

Composition interactive : du geste instrumental au contrôle de l'électronique dans *Synesthesia 4 : Chlorophylle*

Interactive composition: From instrumental gesture to digital processing in *Synesthesia 4: Chlorophylle*

Cléo Palacio-Quintin

Volume 22, numéro 1, 2012

Arts de la synchronisation

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1008966ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1008966ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

1183-1693 (imprimé)

1488-9692 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Palacio-Quintin, C. (2012). Composition interactive : du geste instrumental au contrôle de l'électronique dans *Synesthesia 4 : Chlorophylle*. *Circuit*, 22(1), 25–40. <https://doi.org/10.7202/1008966ar>

Résumé de l'article

Depuis les premières compositions de musique mixte dans les années 1950, la synchronisation des parties instrumentales et électroacoustiques des oeuvres fait partie des préoccupations des compositeurs et interprètes. L'utilisation de systèmes interactifs informatisés permet maintenant de relier intimement ces deux univers musicaux. L'auteure démontre ici comment l'utilisation d'un instrument augmenté de capteurs électroniques (l'hyper-flûte) permet de capter les gestes de l'instrumentiste et ainsi lui donner la possibilité d'interagir avec l'ordinateur.

Composition interactive : du geste instrumental au contrôle de l'électronique dans *Synesthesia 4 : Chlorophylle*

Cléo Palacio-Quintin

Introduction

Après soixante ans de création de musique mixte, la combinaison des univers acoustique et électroacoustique demeure un défi pour les compositeurs. Le désir d'explorer l'interaction entre ces deux univers a fait naître tout un genre musical, toujours en développement et en évolution. L'imagination des compositeurs repousse constamment les limites du développement technologique pour satisfaire leurs besoins créateurs. De plus en plus, on tente d'« humaniser » la machine afin qu'elle réponde aux besoins expressifs de l'homme.

Étant à la fois interprète, improvisatrice et compositrice, ces pratiques artistiques sont pour moi intimement interreliées. L'interprète est toujours présente lorsque la compositrice est à l'œuvre, et vice versa. Dès mes premières expériences de musique mixte, il m'est apparu primordial, comme interprète, de pouvoir moi-même être en contrôle de la synchronisation des sons électroacoustiques avec lesquels je devais jouer. Le choix de recourir au geste instrumental, pour lequel j'étais déjà une experte, allait de soi pour parvenir à mes fins. Encore fallait-il mettre la compositrice à contribution pour élaborer les œuvres qui permettraient cette interaction.

Le développement de l'hyper-flûte m'a permis de faire évoluer ma pratique d'interprète de l'univers acoustique vers l'électroacoustique, pendant que ma démarche compositionnelle intégrait de mieux en mieux l'interaction

1. Impett, 1998, p. 23.

de ces deux univers par la programmation de systèmes informatiques. L'utilisation de tels systèmes interactifs change les subdivisions traditionnelles de la pratique musicale. Ici la compositrice, la partition, l'œuvre, l'interprète, l'interprétation, l'instrument et l'environnement se confondent. Le « meta-trompettiste » Jonathan Impett l'articule d'ailleurs ainsi : « *In such a mode of production, the subdivisions of conventional music are folded together: composer, composition, performer, performance, instrument and environment. Subject becomes object, material becomes process*¹. »

J'exposerai donc ici ce processus complexe allant du geste instrumental au contrôle de l'électronique dans une composition interactive. Afin de bien situer le contexte de ce travail de création, je débiterai par un bref historique de la présence de la flûte dans l'univers des musiques électroacoustiques. Je poursuivrai avec une définition des gestes instrumentaux et des dispositifs permettant leur captation, pour finalement présenter des exemples de leur interaction dans ma plus récente composition *Synesthesia 4: Chlorophylle*.

De la musique sur bande à la musique interactive, en passant par la flûte augmentée

Dès les premières expérimentations de musique mixte, ainsi que pour les œuvres sur bande, la flûte traversière, avec ses nombreuses techniques de jeu contemporaines, est un instrument privilégié des compositeurs. On la retrouve dans nombre d'œuvres marquantes des débuts de la musique sur bande et mixte. La collaboration étroite entre de nombreux flûtistes et compositeurs va encourager l'usage de cet instrument.

Lorsque la faculté de musique de l'Université Columbia à New York achète son premier magnétophone *Ampex* en 1951, Vladimir Ussachevsky découvre rapidement le potentiel de cette machine, non seulement pour enregistrer les concerts (ce pourquoi la faculté se l'était procurée), mais bien pour transformer les sons enregistrés. Il fait des expérimentations en enregistrant des sons de flûte et en les modifiant avec ce magnétophone. L'année suivante, il présente le premier concert de *Tape Music* aux États-Unis, avec son collègue Otto Luening. Les œuvres *Fantasy in Space* et *Low Speed* de ce compositeur sont entièrement réalisées à partir de sons de flûte manipulés.

Au même moment en Europe, Bruno Maderna compose *Musica su due dimensioni* (1952), pour flûte, percussion et bande, souvent considérée comme la première œuvre de musique mixte. Cette œuvre, créée par le flûtiste Severino Gazzelloni, est révisée en 1958 pour flûte solo et bande. La première pièce connue composée spécifiquement pour flûte solo et bande est *Synchronisms No. 1* (1963)² du compositeur argentin Mario Davidovsky.

2. Cette œuvre est la première d'une grande série de *Synchronisms* pour instruments et électronique que Davidovsky développera pendant toute sa carrière. La plus récente est : *Synchronisms No. 12*, pour clarinette et bande (2006).

Plusieurs interprètes audacieux vont par la suite encourager la création d'un vaste répertoire de musique mixte pour la flûte³.

