

# Éléments de technique et de langage pour l'interprétation et la composition avec l'instrument de musique numérique Karlax

## Elements of technique and language for performing and composing with the digital musical instrument Karlax

Benjamin Lavastre<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IDMIL, CIRMMT, Université McGill, Montréal, benjamin.lavastre@hotmail.fr

**RÉSUMÉ.** Cet article présente des éléments de techniques et de langage concernant la composition et l'interprétation avec l'instrument de musique numérique (IMN) Karlax. Développé au début des années 2010, cette interface a été louée pour ses qualités de conceptions et s'appuie sur une communauté de compositeurs.rices et interprètes active et un répertoire important. Ainsi, le Karlax constitue un candidat idéal pour aborder une seconde phase d'approfondissement avec un IMN. Jouer du Karlax ou composer pour cet instrument requiert un ensemble de techniques et amène à reconsidérer la place des instruments dans les pratiques musicales. Dans ce sens, l'article propose un examen détaillé de l'interface, commente des techniques spécifiques à partir d'exemples concrets et définit un cadre de réflexion à la fois philosophique et esthétique basé autour des problématiques relatives à la définition d'une identité instrumentale, de la place du geste, des stratégies d'interactions ou encore de la perception.

**ABSTRACT.** This article presents elements of technique and language for composing and performing with the Karlax digital musical instrument (DMI). Developed in the early 2010s, this interface is supported by an active community of composers/performers and an extensive repertoire. In this sense, the Karlax is an ideal candidate for a second phase of development with a DMI. Playing the Karlax or composing for this instrument requires a range of techniques and leads us to reconsider the place of instruments in the musical practices. To this end, the article offers a detailed examination of the interface, details different types of technique for composition and interpretation based on concrete examples, and proposes a philosophical and aesthetic framework, based on the main issues of sonic identity, the sound-gesture relationship, the interaction strategies and the perception.

**MOTS-CLÉS.** Composition électroacoustique, Instruments de musiques numériques (IMN), Interaction homme-machine, Gestes, Musique Mixte.

**KEYWORDS.** Electroacoustic composition, Digital musical instruments (DMIs), Human-computer interaction (HCI), Gestures, Mixed Music.

### Notes de l'éditeur :

*C'est en s'inspirant de la structure du temps dans les œuvres musicales que le mathématicien Alexandre Grothendieck conçut, en Géométrie-Algèbrique, la notion de Motif [MAZ 07]. Si l'effort du compositeur et le geste de l'interprète sont par essence dissipatifs donc entropiques, en véhiculant une information et une émotion collective, en donnant corps à une culture et un sens social à une technique, le couplage de la composition et de sa représentation est pour sa part Anti-Entropique. Les Motifs de Grothendieck sont une des formalisations de cette Anti-Entropie. Le Topos musical est son lieu de réalisation. Quelle que soit la complexité des jeux de voisinages, des treillis d'ouverts, l'espace des représentations mentales que construit le Sujet confronté à l'Objet musical est alors nécessairement créatif. La géométrie des motifs fonde une logique inscrite dans un langage [JED 11]. Ce dernier est non commutatif, discret et spectral pourtant ce temps s'y coule néanmoins continument.*

*Il y a là un mystère qui exige qu'il existe en musique un pont entre l'univers discret de la partition et le monde continu de nos sensations.*

*L'article qui suit concerne le Karlox, une avancée technologique parmi les plus récentes en matière de lutherie et de composition musicale info-électroacoustique. Cet instrument fait techniquement du geste un modulateur de notes et le nerf d'un langage qui étend explicitement le récit musical à la dualité continus et discrets de l'Espace-Temps musical. Il s'agit d'une extension du Topos motivique traditionnel. Au-delà de son corps numérique et de l'extension intuitionniste de sa logique, le Karlox conduit à interroger nos catégories de pensées à leurs limites diagrammatiques [JED11]. Il conduit aussi à interroger la puissance heuristique du langage dans la dualité qu'il impose au Sujet face à la contingence de réel et à la liberté du virtuel. En dépit de son apparence marginale cet article s'inscrit profondément dans la perspective Géométrico-Algébrique la plus avancée du projet Lîla-Entropie : le sens du beau dans notre rapport au monde [MOA90], [MAZ07], [BER25] [BRU25]*

*La contribution de Benjamin Lavastre s'inscrit implicitement dans la perspective tracée par les articles déjà publiés sous le thème générique : ordonnancement de la fonction zêta de Riemann (plus généralement des fonctions L) comme ombilic des mathématiques et de la physique des systèmes complexes. Il correspond à une incise dans la publication à paraître sous le titre A Propos de l'Entropie et de l'Anti Entropie , publication qui permettra de découvrir ce que peut recouvrir la notion de Motif pour un physicien. Ces articles mettent en effet en exergue la nécessité de penser, la succession de l'antérieur au postérieur aristotélien très différemment de ce que nous imposent la tradition et l'intuition arithmétique élémentaire (soit encore le temps newtonien), en particulier lorsqu'on est confronté à la représentation de systèmes dynamiques caractérisés par des attracteurs étranges multiples en lieu et place d'états d'équilibres. On voit ici ce que peuvent apporter des concepts venant de la musique électro-acoustique ou non.*

*On rappelle que la tradition et l'intuition newtonienne imposent à la physique traditionnelle la prééminence de la notion d'énergie (donc implicitement le concept de vitesse) sur la notion d'information. L'énergie est un invariant Noethérien associé à des symétries standards (i.e. abéliennes) de l'Espace-Temps (invariance des lois physiques par rapport à l'origine des mesures et par rapport aux orientations dans l'espace). Dans le contexte habituel l'Espace et le Temps sont liés linéairement d'où l'importance de la notion de vitesse...qui disparaît si les systèmes continus et évidemment leurs homologues discrets, sont non dérivables. Introduits par la fonction zêta -par construction fonction automorphe et récursive-, les ordonnancements dynamiques nouveaux qui s'y trouvent associés, conduisent à des temporalités fondamentalement différentes des temporalités newtoniennes. Celles-ci sont à minima 2D, donc de représentations complexes. Sans être strictement chaotiques, elles sont non-commutatives et sensibles aux conditions initiales, toutes propriétés dont témoigne techniquement entre autres, le langage musical. Ces caractéristiques sont évidemment très éloignées des paradigmes imposés aux lois physiques élémentaires (causalité, stabilité des frontières, réversibilité du temps, objectivité et mise à l'écart du sujet, etc). A contrario les temporalités associées à la fonction zêta sont multiples, intriquées et nouées (l'homologie et l'homotopie entrent en jeu). Elles répondent à des corrélations à longues distances susceptibles d'être représentées par des motifs [ALM26] topologiquement stratifiées (fibration). La superposition est l'état et la modulation transition. Ces corrélations sont par construction non seulement multiples mais également pour partie, implicites. Le réel et le virtuel forment des chaînes complexes sur l'Espace-Temps dont témoignent les attracteurs dynamiques. La dualité attache alors à la relation Espace-Temps, des non-linéarités irréductibles, une arithmétique non archimédiennes, une géométrie non euclidienne, une logique*

intuitionniste et de tiers inclus. Nous avons affirmé ailleurs [ALM26] que la géométrie attachée à l'Espace-Temps courbé par de telles non linéarités est analogue à celle qui régit tout œuvre musicale. Plus précisément en inversant les grandeurs en jeu dans la dualité, donc en définissant les norme adéquates (en pratique il en faut deux dans le cas général), l'Espace-Temps cède la place à un espace dit Echelle-Fréquence mieux adapté aux problématiques récursives qui caractérisent les dynamiques complexes et par projection, pour les œuvres musicales, leurs dimensions expressives : ce que l'on appelle le style du compositeur [MOA90].

Comme le montre l'ouvrage de Franck Jedrzejewski à propos des Hétérotopies Musicales [JEF19], la composition artistique est évidemment infiniment plus complexe et plus subtile que l'approche physico-mathématique d'une fonction, fut-elle analytique et automorphe car la question du lien entre le Motif et l'automorphisme n'est à ce jour pas encore assuré [ALM26]. Toutefois, comme le montrent aussi les articles du projet Lîla Entropie, les mathématiques ne nous invitent pas seulement « à penser dans leurs formes topologiques l'intelligence des objets musicaux », mais à comprendre que cette intelligence nous donne de superbes pistes d'exploration pour introduire, en physique, des concepts dont se servent les compositeurs. On rappelle que ces mêmes concepts ont également servi les philosophes grecs. Ils surent distinguer le Chronos, du Kairos et de l'Aion. Les problématiques ouvertes par l'usage du Karlux que l'on explorera ci-dessous, sont à cet égard d'une grande portée prospective car, à l'exemple de la fonction zêta et de ses relations fonctorielles et fonctionnelles (ces dernières assurant l'identité globale de l'objet mathématique et de ses symétries modulaires), cette usage permet de combiner le monde discret de l'analyse spectrale instrumentale, le monde continu de la cinématique (geste, mouvement et séries continues) et le monde du silence toujours habitée par une mobilité. Comme le montrent Bergson, Jung, Deleuze, Adorno, entre autres, mais aussi les spécialistes de Mécanique Quantique, le hors temps, comme vide adhérent au réel, n'est jamais néant mais complément voire ombilic virtuel [CHA16]. Le public aura, nous l'espérons, très bientôt accès à la note de Benjamin Lavraste [LAB 24b] intitulée : « Le Kammerkonzert de G. Ligeti à la lumière de l'article « ... wie die Zeit vergeht... » de K Stockhausen, dans laquelle, distinguant le temps lisse et le temps strié, le compositeur détaille à la lumière des analyses citées, ce qu'est la temporalité musicale à la jonction entre la physique des systèmes récursifs (grandeurs logarithmiques : suites, séries, stratification, fibration, agrégation, scaling, floutage, filtration, texturation, etc), la théorie de l'information et celle du chaos.

