

ERG

École de Recherche Graphique
Ecole Supérieure des Arts

L'art numérique, lieu de la transmodalité

Yannick ANTOINE

Promoteur de mémoire : Marc WATHIEU

Août 2007

*Merci à Jenni pour son inspiration,
à Sixtine pour son aide très précieuse
et à Marc pour ses éternels bons liens.*

Table des matières

Première Partie.....	4
Synesthésie et transmodalité.....	4
Parcours historique.....	6
Origines	6
Premières applications.....	7
Influence sur les peintres	11
Deuxième partie	15
Une histoire de l'informatique	15
Les racines	15
Les calculateurs mécaniques.....	16
Les cartes perforées.....	16
La vision de Babbage	17
L'industrialisation du calcul.....	17
Vers l'ordinateur contemporain	17
Premières conclusions.....	18
L'informatique contemporaine.....	19
La naissance de l'art numérique.....	20
Premières applications graphiques.....	20
Des scientifiques artistes	21
Définir l'art numérique.....	22
Un art technologique	23
Recherches.....	24
Rapport à l'abstraction	24
Un outil-langage.....	25
Numérique !.....	25
Nouveau ?	25
Le numérique comme langage commun	26
Synesthésie numérique	28
Max/MSP	29
Max/MSP par l'exemple	30
Deux œuvres transmodales	33
Golan Levin & Zachary Lieberman – Messa di Voce (2003).....	33
David Rokeby – Very Nervous System (1986).....	35
Conclusion.....	36
Bibliographie	37

Une après-midi, alors que j'écoutais de la musique avec une amie, elle se mit à me décrire les sons en termes de couleurs et de textures.

Ma curiosité titillée, je l'interrogeai sur le sens de ces associations. C'est ce jour-là que j'ai découvert la synesthésie.

Première Partie

Synesthésie et transmodalité

La synesthésie est une condition neurologique qui fait que, chez une personne, la stimulation d'un sens provoque, de façon automatique et involontaire, une perception dans un autre sens. Le son devient vision, la lumière a un goût et le toucher un son.

Au-delà de l'étymologie qui nous parle d'association (*syn*) de sensations (*aesthesia*), les recherches contemporaines en la matière parlent d'associations entre modes.

Un mode [de communication] *"fait référence aux cinq sens de l'être humain : le toucher, l'ouïe, la vue, l'odorat, le goût (réception d'information), et aux différents moyens d'expression humains : le geste, la parole (émission d'information). Il définit la nature des informations servant pour la communication (mode visuel, mode sonore, mode gestuel etc.)."*¹

La *"forme concrète particulière d'un mode de communication"*¹, elle, est appelée modalité.

Une définition de la synesthésie comme association entre modalités permet d'englober une de ses formes les plus courantes, l'association graphème → couleur², comme dans *l'Étude de Voyelles* de Rimbaud.

*"A noir, E blanc, I rouge, U vert, O bleu : voyelles,
Je dirai quelque jour vos naissances latentes :
A, noir corset velu des mouches éclatantes
Qui bombinent autour des puanteurs cruelles
(...)"*

Certains modes sont plus représentés que d'autres. Ainsi, la vision est surreprésentée par rapport à l'odeur ou au goût.

De façon plus large, on peut également considérer des associations qui impliquent les sentiments ou la personnalité. Nous n'en parlerons toutefois pas ici.

Une des difficultés de la recherche sur la synesthésie est de la distinguer de l'influence culturelle, de la métaphore et d'éventuelles autres formes de correspondances *volontaires*.

¹ Y. Bellik & D. Teil, "Les types de multimodalités". Actes IHM'92. 4èmes Journées sur l'ingénierie des interfaces Homme-Machine, Paris, 1992.

² J'insiste sur l'usage de la flèche, car les associations synesthésiques sont, la plupart du temps, unidirectionnelles (voir Richard E. Cytowic, "Synesthesia: Phenomenology And Neuropsychology - A Review of Current Knowledge", <http://psyche.cs.monash.edu.au/v2/psyche-2-10-cytowic.html>, 1995)

Richard Cytowic, un chercheur qui a relancé ces dernières années l'intérêt scientifique pour la synesthésie, a défini une série de critères qui permettent de diagnostiquer une condition synesthésique. Ceux qui me semblent les plus importants sont la nature involontaire, automatique, et constante des réponses synesthésiques. Il existerait un facteur génétique favorisant la synesthésie ; les synesthètes sont mentalement équilibrés et généralement très intelligents.

Si la synesthésie est un point de départ intéressant et une riche source d'inspiration, le sujet de la présente étude n'est pas la psychologie ou les neurosciences : nous allons plutôt nous concentrer sur le lien et le passage d'une modalité à l'autre, dans le cadre particulier d'une création artistique.

Si de nombreux artistes se sont inspirés directement de leurs expériences synesthésiques naturelles, notre intérêt se concentrera particulièrement sur les expériences où l'on opère un lien volontaire entre les modes.

Il s'agit de trouver un mot pour définir ces expériences. Je propose d'utiliser le terme de "transmodalité" pour définir le processus de transposition d'une modalité à l'autre.

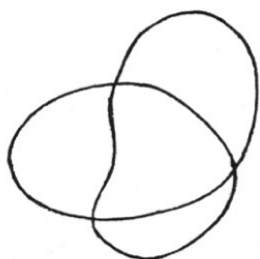
La synesthésie ne serait ainsi qu'un type particulier de transmodalité.

Parcours historique

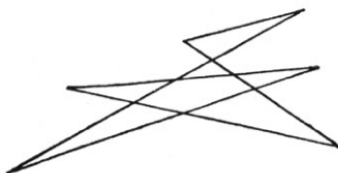
Origines

La transmodalité est une préoccupation ancienne, peut-être d'abord parce que, quelque part, nous sommes tous un peu synesthètes.

En 1927, dans son ouvrage *"Gestalt Psychology"*, Wolfgang Köhler décrit une expérience menée avec des sujets de cultures différentes. Ces derniers devaient faire correspondre 2 formes abstraites, l'une anguleuse, l'autre arrondie, à 2 mots inventés "maluma" et "takete". D'après Köhler, la plupart des participants ont associé sans la moindre hésitation "maluma" à la forme arrondie et "takete" à la forme anguleuse, ce qui suggère qu'il y a une sorte de lien universel entre certains types de sons et de formes.³



Maluma



Takete

Il n'est donc sans doute pas étonnant de retrouver, autant en Chine ancienne qu'en Perse ou en Grèce antique des tentatives de formalisation de correspondances entre sons, couleurs, goûts et nombres.

Dans *"L'âme, les sens et les sensations"* (-350), Aristote établit de nombreux parallèles entre les sens, en particulier avec la lumière et les couleurs :

*" La vue est sens du visible et de l'invisible (car l'obscurité est invisible, mais la vue la discerne aussi), et, en outre, de ce qui est trop brillant (et qui est également invisible, bien qu'autrement que l'obscurité); que l'ouïe est, de même, sens du son et du silence (le premier étant audible, et le second inaudible), et, en outre, du son intense, à la façon dont la vue l'est du brillant (car, si le son faible est inaudible, le son fort et violent, d'une certaine façon l'est aussi) "*⁴

³ En 2001, Vilayanur S. Ramachandran et Edward Hubbard ont répété l'expérience avec des sujets de langue anglaise et tamile, avec de 95 à 98% de réponses allant dans le même sens. Une autre expérience menée par Daphne Maurer a montré que même des enfants de bas âge réalisaient la même association.

⁴ Aristote, *"Le traité de l'âme"* (Traduction de Barthélemy-Saint-Hilaire). Édition numérique www.clerus.org.

Cette idée de gamme chromatique va refaire surface à la Renaissance, enrichie et retravaillée pendant plusieurs siècles par des musiciens, musicologues et scientifiques (dont Isaac Newton en 1704).⁵

Premières applications

Inspiré par ces recherches, le savant jésuite Louis Bertrand Castel va tenter de mettre la correspondance couleur/lumière en évidence et, pour la première fois, en application.

Dans un article de 1725 intitulé *"Clavecin pour les yeux, avec l'art de peindre les sons et toutes sortes de pièces de musique."*, il décrit ce qu'on pourrait appeler un "instrument transmodal" qui produit simultanément sons et couleurs :

*" Il ne s'agit pas de réveiller simplement l'idée de parole et de son par des caractères arbitraires et imaginés, tels que sont les lettres de l'alphabet ou les notes de musique ; mais de peindre ce son et toute la musique dont il est capable ; de les peindre, dis-je réellement, ce qui s'appelle peindre, avec des couleurs , et avec leurs propres couleurs ; en un mot, de les rendre sensibles et présents aux yeux, comme ils le sont aux oreilles de manière qu'un sourd puisse jouir et juger de la beauté d'une musique [...] et qu'un aveugle puisse juger par les oreilles de la beauté des couleurs."*⁶

Certaines de ses théories scientifiques étaient en retard sur son époque⁷, mais sa conscience de la *valeur ajoutée* de la rencontre entre deux modalités ainsi que de l'audace de créer une forme visuelle nouvelle semblent très proches des recherches audiovisuelles et multimédia du 20^{ème} siècle.

Castel imagine même d'hypothétiques orgues à odorat, toucher et goût...

"Mettez une quarantaine de cassolettes pleines de parfums divers, ouvrez les soupapes. Voilà pour l'odorat. Sur une planche, rangez tout de suite, avec une certaine distribution des corps capables de faire diverse impressions sur la main. Voilà pour le toucher. Rangez de même des corps agréables au goût, entremêlez de quelques amertumes. Voilà pour le goût."

...et propose un projet d'installation :

"Concevez-vous bien ce que sera une chambre tapissée de rigaudons et de menuets, de sarabandes et passacailles, de sonates et de cantates, et si vous le voulez bien, d'une représentation très complète de toute la musique d'un opéra ?"