Au début des années 1980, à l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique (Ircam), le flûtiste Larry Beauregard participe aux premières expérimentations de suivi de hauteurs en direct avec le processeur numérique 4x. Une flûte sera spécialement modifiée à l'aide de capteurs installés sur chaque clé, afin qu'un système électronique puisse déterminer les doigtés joués et suivre la partition à l'aide du protocole MIDI. Le système électronique est ainsi en mesure de suivre le rythme du jeu de l'interprète et de déclencher automatiquement l'accompagnement électroacoustique. L'œuvre *Jupiter* de Philippe Manoury (1987) est probablement la première pièce composée pour flûte et système de traitement et de synthèse numérique en temps réel. La version originale utilisait la flûte-MIDI décrite plus tôt et a ensuite été portée en version audio en 1992, sur les logiciels Max/MSP⁴. L'ordinateur pouvait alors suivre les hauteurs jouées en faisant une analyse du son en direct, plutôt qu'en utilisant les doigtés fournis par la flûte-MIDI⁵.

Les développements technologiques rapides permettent ensuite d'améliorer la synchronisation de l'instrument acoustique et de la partie électroacoustique. Cette dernière composante devient plus flexible sur le plan temporel, en étant malléable en direct à l'aide de l'ordinateur. Ces possibilités informatiques vont aussi permettre l'émergence d'une nouvelle approche compositionnelle, dans laquelle l'ordinateur est invité à participer activement à la création en direct de l'œuvre. On parle alors de musique interactive.

En 1984, dans le *Computer Music Journal*, un des pionniers de la musique interactive, Joel Chadabe, définissait la composition interactive et la nouvelle relation entre l'interprète et l'ordinateur introduite par celle-ci :

An interactive composing system operates as an intelligent instrument – intelligent in the sense that it responds to a performer in a complex, not entirely predictable way, adding information to what a performer specifies and providing cues to the performer for further actions. The performer, in other words, shares control of the music with information that is automatically generated by the computer, and that information contains unpredictable elements to which the performer reacts while performing. The computer responds to the performer and the performer reacts to the computer, and the music takes its form through that mutually influential, interactive relationship⁶.

Cette approche de la composition donne donc un rôle actif à l'ordinateur et sollicite les réactions de l'interprète en intégrant différents algorithmes dont le contrôle peut être partagé. On peut ainsi développer une réelle interaction entre l'interprète et la machine, et éviter que l'un ait à

3. En 2002, Sarah Louise Bassingthwaight a réalisé une thèse de doctorat sur ce sujet et compilé une liste de répertoire de plus de 620 œuvres : « *Electroacoustic Music for Solo Flute* », disponible en ligne au www.subliminal.org/flute/ (consulté le 5 septembre 2011). La référence à sa thèse se trouve dans la bibliographie.

4. Initialement nommé *Patcher*, ce logiciel a évolué sous diverses formes au fil des ans. L'Ircam a utilisé une version sur le serveur *FTS* et ensuite une nommée *jMax*. L'appellation *Max / MSP* est celle de la version commerciale offerte depuis la fin des années 1990.

5. Cette même flûte augmentée servira aussi à la création de l'œuvre *Explosante fixe* de Pierre Boulez en 1993.

6. Chadabe, 1984, p. 23.

7. Machover, 1992, et Machover et Chung, 1989.

systématiquement « suivre » l'autre. Afin d'enrichir la relation entre les parties acoustiques et électroacoustiques, on souhaitera utiliser non seulement le son, mais aussi les gestes de l'interprète comme éléments de communication avec la machine.

En 1981, le compositeur Tod Machover commence le développement de ses *Hyperinstruments* à l'Ircam, travail qu'il poursuit depuis 1987 au *Media Lab* du Massachusetts Institute of Technology⁷. Ses projets visent à concevoir des instruments de musique « étendus » ou « augmentés » à l'aide de la technologie, de façon à donner à l'interprète virtuose la possibilité d'aller au-delà des capacités de son instrument. Peu à peu, Machover et ces collaborateurs vont intégrer des capteurs gestuels sur des instruments acoustiques afin de profiter de la richesse des gestes experts des interprètes pour interagir avec ses systèmes informatisés. Ils souhaitent ainsi augmenter les possibilités d'un instrument acoustique et l'expressivité d'un musicien virtuose.

C'est avec ce même point de vue que j'ai choisi, en 1999, de travailler à la conception d'une flûte augmentée de composantes électroniques. Je la nommerai hyper-flûte seulement quelques années plus tard, après avoir découvert les travaux de Machover. Cette flûte augmentée me permet de communiquer directement avec l'ordinateur par mes gestes lors de l'interprétation. Un interprète professionnel passe des années de sa vie à perfectionner la maîtrise des infimes mouvements nécessaires à la production et au contrôle du son sur son instrument acoustique. Ces gestes instrumentaux sont d'une grande précision et sont responsables de la richesse expressive du musicien. Leur captation et le traitement de leurs données permettent donc un contrôle expressif sur la matière sonore générée par le système informatique. Nous allons ici définir quels sont ces gestes instrumentaux, pour ensuite élaborer sur leur captation, et finalement voir comment ils peuvent être utiles à la synchronisation de la partie électroacoustique dans une œuvre mixte.

Définition du geste instrumental

Dans l'ouvrage *Interfaces homme-machine et création musicale* publié en 1999, Marcelo Wanderley et Philippe Depalle ont réuni les définitions du geste de l'instrumentiste : « Nous appelons ici gestes de l'instrumentiste les actions physiques effectuées par le musicien en situation de jeu instrumental⁸ » Ces différents gestes ont également été analysés de plus près et classifiés par d'autres auteurs. Dans son analyse des gestes de Glenn Gould⁹ en 1988, François Delalande proposait trois catégories principales de gestes chez l'interprète musical :

8. Wanderley et Depalle, 1999, p. 147.

9. Delalande, 1988.

- les gestes effecteurs ;
- les gestes accompagnateurs ;
- les gestes figuratifs.

