

VISIOSONIFICATION

Étude autour du principe de transmutabilité numérique et de ses
implémentations audiovisuelles

Johan Pardo
Sous la direction de Daniel Pinkas
Novembre 2020

09 - Avant propos

La matière numérique

10 - Une représentation commune

12 - Transmutabilité des données

The mapping paradigm

16 - L'angoisse existentielle intégrée des médias informatiques

17 - Des correspondances objectives ?

23 - Mapping et transmutabilité « pré-numérique »

Études de cas

30 - Norman Mc Laren - Synchrony (1971)

34 - Golan Levin - Yellowtail (1999)

38 - Ryoji Ikeda - Test pattern (2008 > 2019)

Les possibles numériques

44 - Un seul médium pour plusieurs médias

45 - Une synthèse algorithmique commune

46 - Quantitatif au qualitatif

46 - La randomisation

48 - La représentation mathématique

50 - Conclusion

Avant-propos

Le son et l'image numériques sont au cœur de ma pratique. J'aborde ce travail de mémoire comme une opportunité de développer une réflexion sur mes médias de prédilection, sur leur histoire et leurs enjeux, et donc de mieux cadrer et d'enrichir conceptuellement mes projets. Je m'intéresse à certaines caractéristiques propres au numérique qui interviennent tout particulièrement dans son implémentation audiovisuelle. Ma recherche porte prioritairement sur la notion de *transmutabilité* ainsi que sur les processus de visualisation et de sonification qui en découlent. Je me réfère notamment à la métaphore de « substance audiovisuelle », proposée par Golan Levin dans le cadre de sa recherche au MIT, et suggère le terme de « visiosonification » pour décrire cette production synchronisée du son et de l'image. En précisant les différents concepts présentés et certaines problématiques qui leur sont inhérentes, puis au travers de trois études de cas, je m'interroge sur ce qui *motive* les choix des représentations audiovisuelles, ce qui distingue le numérique dans le processus de transmutation des données, ainsi que sur les pièges et les opportunités que le potentiel de transmutabilité numérique contient dans le cadre de la *visiosonification*.

La matière numérique

Une représentation commune

«*Le numérique n'est pas une technique, ni, à proprement parler une technologie, mais un code. Un code qui a l'avantage (tout à fait extraordinaire), d'être universel, capable de décrire tout type de matériau. En définitive, le numérique serait un état de la matière - comme les états liquide, solide, gazeux: un objet, un corps, un évènement est converti, transmuté, au travers d'un processus de numérisation, en matière informationnelle, pour être soumis à des traitements, et ensuite retourner à son état normal*» (Quinz, 2004).

Dans son article de 1995 «Technopagans» publié dans Wired, Erik Davis décrit la manière dont certains informaticiens, qu'il nomme «technopaganistes» se servent d'une narration invoquant le concept de *magie* comme d'un outil pour appréhender et représenter l'environnement numérique. Il y dépeint le cyberspace comme une forme de plan astral, où les codeurs sorciers, les «wizards», peuvent, par des incantations et des sorts mathématiques, générer un nombre potentiellement infini de transformations. Dans ce contexte métaphorique, la numérisation, cet «état de la matière» selon Quinz, réalise avec une déconcertante facilité l'idéal de transmutation alchimique d'une substance en une autre, voire d'un élément en un autre. L'ordinateur est l'outil qui permet cette transformation, l'équivalent, en somme, d'un *chaudron*. Une fois la matière informationnelle *transmutée* dans le *chaudron informatique*, cette «matière numérique» peut être traitée, transformée, elle peut changer d'état, d'échelle, ou entrer en relation avec une autre par le biais d'une incantation algorithmique.

Cette «matière», possède en tant que tel des propriétés, tout comme les éléments créés depuis cet *état* spécifique. Ce code universel commun à tout objet numérique décrit par Quinz est identifié par Lev Manovich comme le premier principe des nouveaux médias, «la représentation numérique» (Manovich, 2001, p.49). Manovich explique que tous les *objets néomédiatiques*, qu'ils soient directement réalisés sur des ordinateurs ou convertis à partir de sources médiatiques analogiques, sont des représentations numériques codées, et que cela a deux conséquences fondamentales : ils peuvent être décrits à l'aide d'une fonction

mathématique, et ils sont sujets à des manipulations algorithmiques. Il cite l'exemple du traitement d'image où l'on peut, en appliquant des algorithmes appropriés, supprimer le « bruit » d'une photographie, améliorer son contraste ou modifier ses proportions (fig.1). La même chose vaut pour l'analyse d'un signal sonore ou encore à l'ajustement d'un texte. « En résumé, les médias deviennent programmables », conclut-il. Mais le potentiel de la représentation numérique ne se limite pas, bien sûr, au seul traitement algorithmique d'un média ; de cette spécificité en découlent d'autres, notamment le principe du « transcodage »¹.

1 | Selon Manovich, les cinq principes sont la représentation numérique, la modularité, l'automatisation, la variabilité et enfin le transcodage. Les trois derniers principes dépendent des deux premiers (Manovich, 2001).

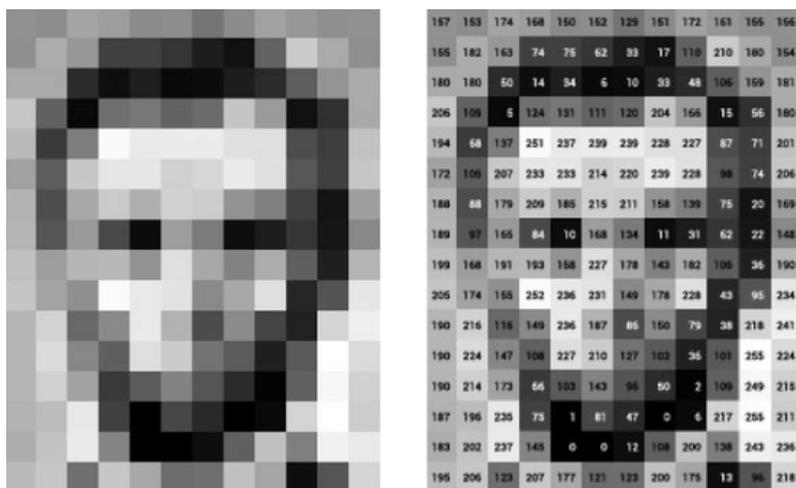


Fig.1

Fig.1 | Photographie numérisée d'Abraham Lincoln. Pour chaque pixel correspond une valeur numérique.

Ce principe, qui est aux yeux de Manovich la conséquence la plus significative de l'informatisation des médias, implique la possibilité de transiter d'un format à un autre, ou de convertir de l'information numérique. Le transcodage décrit spécifiquement la conversion d'un type de données, mais il est étroitement lié à d'autres concepts ayant des caractéristiques différentes comme la *transmédialité*, qui fait référence à la transformation d'un média en un autre, ou encore la *traductibilité*, dans le cas d'une traduction d'informations dans différentes langues. Ces trois termes soulignent un aspect remarquable de l'environnement numérique, qui grâce à cette représentation commune de tout ce qu'il décrit, facilite (voire encourage), la mise en relation de n'importe quel ensemble de données avec n'importe quel autre. Il s'agit « d'une des opérations les plus courantes dans la culture informatique, et elle est également courante dans l'art des nouveaux médias » (Manovich, 2002, p.3, [notre traduction]). Cet ensemble de concepts peut être englobé dans un autre, plus général, la « transmutabilité », qui suggère non seulement la notion de transformation et de *mutation*, mais aussi celle de *mapping*.

Transmutabilité des données

«Un thème important dans de nombreux logiciels audiovisuels est la transmutabilité des données numériques, telle qu'elle est exprimée par le mapping de certains flux de données d'entrée en sons et images. Pour ces œuvres, la prémisse selon laquelle toute information peut être sonifiée ou visualisée par un algorithme est le point de départ d'une transformation conceptuelle et/ou d'une expérience esthétique. De tels projets peuvent ou non révéler l'origine de leurs données d'entrée de manière évidente, et, en fait, la source réelle des données transformées peut même ne pas importer» (Levin, 2009, p.1, [Notre traduction]).

Alors que Quinz décrit les événements comme *transmutés* dans le processus de numérisation, Golan Levin, dans un article de 2009 intitulé «Audiovisual Software Art» propose le terme de «transmutabilité» des données en son et en image, comme «le point de départ d'une transformation conceptuelle et/ou d'une expérience esthétique». Les données *transmutées* dans ce nouvel état numérique deviennent une *matière première*, qui, moyennant une manipulation algorithmique, possède des propriétés plastiques et polymorphiques. Il devient aisé de la modeler, la réinterpréter ou lui faire changer d'échelle en la soumettant à un procédé algorithmique : des ondes sonores peuvent générer des images, des images peuvent produire de la musique, des données peuvent créer des formes et ainsi de suite. Cette *transmutabilité*, qui n'est pas sans rappeler celle réalisée par le cerveau lorsqu'il convertit les données sensorielles en signaux synaptiques², permet un nombre potentiel-

2 | En neurophysiologie, on parle de «traitement de l'information sensorielle».

Fig.1.1 |Brendan Dawes, *Black mamba's revenge*, 2020. Dans ce projet, Dawes visualise la scène finale du combat de Kill Bill Vol. 1 de Quentin Tarantino sous la forme d'un objet 3D. Il utilise un algorithme de *machine learning* qui permet la mise en correspondance de tous les pixels qui composent la forme humaine d'une image RVB avec une surface tridimensionnelle.



Fig.1.1

lement illimité de transformations. L'artiste Jim Campbell, dans son diagramme «Formula for Computer Art» (2000), illustre parfaitement ce potentiel en associant les entrées/sorties à divers phénomènes comme les couleurs, les battements du cœur, le vent, les mouvements corporels, ou encore la pluie (fig.2). Levin, lui, se réfère à la *transmutabilité* des données en son et image, mais chaque donnée peut être une entrée et/ou une sortie du système, et différentes configurations peuvent être explorées³. Bien que les possibilités de *routing* et les processus de transformation soient quasi infinis, la sortie est très souvent auditive et visuelle, pour une raison relativement évidente : l'association étroite de l'image et du son correspond à la modalité fondamentale de notre expérience du monde. Ainsi dans le cas de la visualisation de données massives ou abstraites, la sortie audiovisuelle permet de rendre des phénomènes qui se situent au-delà de l'échelle des sens en quelque chose qui est désormais à notre portée, de le convertir en expérience sensorielle. C'est ce contexte d'expérimentations qui m'intéresse tout particulièrement dans le cadre de ce mémoire, c'est-à-dire le processus de visualisation et de sonification synchronisé, pour lequel je propose le terme de «visiosonification».

Golan Levin tente de caractériser la *visiosonification* dans le domaine de l'interaction en se servant de la métaphore de «substance audiovisuelle», une «substance» qui, dans une série de dispositifs conçus par Levin que je détaillerai plus loin, peut-être créée et manipulée de manière gestuelle. Ces dispositifs permettent au son et à l'image d'être étroitement liés : on dépasse entièrement la simple idée de représentation ou d'illustration réciproques; le son et l'image sont, si l'on peut dire, à l'unisson, «proportionnellement malléables et profondément plastiques» (Levin, 2000, p.3, [Notre traduction]). Levin explique que dans le monde physique, presque tout objet ou matière est en soi une substance audiovisuelle, possédant à la fois une apparence et un ensemble de sons associés : «Ces associations sont intrinsèques à nos objets et matériaux et sont essentiellement immuables : un verre à boire ressemble à un verre, et le son qu'il produit lorsqu'il tombe et se brise est inimitable». Dans le monde de «l'information pure de l'ordinateur», cependant, le concepteur d'une substance audiovisuelle synthétique doit établir ces associations entièrement par lui-même. «Malheureusement», dit Levin, «toute correspondance créée entre une image et un son sera presque toujours une association arbitraire ou personnelle : il n'y a pas de correspondance «objective» entre les sons et l'image ou vice versa» (Levin, 1999, p.122 [Notre traduction]). Ce faisant, il met le doigt sur une problématique fondamentale liée au potentiel de transmutabilité de données numériques, qui concerne les *motivations* du choix des représentations.

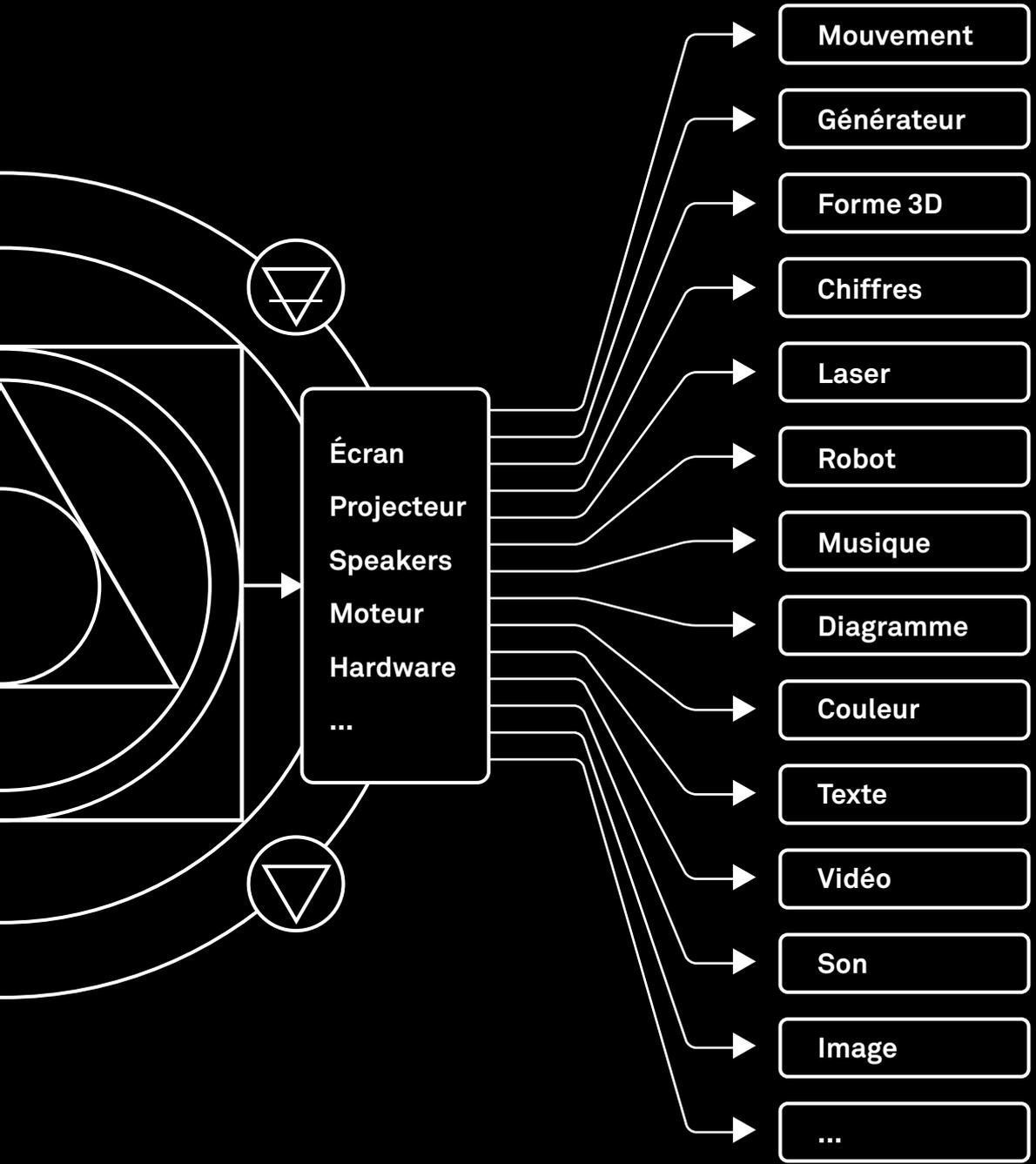
3 | Ce type de système peut aussi comporter plusieurs entrées ou plusieurs sorties, ainsi que des boucles de rétroaction qui ouvrent encore d'autres possibilités.