⁵ Pour en lire plus à ce sujet : Sean A. Day , "A Brief History of Synaesthesia and Music". <http://www.thereminvox.com/article/articleview/33/1/5/>

⁶ Dans "Mercure de France", novembre 1725. Via Jean-Marc Warszawski, "Le clavecin pour les yeux du père Castel". <http://www.musicologie.org/publirem/castel.html>

⁷ Voir également Jean-Marc Warszawski.

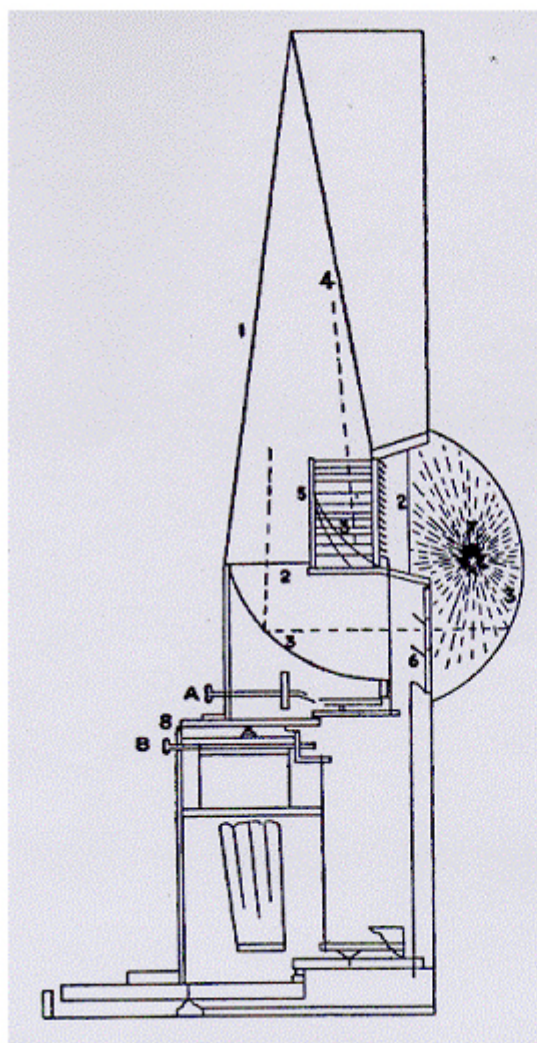
On va retrouver cette volonté d'associer plusieurs modes chez certains penseurs de la moitié du siècle suivant, en particulier Richard Wagner.

Dans *L'œuvre d'art de l'avenir* (*Das Kunstwerk der Zukunft*), un texte de 1849, il regrette que les diverses formes d'art se soient isolées les unes des autres. Afin de sauver l'art, il propose de produire des œuvres d'art totales (*Gesamtkunstwerk*) qui, à l'image de la tragédie grecque, toucheraient à tous les sens des spectateurs, pour finalement fusionner avec la vie.

L'opéra wagnérien concrétisera ces idées.

L'esprit du temps devenu plus favorable, et la technologie aidant, on va voir émerger des projets similaires à celui de Castel.

En 1875, Bainbridge Bishop, un Américain, décide lui aussi de matérialiser les similitudes de propriétés entre son et couleur dans un instrument de musique.



1. Ground glass tablet.
2. Ground glasses to diffuse light.
3. Reflectors.
4. White screen.
5. Upper sash.
6. Lower sash.
7. Electric light.
8. Keyboard.
- A. Color-stop for keyboard.
- B. Color-stop for pedals.

A la différence de Castel, Bishop n'est pas un scientifique, mais un peintre qui cherchait dans l'harmonie musicale des règles d'harmonie de couleur.⁸

Le résultat devait, selon lui, non seulement représenter *"le mouvement et l'harmonie de la musique"* mais aussi son sentiment, dans une idée déjà presque expressionniste. Par un système d'interrupteurs, on pouvait, au choix, couper l'image ou le son. De la sorte, un spectateur pouvait observer la visualisation isolée du morceau, voire, avec un peu d'entraînement, identifier la composition simplement à partir de l'image.

Ignorant probablement les travaux de ses prédécesseurs, le peintre britannique Alexander Wallace Rimington présente sa propre version de l'orgue à couleurs lors d'une conférence intitulée *"A New Art: Colour-Music"* en 1895. Son but est de *"travailler avec la Couleur d'une façon nouvelle, de contrôler sa production de façon aussi aisée et complète que la production du son en Musique"*⁹

⁸ *"I was passionately fond of color-harmonies, but could not use them in a way satisfactory to myself. I read 'Chevreul on Colors,' also Field, and some of the later German works on the same subject, but they seemed to lack what I was looking for. I then tried to harmonize colors by applying the intervals and harmony of music, and failed to do this in a satisfactory manner. (...) Years after, certain circumstances drew my attention once more to this matter, and I became dominated with the idea of painting music. I had not the slightest conception how it was to be done, but I gave myself up to the idea with all the abandon and faith of a religious enthusiast."* Bainbridge Bishop, *"A Souvenir of the Color Organ"*. New Russia, Essex County, N. Y., 1893

⁹ *"to deal with Colour in a new way, and to place its production under as easy and complete control as the production of sound in Music."* Alexander Wallace Rimington, *"A New Art: Colour-Music"*. Messrs. Spottiswoode & Co., New St. Square. 1895. Via http://www.lumen.nu/rekvelld/wp/?page_id=185



Luigi Russolo - Musique (1911)

Influence sur les peintres

Louis Bertrand Castel pensait que son clavecin pour les yeux pourrait être *"une grande école pour les peintres"*.

En 1913, Carlo Carrà¹⁰ publie un manifeste futuriste qui prône la *"peinture des sons, bruits et odeurs"*. Il y cite en exemple le travail de Luigi Russolo, lui-même peintre, musicien et théoricien futuriste.

L'intérêt du futurisme italien pour les "autres" sens est animé par la volonté de représenter le dynamisme du monde moderne, un monde caractérisé par la violence, la vitesse, le bruit des moteurs, des usines et les odeurs qui s'en échappent.

C'est à peu près à la même époque que l'œuvre artistique et théorique de Wassily Kandinsky prend réellement son envol. Fasciné depuis toujours par la couleur, il prend conscience de sa synesthésie lors d'une représentation à Moscou d'un opéra de... Wagner.

"Je voyais en esprit toutes mes couleurs, elles se tenaient devant mes yeux. Des lignes sauvages, presque folles, se dessinaient devant moi. "

Les violons, les basses et les instruments à vent lui évoquaient toute la palette chromatique.

Après Wagner, c'est la musique atonale de Schönberg qui aura un profond impact sur Kandinsky, qui y trouve une rythmique nouvelle, la "dissonance d'un nouvel art".

En 1912, dans son ouvrage *"Über das Geistige in der Kunst"* (Du spirituel dans l'art), il expose sa vision personnelle de l'art, explicitant ce lien : pour lui, la peinture possède "des forces d'expression et des moyens aussi puissants que ceux de la musique".

Dans le modèle théorique de Kandinsky, la musique devient non seulement le modèle, mais aussi la *justification* d'une peinture représentant non plus la nature, mais la vie spirituelle intérieure de l'artiste : son intérêt se porte sur la réalité des mondes intérieurs où les perceptions se rencontrent.

Comme la musique est déjà acceptée comme art intérieur et abstrait, la mise en parallèle de la musique et de la peinture est aussi pour lui une bonne métaphore didactique pour expliquer la portée de ses nouveaux concepts picturaux, en décalage avec les attentes de ses contemporains.

Il estime que le peintre doit "découvrir des procédés similaires" à la musique : rythme, construction abstraite, mathématique, répétition, dynamisme de la couleur. Il pense qu'il faut de cette manière dépasser l'imitation du réel pour répondre à la "nécessité intérieure", c'est à dire à l'obligation pour l'artiste de représenter le monde intérieur.

¹⁰ Co-fondateur du futurisme italien avec Filippo Tommaso Marinetti, Umberto Boccioni et Luigi Russolo

A sa suite, les liens entre les deux modalités se multiplient chez les peintres abstraits, les tableaux prennent des titres tels que *Thème musical*, *Sonatine pour violon et piano* ou encore *Son bleu-vert*.

De tous les genres musicaux, c'est la fugue qui est la référence principale pour les peintres abstraits : aboutissement de la musique polyphonique, elle est fondée sur une construction mathématique réfléchissant sur ses propres moyens, le sujet du début de l'œuvre réapparaissant sous une autre forme, se prolongeant par un contre-sujet, se répétant par plusieurs voix.

Paul Klee illustre parfaitement la translation de cette construction musicale en peinture dans sa *Fugue en rouge* (1921) : cinq formes géométriques se développent le long d'une portée imaginaire, se répondent par leur inverse, disparaissent et réapparaissent, la progression du temps étant suggérée par une gradation chromatique du foncé au clair, et une diminution de la taille de chaque forme.