Les gestes effecteurs correspondent à l'ensemble des mouvements effectués par l'interprète pour produire mécaniquement le son. Les gestes accompagnateurs engagent le corps en son entier, et sans être directement nécessaires à la production du son, ils font partie de l'interprétation et sont utiles à l'expressivité du musicien. Finalement, les gestes figuratifs sont des expressions purement symboliques, parfois perçues par l'auditeur comme des articulations, mais qui n'ont généralement pas de corrélation claire avec la musique.

Les deux premières catégories sont celles qui nous intéressent principalement. Elles ont été définies plus en détail par Claude Cadoz. Les gestes effecteurs (aussi appelés gestes instrumentaux) peuvent se catégoriser en trois classes :

- les gestes d'excitation (instantanée ou continue) ;
- les gestes de modification (paramétrique ou structurelle) ;
- les gestes de sélection (séquentielle ou simultanée).

Ces trois catégories seront ici définies à l'aide d'exemples concrets sur la flûte traversière.

La pression du souffle correspond au principal geste d'excitation continue, puisqu'il maintient la vibration de la colonne d'air dans l'instrument lorsqu'une note est « soufflée ». Une articulation percussive avec la langue, ou un bruit de clé percutée provoquant des sons très brefs, correspondent quant à eux à des gestes d'excitation instantanée.

Lorsque le son est maintenu, la pression du souffle peut aussi varier légèrement pour contrôler l'amplitude du vibrato, ce qui dans ce cas sera considéré comme un geste de modification paramétrique. La position des lèvres à l'embouchure et la position de la langue opèrent de nombreux gestes de modification paramétrique très subtils qui influenceront la hauteur, le vibrato, l'amplitude et le timbre. Un geste de modification structurelle, comme son nom l'indique, agit sur la structure même de l'instrument. C'est le cas si on bouge le joint entre la tête et le corps de l'instrument pour l'accorder (le tube résonnant est alors raccourci ou allongé)¹⁰.

On peut considérer que le choix des doigtés correspond aux gestes de sélection, car l'interprète choisit quelles clés ouvrir ou fermer pour définir la ou les notes (hauteurs) qu'il veut jouer. Ces gestes peuvent évidemment être articulés de façon séquentielle (un seul doigt à la fois) ou simultanée

10. Ceci est peu probable en situation de jeu, sauf si on utilise une tête de flûte particulière. La *Glissando Headjoint*® conçue par Robert Dick peut allonger ou raccourcir le tube résonnant tout en jouant, comme le fait une coulisse de trombone.

11. Les plateaux correspondent à la partie plate des clés où se posent les doigts. Cinq de ceux-ci peuvent être percés de trous qui facilitent le jeu des quarts de ton et permettent la production de *glissandi* avec les doigts.

12. Wanderley, 2005, p. 98.

(plusieurs doigts à la fois). Toutefois, cette interprétation est logique du point de vue de l'interprète qui choisit son doigté, comme un pianiste choisirait sur quelles touches du clavier il joue. Cependant, sur le plan acoustique, la variation des clés fermées ou ouvertes sur l'instrument change la structure du tuyau résonnant et modifie ainsi la colonne d'air. Les changements de doigtés ont donc un effet de modification structurelle sur l'instrument. Il m'apparaît cependant plus pratique de considérer ici ces gestes du point de vue de l'interprétation et donc comme des gestes de sélection. Sur une flûte traversière à plateaux ouverts¹¹, on peut aussi produire des *glissandi* en ouvrant progressivement les trous. Dans ce cas, je considérerai qu'il s'agit d'un geste de modification paramétrique.

Les gestes accompagnateurs, que l'on nomme aussi gestes ancillaires, ne sont pas essentiels à la production directe de chaque détail du son comme le sont les gestes effecteurs. Ils agissent en général plutôt comme des articulations du phrasé de l'instrumentiste, qui bougera les bras ou le tronc, voire les pieds, de façon relativement inconsciente lors de l'interprétation. L'étude de Marcelo Wanderley sur les gestes de clarinettistes a permis de confirmer que ces mouvements, quoique n'étant pas essentiels à l'exécution de la musique, apparaissent fréquemment et ont tendance à être répétés. « *When the same expert clarinet player performed a piece multiple times, she or he tended to move in the same patterns at equivalent points in the score*¹² ». À la flûte, on notera la tendance naturelle des instrumentistes à balancer l'instrument vers l'avant et l'arrière, ou de bas en haut lorsqu'elles jouent. Ces balancements seront en général liés au phrasé musical et à la respiration de la flûtiste. Ces gestes ancillaires seront donc particulièrement significatifs pour une interaction homme-machine expressive, car ils sont liés à l'interprétation musicale.

Acquisition des gestes

Il faut cependant acquérir les informations sur ces gestes de l'instrumentiste pour les transmettre à l'ordinateur afin d'établir l'interaction musicale. On peut obtenir une acquisition directe de certains gestes à l'aide de différents types de capteurs analogiques intégrés à l'instrument. L'hyper-flûte a été conçue à cet effet et les détails de ses capacités d'acquisition seront explicités un peu plus loin. Une acquisition indirecte de gestes peut également être établie par l'analyse du son produit, celui-ci étant préalablement capté par un microphone. Une analyse spectrale ou temporelle détaillée du son permet effectivement de retracer certains gestes effectués pour le produire.

Par exemple, l'attaque, l'amplitude et le vibrato sont beaucoup plus faciles à évaluer en analysant le signal sonore, qu'en tentant de mesurer les

mouvements microscopiques combinés et variables du souffle, des lèvres et de la langue. Il en va de même pour l'évaluation de la hauteur. Dans le cas de la flûte, de nombreuses hauteurs différentes peuvent être produites à partir d'un même doigté (et inversement, une même hauteur peut être jouée avec des doigtés différents). Une capture des mouvements mécaniques des clés ne permettrait donc pas nécessairement de déterminer la hauteur jouée, alors que celle-ci est décelable à l'aide de l'analyse du signal sonore¹³. Cette méthode d'acquisition demeure toutefois très exigeante pour le système informatique. L'acquisition directe à l'aide des capteurs est quant à elle beaucoup plus « légère » en termes de calculs.