Fig.2 | (Pages suivantes). Potentiel de transmutabilité des données numériques. Schéma que j'ai librement adapté du diagramme de Campbell et revisité sous l'angle de la définition donnée par Quinz. L'«état numérique» y est représenté comme un cinquième état de la matière, dans une dimension ésotérique, exprimant l'aspect parfois incantatoire et insaisissable de certain processus (tout particulièrement aujourd'hui avec les algorithmes de *machine learning*).

- Image
- Son
- Vidéo
- Texte
- Couleur
- Mouvement
- Traffic aérien
- Respiration
- Pouls
- Humidité
- Vent
- Lumière
- Position
- ...

Micro
Camera
Clavier
Souris
Senseur
...





The mapping paradigm

L'angoisse existentielle intégrée des médias informatiques

« Puisque les ordinateurs nous permettent de mapper facilement n'importe quel ensemble de données dans un autre ensemble, je me demande souvent pourquoi l'artiste a choisi telle ou telle correspondance alors qu'une infinité d'autres choix étaient également possibles. Même les meilleures œuvres qui utilisent cette méthode souffrent de ce problème fondamental. C'est le « côté sombre » du mapping et des médias informatiques en général - son angoisse existentielle intégrée. En nous permettant de mapper n'importe quoi dans n'importe quoi d'autre, de construire un nombre infini d'interfaces différentes avec un objet médiatique, de suivre des trajectoires infinies à travers l'objet, etc., les médias informatiques font simultanément apparaître tous ces choix comme arbitraires - à moins que l'artiste n'utilise des stratégies spéciales pour motiver ses choix » (Manovich, 2002, p.9, [Notre traduction]).

Comme on peut le voir, la problématique soulignée par Levin concernant l'absence de correspondance objective entre les images et le son est aussi identifiée par Manovich, mais sous un angle beaucoup plus critique et radical: il parle, quant à lui, du « côté sombre du mapping et des médias informatiques », d'une « angoisse existentielle intégrée ». Bien que le questionnement reste le même, il ne se rapporte pas à la seule relation image-son, mais touche à la visualisation en général. Il emploie le terme de visualisation pour les situations où des données quantifiées ne sont pas en elles-mêmes visuelles, citant les exemples de « la sortie de capteurs météorologiques, les comportements boursiers, des adresses décrivant la trajectoire d'un message à travers un réseau informatique. » (Manovich, 2002, p.3, [Notre traduction]), c'est-à-dire quand un ensemble de données est mis en correspondance avec une image⁴. Cet aspect à la fois commun et remarquable des médias informatiques, que Manovich nomme le « mapping paradigm », souffre d'un « problème fondamental » qui est son caractère radicalement arbitraire. Il considère que même les meilleurs travaux en sont tributaires. La question est donc de savoir pourquoi les artistes et les concepteurs choisissent un type de représentation plutôt qu'un autre parmi un nombre potentiellement infini de possibilités, et de penser de manière critique la dimension arbi-

4 | Bien que Manovich n'en parle pas directement, il en va de même pour une sonification qui est, si j'ose dire, une forme de visualisation auditive.

traire et la motivation qui sous-tend la visualisation. Manovich note que cette problématique fait écho à celle du fond et de la forme en art, ou « le contenu doit motiver la forme ». La correspondance entre la forme et le contenu est généralement admise comme un critère de mérite, ou une œuvre est traditionnellement considérée « réussie » lorsqu'elle fusionne harmonieusement ces deux dimensions pour créer une unité cohérente. Par conséquent, nous pouvons établir que dans notre contexte d'étude, la perception que l'on aura d'une visualisation comportera l'appréciation des qualités esthétiques et techniques de la forme, l'accessibilité et la compréhension du contenu, ainsi que *l'expérience* qu'elle procurera depuis cette unité. Il faut toutefois bien discerner plusieurs contextes de visualisation : s'agit-il d'une œuvre d'art, d'expérimentations ou de représentations scientifiques ? Les critères ne sont alors pas les mêmes selon le cas de figure. Si le changement de forme dans une œuvre d'art implique en général un changement de contenu, ce n'est par contre pas le cas pour une visualisation scientifique ou le même contenu peut prendre des formes très variables en conservant un invariant informationnel. Par exemple, un son peut-être visualisé de multiples manières en procurant la même quantité d'informations sur sa nature.

Des correspondances objectives ?

Transmutations physiques

Dans quelle mesure peut-on parler de correspondances « objectives » ? Dans le cadre de la visualisation scientifique, où le but est de traduire de façon la plus intelligible possible un ensemble de données, la notion d'isomorphisme⁵ semble plus appropriée que celle d'interprétation. Si l'on reprend l'exemple de la visualisation du son, les caractéristiques de base « amplitude et fréquence » du signal peuvent alors être représentées de différentes manières tout en restant au plus près de sa structure physique réelle. Au cours des nombreuses expérimentations menées aux XIXe et XXe siècles par des chercheurs comme Lissajous, Young ou encore Chladni, de multiples instruments et technologies seront développées, de *l'eidophone* au *tonographe*⁶ en passant par l'oscilloscope, permettant une visualisation largement *objective* entre le son et l'image produite. Avec un système comme l'eidophone (fig.3 et 4), il s'agit de traduire un phénomène vibratoire d'un médium à un autre, c'est-à-dire de l'air à un support solide. Avec l'oscilloscope, le principe est assez similaire; les changements de pression de l'air sont transformés par le microphone en tension électrique dont on suit les variations temporelles sur l'écran. On ne réinterprète pas le signal par

5 | On parle d'isomorphisme lorsque différents ensembles sont systématiquement mis en correspondance tout en préservant leur structure.

6 | Deux instruments très similaires, fonctionnant par « projection » du son sur une surface solide, développée respectivement par la chanteuse Margaret Watts Hughes en 1885 et Henry Holbrook en 1897, suite aux expériences menées sur les figures de vibration de Chladni.

Fig.3 | Margaret Watts Hughes utilisant l'eidophone.



Fig.3

Fig.4 | Formes sonores sur plâtre réalisées avec l'eidophone. Tiré de son ouvrage *The Eidophone* (1904).

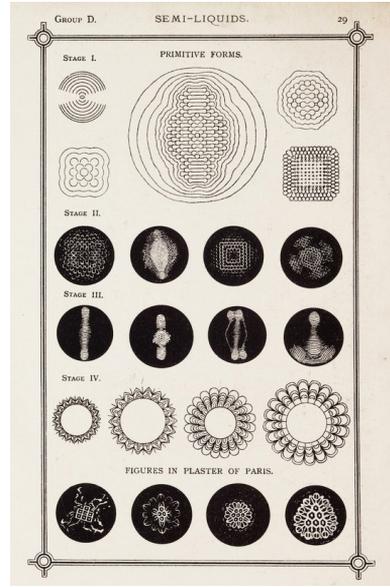


Fig.4

7 | Qui se rapprocherait des visualiseurs type « Milkdrop » des années 2000, ou le son contrôle différents paramètres visuels de manière randomisée.

de nouvelles formes comme on le ferait par une manipulation algorithmique programmée, on *transmute* le son d'un état à un autre par le biais d'un dispositif qui peut-être analogique, permettant une nouvelle appréhension du phénomène. Si l'on se réfère aux logiciels de traitement audio numériques, le signal sonore sera traduit au plus proche de ce que permettent des dispositifs analogiques ; il est assez rare de voir des *plug-ins* qui proposent des interprétations inédites d'une forme d'onde, ou seulement dans une approche « fantaisiste »⁷. L'objectif, qui est de pouvoir correctement « sculpter » le son, nécessite que sa représentation soit étroitement arrimée à sa réalité physique, et presque tous les packs d'instruments virtuels incluent un oscilloscope ou un spectrogramme qui est une version numérique de l'original.

Perception visuelle

La visualisation du son, ou de n'importe quelle autre donnée scientifique, est alors motivée par *l'intelligibilité*, par un souci de rigueur et de précision, décrite par des graphiques utilisant lignes, points, représentations géométriques 2D et plus récemment des images tridimensionnelles. Il faut donc aussi prendre en compte le fait que les *interprétations*, que les *isomorphismes*, se basent sur les modes de la perception humaine. Dans son article « Tapping the power of visual perception » publié en 2004, Stephen Few analyse les relations étroites entre la perception et la cognition et comment nos modes de représentation en découlent (fig.6). Pour Few, « mieux vous comprendrez les forces et les faiblesses

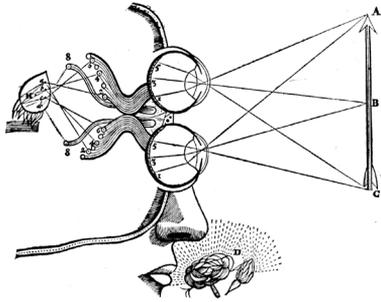


Fig.5

de la perception visuelle, mieux vous serez équipé pour détecter la structure et les modèles des données lorsqu'elles sont affichées visuellement». Il en déduit une série d'«attributs de préattention» qui sont utilisés dans la représentation des données. Il s'agit, comme décrit précédemment, de formes simples, de couleur et de position spatiale.

Fig.5 | Schéma illustrant la perception visuelle issu de l'ouvrage *Tractatus de homine, et de formatione foetus* de René Descartes, (1677). Il pensait, à tort, que c'était la glande pinéale qui servait de lien entre le corps et l'esprit.

Ces attributs visuels ne sont pas égaux du point de vue de la perception, certains sont perçus comme plus « forts », ou plus « pregants » que d'autres. Il est particulièrement notable que bien que l'utilisation du support informatique autorise toute une série de nouvelles techniques de visualisation, « le langage visuel de base soit resté le même qu'au XIXe siècle - points, lignes, rectangles et autres structures graphiques » (Manovich, 2010, p.5, [notre traduction]). En effet, les règles et les systèmes cognitifs décrits par Shaw restent identiques, quel que soit le support : le cerveau doit pouvoir se représenter le monde en objets spatialement distincts et identifiables. L'ordinateur permet de visualiser des ensembles de données beaucoup plus importantes, de manière dynamique et sous de nouvelles formes, mais sans révolutionner ces éléments fondamentaux.

