DE LA MUSIQUE MECANIQUE A LA « MECAMUSIQUE », UNE DEMARCHE BASEE SUR L'INFORMATIQUE MUSICALE DE COMMANDE

Jacques Rémus
Ipotam Mécamusique
info@mecamusique.com

RÉSUMÉ

L'histoire de la musique mécanique, depuis l'antiquité jusqu'à la deuxième guerre mondiale, procure un enseignement riche sur la volonté d'automatiser la musique, c'est-à-dire de la mémoriser et d'actionner des instruments mécaniques avec des énergies non humaines: le cylindre à picots en est un élément clé et le fonctionnement de ces systèmes, essentiellement à base d'orgues et de carillons, préfigurent celui des ordinateurs et de la robotique. La sculpture sonore ou Klangkunst [6] a développé une nouvelle dimension artistique, à la fois plastique et musicale, à partir de ces éléments. Après avoir décrit le parcours de l'auteur dans ce domaine (« Mécamusique »), il est présenté une analyse du processus de découplage entre le jeu instrumental et les actions sonores qui permet aux créateurs de développer leurs œuvres. La maîtrise des ordres, (écriture et enregistrement), des flux d'énergies (transmissions et actionneurs) et la conception de la lutherie et de la musique a pour centre l'informatique musicale de commande qui permet de jouer avec les spécificités de l'écriture musicale pour la robotique comme les décalages temporels (offsets) dus à la mécanique. Des exemples d'éléments pour structurer les logiciels de commandes sont indiqués.

1. INTRODUCTION

« Für Augen und Ohhren » [2] à l'Académie des Beaux-Arts à Berlin, fut une exposition (venue ensuite à Paris : « Ecouter par les yeux » en 1980 [23] qui mit en avant le « Klangkunst »[6] Ce mot se traduit mal par sculpture sonore ou arts plastiques du son, c'est-à-dire une pratique artistique mêlant la sculpture cinétique et la musique, une pratique ou un minimum de technologie est nécessaire : le Klangkunst s'inspire de la musique mécanique traditionnelle et de la robotique mais c'est avant tout une nouvelle forme d'art hybride, à la fois visuel et musical [14].

2. LE DESIR D'AUTOMATISER LA PRODUCTION DE LA MUSIQUE : RAPPELS HISTORIQUES

La création d'instruments de musique capables de jouer automatiquement est un vieux mythe de l'humanité : les orgues éoliens qui nous sont parvenus par exemple des traditions des habitants de l'Ile de Guadalcanal[1] sont basés sur l'énergie et l'aléatoire du vent. Leur lutherie permet de faire ressortir des sons de flutes réalisées avec des bambous dans lesquels des trous ou lèvres sont taillés. Ils fonctionnent « automatiquement », mais le fil de la partition reste incontrôlé.

2.1. L'Antiquité

L'antiquité gréco-romaine nous révèle une volonté de créer des machines automatiques pour produire de la musique instrumentale. L'eau est la source d'énergie, les notions d'horloge, d'orgues et de régulateurs hydrauliques sont décrites[2] mais les hydraules semblables à celui qu'aurait inventé Ctésibios à Alexandrie ne sont sans doute pas des automates, il n'y a pas trace de système qui mémorise le déroulement temporel d'une partition. Néanmoins, d'après les écrits [3] il est fort probable que des mécanismes de programmation ont existé.

2.2. Du Moyen-Age à la Renaissance

C'est au 9ième siècle, à Bagdad que l'on trouve trace de la description d'un véritable automate musical[4]. L'énergie vient d'une chute d'eau avec une roue à aube. Celle-ci entraine la production d'air comprimée (vent) par des soufflets et la rotation d'un cylindre garni de

[1] collectage de Hugo Zemp :Orgue éolien, ghau kilori) Iles Salomon, Musique de Guadalcanal, Ocora France, C 580049.

[2] retrouvés par exemple en 1931 à Aquinum (Hongrie) et daté de l'an 228 AC ou en 1993 à Dion en Macédoine et daté du premier siècle BC.

[3] Philon de Byzance (300 av.JC), Apollonius (200 ans av.JC), Heron d'Alexandrie (1 siècle ap.JC) qui a écrit Pneumatica" sur des fontaines et des automates musicaux..

[4] ``Al alt allati tuzamiru binafsiha`` (l`instrument qui souffle de lui-même).

picots qui marquent les notes de la partition (comme dans les boîtes à musiques actuelles), la musique est jouée par une flûte et des tiges déclenchées par les picots actionnent l'ouverture des trous des notes de la flûte. Tous les éléments d'une machine musicale sont assemblés : énergie, ordres mémorisés et actionneurs pour aboutir au son instrumental et à la musique automatique. Ces développements ont été liés à ceux des horloges et à des réalisations d'oiseaux chanteurs. On attribue à Ibn Ismail Ibn al-Razzaz Al-Jazari la création de remarquables de robots humanoïdes musiciens en 1206. Mais ces inventions n'ont pas laissé de traces.

