

Retour au réel: le sens du feedback

rétroaction – interaction – énaction

Claude Cadoz
ACROE et laboratoire ICA
<http://www-acroe.imag.fr>
INPG – UJF – Ministère de la culture et de la communication
46, Av. Félix Viallet
38000 Grenoble
Claude.Cadoz@imag.fr

1 Introduction

Feedback – rétroaction, interaction

Le concept de *feedback*, ou, en français « rétroaction », vient de la cybernétique, science du contrôle des systèmes, fondée en 1948 par le mathématicien américain Norbert Wiener [1]. Mais deux notions voisinent, celle de « rétroaction » et celle « d'interaction ». Elles peuvent dans certaines conditions se recouvrir. Il convient toutefois de les distinguer : la notion de rétroaction sous-entend une dissymétrie, un système orienté, avec une « entrée » et une « sortie », puis une « réinjection », additionnée à l'entrée avec un certain coefficient, de ce qui est produit en sortie (figure 1), tandis que l'interaction considère deux dispositifs s'influençant réciproquement l'un l'autre, sans que l'on puisse considérer que l'un est agissant l'autre subissant.

Un exemple typique est l'interaction mécanique entre deux objets physiques, décrite par le principe d'action-réaction newtonien (fig. 2). L'automatique, partie de la cybernétique, traite tout particulièrement de la rétroaction, dont la théorie est parfaitement bien établie, avec les notions de rétroaction négative, au cœur du principe de régulation, de rétroaction positive, d'auto-régulation, d'auto-oscillation, de stabilité-instabilité des systèmes, etc. Ce sont ces phénomènes et principes qu'il faut en premier lieu placer derrière cette notion de *feedback*.

La notion d'interaction est, quant à elle, plus particulièrement « systémique ». Dans l'approche sys-

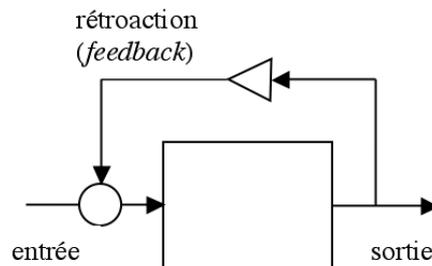


FIG. 1 – Boucle de rétroaction

témique du monde (voir par exemple [2], [3], [4], [5]), qu'il s'agisse des systèmes naturels, vivants ou non-vivants ou des systèmes construits par l'homme, d'un écosystème, d'une cellule, un organisme, un cerveau, d'une société, une machine, un réseau d'ordinateurs, etc. tout est considéré comme systèmes imbriqués et en relation-interaction. Tout système est un système de systèmes et les relations sont des échanges de matière, d'énergie ou d'information. Ce qui est alors important ici est la notion, chère à la systémique, « d'émergence » : dire que les propriétés d'un système « émergent », c'est dire qu'elles ne peuvent se comprendre comme la simple juxtaposition des propriétés de ses parties. Qu'elles ne sont pas manifestes dans les composants séparés. Par exemple, la vie ne peut se comprendre en observant les atomes ou les molécules qui constituent les cellules, ni même en observant les cellules elles-mêmes.

Cette petite mise au point me permettra de présen-

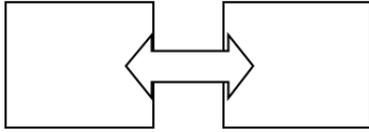


FIG. 2 – Interaction

ter la suite sous deux éclairages complémentaires. Un même dispositif peut en effet, dans certains cas être observé selon le point de vue du *feedback* ou selon celui de l'interaction. Passer de l'un à l'autre peut s'avérer pertinent. Mais je vais essayer de montrer que cette notion de point de vue est encore plus importante que ce que l'on peut croire, avec cette question du « sens du feedback », qu'il faut entendre, on l'a compris, selon deux « sens », celui de l'orientation, et celui de la signification. Encore aurait-on pu y ajouter un troisième : avec « le *feedback* pour les sens ».

2 Le processus de création

La création, plus précisément le « processus de création », qu'il soit d'ailleurs musical ou autre, est bien l'un des premiers lieux du *feedback*. En effet, la vision romantique de l'artiste inspiré, touché par la grâce de l'ineffable, qui dans un mouvement à sens unique du haut vers le bas traduit la musique des sphères en sons matérialisés par le moyen d'instruments et d'instrumentistes forcément imparfaits, est devenue fort démodée.