Quoique le travail avec l'hyper-flûte soit principalement lié à l'acquisition directe des gestes, l'acquisition indirecte par l'analyse fait aussi partie intégrante du processus. La technologie des capteurs et des processeurs, ainsi que les protocoles d'échanges de données ayant beaucoup évolué au cours des dernières années, on peut maintenant effectuer des analyses de gestes et du signal sonore en direct même avec des ordinateurs personnels. Dans la création de mes œuvres, les deux méthodes d'acquisition d'informations gestuelles sont donc utilisées en combinaison. On s'attardera ici principalement sur l'acquisition directe effectuée par les capteurs sur l'hyper-flûte.

Description des capteurs de l'hyper-flûte

La figure 1 présente un tableau qui décrit les capteurs installés sur l'hyper-flûte. On y trouve sept capteurs qui envoient des variations de voltage de façon continue : l'ultrason, l'accéléromètre, deux capteurs de champ magnétique et trois capteurs de pression. L'interface *Microlab*¹⁴ transforme ces variations de voltage en messages de changement de contrôle MIDI (*MIDI Continuous Control Messages*), et transmettra continuellement des valeurs allant de 0 à 127¹⁵. Huit autres capteurs, des boutons ou interrupteurs, émettent un signal discret lorsqu'ils sont enclenchés. Après évaluation par l'interface, ce type d'action est reçue dans l'ordinateur sous la forme d'un message MIDI *Note on/Note off*, comme si une touche d'un clavier MIDI était enfoncée et relâchée.

Les sept capteurs générant des données en continu sont évidemment ceux qui permettent d'acquérir les informations les plus pertinentes sur différents gestes de l'interprète. Le système de capteur d'ultrasons, intégré à l'interface, permet de mesurer la distance entre un émetteur et un récepteur. Ceux-ci sont placés respectivement à un point fixe devant la flûtiste et sur le pied de la flûte. En calculant le temps que l'ultrason émis met à rejoindre le récepteur, l'interface évalue constamment la distance entre les deux composantes.

13. Verfaillie *et al.*, 2010.

14. Cette interface a été développée par Joe Scherpenisse et Alex van den Broek à l'Institut de Sonologie du Conservatoire de La Haye. Elle offre 32 entrées analogiques et 12 entrées numériques, ainsi qu'un système d'émission et de capture d'ultrasons intégré. Les variations de voltage des capteurs sont transformées en données MIDI par l'interface.

15. Cette limitation de 0 à 127 est due au protocole MIDI, créé en 1983, dont l'encodage numérique en 8-bits (1 octet) peut transmettre un maximum de 128 valeurs différentes.

16. On parle d'inclinaison, lorsque la flûtiste monte ou descend le pied de la flûte à l'aide de ses bras, tout en conservant l'embouchure en place. Elle effectuera une rotation vers l'intérieur en tournant les clés de la flûte vers elle-même (l'embouchure sera alors plus couverte que lors du jeu régulier) et une rotation vers l'extérieur, en tournant les clés de la flûte vers le public (l'embouchure sera alors découverte).

17. Notez que la flûte-MIDI de l'Ircam mentionnée plus tôt utilisait une technologie semblable, mais qui captait seulement le fait que la clé soit ouverte ou fermée, et non son mouvement continu.

Le geste ancillaire de balancement de la flûte de l'avant à l'arrière est ainsi capté. L'accéléromètre à deux axes capte de façon continue l'inclinaison de l'instrument ainsi que sa rotation¹⁶. L'inclinaison n'a aucun effet sur la production du son et relève donc d'un geste ancillaire, équivalent au balancement capté par l'ultrason. La rotation est reliée à des variations de la position de l'embouchure. Il s'agit donc ici d'un geste effecteur de modification paramétrique. D'autres gestes effecteurs (cette fois-ci de sélection) captés par l'hyper-flûte sont le mouvement des deux leviers joués par les auriculaires. Il s'agit des leviers des clés de *sol* dièse et de *do* dièse grave de la flûte, sous lesquels des aimants sont fixés. Des capteurs de champ magnétique (*Hall effect sensors*) sont placés juste sous ces aimants, sur le corps de la flûte. Le champ magnétique étant plus ou moins fort selon la distance entre le capteur et l'aimant, on peut ainsi obtenir de façon continue les informations sur le mouvement complet de chaque levier¹⁷. Finalement, les trois autres capteurs continus sont des capteurs de pression (*FSR: Force sensitive resistor*) qui sont installés sous les points d'appui pour le maintien de la flûte en position de jeu, soit sous la jointure de l'index de la main gauche et sous les deux pouces. Ces capteurs sont très sensibles et sont constamment sollicités. La pression exercée sur chacun varie légèrement selon les doigtés joués qui modifient l'équilibre du maintien de l'instrument. Ils sont tous interreliés et indissociables des gestes de sélection des doigtés (en particulier le pouce gauche qui se trouve directement sur une clé).