Sans entrer dans les détails historiques qui ont marqués des échanges entre le monde arabe, Byzance avec ses orgues et serinettes, la Chine avec ses carillons à programme et les royaumes occidentaux, il faut remarquer que plusieurs développements concourent à la création de machines musicales de plus en plus perfectionnées. En effet l'orgue avec son clavier et ses commandes mécaniques va devenir un instrument qui découple le jeu instrumental de l'instrument, tandis qu'au 14ième siècle les carillons des églises et beffrois non seulement utilisent le même genre de mécanisme, avec des marteaux, mais utilisent une programmation par cylindres pointés qui permet de jouer de véritables partitions de manière automatique et programmée. De même les « Jacquemarts »[5] allient l'art du carillon relié au marquage des heures de l'horloge avec la notion de personnages animés, sculptures cinétiques dont le mouvement provoque le son. L'énergie vient de contrepoids et les cylindres, ancêtres de nos séquenceurs, se perfectionnent. Ils ont des picots (c'est-à-dire des ordres de notes mémorisées car piquées sur le cylindre) interchangeables qui plus tard porteront, par décalage face aux commandes d'actionneurs, plusieurs partitions (comme les pistes d'un séquenceur qui auraient plusieurs musiques en parallèle, mais n'en jouerait qu'une à la fois). Bien sûr la longueur de chaque partition est limitée au tour du cylindre. Léonard de Vinci dessine en 1493 [5] et [22] des machines à percussion tractées par homme ou par animal qui, en avançant, font tourner des axes à programme (Figure 1) qui animent les baguettes.

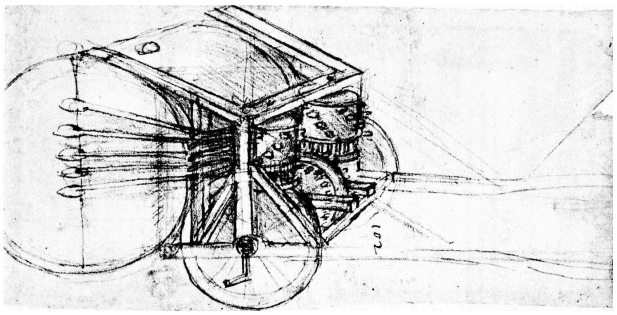

Figure 1. Léonard de Vinci: tambour à 10 baguettes et double axe à programme, tracté (CA_306_va)

[5] personnage sculpté en bois ou en métal, qui indique les heures en frappant une cloche avec un marteau. L'un des plus anciens en France est celui de Dijon.(1383)

2.3. Du 16ième siècle jusqu'à l'ère industrielle

Il faut noter les recherches, écrits et dessins de Salomon de Caus [4] , de Robert Fludd [8], de Marin Mersenne [12], d'Athanasius Kircher [10] au 17ième siècle, et de Dom Bedos [1] et de Joseph Engramelle [7] au 18ième siècle qui décrivent ou imaginent des machineries musicales extraordinaires, et la manière de les programmer. Elles sont en général destinées à des jardins d'agrément. L'énergie y est surtout hydraulique et le cylindre à picots omniprésent [9] et [17].

Salomon de Caus décrit et dessine des machines avec de très gros cylindres à programme (Figure 2).

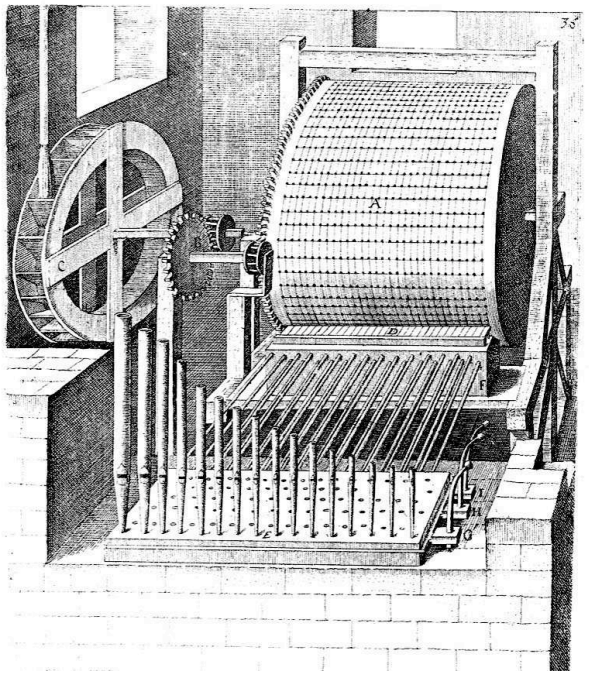

Figure 2. Orgue automatique dessiné par Salomon de Caus, l'énergie qui fait avancer la partition est hydraulique.

Kircher décrit des carillons tel qu'ils fonctionent encore dans les beffrois du Nord de la France et en Belgique (Figure 3). Il décrit aussi, avec des dessins qui ont illustré depuis bon nombre de livres ou d'affiches de Festivals des systèmes complexes destinés à faire fonctionner des grottes "magiques" avec orgues automatiques et oiseaux chanteurs. Les jardins de Tivoli en Italie gardent trace de telles installations.

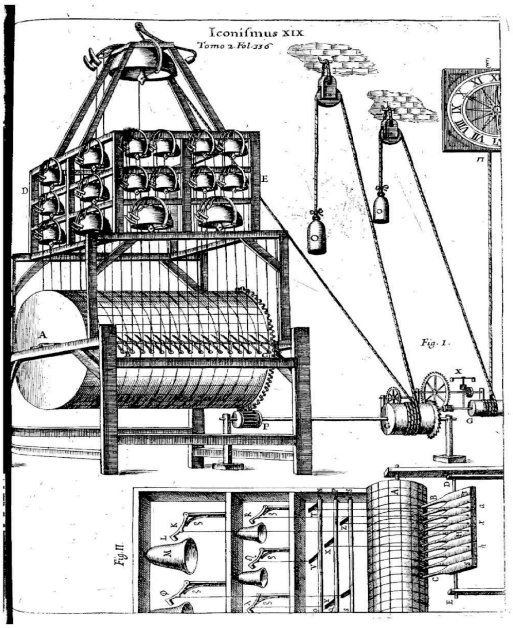

Figure 3. Carillon automatique dessiné par A. Kircher

Au 18ième siècle, la course à la précision des horloges pour la navigation, en Angleterre, en Hollande, en France vont de pair avec le développement d'automates de plus en plus perfectionnés : apparaissent de nombreuses horloges qui comportent des mouvements avec flûtes ou carillons, des orgues à cylindre miniatures destinés à entraîner des oiseaux chanteurs (Serinettes), des orgues à cylindre plus importants pour les salons et les églises, des automates musiciens très précis que réalisent des artisans comme Bidermann (1540-1624), Vaucanson (1709-1772), ou Pierre Jacquet-Droz (1721-1780). Des compositeurs comme G. F. Händel, Joseph Haydn, W.A. Mozart puis L. von Beethoven ont écrit pour ces instruments. A la même époque se créent aussi des boîtes à musique à lames vibrantes, dont le mouvement peut se loger dans de tous petits objets [3].