On lui préfère aujourd'hui, quitte à donner même dans l'excès inverse, les notions d'expérience, d'heuristique, de découverte par essais erreurs, en confrontation directe avec la matière, le réel. Vu ainsi, le processus de création se caractérise bien par un schéma formel du type *feedback*. L'artiste dispose d'outils, au sens large : pour le musicien (avant les « nouvelles technologies »), ce peut être des outils matériels - les instruments, le papier à musique - ou conceptuels : des règles de composition par exemple. Qu'il s'agisse des uns ou des

autres, ils sont, à un moment donné du processus, même si l'artiste les a choisis de son plein gré, des « systèmes » étrangers, hors lui-même. Ces systèmes ont alors des « entrées » : les gestes de l'instrumentiste, l'écriture des notes sur la partition, le choix de valeurs particulières pour les grandeurs laissées libres par le système de règles, ... et produisent des « sorties » : les sons des instruments, les structures mélodiques / harmoniques de la musique écrite, etc. Ces sorties sont bien alors des « entrées » pour l'artiste, qui se reboucle sur ses outils. Elles fournissent le *feedback* au sens où l'artiste peut alors reprendre et modifier ses actions pour obtenir un autre résultat plus proche de son objectif.

L'essence même du processus de création est bien ici dans ce bouclage, dans cette rétroaction du résultat sur la commande. Il peut alors converger, conduire à la réussite, à la proposition d'un résultat satisfaisant (ou non), au moins pour l'artiste si l'on considère uniquement le système qu'il constitue, lui et son environnement d'outils. Mais on peut considérer un système plus large en y incluant le public et les dispositifs de diffusion plus ou moins complexes dans une plus grande boucle. Il s'agit alors d'un *feedback* à plus grande échelle, et la boucle n'est pas seulement plus grande, mais constituée de plusieurs boucles imbriquées, avec des « constantes de temps » de plusieurs ordres différents.

Dans tous les cas, on retrouve les figures propres au *feedback* : la régulation, la convergence, l'instabilité, l'auto-oscillation, etc. Mais on peut dire aussi ici, en rupture radicale avec la vision « romantique » de l'acte de création, que l'idée peut être dans ce qui est produit avant d'être dans l'esprit du créateur : l'instrument fera connaître un timbre qui plait au musicien, les gestes spontanés de l'improvisateur feront naître des figures rythmiques ou mélodiques subtiles qu'il s'empressera (et là est son talent) de « capter » pour les travailler, transformer et redonner. Telle application d'une règle donnera un résultat heureux ou banal sans que l'on puisse imaginer véritablement par anticipation ni l'un ni l'autre. Sans parler, à l'échelle où les circuits commerciaux sont de la partie, du rôle de « l'audimat » pour dicter à l'artiste ce qui est susceptible de succès commercial.

En d'autres termes, le sens peut être partiellement inversé. Le processus de création est, en quelques

sortes non seulement une création de l'objet artistique par l'artiste, mais aussi de l'artiste par son objet.

3 La relation instrumentale

Si l'on considère maintenant de plus près la relation instrumentale elle-même, on peut l'analyser comme un système de boucles. L'instrument de musique prend place entre la main et l'ouïe. Sa première fonction est, peut-on dire, de permettre à la main (au geste) de s'adresser à l'oreille. Il tend ainsi à compenser une certaine dissymétrie entre nos moyens naturels de production et de perception des phénomènes acoustiques. L'ouïe est en effet à même de percevoir une variété bien plus grande de phénomènes que ce que notre organe vocal peut produire.

Permettre au geste de s'adresser à l'oreille – on peut dire également rendre le geste audible ou symétriquement rendre le son « gesticulable » – en tout cas, ce « service » n'est pas gratuit, car ce que l'oreille reçoit est alors la manifestation de deux causalités imbriquées : l'instrument en tant qu'objet physique avec ses propriétés intrinsèques, et les comportements que l'instrumentiste lui applique. L'instrument révèle en se révélant lui-même. J'ai déjà développé ces thèmes par ailleurs [6], [7], [8]. Mais ce point de vue permet de nous replacer naturellement dans l'approche *feedback*. En effet, l'instrument peut être décrit globalement comme un dispositif dont l'entrée est le geste et la sortie le son. La boucle de rétroaction est alors constituée du « retour » sonore vers l'ouïe de l'instrumentiste, et l'on a l'habitude de considérer ce *feedback* évident comme inhérent au jeu instrumental et condition même de sa possibilité.

Toutefois, il est très réducteur de ne considérer que cet aspect des choses. En effet, si cette boucle est la condition nécessaire de la relation instrumentale, elle n'y suffit pas, et parler seulement de *feedback* non plus.

3.1 Interaction énergétique / boucle informationnelle

La relation instrumentale, que sa fonction soit communicationnelle comme dans le cas de l'instrument de musique, ou purement matérielle, comme lorsqu'on manipule un marteau pour enfoncer un clou, est intrinsèquement la juxtaposition de deux relations indissociables : une interaction physique et une relation informationnelle.

