figure et un arrière-plan, toute idée contrastante, complémentaire ou secondaire » (cité par Mihai Iliescu, in *Le minimalisme en musique*). Le principe de la perception figure-fond – un des piliers de la théorie de la forme (gestaltisme) – semble bel et bien ignoré dans la musique minimaliste, tout au moins en théorie.

Le résultat est une musique hypnotique qui semble nier la temporalité, une musique qui, en raison de sa non-directionnalité, nous confine à un éternel présent. Est-ce à dire que la réception d'une œuvre minimaliste pourrait se condenser toute entière dans l'instant présent ? On devine qu'advient ici une tension entre un temps global et un temps local. La dialectique du conflit ainsi créé ne se joue plus dans l'espace comme chez Yvaral mais bien dans le temps, ce matériau impalpable mais néanmoins habité pleinement par la musique.

2. TRAME ET PULSATION

Yvaral introduit le concept de trame ou maille élémentaire d'un réel qu'il soumet à notre attention

Le processus de quantification du tramage définit un maillage spatial. Il constitue également un filtre de morphèmes dans le sens voisin de celui qu'attribuent à ce mot les théoriciens de l'information. Le traitement de l'image ne consiste pas simplement en une réduction de la quantité d'information. Il fera disparaître des détails qui seront reconstruits par la pensée. Reprenant les théories du philosophe américain William James, nous pouvons dire que nous projetons sur le stimulus la mémoire de nos interprétations. A un degré élémentaire, la psychologie de la forme (Gestalt theory) nous a appris que par un phénomène de « complétion » nous pouvons voir des choses qui n'existent pas, comme c'est le cas par exemple avec le célèbre motif de Kanizsa qui nous donne à voir un triangle en réalité absent. A un degré plus élevé, l'« effet Arcimboldo » traduit ce principe de la Gestalt qui veut que l'image prenne un sens indépendamment de la nature de ses éléments, une image pouvant même en cacher une autre. Le milanais Giuseppe Arcimboldo appliquera ce principe avec génie au XVI^{ème} siècle en peignant des natures mortes dans lesquelles fruits, légumes et fleurs se combinent pour faire apparaître le buste d'une allégorie. La jaquette du premier album du groupe Santana (« Santana », Columbia PC 9781, Août 1969) en est une des traductions modernes avec un dessin de Lee Conklin montrant une tête de lion composée de visages humains. Toutes ces compositions présentent plusieurs niveaux de lectures entre lesquels notre vision oscille.

Mais revenons un instant à la musique. A l'écoute d'une pièce, il peut nous arriver d'entendre des notes ou des traits ne figurant pas sur la partition mais que notre mémoire musicale – notre « oreille » - aura restitués. Ceci suppose une oreille musicale éduquée, préalablement formatée selon la logique propre au système musical utilisé. La musique tonale mettant en jeu la résonance naturelle, on pourra s'interroger ici sur la part respective de l'inné et de l'acquis dans le processus. Le phénomène de « pseudo-polyphonie » est un procédé typique de la musique baroque qui a été décrit par la musicologue Diana Deutsch. Deux mélodies en battues alternées séparées par de larges intervalles et jouées à la même voix donneront à entendre deux voix indépendantes, chacune dans son propre registre. Notre oreille restitue ici des lignes mélodiques qu'il était difficile d'observer dans la partition.

Les mécanismes visuels et auditifs que nous venons de décrire nous prouvent que de véritables processus de construction de la signification se mettent en place à partir des informations qui nous parviennent.

Le philosophe et théoricien des systèmes de communications, de la musique et des arts Abraham Moles (1920-1992) [NOTE 10] s'est passionné par les créations d'Yvaral. Il

dit : « En art, toute œuvre - pour peu qu'elle ne soit pas délibérément figurative, comporte une part projective plus ou moins importante dans laquelle l'individu projette ses propres structures sur l'objet qui lui est proposé » (in « Sur Yvaral »). De son côté, Victor Vasarely écrit en 1947 que « les langages de l'esprit ne sont que les super-vibrations de la grande nature physique ». De ces deux pensées presque en miroir l'une de l'autre, faut-il déduire que quelque chose d'impersonnel et d'universel advient quand nous sommes touchés par une œuvre de l'esprit ? Et n'est-ce pas l'aspiration de tout artiste d'exprimer cet impalpable impersonnel universel ?

Le concept de pulsation répond à celui de trame du réel

Nous avons déjà dit que les musiques minimalistes donnaient le primat à l'organisation de la durée. Mélodie et harmonie ne seront plus ici le centre-même de la musique mais serviront de support à l'information rythmique.

En découpant le temps par ses battements réguliers, la pulsation tisse un maillage temporel que nous pouvons comparer au maillage spatial de la trame chez Yvaral. Le support a changé, mais le concept de discrétisation d'un réel - qu'il soit spatial ou temporel - reste identique.

3. SIMPLICITÉ DE L'ÉCRITURE / COMPLEXITÉ DE LA FORME

La science contemporaine nous a apporté de nouvelles perspectives sur ce troisième infini qu'est l'infiniment complexe. A la fin du XIX^{ème} siècle, Henri Poincaré s'était déjà aperçu de l'extrême instabilité des solutions des équations du mouvement pour trois points matériels pesants (« problème à trois corps »). En 1961, le météorologue Edward Lorenz (1917-2008) découvre la théorie du chaos et lance sa célèbre métaphore de l'« effet papillon » qui décrit l'extrême sensibilité d'un système aux conditions initiales. En biologie, pensons à la structure des protéines, ces longues chaînes linéaires (2D) d'acides aminés capables d'adopter des conformations spatiales (3D) extrêmement complexes qui vont être à l'origine de leurs actions enzymologiques, immunologiques, hormonales, etc.

La littérature de science-fiction s'est emparée de cette nouvelle complexité et du concept d'émergence qui affirme que le tout est décidément bien plus que la somme de ses parties. Dans son roman « L'invincible », Stanislas Lem (1921-2006) imagine sur une planète lointaine l'existence de myriades de petits objets métalliques qui, se regroupant en nuages, peuvent soudain s'animer pour traquer et détruire de nouveaux arrivés (un mode d'action comparable à celui des anticorps sur les corps étrangers). Dans son roman « La proie », Michael Crichton (1942-2008) décrit un processus similaire qu'il transpose - en forme d'avertissement - dans notre monde naissant des nanotechnologies.

« Le minimalisme peut générer des structures assez complexes, qui n'ont cependant rien à voir avec la complexité « intellectuelle » de la musique sérielle », écrit Michael Nyman dans son texte « Against Intellectual Complexity in Music » (1993). Les phénomènes de décalage de phase (« phasing ») développés par Steve Reich peuvent être pris comme l'exemple parfait d'un procédé très simple capable de générer des effets sonores très complexes. De ce phénomène on peut certainement rapprocher la synthèse sonore par modulation de fréquence qui a été découverte en 1967 par John Chowning à l'université Stanford.

Yvaral évoque lui aussi la complexité : « ... L'organisation de mes tableaux rejoint la structure de la matière qui est constituée d'agencements d'éléments simples, lesquels, combinés entre eux, produisent des phénomènes complexes ». Au sein du GRAV, rappelons qu'il a beaucoup travaillé sur le phénomène de moirage dont les figures d'interférences ne sont pas sans rappeler les décalages de phase chers à Steve Reich.

Le principe du « maximum de fascination avec le minimum de moyens » semble ainsi parfaitement s'appliquer à nos deux domaines. La complexité émerge ici d'un traitement algorithmique rigoureusement programmé, appliqué sur des unités élémentaires de nature musicale ou plastique.

Musiques minimalistes et tableaux digitalisés n'intègrent pas les principes d'autosimilarité et d'indépendance d'échelle propres à l'infiniment complexe des objets fractals. Les œuvres dont nous parlons ici obéissent à la règle déjà énoncée de Charles-Eugène Guye selon laquelle : « c'est l'échelle qui crée le phénomène ». Les objets fractals constituent justement l'exception à cette règle.

4. LE RECOURS À DES UNIVERSAUX CULTURELS

Yvaral a choisi de numériser des images faisant partie de la conscience collective, des images aisément identifiables par le grand public

Ainsi en sera-t-il du portrait de La Joconde et de celui de Blaise Pascal, des photographies de Marilyn Monroe, d'Andy Warhol et de Salvador Dali...

A l'exception des hommages digitalisés à Pascal et Vasarely, Yvaral utilisera ces images comme un matériau brut qu'il fera se plier à toutes sortes d'algorithmes permutationnels. Ces figures universelles deviendront les schémas de répartition des modules élémentaires et des gammes colorées de l'artiste. Selon la belle formule d'Abraham Moles, elles seront des occasions d'explorations systématiques du « champ des possibles ». Grâce à elles, l'artiste pourra mener très loin le jeu des permutations tout faisant preuve d'une rigueur obstinée (à la manière du légendaire « Ostinato rigore » de Léonard de Vinci).

Les traditions musicales extra-européennes seront de grandes sources d'inspiration pour les musiciens minimalistes

C'est sous l'influence de ses anciennes terres colonisées d'Afrique et d'Orient que le minimalisme a vu le jour aux États-Unis. Les premiers minimalistes seront tous en contact avec les musiques extra-occidentales.

Pour Terry Riley ce sera la musique marocaine. Pour Steve Reich ce sera un voyage au Ghana pour y découvrir les percussions d'Afrique de l'Ouest. Sa pièce « Drumming » de 1971 est en partie le résultat de ce voyage. Reich s'initiera également au gamelan balinais sur la côte Ouest des États-Unis ainsi qu'à la cantillation hébraïque.