Plus avant selon K. Stockhausen le temps musical met en œuvre 4-5 dimensions (durée, tempi rythme et hauteur auxquels il ajoute la spatialisation). Certaines de ces dimensions étant couplées nous avançons que l'œuvre musicale, dont la fonction est de sculpter le temps, est, à minima, duale car immergée dans un champ de possibilités infinies caractérisé par des frontières floues et instables (hyperboliques). Tel est au moins ce que formalise trop simplement en physique les propriétés de la fonction zêta (les fonctions L ajoutant un degré de liberté supplémentaire). Au-delà du compositeur, fut elle arithmétique, il n'est pas indifférent que cette fonction soit fondée sur une partition. Face à la composition formelle et discrète précisément inscrite sur une partition (représentation par une écriture dans un langage donné à 2-3 dimensions minimum) la dualité est incarnée par l'interprétation. Elle conduit à l'immersion de l'œuvre dans le monde réel et dans la topologie propre à l'interprète. Cette immersion permet de saisir l'existence matérielle et la structuration du temps discret dans une marge dynamique relevant du continu : celle du geste et du mouvement. A propos de l'usage du Karlux Benjamin Lavraste met cette problématique en question en particulier dans le paragraphe 4.2. La composition peut, selon lui, être conçue comme une série de couches temporelles évoluant à différentes vitesses ; une problématique de dualité et de fibration dont la structure interne de la fonction zêta

*(pont entre le monde discret de l'arithmétique et le monde continu de l'analyse, ou encore clé d'entrée en géométrie algébrique) fournit non la compréhension (trop simpliste) mais les pistes de formalisations.*

*Pour clore cette introduction nous affirmerons donc qu'un objet musicale, comme tout objet dynamique et un objet répondant à des symétries modulaires donnant lieu à une arithmétique singulière sur un espace-temps courbé (le plus simple étant hyperbolique et/ou elliptique mathématiquement caractérisé par la fonction zêta ou des fonctions L), répondant peu ou prou à des corrélations à longues distances et/ou intrications qui définissent le style du compositeur (donc de ses œuvres, de ses filtres et ultrafiltres, de ses motifs et ses groupes d'automorphismes préférés, etc) lui-même filtré par l'interprète. En cela, la composition musicale semble illustrer implicitement un programme de Langlands [ALM26]. Nous demandons donc au lecteur scientifique d'aborder les travaux de Benjamin Lavraste en partant des liens suggérés ci-avant. On trouvera dans le texte quelques remarques mathématiques permettant, au fil de la lecture, de faire le lien avec le contenu du projet Lîla -Entropie, ainsi que quelques notes de bas de pages, notées « n.e. » de la main de l'éditeur, ayant le même objet.*

## 1. Introduction

Une des différences principales entre les instruments de musiques numériques et les instruments acoustiques est la relation son-geste. Pour les instruments acoustiques, cette relation est donnée par les comportements physiques de structures vibrantes (par exemple des cordes, des membranes, des anches ou des colonnes d'air, etc.). Ces structures vibrent de manière propre à partir des propriétés des matériaux. En d'autres termes, même si les cordes, anches et membranes observent des modèles de vibrations complexes, ces structures ne peuvent vibrer que d'un nombre de façon *limité* par une certaine arithmétique [JEF 19]. Par exemple un tambour quelle que soit sa forme ne peut vibrer que de manière discrète (n.e.). Les gestes de l'interprète et les sons qui en résultent sont cependant inextricablement liés par des lois physiques dont l'expression est majoritairement continue et fonction d'un paramètre appelé le temps (n.e.). Les instruments de musique numériques (IMN ou DMI en anglais), sont composés quant à eux d'une interface connectée à un appareil générateur de son (par exemple un ordinateur et des haut-parleurs), les deux étant reliés par des applications (mappage) ou plus généralement des morphismes définissant la relation entre les gestes de l'interprète et les sons résultants [MIR 06]. Pour les IMN, l'algorithme générateur de son détermine les « vibrations » que l'instrument produit. Aussi, la relation son-geste est défini de manière arbitraire par les concepteur.rices de l'instrument, les compositeur.rices ou les interprètes. Il n'y a pas de connection inhérente entre les actions de l'interprète et le son résultant, ce qui définit un nombre *illimité* de possibilités d'associations sons-gestes. Les compositeur.rices et les interprètes d'un IMN doivent *mettre en scène* le résultat sonore souhaité. Ce faisant ils se proposent de créer en s'appuyant, comme dans toute composition musicale, sur l'ambiguïté que représente la dualité discret/continu dont le projet Lîla Entropie est le véhicule cognitif dans lequel s'inscrit le présent article (n.e.).

Après plus de 50 ans d'expérience avec les IMN et l'apparition des premiers prototypes concluants notamment l'instrument The Hands de Michel Waisvisz développé dans le milieu des années 1980 [TOR 16], les principales problématiques concernant la conception, la composition et l'interprétation autour des instruments numériques ont été identifiées. Premièrement le design et la conception de ces instruments doivent répondre à certaines exigences comme la robustesse, la stabilité, la précision, la reproductibilité et une réponse rapide (peu de latence) [MED 14]. Ces qualités de conception doivent permettre non seulement une bonne qualité de contrôle mais aussi une virtuosité instrumentale [DOB 06]. Par ailleurs, l'accès aux IMN est relativement restreint avec peu d'instruments qui dépassent le stade du prototype [MOR 18]. La plupart des IMN ont des difficultés à s'établir dans la durée [MOR 17] [MAR 18] et sont joués le plus souvent par un seul et même interprète [FER 10]. Par conséquent, il

est difficile de définir, pour un instrument donné, des habitus d'interprétation, de composition et d'écoute nécessaire à son évolution.

Ainsi, il est nécessaire de construire *une communauté créative* autour d'IMN qui ont fait leur preuve [FUK 21] [MAS 23]. De plus, cette communauté doit pouvoir s'appuyer sur des éléments de technique et de langage commun, un répertoire varié et exigeant de pièces et études explorant différentes facettes expressives et des outils facilitant l'interprétation et la composition [MCP 12] [BUT 08] [MAR 20] [REI 23]. Le choix de l'instrument doit tenir compte par ailleurs de la possibilité de réparations en cas de problèmes techniques (renouvellements de pièces usagées, remplacements des capteurs, etc.). Aussi, les stratégies de composition doivent anticiper les problématiques liées à l'obsolescence des environnements informatiques abritant la programmation, le mapping et la synthèse sonore. Un environnement informatique s'appuyant sur des programmes « durables » ainsi qu'une documentation complète et détaillée permettra de reproduire les pièces plus facilement et pérenniser les pratiques d'interprétation [BER 12] [MOR 24]. Cet article propose de se concentrer sur un IMN qui réunit un grand nombre des pré-requis précédemment cités : le Karlox.

### 1.1. Le Karlox, un candidat intéressant

Ce contrôleur MIDI développé au début des années 2010 s'appuie sur une communauté active de compositeur.trices, interprètes et programmeur.euses et un répertoire de plus d'une cinquantaine de créations, de pièces solo à des pièces concertantes en passant par des pièces de musique de chambre avec électronique. Dans la littérature, il est décrit comme « s'adaptant au corps d'une manière unique et constante, ce qui pourrait insuffler une pédagogie de la pratique et, avec le temps, développer une littérature idiomatique » [PAI 15]. Sa « capacité à détecter des gestes aussi bien subtils que larges, un contrôle continu ou basé sur des événements, sa faible latence et sa large bande passante, sa fiabilité, sa portabilité » ainsi que son système sans fil ont été loués [MAY 14]. Des systèmes de notation originaux ont été proposés [MAY 14] [STE 16], ainsi que des éléments d'analyse en terme de composition, d'interprétation et de perception [LAV 21] [LAV 23] [LAV 24a] [MOR 24]. D'autre part, des outils spécifiques facilitent les étapes de mapping et de conditionnements de données numériques comme les bibliothèques TapeMovie [MAY 10], Digital Orchestra Toolbox [MAL 18] ou Libmapper [MAL 13].

Malgré une communauté active et des outils spécifiques, les pratiques musicales avec le Karlox restent hautement individualisées sans réel effort de synthèse. Alors comment développer une nouvelle phase créative coordonnée autour de cet instrument ? De nombreuses questions émergent quant au langage et aux techniques communes : comment décrire la variété de pratiques liées aux stratégies de synthèses sonores ? de traitements des données ? de mapping ? Aussi, quelles situations de jeu ? quel environnement logiciel ? quelles techniques mettre en oeuvre ? quels types de difficultés va-t-on rencontrer ? Quelles techniques de composition devra-t-on affronter ? ou encore quels types d'interactions avec d'autres instruments ?