FIGURE 1 Tableau des capteurs installés sur l'hyper-flûte

Capteurs	Position sur la flûte	Paramètre gestuel capté
1 capteur d'ultrasons	émetteur fixé devant la flûtiste et récepteur sur le pied de la flûte	balancement avant / arrière, déterminé par la distance entre l'émetteur fixe et la flûte (continu)
1 accéléromètre (à 2 axes)	sur le pied de la flûte	inclinaison (haut / bas) et rotation de l'instrument (continu)
2 capteurs de champ magnétique	sous les leviers des clés de <i>sol</i> dièse et <i>do</i> dièse	hauteur précise des leviers joués avec les auriculaires (continu)
3 capteurs de pression	points d'appuis du maintien de l'instrument, sous la main gauche et les deux pouces	pression de la main gauche et des deux pouces sur l'instrument (continu)
2 interrupteurs (au mercure)	joint de la tête et du corps de la flûte	inclinaison et rotation de l'instrument (discret)
4 boutons	2 près de chaque pouce	pression avec les pouces (discret)
2 boutons	près du joint de la tête et du corps de la flûte	pression (discret)

Les capteurs envoyant des signaux discrets ont des fonctions plus limitées que les précédents, mais s'avèrent tout de même indispensables. Deux interrupteurs sont installés sur le joint entre la tête et le corps de la flûte. Ces interrupteurs sont activés par une goutte de mercure qui crée le contact électrique lorsque l'inclinaison de la flûte et sa rotation vers l'extérieur atteignent un certain degré. Ils captent donc des mouvements effectués sur les deux mêmes axes que l'accéléromètre, mais de façon discrète, en deux points précis d'élévation ou de rotation. Finalement, six boutons sont installés à différents endroits sur la flûte. Près de chaque pouce se trouvent deux boutons qui peuvent être facilement pressés en jouant. Deux autres boutons se trouvent près du joint entre la tête et le corps de l'instrument, par conséquent une des deux mains doit se déplacer de sa position normale de jeu pour les atteindre. Ces boutons ne servent donc pas à capter un geste instrumental, mais ont plutôt une fonction de contrôleur afin de communiquer avec l'ordinateur à des moments précis choisis par l'interprète.

Stratégies de mappage¹⁸

L'élément clé de l'interaction musicale se trouve dans le choix des liens entre les gestes de l'instrumentiste et les paramètres du dispositif électronique. Le mappage consiste donc à établir une correspondance entre les données recueillies à l'aide des gestes, et les différents paramètres de traitement audio-numérique que l'on souhaite modifier en direct.

On peut facilement coupler directement les données d'un geste acquises par un capteur à un paramètre spécifique de traitement audio-numérique. En dupliquant ce processus de couplage avec tous les capteurs disponibles, l'interprète se retrouve à contrôler une multitude de paramètres sonores de façon indépendante et simultanée. Cependant, les différents gestes instrumentaux ainsi que leur interaction avec les capteurs sont tous interreliés. Pratiquement aucun geste décelé par un capteur ne peut être isolé ponctuellement sans influencer certains autres capteurs sur l'instrument, d'où la difficulté pour l'interprète de penser à ces gestes séparément.

Les travaux de recherche sur les stratégies de mappage effectués par Andy Hunt et Ross Kirk¹⁹ ont démontré que cette approche de mappage direct se traduit par une grande difficulté d'apprentissage pour l'interprète et que les limitations expressives de ce procédé sont perçues assez rapidement. Cette situation exige un mode de pensée cognitive analytique, effectué de façon séquentielle, qui est inefficace dans l'exécution de tâches complexes. Les conclusions de ces études suggèrent donc l'utilisation d'un mode de pensée holistique qui permet plutôt de considérer un objet comme un tout.

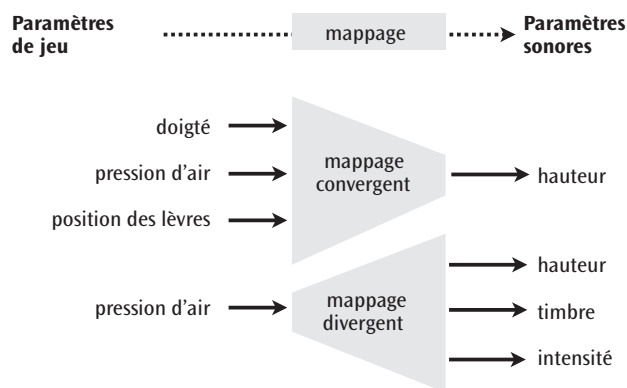
18. La majorité des auteurs francophones utilisent couramment le thème anglais *mapping*. Je préfère pour ma part utiliser le terme français « mappage » correspondant. Selon le Grand dictionnaire terminologique de l'Office québécois de la langue française, l'expression « mappage de données » est utilisée dans les domaines de l'informatique et de la comptabilité pour signifier la mise en correspondance ou la structuration des données. Il est donc tout à fait pertinent de l'utiliser dans ce contexte d'informatique musicale.

19. Hunt et Kirk, 2000.

Cette approche est reliée à la pensée spatiale, qui est beaucoup plus appropriée pour effectuer un contrôle gestuel multidimensionnel comme celui nécessaire pour jouer d'un instrument de musique. Il sera donc bénéfique de concevoir un mappage multiparamétrique, qui correspond à la gestuelle multidimensionnelle d'un musicien.

Afin de bien illustrer ce principe de mappage multiparamétrique, je vous présente ici quelques exemples liés au fonctionnement de la flûte acoustique. Comme pour la plupart des instruments à vent, plusieurs paramètres de jeu (le doigté, la pression d'air et la position des lèvres) influencent simultanément le résultat sonore de la hauteur de la note qui sera jouée. Cet exemple illustre un mappage de données convergent, c'est-à-dire que plusieurs paramètres à l'entrée du système ont une influence sur un seul résultat. À l'inverse, un seul de ces paramètres de jeu (la pression d'air) influence plusieurs paramètres sonores, soit la hauteur, le timbre et l'intensité du son. Ceci représente alors un mappage divergent.

FIGURE 2 Illustration du principe de mappage multiparamétrique



Les combinaisons de mappages convergents et divergents sont multiples et complexes lorsqu'un interprète joue d'un instrument acoustique. Le tout est intégré dans une pensée holistique, et le corps sait comment ajuster les différentes techniques de jeu automatiquement dès que l'instrumentiste décide de jouer une note ou d'en modifier le timbre. Il apparaît donc tout à fait approprié de développer des stratégies de contrôle des paramètres d'un dispositif électronique selon le même principe. Hunt et Kirk ont conclu que ce type de mappage non linéaire nécessite plus de temps d'apprentissage, mais permet un contrôle plus intime et une compétence d'opération accrue lorsqu'il est bien intégré au jeu de l'instrumentiste.