Mais c'est au 19ième siècle que deux phénomènes vont transformer la musique mécanique [21]:

- le remplacement des cylindres à picots ou à taquets par l'utilisation de lecteurs de cartons et rouleaux perforés, issus de l'industrie textile[6] : ils donnent la possibilité d'une partition sans limite de temps.
- et les utilisations d'énergies industrielles comme la vapeur (sur les orgues Calliope par exemple), l'air comprimé (qui permet la musique interfacée sur les orgues romantiques avec les machines Barker) et enfin l'électricité.

2.4. Du 19ième au 21ième siècle, apogée puis déclin de la musique mécanique, naissance de l'informatique musicale et de la musique robotisée

L'apogée de la musique mécanique, à la fin du 19ième siècle, jusqu'aux années 30 du 20ième siècle se termine avec l'apparition de l'enregistrement audio sur cylindre puis sur disque, du haut-parleur et de l'amplification électrique.

La musique mécanique, parfois un peu rugueuse, sans nuance d'intensité ou de rythme (sauf pour le Pianola) et dont on a oublié l'importance et le succès a permis l'accès facile à la musique à un large public dans les salles de danse, les cafés, les fêtes foraines, la rue et dans les salons bourgeois. Elle a initié la consommation de masse de la musique tout en retirant du travail aux musiciens. Le phonographe et la radio l'ont remplacé. Les orchestrions, Pianola, Accordéo-Jazz, Phonolist-Violina, Mills-Violano, Magic-Organa, Wurlister, orgues de foires géants vont s'éteindre comme les dinosaures !

Seuls quelques compositeurs comme Igor Stravinsky, Alfredo Casella, Paul Hindemith ou Colon Nancarrow utiliseront les ressources de ces machines qui ont massivement disparues avec la deuxième guerre mondiale. Mais les principes de l'informatique musicale de commande sont là : ordres avec mémoires, énergie et action sur de la lutherie, temps réel ou lecture de données enregistrées. Ce sont aussi les concepts de base des ordinateurs et de la robotique.

2.5. Naissance d'une nouvelle pratique artistique : la sculpture sonore

Influencés par les mouvements artistiques comme le futurisme de Luigi Russolo [18] et les débris de la musique mécanique, naissent à partir du milieu du 20ième siècle des créations d'artistes qui cherchent à faire voir et faire entendre des phénomènes sonores générés à distance, automatiquement ou préenregistrés. La musique est générée par des actionneurs qui se réfèrent parfois à la lutherie traditionnelle, sur les bases des cordes, vents et percussions diverses [20] et parfois à des détournement d'objets industriels devenant tous des « corps sonores » au sens de Pierre Schaeffer [19].

Le propos se situe entre la musique, art du temps et les arts plastiques (cinétiques), art de l'espace et parfois du spectacle, art de la scène (Figure 4).

[6]Les métiers inventés par Joseph-Marie Jacquard à Lyon en 1801.

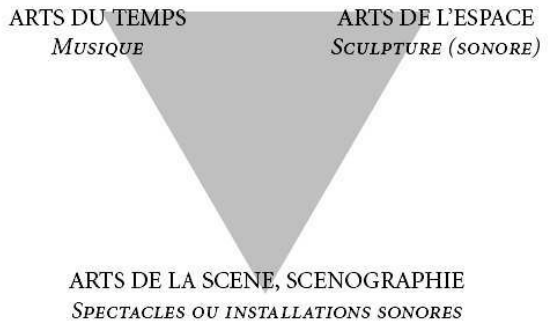

Figure 4. Triangle symbolique dans lequel se situent les réalisations du domaine du « Klangkunst » ou sculpture sonore [14]

Les démarches dans ces domaines sont aussi nombreuses que les créateurs, mais elles ont pour point commun de privilégier le mouvement qui produit le son avec ses caractéristiques acoustiques et spatiales. On peut citer pêle-mêle des auteurs comme Harry Bertoia, Nam June Paik, Harry Partch, Jean Tinguely, Takis, Frédéric Lejunter, les frères Baschet, Rebecca Horn, Pierre Bastien, Michel Moglia et beaucoup d'autres.

Très vite la programmation avec l'électromécanique, la mise en mémoire d'ordre sur bandes optiques ou bandes magnétiques devient l'outil nécessaire pour piloter ces créations.

Lorsque le Midi, langage de communications d'informations (ordres) dont la structure a été pensée musicalement, apparaît au début des années 80 avec la généralisation de l'ordinateur individuel, c'est une révolution pour le monde de la musique, la scène et les studios.

Il paraît incroyable que ce langage, dont on connaît pourtant les défauts et dont l'environnement de transmission a considérablement évolué, soit inchangé depuis 30 ans, alors que tous les langages informatiques et les protocoles de transmissions se transforment, apparaissent, disparaissent.

Fait d'ordres et non de sons il est l'essence des partitions informatiques et des transmissions en particulier entre synthétiseurs, samplers et ordinateurs.