L'homme et son instrument sont deux systèmes physiques, l'un des deux (l'homme) est moteur, c'est-à-dire qu'il est la source d'une énergie (son énergie musculaire) qu'il produit dans le cadre de l'interaction. L'autre (l'instrument) est en général passif. Le geste instrumental est relativement complexe [cf. typologie du geste instrumental op. cit.], avec des phases distinctes comme celles de la saisie et de la dépose, avec des composantes complémentaires telles que ce que nous avons appelé par ailleurs [op. cit.] le geste *d'excitation*, le geste de *modification* et le geste de *sélection*. Dans la phase « saisie » (ou contact) du geste d'excitation, c'est-à-dire par exemple lorsque le percussionniste tient sa mailloche ou le violoniste son archet, il y a une interaction mécanique au sens newtonien, entre deux objets physiques, l'instrumentiste et la mailloche ou l'archet. Il est difficile, en toute rigueur, de parler ici de *feedback* car on ne peut identifier de manière univoque une entrée et une sortie. La situation mécanique est intrinsèquement bidirectionnelle. La théorie mécanique permettra de la décrire en introduisant deux variables duales, par exemple la force et le déplacement (la force d'interaction entre la mailloche et la main, le déplacement de la main et de la mailloche) et leurs relations, à travers des équations. Mais on ne peut pas dire qu'il y ait une force d'entrée et une force de sortie, un déplacement ou une déformation d'entrée et de sortie. Enfin, on ne peut pas dire non plus que l'homme applique une force ou une position à l'instrument qui auraient comme conséquences, respectivement, leur duales.

Ce qu'il faut considérer, c'est, au moment de la saisie, un système mécanique global, combinaison de deux systèmes, et dont les propriétés devront se comprendre dans leur globalité, à partir de celles des deux systèmes. Cet ensemble comprend alors une partie motrice (les muscles de l'instrumen-

tiste), qui injecte de l'énergie dans le système global. La tension d'un muscle n'est pas la production d'une force ni d'un déplacement. En revanche, elle consomme bel et bien une énergie (une fatigue) et a pour effet de mettre en mouvement les membres et tout ce qui y est attaché. C'est un artifice de représentation qui, pour nous permettre de décrire et prédire les phénomènes, nous fait recourir à ces variables physiques que nous appelons forces et déplacements. Il s'agit là de la boucle énergétique. Nous l'appelons la fonction *ergotique* du geste [6], [7].

Mais il se trouve que l'humain, bien qu'égal de l'instrument en tant que système physique, s'en distingue, on l'a déjà dit, par le fait qu'il est moteur, mais aussi par le fait qu'il est doté de « capteurs sensoriels » et, en principe, d'un cerveau et d'un système cognitif¹.

Les contractions musculaires à l'origine de la mise en dynamique du système physique instrumentiste-instrument sont stimulées par des influx nerveux correspondant à des « commandes motrices » produites par le cerveau et dans l'explication desquelles il serait bien difficile de s'engager ici. Symétriquement, notre enveloppe cutanée, nos muscles, nos articulations, possèdent un très grand nombre de capteurs, distribués en terminaisons nombreuses et complexes et aux fonctions de captation très variées. Ces capteurs effectuent en quelques sortes une « prise d'information » sur la partie humaine du système instrument-instrumentiste. Mais, encore une fois, il n'y a aucun moyen de dire par exemple, que les commandes motrices et les captations seraient, respectivement des commandes ou des mesures de force ou de position. Et par conséquent, là encore, il est difficile de parler aussi simplement d'entrée et de sortie.

Prenons plus précisément ce que l'on appelle communément le sens du toucher. En fait, le sens qui est associé à nos membres, à notre peau et à la main, est plus élaboré que ce que le terme « sens du toucher » laisse comprendre. Il faut l'appeler plutôt sens tactilo-proprio-kinesthésique et considérer qu'il combine intrinsèquement action et per-

ception. Nous avons certes des cellules, dans les différentes couches de notre peau, sensibles à la pression, aux déplacements, etc. mais les informations qu'elles nous donnent sur les objets que nous touchons résultent du fait qu'elles sont sollicitées lors des mouvements complexes que nous effectuons quand nous saisissons et manipulons des objets. Ce qui constitue nos images cognitives est alors la combinaison intime de l'information dont nous sommes nous-mêmes les producteurs, celle de nos commandes motrices, et de l'information en provenance des capteurs distribués dans la peau, dans nos muscles et dans nos articulations.