Analyse sommaire des données des capteurs dans un extrait de l'œuvre *Synesthesia 4 : Chlorophylle*

Afin d'optimiser les mappages pour l'hyper-flûte en respectant ces principes de mappage multiparamétrique, il m'est apparu pertinent de faire une analyse détaillée des données gestuelles acquises dans un contexte musical précis. Cette analyse m'a ensuite servi de guide pour les choix de mappage. L'utilisation des capteurs a ainsi été judicieusement déterminée dans le contexte musical, afin d'éviter que l'instrumentiste soit obligée d'ajouter des gestes. Cela permet une interprétation fluide et expressive puisqu'elle repose principalement sur les gestes instrumentaux qui se font déjà naturellement.

La figure 3 présente la partie instrumentale et des informations captées par l'hyper-flûte lors des quarante premières secondes de l'œuvre *Synesthesia 4 : Chlorophylle*. Sous la portée en notation traditionnelle, on retrouve la courbe d'amplitude du signal audio, puis, une représentation du contenu spectral sous forme de spectrogramme. On peut voir plus bas les courbes de variation²⁰ des sept capteurs qui envoient des signaux continus, soit les deux capteurs de champ magnétique, les trois capteurs de pression, l'accéléromètre (inclinaison et rotation) et l'ultrason. Lors de l'enregistrement des données, la flûtiste joue sa partie instrumentale sans se soucier des capteurs et aucun traitement audionumérique n'est activé (ce qui influencerait son jeu). Le but de cette analyse est justement de considérer les gestes instrumentaux intrinsèques à la partition. Les données des capteurs discrets (boutons et interrupteurs) nécessitant une activation consciente de l'instrumentiste n'ont donc pas été incluses dans cette démarche. On s'attardera ici à sommairement décrire les incidences gestuelles de cet extrait particulier, pour en dégager des informations précises ou des tendances qui ont éclairé la réalisation du mappage de la partie électroacoustique.

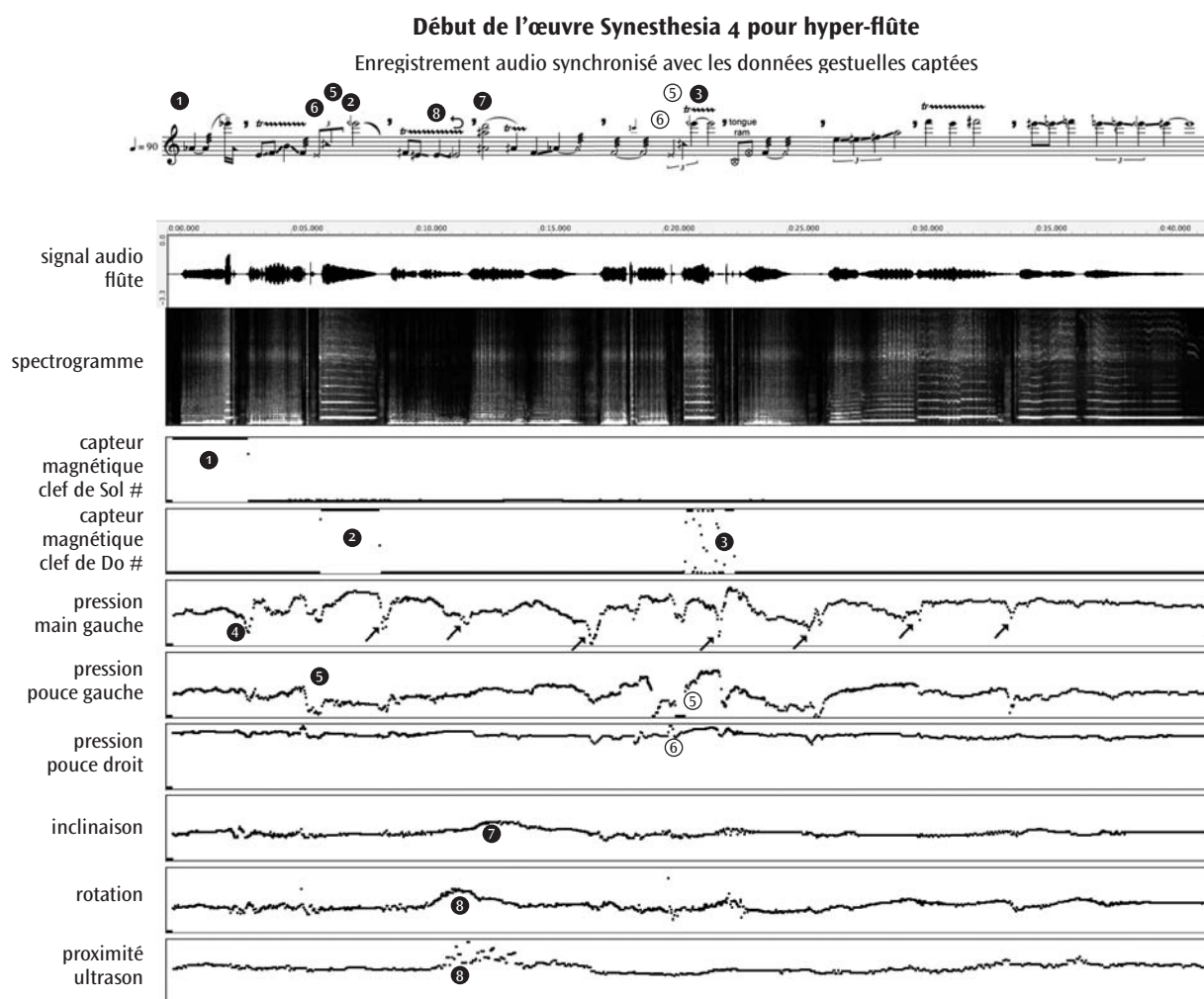
Les capteurs magnétiques se trouvent sur des leviers utilisés pour jouer des doigtés précis. Ils sont donc activés lors d'un geste de sélection de la flûtiste. Dans cet extrait, la clé de *sol* dièse est utilisée pour jouer la première intervention ❶, et revient ensuite au point zéro jusqu'à la fin (de légères oscillations près du point zéro sont dues à une vibration de la fixation du capteur sur l'instrument au moment de la capture). La clé de *do* dièse est utilisée quelques secondes plus tard pour le *mi* quart de bémol aigu ❷. Dans les deux cas, une seule donnée intermédiaire a été captée pendant la transition du levier entre le point 0. et 1., puisqu'en situation de jeu normal, l'interprète sélectionne toujours un doigté le plus rapidement possible. Mais comme ces capteurs permettent d'obtenir les informations sur le mouvement complet du levier de façon continue, on pourra volontairement ajouter des variations de