C'est bien sûr le protocole que les auteurs de sculptures sonores et d'installations de musique robotisées vont majoritairement adopter.

Parmi les nombreux auteurs qui se sont lancés dans cette direction en utilisant l'informatique musicale de commande et le Midi, il faut citer des artistes comme Trimpin (USA), Gordon Monaham (Canada et Allemagne), Chritoph Schläger (Allemagne et Pays-Bas), Nobumichi Tosa (*Maywa Danki*, Japon), Martin Riches (Grande Bretagne et Allemagne), Gotfried Willem Raes (*Logos*, Belgique), Eric Singer (USA), Peter Bosh et Simone Simons (Pays-Bas, Espagne), Chico MacMurtrie (USA), Rogers Troy (USA), etc. [6].

3. PARCOURS PERSONNEL AVEC LA COMPAGNIE « IPOTAM MECAMUSIQUE », DIFFUSEUR DES CREATIONS DE SCULPTURES SONORES ET MACHINES MUSICALES

J'ai été formé, lors de premières études, à l'informatique des grosses machines utilisant des systèmes d'acquisition à cartes perforées (IBM 80 colonnes) et demandant de grandes pièces climatisées pour faire péniblement beaucoup moins que ce que fait allégrement un smartphone.

Puis j'aI gouté à la lourdeur de la programmation de Music V à l'école de Pierre Schaeffer (Groupe de Recherche Musicale)

Cependant, j'étais attiré par l'informatique et je voulais lui faire jouer au moins le rôle des cylindres à picots de la musique mécanique, car j'étais désireux de composer avec des sons physiquement présents et toujours disponibles (au contraire des instrumentistes !). J'avais rencontré la musique libérée du geste humain de Colon Nancarow mais je n'en étais qu'à mes premiers essais de machines télécommandées avec des programmateurs électromécaniques ou simplement mécaniques (disques à picots et chaînes à « événements »).

Cependant l'apparition de petits ordinateurs d'expérimentation comme le ZX81 de Sinclair, a permis, avec un programme en langage Basic, d'automatiser partiellement le spectacle Bombyx dés 1982-83 [16].

L'apparition du langage Midi changea les perspectives et après quelques créations audio avec un ordinateur Yamaha équipé en Midi, de norme MSX, j'ai enfin pu travailler la musique sur ordinateur, et donc la robotique grâce à des démultiplexeurs et des cartes de puissance spécialement conçus.

L'interface Roland MPU 401 a été la première interface utilisée, avec un séquenceur canadien «T.N.S.» et un clône taïwanais d'ordinateur IBM PC en 1986 : le spectacle du Double Quatuor à Cordes est ainsi né au Canada. en 1987, puis Concertomatique N°1 en 1990.

L'étape suivante fut l'initiation à Max à l'Ircam avec Miller Puckette. La première version (1992) de la Camera Musicale [13] fut expérimentée grâce à un algorithme Max pilotant les données de l'interface Manorine développée par Sylvain Aubin (1982).

La création de Concertomatique N°2 donna lieu au développement des embryons des outils actuels dont les caractéristiques sont :

- 1) la commande directe et contrôle de tout actionneur en Midi, DMX ou RS 232 (ou 422), parfois via OSC ;
- 2) l'assemblage de sous-programmes permettant un jeu direct sur l'ensemble des données robotiques en jouant simplement d'un clavier Midi, avec toutes les possibilités de nuances que permet la robotique qui lui répond ;

- 3) la commande par interfaces non classiques : capteurs divers, caméras, microphones (par pitch-riders), etc.;
- 4) la possibilité de pré-programmations permettant de multiplier les possibilités musicales à partir de gestes simples ;
- 5) l'enregistrement, l'arrangement et la composition sur un séquenceur Midi performant.

Les interfaces destinées au jeune public comme les joystick, les « Wii », se sont rajoutées pour les commandes des ordres.

Les installations sonores ou spectacles comme le Carillon des Zic-Phones, les Grilles, la Sonnette, Léon et le Chant des Mains, le Carillon N°3, l'Ensemble des Machines Musicales, l'Orgabulles, Les Thermophones à Bascules, les Bascules à Percussions, les Thermophones 2 sont toutes régies sur ces principes.

4. ANALYSE DU PROCESSUS DE DECOUPLAGE ENTRE JEU INSTRUMENTAL ET ACTION SONORE : ORDRES , ENERGIE, ACTION, LES OUTILS A LA DISPOSITION DES CREATEURS

L'évolution de la technique de l'orgue est un exemple facile pour comprendre le phénomène de découplage : les premiers hydraules avaient des ouvertures de tuyaux directes avec des sortes de tirettes. L'ouverture de l'arrivée de l'air (vent) dans un tuyau pouvait donc être progressive et l'organiste devait pouvoir nuancer l'attaque et même l'intensité des notes. Les premières touches de clavier, larges et ouvrant de simples clapets devaient permettre les mêmes nuances. Le jeu du musicien était couplé à l'instrument, seul le souffle du vent était extérieur à lui.

L'orgue baroque introduit des transmissions directes mais parfois éloignées vers l'ouverture des passages de vent dans les tuyaux. Même si l'organiste peut nuancer légèrement l'attaque des notes, nous sommes en présence d'une machine télécommandée en « tout ou rien ».

L'orgue romantique introduit l'amplification des ordres du clavier par l'intermédiaire d'une machine pneumatique (inventée par Charles Spackman Barker en 1837). Le découplage est alors complet et les systèmes électro-pneumatiques puis électriques des orgues modernes n'ont rien changé à cette caractéristique. Ce découplage a donc, de plus, fait perdre toute possibilité expressive, mais c'est un phénomène indépendant. L'orgue liturgique contemporain peut être joué avec une console distante (claviers et pédalier) et peut même jouer tout seul, piloté avec un ordinateur.