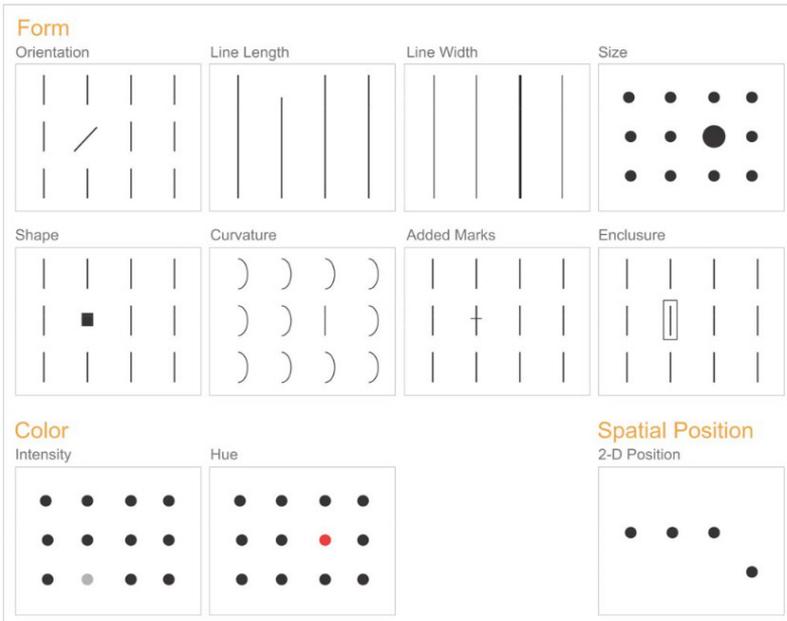
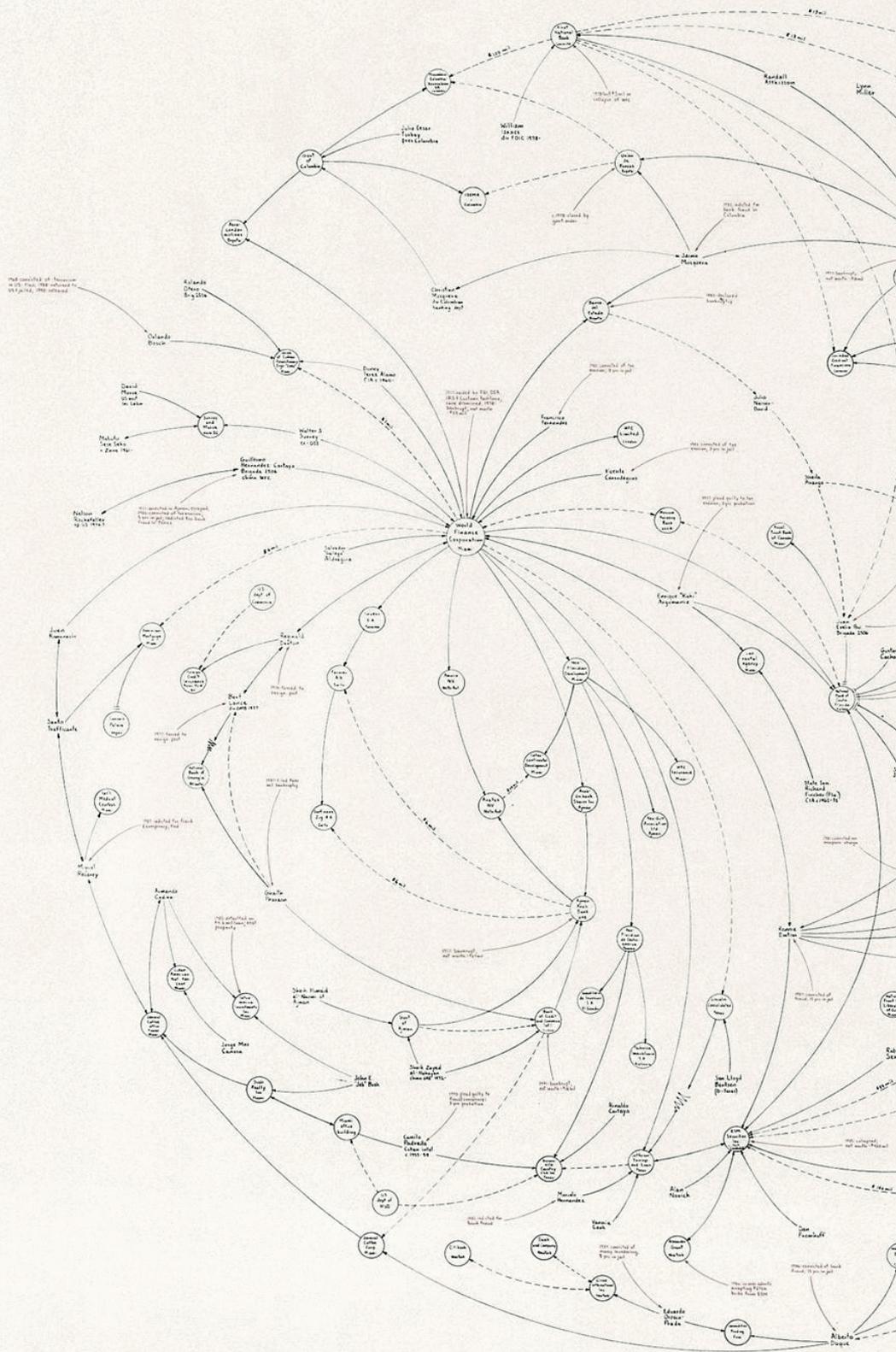


Fig.6

Fig.6 | Diagramme réalisé par Stephen Shaw représentant les principaux attributs visuels utilisés dans la visualisation de données.



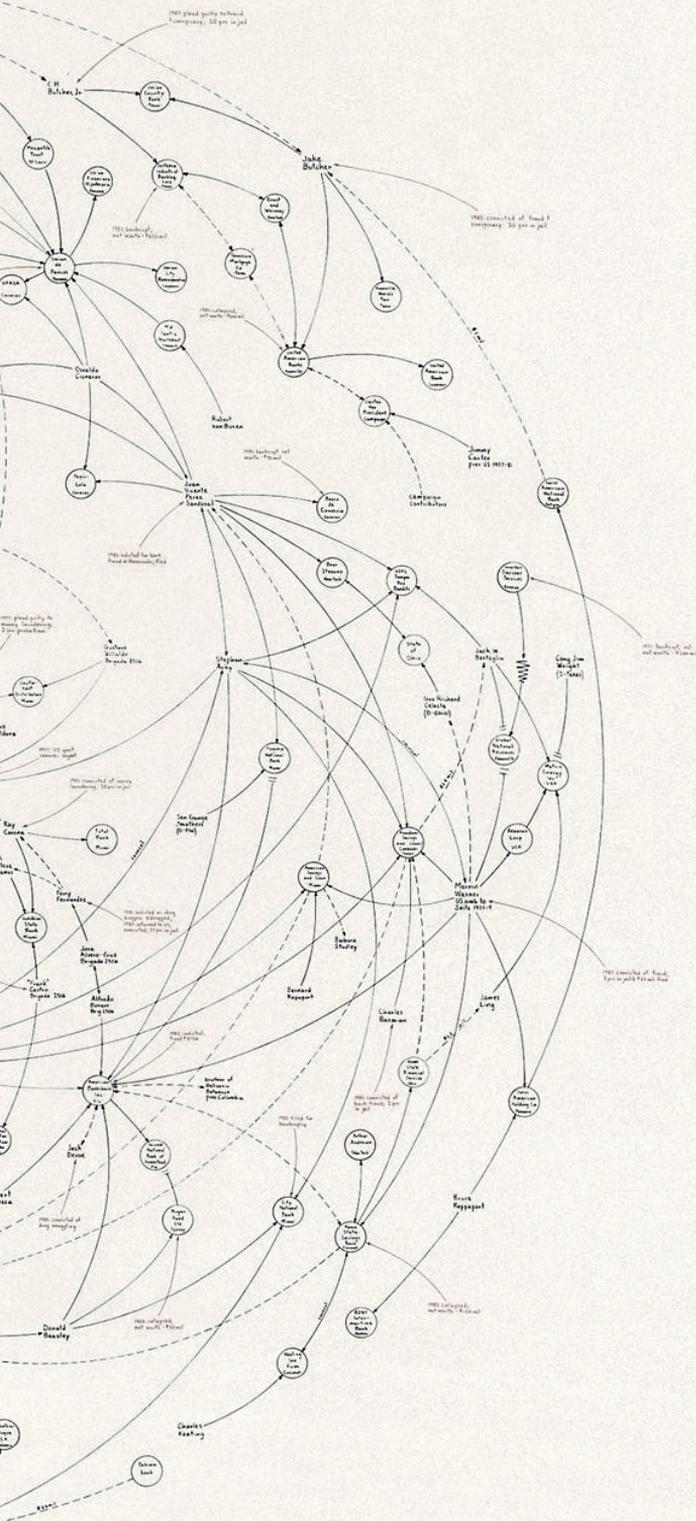


Fig.7 | Mark Lombardi (1951-2000), *World Finance Corporation and Associates, ca. 1970-84: Miami, Ajman, and Bogota-Caracas (Brigada 2506: Cuban Anti-Castro Bay of Pigs Veteran) (7th Version)*, 1999. L'oeuvre de Lombardi se caractérise par la représentation visuelle de liens politico-financiers et de grandes affaires qui ont marqué notre époque.

Visualisation directe

8 | Manovich parle aussi de «visualisation sans réduction», par opposition à ce qu'il nomme «le principe de réduction», où l'on schématise drastiquement les données, et «au principe des variables spatiales» où l'on organise ces données à l'aide de représentations graphiques.

Un autre cas où l'on pourrait parler de visualisation *objective* concerne ce que Manovich appelle la «visualisation directe», qui est au cœur de sa recherche⁸. Plutôt que de représenter du texte, des images, de la vidéo ou d'autres médias par des signes visuels propres à la data-visualisation, les visualisations médiatiques construisent de nouvelles représentations à partir des médias originaux. Les images restent des images et le texte reste du texte, mais grâce à la puissance de calcul et aux résolutions élevées des écrans modernes, les données sont réorganisées en une nouvelle représentation visuelle qui préserve leur forme originale. À titre d'exemple, le projet de recherche *Phototrails* (fig.8) réalisé en 2013 fournit une visualisation directe utilisant un échantillon de 2,3 millions de photos Instagram provenant de 13 villes du monde. Il en résulte un nuage d'images extrêmement dense, mais dans lequel il devient possible de percevoir «comment les changements temporels dans le nombre de photos partagées, leur emplacement et leurs caractéristiques visuelles peuvent révéler des aperçus sociaux, culturels et

Fig.8 | Lev Manovich, *Phototrails*, 2013.

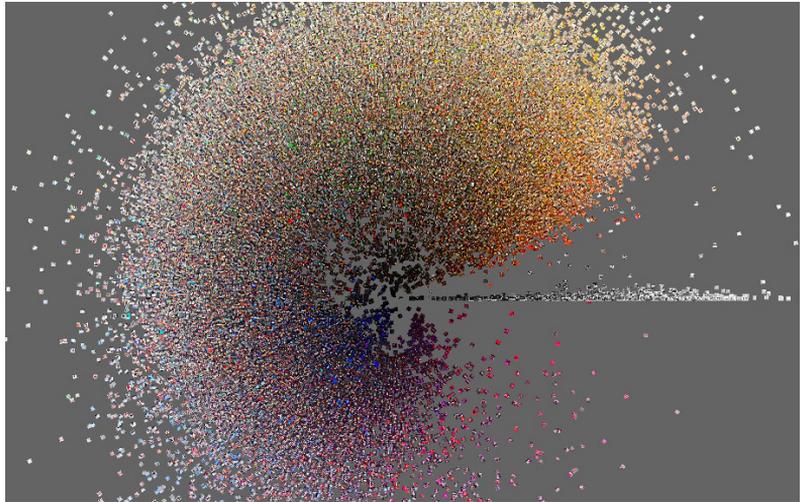


Fig.8

8 | Phototrail. <<https://phototrails.net/about/>>. (Consulté le 25 Septembre 2020, [Notre traduction]).

politiques sur l'activité des gens dans le monde»⁸. Il convient de noter que la démarche de Manovich s'apparente à une démarche scientifique, ou en tout cas à une démarche de recherche. La visualisation directe est selon lui un outil d'analyse culturelle : «je pense que la méthode de visualisation directe sera particulièrement importante pour les sciences humaines, les études sur les médias et les institutions culturelles qui commencent à peine à découvrir l'utilisation de la visualisation, mais qui pourraient éventuellement l'adopter comme outil de base pour la recherche, l'enseignement et l'exposition d'objets culturels» (Manovich, 2010, p.22, [notre traduction]).

Mapping et transmutabilité « pré-numérique » : musique visuelle et son graphique

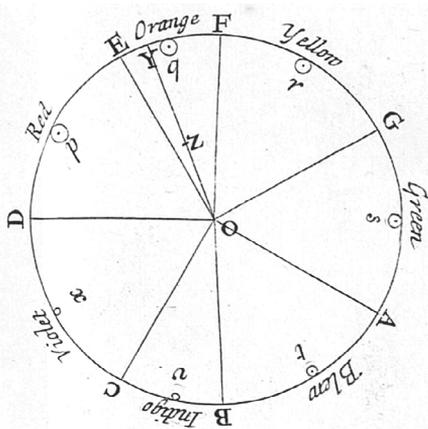


Fig.9

Bien qu'il y ait aussi une part d'interprétation non éliminable dans le contexte de la visualisation scientifique, les représentations se veulent plus « rationnelles » que dans le paysage artistique. Les possibilités de mapping facilitées par les technologies liées au numérique questionnent de manière fondamentale les motivations qui déterminent les choix des représentations, sans toutefois introduire des problématiques inédites; disons que cette aisance les réactualise, voir les exacerbe jusqu'à devenir

ce que Manovich désigne par « l'angoisse existentielle intégrée des médias informatiques ». Alors que la datavisualisation⁹ propose des points de réflexion intéressants autour de l'objectivité relative des représentations, un autre champ notable qui a vu émerger ce questionnement est celui de la musique visuelle. Aristote et Pythagore s'interrogeaient déjà sur les possibles correspondances mathématiques entre le spectre des couleurs et les intervalles musicaux¹⁰; Newton créera le cercle chromatique en s'inspirant directement de la gamme chromatique (fig.9), et Louis Bertrand Castel dans son traité « l'optique des couleurs » publié en 1740, était en quête d'une sorte d'harmonie absolue entre la couleur et la musique. Ce ne sont là que quelques-unes des tentatives de relier

Fig.9| Cercle chromatique de Newton, associé à des intervalles musicaux. Issu de son ouvrage *Opticks* (1704).

9 | J'inclus la visualisation scientifique dans ce terme.

10 | La théorie de la « Musique des Sphères » pythagoricienne se fonde sur l'idée que l'univers entier est régi par des rapports numériques harmonieux.

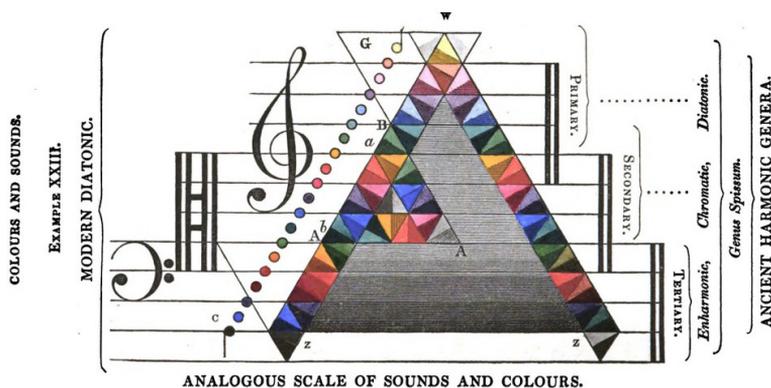


Fig.10

Fig.10 | Une autre tentative d'associer tonalités et couleurs par George Field dans *Chromatics: Analogy, harmony and philosophy of colours* (1845).

systématiquement le champ sonore au champ chromatique. Bien qu'ils aient en commun leur nature vibratoire, une correspondance véritablement satisfaisante n'a jamais pu être établie, et les associations restent largement subjectives et culturelles. Les premiers orgues à couleur se basaient sur une analogie entre la hauteur des notes et la gamme chromatique, Kandinsky ou Klee « peignaient la musique », mais leurs choix n'étaient pas forcément moins arbitraires. C'est une problématique qui est impliquée aussi bien dans l'art abstrait que dans le cinéma abstrait ou encore aujourd'hui dans les dispositifs audiovisuels contemporains.