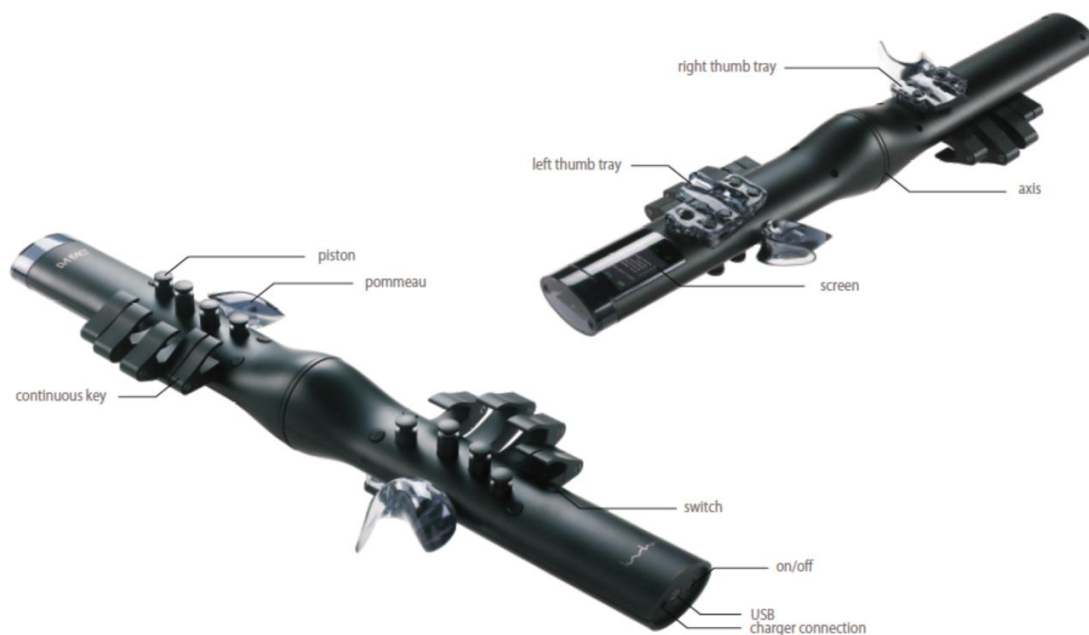
Dans un premier temps, l'article décrit de manière détaillée l'interface, ses capteurs et leurs utilisations. Il définit les techniques liées aux configurations matérielles de départ, à l'élargissement du vocabulaire gestuel par le conditionnement des données émises par le Karlox. Il revient sur différentes stratégies de mapping, de types de synthèses sonores, traitements temps réel c'est-à-dire continu, spatialisé, de structure de patches donc leur géométrisation, ou encore de notation donc sa discrétisation, son pavage (n.e.). Plusieurs techniques de jeux et de composition sont illustrées par des exemples musicaux extraits du répertoire, notamment le cycle de compositions *Instrumental Interaction I-V* (Lavastre & Gatinet 2020-2025). Enfin, l'article aborde les concepts de composition inspirés par l'utilisation d'IMN et du Karlox en particulier comme la mise en évidence d'une écriture paramétrique dans la structure formelle, l'inspiration des comportements des données et de leur conditionnement dans la formation de figures et processus musicaux, la place du geste à la fois physique et continu mais aussi musical c'est-à-dire structuré par des corrélations multiéchelles (n.e.),

les stratégies d'interactions avec d'autres instruments ou encore les principes de perception donc de rétroactions (n.e.) comme contraintes créatives.

Ce texte s'appuie sur près de cinq ans d'expérience en composition, interprétation, recherche/analyse et pédagogie avec le Karlax. Les rencontres avec le concepteur Rémi Dury, une première génération de compositeur.rices et interprètes : Tom Mays, D. A. Stewart, Francis Faber, Laurence Bouckaert, Hervé Diasnas, Garth Paine, Lorenzo Bianchi, Michele Tadini, Raphaël-Tristan Jouaville, Daniel Figols, Zachary Hale, Léo Collin, puis une deuxième génération : Huizi Wang, David Brongo, Yulin Yan, Brice Gatinet, Iulia Farcutiu, Axel Bridger, Samuel Fecteau, Alexis Moisan, David Desrosiers, ont été déterminantes dans mon approche et le développement de ces éléments de technique et de langage pour la composition et l'interprétation avec le Karlax.

## 2. Le contrôleur Karlax

Le Karlax est une interface que l'on tient à deux mains dont les principaux capteurs sont dix clés continues, huit pistons donnant des indications de vélocité, une centrale inertielle avec trois axes d'accéléromètres et de gyroscopes. Il présente également un axe rotatif en son centre, un degré de liberté exploré par Perry Cook [COO 17]. Sa conception a été pensée pour garantir un contrôle raffiné « du bout des doigts » avec les pistons et les clés, à des gestes plus larges avec l'axe puis la centrale inertielle [DUR 25]. Ainsi, à partir de gestes simples, le Karlax permet de générer une grande quantité de données de contrôle. De manière générale, lorsqu'on évoque l'instrument Karlax, par exemple dans une composition, on fait référence à l'association : interface + mapping + synthèse sonore<sup>1</sup>. Par ailleurs, son principe de connexion sans fil consiste en une émission de données MIDI via des fréquences radio reçues par un boîtier branché à un ordinateur.



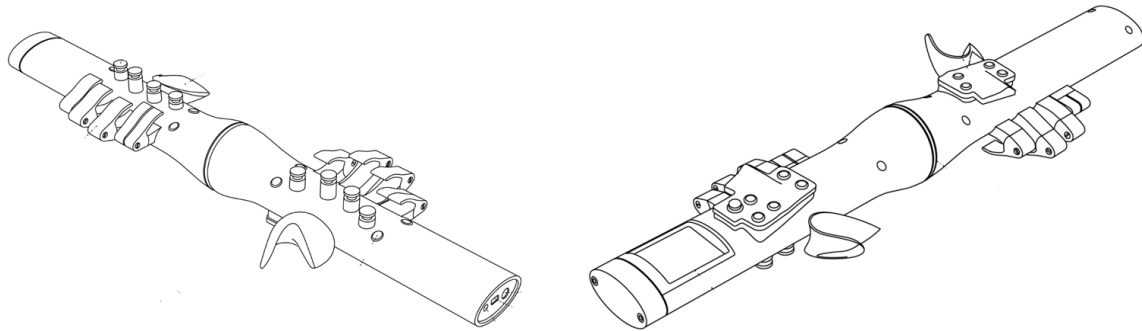
**Figure 1.** Photos du devant et de l'arrière du Karlax

### 2.1. Description générale

Le Karlax a la forme d'un cylindre aplati de 51,7 cm de long avec une base ovale de 5,5 cm de long et 3 cm de large et pèse environ 1,1 kg (Figure 1). Composé de deux parties presque symétriques, il présente en son centre un renflement qui abrite l'axe de rotation permettant de faire pivoter la partie

<sup>1</sup> Le Karlax est donc un instrument susceptible de faire émerger une réalité sonore et à minima de modifier la structure ondulatoire d'un environnement. Il pose donc à un niveau inégalé le même type de questions que la notion de mesure en mécanique quantique (n.e.).

supérieure et la partie inférieure dans des directions opposées. Sur la face avant, trois types de contrôleurs sont intégrés : les pistons, les touches ou clés continues et des boutons qui sont placés autour des pistons et des touches sur chaque partie (Figure 2). La face arrière du Karlax comporte deux plateaux où reposent les pouces de chaque main. Chaque plateau contient plusieurs boutons. Le plateau de la partie supérieure contient les boutons qui permettent d'activer la centrale inertielle et un joystick permettant de naviguer dans l'écran d'affichage de type LCD.



**Figure 2.** Dessins de l'avant et l'arrière du Karlax

## 2.2. Prise en main

Le poids et le corps en aluminium du Karlax lui donne un aspect consistant. Les poignées installées de part et d'autre du Karlax épousent la peau entre le pouce et l'index de chaque main et permettent de le soutenir avec sécurité (Figure 3). Les poignées sont ajustables. Cependant, tel qu'il est conçu, le Karlax convient mieux pour de grandes mains. Une fois que les mains sont placées dans les poignées, les doigts s'alignent naturellement au dessus des pistons et des clés. Il est alors possible de tourner l'axe central par les mouvements de flexion ou d'extension des poignets.

Le Karlax peut se jouer assis ou debout. Dans la position standard, les poignées qui épousent la main permettent une grande liberté ergonomique et d'effectuer des mouvements assez larges. On trouve cependant des prises originales hors des poignées comme par exemple dans la pièce *Ritual* joué par D. Andrew Stewart où le Karlax est maintenu par le centre (<https://vimeo.com/150503805>). Il est alors plus difficile d'actionner les clés, pistons et de tourner l'axe.



**Figure 3.** Poignée et prise en main du Karlax

## 2.3. Les capteurs

Les capteurs du Karlax sont les pistons, les clés continues, l'axe rotatif et la centrale inertielle, ainsi que les boutons et le mini-joystick.

### 2.3.1. Les pistons

Il y a huit pistons de vélocité, quatre pistons pour chaque main, associés à l'index, le majeur, l'annulaire et l'auriculaire. Le piston associé à l'index est un peu excentré par rapport aux autres, ce qui permet une meilleure action de l'index. Le piston associé à l'annulaire est plus haut, celui pour le petit doigt est plus petit. La surface de la tête de chaque piston est arrondie et lisse, ce qui permet une bonne prise avec la pulpe du doigt. Leur diamètre est de 1,2 cm. Chaque piston a deux positions stables : lorsqu'il est en repos et lorsqu'il est appuyé. La course pour chaque piston, soit la distance parcourue entre les deux positions est de 3 mm. Une fois que le piston est relâché, un ressort lui permet de revenir à sa position de repos. L'activation d'un piston émet des bruits lorsque la tête du piston rencontre la base et lorsque le piston revient à sa position de repos. Ce qui peut être significatif dépendant du contexte de jeu.

À l'image d'un clavier MIDI, lorsque le piston est appuyé une indication de vélocité de type MIDI est envoyée (entre 0 et 127)<sup>2</sup>. Si le doigt maintient la pression sur le piston, la valeur demeure constante. Quand la pression est retirée, la valeur n'est plus reconnue et revient à 0. Avec de la pratique, il est possible d'obtenir des valeurs de vélocité par zone de manière assez précise.

Les capteurs utilisés pour les pistons sont des capteurs à effet Hall [RAM 06]. Un aimant est fixé à l'extrémité du piston (Figure 4). Une puce installée sur la carte électronique à l'intérieur du Karlux reconnaît la distance et la vitesse de l'aimant. Cette technologie électromagnétique évite toutes usures de type mécanique.