4.1. Ordres, énergie, lutherie écriture et enregistrement

4.1.1. Ordres, écriture et enregistrement.

Les supports d'écriture ont été historiquement des axes à ergots (automates mécaniques éoliens en Asie du sud-est), puis des cylindres, des disques, des cartons perforés, des rouleaux de papier perforés et maintenant des logiciels séquenceurs. L'écriture y est strictement proportionnelle au temps (Figure 5).

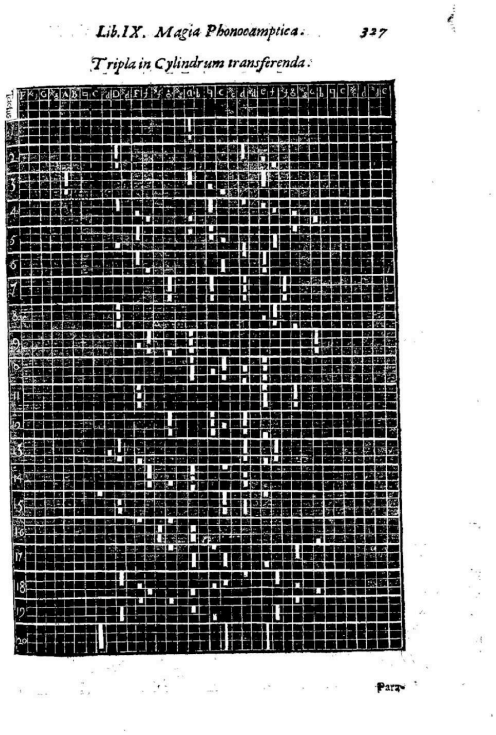

Figure 5. Déroulé de la partition d'un cylindre pour orgue montrant la position et la durée des notes (Athanasius Kircher, [10]).

Un petit ouvrage intitulé la « tonotechnie » a été écrit par Joseph Engramelle en 1775 [7] pour proposer la maÎtrise et les astuces de cette notation (Figure 6).

Figure 6. Indications pour la notation des cylindres ou tonotechnie. Joseph Engramelle [7].

La notation respectant les nuances rythmiques du jeu humain ne sont pas faciles et les partitions de musique mécanique sont souvent marquées par une grande raideur. Les Pianola ont cependant pu être munis d'enregistreur sur papier qui ont conservé non seulement l'enregistrement rythmique mais des jeux de pédales de pianistes célèbres au début du 20ième siècle. Le même problème se pose avec un séquenceur (Figure 7) et les « noteurs » qui perforent les cartons des orgues de Barbarie font rarement autre chose que de recopier une partition note à note, comme on peut le faire sur un séquenceur. La souplesse rythmique de musiques de jazz a cependant pu être maitrisée par des noteurs comme Pierre Charial, mais la plupart travaillent maintenant avec des perforatrices pilotées en Midi !

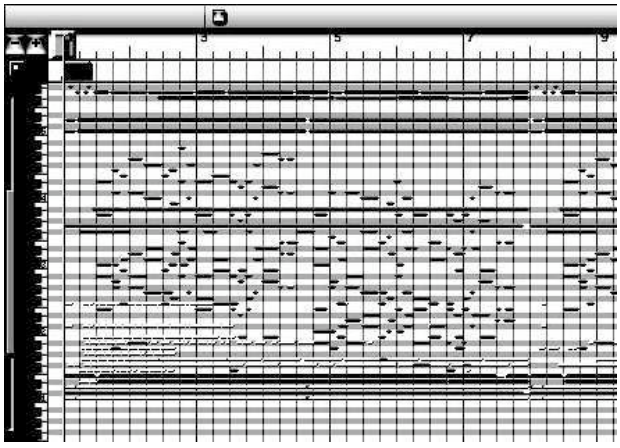

Figure 7. Notation en « rouleau de piano » (pianoroll) sur séquenceur d'une pièce pour Concertomatique N°2 : ici sont superposées les ordres de notes musicales et les ordres de moteurs, de pression, de lumières, etc..

4.1.2. Energies, transmissions et actionneurs.

La transformation à vue des énergies de tout ordre en son est un élément capital de la lutherie mécanisée ou robotisée: les sources sont actuellement plus facilement électriques (réseau, accumulateurs ou capteurs solaires), mais il peut toujours y avoir mis en oeuvre de nombreux types d'énergie directe ou intermédiaire qui sont parfois spectaculaires et font partie de l'oeuvre: la chute ou la pression de l'eau, le mouvement des soufflets, l'air comprimé pour le vent de l'orgue, le poids du mécanisme horloger, l'air en pression négative des pianos et orchestrions mécaniques (boîtes à touches, flûte de pan et transmissions), la chaleur du feu ou des capteurs solaires, la vapeur des calliopes (orgues à vapeur), l'air comprimé des orgues à Klaxon, l'air à très haute pression [15], etc.

La transmission de ces énergies en mouvement par des mécanismes en bois, en métal, par des tuyaux de fluide sous pression ou par des engrenages peut faire partie de l'œuvre, mais elle est souvent remplacée par des connexions électriques en parallèle ou en données mises en série par langage informatique ; la connectique et les interfaces font alors directement partie du système géré par l'informatique. Le démultiplexeur est alors le passage obligé entre la commande et l'action.

Les actionneurs ne peuvent fonctionner que si les ordres ont été amplifiés par l'énergie apportée : le vent des machines Barker et maintenant l'électricité dans les cartes de puissance. Les actionneurs peuvent alors être « tout ce qui bouge » : électro-aimants, électrovannes, moteurs, motoréducteurs, moteurs pas à pas, pompes, vérins, résistances et tout ce que l'industrie développe pour ses chaînes de montage, ses robots aussi bien que ce qui sert dans les véhicules ou les avions!