Terry Riley, La Monte Young et Philip Glass auront des contacts décisifs avec la musique indienne qui les influencera par ses formules mélodiques (râga), ses cycles rythmiques d'évolution lente (tal) et son espèce de bourdon (le tambura). En 1965, Philip Glass rencontre à Paris Ravi Shankar qui l'initie au sitar et à la musique indienne. Il découvre ainsi un principe d'accumulation de petites unités musicales pour en former de plus grandes, ce qui influencera fortement sa façon de composer. Quant à La Monte Young et Terry Riley, ils étudieront le chant indien auprès de Pandit Prân Nath.

Chez les post-minimalistes ...

Après une période consacrée à la composition sérielle, l'estonien Arvo Pärt né en 1935 trouvera son style en étudiant la musique médiévale (les chants grégorien et orthodoxe, les organums, l'ars nova) et les polyphonies anglaises et franco-flamandes de la Renaissance. Son « minimalisme mystique » use de très peu d'éléments, emploie des matériaux primitifs tel l'accord parfait dont les trois notes sonnent selon lui comme des cloches. Il appellera d'ailleurs son style « tintinnabuli (« petites cloches » en latin).

Quant à Ryuichi Sakamoto, il sera très inspiré par les chansons traditionnelles de l'île d'Okinawa (archipel japonais des Ryukyu). Il en réalisera de magnifiques arrangements qu'il présentera sur scène, accompagné de chanteuses de cette île en costume traditionnel et jouant de leur luth traditionnel (luth sanshin).

5. L'EFFACEMENT VOLONTAIRE DE LA SUBJECTIVITÉ DE L'ARTISTE

Dans leur souci d'objectivité, l'artiste numérique et le compositeur minimaliste adoptent une démarche très proche de celle de l'esprit scientifique ce qui suppose la mise de côté de leur propre subjectivité.

Yvaral met ainsi à l'index les idées de libre arbitre, d'inspiration, de divin hasard. Il s'agit pour lui d'échapper à l'arbitraire et d'obéir uniquement à des lois de composition logique. L'émotion ou la subjectivité ne seront plus à l'origine de ses créations mais apparaîtront en bout de chaîne. Il nous transmet ce message : « L'art qui veut jouer une fonction sociale auprès du plus large public et être intégré dans l'environnement quotidien ne peut plus être le véhicule privilégié d'expression des états d'âme du créateur » (in *Structuralisme et architecture du visible / Entretiens avec Yvaral* - propos recueillis par Ilse Hofmanstahl).

De leur côté, les compositeurs minimalistes rechercheront eux-aussi une forme d'objectivité qu'ils espèreront atteindre en mettant entre parenthèses leur moi créateur. Ils diront aspirer à un « impersonnel » censé leur permettre un meilleur contrôle sur les processus musicaux. Philip Glass revendiquera une musique « non-intentionnelle ». Quant à Steve Reich, une fois le processus mis en marche et se développant de lui-même, il dira en contrôler totalement tous les résultats et les accepter sans les altérer. Selon lui, les processus une fois mis en mouvement sont à même de nous mettre en prise directe avec « l'impersonnel ». Cette démarche est proche de celle des pionniers de la musique algorithmique [note 11] et proche également de la non-intentionnalité des sagesses orientales.

John Cage (1912-1992), un musicien expérimental que l'on peut rapprocher des minimalistes, a lui-aussi ardemment recherché l'objectivité. Après s'être initié au bouddhisme zen, il en a retenu le principe de « non-obstruction » et a tenté de se débarrasser de son égo d'artiste pour accepter « le chaos des choses ». Ceci l'a amené à expérimenter le hasard et à écrire des musiques fondées sur le principe d'indétermination. Pour ce faire il utilisera différentes méthodes de tirage aléatoire dont le Yi Jing, ce Livre des transformations de l'archaïque magie chinoise dans lequel Leibniz aurait vu la première formulation de l'arithmétique binaire.

6. ART NUMÉRIQUE ET MUSIQUE MINIMALISTE AU PRISME DE LA PENSÉE COGNITIVE

Des mécanismes de la vision très complexes

Des voies neuronales différentes traitent les informations de forme, de couleur, de texture, de mouvement et de relief. Sans que nous en ayons conscience, l'œil analyse un tableau en sautant sans cesse d'un endroit à l'autre de la toile. Grâce aux données ainsi recueillies, l'esprit calcule et construit en temps réel une image mentale tridimensionnelle de la scène ainsi soumise à notre regard.

Une expérience pratiquée en 1982 par Tootel et collaborateurs chez le singe macaque a montré une homologie de forme entre un stimulus visuel géométrique et l'état

d'activité de l'aire visuelle primaire V_1 du cortex cérébral. Le cortex serait-il l'écran de notre « cinéma intérieur » ? Mais ... si c'est bien le cas, qui regarde l'écran ?

Figure 9 :

Homologie de forme entre un stimulus visuel géométrique et l'état d'activité de l'aire visuelle primaire V_1 chez le macaque

→ <http://frederic-rossille.net/og-homologiedeforme.jpg>

Mais de quoi nous parlent l'art numérique et la musique minimaliste ?

L'argument d'un tableau digitalisé n'est pas le sujet du tableau. L'argument d'une musique minimaliste n'est pas la musique elle-même. Nous avons ici affaire à des œuvres particulières dont le véritable sujet est l'exploration des mécanismes de la perception et des processus mis en jeu.

L'apparente opposition entre la sensation première et l'analyse opérée par l'observateur ouvre la voie à cette connaissance. Yvaral souligne cette idée à sa manière : « ... je cherche à aboutir à une synthèse, où figuration et abstraction ne s'opposent plus mais au contraire s'unissent et tendent vers un objectif passionnant : la connaissance du phénomène visuel ».

Le motif initial du tableau et celui de la pièce de musique ne sont donc plus que des prétextes pour expérimenter les mécanismes cognitifs. Claude Monet (1840-1926) avait pressenti cette problématique le jour où il déclara (vers 1890) : « Le motif n'est pour moi rien d'autre qu'une question insignifiante. Ce que je veux reproduire, c'est ce qui existe entre le motif et moi-même ».

Un processus de fabrication perceptible

Steve Reich souhaite que le processus engagé dans ses musiques soit parfaitement audible et compréhensible par l'auditeur. Pour ce faire, il déploie ses processus d'une manière très graduelle, ce qui l'oblige à écrire des pièces assez longues. Ainsi, une de ses pièces les plus célèbres - « Music for 18 Musicians » (1974-76) - dure environ 55 minutes.

D'une manière comparable, Yvaral souhaite que le spectateur perçoive l'image ET la méthode de sa réalisation. Le public doit pouvoir comprendre ce qu'il voit, saisir le lien qui organise les formes et les couleurs.

Chacun à leur manière, le minimalisme et l'art numérique nous offrent des œuvres manifestant à la fois « le jeu et la règle du jeu ». Ces productions touchent à la fois nos sens et notre entendement. Elles sont à même de nous procurer deux formes de plaisir :

Un plaisir esthétique doublé d'un plaisir sémantique

Dans son entretien de 1973 avec Yvaral, Abraham Moles emploie l'expression « plaisir sémantique » pour décrire une forme de plaisir qui n'est pas liée à la sensualité de l'image mais aux capacités de notre esprit à résoudre des énigmes. Que ces énigmes soient celle de la clôture de la forme, celle des mots croisés, celle du jeu d'échec ... ou celle proposée par un tableau digitalisé.

Déroulant très progressivement leur processus et ne dévoilant que peu à peu leur structure, les musiques minimalistes sont, elles-aussi, susceptibles de nous procurer un plaisir esthétique doublé d'un plaisir sémantique. Dans son livre « Traité de l'efficacité », François Jullien discourt sur la pensée chinoise et écrit cette phrase qui pourrait parfaitement s'appliquer aux musiques minimalistes : « On sort d'une logique du modelage (plan-modèle) pour entrer dans une logique du déroulement : laisser l'effet impliqué se développer de lui-même en vertu du processus engagé ». Le plaisir peut ainsi naître du matériau musical soumis à nos sens, mais également de la logique de son déroulement soumis à notre entendement.

Remarquons toutefois que ce plaisir sémantique n'est pas l'attribut exclusif des musiques minimalistes. Dans un trio de Beethoven par exemple, se surajoutant à la beauté esthétique des lignes mélodiques et de l'harmonie, nous éprouverons un plaisir sémantique lors du retour des thèmes et de leurs variations, la forme générale de l'œuvre s'élaborant progressivement dans un réseau d'interdépendances parfaitement architecturé.

7. VERS UN ÉLARGISSEMENT DES CHAMPS PERCEPTIFS

Revenons un instant sur deux techniques particulièrement adaptées à cet objectif.

La technique du déphasage graduel chez Steve Reich

Comme nous l'avons déjà dit, ce compositeur a développé une écriture basée sur le déphasage graduel de brèves formules rythmico-mélodiques. Des motifs musicaux répétés et joués à des vitesses légèrement différentes vont aboutir à l'émergence de « motifs résultants ». Au final, une espèce de canon à l'unisson est créé, un canon très serré qui peut s'interpréter comme une sorte de descendant « high-tech » des formes polyphoniques du Baroque.

Dans les pièces employant cette technique, notre oreille suit une ligne mélodique puis une autre, et encore une autre, au risque de perdre petit à petit ses repères sonores et temporels. Cette perte de repères s'accompagne d'une sensation d'élargissement de

notre champ perceptif sonore et temporel.