Fig.11 | Paul klee, *Polyphonic setting for white*, 1930.

Le début du XXe siècle verra naître une importante recherche dans le champ de la musique visuelle, regroupant des travaux qui ont en commun une approche tendant à la synesthésie du son et de l'image, mais dans lesquels on peut distinguer des pratiques très différentes: la musique influence les peintres abstraits (fig.11), qui transposent les notions de temps et de rythme dans leurs toiles, le Clavilux de Thomas Wilfred (fig.16) est un clavier qui permet de « sculpter la lumière » et la projette de manière silencieuse, l'ingénieur Rudolf Pfenninger codifie et synthétise le son en motifs

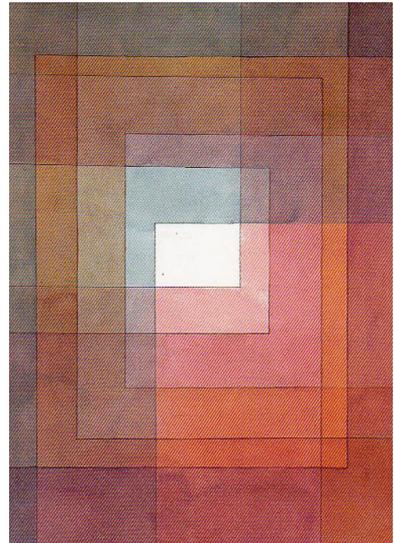


Fig.11

tonaux pour développer une forme d'écriture sonore. Dans ces exemples les sons et l'image sont étroitement liés, s'influencent mutuellement, mais ne sont pas représentés physiquement en même temps. Il existe cependant d'autres dispositifs, comme le célèbre orgue à couleur développé par Alexander Wallace Rimington en 1894 (fig. 14), qui offraient un rendu sonore et visuel simultané, constituant ainsi une nouvelle catégorie, les dispositifs « visiosonifiants ». À nouveau, ce ne sont là encore que quelques-unes des nombreuses expérimentations menées au fil des siècles. Les principaux pionniers de la musique visuelle étaient souvent des innovateurs en matière de technologie, et le développement et la conception de nouveaux appareils est intrinsèquement liée à la manière dont le son peut être représenté. Dans les années 50, John Whitney, considéré comme un des pères du *motion design*, sera un des premiers à intégrer la technologie informatique aux côtés du mathématicien Ben Laposky. Alors que Laposky conçoit des images statiques à partir d'os-

cilloscopes, qu'il appelle «oscillons», ou «oscillogrammes» (fig.12), Whitney réalise des séquences animées. Pour lui, la synchronisation audiovisuelle et le rythme sont essentiels pour créer, « un art qui devrait ressembler à des sons musicaux » (Whitney, 1981, p115). L'informatique va permettre à ces concepteurs de musique visuelle de « de transcender les limites de la physique, de la mécanique et de l'optique » (Levin, 2000, p.33, [Notre traduction]). Comme nous allons le voir dans les études de cas, ce point de vue sera amplement validé par les dispositifs audiovisuels contemporains.

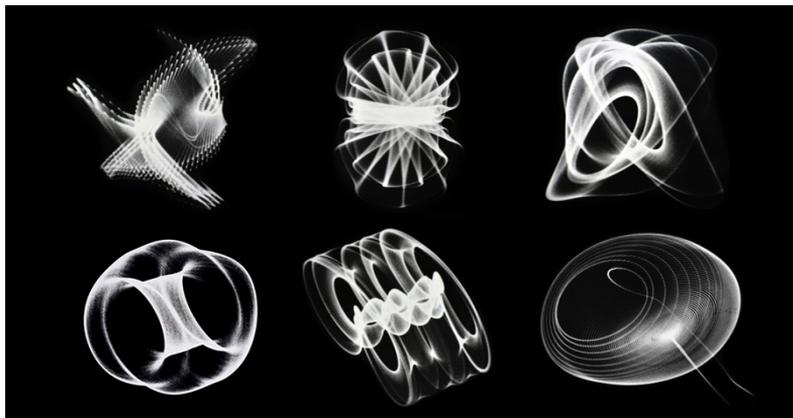


Fig.12

Fig.12 | Ben Laposky, *Oscillons*, (1952).

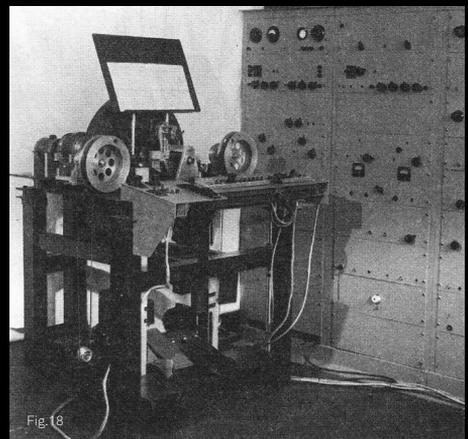
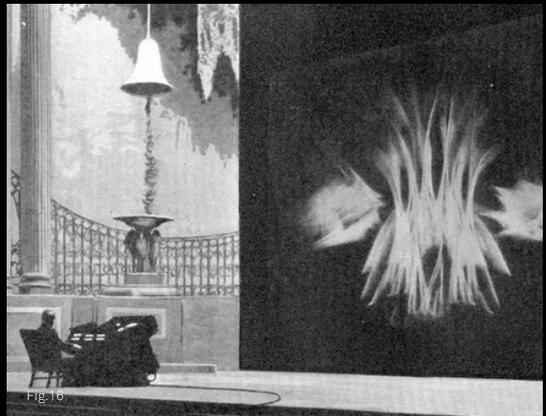
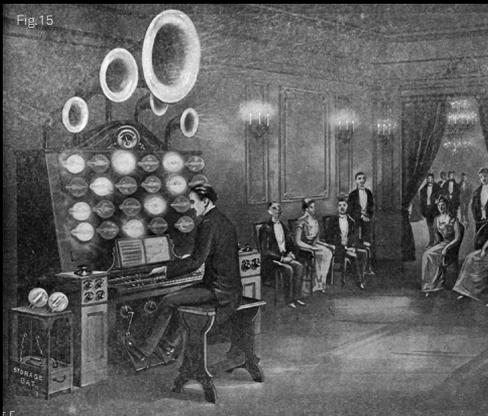
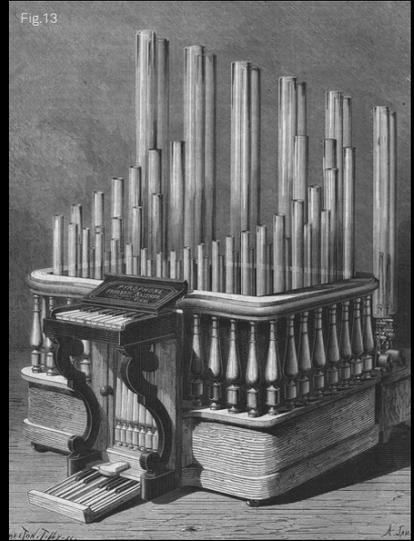
Instruments audiovisuels

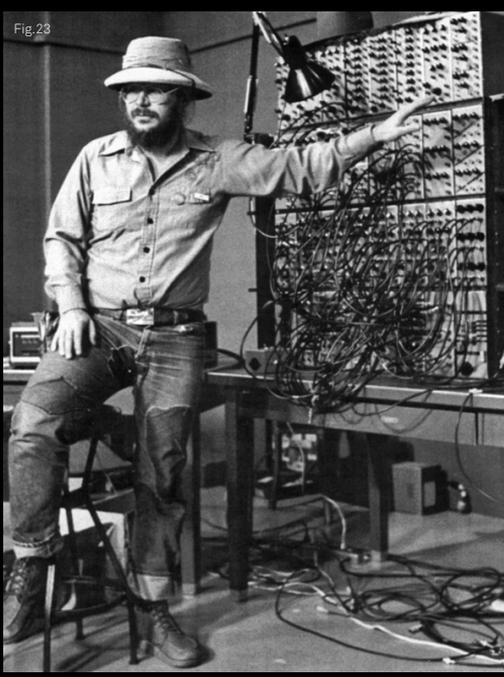
Les pages suivantes sont une chronologie partielle de dispositifs et instruments audiovisuels, illustrant les multiples recherches en relation avec les évolutions technologiques.

Index des images de la page suivante

- Fig.13 - 1875 - *Pyrophone*, l'orgue à flamme de Georges Kastner.
- Fig.14 - 1893 - *Orgue à couleur*, d'Alexander Wallace Rimington.
- Fig.15 - 1915 - *Piano à ampoule Audion*, de Lee de Forest.
- Fig.16 - 1919 - *Clavilux*, clavier à lumière de Thomas Wilfried.
- Fig.17 - 1920 - *Sarabet*, orgue à couleur de Mary Hallock Greenewalt.
- Fig.18 - 1930 - *Variophone*, synthétiseur optique d' Evgeny Sholpo.
- Fig.19 - 1935 - *Moblicolor*, projecteur de couleur de Charles Dockum.
- Fig.20 - 1952 - *Oscillons*, photographies d'oscilloscope de Ben Laposky.
- Fig.21 - 1957 - *Oramics*, synthétiseur optique de Daphne Oram.
- Fig.22 - 1963 - John Whitney produisant des séquences animées.
- Fig.23 - 1973 - Synthétiseur d'image de Dan Sandin
- Fig.24 - 1974 - *VAMPIRE**, par Laurie Spiegel.

* Video And Music Program for Interactive Realtime Exploration/ Experimentation.





Études de cas

Nous avons jusqu'ici abordé les propriétés de la *matière* numérique et le potentiel de transmutabilité qui en découle; une problématique fondamentale s'est imposée à nous, la *motivation* des représentations. Ensuite, au travers des exemples de la visualisation scientifique, de la datavisualisation et de la musique visuelle, nous avons pu constater que ce questionnement n'est pas spécifique à l'environnement numérique, qu'il est ancien, et qu'il est souvent relatif au contexte donné. Pour comprendre ce qui distingue la *transmutabilité numérique* et afin d'analyser les variations dans les *motivations* des représentations audiovisuelles, j'ai sélectionné trois projets qui proposent une *visiosonification* et qui se rapportent à la notion de « substance audiovisuelle », mais qui se situent dans trois modes radicalement différents : *Synchromy* de Norman McLaren, un film d'animation abstrait, *Yellowtail* de Golan Levin, une application interactive qui sonifie et visualise le geste de l'utilisateur, ainsi que la série *Test pattern* de Ryoji Ikeda qui pour sa part transmute des textes, du son, des images, des films, et les restitue en structures binaires dans plusieurs types de dispositifs.

Synchromy - 1971

De Norman McLaren

Film d'animation abstrait (7mn)

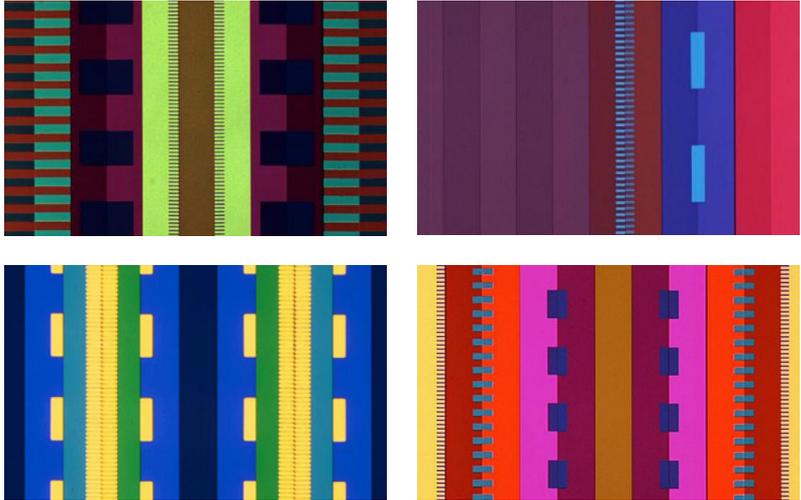


Fig.25 à 28 | Série de 4 frames tirées du film *Synchromy*.

Fig.25.26.27.28

11 | Fischinger crée des motifs qu'il photographie avec l'appareil animateur pour les faire apparaître sur la piste sonore du film, permettant la synthèse du son qu'il utilise dans ses animations. Il emploie une technique d'« écriture sonore » initialement développée par Rudolf Pfenninger.

Norman McLaren (1914-1987), est un réalisateur canadien qui fut un pionnier et un acteur majeur du cinéma d'animation abstrait aux côtés d'autres grands noms comme Oskar Fischinger, Len Lye ou encore Vikking Eggeling. Tout au long de sa carrière, il cherchera à établir une symbiose entre le son et l'image, le développement des techniques de cinéma offrant un champ inédit d'expérimentations. Son travail, à l'instar d'Oskar Fischinger, se caractérise notamment par l'utilisation des bandes sonore et optique de la pellicule 35 mm¹¹; dans de nombreux projets, il dessine ou gratte directement sur la bande sonore du film, et conçoit les visuels en parallèle en appliquant le même procédé sur la piste optique de la pellicule (fig.29). En plus de représenter le son de manière visuelle, ces techniques le génèrent physiquement. Ces procédés autorisent une synchronisation, voire une fusion parfaite du son et de l'image. Inspiré par la méthode d'écriture acoustique utilisée par Fischinger et Pfenninger, il crée un système de cartes, dessinées à la main, comportant différents motifs dont il se sert comme gabarit pour générer un ensemble de tonalités. Il masque ensuite ces bandes avec d'autres cartes prédécoupées permettant la production de sons ayant des attaques et des dynamiques variables, reproduisant de manière complètement artisanale les enveloppes ADSR (*amplitude, decay, sustain, release*) que l'on retrouve dans tous les synthétiseurs

modernes (fig.30). Il recourra à cette méthode dans plusieurs projets dont *Synchromy*, qui sera son dernier film abstrait, peut être considéré comme le point culminant de cette exploration : en plus de recourir à cette technique pour sonifier le film, il se sert aussi des motifs sonores pour créer le visuel, fusionnant habilement les deux et réalisant, comme l'indique le titre de l'œuvre, une synchronisation chromatique et sonore.