4.1.3. Lutherie et musique.

La lutherie ou facture instrumentale reste, avec l'écriture musicale et son support informatique, l'élément le plus important de ces systèmes. C'est dans ces deux domaines que l'imagination et la création sont rois. Au sens musicologique [20] les aérophones, les cordophones, les membraphones et les idiophones forment les quatre grandes familles de l'acoustique musicale des œuvres. Les développements industriels ou leurs propres recherches ont apporté aux artistes des nouveaux champs d'investigation, mais, même par exemple avec les sons itératifs devenant des fréquences sonores ou la thermo-acoustique, il est possible de ramener les vibrations acoustiques de ces instruments aux notions de colonnes d'air, de plaques, de membranes, de cordes ou de masses vibrantes[11].

Il faut noter que les cordes demandent des systèmes d'amplifications ou de résonnances importants et qu'en général l'obtention de sons puissants dans les graves demande beaucoup d'énergie et... d'imagination.

La musique peut s'écrire en amont mais les particularités de ces systèmes font que son arrangement in situ est souvent générateur de modifications qui

deviennent écriture à part entière tellement le contexte peut-être singulier ou plein d'artefacts.

4.2. Outils pour créateurs : importance de l'informatique musicale de commande

4.2.1. Points forts et points faibles.

La musique mécanique traditionnelle est synonyme de musique raide, métronomique, souvent à timbre grinçant et éloignée du jeu et de l'interprétation humaine.

L'utilisation de l'informatique de commande et d'actionneurs développés par l'industrie permet de palier à ces inconvénients, en introduisant trois changements fondamentaux:

1) la souplesse rythmique (enregistrements Midi et modifications sur séquenceurs) ;

2) la nuance et la sensibilité (vélocité des notes et actionneurs à variations) ;

3) l'équilibre des basses avec les actionneurs et la lutherie robotisée bien adaptés à cette préoccupation.

Ce sont cependant des notions coûteuses en temps et en argent et certaines démarches en font l'économie car la primauté peut-être donné à l'art cinétique, au mouvement des mécanismes et actionneurs et à l'aspect scénographique et plastique de l'œuvre.

Mais il reste que ces installations ont plusieurs points forts qui les caractérisent:

1) Le son est réel, avec tous ses constituants en particulier les transitoires d'attaque et ses aspérités qui lui donnent une présence et une qualité que ne peuvent égaler les systèmes de haut-parleurs les plus perfectionnés ;

2) la spatialisation est réelle: la caractéristique de la musique robotisée a ceci de commun avec la musique instrumentale, c'est que, en écoute non amplifiée, la spatialisation est « parfaite » , mais bien sûr pour des auditoires limités. C'est aussi pourquoi les installations de sculptures sonores et de musique robotisée, au contraire de la musique mécanique traditionnelle, ont tendance à privilégier l'occupation de l'espace et de proposer une immersion dans le son dont les sources multiples peuvent être par exemple des notes dispersées ;

3) la possibilité de commandes par interfaces multiples : les ordres peuvent provenir de musiciens jouant directement ou de variations aléatoires ou contrôlées données par des capteurs ;

4) la possibilité de jouer des musique affranchies des limites du geste humain et donc d'explorer des univers sonores et des créations musicales inouïes.

4.2.2. Spécificités de l'écriture musicale pour robotique : les offsets.

Le travail d'enregistrement, d'écriture ou d'arrangement nécessite la présence de tout le système : en effet il peut y avoir une grosse différence entre la simulation sur sons synthétiques et le rendu réel sur machines. Et de toute façon, il y a de nombreux ordres robotiques qu'il faut ajouter pour faire fonctionner l'ensemble.

Par ailleurs, le décalage temporel dû à l'inertie des systèmes mécaniques, pneumatiques, etc. est une chose qu'il faut absolument connaître et maîtriser.

Par exemple, un vérin pneumatique actionnant des percussions va avoir une inertie temporelle de plusieurs dizaines de millisecondes par rapport à l'ouverture d'un clapet de flûte qui sera comparativement instantanée. Si de plus le vérin pneumatique est à pression variable, un son faible aura une inertie, donc un « retard », beaucoup plus grande (centaines de millisecondes) qu'un son fort. Les moteurs ou électroaimants de percussions à tension variable auront les mêmes caractéristiques.

Donc, à tous les actionneurs seront affectés des offsets qui, s'ils sont variables, pourront être calculés et de toute façon réglés à l'oreille et corrigés directement sur le séquenceur.

Pour enregistrer, il faut disposer d'un développement sur un logiciel de type Max et d'un séquenceur permettant de bien travailler avec le Midi. Une installation commode et sûre pour créer les pièces musicales est indiquée sur la figure [9]. Elle demande deux ordinateurs, mais elle offre une plus grande souplesse et une sécurité qu'avec un seul ordinateur qui fait tourner séquenceur et Max en même temps car il se trouve que des datas parfois disparaissent dans les connexions internes de soft à soft et ici on a l'assurance d'être dans la bonne configuration pour jouer.

L'écriture pour les Thermophones par exemple est un vrai poème : leur inertie est de l'ordre de plusieurs dizaines de secondes et elle varie selon la température de l'air dans les tuyaux, donc en fonction du nombre de fois ou ils sont joués et en fonction du temps entre l'arrêt de la précédente note et le démarrage prévu de la suivante sur le même tuyau.

4.2.3. Nature des enregistrements.

Il faut remarquer que deux types d'enregistrements sont possibles :

-le premier est celui qui garde les actions jouées par exemple sur un clavier ;

-le second garde ce qui part vers les machines.