### 2.3.2. Les clés

On trouve dix clés continues, cinq pour chaque main correspondant aux doigts : index, majeur, annulaire et auriculaire. L'auriculaire peut activer deux clés continues. Comme pour les pistons, chaque clé est conçue de manière différente chaque doigt favorisant ainsi la prise. En effet, la clé correspondant au majeur est relevée, celle pour l'index et l'auriculaire sont avancées. Les clés associées à l'auriculaire sont conçues pour être jouées de manière indépendante ou ensemble à l'image des clés ré# et do du grave du saxophone. Chaque clé fonctionne comme un levier avec un angle de rotation d'environ 30 degrés et une course de 12 mm. Lorsque la clé est relâchée, elle revient à sa position de repos grâce à un ressort. Les clés correspondant aux doigts index, majeur et annulaire ont une dimension de 1,5 cm de large et de 4 cm de long. Les clés correspondant aux auriculaires mesurent 1 cm de large et 3,7 cm de long. La surface de chaque clé forme une légère bosse qui favorise la prise.

Les clés envoient des données de type MIDI de manière continue. Les capteurs à effet Hall mesurent la distance entre l'aimant et la puce installée dans l'articulation de la clé. Le ressort offre une résistance suffisante. Il est cependant difficile de maintenir une position intermédiaire comme cela est discuté dans [MAY 14].

La position des pistons alignée sur celle des clés permet de jouer un piston et activer la clé correspondante avec un seul doigt (Figure 4). Lorsque la main est insérée dans la poignée et que le doigt est étendu, le piston peut être pressé par la connexion entre les deux premières phalanges alors que la pulpe du doigt repose sur la bosse de la clé (Figure 4). Même si la poignée est ajustable, il est préférable d'avoir des mains assez grandes pour effectuer ce type de geste.

---

<sup>2</sup> On voit ici intervenir la notion de vitesse qui est un marqueur de l'énergie, elle-même invariant de Noether quant à l'indifférence du point zéro en temps et en espace. Cette notion de vitesse est en fine un marqueur qui positionne implicitement la complexité de l'œuvre vis-à-vis du caractère purement erratique (chaos brownien) et purement déterministe, deux représentations utilisées comme références limites par l'intuition (n.e.).



**Figure 4.** Jeu combinée d'un piston et de la clé avec l'index de la main gauche

### 2.3.3. L'axe central et les bends

L'axe au milieu de l'instrument agit comme un potentiomètre rotatif avec un angle maximal de rotation de  $65^\circ$ . À la fin de course de chaque côté ( $0^\circ$  et  $65^\circ$ ), le Karlax offre de nouveaux capteurs apportant une rotation additionnelle de  $12,5^\circ$  avec plus de résistance : les bends. Ceux-ci émettent également des données continues de position et retournent à la position de repos grâce à un ressort. La dureté de l'axe de rotation peut être ajustée. Si l'axe est trop dur, il devient difficile de le tourner pouvant entraver les mouvements et le jeu des pistons et des clés.

Les capteurs de l'axe et des bends envoient des données MIDI de manière continue qui décrivent les degrés de rotation de l'axe et d'activation des bends. La valeur minimale correspond au mouvement de flexion des poignets lorsque les mains sont dans les poignées. Dans cette position les coudes s'éloignent du corps naturellement. La valeur maximale correspond à l'extension des poignets : les coudes se rapprochent du corps. La valeur minimale correspond à la flexion des poignets : les coudes s'éloignent du corps. Pour l'axe, il est possible, suivant la dureté, de maintenir une position intermédiaire avec une relative précision.

### 2.3.4. La centrale inertielle

La centrale inertielle du Karlax regroupe trois axes d'accéléromètres et trois axes de gyroscopes. À partir de ces données sont calculés deux axes d'inclinomètre sur l'axe de roulis (inclin-x) correspondant à l'axe droite-gauche et l'axe de tangage (inclin-y) correspondant à l'avant-arrière. Un deuxième conditionnement de données brutes du Karlax consiste en des signaux d'impulsions lorsque l'interface est soumis à une accélération dans différentes directions (bas, haut, droite, gauche, avant, arrière). La plus fonctionnelle, bien que très sensible, est l'impulsion vers le bas. L'impulsion vers le haut nécessite d'adopter la position derrière l'épaule (Figure 8, position 5). Un bouton à l'arrière permet d'activer la centrale inertielle et de sélectionner un axe spécifique des accéléromètres, des gyroscopes ou des inclinomètres. Un autre bouton sert à désactiver la centrale.

L'accéléromètre mesure le mouvement de translation pour chaque axe (roulis, tangage et lacet) et se comporte comme un ressort. Il donne une valeur absolue d'inclinaison (sans accélération) aux positions extrêmes sur chaque axe (entre 0,25 et 0,75 lorsque le signal MIDI est rééchelonné entre 0 et 1). Lorsque l'interface est soumis à une accélération comme un coup, le signal dépasse la valeur limite et retourne à la position d'équilibre par oscillations comme un ressort que l'on tend et que l'on relâche. Sur l'axe de tangage, la valeur maximale est atteinte lorsqu'il est couché à gauche. La valeur minimale est difficile à réaliser car elle implique un croisement des bras et une extension extrême du poignet de la main gauche (Figure 8, position 3). Cependant, la main peut sortir de la poignée relativement facilement grâce au pommeau. Sur l'axe de lacet (axe vertical), la valeur maximale est atteinte lorsque le Karlax a la tête en haut, ce qui correspond approximativement à la position de repos. La valeur minimale correspond à la tête du Karlax vers le bas. Sur l'axe du roulis (avant-arrière), la valeur maximale est atteinte lorsqu'il est couché vers l'avant où le bras gauche est tendu. La valeur minimale est atteinte lorsque le Karlax est couché vers l'arrière. La façon la plus simple d'obtenir cette valeur est de l'incliner au dessus de l'épaule gauche.

Le gyroscope mesure les mouvements de rotation en fonction du temps par rapport à une position d'équilibre. Lorsqu'il n'y a pas de mouvements, chaque axe de gyroscope affiche la valeur médiane (0.5 si le signal MIDI est rééchelonné entre 0 et 1). Lorsque le Karlax est déplacé dans l'espace avec une vitesse suffisante, le signal oscille autour de la valeur médiane. Plus le mouvement est rapide, plus l'amplitude est grande. Le gyroscope sur l'axe x mesure la rotation autour de l'axe de tangage lorsque le Karlax est incliné vers l'avant ou vers l'arrière. Le gyroscope sur l'axe y mesure la rotation autour de l'axe de lacet (axe qui traverse le Karlax de bas en haut). Cela correspond à la rotation du Karlax sur lui-même. Dans cette position, le signal atteint son maximum, lorsqu'on saisit le Karlax avec la main droite à la base et que l'on donne des coups de poignets. Le gyroscope sur l'axe z mesure la rotation autour de l'axe de roulis lorsqu'il est incliné sur les côtés.

À partir des données provenant de la centrale inertielle, un premier conditionnement permet de donner des indications d'inclinaison de manière continue sur les axes de tangage (inclin-y) et de roulis (inclin-x). Cependant, l'inclinomètre peut parfois « sauter » de sa valeur minimale à sa valeur maximale lorsqu'il franchit les positions extrêmes.

La combinaison de la rotation de l'axe et des capteurs de mouvement permet d'atteindre sans difficulté les positions extrêmes de l'axe rotatif (poignets en flexion ou en extension) pour chaque position extrême de l'inclinomètre (étendu vers le bas, vers le haut ou sur les côtés), le tout en pouvant jouer les pistons et les clés.

### 2.3.5. Les boutons et le joystick

Le Karlax contient 17 boutons et un joystick. Parmi les boutons, deux sont utilisés pour activer et désactiver la centrale inertielle. Il y a 8 boutons sur la partie supérieure et 9 sur la partie inférieure. Chaque tête de bouton a un diamètre d'environ 8 mm.

Les boutons envoient un signal discret lorsqu'ils sont enfoncés et lorsqu'ils sont relâchés. La force nécessaire pour activer est suffisamment importante pour éviter une activation accidentelle lorsqu'on est en train de jouer, y compris le bouton qui sert à désactiver la centrale inertielle qui se trouve près du pouce de la main gauche (Figure 6). Les boutons sur la partie supérieure les plus faciles d'accès sont ceux accessibles avec les index de chaque main (Figure 7). À l'arrière, les plus accessibles sont ceux dessous chaque pouce.

Le joystick est utilisé par défaut pour naviguer dans les programmes de contrôle sur l'écran et envoie des données d'activation de type signal discret en pressant en haut, en bas, à droite, à gauche et au centre. Il peut être joué alors que la main est insérée dans le pommeau.

Dans la configuration où une pédale MIDI déclenche des commandes de programmation, l'activation des boutons et la navigation dans l'écran avec le joystick ne semble pas nécessaire. Cependant, dans un contexte d'improvisation, il peut être avantageux de pouvoir modifier les caractéristiques de l'instrument si souhaité. Les différents boutons et les programmes accessibles avec le joystick permettent alors de configurer le Karlax dans le temps de la performance (Figure 5).