Description

Synchromy commence par une simple ligne verticale bleu clair sur fond bleu foncé sur laquelle apparaît d'abord de façon intermittente une série de carrés blancs accompagnés d'un son synthétisé (qui n'est pas sans rappeler le Chiptune et le son des puces 8-bits) qui leur correspond. On remarque immédiatement que la hauteur du son varie en fonction de l'espacement et de la taille des carrés. La composition s'accélère progressivement et les sons se structurent en motifs mélodiques, toujours en relation avec la dimension et la disparition des carrés. La composition se complexifie, avec des polygones beaucoup plus larges associés aux basses, conjointement à d'autres notes beaucoup plus rapides jouées en *staccato*. L'ensemble ralentit puis un fond noir fait son apparition, avec une autre catégorie de son lié cette fois à des structures colorées. Cette partie place en association étroite certaines formes avec des sons correspondants, et nous fait entrer dans une nouvelle configuration où les bandes prolifèrent puis fusionnent, les motifs se superposent, pour créer une sorte de kaléidoscope vertical qui se restructure, se disloque, pour revenir au motif des lignes colorées. Nous plongeons alors dans une exploration de différents types de compositions, de décompositions et d'alignements dans différentes matrices, alternant des phases de densité, de calme et de fortes accélérations. Le film se termine sur un ralentissement général du son et de l'image, un retour du fond noir comme pour souligner encore les motifs sonores, puis tous les sons générés précédemment semblent joués à l'unisson dans l'accord final.



Fig.29



Fig.30

Fig.29 | McLaren dessinant des sons.

Fig.30 | Les cartes de tonalité et d'enveloppe conçues par McLaren, soigneusement classées.

Analyse

Synchromy peut être qualifiée d'œuvre synesthésique, elle est dépourvue de message explicite. C'est en fait une expérience audiovisuelle à part entière où le son et l'image coïncident si subtilement qu'ils forment une entité, une unité; une expérience, en somme, où l'on voit ce que l'on entend. Cette unité est nettement renforcée par le fait que McLaren ait directement imprimé les motifs sonores sur les deux bandes et ait ajouté la couleur dans un deuxième temps, alors qu'habituellement il travaillait les deux supports séparément. Les motifs joués étant visibles et se superposant à la répartition visuelle, il augmente le son comme l'image, permettant une lecture mutuellement renforcée des deux médiums. *Synchromy* possède, comme la plupart des œuvres de McLaren, une dimension poétique et ludique, voire humoristique. Il joue avec les formes et le son, explore et décline la gamme chromatique en proposant différentes configurations des couleurs primaires et complémentaires, créant dès lors une « danse » énergétique entre les différents éléments qu'il met en scène. Alors que la relation entre les polygones et le son est très nette, il n'y a cependant pas de correspondance précise entre la hauteur des sons et les couleurs, cette association varie constamment. Les relations avec la couleur peuvent alors paraître arbitraires, mais elles empêchent le spectateur de saisir complètement la relation du son et de l'image, qui est dans le même temps soutenu par la corrélation directe entre les motifs et le son. Elle devient moins évidente, autorisant une plus grande richesse dans la composition et l'exploration entre les deux médiums. Si les deux étaient systématiquement liés, l'œuvre serait probablement moins riche et surprenante. Les choix visuels sont à la fois « objectifs » et « arbitraires », il montre ce qu'il sonifie et joue avec la couleur pour modifier la relation synesthésique avec le spectateur.

La parenté formelle de *Synchromy* au regard d'œuvres numériques contemporaines est frappante. Son langage audiovisuel n'est pas foncièrement différent de celui que l'on peut expérimenter dans le monde de la musique électronique ou des installations. En effet, bien que des images plus complexes, de type tridimensionnel par exemple, puissent être générées en utilisant des plateformes telles que *Processing* ou *Openframeworks*, beaucoup d'artistes se servent toujours de motifs géométriques et de formes dites *primitives* (fig.31). Cela fait généralement appel à des librairies existantes et donc à l'utilisation de fonctions simples, tout comme la synthèse audio peut se faire en « appelant » des oscillateurs que l'on peut relier aux formes générées. L'image bidimensionnelle sera aussi souvent privilégiée pour les dispositifs en temps réel, permettant une meilleure stabilité, car nécessitant moins de calculs. Ce que McLaren produit « laborieusement » en des-

sinant des cartes pour contrôler le son, peignant les images une à une et photographiant les motifs pour les transposer sur l'image, peut être programmé très facilement sur ce type de plateformes puis diffusé à n'importe quelle échelle (fig.32). Il est aussi notable que dans le cas de McLaren, l'utilisation d'un même support technologique pour la création et la diffusion du son et de l'image joue un rôle majeur dans la synchronisation, ce qui constitue un point commun important avec les dispositifs numériques ; comme nous l'avons vu, le fait de partager la même représentation autorise une sortie et une correspondance simultanée du son et de l'image depuis la même source. La différence fondamentale réside donc essentiellement dans le processus de synthèse du son et de l'image, dans le type d'images produites, en l'occurrence uniquement bidimensionnelles, dans le type de sons générés, très limités en comparaison du potentiel de la synthèse sonore programmable, ainsi que dans le format de diffusion : le dispositif de McLaren est restreint au cinéma, il ne peut en aucun cas être interactif (au sens strict), ou être diffusé sur une échelle différente que ce qu'autorise cette technologie. Le numérique permet de facilement contourner toutes ces limitations.



Fig.31

Fig.31 | Live audiovisuel dans le cadre d'une «Algorave», où son et visuels sont codés simultanément, en direct.

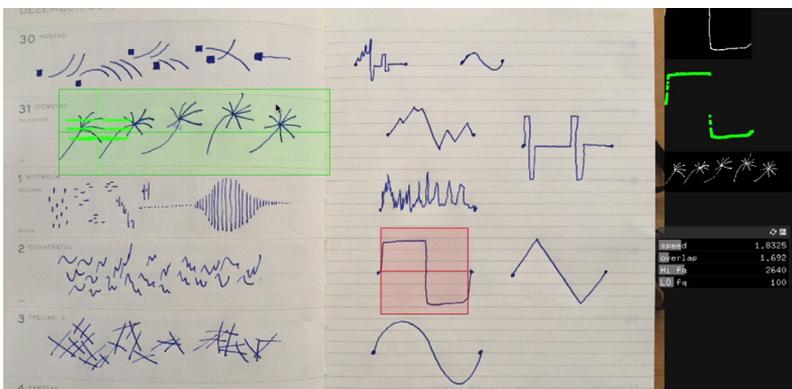


Fig.32

Fig.32 | JeongHo Park, *Sketchsynth* (2020). Une version contemporaine d'utilisation de «sons graphiques» programmée avec *OpenFrameworks*. La forme d'onde est dessinée sur la partie droite, alors les dessins de la page de gauche font office de *partition* qui est scannée par une webcam et lue en temps réel.

Yellowtail - 1999

De Golan Levin

Application interactive

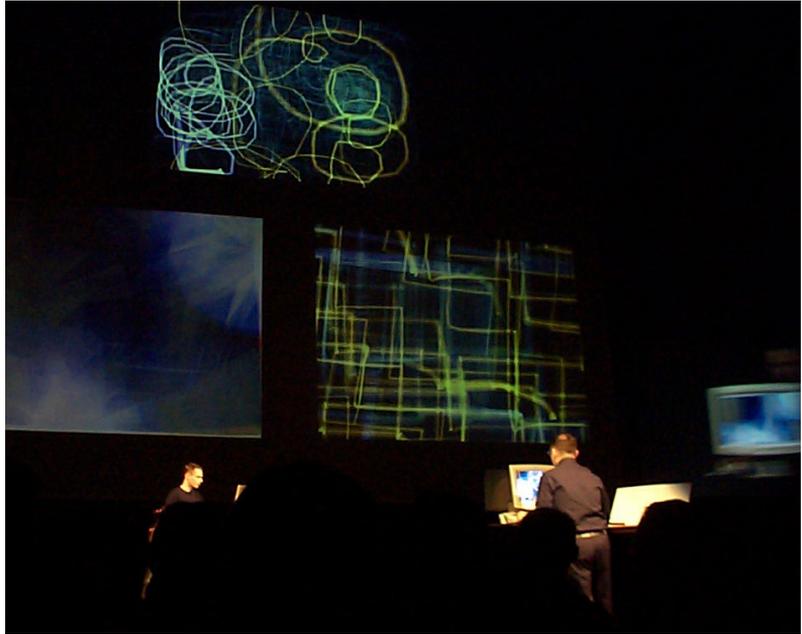


Fig.33 | *Yellowtail* utilisé dans le cadre de l'installation *Scribbles*, une performance qui regroupe l'ensemble des dispositifs conçus par Levin.

Fig.33

12 | Les cinq objectifs sont les suivants. 1-Le système permet la création et l'exécution d'images et de sons dynamiques, simultanément, en temps réel. 2-Les résultats sont inépuisables, extrêmement variables, mais profondément plastiques. 3-Le son et l'image sont proportionnellement malléables. 4-Éviter si possible l'incorporation des conventions arbitraires des langages visuels établis. 5-Le fonctionnement est facile à déduire tout en autorisant des expressions sophistiquées.

Golan Levin est un artiste et ingénieur américain qui s'intéresse tout particulièrement au développement de langages audiovisuels et interactifs. Pendant ses études de Master en *Media Arts and Sciences au MIT*, il développera une série de dispositifs permettant la synthèse simultanée, et en temps réel, de sons et d'images dynamiques « profondément et proportionnellement plastiques » (Levin, 2000, p.3, [notre traduction]). Dans sa thèse, il décrit et analyse plusieurs projets issus de la musique visuelle de l'ère pré- et post- informatique, et situe sa recherche dans la continuité de ces prédécesseurs. Tout en relevant la pertinence des différents systèmes, il pointe du doigt un certain nombre de restrictions et de problématiques, notamment le manque d'expressivité de certains dispositifs, le déséquilibre dans la relation image/son (où l'un des deux est subordonné à l'autre), et le fait que les images ne soient pas toujours dynamiques ou interactives. Il en déduit une série d'objectifs et de contraintes de conception¹² qui, s'ils étaient atteints, donneraient, selon lui, « un instrument audiovisuel d'une expressivité inégalée » (Levin, 2000, p.53, [notre traduction]). Pour tenter de les atteindre, il introduit

un nouveau paradigme d'interface pour les instruments de performance audiovisuelle, en proposant la fameuse métaphore de « substance audiovisuelle » à laquelle je me réfère au début du mémoire ; une « substance » inépuisable, extrêmement variable, dynamique, qui peut être librement « peinte », manipulée et supprimée. *Yellowtail* fait partie d'un ensemble de dispositifs basé sur ce paradigme, l'*Audiovisual Environment Suite*. Cette œuvre est la première cristallisation des objectifs mentionnés précédemment, concluant une longue série d'expérimentations qui portaient uniquement sur la manipulation visuelle. Elle est aussi de ce fait une des premières tentatives de créer une sonification et visualisation simultanée *de manière proportionnelle¹³ et dynamique*.

Description

Yellowtail, tout comme les autres dispositifs de cette série, est avant tout une application qui permet de créer des compositions combinant audio et visuel grâce aux mouvements exécutés. À la manière d'un programme de dessin numérique classique, l'utilisateur va pouvoir tracer des lignes dans un espace bi dimensionnel. Les marques gestuelles et picturales, traitées comme entrées par des algorithmes, sont interprétées visuellement par un synthétiseur graphique et sont parallèlement sonifiées par un synthétiseur audio. Les lignes dessinées vont alors s'animer et se répéter en fonction du mouvement, donc de la forme, mais aussi de la vitesse d'exécution, créant un espace pictural mouvant, une texture organique, qui se répète comme une boucle dans un séquenceur. Les lignes sont systématiquement jaunes, « inépuisables » (le deuxième objectif de conception fixé par Levin), laissant derrière elles une « trainée » relative au tracé, d'où le nom de l'œuvre. Il est important de souligner qu'il n'y a aucun hasard dans l'animation : le comportement des formes est strictement déterminé par le geste qui a été capté, et se répète en fonction de celui-ci. Les structures sont sonifiées en utilisant une technique appelée « pattern playback », qui utilise le spectrogramme (qui est à la base un outil d'analyse et non un *instrument*) comme une source de synthèse sonore en inversant le processus de lecture¹⁴. Levin se réfère aussi à des dispositifs plus contemporains comme le *Metasynth*, un programme informatique où les utilisateurs dessinent directement dans le spectrogramme de l'interface pour générer du son. Le problème de ces différents dispositifs est qu'ils ne sont pas utilisables en temps réel, ce qui est le premier objectif de conception de Levin. *Yellowtail* se base sur une grille traditionnelle où X représente la tonalité et Y le temps, dans laquelle les formes agissent comme des têtes de lecture ou la hauteur du son est relative à la position du tracé, à la manière d'un séquenceur.

13 | Le comportement du son et l'image sont déterminés par la même source, simultanément. Les deux modalités s'enrichissent mutuellement, sans être subordonnées l'une à l'autre.

14 | Technique imaginée par le chercheur Franklin S. Cooper et son équipe au début des années 1950, initialement conçus pour synthétiser et analyser la parole. Cette méthode est très proche d'autres technologies de synthèse optique développées à partir des années 30 comme le *synthétiseur ANS* d'Evgueni Mourzine ou le *variophone* Evgeny Sholpo et Nikolai Voinov. Plus largement, cela s'inscrit dans les recherches de *son graphique* explorées à la même époque par Oskar Fichinger et Norman McLaren.