Pour être rejoué, le premier, plus léger, nécessitera tous les algorithmes (ou sous-patches) (Figure 8) qui permettent aux actionneurs d'être pilotés, le second, beaucoup plus riches en datas, pourra être utilisé avec n'importe quel lecteur de midifile directement sur les machines (Figure 9).

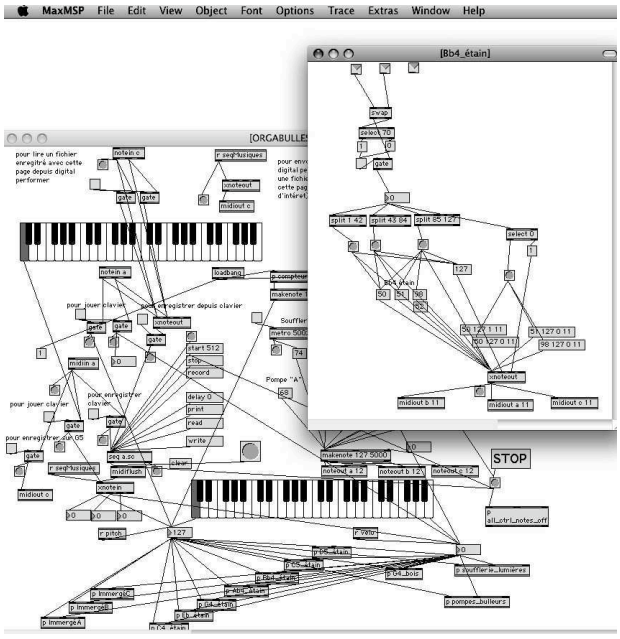

Figure 8. Exemple de cœur de transformation des ordres du clavier en ordres robotiques par algorithmes adaptés (sous-patches)

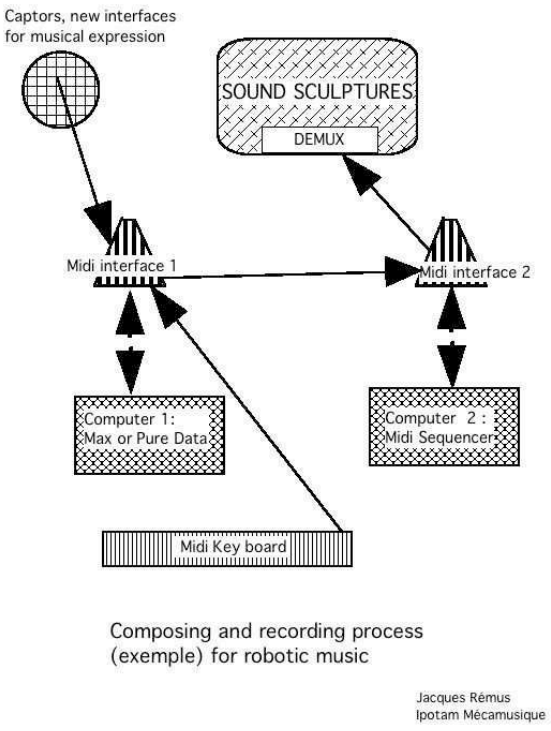

Figure 9. Exemple de mode d'enregistrement permettant de garder les données des ordres en amont ou en aval du traitement pour actionner la robotique.

4.2.4. Structure des logiciels.

Une fois les enregistrements et arrangements faits, un logiciel d'exécution est bâti dans un programme comme Max ou Pure Data. Il peut être composé d'une dizaine de modules indépendants qui se retrouvent sur tous les types d'installation et qui permet en particulier de coupler et de synchroniser des installations de musique robotique indépendantes (Figure 10):

- d'un répertoire donnant accès aux midi-files enregistrées ;
- d'un lecteur en général unique (seq ou detonate par exemple sur Max), ;
- d'un sélectionneur de midifile automatique, jouant les fichiers les uns après les autres, ou au hasard ;
- d'un accès pour le public lui permettant de choisir une musique par l'intermédiaire d'une interface physique ;
- d'un autre accès pour le public qui permet de jouer en direct des sculptures sonores via une interface (clavier, Camera Musicale, etc.) ;
- d'une section maintenance qui permet d'accéder à chaque fonction robotique avec des sous-patches de fonctionnements partiels synchronisés, d'une section de commandes pour les interfaces temps réel (clavier, caméra Musicale, etc…) ;
- d'une section horloge qui permet de déclencher le système à des moments précis ou de faire jouer plus fort certaines pièces à certaines heures ;
- d'une section salle ou spectacle qui permet d'agir par exemples sur les lumières qui ne sont pas automatisées, etc. (Figure 11) ;
- d'un enregistrement horo-datés des noms des pièces jouées pour les déclarations de droits d'auteur…

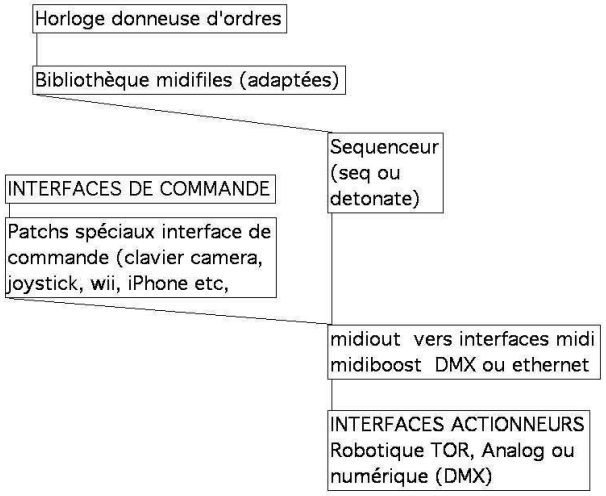

Figure 10. Schéma simplifié de la structure d'un logiciel de commande de sculptures sonores.