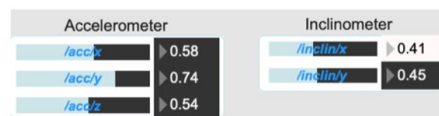
**Figure 5.** Activation des boutons avec l'index de la main gauche et activation du joystick avec le pouce de la main gauche

## 2.4. Aspects gestuels et chorégraphiques

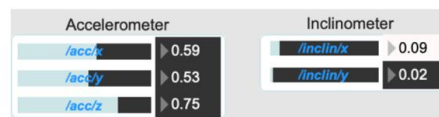
Le Karlax permet une grande liberté de mouvement. Suivant le contexte, il est utilisé debout ou assis. Le jeu debout permet cependant une plus grande expression gestuelle. Les poignées permettent de le soutenir facilement et avec sécurité et de « sortir » de la position de repos. Sa conception permet également d'autres types de prises comme décrit plus-haut. Les mouvements d'inclinaison de haut en bas et de droite à gauche et de rotation autour de l'axe central sont particulièrement bien captés par la centrale inertielle. Toutefois, du fait que les capteurs de la centrale inertielle sont des capteurs d'orientation, les déplacements du Karlax longitudinal, transversal et vertical, lorsque celui-ci conserve une même inclinaison, ne sont pas captés.

L'illustration suivante présente différentes positions avec le Karlax et les données d'accéléromètres et d'inclinaisons correspondantes (Figure 6).

### 1. Position de repos



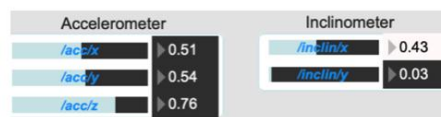
### 2. Couché vers la gauche



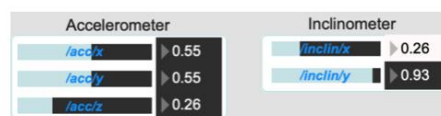
### 3. Couché vers la droite



### 4. Couché vers l'avant



### 5. Couché vers l'arrière



**Figure 6.** Illustrations des positions et indications des données des accéléromètres et inclinaisons correspondantes

## 3. Techniques

### 3.1. Configurations et matériels

Jouer ou composer pour Karlax peut demander une configuration matérielle importante. Dans de nombreux cas, le Karlax s'accompagne du boîtier MIDI branché à un ordinateur et d'une interface audio connectée à des haut-parleurs. Par ailleurs, on privilégiera l'usage d'une pédale MIDI pour changer les paramètres de programme. On peut envisager aussi l'ajout d'une pédale de volume, de pédales de traitements du son, ou l'usage d'un microphone accolé à un instrument avec lequel le Karlax interagit en cas de traitement temps réel du son de l'instrument.

### 3.2. Le conditionnement des données

Le conditionnement des données est une étape fondamentale pour diversifier ou améliorer les signaux provenant du Karlax et enrichir le vocabulaire gestuel. Le but du conditionnement des données est de créer *des signaux numériques continues ou discrets qui décrivent le mieux l'activité gestuelle*<sup>3</sup>. Pour chaque projet, on peut être amené à créer des signaux qui répondent au mieux au projet artistique à la fois gestuel (dynamique), chorégraphique (harmonique) et musical (spectral).

Le Karlax émet deux types de signaux : des signaux continus (les clés, l'axe, les bends, les 3 axes d'accéléromètres, les 3 axes de gyroscopes et les deux axes d'inclinaisons) et des signaux discrets (les pistons, les boutons, les impulsions)<sup>4</sup>. Certains signaux sont les signaux bruts émis par les capteurs présents sur l'interface, d'autres sont déjà conditionnés avec des algorithmes embarqués dans le Karlax comme les inclinomètres ou les impulsions. Les signaux discrets peuvent être de type binaire 0-1 ou être associé à une valeur comme pour l'indication de vitesse des pistons. Par ailleurs, les signaux continus peuvent être assimilés à des signaux discrets dont on ne perçoit pas le pas. L'infini du continuum est alors associé au dénombrable et non au transcendant (n.e.). À partir des données brutes (« raw data »), le but du conditionnement est de créer plusieurs nouvelles strates de signaux (« cooked data ») via des algorithmes spécifiques. La présence de ces strates suppose l'existence sous-jacente d'arbres de décisions donc de structure fractales (n.e.). Plusieurs techniques peuvent être appliquées comme la fusion des données, la correspondance d'état, rendre des signaux continus discrets, former des conditions (ou le type « porte »), ou encore reconnaître un effort grâce à des algorithmes de type « leaky integrator » (équation d'intégrateur qui fuit). D'autres conditionnements sont particulièrement utilisés pendant l'étape de mapping comme l'échelonnage, le lissage ou encore l'ajout de fonctions.

Dans la plupart des cas, les signaux spatiaux utilisés pour contrôler des éléments de la synthèse sonore relèvent d'une combinaison de ces différentes techniques. Les techniques présentées ici sont celles utilisées le plus couramment dans la programmation avec le contrôleur Karlax.

#### 3.2.1. La mise à l'échelle ou « scaling »

L'étape de mise à l'échelle ou « scaling » consiste à établir des limites pour le signal d'entrée appelé « source » et le signal de sortie appelé « destination »<sup>5</sup>.

Prenons un exemple. On souhaite contrôler l'amplitude d'un signal audio par l'inclinomètre-x (inclinaison latérale). Le signal source représente le signal issu de l'inclin-x échelonné entre 0 et 1, le signal destination représente un ambitus de contrôle entre -70 dB (silence) et 0 dB (sans correction de volume). Lorsque le Karlax est complètement penché vers la gauche, aucun son n'est émis, lorsqu'il est penché vers la droite, le son apparaît. Cependant, parce qu'il est difficile de coucher le Karlax vers

<sup>3</sup> L'objectif est bel et bien de construire un couplage Espace-Temps non linéaire contrôlé et filtré (n.e.).

<sup>4</sup> Il joue donc le rôle de foncteur libre entre le continu et le discret analogue à ce que fait la fonction zêta (n.e.).

<sup>5</sup> On remarquera que nous sommes clairement là face à des techniques d'adjonction et de fonctorisation en théorie de catégories. Il s'agit de définir le foncteur d'oubli sur lequel on va appuyer l'œuvre et en définir le style (n.e.).

la droite, il est compliqué d'obtenir la valeur maximale de volume sans corrections. On peut redéfinir les bornes d'entrée entre 0 et 0,8. Ainsi, le Karlax obtiendra la valeur maximale lorsqu'il est seulement penché vers la droite et non complètement couché.

### 3.2.2. Le lissage ou « *smoothing* »

Le lissage des données consiste à appliquer un algorithme qui réduit les irrégularités d'une courbe. La technique la plus utilisée consiste à établir une moyenne mobile calculée en prenant la moyenne des données sur une fenêtre glissante de taille fixe<sup>6</sup>. Une autre technique consiste à discrétiser le flux à intervalle régulier et produire un signal régulier entre les intervalles.

Le lissage peut s'avérer très utile lorsqu'on souhaite une réponse de données régulière à des gestes qui peuvent être irréguliers, par exemple la pression sur la clé continue, le mouvement de l'inclinaison latérale ou frontale ou encore la gestion de l'axe.

### 3.2.3. Fonctions et décalages

Des fonctions mathématiques peuvent être appliquées à certains signaux pour l'adapter au maximum aux contrôles de destinations et in fine aux gestes d'interprétation.

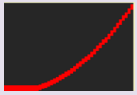
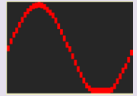
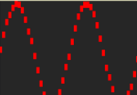
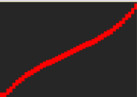

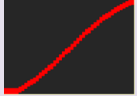
Prenons par exemple l'action d'une clé continue qui contrôle l'amplitude d'un signal audio. Plus la pression sur la clé est importante, plus le son est fort. Si l'on applique une fonction exponentielle au signal, il faudra presser davantage la clé pour obtenir le même niveau. La gestion des dynamiques notamment pianissimo sera plus confortable. Un autre exemple est l'application d'une courbe tangente hyperbolique pour l'axe dont le 0 correspond à une position centrale. On peut également appliquer un décalage par exemple pour recentrer le centre de l'axe d'après la position de repos du Karlax qui n'est pas tout à fait centrée.

Le tableau (Tableau 3) suivant réunit plusieurs traitements du signal numérique à partir de l'environnement logiciel modulaire TapeMovie<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> L'objet [dot.mean] dans la librairie Digital Orchestra Toolbox dans le logiciel Max/MSP [MAL 18].

<sup>7</sup> <http://tapemovie.didascalie.net/presentation>, [MAY 10]. Aujourd'hui développé sous la librairie CRT (Composition in Real Time) : <https://forum.ircam.fr/projects/detail/crt-composition-in-real-time/>

Noms	Fonctions	Description	Représentation
« <b>explinlog</b> »	Exponentielle – linéaire ou logarithmique	Permet de transformer un signal linéaire (coeff. = 0) en signal logarithmique (coeff. entre -1 et 0) ou exponentielle (coeff. entre 0 et 1). Ex. Courbe logarithmique avec un coefficient de 0.14.	
« <b>sine</b> »	Sinus	Fonction sinus dont le coefficient modifie la phase. Ex. Coefficient de 0.	
« <b>sinef</b> »	Sinus avec modification de la période	Fonction sinus avec deux variables. La première permet de modifier la phase, la deuxième permet de modifier la période. Avec des coefficients de variable importants, ce type de fonction permet de générer des flux de données aléatoires. Ex. coefficient de phase = 0, coefficient de période = 2	
« <b>tanf</b> »	Tangente	Fonction tangente. Peut être utile pour le contrôle de l'axe (régulier au milieu avec une accélération vers les extrémités.)	
« <b>explinlogud</b> »	Exponentielle, linéaire, logarithmique ou	Permet de former des fonctions linéaires, exponentielles (coeff. entre 0 et 1) ou logarithmiques (coeff. entre -1 et 0) avec un axe central. Peut être utile pour le mapping de l'axe. Ex. Coefficient = -0.2 (logarithmique)	
« <b>tanhf</b> »	Tangente hyperbolique	Fonction tangente hyperbolique. Peut être utile pour le contrôle avec les clés (pente douce au début, linéaire au milieu, puis pente douce à la fin).	