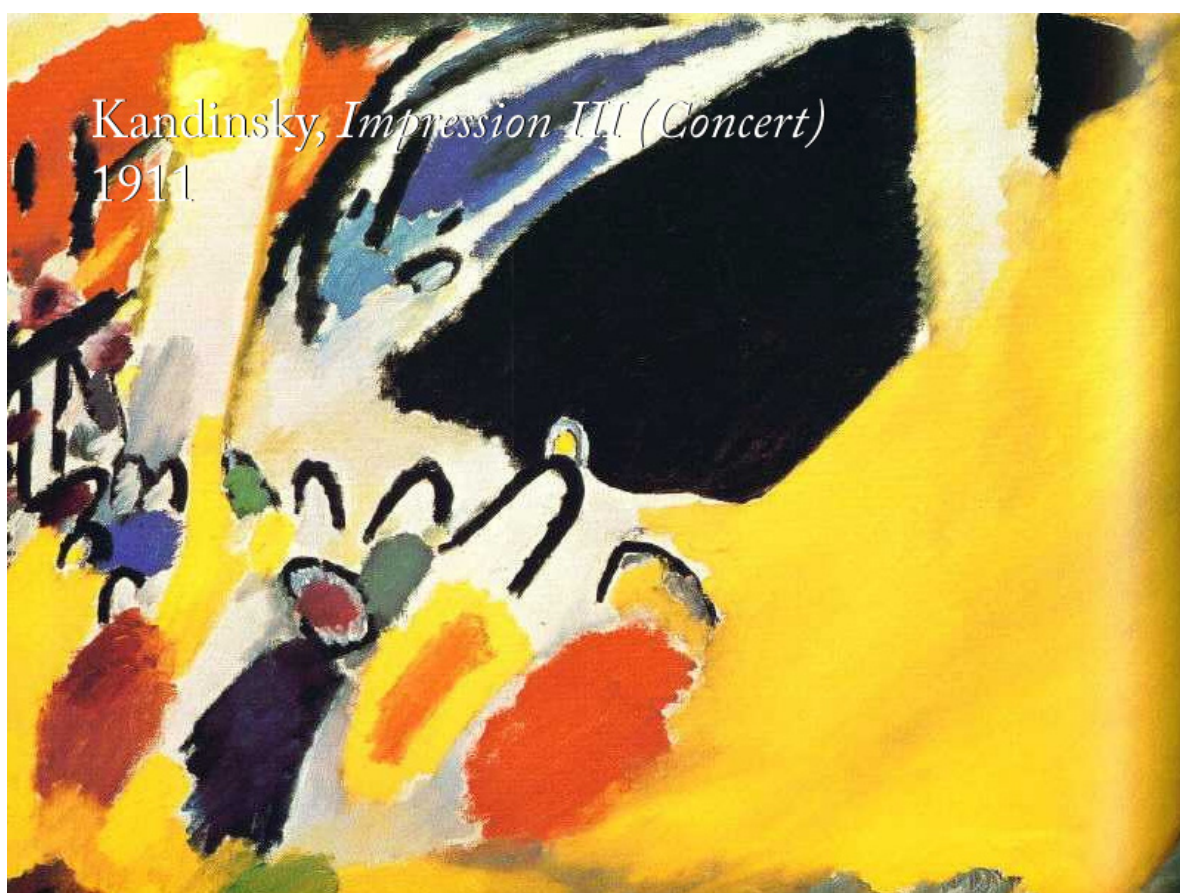
Le temps et le mouvement deviennent alors un thème représenté par la peinture, alors que précédemment, la peinture était un art de l'espace, tandis que la musique se réservait le domaine du temps.

Kandinsky, lui, va toutefois pousser ses expériences sur la transmodalité au-delà de la seule association couleur-son : il va ainsi, par exemple, demander à un compositeur de choisir une de ses aquarelles qui lui semblerait avoir la "forme musicale la plus claire". Le compositeur va alors "jouer" cette aquarelle. Ensuite, un danseur entre et danse la musique qu'il vient d'entendre.

Après seulement, Kandinsky montrera au danseur l'aquarelle qu'il avait ainsi interprétée¹¹.

Il créera aussi un opéra, *Der Gelbe Klang* ("Le son jaune"), en spécifiant le mélange précis de couleur, de lumière, de danse et de sons typique de ce *Gesamtkunstwerk*.

Le but ultime de ces expériences était toujours, pour Kandinsky, de créer des compositions "qui touchent les cordes de l'âme".



La suite du 20^{ème} siècle va voir l'avènement du cinéma (parlant) et de l'art vidéo, lieux d'autres rencontres multimodales.

Mais concentrons-nous à présent sur une autre partie de l'Histoire.

¹¹ Kandinsky, W. (1921/1982) Report to the pan-Russian conference, 1920, (Vestnik Rabotnikov Iskusstv, Moscow, 1921) In K.C. Lindsay and P. Vergo (Eds. and Trans.), *Kandinsky: Complete Writings on Art* (pp. 473-474). London: Faber & Faber. Via <http://psyche.cs.monash.edu.au/v3/psyche-3-06-vancampen.html>

Deuxième partie

Une histoire de l'informatique

Les racines

Il n'y a pas d'art numérique sans informatique. Comprendre l'art numérique passe donc, en partie, par une meilleure connaissance de ses racines.

Aujourd'hui encore, les ordinateurs apparaissent aux yeux du grand public comme une invention "nouvelle". La "nouveau" reste d'ailleurs un terme très lié au numérique – ne parle-t-on pas de "nouveaux médias" et de "nouvelles technologies de l'information et de la communication" ?

Comme souvent, les mots et leur origine peuvent nous en apprendre beaucoup.

Ordinateur, dans son sens actuel¹² a été "inventé" en 1955 à la demande d'IBM France. Il s'agissait de trouver un nom moins limitatif que "calculateur", la traduction la plus littérale de l'anglais "computer".¹³

Calculateur. Le terme peut nous faire remonter très loin dans l'histoire, jusqu'aux bouliers chinois. Sans aller jusque là, il est important de réaliser que les origines de l'informatique électronique contemporaine sont en réalité mécaniques.

Quel mécanisme complexe ancien est le véritable ancêtre de l'ordinateur ? S'agit-il de la machine Anticythère (-87)¹⁴ destinée à calculer la position des astres, des automates musiciens d'Al-Jazari (1206)¹⁵ ou d'une des nombreuses inventions de Léonard de Vinci (15^{ème} siècle) ? Il est difficile d'en juger.

¹² Dans son acception ancienne, l'ordinateur est "celui qui met en ordre", d'*ordinatum*, *ordinare* ; ordonne.

¹³ De même, le mot *informatique* ("computer science/ engineering "), a été créé en 1962 en contractant les mots *information* et *automatique*.

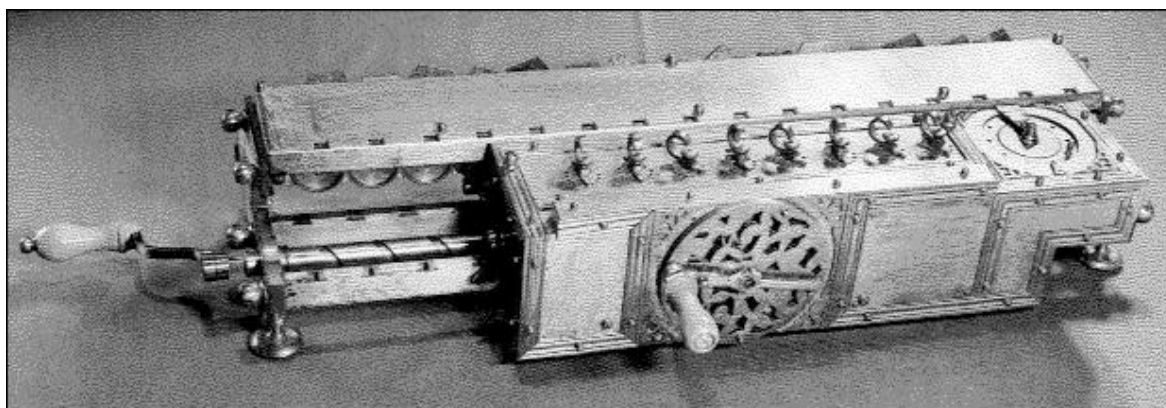
¹⁴ http://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_d'Anticythère

¹⁵ <http://www.shaf.ac.uk/marcoms/eview/articles58/robot.html>

Les calculateurs mécaniques

Le 17^{ème} siècle voit en tout cas l'apparition d'une série de machines à calculer mécaniques qui, constamment améliorées et complexifiées, vont nous mener presque en ligne droite aux *computers* actuels.

Les premiers calculateurs mécaniques reposaient sur une technologie proche de celle de l'horlogerie. On en attribue l'invention à Wilhelm Schickard, en 1623, suivi par la Pascaline de Blaise Pascal en 1642, et la de Gottfried Leibniz en 1671 (voir illustration).



La contribution de Leibniz ne s'arrête pas là, puisqu'il inventa l'arithmétique binaire¹⁶, qui mènera à la logique binaire¹⁷ de George Boole (1854), base des ordinateurs électroniques.¹⁸

Les cartes perforées

Une autre avancée importante nous viendra de l'industrie du textile.

Dans un métier à tisser, on fait s'entrecroiser perpendiculairement un fil de trame avec d'autres fils (dits "de chaîne"). Pour faire passer le fil de trame entre les fils de chaîne, on soulève une partie de ces derniers (par exemple, un sur deux). C'est en sélectionnant des groupes de fils de chaîne bien définis qu'on peut créer des motifs plus complexes.

En 1728, Basile Bouchon utilise un ruban perforé qui permet de programmer cette tâche répétitive. Trois ans plus tard, son assistant, Jean-Baptiste Falcon, remplace le ruban de papier par des cartes perforées reliées entre elles. L'invention sera ensuite perfectionnée et popularisée par Joseph Marie Jacquard en 1801.

¹⁶ Basée sur des 1 et des 0, alors que notre système décimal utilise des chiffres de 0 à 9

¹⁷ L'algèbre de bool utilise 2 opérateurs – "ET" et "OU" – et des règles, telles que l'associativité et la commutativité, inspirées de l'algèbre classique. 0 et 1 représentent les états FAUX et VRAI.

¹⁸ Il est à noter cependant que certains des premiers ordinateurs utilisaient toujours une base de calcul décimale. C'est le cas, entre autres, du célèbre ENIAC, développé à partir de 1944 à l'Université de Pennsylvanie pour l'armée américaine.

La vision de Babbage

Pendant ce temps, on essaye de faire réaliser aux machines à calculer mécaniques des opérations de plus en plus complexes.

Entre 1834 et 1836, le mathématicien britannique Charles Babbage va concevoir, sans parvenir à la réaliser, la première machine à calculer polyvalente programmable.

La *machine analytique* devait recevoir les calculs à réaliser via des cartes perforées, stocker et réorganiser les nombres entre eux pour réaliser des opérations complexes ; le tout était actionné par une machine à vapeur.

L'industrialisation du calcul

L'utilisation des cartes perforées comme dispositif d'entrée des données prit des proportions industrielles lors du recensement américain de 1890. La population à cette époque était devenue trop importante pour qu'il soit encore raisonnablement possible de dépouiller les résultats manuellement.