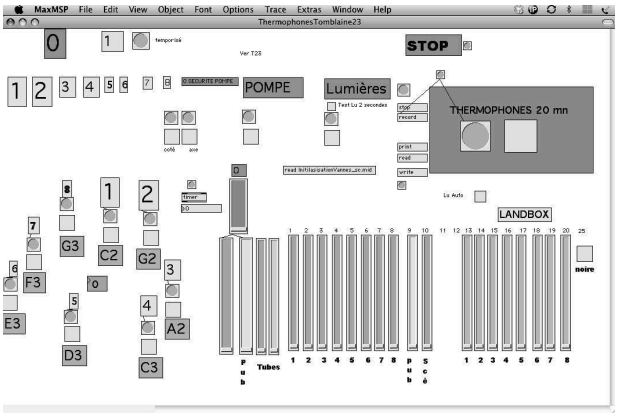

Figure 11. Exemple d'un développement simple permettant de tester tous les éléments d'une installation, de lancer un spectacle automatique et de gérer la salle indépendamment (régie lumière).

5. CONCLUSION

La démarche que les allemands ont nommé le "Klangkunst" [6] est une voie artistique qui de par sa nature mêle les arts du temps et les arts de l'espace. C'est un art impur au sens où l'a décrié Goethe.

Elle est très éloignée, dans l'esprit, de la musique mécanique traditionnelle, mais elle partage avec elle la volonté de faire vivre la musique jouée « magiquement » et la nécessité d'utiliser, pour fonctionner, les technologies de pointe de son époque. L'informatique musicale de commande pilotant l'électronique et les actionneurs de la robotique en sont les caractéristiques actuels.

Des matériaux nouveaux, des nouvelles possibilités logicielles et électroniques, des actionneurs nouveaux se développent sans cesse et les artistes se feront un plaisir de les détourner pour leurs créations.

Artistes et chercheurs ont maintenant des champs de travail qui s'ouvrent sur des développements comme l'interactivité avec intelligence artificielle pour des jeux entre machines et musiciens, sur la création d'installations à radio-commande très éclatées dans l'espace pour envahir des lieux insolites ou des lieux publics, l'utilisation d'énergies autonomes venant par exemple de capteurs solaires, etc. L'informatique musicale de commande en sera bien sûr l'outil clé.

6. REFERENCES

[1] Bedos de Celles , (Dom) F., *L'art du facteur d'orgues*. Paris 1766-78

[2] Block R., Dombois L., Hertling N., Volkman B., *Für Augen und Ohren*, Akademie der Künste, Berlin 1980.

[3] Bowers Q. D., *Encyclopedia of automatic musical instruments: Cylinder music boxes, disc music boxes, piano players and player pianos... Incl. a dictionary of automatic musical instrument terms*. Vestal, N. Y., The Vestal Press, 1988.

[4] De Caus S., *Les Raisons des forces mouvantes, avec diverses machines tant utiles que plaisantes*, Jan Norton, Francfort, 1615; Paris, Jérôme Drouart, 1624.

[5] Da Vinci, L., *in Codices Madrid – Traztato di estatica y mechanica*, Italiano, 1493.

[6] De La Motte-Haber H., *Klangkunst,Tönende Objekte und klingende Räume*,Laaber-Verlag, 1999.

[7] Engramelle M. D. J., *La tonotechnie ou l'art de noter les cylindres et tout ce qui est susceptible de notage dans les instrumens de concerts méchaniques*, Paris 1775.

[8] Fludd R. (Robertus de Fluctibus), *Utriusque cosmi majoris et minoris historia*, Oppenheim 1617

[9] Haspels Jan Jacob Leonard, *Instruments their mechanics and their music* 1580-1820, Utrecht,1987.

[10] Kircher A., *Musurgia universalis, sive ars magna consoni et dissoni* , Rome, 1650.

[11] Leipp É., *Acoustique et musique*, Masson, Paris,1984.

[12] Marsenne M., *L'Harmonie universelle*, Paris, 1636

[13] Rémus J., "Non haptic control of music by video analysis of hand movements : 14 years of experience with the «Caméra Musicale»", Proceedings of the 2006 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME06), Paris, France, 2006.

[14] Rémus J., *La sculpture sonore, pratique artistique en recherche de définition*, In Musiques Arts Technologies, pour une approche critique, Music arts technologies, toward a critical approach", (Barbanti R., Lynch E, Pardo, C., Solomos, M), L'Harmattan, Paris, France, 2004.

[15] Rémus J., "The music of ringed pipes", Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics, Paris, France, 1995.

[16] Rémus J., "Mécamusique" , PUCK n°6 ,Musiques en Mouvement, edited by Institut International de la Marionnette, 1993.

[17] Rouillé P., Musée d'instruments de musique mécanique, Gamm, Paris,1987.

[18] Russolo L., *L'arte dei rumori*, 1916, réed/trad., Lausanne, L'age d'homme, 1975.

[19] Schaeffer P., *Traité des objets musicaux*, Paris, Ed du Seuil, 1966

[20] Schaeffner A., *Origine des instruments de musique, Introduction ethnologique à l'histoire de la musique instrumentale*, Mouton & Co et la Maison des Sciences de l'Homme, 1968.

[21] Stanley S. (Ed.): *Musical Box*. *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, MacMillan. 1980.

[22] Winternitz, E., *Leonardo da Vinci as a musician*, Yale University Press, 1982.

[23] Catalogue d'exposition, *Ecouter par les yeux, Objets et environnements sonores*, ARC Musée d'Art Moderne de la Ville de Paris,Paris,1980