**Tableau 3.** Exemples de fonctions et leurs descriptions à partir de l'environnement logiciel modulaire *TapeMovie*.

### 3.2.4. La fusion des données ou la fusion des capteurs

La fusion des données consiste à combiner des données issues de capteurs ou dérivées des capteurs afin de produire des données « améliorées » qui décrivent un système de manière plus précise [ELM 02]<sup>8</sup>. Par exemple, les données des deux axes d'inclinomètres latéral et frontal intégré dans le Karlax sont calculées à partir des trois axes d'accéléromètres et de gyroscopes (Figure 6). Ils donnent une valeur absolue d'inclinaison du Karlax sur les deux axes latéral et frontal plus précises que les indications sur les axes de tangage et de roulis des accéléromètres.

### 3.2.5. Rendre discret un signal continu

Une façon de diversifier les signaux bruts issus des capteurs du Karlax est de rendre discret un signal continu. Le principe est de définir une valeur seuil dans le signal continu qui lorsqu'elle est franchi émet un signal discret. C'est le cas par exemple des signaux d'impulses dont l'algorithme est embarqué dans le Karlax qui sont calculés à partir des données d'accéléromètres. Comme cela a été dit, les signaux embarqués d'impulses sont sensibles ou difficiles à obtenir. Il est préférable de recalculer

<sup>8</sup> La fusion de données est différente de l'intégration multicapteurs qui signifie l'utilisation synergique de données de capteurs directement traitées par l'application de contrôle [MED 14].

ces données à partir des indications d'accéléromètres. L'existence d'effets de seuils permet de maîtriser des bifurcations et d'en faire des objets de compositions (n.e.).

Les clés continues peuvent aussi être traitées de manière discrète à l'image d'un clavier MIDI ou des pistons du Karlox. Lorsqu'une clé est pressée jusqu'au bout un signal discret est envoyé. Une indication de vitesse peut être aussi calculée.

### 3.2.6. Former des conditions ou le type « porte »

Dans ce type de conditionnement, un signal discret ou continu est émis à partir d'un ou plusieurs signaux sources s'ils remplissent certaines conditions. Par exemple, un signal de poussée ou impulsion (« thrust » en anglais) peut être émis seulement si le premier piston est appuyé. Une deuxième strate de conditionnement peut consister à établir des zones pour les impulsions en ségréant les données de l'inclinomètre. Ainsi, il faudra appuyer sur le premier piston, donner une impulsion dans une certaine direction pour obtenir le signal souhaité. Un autre exemple consiste à élaborer différentes combinaisons pour les clés continues traitées de manière discrète : un signal est émis seulement si deux ou plusieurs clés sont activées jusqu'à la butée (noté K12D pour clés 1 et 2 utilisées de manière discrète).

Le tableau (Tableau 1) suivant réunit différentes possibilités de conditionnements de signaux pour les pistons et les clés. Les abréviations proviennent de ma propre notation.

	Conditionnement	Description	Notations	Type signal
<b>Pistons</b>	Piston (P) + impulsions (T : Thrust)	P1T : Appuyer sur le piston 1 et faire une poussée dans n'importe quelle direction (T : Thrust)	P1T, P2T, etc.	Discret
	Piston + impulsions + inclinaisons x-y	P1TC : appuyer sur le piston 1 et donner un coup vers le centre P1TL : Appuyer sur P1, effectuer une poussée vers la gauche (L : left) P1TR : Appuyer sur P1, effectuer une poussée vers la droite (R : right)	P1TC, P1TL, P1TR, P2TC, etc.	Discret
	Piston + Clé discrète	P1 : appuyer sur la clé K6 jusqu'à la butée puis appuyer sur P1	P1-K6D	Discret
	Piston + inclin-x	P1-x : appuyer sur P1 puis incliner le Karlox latéralement	P1 à P8 avec les indications de mouvements.	Continu
	Piston + zones de nuances	Piston appuyé doucement (entre 0.01 et 0.2) Piston appuyé moyennement fort (entre 0,2 et 0.8) Piston appuyé fort (entre 0,8 et 1)	P1 + indication de nuance	Discret
	Piston relâché	Lorsque le piston est relâché. Le signal est donné lorsque la valeur du piston est 0	P(barré)1	Discret
<b>Clés</b>	Clé discrète + inclin-y	Appuyer la clé jusqu'à la butée puis incliner le Karlox frontalement	K1 + avec les indications de mouvements.	Continu
	Combinaisons de clés discrètes	Ex : K12D : Appuyer sur K1 et K2 jusqu'à la butée.	K12D, K13D, etc.	Discret

**Tableau 1.** Exemples de conditionnements de données à partir des pistons et des clés.

### 3.2.7. La reconnaissance d'effort utilisant « leaky integrator »

Le « leaky integrator » ou équation intégrale qui fuit [MEN 02] consiste en un algorithme de reconnaissance d'effort pouvant être décrit comme suit : plus une activité est réalisée, plus le signal augmente ; lorsque l'activité s'arrête, le signal diminue progressivement. La « quantité de signal reçu » et la vitesse à laquelle le signal « fuit » peuvent être ajustés. Pour améliorer l'efficacité de cet algorithme, le signal peut être lissé en aval et en amont de l'algorithme (cf. 3.3.2.).

Voici quelques gestes utilisés par le compositeur D. Andrew Stewart (2015) notamment dans sa pièce *Ritual* (2015), utilisant des algorithmes de reconnaissance d'effort<sup>9</sup>. Les noms des gestes proviennent du vocabulaire du compositeur (Tableau 2).

Gestes	Capteurs	Description
« Churn »	Gyroscope-z	La base du Karlax est tournée de manière circulaire « comme lorsqu'on tourne une cuillère dans un café ».
« Drill »	Gyroscope-y	Pour obtenir ce signal, le Karlax est agité de haut en bas.
« Thrust/effort »	Accéléromètre-y	Pour obtenir ce signal, des poussées successives sont réalisées.
« Finger »	Clés continues	Plus les touches sont activées de manière rapide et répétée, plus le signal augmente. Un signal différent correspond aux touches pour la main droite et pour la main gauche.
« Shake »	Accéléromètre-y Accéléromètre-z	Plus l'instrument est secoué, plus le signal augmente. Plusieurs signaux sont définis en fonction de la direction (en haut et en avant) et de la vitesse (vite, modéré, lent).

**Tableau 2.** Définitions de gestes provenant d'algorithmes de reconnaissance d'effort défini par le compositeur D. A. Stewart dans la pièce *Ritual* pour *Karlax solo*.

### 3.2.8. La correspondance d'états

Ce type d'algorithme permet de calculer la probabilité que certaines données brutes ou conditionnées se retrouvent dans certains états. Il s'agit le plus souvent de faire correspondre plusieurs états de curseurs différents à une valeur cible. Une valeur correspondant au « niveau de confiance » peut être calculée. La correspondance d'états est particulièrement utile pour améliorer le conditionnement de type « porte ».

## 3.3. La phase de mappage ou « mapping »

La phase de mappage ou mapping est une étape essentielle qui va permettre de rendre l'IMN Karlax plus ou moins expressif [FEL 02] [LEV 02] [VAN 02] [HUN 03] [MAL 17]. Cette étape consiste à associer, relier les données brutes ou conditionnées provenant des capteurs : les « sources » à des destinations de contrôles ou « destinations » [WES 20]. Ces dernières peuvent être des paramètres de la synthèse sonore, des contrôles de mixage, des paramètres liés à la spatialisation, etc. Chaque association de mappage peut être conditionné en établissant des bornes, en lissant le signal ou en appliquant des fonctions. Par ailleurs, un signal « source » peut contrôler plusieurs destinations (« one-to-many ») mais aussi plusieurs signaux sources peuvent contrôler une seule destination. On parle dans

<sup>9</sup> L'objet [dot.leakyintegrator] dans la librairie Digital Orchestra Toolbox [MAL 18].

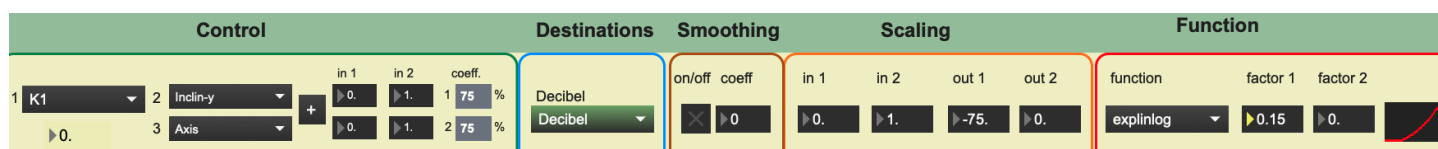
ce cas de mapping convergent ou « many-to-one » [ROV 97]. Dans cette partie, je reviens sur des techniques de mappages illustrées par des interfaces utilisateurs réalisées dans le logiciel de programmation MAX/MSP<sup>10</sup>.

L'étape de mappage peut au final regrouper un très grand nombre d'associations capteurs-paramètres et définit le cadre d'expressions gestuelles et sonores d'une pièce.

### 3.3.1. Le mapping convergent ou « many-to-one »

Un mapping convergent permet de contrôler une seule « destination » avec plusieurs « sources ». Une technique consiste à appliquer différents « poids » pour chaque contrôle source exprimés sous formes de pourcentage. Les signaux sources peuvent être ajoutés ou multipliés suivant le cas. La multiplication amplifie l'importance d'un contrôle par rapport à l'autre.