On constate donc, au niveau simplement de l'interaction gestuelle et avant même de considérer la boucle geste - son, que la situation n'est pas si simple. On doit la décrire comme la combinaison de deux relations :

- une interaction mécanique, où la notion de boucle, donc de rétroaction, n'a pas véritablement de sens, car il faut plutôt parler de système global résultant de la composition de sous-systèmes, de propriétés émergentes, de production, échange, dissipation d'énergie,
- et une boucle action – perception, informationnelle, où les notions d'entrées et de sorties ne sont pas directement définissables ni observables. On ne peut alors pas dire simplement que la perception tactile est le *feedback* de l'action gestuelle dans la situation gestuelle instrumentale. Lors d'une expérience de manipulation gestuelle, c'est l'image mentale produite à propos de l'objet manipulé qu'il faut considérer globalement comme le résultat, le *feedback*, c'est le tout instrumentiste-instrument qu'il faut considérer comme système et l'ensemble actions et perceptions relatif à la manipulation comme entrée (figure 3).

3.2 Boucles imbriquées et multisensorialité

Pour donner une représentation plus précise de la boucle geste-instrument-son introduite initialement, il faut donc remplacer la flèche simple « entrée geste » par cette double branche bidirectionnelle que nous venons de décrire.

Mais le schéma se complique d'un degré de plus si l'on considère maintenant :

¹Ceci étant entendu dans le cadre des « technologies traditionnelles », car les machines robotiques et informatiques sont elles-aussi, en général dotées de moteurs, de capteurs, et de systèmes de traitement d'information (qu'on se gardera bien toutefois d'assimiler à des cerveaux).

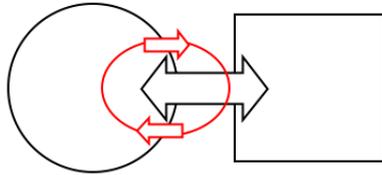


FIG. 3 – La relation instrumentale, interaction et boucle informationnelle

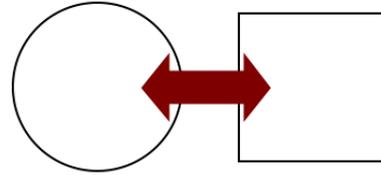


FIG. 5 – L'instrument « vis-à-vis »

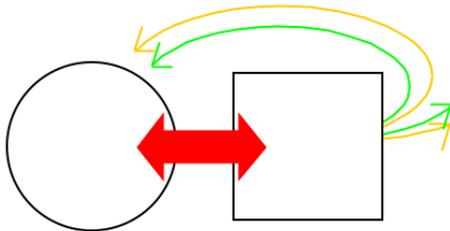


FIG. 4 – La relation instrumentale, boucles multisensorielles imbriquées

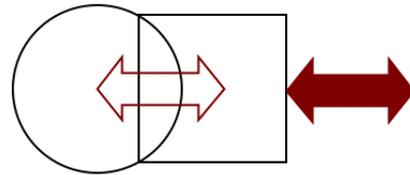


FIG. 6 – L'instrument « incorporé »

- qu'une autre boucle est en jeu, du geste à l'œil – en effet, un objet physique que l'on manipule pour le faire sonner et aussi un objet que l'on voit et dont on voit les comportements résultant de nos actions,
- que ces différentes boucles, de l'action gestuelle respectivement aux perceptions tactiles, auditives et visuelles ne sont pas indépendantes : ce qui se produit selon l'une des trois boucles peut influencer le résultat cognitif correspondant aux autres. Par exemple, faire entendre un son percussif (à l'aide d'un artifice expérimental approprié) synchrone à la manipulation d'un objet d'une certaine dureté peut conduire à conclure que l'objet, toutes choses restant égales par ailleurs, est plus dur que lorsque le son est non percussif. On appelle cela « l'intersensorialité ».

En conséquence, c'est bien trois boucles imbriquées qu'il faut invoquer pour parler de la relation instrumentale (figure 4) et l'on voit donc que la notion de *feedback* est de plus en plus complexe.

3.3 L'instrument vis-à-vis / l'instrument incorporé

On a indiqué au premier chapitre que l'on pouvait adopter plusieurs points de vue et s'intéresser à différents types de *feedback*, selon que l'on incluait ou non, par exemple, le public, les dispositifs et circuits de diffusion, etc. dans la boucle du processus de création. Tout en restant au niveau de la relation instrumentale, d'autres changements de points de vue sont observables, relatifs à ce que l'on appellera « l'incorporation » organique de l'instrument.