Hermann Hollerith proposa un système à cartes perforées : les agents devaient poinçonner des trous correspondant à certaines variables (âge, sexe, ...) ; les cartes poinçonnées étaient ensuite introduites dans la machine, et les trous permettaient certains contacts électriques qui incrémentaient des compteurs.

L'entreprise fut un succès. Six ans plus tard, Hollerith fonda la Tabulating Machine Company, première pierre de l'industrie informatique pré-électronique (ou mécanographie). La TMC fusionnera au début du siècle suivant avec trois autres entreprises ; l'ensemble sera renommé IBM en 1924.

Vers l'ordinateur contemporain

C'est l'électricité qui permit les progrès suivants : d'abord moteurs électriques, puis calculateurs analogiques qui utiliseront des phénomènes physiques connus (variations de température ou d'intensité du courant) pour résoudre des problèmes mathématiques ou modéliser des problèmes similaires.

À partir des années 30, l'électronique (circuits, condensateurs, lampes amplificatrices) remplace petit à petit les composants tant mécaniques qu'analogiques des calculateurs.

C'est à cette même époque qu'Alan Turing, mathématicien et logicien anglais, réfléchit aux limites des calculateurs mécaniques. Il crée en 1936 le modèle abstrait d'une machine programmable qui peut résoudre tout type de problème de calcul.

Les premiers ordinateurs numériques, binaires, programmables et polyvalents (à commencer par le Z3 allemand en 1941) auront probablement été réalisés dans une relative ignorance des travaux de Turing, mais ses concepts auront toutefois une influence sur le développement des ordinateurs pour les années à venir.

Premières conclusions

Que retenir de ce bref aperçu des bases technologiques de l'informatique ?

1. L'informatique se résume en fait à des problèmes de nombres.
2. Depuis les calculateurs mécaniques du 17^{ème} siècle, on a simplement cherché à exécuter plus d'opérations plus complexes avec des nombres plus grands.
3. "Eine zahl von einer ganzen Reihe Ziphern, sie sey so lang sie wolle (nach proportion der größe der Machine)" – "On peut calculer des nombres aussi grands que désirés si on augmente la taille de la machine", disait Leibniz à propos de sa Staffelwalze.
Théoriquement, ces "plus" étaient déjà réalisables à l'époque ; le progrès a principalement éliminé des problèmes d'ingénierie grâce à l'électricité et l'électronique.
4. L'industrialisation de l'informatique, qui débute avec l'utilisation de cartes perforées, apporte un autre progrès : la rapidité du traitement de l'information – rapidité qui dépasse (déjà) celle de l'humain.
5. En somme, nos ordinateurs ne sont que des versions plus efficaces de machines développées depuis plus de 200 ans.
6. Dans *La Machine à Différences*, William Gibson et Bruce Sterling transposent la société de l'information actuelle dans un passé uchronique où Babbage est parvenu à construire un ordinateur mécanique fonctionnel. Il ne faut donc pas oublier le passé pré-électronique de l'informatique, et questionner sa "nouveauité".

L'informatique contemporaine

Tout en restant dans leur logique profonde de "simples" calculateurs, les ordinateurs sont devenus dans l'après-guerre quelque chose d'*autre*. Pourquoi ?

Remontons à nouveau dans le temps.

En 1933, Ana Lovelace rencontre Charles Babbage, et se passionne pour ses travaux. Dix ans plus tard, elle traduira pour lui un article de L. F. Menabrea décrivant le fonctionnement de sa machine analytique. Elle ajoute une série de notes, qui deviennent finalement plus volumineuses que l'article original.

Dans ces notes, elle va proposer¹⁹ une méthode de résolution d'un problème mathématique connu²⁰ à l'aide de la machine de Babbage. On considère que c'est le premier programme informatique, en tout cas sous la forme de pseudo-code²¹.

Il s'agit donc du premier programme écrit, et de la première utilisation (théorique) d'un ordinateur polyvalent pour régler le problème d'un "utilisateur".

La "programmabilité" des ordinateurs à partir des années 1940-1950 va rendre cet utilisateur-programmeur indépendant du fabricant de matériel, ce qui va grandement ouvrir les champs d'application de l'informatique, y compris à l'art.

L'autre élément important, Ada Lovelace l'a également entrevu, avec sans doute plus de clairvoyance que Babbage lui-même :

*" The operating mechanism can even be thrown into action independently of any object to operate upon (although of course no result could then be developed). Again, **it might act upon other things besides number, were objects found whose mutual fundamental relations could be expressed by those of the abstract science of operations, and which should be also susceptible of adaptations to the action of the operating notation and mechanism of the engine. Supposing, for instance, that the fundamental relations of pitched sounds in the science of harmony and of musical composition were susceptible of such expression and adaptations, the engine might compose elaborate and scientific pieces of music of any degree of complexity or extent.** "*

En termes plus contemporains, l'ordinateur peut traiter n'importe quel problème modélisable mathématiquement.

A mon sens, ce passage annonce à lui seul le développement de la simulation informatique, de la numérisation et, dans sa dernière phrase, de l'art génératif.

¹⁹ Mais cette théorie est discutée et certaines sources affirment qu'elle a simplement corrigé des notes réalisées par Babbage lui-même.

²⁰ Le calcul des nombres Bernoulli.

²¹ Soit la description d'un algorithme dans un langage informel, basé sur la structure de langages existants, mais laissant de côté les problèmes de syntaxe. L'utilisation du pseudo-code permet de se concentrer sur la construction de l'algorithme, ou de le décrire sans passer par un langage particulier.

La naissance de l'art numérique

Premières applications graphiques

Au début des années 50, l'accroissement de la vitesse de calcul et de la taille des mémoires permet au Massachusetts Institute of Technology de créer un premier ordinateur capable de calculer des images en temps réel²². Initialement destiné à la simulation de vol, il sera reprogrammé pour effectuer des calculs balistiques²³.

De plus en plus, l'innovation informatique ne sera plus seulement matérielle (augmentation des capacités de calculs, apparition de l'écran), mais aussi logicielle – *"act upon other things besides number"* comme l'annonçait Ada Lovelace.

Ainsi, en 1962, Ivan Sutherland crée le premier logiciel de création graphique, destiné au dessin industriel : Sketchpad. Il permet de créer des formes simples, de type vectoriel (lignes, courbes) et de les modifier à tout moment.



C'est aussi, déjà, une des premières concrétisations d'interface graphique :

" The Sketchpad system makes it possible for a man and a computer to converse rapidly through the medium of line drawings. Heretofore, most interaction between men and computers has been slowed down by the need to reduce all communication to written statements that can be typed ; in the past, we have been writing letters to rather than conferring with our computers.

For many types of communication, such as describing the shape of a mechanical part or the connections of an electrical circuit, typed statements can prove cumbersome. The Sketchpad system, by eliminating typed statements (except for legends) in favor of line drawings, opens up a new area of man-machine communication."

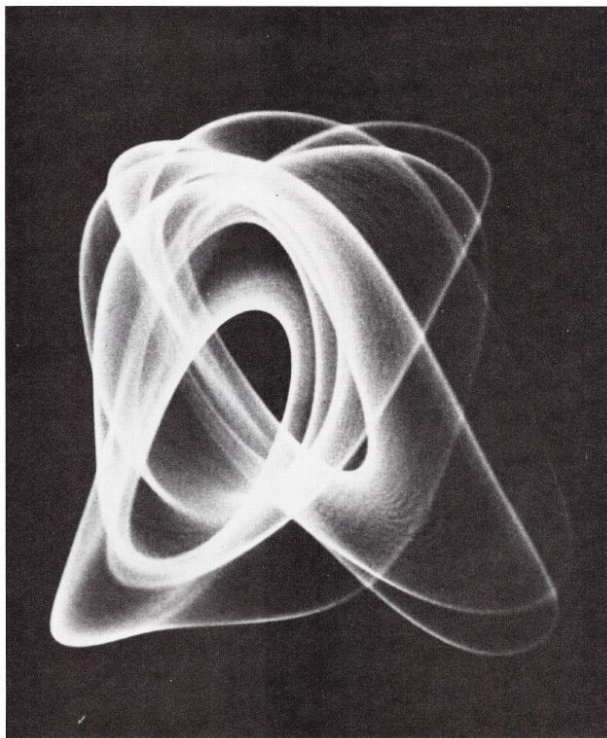
²² Par opposition aux ordinateurs où le délai entre l'introduction des données et la sortie des résultats n'était pas important.

²³ [http://en.wikipedia.org/wiki/Whirlwind_\(computer\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Whirlwind_(computer))

Des scientifiques artistes

L'outil informatique est toujours principalement entre les mains des chercheurs et des universitaires. Ce sont donc d'abord des scientifiques intéressés par l'art, et non des artistes qui vont réaliser les premières "œuvres" numériques.

Dès 1952, Ben F. réalise des "abstractions électroniques" sur l'écran oscilloscopique d'un ordinateur analogique.



"I got into oscillographic art through a long-time interest in art or design derived from mathematics and physics. I had worked with geometric design, analytic and other algebraic curves, 'magic line' patterns from magic number arrangements, harmonograph machine tracings, pendulum patterns, and so on. The oscilloscope seemed to me to be a way of getting a wider variety of similar kinds of design and with controlled effects to produce even newer forms not feasible with previous techniques."

En 1957, le M.I.T. lance le programme "Field 10" qui vise à enseigner aux étudiants scientifiques et ingénieurs des notions d'art visuel. L'un des initiateurs de ce programme, Robert Preusser, écrira plus tard *"les scientifiques et les ingénieurs sont capables de travailler au niveau conceptuel nécessaire pour inventer des formes visuelles"*²⁴.

L'informatique va devenir le lieu d'une nouvelle rencontre entre l'art et la technologie.

²⁴ Robert Preuler, 1973. Via Annick Jaccard-Beugnet, *"L'artiste et l'ordinateur"*. 2003, L'Harmattan.