Un équivalent visuel de cet effet d'élargissement temporel se manifeste dans les digitalisations d'Yvaral grâce à :

L'entremêlement de plusieurs niveaux de visualisation

Dans l'acte de voir, nous choisissons instinctivement et culturellement un niveau d'attention délibéré. Nous avons déjà dit comment, dans une œuvre digitalisée, cet acte s'accompagne d'une tension entre l'ensemble et ses éléments, entre le tout et la partie et que cette dialectique global-local peut également se concevoir comme une dialectique entre ordre et chaos.

Le tableau digitalisé revêt des aspects bien différents selon qu'il est appréhendé en vision rapprochée ou en vision distante. Il y a en quelque sorte deux œuvres en une, et même trois si l'on prend en compte la distance exacte à laquelle les deux images sont en fusion instable. Notre perception oscille alors entre un tableau global et la collection de ses unités plastiques fondamentales. Dans son atelier du faubourg Saint Antoine, Yvaral nous montra même un jour d'étonnants tableaux donnant à voir trois images stables et différentes selon l'angle de vision.

Des œuvres ouvertes

Hans-Georg Gadamer (1900-2002) est à l'origine de ce concept quand il décrit en 1960 la rencontre avec le langage artistique comme celle d'un « advenir ». En 1962, dans un texte écrit pour le catalogue de l'exposition *Arte Programmata* de Milan, Umberto Eco (1932-2016) théorise ainsi le concept d'œuvre ouverte : « Genre formé par une constellation d'éléments de manière que l'observateur peut y détecter, par un choix d'interprétations, différentes combinaisons possibles, donc différentes possibilités de configurations distinctes... ».

Les digitalisations d'Yvaral sont manifestement des œuvres ouvertes. Et c'est en se déplaçant devant ces tableaux que le spectateur en explorera toutes les potentialités.

La plupart des musiques minimalistes appartiennent aussi à cette catégorie. Que leur ouverture réside dans les choix d'écoute de l'auditeur - suivre telle ou telle ligne mélodique ou bien se concentrer sur le son global de la pièce - ou bien qu'elle réside dans certaines libertés d'interprétation laissée aux instrumentistes.

8. L'ART PERMUTATIONNEL OU L'EXPLORATION SYSTÉMATIQUE DU CHAMP DES POSSIBLES

« Je suis fait de pièces qui peuvent entrer dans bien des mécanismes ; et d'éléments qui composent une infinité de combinaisons ».

Paul Valéry (Carnets)

Des écrivains ont tenté d'appliquer l'art permutatif au champ de la littérature. Quirinus Kuhlmann (1660) dans son « XLI Baiser d'amour », propose - selon le calcul d'Athanasius Kircher - 10 puissance 67 poèmes résultant des possibilités d'assemblage des cinquante mots de son poème. Raymond Queneau, cofondateur du groupe littéraire Oulipo, offrira quelques 100 000 milliards de poèmes avec sa « Machine Imaginaire ». Dans "La bibliothèque de Babel" de Jorge-Luis Borges, toutes les combinaisons des lettres de l'alphabet sont systématiquement utilisées pour fabriquer tous les livres possibles. De dimension infinie, la bibliothèque contient évidemment tous les incunables, tous les guides et livres d'histoire de la bibliothèque, mais aussi tous les ouvrages amenés à être écrits dans le futur... Tous ces livres sont rangés quelque part dans la bibliothèque, mais où ?

Tandis que toute l'architecture de l'Univers visible ne repose que sur les 118 éléments chimiques - briques d'Univers - de la table de Mendeleïev, il est fascinant de réaliser que toute la richesse des cultures du monde peut s'écrire avec seulement 26 lettres, 10 chiffres, 7 notes, 7 couleurs et un répertoire limité de formes fondamentales (le point, le trait, le cercle, le triangle, le quadrilatère, les polyèdres réguliers...). Les 26 lettres de l'alphabet pourraient d'ailleurs y suffire, ou même seulement un alphabet de deux lettres - le zéro et le un du langage binaire - à condition toutefois d'accepter des items très longs et donc de maniement difficile. Nous avons inventé nos alphabets - si restreints - pour simplifier et faciliter l'expression de nos pensées. Ces pensées, qui véhiculées par le langage, se présentent à nous dans des structures emboîtées dont chaque niveau hiérarchique possède ses propres lois. Le nombre des possibilités d'expression augmente exponentiellement avec la gradation des échelles. En français, les 26 lettres de l'alphabet permettent de fabriquer environ 100 000 mots. Mais avec ce matériel considérable, combien de phrases de moins de dix mots pourrions-nous déjà fabriquer ? Le chiffre est à coup sûr phénoménal, mais la question est insoluble car dans notre calcul il s'agit de tenir compte non seulement de la mathématique combinatoire mais également des règles grammaticales et de l'exigence de sens (il s'agit de discerner le concept de phrase de celui du simple assemblage de mots). Difficile de résister ici à la tentation d'ajouter une note concernant la fable des « singes dactylographes » ! [NOTE 12].

Imaginons donc la sensation de vertige qu'a dû ressentir un artiste comme Yvaral

quand il devait appliquer le jeu des permutations à ses réalisations graphiques. Quelles formes choisir, quelles couleurs employer, quels algorithmes mettre à contribution ? Une infinité de questions et donc de possibilités s'offraient à lui. L'arrivée des microordinateurs personnels dès 1985 lui aura facilité la tâche, permettant d'expérimenter d'innombrables épreuves virtuelles dont seules quelques-unes seraient ensuite réalisées sur grand format à la technique de l'acrylique.

Quantité de musiciens minimalistes ont dû ressentir également cette sensation de vertige devant l'infinitude du champ possible. A partir du moment où l'objectivité est érigée comme une règle et que le sentiment subjectif de l'artiste ne gouverne plus ses choix, toutes les options deviennent équivalentes ... et c'est l'infini qui frappe à la porte !

« Qui est là ? Ah très bien : faites entrer l'infini »

Luis Aragon, Une vague de rêves (1924), cité in Jean-Pierre Luminet et Marc Lachière-Rey, De l'infini

9. INFINITUDE SPATIALE, INFINITUDE TEMPORELLE

Dans le domaine de l'art numérique

Le sentiment d'infinitude commence à se manifester à partir de trois éléments d'une série. A partir de sept ou neuf éléments, l'esprit prolonge de lui-même vers l'infini ce qui est limité sur le tableau (« loi d'infra-logique visuelle » d'Abraham Moles). Le phénomène est largement exploité au cinéma où trois événements simultanés à l'image donnent au spectateur l'impression d'être plongé dans une scène très dense, où quelques personnes qui marchent suffisent à suggérer une foule.

Dans la sensation d'infinitude spatiale, la texture géométrique du tableau semble s'étendre bien au-delà de la toile, à tout l'univers perçu. Sensation comparable à celle du marin au grand large qui contemple sur 360 degrés l'horizon infini de la mer immense. Cette impression est très présente dans la série « Horizons structurés » dont l'un des tableaux donne à voir la répétition d'une enfilade de colonnes s'en allant en perspective rejoindre une ligne de fuite à l'infini (« Horizon structuré LG » 1977). L'impression d'infini résulte ici de l'application d'un algorithme. Il s'agit d'un autre infini que celui qu'Archimède avait conçu par addition répétée d'une unité à un ensemble préexistant.

Dans le domaine de l'art musical minimaliste

La répétition d'une cellule ou d'un pattern musical au sein d'un processus qui se

développe lentement nous donne pour sûr la sensation d'une musique sans début ni fin. L'impression d'infinitude spatiale laisse ici la place à celle d'un temps suspendu. Par leur non-directionnalité, ces musiques semblent arrêter le cours du temps. Hésitant entre un « hic et nunc » et un « sans commencement ni fin », l'auditeur affranchi de toute temporalité devient l'équilibriste d'un temps suspendu où passé, présent et futur se conjuguent.

Une telle contemporanéité des différentes composantes du temps est une conception qui a été défendue par Martin Heidegger (1889-1976). De nos jours, certains physiciens avancent l'idée d'un Univers-bloc associé à une conception éternaliste du temps : un univers habité d'êtres temporellement étendus (quadridimensionnels) dans lequel les événements présents, passés et futurs coexistent et correspondent à des propriétés géométriques de l'espace-temps.

MUSICALITÉ DE L'ART NUMÉRIQUE D'YVARAL

Reprenant la belle formule d'Abraham Moles, l'artiste a développé « comme un thème l'idée, d'une pureté toute leibnizienne, que le monde est constitué d'éléments simples, assemblés selon certaines règles qui génèrent les formes ». En créant son propre langage géométrique, il reconstruit le monde sous nos yeux avec ses propres pièces.