Leroi-Gourhan [9], avec de nombreux autres auteurs, présente l'instrument, plus généralement les dispositifs techniques que l'homme créé et s'adjoint pour communiquer avec son environnement social, interagir avec son environnement matériel et le transformer, comme un prolongement du corps, une organicité artificielle. Ajouté au corps naturel, il en étend les fonctions. Artificiel, il est amovible et peut être quitté, changé, transformé dans un temps qui n'a plus rien à voir avec celui des mutations biologiques. Ce qui est bien évidemment un facteur de progrès considérable et qui, rendu possible par la station debout, est ce qui ca-

ractérise l'homme.

Saisi ou déposé, pratiqué de longue date ou encore non maîtrisé, le rapport de l'instrument au corps n'est pas le même. Encore mal connu, il apparaît comme un vis-à-vis (figure 5), une part de l'environnement matériel avec laquelle on interagit. L'action et la perception se concentrent sur la frontière entre le corps et l'objet, qui se présente comme une frontière entre le sujet et son environnement. Ainsi, le pianiste débutant sera préoccupé par la position de sa main, l'écart entre les touches, la netteté de sa frappe. Maîtrisé par une pratique suffisante, l'instrument « s'incorpore » à l'instrumentiste (figure 6). Il devient partie de son corps au sens où la conscience se focalise non plus sur l'interaction entre le corps naturel et l'instrument, mais sur l'interaction du système complet instrumentiste-instrument avec le reste de l'environnement. Le pianiste expérimenté porte le son au bout de « ses » marteaux feutrés, l'aveugle ne sent pas le poids ni les mouvements de sa canne blanche, mais à travers elle l'obstacle qui se présente, comme si son touché s'était transporté au bout de celle-ci.

La relation de l'homme à l'instrument est, on le voit, riche et complexe. S'il faut parler de *feedback*, c'est bien en considérant que l'on doit, pour une situation et des conditions données, préciser d'abord le point de vue selon lequel on se place. Et, on l'a constaté, les points de vue possibles sont multiples.

4 Musique et nouvelles technologies : simuler les instruments

On le sait, l'électricité, l'électronique, l'informatique ont profondément transformé les conditions de la création musicale. La fin du XIX^{ème} et le XX^{ème} siècles ont introduit, en quatre enjambées s'accélégrant, l'enregistrement du son, la synthèse numérique et la composition assistée par ordinateur, puis la simulation, les réalités virtuelles.

Le premier a donné lieu, avec Pierre Schaeffer, à une pratique et une esthétique, la Musique Concrète, puis acousmatique. La seconde, avec Max Mathews, à une nouvelle manière de penser et créer le son, de toute pièce, la troisième, avec Hiller et Isaacson, légèrement antérieurement, à des

outils pour représenter, penser, interagir avec des systèmes compositionnels. Chacune de ces phases pourrait être considérée du point de vue de la nature du processus de création qu'elle induit et l'on pourrait alors observer, en tentant de caractériser la fonction des outils et des instruments concernés, les différentes formes de *feedback* qui s'y rapportent.

Je me contenterai de la dernière, relative à la simulation et aux réalités virtuelles, dans la mesure où le temps et la place pour exposer ne sont pas illimités et où il s'agit du champ dans lequel l'activité de l'auteur de ces lignes se concentre depuis plus d'une trentaine d'années.

Pour servir le propos qui me tient à cœur dans la présente approche, il me faut tout d'abord rappeler les quelques principes essentiels en cause dans la création musicale à l'aide de la modélisation physique et, plus généralement de la simulation multisensorielle interactive des objets physiques développé dans le laboratoire de l'ACROE [10], [11], [12].

4.1 La simulation multisensorielle interactive des objets physiques

La démarche adoptée au départ a consisté en une remise cause de l'objet même de la synthèse sonore « traditionnelle », c'est-à-dire le signal sonore, pour le remplacer par « sa cause », ce qui le produit. Il s'est alors agi non pas de « synthétiser les sons musicaux », mais de « simuler les instruments de musique » de telle sorte que l'on puisse interagir avec ces simulacres d'une façon en tous points identique à celle selon laquelle on interagit avec les instruments réels.

Ceci a conduit à poser et tenter de résoudre plusieurs catégories de problèmes technologiques :

- La conception de systèmes d'algorithmes de calcul réalisant la simulation des objets physiques selon leur constitution, leurs propriétés mécaniques et une représentation de leurs comportements dynamiques à l'aide de variables telles que les forces d'interaction entre leurs composants et les déplacements (déformations) de ces composants. Sur cet axe, un langage de modélisation et de simulation a été créé, que nous appelons CORDIS [10].

- La conception et la mise en œuvre de dispositifs périphériques à l'ordinateur permettant d'établir une correspondance entre les variables physiques représentées dans l'ordinateur par des signaux numériques et les phénomènes physiques correspondant aux différentes boucles sensori-motrices évoquées plus haut. Ces dispositifs sont, nommément, des « transducteurs ». Ce sont les transducteurs associés au canal gestuel qui ont posé des problèmes particuliers et nouveaux.
- La conception, enfin, d'environnements informatiques appropriés pour la prise en charge de tout le processus de création musicale.