Définir l'art numérique

Il s'agit maintenant de définir l'art numérique et ses caractéristiques.

"Art Numérique" est un terme utilisé aussi bien pour désigner tout type d'images produites par ordinateur, que des formes hybrides plus spécifiques telles que les installations/performances où le traitement informatique – souvent en temps réel – joue un rôle plus ou moins important.

Curieusement, on parle rarement d'art numérique pour la musique créée sur ordinateur. On lui préfère le terme de "musique électronique", hérité des années 50-60.

Je définirais pour ma part trois "niveaux" d'art numérique :

L'art numérique comme transposition voire reproduction de formes et techniques existantes. Photo numérique, vidéo numérique, *digital painting* à l'aide de logiciels simulant l'utilisation d'outils réels (tel que Corel Painter ou, dans une moindre mesure, Adobe Photoshop).

L'art numérique comme nouvelle technique de création d'images. Je pense au rendu tridimensionnel, ou à la plupart des images créées à une époque où les limitations technologiques imprimaient de facto une esthétique particulière à l'image.

L'art numérique comme lieu de création de nouvelles formes, d'un ou plusieurs nouveaux médias ; l'art interactif, l'art temps réel, les jeux vidéos, le net art, l'art multimédia ou des "nouveaux médias".

Au premier niveau, même si le numérique peut imprimer sa marque, il y a une tentative d'imitation de l'existant, d'effacement, presque, de la présence du numérique.

Au second niveau, le numérique est présent sous la forme de spécificités esthétiques (le pixel, les formes "carrées", le crénelage, la palette de couleur limitée, les artefacts de compression, ...)

Au dernier niveau, le numérique permet la création d'une nouvelle forme d'art qui, même si elle peut évoquer ou se composer de formes existantes, présente des spécificités propres très marquées.

C'est surtout ce troisième niveau qui nous intéresse ici, et dans une moindre mesure le deuxième.

Peut-on en extraire certaines spécificités ?

Quand l'imagerie informatique a revendiqué le statut de forme d'art nouvelle, c'est tout naturellement que des parallèles ont été créés avec l'histoire de la peinture. L'artiste numérique était à la fois un nouveau De Vinci²⁵, artiste et scientifique, mais s'inscrivait dans une tradition moderniste de l'image en osant l'abstraction. Nous en reparlerons.

²⁵ Une revue d'art technologique sera lancée en 1966 sous le nom de "*Leonardo*".

Quand la technologie a permis la création de toutes pièces d'images animées, puis finalement d'œuvres mélangeant plusieurs médias, les théoriciens se sont tournés vers le cinéma, comme lieu historique de la rencontre de plusieurs formes dans un nouvel espace.

Sans vouloir remettre en cause ces analyses²⁶, je préfère pour ma part une approche qui tient surtout compte des spécificités techniques et historiques de l'art numérique.

Un art technologique

Comme la photographie et le cinéma, l'art numérique est né grâce à la création d'un nouvel outil/medium.

Dès leur début, le statut de la photographie et du cinéma ne sont pas très clairs. Ce sont certes de nouvelles inventions, mais...

Samuel Morse, alors en voyage à Paris, raconte sa découverte des épreuves de Daguerre²⁷. Il les compare à des eaux-fortes, en souligne "l'exquise précision du trait".

Hyppolite, l'inventeur d'un procédé photographique qui, au contraire de celui de Daguerre, ne sera pas soutenu par l'Académie des Sciences, réalise des séries de photos d'objets (dont certains récurrents) dans des arrangements et des lieux différents. Il réalise également une première mise en scène photographique pour dénoncer sa situation d'infortuné inventeur.

D'après Philippe-Alain Michaud²⁸, les premières expériences cinématographiques de Dickson²⁹ n'étaient pas que de simples "tests" techniques.

L'informatique, par contre, n'était pas du tout destinée à des applications artistiques, on ne peut même pas dire qu'elle s'en rapprochait. L'informatique est avant tout une technologie et une science destinée à des applications pragmatiques de calculs complexes.

Rien, avant l'introduction de l'image, ne prédestinait donc l'informatique à produire une nouvelle forme d'art.

Je pense que, quelque part, cette transformation ne dépendait pas que du progrès technique, mais aussi de l'esprit de l'époque. Les premières œuvres numériques sont basées sur des principes mathématiques et géométriques plus anciens. D'ailleurs, Laposky s'intéressait à une certaine esthétique mathématique avant de travailler avec l'ordinateur.

Cet "art mathématique" aurait tout autant pu être un art chimique, électrique ou atomique.

²⁶ Et bien que certaines semblent avoir assez mal vieilli.

²⁷ Samuel Morse, New York Observer, 20 avril 1839. Via Philippe-Alain Michaud, *"Aby Warburg et l'image en mouvement"*, 1998, Macula.

²⁸ Toujours dans *"Aby Warburg et l'image en mouvement"*.

²⁹ Assistant d'Edison qui réalisa pour lui le Kinetoscope, caméra et instrument de projection.

Plusieurs facteurs, je pense, ont contribué à la considération de l'imagerie numérique comme forme d'art :

1. La nouveauté d'une nouvelle forme d'art au même titre que la photographie et le cinéma
2. La possibilité de produire des images
3. L'étrangeté des images produites, qui leur confère immédiatement une esthétique particulière
4. Un contexte où l'abstraction n'était plus une "rupture", mais un nouveau paradigme de l'art, bien accepté
5. La popularisation de l'art, un plus grand accès aux œuvres
6. Une certaine philosophie positiviste anglo-saxonne, une esthétique qui a une vision beaucoup plus large de ce qui est accepté comme art

Recherches

Pour le philosophe et logicien Nelson Goodman, le monde (ou un monde) n'existe que par la connaissance qu'on en a. Cette connaissance passe par la description et la désignation.

Il existe d'innombrables façons de décrire le monde, la science et l'art en sont deux et elles se valent.

Annick Jaccard-Beugnet³⁰ défend une thèse similaire : les artistes expérimentaux cherchent, par leurs œuvres, à découvrir de nouvelles choses, au même titre que les scientifiques.

Elle cite l'exemple de Véra Molnar :

"Ses œuvres sont en effet des "expériences visuelles", qui lui permettent d'étudier cette perception. Pour ce faire, elle utilise des éléments géométriques simples dans lesquels elle introduit systématiquement un certain désordre, pour contrôler ensuite les modifications affectant la perception par le spectateur".

Rapport à l'abstraction

Comme je l'ai dit plus haut, quand l'art numérique est apparu, le contexte était déjà relativement favorable à l'abstraction.

Au début du 20^{ème} siècle, l'abstraction est née d'une volonté de se détacher de la figuration, de la représentation d'objets tels qu'ils étaient perçus.

L'origine de l'abstraction numérique est tout autre.

D'une part elle est historique : son mode de représentation, à la base, est scientifique et mathématique.

D'autre part elle est technique : les ordinateurs de l'époque ne permettaient pas de créer des images élaborées et réalistes. C'est un peu une abstraction "par nécessité".

³⁰ Annick Jaccard-Beugnet, *"L'artiste et l'ordinateur"*. 2003, L'Harmattan

L'évolution des techniques a apporté par la suite une sorte de "course au réalisme" dont nous ne sommes pas encore vraiment sortis. Néanmoins, il reste une mouvance "abstraite" dont les travaux les plus intéressants aujourd'hui se trouvent dans le domaine de l'art génératif.³¹

Un outil-langage

D'après Golan Levin³², les ordinateurs sont des outils hybrides et une sorte d'extension de notre esprit.

"I believe computers represent a hybrid form of tool, in that they combine the abilities of conventional tools to act-on-the-world, with the special attribute of tools like language and writing to serve as enabling substrates for thought. This combination makes them optimally suited for a continually deepening integration with both our minds and bodies, to the point that it may someday sound as odd to ask your question, "is the computer a tool?" as it is to ask the same question about language today. Language is a tool, and yet also a part of who we are; computation will be the same."

Numérique !

Il existe une multitude de termes pour désigner les arts numériques, dont beaucoup tournent autour de l'idée de croisement de médias. Multimédia, Hypermédia, Intermédia³³.

L'art numérique est en effet favorable à ce type de rencontres – c'est le sujet de ce mémoire – mais ce sont à mes yeux des définitions à la fois trop ouvertes (à l'art "multimédia" non numérique) ou fermées (à l'art numérique non "multimédia").

J'y préfère le terme d'art numérique, car il définit le plus clairement le sujet qui nous préoccupe ici : un art dont la capacité de traitement de grandes quantités d'informations sous la forme de nombres, en temps réel, permet la transmodalité. Il s'agit donc d'une définition par la cause plutôt que par la conséquence.

Nouveau ?

Il s'agit bien, dans un sens, d'une nouveauté. Mais comme nous l'avons vu, l'ordinateur contemporain a bien de nombreux ancêtres non-numériques. J'aimerais revenir sur certaines qualités "nouvelles" qu'on attribue souvent à l'art numérique :

Le "multimédia" n'est pas une caractéristique distinctive du numérique. Il suffit de penser aux orgues à couleurs de la fin du 19^{ème} siècle.

L'interactivité est certes énormément exploitée dans l'art numérique mais, en réalité, rien ne nous empêche de créer un art interactif purement mécanique... ou même chimique !³⁴

³¹ Où les images sont générées par des algorithmes, et pas ou peu par la main de l'utilisateur.

³² Dans le livre de John Maeda, "Creative Code". 2003, Thames & Hudson

³³ Dick Higgins, "Horizons, the Poetics and Theory of the Intermedia", 1984, Southern Illinois Univ. Press.

Le numérique comme langage commun

Un stimulus sensoriel est envoyé à partir de l'organe de perception jusqu'au cerveau sous la forme d'un signal électrique, puis de synapse en neurone par un phénomène biochimique.

De même, les périphériques d'entrée des ordinateurs vont transmettre des informations sous forme de signaux électriques jusqu'à l'ordinateur.