Par exemple, la Figure 7 montre un mapping convergent avec trois possibilités de contrôle de sources pour la destination « décibel » entre -75 dB et 0 dB : en premier lieu, la clé (K1), en deuxième l'inclinaison-y et en troisième l'axe. Un premier pourcentage de 75% est appliqué entre le contrôle de la clé et celui de l'inclin-y. Dans les 25% restant, un autre ratio de 75% est appliqué entre l'inclin-y et l'axe. Ainsi, on obtient le maximum en terme de décibel lorsque la clé est complètement enfoncée, le Karlix inclinée vers l'arrière au dessus de l'épaule et l'axe ouvert (les poignets en extension). D'autre part, on voit qu'une fonction exponentielle est appliquée au signal qui permet une gestion du crescendo al niente plus confortable.



**Figure 7.** Ligne de mapping dans le logiciel MAX pour le contrôle de volume

### 3.3.2. Le morphing

Le morphing consiste à passer progressivement d'un « état de données » à un autre grâce à des actions de contrôle. Dans ce cas, l'étape de mapping consiste à définir de quelle manière on passe d'un état à l'autre : quels contrôleurs, quels comportements de données, etc. Ces états peuvent être associés à des coordonnées de type 2D (x, y) ou 3D (x, y, z). Le mapping décrit alors comment se déplacer dans ces plans tout en répondant à des critères caractéristiques de l'œuvre (n.e.).

La figure 8 montre l'exemple d'un module de morphing à partir d'une synthèse granulaire avec les paramètres suivants (hauteur, taille du grain, nombre de grains par secondes, décalage temporel et volume). Trois états sont déterminés. Une ligne de mapping avec les étapes de mise à l'échelle, de lissage, d'ajout de fonctions permet de définir comment passer d'un état à l'autre. Un coefficient de séparation permet de définir à quel niveau du signal (entre 0 et 1) on passe de l'état 1 à l'état 2 et de l'état 2 à l'état 3<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> <https://fr.wikipedia.org/wiki/Max/MSP>

<sup>11</sup> On fera ici utilement le lien avec les travaux de Philippe Riot publiés dans la même revue en notant qu'il ne s'agit pas ici de cerner un comportement naturel mais de structurer une œuvre artistique en s'appuyant sur des principes semblables à nos représentations du monde. Toutefois celles-ci sont cette fois libérées des contraintes que l'environnement naturel impose, et que l'espace mental du compositeur permet de subsumer (n.e.).



**Figure 8.** Module de morphing pour une synthèse granulaire dans le logiciel MAX/MSP.

Une autre technique de morphing consiste à passer, à la manière d'un fondu enchaîné, d'un signal audio à un autre grâce à l'action d'un capteur ou d'un signal conditionné. Pour réaliser le fondu enchaîné, on peut appliquer des courbes de type logarithmique et inverser les bornes de mise à l'échelle en entrée.

### 3.4. Synthèse sonore, traitements temps réel et spatialisation

#### 3.4.1. Synthèse sonore

La synthèse sonore apporte la « voix », l'identité sonore associée au Karlax. Les techniques de synthèses sonores sont nombreuses : échantillonnage, synthèse additive, soustractive, par modèle physique, par modulation de fréquences, par modulation d'amplitude, par modulation de phase, granulaire, etc. [ROA 16]. Il faut ajouter à ces techniques la variété des traitements du signal audio notamment par des moyens numériques (« Digital Sound Processing : DSP ») comme le filtrage, la réverbération, les résonateurs ou encore la distortion, etc. [MCC 16]. Ces synthèses ou traitements peuvent être modifiés en temps réel en ajustant certains paramètres. Par la manipulation de l'interface et grâce à l'étape de mappage, il est possible de déclencher, former, transformer, sculpter des sons.

Un des défis majeurs de cette étape est de rendre le caractère unique (« le grain de voix ») de cette identité sonore [BAR 72] et développer une interprétation électroacoustique « vivante » [CRO 07] [DIS 20] [BAT 00]. Cela dépend à la fois de la qualité de la synthèse sonore utilisée et son potentiel expressif mais aussi des niveaux de contrôle de complexité attribués à l'interprète par les compositeur.rices [LAV 24a].

Parmi les pièces existantes pour Karlax, on reconnaît principalement deux types de synthèse sonore selon si celle-ci s'inspire du son des instruments acoustiques ou de sons électroniques [LAV 21]. Dans le premier cas, le Karlax peut prendre le rôle d'augmenter, imiter, transformer des caractéristiques de timbres d'un instrument, notamment pour une pièce où il interagit avec lui. Un exemple de méthode consiste à enregistrer des sons de l'instrument, élaborer un répertoire de différentes techniques (sons percussifs, soutenus, etc.), associer les sons à différents signaux et les traiter de différentes manières (amplitude, décalage de hauteur, filtrage, etc.) (cf. 4.4. Les interactions instrumentales).

Prenons un autre exemple dans le cas où la synthèse est basée sur des sons électroniques, utilisant la technique de la modulation de fréquence ou synthèse FM [ROA 16]. Imaginons l'amplitude de plusieurs voix de synthèses FM mappé sur les clés continus. Chaque clé contient deux voix de synthèses. L'inclinaison latérale du Karlax (inclin-x) permet de passer d'une voix à l'autre par le panning des deux signaux audio (cf. 3.3.5.1). La fréquence porteuse (« Carrier Frequency ») et l'harmonicité sont prédéterminés, deux fréquences de modulation variables sont mappées sur l'inclinaison frontale (inclin-y) et l'axe. L'amplitude est à la fois contrôlée par la pression de la clé et l'inclinomètre (inclin-y). En bout de chaîne, un filtre et une reverb sont ajoutés. Suivant les paramètres liés à la synthèse des deux voix, on peut obtenir une variété de son allant du plus harmonique au plus

bruiteux et un cadre expressif en terme sonore et gestuel important (*Instrumental Interaction IVa*, 3<sup>ème</sup> mouvement<sup>12</sup>).

### Une approche philosophique de l'identité instrumentale

Le « flou » concernant l'identité sonore du Karlax nous incite à éclairer la notion d'instrument du point de vue philosophique en posant la question : Qu'est-ce que le « soi » d'un instrument ? Considérer le « soi » d'un instrument nécessiterait qu'il soit doté d'une conscience. Celle-ci ne peut être envisagée qu'en prenant en compte les facultés de la pensée humaine qui s'exerce dans un temps donné. Le philosophe John Locke a défini l'identité en recourant à la comparaison d'une personne à elle-même à différentes époques [LOC 72]. Il définit le concept de personnalité par l'idée de permanence de l'organisation dans le temps.

Dans le livre *Soi-même comme un autre*, Paul Ricoeur introduit une dialectique entre les concepts de Mêmété (qui se rapproche de la définition de Locke) – qui implique permanence dans le temps et d'Ipséité « qui n'implique aucune assertion concernant un noyau supposé immuable de la personnalité ». Une autre dialectique est établie entre le concept d'Ipséité et le concept de l'Autre. L'Ipséité du soi « implique l'altérité à un degré si intime que l'un ne peut être pensé sans l'autre » [RIC 90].

Aux concepts introduits par Ricoeur, il est tentant d'associer différentes facettes du contrôleur Karlax. Ainsi, au concept de Mêmété, on peut rapprocher ce qui reste inchangé dans le temps des relations avec le Karlax : les qualités de contrôle, l'interface physique, le comportement des données brutes, les gestes de base ; au concept d'Ipséité, on associerait l'étape du conditionnement des données, la synthèse sonore, le mapping, les aspects gestuels et chorégraphiques propres à chaque pièce, la notation, Enfin, l'Autre développerait le caractère multiple et polyvalent du Karlax notamment lorsqu'il interagit avec d'autres instruments.

Par ailleurs, pour considérer le « soi » du Karlax, il faudrait tout d'abord le doter d'une conscience – par exemple en y associant la pensée des compositeur.rices ou des interprètes – et que celle-ci s'exerce dans le temps – par exemple en considérant le temps de la programmation, de la composition, des répétitions ou du concert. Aussi, faut-il définir le « soi » du Karlax pour une pièce, pour un moment d'une pièce, pour un ensemble de pièces. Si nous appliquons la théorie de Locke qui consiste à comparer deux états d'une même chose à deux moments différents. Comment pouvons-nous évaluer le degré de similitude du Karlax dans l'espace temporel choisi ? Quels sont les critères ou les types d'organisation à prendre en compte : gestes, éléments acoustiques, interactions ? Pour résumer, qu'est-ce qui est spécifique au Karlax ? et qu'est-ce que cela nous apprend sur notre rapport aux instruments de manière générale en tant que compositeur.rices, instrumentistes ou auditeur.rices ?

#### Encadré 1. Une approche philosophique de l'identité instrumentale du Karlax

### 3.4.2. Traitements en temps réel du son d'un autre instrument

Le Karlax peut contrôler n'importe quel signal audio y compris celui provenant d'une captation en direct d'un autre instrument ou voix. Ce signal peut être traité par des modules de traitements audio « DSP » (délais, décalage de fréquence, distorsion, reverbération, etc.). Il s'agit ici de

<sup>12</sup> <https://youtu.be/k6fNKeH19KY?si=HKcYjnYuc-5tlgnC&t=308>

l'adjonction de symétries supplémentaires visant à modifier les modularités initiales<sup>13</sup> (n.e.). Suivant les stratégies d'interprétation et de composition, le Karlax peut donner l'impression d'interagir directement et transformer le son de l'instrument ou construire ses propres synthèses (cf. 4.3.1.) .