4.1.1 Les transducteurs gestuels rétroactifs [12]

Ces dispositifs doivent permettre une relation avec l'ordinateur semblable en tout point à la double relation bidirectionnelle énergétique et informationnelle avec l'instrument décrite au chapitre précédent. La relation doit pouvoir « ressembler » à une interaction physique, et elle doit aussi assurer la correspondance entre les phénomènes physiques en jeu et les signaux numériques internes à l'ordinateur.

Pour la première condition, il est clair qu'il ne peut y avoir d'interaction physique avec un calcul ou un signal issu d'un calcul. Il y faut donc un dispositif capable de traduire un signal numérique en phénomène physique tel qu'une force ou un déplacement. Il s'agit nécessairement, alors, d'une chaîne constituée d'un système de conversion numérique / analogique, d'un amplificateur (alimenté par une source d'énergie) et d'un organe moteur (un effecteur) alimenté à son tour par l'énergie de cette source, modulée par l'amplificateur dont l'entrée est le signal analogique converti du signal numérique produit par l'algorithme de simulation.

Mais il doit y avoir également un organe capable de convertir, en sens inverse, un phénomène physique tel qu'un déplacement ou une force en signal numérique. Ceci est réalisable avec ce qu'on appelle des capteurs (de force ou de déplacement) suivis de convertisseurs analogiques / numériques.

Ce développement technique un peu détaillé pour rappeler le nombre d'étages et d'artifices qui séparent le monde des phénomènes sensibles et celui

des digits au cœur des systèmes électroniques de calcul numérique. Mais aussi pour montrer au passage la condition imposée ici, par le principe même de la technologie du calcul numérique mécanisé et de l'ordinateur : le fait que tout se passe à travers des processus d'entrée, traitement et sortie, à sens unique.

Le point est d'importance, car si cette situation est adaptée aux notions de boucles informationnelles, elle ne l'est pas du tout avec celle d'interaction mécanique, puisqu'une interaction mécanique est intrinsèquement bidirectionnelle.

Alors que nous avons vu plus haut que la notion de *feedback* n'était pas nécessairement appropriée à la description de l'interaction instrumentale, force a été, au niveau du présent problème, d'introduire la notion de *force-feedback* ou encore de transducteurs gestuels **rétroactifs**. C'est qu'en effet, la seule façon de représenter une interaction à l'aide de systèmes à entrées et sorties est d'associer à chaque point d'interaction une paire de lignes de communication orientées, l'une dans un sens, l'autre dans l'autre. Celle qui va de l'extérieur vers l'intérieur de l'ordinateur à travers un capteur est alors une entrée, celle qui va dans l'autre sens, une sortie, un *feedback*. La première devra porter un signal représentant l'une des deux variables duales, par exemple la position, l'autre un signal représentant l'autre variable, par exemple la force. Ainsi, parlera-t-on de systèmes à **retour d'effort**. Mais soyons bien clairs, cette particularisation n'a de sens que pour l'ordinateur. L'instrumentiste, quant à lui, n'a aucune espèce de moyen de constater dans son expérience, qu'il fournit une position et reçoit une force. D'ailleurs, la technologie adoptée pourrait être totalement duale de celle qu'on vient de décrire, ceci ne changerait absolument rien pour l'utilisateur, qui continuerait, à son échelle, d'interagir gestuellement et de former ses images mentales à partir des saisies d'information issues de ses actions et perceptions tactiles, indépendamment des capteurs et effecteurs de l'ordinateur.

4.1.2 La modélisation et simulation à travers le langage CORDIS

Il n'est pas question de reprendre ici ce qui a été largement développé dans des écrits publiés il y a

déjà un certain nombre d'années [10].

Pour rappeler l'essentiel, CORDIS est un langage de modélisation (c'est-à-dire qui propose un lexique et une syntaxe pour donner une représentation (un modèle)), et de simulation (c'est-à-dire qui permet tout en même temps d'élaborer les algorithmes de simulation) des objets du monde physique.

Sa particularité importante est le côté « systémique » qui caractérise le principe de sa modularité. Il propose en effet de penser tout objet comme en ensemble de sous-objets qui entretiennent entre eux des « interactions » exactement du même type que celle qui s'établit entre l'instrumentiste et l'instrument. Il est clair alors que ces interactions seront représentées, comme l'interaction gestuelle précédente, par des paires symétriques d'entrées et de sorties.