Mais ce dernier, au contraire du cerveau, n'est pas (encore) dans notre tête. Il faut donc faire ressortir l'information traitée, par un processus inverse, d'impulsions électriques vers un périphérique.

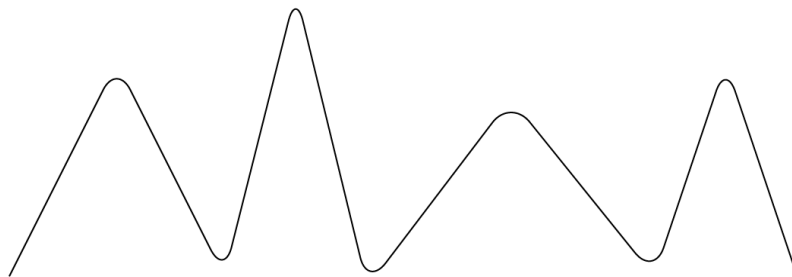
Comme le pressentait Ada Lovelace, l'ordinateur peut traiter n'importe quelle donnée tant qu'elle est traduisible en nombres. Cette traduction en nombres est la *numérisation*, la clé de voûte de l'outil informatique et la source de sa polyvalence.

Aujourd'hui, on peut connecter toutes sortes de périphériques à un ordinateur : clavier, souris et écran, naturellement ; imprimante, carte son, caméra ; manettes de jeu... ainsi que des périphériques plus exotiques, comme des capteurs de mouvement, de vitesse ou de luminosité.

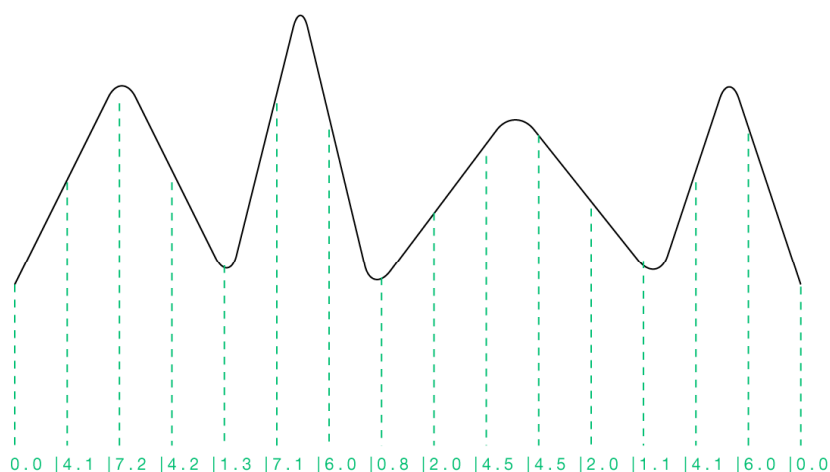
³⁴ Je n'en connais malheureusement pas vraiment d'exemple.

Réexpliquons brièvement la notion de numérisation.

On a en entrée une valeur qui varie en permanence (une amplitude sonore, la luminosité captée par une cellule photosensible, etc..).



Pour pouvoir en faire des données manipulables, on ne prend que des valeurs échantillons à des intervalles réguliers.



On obtient alors une suite de valeurs qui représente la variation mesurée en entrée. Ces valeurs sont stockées quelque part en mémoire, disponibles pour une utilisation ultérieure.

0.0 | 4.1 | 7.2 | 4.2 | 1.3 | 7.1 | 6.0 | 0.8 | 2.0 | 4.5 | 4.5 | 2.0 | 1.1 | 4.1 | 6.0 | 0.0

```

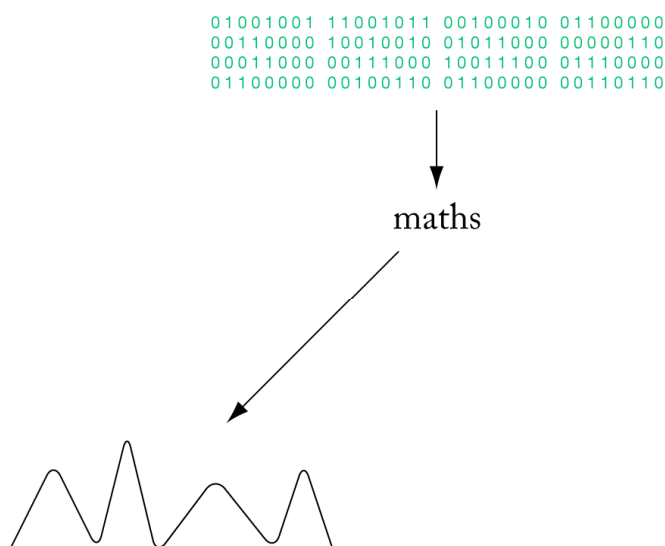
01001001 11001011 00100010 01100000
00110000 10010010 01011000 00000110
00011000 00111000 10011100 01110000
01100000 00100110 01100000 00110110

```

Synesthésie numérique

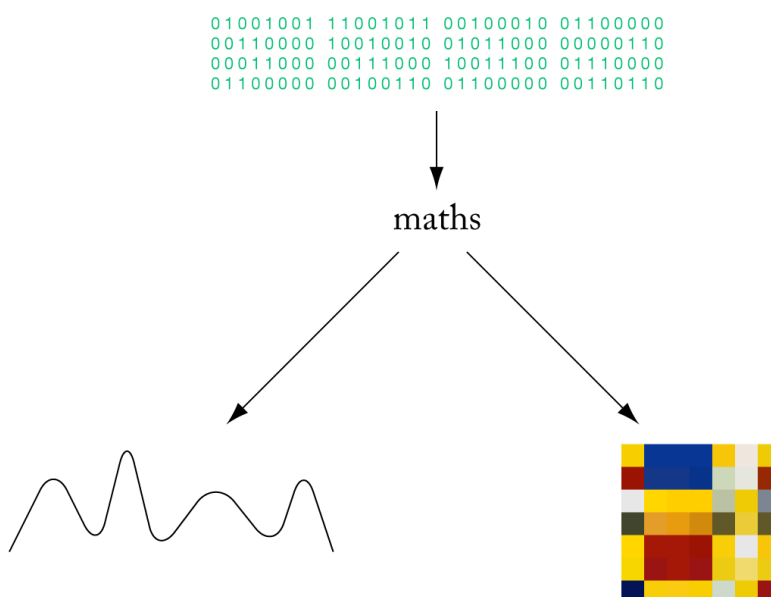
La synesthésie est une condition neurologique qui fait que, chez une personne, la stimulation d'un sens provoque, de façon automatique et involontaire, une perception dans un autre sens.

N'oublions pas que nous avons affaire à une énorme machine à calculer. Avec une série de valeurs, on peut effectuer des opérations. Si on dispose du modèle mathématique adéquat, on peut restituer la valeur mesurée au début sous une forme analogue (pas analogique).



Mais rien ne nous empêche d'effectuer sur ces valeurs d'autres opérations, qui donneraient un résultat absolument différent, sous une forme différente.

Par exemple, un processus transmodal pourrait interpréter les valeurs d'amplitude du son comme des couleurs, simultanément et automatiquement... mais en fonction de paramètres définis par l'utilisateur.



Il existe un programme qui implémente ce genre de mécanisme et permet la manipulation facile, en temps réel, de nombreuses entrées et sorties, c'est...

Max/MSP

L'histoire de Max commence à l'Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique (IRCAM), à Paris. C'est à nouveau là un point de rencontre de l'art et de la science.

Max a été conçu à l'origine pour synchroniser entre eux un piano MIDI³⁵ et une machine dédiée au traitement du son, le Sogitec 4X.

Il sera utilisé pendant une petite dizaine d'années sur des projets similaires, comme simple "lien" entre différents instruments et machines.

En 1997, on y ajoute une partie logicielle de traitement du son (MSP), ce qui permet d'utiliser Max pour manipuler du son en temps réel sur un ordinateur.

Deux ans plus tard, c'est au tour de la vidéo en temps réel, grâce au module *nato.0+55+3d* développé par la mystérieuse entité Netochka Nezvanova³⁶.

Les développeurs de Max vont créer leur propre add-on destiné à la vidéo en 2003 (*Jitter*).

Max/MSP + Jitter va devenir l'outil par excellence des installations interactives et autres performances multimédia. Il est également utilisé par des artistes vidéos et des musiciens.

³⁵ Musical Instrument Digital Interface, un protocole de communication qui permet l'échange de messages musicaux, tels que des notes, leur volume, hauteur, ou un canal/instrument.

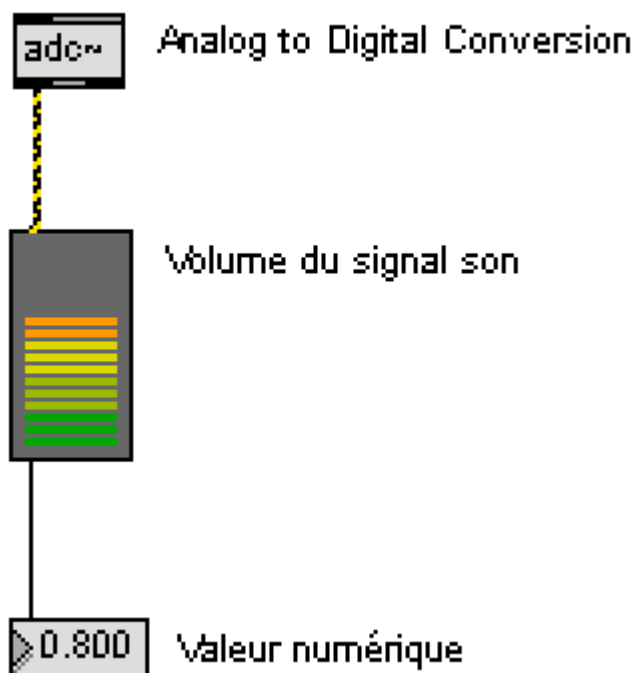
³⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Netochka_Nezvanova

Max/MSP par l'exemple

L'interface du logiciel se présente comme un espace de travail vide sur lequel on va disposer des "boîtes" appelées "objets".