Rappelons ici quelques points évoqués au fil de notre enquête

- Une indépendance totale entre signes et super signes (Gestalt)
- Une dialectique d'échelle entre les atomes et l'image constituée, entre local et global, entre la partie et le tout. Cette dialectique se substitue à la dialectique figure sur fond de la Gestalt et de l'Optical art. Enfin, elle peut également s'exprimer comme une dialectique ordre-chaos
- A la dialectique local-global de l'art numérique répond la dialectique temps local temps global des musiques minimalistes
- Un jeu sur les « interférences » sonores (le « phasing » chez Steve Reich) et sur les interférences visuelles (les expérimentations sur le moiré, l'entremêlement des niveaux de visualisation)
- L'utilisation d'algorithmes pour gérer le rapport entre les signes élémentaires et les formes qu'ils édifient (musique algorithmique, tableaux digitalisés)
- L'utilisation d'images faisant partie de la conscience collective et l'influence déterminante de musiques appartenant au patrimoine mondial de l'humanité
- La recherche d'une forme d'objectivité qui impose au créateur de mettre à distance ses goûts personnels
- L'exploration systématique du champ des possibles dans un art devenu permutatif

- L'idée d'un langage universel des formes, corollaire de processus obéissant à une logique formelle

Un « néo-maniérisme de l'image quantifiée »

Abraham Moles nous rappelle qu'en pays germaniques et italiens, l'art maniériste du XVIème siècle présupposait l'idée de « manier », dans un sens très construit et proche de celui de l'algorithme. Le vertige de l'intellect y était recherché, basé sur un artifice optique ou technique, qu'il s'agisse d'un effet de miroir, d'un jeu d'anamorphose, d'un jeu de perspective ou de série (une enfilade de colonnes, par exemple). La spirale ou l'hélice d'un escalier devait conduire l'œil vers l'infini et il existait un point de vision unique « un point magique » - d'où le monde était perçu parfaitement en ordre et en équilibre. Dans l'art numérique d'Yvaral, le plaisir sémantique - ce vertige de l'intellect - prend racine dans la dialectique entre global et local. L'échelle crée le phénomène et le point magique sera celui où la vision bascule entre la partie et le tout, ce lieu magique où l'image change soudainement de statut.

Une rhétorique visuelle néo-structuraliste

Dans le langage verbal, un répertoire de lettres (l'alphabet) permet de construire des super signes (les mots) eux-mêmes agencés en super super signes (les phrases, le discours). Ces niveaux hiérarchiques sont indépendants les uns des autres : avec l'alphabet nous pouvons fabriquer tous les mots, avec les mots toutes les phrases, avec les phrases tous les discours...

La rhétorique visuelle de l'art numérique d'Yvaral fait intervenir deux niveaux de l'architecture informationnelle du message : le niveau des éléments de base (les signes) et le niveau des choses représentées (les super signes). Il ne s'agit pas d'un art purement géométrique qui vise à construire des formes géométriques à partir d'atomes géométriques. Il s'agit ici de construire des formes naturelles à partir de « patterns de base » géométriques. Avant de les réunir dans une même œuvre, Yvaral opère une distinction catégorielle entre les formes de la nature et les formes de la géométrie.

Comme c'est le cas pour le langage verbal, l'indépendance d'échelle se manifeste ici entre les « atomes » et les formes qu'ils incarnent. Les mêmes éléments de base pourront être réorganisés de manière différente afin de représenter de nouvelles formes. Réciproquement, une même forme pourra naître de l'assemblage d'éléments de base de diverses natures.

L'art numérique d'Yvaral peut s'interpréter comme un perfectionnement mathématique de la démarche pointilliste qui parcellisait la forme jusqu'au niveau du point.

Quant à la démarche inverse, construire des formes géométriques abstraites à partir d'éléments de base figuratifs, nous en avons trouvé quelques exemples chez le graveur Maurits Cornelis Escher (1898-1972). Ainsi, dans sa gravure « White Swans, Black Swans » de 1956, des cygnes prennent le rôle de patterns de base qui vont s'unir pour former un super signe qui n'est autre que le symbole mathématique de l'infini.

Figure 10 :

« White Swans, Black Swans » (1956), gravure de M. C. Escher
→ <http://frederic-rossille.net/10-WhiteSwansBlackSwans.jpg>

De nouvelles noces entre sciences et arts ?

Pour Abraham Moles, science et art sont deux mots qui vont très bien ensemble : « C'est peut-être dans l'art géométrique et son prolongement l'art numérique que la distance entre la science et l'art est la plus faible, et que leur communauté d'attitude et d'action est la plus grande ».

Depuis l'Antiquité, musique, mathématique et physique entretiennent d'étroites relations. La première physique fut musicale lorsque Pythagore appliqua l'arithmétique à l'étude des phénomènes musicaux et définit les intervalles. La controverse entre Pythagore et Aristoxène est restée célèbre. Les pythagoriciens jugeaient en effet les notes de la gamme selon des rapports mathématiques tandis que l'école d'Aristoxène prenait pour fondement deux critères : la sensation auditive (avec Aristoxène naît la psycho-acoustique) et la pensée rationnelle. Cinq siècles avant Jésus Christ, le combat esthétique entre formalistes et sensualistes faisait déjà rage...

Au Moyen-Âge, la musique est classée dans les sciences, au sein du Quadrivium qui associe les quatre sciences du nombre : l'arithmétique (le nombre en soi), la musique (le nombre en proportion), la géométrie (le nombre dans l'espace) et l'astronomie (le nombre en mouvement). Le Trivium complète l'ensemble des sept arts libéraux avec les trois arts du langage : la grammaire (bien parler), la dialectique (structurer son discours) et la rhétorique (persuader son auditeur). La musique ne rejoindra l'univers du langage qu'à la Renaissance et au Baroque (Guillaume Kosmicki, in Musiques savantes 1963-1989). C'est dans la deuxième partie du XXème siècle qu'elle se tournera à nouveau vers les sciences, avec l'apparition de centres de recherche - tels l'INA-GRM et l'IRCAM à Paris - qui concentreront leurs efforts en direction de l'outil informatique (nouveaux instruments, nouvelles écritures, programmation en temps réel, musique algorithmique, etc.) et des sciences cognitives.

Les chercheurs Max Mathews (1926-2011), John Chowning (né en 1934) et Jean-Claude Risset (1938-2016) ont développé des méthodes d'analyse sonore par synthèse, dans lesquelles l'écoute du son recomposé devient le critère de la pertinence de l'analyse (Jean-Claude Risset, in Musique, recherche, théorie, espace, chaos). Recomposer les

images en se servant d'unités élémentaires géométriques et d'algorithmes, n'est-ce pas là-aussi in fine un travail d'analyse par synthèse ? Bien qu'appliquées à des disciplines différentes, les démarches de ces chercheurs nous paraissent fondamentalement les mêmes. Une attitude scientifique admirable qui, partant dans un premier temps des causes vers les effets travaille ensuite en miroir, des effets vers les causes, dans le but de confirmer une relation de causalité. Dans le langage d'aujourd'hui on parlera d'une démarche procédurale ascendante (dite bottom-up) couplée à une approche descendante (dite top-down). La première part de l'échelon le plus fin pour remonter progressivement vers les niveaux supérieurs dans le but d'opérer une synthèse. La seconde part de l'ensemble qu'elle décompose graduellement en éléments plus petits afin d'en effectuer l'analyse.

Mais revenons à l'algèbre et à la géométrie. Yvaral gardera une vive passion pour la théorie des nombres [NOTE 13] : « (...) je m'attache à déterminer des constantes visuelles à travers mes créations ; et je prends plaisir à une certaine perception esthétique des nombres côtoyant des vérités mathématiques. Je suis persuadé que nous parviendrons à lancer des passerelles entre le monde de l'art et le monde de la science ».

Figure 11 : Une esquisse chiffrée d'Yvaral (datant des années 1970)
→ <http://frederic-rossille.net/11-esquisse-chiffree.jpg>

Comme c'est le cas pour les figures et objets fractals, l'art numérique ne nécessiterait-il pas, en vue de son analyse mathématique approfondie, de faire intervenir des dimensionnalités géométriques étranges, situées entre celle du plan (D_2) et celle de l'espace (D_3) ? Certes, ces œuvres sont conçues en deux dimensions. Mais, de par les multiples niveaux d'analyses auxquelles elles se prêtent, deux dimensions pourraient être insuffisantes à leur description mathématique. Ceci pourrait aussi être le cas des stéréogrammes, ces images en relief conçues à Paris par le chercheur et polytechnicien Jacques Ninio auquel j'ai eu le bonheur de présenter Yvaral.

Enfin, les techniques de répétition de motifs rythmiques ou mélodiques ne sont-elles pas une matérialisation sonore de l'algèbre, un lieu privilégié où mathématiques et musique se rejoignent, où science et art se confondent ? Pour représenter mathématiquement la musique, ne devrions-nous pas alors avoir recours à des espaces vectoriels et à du calcul matriciel ? J'imagine une représentation qui prendrait non seulement en compte la hauteur et la date (position temporelle) des événements musicaux mais aussi leur directionnalité dans l'espace-temps (espace étant pris ici dans le sens d'espace des hauteurs).

Des résonances avec la musique minimaliste, mais pas seulement...

L'œuvre de notre « architecte du digital » entretient des relations fortes, esthétiques, mathématiques, avec beaucoup d'autres musiques dont voici un catalogue non exhaustif.

Par son « Ostinato rigore », l'art Yvaral entre en résonance avec la musique contrapunctique d'un Jean-Sébastien Bach. Le mythe du concept de l'« Augenmusik » - musique pour les yeux, destinée à la seule réflexion et à la contemplation de la perfection mathématique - serait venu de pistes lancées par Thomas Mann dans son roman « Le Docteur Faustus ». Dans cet ouvrage, Mann pensait probablement aux sommets de l'œuvre contrapunctique du cantor de Leipzig : L'Offrande musicale ou L'Art de la Fugue (cité par Jérôme Bloch, in *Work in Progress / La création aujourd'hui*).

Les jeux musicaux du XVIIIème siècle (e.g. ceux de Mozart et de Stadler) qui peuvent être considérés comme les ancêtres de la musique algorithmique [NOTE II]

La musique concrète, initiée par Pierre Schaeffer (1910-1995) et Pierre Henry (né en 1927) au Club d'essai de la Radiodiffusion-télévision française à Paris à la fin des années 1940. Elle sera suivie par la musique électronique qui apparaît en 1951. Certaines textures sonores très complexes de ces musiques peuvent avoir des effets évoquant ceux du moirage ou de certaines illusions optiques.