20. Les données sont recueillies en protocole MIDI (128 valeurs), ensuite tronquées (certains capteurs n'atteignant pas les limites de 0 à 127) et mises à l'échelle en chiffres décimaux de 0. à 1. afin de les enregistrer numériquement en synchronisation avec le signal audio. Les courbes affichées sur le graphique ont donc une valeur de 0. au bas des rectangles et de 1. au maximum. La vitesse de transmission des messages MIDI limite l'interface à environ 150 échantillons par seconde pour chaque capteur, mais sur l'enregistrement numérique, une donnée est enregistrée à chaque milliseconde. Les courbes ont ici été substantiellement élargies afin d'améliorer la visibilité du graphique. Celui-ci est donc une image grossière par rapport à la subtilité des données recueillies.

21. Il ne s'agit pas d'une technique de jeu standard, mais bien d'un geste effecteur modifié. J'ai développé au fil des ans la sensibilité de mes auriculaires afin de contrôler finement le mouvement de ces leviers, technique que les flûtistes ne maîtrisent pas normalement.

jeu sur ces leviers dans d'autres situations choisies²¹. On notera l'intérêt d'utiliser ces leviers pour jouer des trilles, comme c'est le cas ici, avec la clé de *do dièse* ③. Le levier bouge très rapidement, et la fréquence d'échantillonnage est limitée. On obtient donc des données aléatoires pendant la période du trille. Ces événements précis et facilement reconnaissables par le système informatique peuvent servir de points de repères pour du suivi de partition. On peut ainsi déclencher des processus de traitement audionumérique sans que l'interprète n'ait à s'en soucier.

FIGURE 3 Représentation graphique des courbes de données gestuelles en lien avec la partition



Les capteurs de pression sont très sensibles et se trouvent sous les points d'appui de l'instrument. Ils sont donc constamment sollicités. Dans l'exemple présenté, on remarque que la courbe de la pression de la main gauche suit assez précisément le profil d'amplitude du signal audio. Les pics vers le bas correspondent aux respirations, où l'interprète relâche la pression plus abruptement ④ ↗. La pression de la main gauche sert à maintenir l'embouchure bien en place sur le menton lors du jeu, et est donc relâchée lorsqu'on ouvre la bouche pour respirer. Le phrasé musical est alors discernable par la pression exercée sur l'instrument par la main gauche. Le pouce gauche suit naturellement la main gauche, donc sa courbe de pression montre des similarités. Dans cet extrait, le pouce gauche maintient toujours sa clé fermée, puisque aucune note ne nécessite l'ouverture de celle-ci. Cependant, à deux moments, tous les autres doigts de la main gauche sont relevés pour jouer des *do* quart de dièse ⑤ ⑤ (notes à tête triangulaire qui signifie un pizzicato avec la langue). Cela implique un relâchement de la pression du pouce puisqu'il n'y a plus de force opposée au-dessus de l'instrument. Sur la courbe de pression du pouce droit, on observe deux pics marqués vers le haut lors du jeu des *mi* graves en bruits de clé ⑥ ⑥ (têtes de notes en croix). Le majeur droit percute alors fortement sa clé, ce qui nécessite l'augmentation de la pression du pouce juste au-dessous.

Dans ce court extrait, la flûte doit être maintenue de façon stable pour permettre les changements rapides de technique de jeu. Il y a donc peu de place pour des balancements expressifs vers l'avant et l'arrière, ou de bas en haut. J'ai aussi développé l'habitude de ne pas bouger sans intention, car j'utilise souvent ces gestes ancillaires pour contrôler le traitement audionumérique. Sur la courbe d'inclinaison, la seule élévation significative apparaît ici lors du multiphonique ⑦. Il s'agit du seul son prolongé soutenu, sans trille ou *flutter-tongue*. Il est joué en crescendo, ce qui appelle naturellement le geste d'élévation de l'instrument. On observe aussi que l'accéléromètre est sensible aux vibrations causées par le jeu des trilles. Les courbes d'inclinaison et de rotation sont toujours légèrement perturbées par ceux-ci. L'ultrason devient très instable au moment où la flûtiste effectue une rotation interne ⑧ (la flèche dans la partition signifie qu'elle doit tourner l'embouchure vers sa bouche). L'émetteur et le récepteur d'ultrasons fonctionnent bien lorsqu'ils sont en ligne directe. En tournant l'instrument vers l'intérieur, le récepteur est dirigé vers le haut et reçoit mal les signaux de l'émetteur, ce qui provoque ces données chaotiques. On pourra évidemment tirer parti de l'effet causé par cet incident technique. Sur le plan de la rotation, on remarque les variations de

la courbe lors du jeu des *pizzicati* et des *tongue rams* (pour lesquels la flûtiste change de position d'embouchure), et parfois lors des respirations.

Ces observations sur les données gestuelles captées par le système informatique, quoique très sommaires dans ce contexte, permettent déjà d'entrevoir la richesse des applications possibles pour interagir avec la partie électroacoustique de l'œuvre. Il est évident qu'un tel système permet, entre autres, de bien synchroniser la partie électroacoustique de l'œuvre, sans que l'interprète n'ait à s'en soucier.