Un objet peut avoir une série d'entrées (au-dessus) et/ou de sorties (en-dessous). A l'aide de connecteurs, on peut relier ces boîtes entre elles, redirigeant la sortie de l'une sur l'entrée de l'autre.

Prenons un exemple simple :



L'objet `adc~` convertit un son analogue reçu sur l'entrée standard (un micro, une autre source sonore, ...) en un "signal", soit le son numérisé.

L'opération se fait en temps réel, donc le programme ne va garder en mémoire que les dernières valeurs du signal audio.

Ces valeurs sont envoyées, toujours en temps réel, à un objet (`meter`) qui mesure le volume du signal audio qu'il reçoit en entrée, et le visualise.

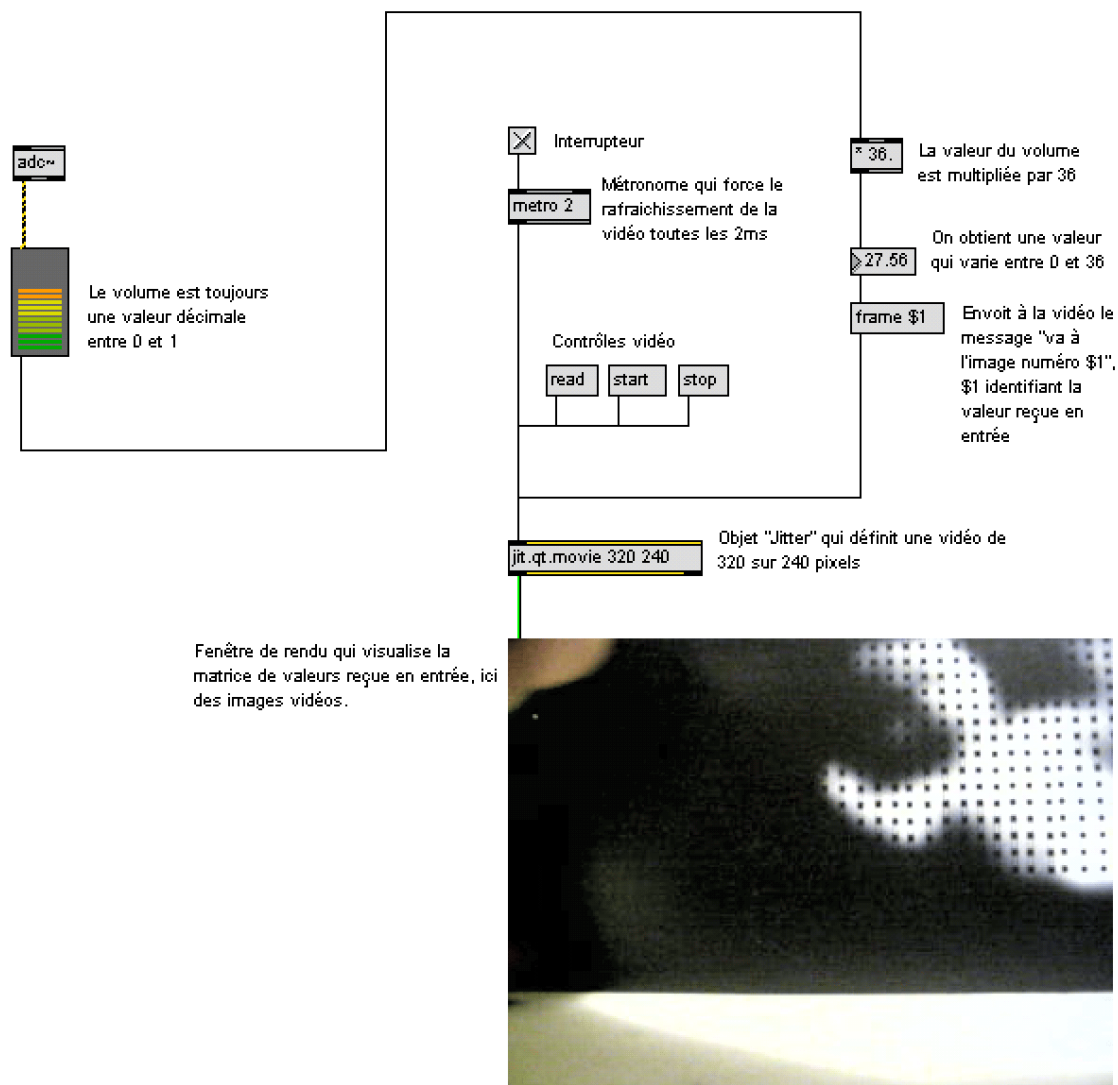
`Meter` envoie sur sa sortie la valeur numérique du volume, un nombre décimal entre 0 et 1.

La dernière boîte est l'objet qui affiche la valeur reçue.

C'est donc là un dispositif qui transforme un son analogue en la valeur numérique de son volume.

De cette valeur mise à jour 44100 fois par seconde³⁷, on peut faire ce que l'on veut : lui appliquer des opérations mathématiques, l'envoyer dans un autre objet, ...

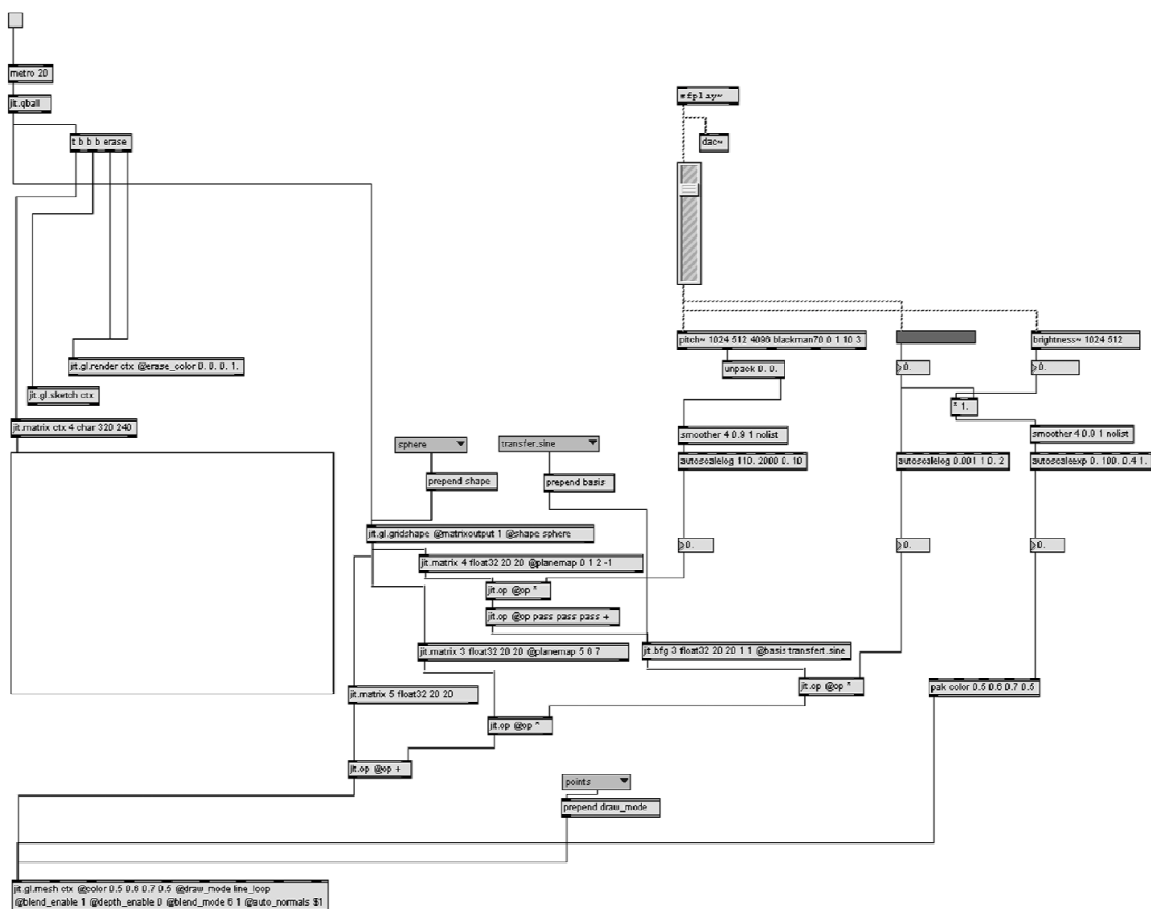
Dans l'exemple qui suit, nous allons contrôler une courte vidéo (de 36 images) sur base du volume sonore : si le volume est bas, on se déplace au début de la vidéo, s'il est fort, on va à la fin.



Voilà comment on peut manipuler, très simplement, du son et de la vidéo.

³⁷ C'est le taux d'échantillonnage du son, c'est-à-dire le nombre de fois par seconde qu'on mesure sa valeur pour le numériser.

Voici un exemple plus complexe, où on mesure non seulement le volume, mais aussi la hauteur du son (pitch), et applique d'après ces valeurs des transformations sur des objets 3D.



Deux œuvres transmodales

On pourrait craindre, dans un système automatisé entrées-traitement-sortie, d'arriver à un art où l'humain n'a plus vraiment de place.³⁸ Les œuvres suivantes tendent à prouver qu'au contraire, une recherche sur les modalités peut nous rapprocher de nous-mêmes.

Golan Levin & Zachary Lieberman – *Messa di Voce* (2003)

Messa di Voce est un spectacle-performance dont l'acteur principal est la voix, celle du chant comme de la communication.

Les deux performers, Joan la Barbara et Jaap Blonk, sont placés devant un écran sur lequel sont projeté douze tableaux interactifs.

La voix apparaît sur l'écran, et devient matérielle au point d'interagir avec la présence des corps.

Ainsi, dans *Bounce*, Jaap Blonk fait, littéralement, des bulles avec sa bouche.