La musique sérielle de la seconde école de Vienne (Schoenberg, Berg, Webern). Vers 1920, Schoenberg propose une méthode de composition dodécaphonique utilisant une série de douze sons. Les permutations que devra subir cette série sont érigées en règle : une forme rétrograde, une forme renversée, une forme rétrogradée du renversement... Par la suite, Babbitt puis Boulez étendront cette grammaire sérielle aux paramètres d'intensités, de durées et de timbres (sérialisme intégral). Ces techniques inspireront les premières musiques électroniques réalisées à Cologne dans les années 1950. En résultera une « surdétermination formelle » (selon l'expression de Jean-Claude Risset) renforcée par le développement de l'ordinateur, une machine parfaitement adaptée pour faire proliférer les procédures permutationnelles.

La musique du français Olivier Messiaen (1908-1992) est basée sur des recherches théoriques très approfondies concernant les modes à transposition limitée et les rythmes hindous (Deçî-Tâlas) auxquels il fait subir de multiples transformations (augmentation, rétrogradation, miroir...). Messiaen sera très inspiré par les chants d'oiseaux qu'il prenait en note avant de les faire figurer dans sa musique. Dans son œuvre « Des canyons aux étoiles » de 1974, il retranscrit des chants d'oiseaux et même leurs échos sur les roches de Bryce Canyon dans l'Utah. Synesthète « intellectuel », il

décrivait les couleurs de la musique qu'il entendait : les couleurs irisées, chatoyantes, avec des mélanges complexes...

La musique stochastique d'un Iannis Xenakis (1922-2001), avec ses « Polytopes » réunissant musique, lumière, sculpture, architecture et littérature dans un projet utopique d'art total. Pour conceptualiser sa pensée musicale, Xenakis s'est souvent aidé de dessins. Dans leur ouvrage « Images de pensée » (2011), Marie-Haude Caraës et Nicole Marchand-Zanartu nous présentent un de ses croquis, accompagné de la pensée suivante : « J'étais persuadé qu'on pouvait inventer une autre façon d'écrire la musique. Je commençais par imaginer le phénomène du son, à l'aide de dessin ».

Figure 12 : « Sans titre », 1959, dessin de Iannis Xenakis
→ <http://frederic-rossille.net/12-Sanstitre1959Xenakis.jpg>

Comme d'autres compositeurs tels Krzysztof Penderecki dans « Thrène pour les victimes d'Hiroshima » ou Ligeti dans « Atmosphères », Xenakis cherchera dans une écriture polyphonique ou même « micropolyphonique » un tissage du sonore, une synthèse de textures. Ces compositeurs ont tous été inspirés par l'expérience de la musique électro-acoustique. Dans « Metastasis » pour cordes, vents et percussions (1953-54), Xenakis nous donne à entendre des nuages de sons joués aux cordes qui défilent devant nous dans de grands glissandos et créant ainsi une dialectique global-local d'un nouveau type (masse sonore versus instruments solistes).

L'école spectrale qui, à la suite de compositeurs tels Edgar Varèse ou Giacinto Scelsi, a concentré ses recherches dans l'exploration du timbre, cherchant à créer un langage dans la matière sonore elle-même. Gérard Grisey (1946-1998) qui en a été un des acteurs principaux avec Tristan Murail décrira cette musique comme étant « à nouveau plus proche de la science que des autres arts, comme au temps du Quadrivium (...) » (cité par Guillaume Kosmicki in Musiques savantes). Ici, l'écriture instrumentale pourra par exemple simuler le spectre dynamique d'un instrument d'orchestre.

Un cas particulier est celui du musicien américain Tom Johnson, né en 1939, qui écrit une musique totalement logique. Ses compositions sont entièrement déterminées par des règles mathématiques qu'il traduit en mélodies, rythmes et harmonies. La forme musicale et son déroulement sont ici intégralement exprimables dans une formule qui peut faire intervenir la simple numération, la combinatoire, la trigonométrie ou d'autres notions mathématiques. S'agit-il de musique ou d'une simple transposition de formules mathématiques dans le domaine audible ? On serait tenté de rapprocher cette démarche de celles que nous avons appris à connaître dans le domaine visuel avec un Jean-Pierre Yvaral ou un Benoît Mandelbrot.

Enfin, disons quelques mots de « la musique numérique », une musique conçue réellement par ordinateur. C'est le moment de rappeler ici que, bien que régi par les

nombres, l'art numérique d'Yvaral n'utilise l'ordinateur que comme outil et n'est pas à proprement parler un art informatique.

- les premières musiques composées par ordinateur le seront à l'Université d'Illinois en 1955-56, par Lejaren Hiller et Leonard Isaacson. Leur « Suite Illiac » (du nom de l'ordinateur qui l'a composée) est un quatuor à cordes en quatre mouvements dont chacun est programmé selon un algorithme différent.
- dans les musiques numériques qui suivront et ceci jusqu'à nos jours -, l'ordinateur prendra le rôle d'une machine logique et permutationnelle mais surtout celui d'un outil de « microchirurgie » du son. L'élaboration compositionnelle descendra jusqu'au niveau de la microstructure du son (sorte de nouveau pointillisme), dans une véritable « écriture du timbre ».
- les sons instrumentaux seront l'objet d'une « analyse par synthèse », seule apte à vérifier la pertinence auditive des caractéristiques extraites de l'analyse spectrale.
- dans sa pièce « Inharmonique » de 1975, Jean-Claude Risset traite des sons évoquant des cloches ou des gongs de manière à provoquer chez l'auditeur des changements de mode perceptif. L'écoute d'objets focalisés se transmute en celle de textures distribuées et c'est bien d'une dialectique entre temps local (condensé) et temps global (étendu) qu'il s'agit ici.
- dans certaines de ses illusions auditives conçues avec l'ordinateur, Jean-Claude Risset nous fait entendre des sons qui semblent monter ou descendre indéfiniment. L'escalier de Lionel Penrose (1958) est la traduction visuelle de ce phénomène. Le graveur Maurist Cornelis Escher nous en donne une interprétation avec sa lithographie « Montée et descente » de 1960 qui montre à voir des moines monter et descendre perpétuellement un escalier situé sur le toit d'un monastère. Figuration d'un objet impossible qui nous ouvre une porte sur l'infini...
- convient-il de classer les sons suivant leurs causes ou suivant leurs effets ? Vieux débat dont Schaeffer et Boulez se sont faits les interprètes. Si ce sont les effets qui comptent pour le musicien, la fonction origininaire de l'audition est d'obtenir des informations sur la source des signaux. L'oreille cherche à remonter des effets aux causes. Or, dans la synthèse par ordinateur, la causalité est obliérée et la notion d'instrument devient incertaine voire problématique.

Vers un langage universel des formes

En 1957, dans son livre « Structures syntaxiques », Noam Chomsky postule que le langage a pour fonction principale de permettre la pensée et en second lieu de communiquer. Il fait l'hypothèse d'une grammaire générative universelle qui concerne la syntaxe et permet de générer les phrases à partir des constituants immédiats de la langue (les syntagmes). Des processus génératifs simples seraient communs à tous les hommes et le langage relèverait d'une capacité biologique innée.

Quelques éléments simples associés à des algorithmes combinatoires ont permis à Yvaral de digitaliser des visages ou des paysages numérisés. Un tel « vocabulaire » organisé par une telle « grammaire » doivent permettre de former toutes les « phrases » - je veux dire ici bien sûr les images possibles. Ne devons-nous pas dès lors envisager l'œuvre d'Yvaral comme une tentative de mise au point d'un langage universel des formes ?

La pulsation dans les musiques minimalistes, tout comme le traitement permutatif à l'œuvre dans l'art numérique, participent de la logique formelle et d'une géométrisation du monde. Un langage universel pourrait-il en émerger ? Un langage qui serait aussi bien celui des atomes, des galaxies, des fleurs et des abeilles. Un langage qui donnerait vie aux écrans du futur.

Dans ses recherches obstinées, Yvaral a fait preuve de l'esprit de géométrie et de l'esprit de finesse, deux formes d'esprit dont la conjonction nous dit Pascal dans ses « Pensées » - advient comme une grâce. Yvaral rendra un bel hommage à Pascal avec une série de sept portraits digitalisés (147x102) qui seront exposés au Siège Social d'IBM, place Vendôme à Paris, de 1987 à 1989.

Figure 13 : « Hommage à Blaise Pascal » (1987/88/89, 147x102)
→ <http://frederic-rossille.net/13-HommageBlaisePascal.jpg>

Sur la nature ultime du monde, Yvaral et les minimalistes peuvent-ils nous apporter une réponse à la question byzantine, formulée par Abraham Moles, de « savoir si le monde est fait d'atomes assemblés en des formes, ou s'il est fait de formes divisibles en atomes » ? Contemplant les œuvres de ces artistes, ne pencherions-nous pas vers l'hypothèse que le monde est à la fois : division ET assemblage, élémentaire ET construit, local ET global, et probablement aussi discret ET continu ?