Analyse

Yellowtail est un projet incontestablement précurseur. En continuité avec les anciennes problématiques de la musique visuelle, il a réussi à dépasser les dispositifs antérieurs pour créer une unité très étroite entre le geste, l'image et le son : de la synchronisation du geste et du son propre aux instruments de musique, à l'espace pictural propre à la peinture. L'ordinateur numérique apparaît comme un choix naturel pour de telles expérimentations, cette technologie seule autorisant une *transmutation* du geste en son et image dynamique, de manière parfaitement synchronisée, et une *manipulation audiovisuelle* en temps réel. Certains dispositifs comme le « Lumigraph » d'Oskar Fischinger¹⁵, s'en approchent tout en restant limités par les contraintes du monde physique, permettant la manipulation d'une substance visuelle, mais qui reste toutefois silencieuse et graphiquement limitée (à l'inverse de la programmation qui permet de multiples modes de représentations). Dans *Yellowtail* tout est dynamique, la sonification et la visualisation, déterminées par les propriétés gestuelles des entrées, se font en temps réel, ce qui est, au regard des projets cités précédemment et des contraintes que Levin s'est imposées, une amélioration considérable. L'utilisation de la randomisation est volontairement évitée par Levin : il la considère potentiellement comme un piège, une distraction risquant de créer de la confusion et de compromettre la lisibilité du système. De ce fait, la randomisation entre en contradiction avec son cinquième objectif de conception qui est de permettre de saisir de manière intuitive son fonctionnement et ses modalités interactives. Il semble cependant difficile d'atteindre complètement cet « idéal » de transparence ; aussi simple soit-il, tout système nécessite une forme d'apprentissage. Toutefois, dans *Yellowtail* la simplicité de l'interface et de l'interaction s'en approche grandement. Il devient rapidement évident que le comportement de l'animation dépend de la forme, de la vitesse et de la pression exercée.

En plus de l'exploration technologique innovante, la *motivation* de la représentation est au cœur de la réflexion de Levin. Il est donc très critique sur l'aspect graphique de *Yellowtail*, qu'il considère comme trop éloigné des codes de la peinture musicale abstraite à laquelle il se réfère. Il trouve aussi l'utilisation de la grille cartésienne arbitraire et peu pertinente par rapport aux formes organiques qui gravitent en elle. En effet ce choix segmente arbitrairement l'espace en zones graves et aiguës (gauche/droite) et conditionne donc la relation entre le son et l'image. Il produira son prochain dispositif, *Loom*, en réaction aux faiblesses perçues de *Yellowtail*. Une modification notable est l'amélioration de l'interface: Il supprime les composants de l'interface gra-

15 | Qui est, avec le «Mobilcolor» de Charles Dackum, une référence importante dans le développement de *l'Audiovisual Environment* Suite.

phique et autres éléments schématiques, pour revenir à un espace plus pictural et cinématographique, toujours dans l'idée de se rapprocher de certains codes graphiques (les formes « peintes » sont aussi multicolores). En supprimant la grille cartésienne, il se libère aussi du langage X/Y rigide imposé par le schéma de *Yellowtail* dans la correspondance entre l'image et le son. Comme avec les autres dispositifs, l'utilisateur interagit avec *Loom* en dessinant avec une souris ou un stylet, ce qui génère un son musical dont les propriétés sonores (timbre et volume) sont régies par la forme de la marque à son extrémité. Dans *Loom*, chaque élément visuel est associé à un événement sonore correspondant, mais il n'est pas relatif à l'espace où il évolue comme dans *Yellowtail* : la ligne de temps est littéralement « enroulée » autour de la marque de l'utilisateur. Il résout donc les contraintes de *Yellowtail* tout en se rapprochant encore des cinq objectifs de conception. La rigueur de Levin autour de la question de la représentation est fascinante et n'a pas moins d'importance que la technique. Même si il ne parvient pas toujours à rester parfaitement dans le cadre qu'il s'est lui-même imposé, chaque choix est clairement motivé, reconstruisant avec intelligence chaque dispositif en fonction des problèmes rencontrés: « *Loom* est le premier exemple que je peux présenter d'une interface visuelle picturale pour une performance audiovisuelle. L'utilisateur peut y créer une substance audiovisuelle inépuisable, sous la forme de marques périodiquement animées et sonifiées » (Levin, 2000, p.56, [Notre traduction]).

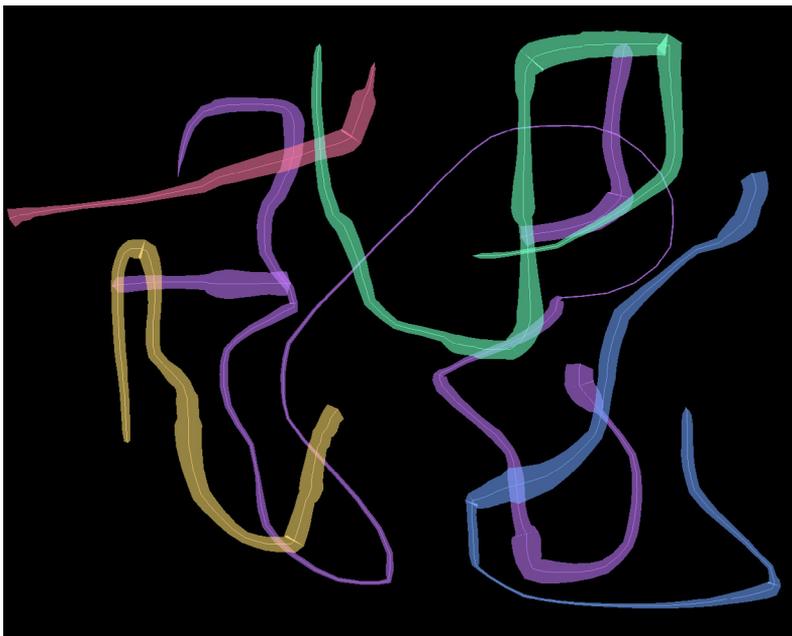


Fig.34

Fig.34 | Golan Levin, *Loom*, 2000. Contrairement, à *yellowtail* qui se base sur un axe X/Y, chaque forme est une ligne temporelle. Cette différence, subtile, est fondamentale pour l'appréciation du processus.

Test pattern - 2008 > 2019

De Ryoji Ikeda

Série d'installations

Fig.35 | Ryoji Ikeda, *Test pattern [n°13]*, 2017.



Fig.35

Fig.36 | Ryoji Ikeda, *Test pattern*, 2019.



Fig.36

Ryoji Ikeda, artiste et musicien de musique électronique expérimentale, est un acteur majeur de l'art numérique contemporain. Tout au long de sa carrière, il s'est attaché à explorer les limites de la perception humaine et à rendre visible la profondeur et la complexité des données qui nous entourent, se considérant lui-même comme un compositeur, « dont la palette est composé d'objets mathématiques, de physique et de mécanique quantique » Son travail s'articule autour des notions d'infini, du macro et du micro, de l'audible et de l'inaudible, du Sublime. C'est une sorte de « méditation sur le flux des données » (Ikeda, 2018). Son œuvre se caractérise notamment par une précision mathématique et par une esthétique épurée. Il a su développer un langage visuel et sonore très

spécifique, relatif aux technologies qu'il utilise, travaillant notamment sur des résolutions extrêmement élevés. Il alterne des zones de grande densité visuelle et sonore avec des phases très contemplatives, propices à la réflexion. L'échelle et l'intégration du spectateur est un aspect fondamental dans son travail : ses installations sont très souvent complètement immersives, au sens physique du terme.

Description

Comme pour la plupart de ses projets, Ikeda crée des séries basées sur un concept commun tout au long de plusieurs années. *Test pattern* commence en 2008 par la production d'un CD et s'achève provisoirement en 2019 avec les propositions d'une série d'impressions sur aluminium. *Test pattern* comprend aussi des *live*, diverses installations, ainsi qu'une publication. Je vais essentiellement m'intéresser aux dispositifs audiovisuels, les représentations restant similaires d'une version à l'autre. *Test pattern* est un système informatique, dans lequel il *transmute* des livres, du son, des images, des films, des mouvements, en structures binaires de zéros et de un, de noir et de blanc. Les principales œuvres sont une série d'installations immersives allant d'une dizaine à une centaine de mètres, dans lesquelles sont projetés des motifs visuels, similaires à des codes-barres, convertis et générés à partir de formes d'ondes sonores, en temps réel, le tout étant étroitement synchronisés. Selon Ikeda, « Le projet vise à examiner la relation entre les points critiques de la performance des appareils et le seuil de la perception humaine » (Ikeda, 2018). Pour ce faire, il pousse à son maximum le potentiel des résolutions numériques: les fréquences d'images sont extrêmement élevées, une centaine d'images par seconde, de sorte que les dispositifs deviennent un test de performance physique pour les appareils audio et visuels, tout comme pour le spectateur qui fait face à des fréquences qui dépassent largement nos capacités perceptives habituelles¹⁶. La *visiosonification* est puissante et intense, stroboscopique, *glitchée*, ou les quelques phases de calme sont souvent associés à des ultrasons, testant toujours les limites de la perception dans une architecture complexe et froide, parfois rythmique, parfois purement abstraite.

16 | L'effet phi, ou sensation visuelle de mouvement provoquée par l'apparition d'images perçues successives, se produit à partir de 16 images par secondes pour produire une sensation de mouvement fluide.

Analyse

Test pattern fait directement référence à la mire de calibration des écrans vidéo. C'est un « dispositif de test » de la technologie comme du spectateur, et en même temps il « calibre » l'homme et la machine sur de nouvelles fréquences, cherchant à repousser nos limites communes.

Alors que dans d'autres séries comme *Datamatics*, il explore le potentiel de perception de gigantesque amas de données, *Test pattern* est focalisé sur la relation entre l'homme et la technologie, sur les capacités de réception de l'un et d'émission de l'autre. Cet aspect est renforcé par l'immersion physique du spectateur qui le fait plonger au cœur même de la matière numérique. Au-delà du fait que ces structures de type « code bar » soient similaires aux mires de certains écrans, le fait qu'il ait choisi de traduire tout ce qu'il convertit en structures binaires incarne de manière radicale le principe de représentation numérique de Manovich, tout en répondant de manière tout aussi radicale aux problèmes soulevés dans le « mapping paradigm ». Il révèle la nature binaire de la transformation effectuée, tout en faisant naître une esthétique qui est au service de l'expérience de « test » qu'il propose. *Test pattern* est en ce sens une métaphore parfaite de la *matière* numérique et de son potentiel de *transmutabilité*. Dans le cas présent il s'agit de signaux sonores, mais, comme nous l'avons vu, la série mobilise tout type de données. L'ensemble de son œuvre peut être vu comme une sorte de quintessence du numérique ; il en explore les limites, que ce soit au niveau de la quantité d'informations traitées, d'utilisation de l'échelle, de modalités de diffusion ou de résolution. On pourrait lui reprocher son esthétique froide, ainsi qu'un type de sonorités qui restent très similaires à ce qui s'entend dans les mouvements de la musique électronique minimale, ce côté « noise/glitch/click'n cut » très caractéristique. Au vu du potentiel de la synthèse sonore numérique, Il aurait été intéressant d'entendre (et donc de voir) des expérimentations basées sur des textures plus complexes¹⁷. Toutefois, ce choix fait sens dans sa volonté d'exploration des limites de la perception auditive. De même, la représentation visuelle radicale lui évite de tomber dans des représentations arbitraires, tout en faisant écho à la notion de résolution¹⁸. La question de la représentation serait toutefois beaucoup plus sujette à discussion lorsqu'il travaille avec des données scientifiques.

17 | Ikeda a volontairement choisi de limiter sa palette sonore à trois types de sons : la sinusoïdale pure, le bruit blanc ainsi que le *glitch*.

18 | Dans le projet *Data Tron*, il se demande, entre autre, combien de points comporte une ligne. Cette question semble aussi être posée dans son utilisation extrême des résolutions numériques.

Dans le cas des dispositifs décrits précédemment, il ne s'agit pas d'une *visiosonification* depuis une source externe, ni d'un système interactif comme dans *Yellowtail*, mais d'une visualisation du son en temps réel. Cependant, le son et l'image, parfaitement synchronisés, proviennent d'une source commune et sont en ce sens une *visiosonification* (fig.37). L'échelle de l'œuvre pourrait en soi être considérée comme engendrant une forme d'interaction; le spectateur n'agit pas directement sur le son et l'image, mais il n'est pas non plus « passif » comme il le serait devant une simple projection ou comme devant un film comme *Synchromy*. Ikeda intègre les spectateurs dans la plupart de ses œuvres, ils en font littéralement partie, et dans *Test pattern* ils deviennent un sujet d'expérimentation. De par cette dimension physique, cette immersion totale,

nous pourrions dire que chez Ikeda le spectateur « baigne » dans la « substance audiovisuelle », qu'il l'intègre par sa présence. A noter toutefois qu'à l'instar de Golan Levin, il se réfère à la notion de « substance » dans son travail, mais alors que chez Levin c'est le geste qui manipule et génère une « substance audiovisuelle », chez Ikeda la « substance » est la matière première, l'information qu'il cherche à rendre perceptible. *Test pattern* est aussi intéressant à mettre en relation avec *Synchromy*. Comme je l'ai mentionné dans l'analyse de cette dernière, il y a une parenté formelle entre *Synchromy* et l'esthétique des dispositifs audiovisuels contemporains; cela est aussi frappant avec *Test pattern* dans l'utilisation stricte de formes rectangulaires et dans le fait que nous puissions « voir » le son. Cependant dans le processus de McLaren, la forme synthétise le son, alors que chez Ikeda le son génère la forme, et là où McLaren s'autorise des variations, notamment dans l'utilisation de la couleur, Ikeda reste dans une synchronisation monochrome parfaite. Les deux œuvres font appel à la synesthésie, mais dans des modalités radicalement différentes; alors que McLaren propose une expérimentation ludique et joyeuse, Ikeda nous « étalonne » sur de nouvelles résolutions et éprouve nos capacités sensorielles en temps réel. Dans les deux cas toutefois, la synchronisation est autorisée par une représentation commune.