Ces bulles avaient déjà montré des propriétés physiques, s'élevant et s'entrechoquant. Quand à la fin du tableau, elles tombent, Jaap peut disperser les bulles (devenues boules) à grands coups de pied.



³⁸ Et après tout, pourquoi pas ?

Dans *Insect Nature Show*, le son et le corps fusionnent dans un corps augmenté.



L'analogie son-forme est proche de la logique maluma-takete.

Plus qu'une simple mécanique, la créature sonore parvient à créer une sorte de sentiment de sympathie, sans doute par sa nature très expressive.

Messa di Voce me semble un parfait exemple d'œuvre transmodale où le passage d'une modalité à l'autre crée quelque chose de nouveau, qui va au-delà d'une simple translation réussie.

Cela tient, je crois, au choix des modalités de départ, et à l'idée de les avoir liées via la visualisation.

David Rokeby – Very Nervous System (1986)



Ce lien entre le son et le corps me fait penser à un travail plus ancien, de David Rokeby.

Ici, les mouvements, filmés par une camera, sont analysés pour créer de la musique. L'idée est de nous faire interagir avec la machine d'une façon absolument opposée à celle à laquelle nous sommes habitués, par des subtils mouvements de tout le corps.

La subtilité de l'interaction est justement l'une des choses qui m'ont toujours séduit dans cette œuvre : chaque mouvement semble produire un son unique, et on "reconnaît" vraiment le geste dans la musique.

C'est un détail qui me semble important pour ce genre de travaux : rendre l'interaction *riche*.

Il faut pour cela :

- Que la mesure des paramètres d'entrées (le son, la voix, le mouvement, ...) soit précise, sans quoi on perd déjà une variété qui se répercutera forcément sur le résultat final.
- Que le processus soit intelligent mais réactif, mette en valeur les informations reçues et ne néglige pas les petites variations.
- Que le résultat de sortie soit riche en variations, surprenant.

Le pire contre-exemple imaginable serait alors une installation où ne serait utilisé qu'un seul paramètre variant peu (par exemple la température ambiante), où le traitement ajouterait beaucoup d'événements supplémentaires (effets et autres), et où finalement le spectateur ne comprendrait pas très bien, dans la cacophonie finale, où est l'interaction.

Conclusion

De part ses qualités techniques, et l'époque dans laquelle il s'inscrit, l'ordinateur est au centre de tous les décroissements. Seul outil de recherche partagé à la fois par les scientifiques et les artistes, la polyvalence de son langage universel lui permet aujourd'hui de parler toutes les formes d'art.

Si l'art numérique est un lieu privilégié de la transmodalité, les œuvres du passé nous montrent qu'il y a encore beaucoup de types d'interactions à explorer. La facilité d'utilisation de logiciels de création ne doit pas endormir notre imagination et notre audace.

Ce qu'il faudrait, en somme, c'est un manifeste de l'art numérique transmodal : pour un art à la fois expérimental, qui remette en cause nos perceptions, mais aussi pratique, qui trouve des nouvelles façons de communiquer.

Bibliographie

Aristote, "Le traité de l'âme" (Traduction de Barthélemy-Saint-Hilaire). Édition numérique <http://www.clerus.org>; "traduction de la Poétique, Rhétorique, Politique, Physique et Constitution d'Athènes, et autres", <http://remacle.org/bloodwolf/philosophes/Aristote/table.htm>

Y. Bellik & D. Teil, "Les types de multimodalités". Actes IHM'92. 4èmes Journées sur l'ingénierie des interfaces Homme-Machine, Paris, 1992. Via http://www.limsi.fr/Individu/bellik/publications/ihm92_2.rtf

Bainbridge Bishop, "A Souvenir of the Color Organ". New Russia, Essex County, N. Y. , 1893. Via <http://rhythmiclight.com/archives/index.html>

Wayne E. Carlson, "An Historical Timeline of Computer Graphics and Animation", <http://accad.osu.edu/~waynec/history/timeline.html>, 2004

Carlo Carr, "The Painting of Sounds, Noises and Smells", <http://www.unknown.nu/futurism/paintsound.html>

Michel Chion, "Glossaire : Audio-vision et acoulogie", http://www.michelchion.com/v1/index.php?option=com_content&task=view&id=45&Itemid=60, 2006

Cité de la Musique, "Dossier pédagogique : *Poèmes pour Mi* - Olivier Messiaen", http://www.cite-musique.fr/francais/images/pdf/dossiers-enseignants/dp_messiaen_0511.pdf, 2005

Richard E. Cytowic, "Synesthesia: Phenomenology And Neuropsychology -A Review of Current Knowledge", PSYCHE, 2(10), 1995. Via <http://psyche.cs.monash.edu.au/v2/psyche-2-10-cytowic.html>

Anna M. Darling, "Paul Klee's Musically Ordered Model for Post WWI Germany", <http://www.cockscrow.com/text/klee.html>

Sean A. Day, "A Brief History of Synaesthesia and Music". <http://www.thereminvox.com/article/articleview/33/1/5/>

Sean A. Day, "A Brief History of Synesthesia in the Arts", <http://home.comcast.net/~sean.day/art-history.htm>, 2004

Sean A. Day, "Types of Synesthesia", <http://home.comcast.net/~sean.day/html/types.htm>, 2007

Dick Higgins, "Horizons, the Poetics and Theory of the Intermedia", 1984, Southern Illinois Univ. Press

Niels Hutchison, "Colour Music in Australia: De-mystifying De Maistre. 2: Applied Mathematics", <http://home.vicnet.net.au/~colmusic/maistre1.htm>, 2006

Annick Jaccard-Beugnet, "L'artiste et l'ordinateur". 2003, L'Harmattan

Wladimir Kandinsky, "Du Spirituel dans l'art et dans la peinture en particulier", 1912 (réed. 1988), Folio

Wladimir Kandinsky, "Report to the pan-Russian conference", 1920, (Vestnik Rabotnikov Iskusstv, Moscow, 1921) In K.C. Lindsay and P. Vergo (Eds. and Trans.), Kandinsky: Complete Writings on Art (pp. 473-474). London: Faber & Faber. Via: <http://psyche.cs.monash.edu.au/v3/psyche-3-06-vancampen.html>

Ben F. Laposky, "Oscillons: Electronic Abstractions", <http://www.atariarchives.org/artist/sec6.php>

Richard Edgar Løvstrøm, " Thomas Wilfred and his Clavilux", <http://www.gis.net/~scatt/clavilux/clavilux.html>, 2005

John Maeda, "Creative Code", 2003, Thames & Hudson

Maura McDonnell, "Visual Music", <http://homepage.tinet.ie/%7Emusima/visualmusic/visualmusic.htm>, 2002

Bertrand Méheust, "Breton, Kandinsky et la métapsychique. De l'influence cachée de la métapsychique chez deux des plus grands théoriciens de l'art contemporain...", <http://www.metapsychique.org/Breton-Kandinsky-et-la.html>, 2007

Luigi Frederico Menabrea, "Sketch of The Analytical Engine Invented by Charles Babbage", traduit et annoté par Ada Lovelace, 1842. Via <http://www.fourmilab.ch/babbage/sketch.html>

Philippe-Alain Michaud, "Aby Warburg et l'image en mouvement", 1998, Macula.

Lucien Moerman, "Kandinsky et la couleur", <http://luc168.chez-alice.fr/kandins.htm>

William Moritz, "The Dream of Color Music, and Machines That Made it Possible", Animation World Magazine, issue 2.1, April 1997, Music and Sound Design for Animation. Via <http://www.awn.com/mag/issue2.1/articles/moritz2.1.html>

Jean-Pierre Orlando, "Les fibres de Kandinsky", <http://www.splf.org/s/IMG/pdf/E-inspiration.pdf>

Arthur Rimbaud, "Voyelles", avec analyses de R. de Renéville & J. Mouquet (1963), et de P. Brunel. Via <http://membres.lycos.fr/antonzec/etudes-voyelles.html>

Alexander Wallace Rimington, "A New Art: Colour-Music". Messrs. Spottiswoode & Co., New St. Square. 1895. Via http://www.lumen.nu/rekveld/wp/?page_id=185

David Rokeby, "Installations : Very Nervous System", <http://homepage.mac.com/davidrokeby/vns.html>, 2000

Christian Rosset, "L'oeuvre d'art totale", http://www.radiofrance.fr/chaines/france-culture2/emissions_off/chemins/fiche.php?diffusion_id=14426, 2003

Jean-Paul Sansonnet, "Groupe Architectures et Modèles pour l'Interaction", <http://www.limsi.fr/RS2002FF/CHM2002FF/AMI2002FF/>

"The Tech - MIT's Oldest and Largest Newspaper", <http://www-tech.mit.edu/>

The University of Sheffield, "A 13th Century Programmable Robot", <http://www.shf.ac.uk/marcoms/evew/articles58/robot.html>, 2007.

Crétien van Campen, "Synesthesia and Artistic Experimentation", PSYCHE, 3 (6), 1997. Via <http://psyche.cs.monash.edu.au/v3/psyche-3-06-vancampen.html>

Nadine Vigouroux, "Activités de recherche. Sous-thématique Transmodalité visuelle ==> non visuelle", <http://www.irit.fr/recherches/MODEL/DIAM/Membres/vigourou/activites.html>

Jean-Marc Warszawski, "Le clavecin pour les yeux du père Castel". <http://www.musicologie.org/publire/castel.html>, 1999

Hervé Zénouda, "Images et sons dans les hypermédias : De la correspondance à la fusion". Thèse présentée et soutenue publiquement le 13 décembre 2006 à l'Université Paris 13

Wikipedia (collectif), portails généraux <http://en.wikipedia.org/> et <http://fr.wikipedia.org/>, articles cités : "Wolfgang Köhler", "Machine_d'Anticythère", "Netochka_Nezvanova", "Whirlwind_(computer)", etc.

"Lumia Light Art – Thomas Wilfried", <http://www.lumia-wilfred.org/>,