« De l'ordre avant toute chose »

En peine de trouver une conclusion, même provisoire, laissons la parole à François de Closets avec quelques extraits d'un texte écrit pour le catalogue de l'exposition « Yvaral à Vascœuil » en 1989 :

« (...) Yvaral, lui, tente de laisser jouer les lois sans jamais intervenir en tant qu'agent perturbateur. Il parvient ainsi, chose rarissime dans l'art, à nous offrir des mondes entièrement nouveaux, des ailleurs totalement déshumanisés. Pour la première fois l'œil voit ce que pourrait être l'ordre pur qui sous-tend toute réalité, une structure cristalline, une architecture corpusculaire, un champ de force. (...) Et cette peinture appelle irrésistiblement la musique. Quand le regard baigne dans les lumières oniriques, plonge dans les gouffres géométriques, se perd sur les horizons en fuite ou monte jusqu'à l'éblouissement les gammes chromatiques, j'attends toujours que le chant naisse de ces harmonies au même titre que les formes et les couleurs. Un jour, je le crois, quelqu'ordinateur saura adapter les objets sonores à ces lois harmoniques et nous donnera non pas l'accompagnement mais la version musicale de ces constructions géométriques. (...) Pour réaliser son projet, Yvaral a dissocié complètement la conception de l'exécution. Comme le musicien, son tableau est d'abord une grille construite selon des lois mathématiques, une authentique partition ».

Dans le monde qu'il s'agit d'habiter, Yvaral et les minimalistes reconfigurent de manière inédite le déploiement de l'espace et le déroulement du temps. Serait-ce là le sublime corollaire artistique des révolutions de la physique contemporaine avec la relativité générale d'Einstein et cette œuvre aux innombrables signatures qu'on appelle la mécanique quantique ?

NOTES

Note 1 : Cet « Horizon structuré LG », avec sa répétition de volumes de section hexagonale semble reproduire une sorte de Chaussée des Géants mathématisée et parfaite. Cette formation volcanique est située sur la côte d'Irlande du Nord et se caractérise par 40 000 colonnes (ou orgues basaltiques) verticales juxtaposées. Ces prismes de lave refroidie ont pour la plupart une section de forme hexagonale. L'ensemble évoque une chaussée ancienne au pavage irrégulier
(source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Chaussée_des_Géants).

Note 2 : Qu'est-ce qu'un algorithme ? Un algorithme est une suite finie et non ambiguë d'opérations ou d'instructions permettant de résoudre un problème ou d'obtenir un résultat. C'est une façon de décrire dans ses moindres détails, précisément et sans ambiguïté, comment procéder pour faire quelque chose. Un algorithme reçoit des données (les entrées) et en fournit (les sorties). Toutes les opérations que l'algorithme accomplit peuvent en principe être réalisées par un homme utilisant un papier et un crayon. Le but est d'évacuer la pensée du calcul, afin de le rendre exécutable par une machine numérique. L'algorithme n'interagit qu'avec un reflet numérique du système réel. Le tissage tel qu'il a été automatisé par le métier Jacquard, la résolution d'un casse-tête tel le Rubik's Cube font intervenir des algorithmes. L'image numérisée est une matrice de valeurs chiffrées et Yvaral utilisera dès 1985 des algorithmes informatiques pour calculer les rapports entre ses unités élémentaires et les formes globales. Ces algorithmes souvent simples pourront être appliqués récursivement.
(source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme>)

Note 3 : J'utiliserai souvent ici l'expression « musique minimaliste » dans un sens élargi, y incluant le courant « post-minimaliste ».

Note 4 : Pour une brève histoire du courant minimaliste, voici un résumé du chapitre que lui consacre Guillaume Kosmicki dans son ouvrage « Musiques savantes de Ligeti à la fin de la guerre froide », pp. 11-15).

Le mouvement voit le jour aux États-Unis et il est initié directement par La Monte Young et Terry Riley, tous deux nés en 1935. Le terme « minimalisme », utilisé plus tard par Michael Nyman dans son ouvrage « Experimental Music » (1974), sous-entend la réduction des matériaux qui sont soit figés dans le temps, soit répétés. Cette musique part en quête d'une nouvelle forme d'écoute basée sur ses effets psycho-acoustiques, hypnotiques et extatiques. La Monte Young pratiquera une musique de « drones » avec des bourdonnements continus dans lesquels la temporalité se dissout, laissant l'attention se concentrer sur le sonore. Trio for Strings (1958) est sa première œuvre caractéristique qu'il compose à Berkeley. Dans la même ville, Riley se fait en 1964 l'instigateur du courant répétitif avec sa pièce séminale « In C », un engrenage libre et hypnotique de petites cellules mélodico-rythmiques en évolution lente.

La tendance minimaliste était en germe chez des compositeurs américains plus anciens fascinés par les musiques indiennes et africaines, dont Morton Feldman (1926-1987). L'écriture de ce dernier fait une économie drastique de moyens étalés sur de longues durées et incorpore le silence à grande échelle comme l'a fait John Cage. Quant à l'italien Giacinto Scelci (1905-1988), il sera influencé par ses voyages en Asie et en Afrique mais restera isolé en Europe (jusqu'à sa reconnaissance récente par l'école spectrale).

Chez La Monte Young et Riley, la temporalité est suspendue, figée dans le temps, ou bien tellement étendue qu'elle fait oublier les notions de début, de fin et de développement avec une trajectoire définie. Tous deux, ainsi que les héritiers « répétitifs » de Riley que seront Steve Reich (né en 1936) et Philip Glass (né en 1937), se sont à leurs débuts penchés sur le jazz, pratiquant le be-bop et le modern jazz. L'Afrique était donc déjà présente dans leurs inspirations de jeunesse. Ils vont tous poursuivre

l'étude de musiques extra-occidentales : les percussions africaines pour Reich, la musique marocaine pour Riley, le chant indien (auprès de Pandit Prân Nath) pour La Monte Young et Riley, le sitar et la musique indienne (auprès de Ravi Shankar) pour Glass, la cantilation hébraïque pour Reich. Ces compositeurs sont également inspirés par leur propre pays : l'Idaho chez La Monte Young, San Francisco chez Reich, New York chez Glass, le même New York que Reich évoquera dans sa pièce « City Life » de 1995.

Dans l'art musical de la répétition, Reich procède par des décalages progressifs de phases et par de longs processus tandis que Glass réalise des gradations plus rapides et incisives de petites cellules additives et soustractives. Pour être joués, ces deux compositeurs fonderont leur propre orchestre (The Philip Glass Ensemble et Steve Reich and Musicians). Cette avant-garde se retrouve au centre artistique The Kitchen à New York, fondé en 1971 et qui accueillera notamment Meredith Monk, Laurie Anderson, Nam June Paik, les anglais Michael Nyman et Brian Eno...

Les musiques minimalistes trouvent à leur époque des correspondances dans les arts plastiques. Ainsi, Feldman est rattaché à l'école **new-yorkaise des années cinquante** (Mark Rothko, Barnett Newman, Robert Rauschenberg). La Monte Young se joint à Yoko Ono et intègre le mouvement Fluxus pour lequel il réalise des compositions en forme de « happenings ». **Le minimal art des années soixante** (Dan Flavin, Robert Morris, Donald Judd, Sol LeWitt, Richard Serra, Bruce Nauman) est lié aux œuvres de Reich et de Glass. On trouve également des correspondances avec les élaborations de l'**op'art** (Victor Vasarely, Bridget Riley). Un rapprochement peut également se faire avec le **pop art** qui règne sur la décennie : Andy Warhol, Roy Lichtenstein, Tom Wesselmann, l'anglais Richard Hamilton dont les œuvres expriment toutes une foi dans la modernité. **L'hyperréalisme** qui succède au pop art au début des années soixante-dix pourra également y trouver écho (Duane Hanson, Chuck Close). **La danse** a également été influencée par la musique minimaliste, à commencer par Merce Cunningham (le compagnon de John Cage).

Le minimalisme offrira de curieux mélanges venus de la mondialisation. Ainsi l'American Way of Life intégrera la philosophie bouddhiste. Il touchera aussi le monde du jazz, avec George Russell ou Miles Davis qui s'orientaient dès les années cinquante vers la modalité, puis John Coltrane et les acteurs du free jazz (Sun Ra, Pharoah Sanders, Albert Ayler ou Archie Shepp). Enfin, le minimalisme dépassera les frontières américaines, avec Stimmung de Karlheinz Stockhausen (1968), avec les surfaces de timbres de Ligeti, avec les longues plages spatiales et temporelles de Giacinto Scelsi.

Des musiciens héritiers du minimalisme et issus de diverses tendances

La musique électronique « planante » d'un Klaus Schulze, un musicien allemand né en 1947, inspiré par Wagner, le rock psychédélique, la musique répétitive et la musique stochastique. Egalement, le groupe allemand Tangerine Dream dont certaines séquences évoquent parfois la micropolyphonie d'un Ligeti

Le rock progressif avec le Pink Floyd, qui use de beaucoup d'ostinatos et de patterns répétitifs. Egalement, le groupe Emerson Lake and Palmer, avec très souvent des figures en ostinatos complexes, interprétées par le claviériste Keith Emerson.

Le musicien Vangelis (Evángelos Odysseás Papathanassiou) né en 1943, qui compose toutes ses musiques directement sur claviers et emploie très souvent des procédés minimalistes. Son récent album « Rosetta » (2016) rend hommage à la mission d'exploration de la comète « Tchouri » conduite par l'Agence spatiale européenne. La sonde Rosetta a été lancée en 2004 pour atteindre la comète le 6 août 2014.

La musique techno naît en 1990 à Chicago et à Détroit. Le « Chicago house » et le « style de Détroit » vont fusionner pour donner le « techno house » bientôt abrégé en « techno ». Les musiciens techno se revendiquent héritiers des premières pièces minimalistes de Steve Reich datant des années 1960. À partir de 1994 apparaît la « minimal techno » dont les procédés jouent souvent avec la psychologie de la perception. Des musiciens comme le japonais Ryoji Ikeda (né en 1966) et l'allemand Carsten Nicolai (né en 1965) exploiteront les fréquences graves et aiguës à la limite de la perception humaine. Leurs compositions font appel à la physique du son comme à la psycho-acoustique.