Ainsi, chaque objet et chaque sous-objet d'un « objet CORDIS » peut être observé, analysé selon ce paradigme où l'interaction « complète » avec la rétroaction. . .

L'environnement de création musicale GENESIS [13], [14], [15], [16], [17], [18], répondant au troisième axe technologique mentionné plus haut, propose aux musiciens de pratiquer le langage CORDIS de manière directe et intuitive à travers les fonctionnalités d'une interface graphique. Il a permis, depuis une dizaine d'années à de nombreux compositeurs et chercheurs de réaliser des pièces musicales et des expériences de simulation d'une grande richesse et d'une grande variété. Il est aussi au cœur d'un certain nombre d'activités pédagogiques dans des lieux d'enseignement artistique ou multidisciplinaires associant art, science et technologie. Mais l'écrit ne permet pas de rendre compte de ces résultats. Laissons ce soin à une première forme de « retour au réel » qui suppose l'accompagnement des propos par l'expérience sensorielle, c'est-à-dire la présentation de documents multimédia, voir la pratique elle-même des outils.

5 Le retour au réel

Pour clore cette présentation, je voudrais poser la question du sens de tout cela. Le sens non seulement du *feedback*, mais de cette quête, dont ces tra-

voux ne sont pas les seuls représentants, d'une simulation parfaite, d'une « représentation intégrale ». Non que j'aie quelque doute sur son existence, mais plutôt sur l'interprétation qui peut parfois être faite.

Pourquoi simuler, par exemple les instruments de musique alors qu'ils existent et qu'il suffit de les prendre, alors que c'est parfois particulièrement difficile, alors que ce faisant, il se produit une inévitable dérive : une réduction par rapport à la réalité et une extension qui ne correspond pas à la réalité ?

Il est clair que cloner le monde n'a pas d'intérêt si cela revient seulement à remplacer nos interactions avec lui-même par des interactions avec ses simulacres. En fait, dans l'opération même de représentation, de « représentation intégrale » comme nous l'avons appelée pour signaler cette possibilité d'une interaction multisensorielle avec les objets représentant, il se passe plusieurs choses très importantes.

La première est le fait même de « modéliser ». La modélisation, qui passe par le recours à un langage, la nécessité d'analyser, décomposer, pour reconstruire, apporte une nouvelle connaissance sur les objets que l'on modélise.

La seconde est qu'à travers cette transposition du monde réel vers un monde virtuel, il s'opère une transaction fondamentale. Certes, au passage par la modélisation et la simulation, les objets perdent leur réalité, leur ontologie infinie, se transforment. Mais ce prix payé et celui d'un double bénéfice : le fait qu'à travers la formalisation par un langage, l'objet, les expériences qu'on peut effectuer avec lui, ses comportements, ses propriétés peuvent être soumises à **l'écriture**. Écriture au sens même de l'écriture musicale qui est au fondement de tout le développement de la musique occidentale. L'écriture traditionnelle, introduite en Occident vers le Xème siècle avait permis la mémoire, la transmission, la prescription d'un certain nombre d'aspects du fait musical. Mais une partie importante de ce dernier lui avait toujours échappé : la matière même du son, demeurant non-prescriptible autrement que par la désignation des instruments pour le produire. L'enregistrement sonore, apparu dix siècles plus tard, a permis la captation et la mémorisation de cette partie de la musique. Elle a donné

lieu, nous l'avons évoqué, à une esthétique – la Musique Concrète. Mais l'enregistrement du phénomène ne permet pas son écriture, c'est-à-dire sa prescription à partir de composants et d'une syntaxe. La musique, par essence allographique, s'est vue transformée, avec l'enregistrement sonore, en autographique.

La synthèse numérique du son a permis, comme l'a exprimé Jean-Claude Risset, d'étendre le processus compositionnel (l'écriture) au son lui-même et non plus seulement à la relation entre les sons.

Ce qu'apporte le paradigme de la simulation présenté ici, c'est une généralisation du processus de l'écriture à l'ensemble de la chaîne qui supporte le processus de création musicale : écriture de l'instrument, écriture du geste, écriture des relations formelles entre les entités en jeu, écriture à l'échelle du matériau, écriture à l'échelle de la macrostructure musicale elle-même. Le tout à travers un seul et même paradigme.

Alors, un changement radical s'opère peut-être. Quel est le statut de ces objets virtuels, des interactions que l'on peut établir avec eux, des phénomènes sensibles, tangibles qu'ils peuvent produire ? Peut-être bien qu'il ne faut les considérer que comme des « représentations », bien sûr beaucoup plus complètes, intégrales que toutes les autres formes connues jusqu'alors. Mais représentations tout de même, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas la réalité.