Dans cet extrait de la pièce *Synesthesia 4: Chlorophylle*, les événements précis, comme le mouvement des leviers de *sol* et *do* dièses servent de déclencheur pour des trames électroacoustiques de synthèse granulaire. Les paramètres de durée, d'amplitude et de transposition des grains varient en fonction des courbes de pression et des positions captées par l'inclinomètre et l'ultrason. Les données plus aléatoires dues à la déviation de l'ultrason ou des trilles modifient certains paramètres de façon relativement imprévisible, ce qui permet de donner une certaine vivacité à la partie électroacoustique. Le mappage multiparamétrique, incluant ainsi certaines données instables, rend difficile la décision de modifier un paramètre précis de la synthèse. Cependant, au fil des répétitions avec le système, j'entends de mieux en mieux quel effet global mes différents gestes peuvent apporter, et je peux ainsi, dans une certaine mesure, contrôler globalement cette synthèse sonore dans une conception holistique.

Plus loin dans la partition, des changements d'inclinaison ou de proximité seront nécessaires à des moments où la musique laisse place à ces gestes, et où je peux consciemment contrôler ces mouvements de façon expressive pour interagir avec la partie électroacoustique. Dans une œuvre interactive comme celle-ci, on tente toutefois toujours de faire en sorte que l'ordinateur réponde à l'interprète et que celle-ci réagisse au résultat sonore. Des algorithmes aléatoires vont ainsi parfois diriger les paramètres de la partie électroacoustique, tout en étant restreints par certains gestes de l'instrumentiste. Les parties instrumentale et électronique peuvent ainsi être intimement liées et interagir l'une sur l'autre.

Conclusion

Avec l'utilisation des technologies informatiques, les défis de synchronisation des composantes instrumentale et électroacoustique des musiques mixtes ne se limitent plus à la question temporelle, mais les défis compositionnels, esthétiques et formels demeurent. Il faut toujours redéfinir les relations entre les parties acoustique et électroacoustique, mais celles-ci sont

maintenant intrinsèquement reliées, et non plaquées l'une sur l'autre, ce qui complexifie encore le processus. En y incorporant l'interactivité, les concepts de fusion / opposition, similarité / différence, équilibre / déséquilibre, simultanéité / succession, prennent de nouvelles dimensions, et demandent le développement de stratégies compositionnelles et interprétatives renouvelées. Cependant, le système informatique interagit avec l'interprète selon les fonctions qui lui ont été attribuées lors de sa conception/programmation. L'interaction, tout comme l'œuvre, relève donc d'une écriture compositionnelle mettant en relation l'interprète et la machine, et c'est ainsi, comme le définissait Chadabe, que « la musique prend forme à travers cette relation interactive d'influence mutuelle ».

BIBLIOGRAPHIE

- BASSINGTHWAIGHTE, Sarah Louise (2002), « Electroacoustic music for flute », Thèse de doctorat, University of Washington.
- CADOZ, Claude et WANDERLEY, Marcelo M. (2000), « Gesture – music », in Marcelo M. Wanderley et Marc Battier (dir.), *Trends in Gestural Control of Music*, Paris, Ircam-Centre Pompidou, p. 71-94.
- CADOZ, Claude (1999), « Musique, geste, technologie », in Hugues Genevois et R. de Vivo (dir.), *Les nouveaux gestes de la musique*, Marseille, Parenthèses, p. 47-92.
- CHADABE, Joel (1984) « Interactive composing: An overview », *Computer Music Journal*, vol. 8, n° 1, MIT Press, p. 22-27.
- DELALANDE, François (1988), « Le Geste, outil d'analyse: quelques enseignements d'une recherche sur la gestique de Glenn Gould », *La revue Analyse Musicale*, n° 10, p. 43-46.
- HUNT, Andy et KIRK, Ross (2000), « Mapping strategies for musical performance », in Marcelo M. Wanderley et Marc Battier (dir.), *Trends in Gestural Control of Music*, Paris, Ircam-Centre Pompidou, p. 231-258.
- IMPETT, Jonathan (1998), « The identification and transposition of authentic instruments: Musical practice and technology », *Leonardo Music Journal*, vol. 8, p. 21-26.
- MACHOVER, Tod (1992), « Hyperinstruments: A progress report 1987-1991 », MIT Media Laboratory, Massachusetts Institute of Technology.
- MACHOVER, Tod et CHUNG, Joe (1989), « Hyperinstruments: musically intelligent and interactive performance and creativity systems », in *Proceedings of the International Computer Music Conference*, Ohio State University, p. 186-190.
- PALACIO-QUINTIN, Cléo (2008), « Eight years of practice on the hyper-flute: Technological and musical perspectives », in *Proceedings of the Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Gènes, p. 293-296.
- PALACIO-QUINTIN, Cléo et ZADEL, Mark (2008), « Interactive composition and improvisation on the hyper-flute », in *Proceedings of the International Computer Music Conference*, Belfast, p. 563-566.
- PALACIO-QUINTIN, Cléo (2003), « The hyper-flute », in *Proceedings of the Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Montréal, p. 206-207.
- VERFAILLE, Vincent, DEPALLE, Philippe et WANDERLEY, Marcelo M. (2010), « Detecting overblown flute fingerings from the residual noise spectrum », *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 127, n° 1, p. 534-541.

WANDERLEY, Marcelo M. et DEPALLE, Philippe (1999), « Contrôle gestuel de la synthèse sonore »,
in Hugues Vinet et François Delalande (dir.), *Interfaces homme-machine et création musicale*,
Paris, HERMES Science Publications, p. 145-163.

WANDERLEY, Marcelo M. *et al.* (2005), « The musical significance of clarinetists' ancillary gestures:
An exploration of the field », *Journal of New Music Research*, vol. 34, n° 1, p. 97-113.