Le pianiste Ryuichi Sakamoto collaborera avec plusieurs musiciens proches de l'ambient et de la « techno minimale ». Avec Carsten Nicolai (sous le pseudonyme de Alva Noto) il sortira plusieurs albums minimalistes, tant du point de vue de leur musique que de l'esthétique des couvertures ... qui restent muettes sur le contenu.

Il y aurait bien d'autres musiciens issus de la techno, de la trance et de l'ambient dont on pourrait parler ici... David Sylvian, Nils Petter Molvaer, Jon Hassel et tant d'autres.

Note 5 : La version du London Chamber Orchestra présentée lors de la conférence n'est pas disponible en écoute gratuite sur le réseau Internet.

Note 6 : La postmodernité est un concept de sociologie historique survenu dans les sociétés contemporaines de la fin du XX^{ème} siècle, marqué par la dissolution de la référence à la raison comme totalité et la fin de la transcendance. Le sens de l'histoire et du progrès est remis en question et désormais tout peut se confronter ou fusionner avec tout. Naitront ainsi de multiples collages et des confrontations joyeuses entre passé et présent, entre savant et populaire, entre sérieux et divertissement.

Note 7 : « Vexations » est une œuvre pour piano composée par Erik Satie en 1893. Il s'agit d'un même motif devant être joué 840 fois de suite, sans interruption et à un tempo très lent. Son exécution peut prendre 24 heures voire davantage (source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Vexations>).

Note 8 : Dans un article précédent, nous avons mis en parallèle ce phénomène sonore avec celui de la perspective axonométrique, une perspective mathématisée qui coïncide elle aussi presque exactement avec la perspective réelle. Ainsi, de la même manière que les compositeurs ont vu leur champ s'étendre de façon illimitée grâce au tempérament égal, Victor Vasarely a su utiliser la perspective axonométrique pour créer des constructions plastiques obéissant parfaitement à ses jeux combinatoires et dialoguer avec l'infini.

Note 9 : Dans son ouvrage « L'essayeur » paru en 1623, Galilée énonce déjà la mathématisation de la physique : « La philosophie est écrite dans cet immense livre qui se tient toujours ouvert devant nos yeux, je veux dire l'univers, mais on ne peut le comprendre si l'on ne s'applique d'abord à en comprendre la langue et à connaître les caractères dans lesquels il est écrit. Il est écrit en langue mathématique, et ses caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot ».

Note 10 : Abraham A. Moles (1920-1992) était un mathématicien, physicien, acousticien, designer, philosophe, sociologue, théoricien des systèmes de communication, de la musique et des arts. Ses recherches ont porté principalement sur l'application des sciences physiques et mathématiques aux sciences sociales et aux arts. Il a travaillé sur la théorie informationnelle de la perception esthétique qui a donné de nombreux développements dans le domaine des apports de l'informatique à la création artistique. Il est l'auteur d'un Manifeste sur l'art permutatif, distinguant soigneusement les

éléments et la manière de les assembler, explorant la quantification du réel qui « à travers le fini donnait, sinon l'idée de l'infini, du moins celle de multiplicité des solutions ».
(source : Elisabeth Rohmer in Yvaral / Propositions pour un art numérique)

Note 11 : La musique algorithmique en quelques étapes

Athanasius Kircher (1602-1680) est un jésuite allemand, esprit encyclopédique et scientifique de l'époque baroque. Il invente un système destiné à engendrer des partitions musicales, ce qui fait de lui le père de la musique algorithmique générative. Il est également l'auteur de propositions d'instruments de musique automatisés, notamment des orgues actionnées hydrauliquement.

Une douzaine de jeux musicaux du XVIII^e permettront de composer des pièces aléatoirement. Ces tentatives de formalisation sont à rapprocher des grands courants rationalistes et encyclopédiques de cette période et de sa floraison d'automates dont certains seront musicaux (comme « Le flûteur automate » de Jacques de Vaucanson). Parmi ces jeux qui participent d'une lignée qui conduira aux premières expériences de composition algorithmique au XX^e siècle, citons le jeu de dés musical de Mozart (K294d) qui se présentait sous la forme d'un fichier accompagné d'une notice montrant comment composer des menuets sans avoir la moindre connaissance de la musique ou de la composition. Le jeu musical de Stadler (1748-1833) sera tonalement plus évolué, plus modulant.

Plus près de nous, la pièce *Klavierstück XI* (1956) de Karlheinz Stockhausen sera l'une des premières « œuvres ouvertes » de l'histoire de la musique occidentale. Stockhausen y introduit des permutations à un niveau élevé, portant sur dix-neuf séquences que le pianiste peut enchaîner dans n'importe quel ordre selon six tempi, six niveaux d'intensité et six modes d'attaque différents.

C'est en 1955-1956 à l'Université d'Illinois, que Lejaren Hiller et Leonard Isaacson sont les premiers à développer des algorithmes destinés à faire composer de la musique par ordinateur. La « Suite Illiac » (1956) ainsi obtenue est un quatuor à cordes en quatre mouvements dont chacun est programmé selon des règles différentes. Le premier mouvement obéit à un contrepoint strict de la première espèce tandis que le quatrième utilise une méthode probabiliste non musicale.

En 1959, Pierre Barbaud et Roger Blanchard travaillent à Paris (Centre de calcul électronique de la compagnie Bull) sur des algorithmes de création musicale automatique utilisant l'aléatoire.

En 1960, J.R. Pierce et Max Mathews de l'université de Stanford sortent le premier disque de musique entièrement créé sur ordinateur : « Music from mathematics ». Ce disque contient la première chanson informatique « *Bicycle Built for Two* » qui est le chant du cygne de l'ordinateur Hal 9000 dans le film de Stanley Kubrick « 2001, l'Odyssée de l'espace » sorti en 1968.

De nos jours, la composition assistée par ordinateur est devenue la préoccupation essentielle de nombreux centres de recherche dont l'IRCAM (Institut de Recherche et Coordination Acoustique Musique) à Paris, où Giuseppe Di Giugno créera le premier système informatique en temps réel. En 1988 Miller Puckette y développera le logiciel Max, un langage de programmation graphique très utilisé de nos jours.

Note 12 : La fable des « singes dactylographes ». Dans son livre « Le hasard » publié en 1914, le mathématicien Émile Borel (1871-1956) imagine une armée de singes qui, après avoir pillé un dépôt de machines à écrire, s'amuse à taper des lettres au hasard en espérant produire la copie exacte de livres de toute nature. Mettons un seul singe au travail pour dactylographier l'œuvre complète de William Shakespeare sans erreur. Pour chaque essai lui prendra environ six mois pour les cinq millions de lettres à taper. Avec 60 caractères possibles (en comptant les majuscules), il y a donc 60 puissance 5

millions de possibilités dont une seule est la bonne. Le singe aura de bonnes chances d'y arriver au bout de 10^{107} années. Savoir que l'ordre de grandeur estimé du nombre de particules élémentaires contenues dans l'Univers observable est compris entre 10^{80} et 10^{87} . (source : Jean-Pierre Luminet et Marc Lachièze-Rey, *De l'infini*).

Note 13 : Il m'avoua un jour que sa vraie passion était la théorie des nombres, une passion supérieure à celle de son art numérique !

RÉFÉRENCES

- Le texte de cet article est issu d'une conférence donnée par l'auteur sous le titre « *Yvaral et la musique minimaliste* » le 22 juin 2013 au séminaire interuniversitaire « Musique et arts Plastiques » dirigé par Michèle Barbe à l'Observatoire Musical Français (Université Paris IV Sorbonne).

- Conçu par Yvaral en 1999, l'ouvrage « *Yvaral / Propositions pour un art numérique* » présente un exceptionnel florilège de ses œuvres accompagné d'analyses, entretiens et citations. Y figure le passionnant essai d'Abraham A. Moles « Sur Yvaral » (1992).

1. Laurie Anderson, paroles de « O Superman » :
<http://www.teenagewildlife.com/Songs/O/OS.html>
2. Approches ascendante et descendante :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Approches_ascendante_et_descendante
3. Henry Baraud, Comprendre les musiques d'aujourd'hui, Seuil, 1968.
4. Jérôme Bloch, Work in Progress / La création aujourd'hui, in L'éducation musicale, lettre d'information n°115 juin 2017.
5. Jérôme Bodon-Clair, Le langage de Steve Reich - L'exemple de « Music for 18 Musicians » (1976), L'Harmattan - Univers musical, 2012.
6. Gavin Bryars : une interview à Culturekiosque (1996) :
http://www.culturekiosque.com/klassik/intervie/f_bryars.htm
7. Jacques Bureau, La peinture de l'ère logique ? in *Yvaral / Propositions pour un art numérique*, éditions de la Fondation Vasarely, Aix-en-Provence, 1999.
8. John Cage : https://fr.wikipedia.org/wiki/John_Cage
9. Marie-Haude Caraës, Nicole Marchand-Zanartu, Images de pensée, éditions de la Réunion des musées nationaux, Paris, 2011.