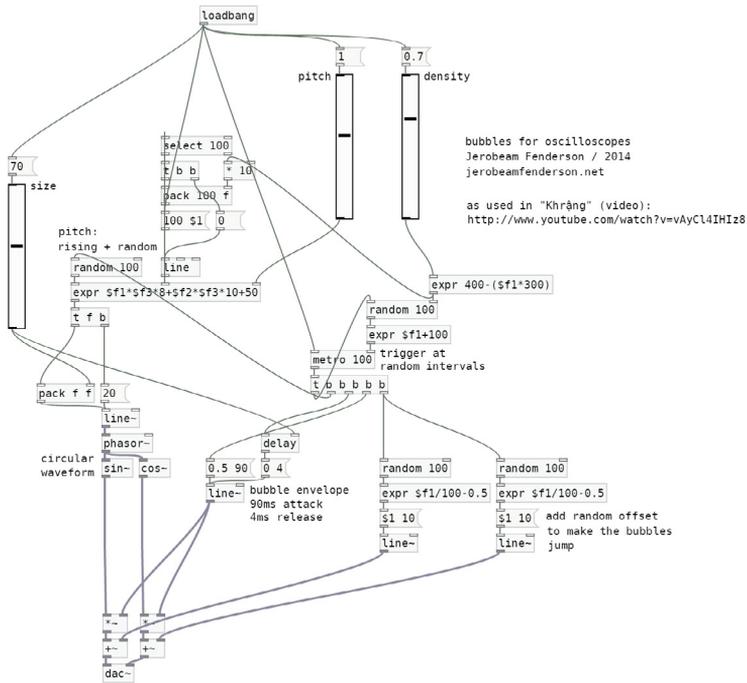


Fig.37 | Jorebam Fenderson, *Bubbles for oscilloscopes*, 2014. Tout comme Fenderson, Ikeda programme et visualise ses sons dans la plateforme *Pure Data*, ce qui lui autorise une synchronisation parfaite et un degré de contrôle particulièrement élevé. Ici un patch sonore destiné à produire des formes sur un oscilloscope à la manière des *Oscillons* de Laposky.

Fig.37

Les possibles numériques

Comme le fait remarquer Manovich dans son chapitre sur la *représentation numérique*, plusieurs objets *néomédiatiques* prennent naissance sous forme numérique lorsqu'ils sont créés au moyen d'un ordinateur, mais plusieurs d'entre eux sont des reconversions de diverses formes d'anciens médias. On parle aussi de *remédiation*, notamment lors du transfert d'une œuvre d'un support médiatique à un autre. Le son, l'image, le texte existent évidemment en mode analogique à travers la photographie, la peinture ou la machine à écrire, tout comme McLaren produit une *substance audiovisuelle* remarquable, formellement très proche des dispositifs numériques contemporains, et pour ainsi dire artisanalement. De plus comme nous l'avons vu à plusieurs reprises, la mise en correspondance d'un type de représentation avec un autre n'est pas un phénomène inédit. Au regard de ce que qui a été analysé, il est temps de s'interroger frontalement sur ce qui distingue le numérique dans les processus de *transmutation* et de *visiosonification*, et quels en sont les conséquences et les éventuels pièges.

Les possibles numériques

Un seul médium pour plusieurs médias

Dans un ordinateur, les compétences nécessaires pour manipuler du son ou de l'image ont beaucoup de points communs, ce qui n'est pas forcément le cas avec des techniques «traditionnelles». Bien que les combinaisons de talent existent, le fait d'exceller dans un instrument de musique n'a pas obligatoirement une influence sur l'aptitude au dessin. Cela peut inspirer des œuvres comme chez les peintres abstraits, mais le travail requis pour obtenir un réel contrôle du médium est d'une autre nature. Dans le contexte informatique, la maîtrise d'un logiciel audio facilite la manipulation de plusieurs médias²⁰ : l'universalité de la représentation numérique, et la nécessité de disposer de conventions reconnues impliquent un langage visuel uniforme ; les outils principaux (cutter, pinceau, etc.) ou encore l'utilisation des raccourcis convergent dans la mise en commun des protocoles de manipulation, très semblables. Un séquenceur audio est, dans sa structure et son usage, analogue à un séquenceur vidéo. Cela uniformise ce qui auparavant exigeait une pratique régulière et un apprentissage spécifique. Il est devenu courant que des *motion designers* conçoivent eux-mêmes le *sound design* de leurs projets ou que des musiciens réalisent leurs propres visuels. C'est le cas par exemple du duo irlandais «Lakker» qui combine Ableton Live et Touch Designer dans leurs performances (fig 38). Pour

20 | Bien que son utilisation soit bien antérieure, c'est une des raisons pour lequel le numérique se reconnaissait à ses débuts dans le terme « multimédia ».



Fig.38 | À la manière du duo Lakker, Max cooper mixe son et image simultanément dans ses *live* avec le logiciel AbletonLive.

eux « la création d'un continuum entre l'audio et le visuel est devenue de rigueur pour les producteurs et les concepteurs »²⁰. Cela ne fait pas pour autant de tout graphiste un compositeur d'exception, mais le passage d'un médium à un autre est grandement facilité à partir du moment où l'on possède une bonne maîtrise de l'environnement informatique. Chez des artistes comme McLaren et autres pionniers du « son animé », on assiste à un phénomène similaire, où la convergence dans les méthodes de manipulation du son et de l'image a ouvert un champ d'expérimentation.

20 | Lakker, Live and Touch Designer. <<https://www.ableton.com/en/blog/lakker-sound-and-image/>>. (Consulté le 3 novembre 2020).

Une synthèse algorithmique commune

Au-delà du logiciel, la maîtrise du code et la compréhension des outils mathématiques qui le composent, autrement dit la *représentation numérique* et son potentiel de transmutabilité autorisent une souplesse sans précédent. Si les artistes du duo « Lakker » se servent de logiciels distincts, Ikeda et Levin, pour leur part, génèrent le son et l'image depuis un seul et même code, où chaque pixel, chaque tonalité peut être produit de manière « proportionnelle et dynamique ». Dans le « monde de l'information pure de l'ordinateur » où tout a une description mathématique, l'ordinateur numérique a la capacité de synthétiser son et image simultanément et en temps réel, en réponse à un geste ou à n'importe quelle autre donnée dynamique, et évidemment de façon parfaitement synchronisée. Cet aspect est remarquable et spécifique à cet environnement. Son et image se rejoignent alors sous leur forme mathématique, dans une seule et même discipline, à savoir la programmation. McLaren, lorsqu'il *visiosonifie*, se rapproche de cette procédure dans le sens où chez lui aussi il y a une source technologique qui autorise une synthèse commune et une synchronisation audiovisuelle, mais *l'entrée* est pré-définie et non interactive. Ce potentiel de mapping du processus algorithmique est décrit par Philip Galanter dans son article « Generative art and rules-based art » (2006) comme une des règles fondamentales du design génératif. Cela a permis l'émergence de nouvelles pratiques et mouvements comme « l'Algorave », où le codeur/VJ/musicien synthétise son et image en live, et l'essor de la musique générative en général amorcée par Brian Eno avec son logiciel *Koan* (1994). Certains langages nécessitent toutefois un long apprentissage, mais ces vingt dernières années ont vu émerger de nombreux environnements de développement tels que *Processing* ou *Pure Data*, auxquels j'ai déjà fait référence précédemment²⁰. Ces plateformes, en plus d'avoir grandement facilité l'accès à la logique de la programmation, sont souvent open source, donc en évolution constante, et permettent l'accès à d'innombrables librairies qui autorisent aussi bien la manipulation de texte, d'objets 3D ou encore d'algorithmes d'intelligence artificielle.

20 | Nous pourrions aussi citer *Max MSP*, *vvv* ou *Civer* parmi tant d'autres.

Du quantitatif au qualitatif

Un autre aspect qui distingue fondamentalement le numérique est évidemment la puissance de traitement. Comme nous l'avons vu dans l'analyse de *Synchromy*, ce qui pourrait nécessiter un travail analogique fastidieux, méticuleux, voire impossible à réaliser en l'absence d'outils numériques, devient accessible. En principe, le numérique a la capacité de transcender les limitations physiques et psychologiques humaines tout comme celles des dispositifs analogiques. Ikeda, dans les installations de *Test Pattern* produit des visualisations du son à des fréquences d'images qui vont bien au-delà de nos perceptions habituelles, ou utilise des quantités massives de données qui ne pourraient pas être exploitées autrement. De même les résolutions autorisées par le numérique permettent des changements d'échelle spectaculaires, comme nous avons pu le voir avec certaines versions de cette même série. *Synchromy*, comme d'autres œuvres issues de la musique visuelle, reste inscrite dans le domaine du cinéma ou de la performance, dans le cadre d'un dispositif cinématographique, alors qu'Ikeda nous immerge *physiquement* dans son œuvre. Pour développer la comparaison, il serait tout à fait possible d'imaginer une version analogique du projet *Phototrails* impliquant l'impression, le tri et la disposition de 2,3 millions d'images, mais le temps et l'énergie nécessaire à une telle entreprise la rendent, de fait, absurde en regard de ce que l'on peut réaliser en quelques clics. Physiquement, ce traitement s'effectue dans une machine transportable de quelques dizaines de centimètres ; les dispositifs que j'ai présentés précédemment, comme le synthétiseur d'image de Sandin ou le *Variophone* d'evgeny Sholpo, sont, en plus d'être limités techniquement, massifs. Si l'on sort du contexte seul de *visiosonification*, le potentiel de *traduisibilité* dont j'ai parlé en introduction est lui aussi devenu incomparablement plus performant grâce aux algorithmes de *machine learning*. En somme, il devient possible de quantifier massivement toutes sortes de données, de les rendre interprétables pour le système cognitif humain, c'est à dire interprétable dans sa perception audiovisuelle du monde, et ceci par le biais d'un appareil facilement transportable.

La randomisation

Levin, dans le développement de *Yellowtail*, a volontairement choisi d'éviter toute forme de randomisation dans un souci de lisibilité du système ; il considère, à l'instar de John Maeda, que c'est un des plus grands pièges dans la conception d'un dispositif audiovisuel. Pour ce dernier, « l'amateur peut être tenté par les frissons bon marché de l'aléatoire », et, dans une expression caractéristique de son puritanisme

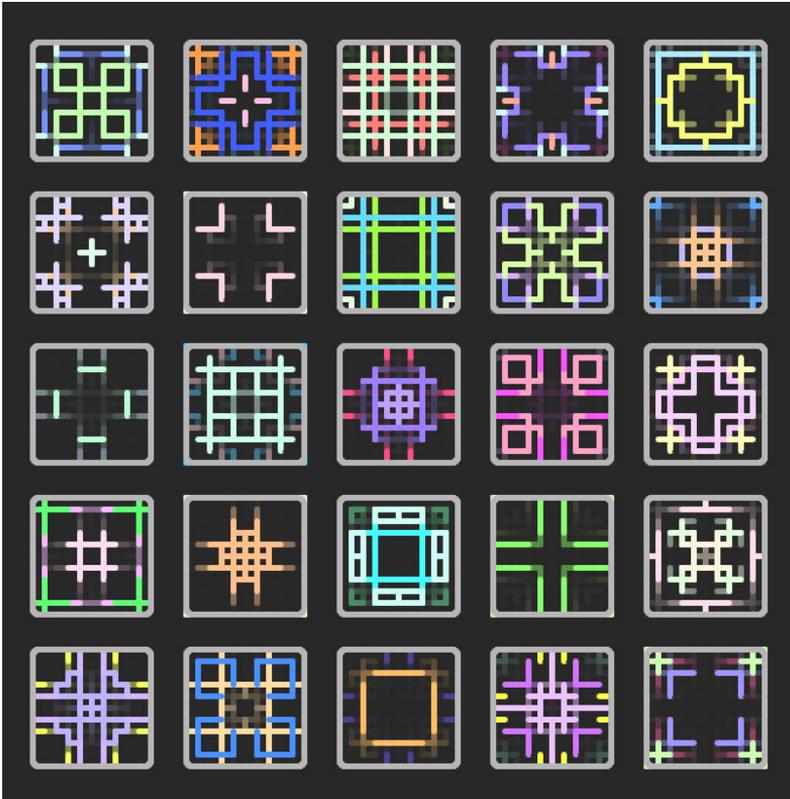


Fig.39 | Skizzm, *Snakes*, 2019. Exemple d'un système de design génératif où la randomisation, dans le cadre d'un ensemble de règles précises, permet de produire une multitude de formes.

Fig.39

graphique, il estime que « l'absence totale de contrôle qui est à la base des graphismes de style techno, est une forme de blasphème qu'il faudrait généralement éviter » (Maeda, 1999, [Notre traduction]). Il admet toutefois qu'elle est difficile à éviter et qu'il est ardu d'avoir un contrôle total sur le processus, que c'est un « objectif lointain ». Pour lui, si l'on introduit de l'aléatoire, il faut comprendre d'où il vient. Il est important de nuancer ce point de vue, radical, qui est subordonné à un parti-pris esthétique. Il y a aussi une différence entre une randomisation complète et une utilisation parcimonieuse (et dont l'origine est repérable); distillée parmi les valeurs des fonctions d'un système algorithmique, elle peut devenir en soi une forme de moyen de contrôle qui peut être motivé et pertinent. La randomisation joue un rôle fondamental dans le design génératif, elle permet d'actionner une structure préétablie et de donner du « jeu » au système (fig 39). Malgré la précision millimétrique de son œuvre, Ikeda utilise aussi constamment le « glitch », autorisant une quantité « d'erreurs » dans sa production sonore. Par ailleurs, comme le rappelle Vera Molnar, la randomisation revêt une grande importance dans le *processus de création*, pouvant devenir une méthode explora-

toire qui permet de «remplacer l'intuition» en déployant une infinité de possibles auxquelles nous n'aurions pas pensé, et à partir desquels peuvent naître des choix *motivés*. Il s'agit donc d'exploiter ce potentiel à bon escient, sans tomber dans la facilité des modes de représentations aléatoires et complètement arbitraires.

La représentation mathématique

Dans beaucoup de représentations audiovisuelles issues de la programmation, ou plus récemment avec des logiciels de génération procédurale comme *Houdini*²⁰, les processus de création se concentrent sur des modèles, des structures et des comportements que l'on trouve dans la nature, donnant forme à des concepts mathématiques et transposant les régularités qui la régissent en son et image. Les années 1990, avec l'essor de l'informatique, ont vu proliférer des images de type fractal,

20 | Houdini est un logiciel fonctionnant sur un système nodal très utilisé pour la création d'effets visuels dans les films et les jeux vidéo. Sa nature procédurale et sa grande puissance dans le traitement des particules et des fluides, ainsi que la possibilité de programmer ses propres nodes en font un outil polyvalent qui est rapidement sorti de son contexte d'utilisation initial.

Fig.40 | Serjan Burlak, *Geometry of Artificial Intelligence*, 2017. Une œuvre dont «la conception s'inspire des réseaux de neurones, des toiles d'araignées et des modèles de la nature» (Burlak, 2017).