De la même façon qu'une partition musicale appelle une exécution instrumentale, une incarnation active et sensorielle, les mondes virtuels, aussi interactifs soient-ils, appellent eux aussi un « retour au réel ». Quel est alors le « *meta feedback* » qui est en cause ici ? Quel est son sens ?

Une hypothèse est que l'ordinateur simulant, associé à ses interfaces multisensorielles et interactives, soit à considérer comme un maillon, ou plutôt une interface même, dans le processus « d'énaction » du monde.

L'énaction, terme introduit par le neurobiologiste Francisco Varela :

"...cognition is not the representation of a pre-given world by a pre-given mind but is rather the enactment of a world and a mind on the basis of a history of the variety of actions that a being in

the world performs." [19].

« *La connaissance n'est pas la représentation d'un monde donné a priori par un esprit donné a priori, mais plutôt l'établissement (enactment) d'un monde et d'un esprit sur la base de l'histoire d'une variété d'actions qu'un être au monde effectue.* »²

... est au cœur de la pensée concernant les interfaces homme-machine du futur [20].

Références

- [1] WIENER N, *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Wiley, 1948.
- [2] MORIN E, *La Méthode*, tomes successifs, Seuil.
- [3] ATLAN H, *Entre le cristal et la fumée*, Seuil, 1986.
- [4] LE MOIGNE J-L, *La théorie du système général*, PUF, 1984.
- [5] PRIGOGINE I et STENGERS I, *La nouvelle alliance*, Gallimard, 1983.
- [6] CADOZ C, 1999 - "Continuum énergétique du geste au son : simulation multisensorielle d'objets physiques". in "les interfaces pour la création musicale". HERMES Editeur. 1999.
- [7] CADOZ C, 1999 - "Musique, gestes, technologies". in "Les nouveaux gestes de la musique". sous la direction de Hugues Genevois et Raphaël de Vivo. 1999.
- [8] CADOZ C, WANDERLEY M, 2000 - "Gesture and Music". in *Trends in Gestural Control of Music*. IRCAM Editeur. 2000. avec CDROM.
- [9] LEROI-GOURHAN A, «Le geste et la parole» - Albin Michel - 1964.
- [10] CADOZ C, LUCIANI A, FLORENS JL, "CORDIS-ANIMA : a Modeling and Simulation System for Sound and Image Synthesis- The General Formalism", CMJ Vol 17-1 spring 1993.
- [11] CADOZ C, LUCIANI A, FLORENS JL, «CORDIS ANIMA : Système de modélisation et de simulation d'instruments et d'objets physiques pour la création musicale et l'image animée",

²Traduction de CC.

Collection "Recherche Musique et Danse", Actes du colloque "Modèle physique, création musicale et ordinateur", organisé par l'ACROE Grenoble 1990, Ed. Maison des Sciences de l'Homme, Paris 1994.

[12] CADOZ C, LUCIANI A, FLORENS JL, "Responsive Input Devices and Sound Synthesis by Simulation of Instrumental Mechanisms : The Cordis System", In *Music Machine* Curtis Roads Ed. MIT Press, Cambridge Mass. 1989.

[13] CADOZ C, FLORENS JL, LUCIANI A, CASTAGNE N, « Artistic creation and computer interactive multisensory simulation force feedback gesture transducers ». Invited Keynote. Proc. of NIME 2003. Montréal. 2003/05/21-25.

[14] CASTAGNE N , CADOZ C, « The mass-interaction scheme as a musical language : the GENESIS environment ». Proc. of ISMA 2004. Nara, Japon. 2004/03/31.

[15] CASTAGNE N, CADOZ C, FLORENS JL, « Physically-based modeling and music vs. physical modeling and acoustics ». Proc. of ICA (International Conference Acoustics). Kyoto, Japon. 2004/04/04.

[16] CADOZ C, « The Physical Model as Metaphor for Musical Creation «pico..TERA», a piece entirely generated by physical model »- Proc. of ICMC – Goteborg – 16-20 sept. 2002.

[17] CASTAGNE N, CADOZ C , « GENESIS : A Friendly Musician-Oriented Environment for Mass- Interaction Physical Modeling »- Proc. of ICMC – Goteborg (Sweden) – 16-20 sept. 2002.

[18] CASTAGNE N, CADOZ C : Creating Music by Means of "Physical Thinking" : The Musician Oriented Genesis Environment – COST-G6 Conference on Digital Audio Effects (DAFx-02) proceedings – Germany, September 02.

[19] VARELA, THOMPSON, ROSCH, « The Embodied Mind », 1991, p. 9.

[20] Site internet du réseau d'excellence européen *ENACTIVE (Enactive Interfaces)* : <http://www.enactivenetwork.org>