10. Chaussée des Géants : https://fr.wikipedia.org/wiki/Chaussée_des_Géants
11. Patrick Crispini, Sons et couleurs - Des noces inachevées, in Voir la musique, revue Terrain n°53, septembre 2009. Sur Internet : <http://terrain.revues.org/13768>
12. François de Closets, De l'ordre avant toute chose, Catalogue de l'exposition « Yvaral à Vascœuil », 1989.
13. Olivier Delaigue, Mouvement et répétition dans la musique américaine des années 1960-1980, Analyse musicale, 3e trimestre 1987.
14. Gilbert Delor, Ecouter Tom Johnson Approche sensible d'une musique mathématique, revue Alliage n°73, Université Nice Sophia Antipolis, printemps 2014.
15. Umberto Eco, Texte publié dans le catalogue de l'exposition « Arte Programmata » de Milan en 1962 : <http://www.julioleparc.org/umberto-eco.html>
16. Christopher Fox, Après Einstein : la succession minimaliste, Contrechamps n°6, Avril 1986.
17. Gérard Grisey, Réflexions sur le temps (1979) in Ecrits ou l'invention de la musique spectrale, Paris, MF, 2008.
18. Otto Hahn, Yvaral, édition Le Musée de poche, 1974.
19. Ilse Hofmanstahl, Structuralisme et architecture du visible / Entretiens avec Yvaral, in Yvaral / Propositions pour un art numérique, éditions de la Fondation Vasarely, Aix-en-Provence, 1999.
20. Stanley Hopkins, Art numérique, art combinatoire, in Yvaral / Propositions pour un art numérique, éditions de la Fondation Vasarely, Aix-en-Provence, 1999.
21. Miha Iliescu, Le minimalisme en musique, Musurgia, volume V, n°3 et 4, 1998.
22. Patrick Juignet, Noam Chomsky et l'autonomie du langage, Philosophie, science et société [en ligne], 2015. <https://philosciences.com/Pss/philosophie-et-humanite/psychologie-representation-cognition/95-noam-chomsky-autonomie-langage>

23. François Jullien, *Traité de l'efficacité*, éditions Grasset et Fasquelle, 1996.
24. Athanasius Kircher : https://fr.wikipedia.org/wiki/Athanasius_Kircher
25. Guillaume Kosmicki, *Musiques savantes / De Ligeti à la fin de la guerre froide 1963-1989*, Le Mot et le Reste, 2014.
26. Jean-Clarence Lambert, *Yvaral, Le territoire de l'œil* - Pierre Horay Editeur, 1977.
27. Denis Lorrain, *Réalisation de jeux musicaux du XVIIIe siècle : Mozart et Stadler*, <http://jim.afim-asso.org/jim2003/articles/lorrain.pdf>
28. Jean-Pierre Luminet, Marc Lachièze-Rey, *De l'infini / Horizons cosmiques, multivers et vide quantique*, Dunod, 2016.
29. Olivier Messiaen, *Musique et couleur Nouveaux entretiens avec Claude Samuel*, édition Belfond, Paris, 1986.
30. Abraham A. Moles (en collaboration avec Elisabeth Rohmer), *Art et ordinateur*, éditions Casterman 1971 et Blusson 1990.
31. Abraham A. Moles, *Yvaral / Propositions pour un art numérique*, Abraham A. Moles, éditions de la Fondation Vasarely, Aix-en-Provence, 1999.
32. Abraham A. Moles, *Plaisir de la rigueur ou rigueur du plaisir ?* in Catalogue d'exposition YVARAL au Pavillon des Arts - Mona Lisa synthétisée / Propositions pour un art digital, Paris 14 juin / 8 septembre 1985.
33. Abraham A. Moles, *Sur Yvaral (1992)*, in *Yvaral / Propositions pour un art numérique*, éditions de la Fondation Vasarely, Aix-en-Provence, 1999.
34. *Entretien Abraham Moles - Yvaral (1973)*, in *Yvaral / Propositions pour un art numérique*, éditions de la Fondation Vasarely, Aix-en-Provence, 1999.
35. *Musique minimaliste* : http://fr.wikipedia.org/wiki/Musique_minimaliste
36. *Le minimalisme (ou art minimal)* : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Minimalisme_\(art\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Minimalisme_(art))
37. Jacques Ninio, *L'empreinte des sens. Perception, mémoire, langage*. Odile Jacob, Paris (1994).

38. Michael Nyman, *Against Intellectual Complexity in Music*, in *Postmodernism. A Reader*, textes réunis et préfacés par Thomas Docherty, New York, Harvester Wheatsheaf, 1993, p.206.
39. Michael Nyman, *Experimental Music / Cage et au-delà - Chapitre 7 : Musique minimaliste, détermination et la nouvelle tonalité*, Editions Allia, 2005 (traduit de l'anglais par Nathalie Gentili, première publication en anglais en 1974).
40. Steve Reich, *Ecrits et entretiens sur la musique*, Christian Bourgeois éditeur, 1981.
41. Michel Rigoni, *Musique et post modernité : pour un état des lieux*, Musurgia, volume V n°3 et 4, 1998.
42. Jean-Claude Risset, *Musique, recherche, théorie, espace, chaos*, in *Inharmoniques / Musique Recherche théorie*, IRCAM Centre Georges Pompidou, 1991.
43. Jean-Claude Risset, *Quelques aspects du timbre dans la musique contemporaine*, in *Psychologie de la musique*, sous la direction de Arlette Zenatti, Presses Universitaires de France - *Psychologie d'aujourd'hui*, 1994.
44. Elisabeth Schwind, *L'héritage du minimalisme / La musique minimaliste dans le contexte techno*, in *Dissonance n°66*, Lausanne, Novembre 2000.
45. R. B. Tootel, M.S. Silverman, E. Switkes, R. L. de Valois, *Deoxyglucose analysis of retinotopic organization in primate cortex*, *Science*, 218, p. 902-904 (1982), cité par Jean-Pierre Changeux in *Jean-Pierre Changeux, Paul Ricœur, La nature et la règle - Ce qui nous fait penser*, Odile Jacob, 2008.
46. *L'univers-bloc exposé par Etienne Klein en 2 minutes et 33 secondes :*
<https://www.youtube.com/watch?v=1A8ca64oT3Q>
47. *Yvaral à Vasceuil*, catalogue de l'exposition « Yvaral / Propositions pour un art numérique, au Château de Vasceuil, 19 mars - 18 juin 1989.
48. *Entretien radiophonique : Un plasticien à l'œuvre : Jean-Pierre Yvaral, en dialogue avec le compositeur Frédéric Rossille ; sur radio Aligre FM, Paris, émission Epectase, les Sciences et l'Imaginaire :*
<https://www.youtube.com/watch?v=PQaV55kMOqo&t=1s>

49. Yvaral.org, le site de Michèle Vasarely : <http://www.yvaral.org/menueentree.html>

RÉFÉRENCES DES PIÈCES MUSICALES

- 1) Eight Lines (Steve Reich, 1979-83), de l'album « Minimalistes », London Chamber Orchestra avec Christopher Warren-Green qui joue le Stradivarius « Habeneck » (circa 1734). Durée : 17:56. Virgin Classics, 1997.
- 2) « Manny's Gym », Century Rolls - part II (John Adams, 1996), de l'album « Century Rolls, Lollapalooza, Slonimsky's Earbox », The Cleveland Orchestra dirigé par Christoph von Dohnanyi, avec Emanuel Ax au piano. Durée : 6:23. Nonesuch, 2000.
- 3) « Cello Concerto (Farewell to Philosophy) », Track One (Gavin Bryars, 1995), de l'album « Farewell to philosophy », English Chamber Orchestra dirigé par James Judd, avec le violoncelliste Julian Lloyd Webber. Durée : 9 :13. Philips Classic Productions, 1996.
- 4) « O Superman » (Laurie Anderson, 1981), de l'album « Live at Town Hall New York City September 19-20, 2001 ». Durée : 8:55. (Nonesuch, 2002)
- 5) « 1919 » (Ryuichi Sakamoto, 1996), de l'album « 1996 », violon : Everton Nelson, violoncelle : Jaques Morelenbaum, piano : Ryuichi Sakamoto. Durée : 6:22. For Life Records, 1996.
- 6) « Dream Colored Mobile » Op. 58, de Takashi Yoshimatsu (1993), de l'album « Forgetful Angel », harmonica : Joe Sakimoto. Durée : 6:38. (Camerata Records, 1999)

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Le lecteur pourra trouver de nombreuses reproductions des œuvres d'Yvaral sur le site de Michèle Vasarely : <http://www.yvaral.org/menueentree.html>

Figure 1/ Yvaral dans son atelier du faubourg Saint-Antoine, préparant son exposition « Mona Lisa synthétisée », au Pavillon des Arts à Paris en 1984

Figure 2 : « Recherches B&W » (1958)

Figure 3 : « Polygamme BV » 504 (1968, 84x72)

Figure 4 : « Structure cubique profonde » 1391 (1973, 160x160)

Figure 5 : « Horizon structuré LG » 1742 (1977, 200x200)

Figure 6 : « Marilyn numérisée » MM664 (1995, 130x130)

Figure 7 : « Mona Lisa synthétisée » ML270, ML 274, ML265 et ML 267 (1985, 200x135 et 259x175)

Figure 8 : Correspondance entre tonalités, couleurs et esprit, selon Alexandre Scriabine : schéma inspiré de celui de l'article « Sons et couleurs » de Patrick Crispini

Figure 9 : Homologie de forme entre un stimulus visuel géométrique et l'état d'activité de l'aire visuelle primaire V1 chez le macaque

Figure 10 : « White Swans, Black Swans » (1956), gravure de M. C. Escher

Figure 11 : Une esquisse chiffrée d'Yvaral (datant des années 1970)

Figure 12 : « Sans titre », 1959, dessin de Iannis Xenakis

Figure 13 : « Hommage à Blaise Pascal » (1987/88/89, 147x102)