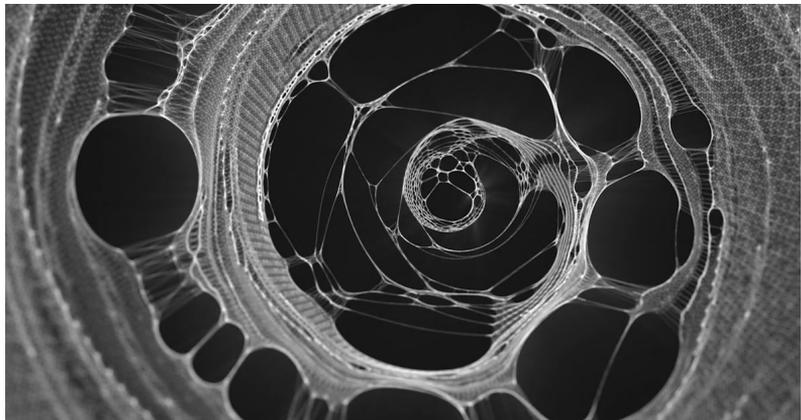


Fig.40

notamment dans «les graphismes techno» que critique Maeda. Il y a une forte tentation, à laquelle j'ai personnellement maintes fois cédé, à se complaire dans ce type de représentations. Levin considère aussi comme un piège à éviter la fascination pour le formalisme mathématique, critiquant les concepteurs qui invoquent la «beauté intrinsèque des mathématiques» comme critère indiscutable de qualité pour leurs œuvres. Pour lui «de telles œuvres ne sont que rarement plus intéressantes, personnelles ou provocatrices que les équations qui les ont générées». C'est parce que le support lui-même, la programmation, est constitué de relations mathématiques et d'équations qu'il faut «les surpasser au service d'une expression plus grande» (Levin, 2000, p.109, [Notre traduction]). À nouveau, bien que pertinente et justifiée dans certaines limites, cette critique peut prendre sens dans certains

contextes artistiques, dans des œuvres qui ont un certain type de propos. Comme pour la randomisation, l'exploration formelle des concepts mathématiques que permet le numérique n'en reste pas moins passionnante, et offre un champ expérimentation dont il serait dommage de se couper (fig.40). Ikeda revendique cette « beauté intrinsèque », les objets mathématiques font partie de sa « palette » et il les met constamment en avant. C'est d'autant plus évident dans la série *X-verse*, ou $V \neq L$, directement inspirés par les définitions mathématiques de l'infini et qui cherchent à procurer une forme de contemplation de ces concepts. Nous pourrions aussi citer Ryoji Kurokawa parmi les artistes contemporains qui se revendiquent du langage mathématique comme mode de création et d'expression. Mais il n'en reste pas moins vrai qu'il y a une réelle tendance à se suffire dans ces modalités et qu'il est important de savoir, en temps voulu, s'en affranchir ; les œuvres fractales « blasphematoires » ont évoluées en une surreprésentation des *noises* en 3D ou dans l'utilisation récurrente des systèmes de particules dans les dispositifs interactifs.

Un apport incontestable

Il est indéniable que l'apport du numérique est révolutionnaire. Il octroie un immense degré de liberté, de souplesse, et un nombre potentiellement infini de représentations et de transformations. La synthèse audio programmable, l'introduction des images tridimensionnelles, la puissance de calcul des ordinateurs modernes et plus récemment les algorithmes de *machine learning* ont ouvert la voie à un espace de création sonore et graphique inexploré. La plus grande contrepartie reste les choix effectués, arbitraires ou non, et le danger de tomber dans les facilités et les lieux communs que nous offrent ces outils. À plusieurs reprises, j'ai mentionné l'importance du contexte ; comme l'illustre parfaitement bien la démarche de Levin, il y a des domaines qui exigent une plus grande rigueur conceptuelle et donc de relation avec le propos de l'œuvre, toutefois chez des artistes comme McLaren, Ikeda ou Kurokawa, l'expérience sensorielle peut avoir autant de portée que la représentation elle-même. Les modes de visualisation scientifiques, eux, se basent sur des modalités liées à cognition et à la perception, et dans le cadre de l'exploration et de l'expérimentation pure, il est bien sûr possible de se libérer provisoirement de toutes ces contraintes.

Conclusion

Artistes et chercheurs se sont toujours efforcés d'établir des correspondances entre le son et l'image, ou, plus généralement, entre des ensembles de données abstraites et des formes intelligibles. Que ce soit dans la quête d'une unité mathématique universelle chère aux philosophes grecs, ou dans le classement et la quantification d'informations sous forme visuelle, il s'agit de donner du sens et de structurer le monde qui nous entoure. Les critères employés sont plus ou moins arbitraires il ne peut y avoir d'adéquation parfaite ni de correspondance absolument objectives ; il s'agit en l'occurrence d'un idéal dont on peut se rapprocher, mais dont on ne peut jamais savoir si on l'a complètement atteint. Les courants et les disciplines qui ont participé, au fil des siècles, à ce projet de mise en correspondance constituent en quelque sorte « l'histoire du mapping », une histoire dont la relation étroite avec les évolutions technologiques s'est considérablement resserrée plus récemment. L'ordinateur numérique a apporté tout un ensemble de nouvelles techniques de manipulation et de représentation audiovisuelles ; il a, de par sa capacité à décrire tout type de matériaux par une seule et même représentation mathématique, révolutionné cette histoire : la mise en commun des protocoles de manipulation, les possibilités de *routing* potentiellement illimitées, les transformations algorithmiques, les techniques de synthèse audiovisuelles, la puissance de traitement ou encore les visiosonifications dynamiques et en temps réel sont des évolutions incontestables au regard des dispositifs antérieurs. Du *mapping*, de la mise en correspondance, nous sommes passés à la *transmutabilité*, à la transformation algorithmique dynamique de n'importe quel type d'information.

Comme cela a été le cas pour les techniques de cinéma au moment de leur apparition, cela a rendu possible l'émergence de champs d'exploration visuelle et sonore totalement inédits, à des échelles et des résolutions qui le sont tout autant. En un autre sens, le numérique n'a pas introduit de questionnements fondamentalement nouveaux, mais il a à ce point facilité et enrichi ce processus de *mapping* qu'il exacerbe et déplace certaines interrogations. Paradoxalement, c'est de l'infinité des choix, de cette « puissance des possibles », que naît la principale contrainte, ou du moins la principale difficulté qui consiste à décider d'un mode de représentation pertinent. Il existe cependant des problématiques plus récentes qui sont spécifiques à ces paradigmes ; les lieux communs sont récurrents, et il est aisé de remplacer un comportement motivé par de l'aléatoire ou de plonger dans « la beauté intrinsèque » des structures mathématiques. Bien qu'en effet beaucoup de projets

contemporains se satisfassent de ce langage formel, les critères d'excellence varient considérablement selon le contexte où l'on se situe ; ils sont tributaires de nombreux partis pris esthétiques ainsi que de l'environnement culturel. Proposer une expérience sensorielle, créer un nouvel instrument audiovisuel ou explorer les équations qui agencent le monde en les transposant en son et image sont des approches très différentes, avec des motivations particulières et qui ne peuvent évidemment être jugées de manière équivalente. La perception que l'on aura d'une œuvre audiovisuelle résulte d'un processus complexe, dans lequel la nature même de notre système cognitif compte tout autant que l'appréciation de ses qualités formelles ou de la compréhension de son contenu.

Bibliographie

Livres

Lemoigne, S., Rousseau, P., Jollet, E., Roque, G. (2003). *Aux origines de l'abstraction, 1800-1914*. Réunion des Musées Nationaux.

Lopes, D. (2009). *A Philosophy of Computer Art*. Routledge

Maeda, J. (1999). *Design by Numbers*. Cambridge. MIT Press.

Manovich, L. (2001). *The Language of New Media*. MIT press.

Whitney, J. (1981). *Digital Harmony: On the Complementarity of Music and Visual Art*. McGraw-Hill Inc.

Articles

Davis, E. (1995, Janvier). Technopagans. *Wired*. <https://www.wired.com/1995/07/technopagans/>

Few, S (2004). Tapping the power of visual perception. *Perceptual edge*. [PDF]. https://www.perceptualedge.com/articles/ie/visual_perception.pdf

Galanter, P. (2006, Juin). Generative art rules-based art. *Vague terrain 03*. [PDF]. http://philipgalanter.com/download/vague_terrain_2006.pdf

Levin, G. (2009). Audiovisual Software Art : a partial history. [PDF]. http://www.flong.com/texts/essays/see_this_sound_old/

Manovich, L. (2002). Data Visualization as New Abstraction and Anti-Sublime. [PDF]. http://manovich.net/040-data-visualisation-as-new-abstraction/37_article_2002.pdf

Manovich, L. (2010). What is visualisation?. [PDF]. http://manovich.net/content/04-projects/064-what-is-visualization/61_article_2010.pdf

Quinz, E. (2004). Milieux d'échanges : du paradigme relationnel. *Jouable Art, jeu et interactivité*, 91-95. HEAD

Stern, J. (2016). *Analog. Digital Keywords: A Vocabulary of Information Society and Culture*, 31-43. Princeton University Press.

Publications

Correia, Nuno. (2013). *Interactive Audiovisual Objects*. Master thesis of Doctor of Arts, University of Greenwich. [PDF]. https://www.researchgate.net/publication/236898246_Interactive_Audiovisual_Objects/link.pdf

Levin, G. (2000). *Painterly Interfaces for Audiovisual Performance*. Master thesis of Science in Media Arts and Sciences, Massachusetts Institute of Technology. [PDF]. <https://acg.media.mit.edu/people/golan/thesis/thesis600.pdf>

Ribas, Luisa. (2011). *The Nature of Sound-Image Relations in Digital Interactive Systems*. Universidade do Porto. PhD Thesis. [PDF]. <https://www.semanticscholar.org/paper/Sound-Image-Relations-and-Dynamics-in-Digital-Ariza-Perin>

Sites web

A/V Interchange : Performing Music with Visuals. (s. d.). Consulté le 12 septembre 2020. <https://www.ableton.com/en/blog/performing-music-with-visuals/>

Ben Laposky : Visual music. (s. d.). Symmetry Magazine. Consulté le 5 novembre 2020, à l'adresse <https://www.symmetrymagazine.org/article/april-2007//replace=1&ur%2fowa.allery-ben-laposkys-oscillons>

Center for Visual Music. (s. d.). Consulté le 19 septembre 2020, à l'adresse <http://www.centerforvisualmusic.org/>

Cultural Analytics Lab. (s. d.). Consulté le 23 septembre 2020, à l'adresse <http://lab.culturalanalytics.info/>

Data Synesthesia. A new pattern language for immersive | by matthew_daniels | Medium. (s. d.). Consulté le 21 septembre 2020, à l'adresse https://medium.com/@matthew_daniels/immersive-language-data-synesthesia-86926180519875934983

Dessin de sons | audiographic lab. (s. d.). Consulté le 19 septembre 2020, à l'adresse <http://audiographiclab.com/dessin>

Forrest, J. (2019). Data Visualization in Music. Medium. Consulté le 21 septembre 2020, à l'adresse <https://medium.com/nightingale/data-visualization-in-music-11fcd702c893>

Lakker, Live and Touch Designer. (s. d.). Consulté le 15 novembre 2020, à l'adresse <https://www.ableton.com/en/blog/lakker-sound-and-image/>

Newton's Color Theory, ca. 1665. (s. d.). The Scientist Magazine®. Consulté le 24 septembre 2020, à l'adresse <https://www.the-scientist.com/foundations/newtons-color-theory-ca-1665-31931>

Norman McLaren | Sonore Visuel. (s. d.). Consulté le 9 novembre 2020, à l'adresse <http://www.sonore-visuel.fr/fr/artiste/norman-mclaren>

Peel, J. The Scale and the Spectrum | James Peel. (s. d.). Consulté le 10 novembre 2020, à l'adresse <http://cabinetmagazine.org/22/peel.php>

Picturing a Voice : Margaret Watts Hughes and the Eidophone | Public Domain. (s. d.). Consulté le 8 septembre 2020, à l'adresse <https://essay/picturing/margaret-watts-hughes-and-the-eidophone/>

Ryoji ikeda | news. (s. d.). Consulté le 15 novembre 2020, à l'adresse <http://www.ryojiikeda.com/>

Special Topics in Interactive Art & Computational Design » Looking Outwards – Formula for Computer Art. (s. d.). Consulté le 12 septembre 2020, à l'adresse <http://golancourses.net/Interactive-art-computational/formula-for-computer-art/>

TED. (s. d.). Art From data. Consulté le 16 septembre 2020, à l'adresse https://www.ted.com/playlists/201/art_from_data

Variable—New ways of experiencing data. (s. d.). Consulté le 29 septembre 2020, à l'adresse <http://variable.io/>

Visualcomplexity.com | A mapping complex networks. (s. d.). Consulté le 29 septembre 2020, à l'adresse <http://www.visualcomplexity.com/vc/>

Vidéos

Golan Levin_yellowtail_1999. (s. d.). Consulté 18 novembre 2020, à l'adresse <https://vimeo.com/661922>

Ornament Sound experiments by Oskar Fischinger (c. 1932) en ligne | Vimeo On Demand. CVM. (2014, décembre 31). <https://vimeo.com/ondemand/26951>

Ryoichi Kurokawa—Ad/ab Atom. FACTmagazine. (2020). <https://www.youtube.com/watch?v=bvHiobhVfnw>

Ryoji ikeda studio. (s. d.). Vimeo. Consulté 28 novembre 2020, à l'adresse <https://vimeo.com/ryojiikeda>**Synchrony.** Canada, N. F. B. of. (2011, septembre 21). <https://vimeo.com/29399459>

Synesthetic Sensory Stimulation with Ryoichi Kurokawa. Creators. (2013, novembre 26). https://www.youtube.com/watch?v=_XAK248_apY

Films

McLaren, N. (réalisateur). (2002). *À la pointe de la plume*. [Film]. Office National du Film du Canada/National.

Quixote, M., Monnot, J. (réalisateur). (2014). *Nourathar*. [Film]. Elefant Films Sàrl (CH).

Merci à Daniel Pinkas, avec qui le terme « tuteur » prend tout son sens, à Alexandra, pour son soutien et sa patience, à Gabriel, un compagnon de route précieux, ainsi qu'à Aloë pour sa relecture précise et spontanée.