### 3.4.3. Diffusion et Spatialisation

Les techniques de diffusion et de spatialisation via un ou plusieurs haut-parleurs forment aussi un enjeu et un terrain d'exploration intéressants pour le jeu avec des IMN. La localisation d'une source sonore, la vitesse ou l'éloignement de cette source, la directivité, la brillance, etc. sont autant de paramètres qui peuvent être mappés sur différents signaux d'entrée du Karlax. On voit ici se dessiner la structure d'un Espace-Temps sonore (n.e.).

Un mapping simple consiste par exemple, à l'image d'un laser, à pointer le Karlax dans la direction où on veut écouter la source. Pour ce faire, une technique consiste à mapper les données des inclinomètres (inclin-x et -y) aux coordonnées de la source sur un plan en 2D (x, y). Sur un plan en 3D, on peut utiliser les 3 axes d'accéléromètres (x, y, z) ou alors l'inclinomètre-y pour contrôler à la fois la profondeur et l'élévation de la source. Pour cette solution on préférera un algorithme de spatialisation de type « vector base amplitude panning » ou VBAP adapté pour la perception de trajectoires [PUL 97].

### 3.4.4. Structures de patch

Suivant le projet et le contexte de composition, plusieurs environnements informatiques (logiciels, VSTs, etc.) et structures de patch peuvent être envisagés. Le terme « patch » renvoie à une configuration de modules (d'éléments) reliés entre eux par des « patch cords ». Dans ce cas, un patch peut abriter le conditionnement des données, le mapping, les différents modules de synthèse sonore, de traitements audio ou encore la spatialisation.

La figure 9 représente un schéma d'une structure de patch pour la composition *Instrumental Interaction III* (Gatinet & Lavastre 2024)<sup>14</sup>. Un premier étage reste pratiquement commun à tout les projets. Cette partie regroupe la réception et le nommage (indexation) des données brutes du Karlax, le conditionnements des données – qui peut évoluer suivant les projets -, un visualisateur/simulateur, une fenêtre de contrôle des événements et des principaux signaux (« Monitoring »), l'activation ou non de la pédale MIDI, un contrôle d'état de l'audio (CPU, fréquence d'échantillonnage, appareil d'entrée et de sortie, etc.) et l'enregistrement des presets. Le deuxième étage regroupe les différents générateurs et entrée des signaux. Dans ce modèle de patch relatif à la pièce *Instrumental Interaction III* pour guitare classique et Karlax, on trouve des échantillonneurs, un module de synthèse FM, une entrée micro pour le traitement de la guitare, un synthétiseur (VST<sup>15</sup> : Surge Synth<sup>16</sup>). Dans un troisième étage se trouve un module de traitements des signaux (FX) avec des matrices de routage et le mixage des entrées et sorties, un module de spatialisation (Spat dans Max [CAR 18]), et une visualisation des sorties pour chaque haut-parleur. Chaque module de génération audio, de traitement et de spatialisation contient un patch de mappage propre.

---

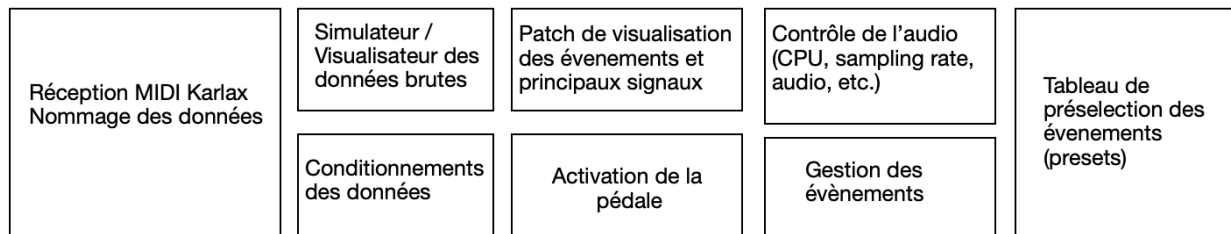
<sup>13</sup> On rappelle qu'en mathématique outre les opérations élémentaires (addition, multiplication, soustraction, division) qui reposent sur l'existence de normes arithmétiques, il existe une opération dite modulaire qui repose sur des symétries caractérisant les modules de nombres associés à un objet du plan complexe. Il semble que le Karlax soit un instrument capable de révéler et d'étendre les symétries particulières de toute composition musicale préalable standard (n.e.).

<sup>14</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=fgcS\\_0ZRasI](https://www.youtube.com/watch?v=fgcS_0ZRasI)

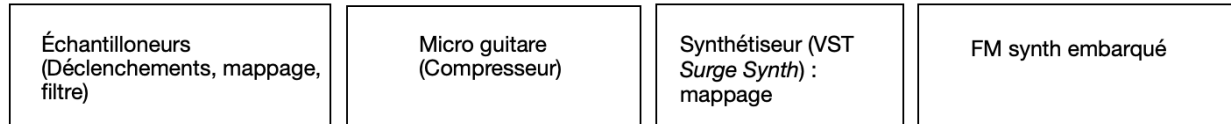
<sup>15</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_Studio\\_Technology](https://fr.wikipedia.org/wiki/Virtual_Studio_Technology).

<sup>16</sup> <https://surge-synthesizer.github.io>.

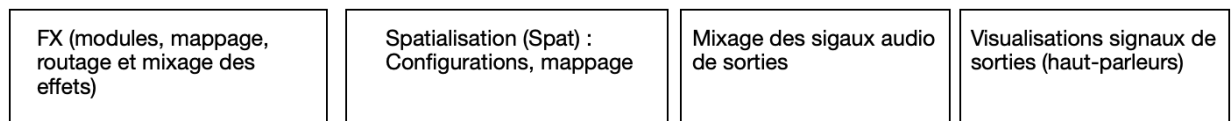
### 1<sup>ère</sup> étage



### 2<sup>ème</sup> étage



### 3<sup>ème</sup> étage



**Figure 9.** Structure de patch pour Instrumental Interaction III (Gatinet & Lavastre)

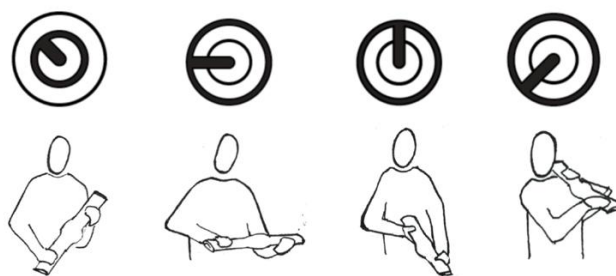
## 3.5. Notation

La notation musicale peut s'envisager de deux manières : premièrement, une réalité acoustique est décrite par une notation symbolique. Par exemple, les hauteurs sont décrites conventionnellement par la position de ronds ou carrés dans un pentagramme dépendant de la clé utilisée, les dynamiques sont décrites par des abréviations et des signes croissants ou décroissants ou encore la durée des sons par l'aspect de la note et le type de liaison, etc., c'est une notation descriptive. Une autre façon est d'indiquer les actions de l'interprète, par exemple les tablatures pour un guitariste qui précisent les cases où appuyer : on parle ici de notation prescriptive [KAN 07]. Pour le cas des contrôleurs, cette dernière notation semble plus adaptée car les actions sur les différents contrôleurs sont primordiales. Cependant, au contraire d'une guitare, l'identité sonore et les stratégies de mapping pour les IMN peuvent changer radicalement entre deux pièces. De ce fait, il est pratiquement impossible d'imaginer le résultat sonore en lisant une partition avec une notation purement prescriptive. Il faudra l'accompagner d'un enregistrement la plupart du temps. Le défi est alors de décrire les paramètres musicaux et les intentions et expression musicales, tout en précisant les gestes et l'action des différents contrôleurs, et cela de la manière la plus lisible possible<sup>17</sup>.

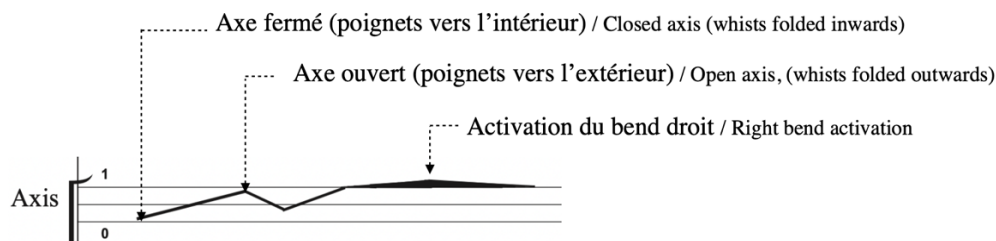
Pour le Karlax, une première réflexion a permis de poser les fondements de l'écriture avec ce contrôleur adoptant une approche globalement prescriptive [MAY 14] et basé sur un vocabulaire gestuel [STE 16]. On retiendra particulièrement les symboles circulaires indiquant l'inclinaison du Karlax à partir d'une vue de dessus (Figure 10). Trois étages sont ainsi décrits : lorsque le Karlax est dressé vers le haut, lorsqu'il est penché (tout les 45°) et lorsqu'il est allongé (tout les 22,5°). La notation de rotation de l'axe central de type paramétrique sous la forme d'une représentation d'automation dans une station audionumérique est aussi intéressante. Lorsque la ligne est en bas, l'axe est fermé, les poignets sont en position de flexion, lorsque la ligne est en haut l'axe est ouvert, les poignets sont en position d'extension. L'avantage de cette notation est d'indiquer avec précision les

<sup>17</sup> On voit là toutes les difficultés qui attendent le physicien qui interprète la problématique posée comme le besoin de formalisation d'une géométrie du temps. La diversité et la multiplicité des corrélations possibles à longues distances, complexité et modularités décrites ici par le musicien doivent trouver leur contre partie formelle. On voit qu'au-delà de l'analyse physico-mathématique, le musicien-numéricien peut guider les recherches relatives aux temporalités complexes dont la physique, au-delà de la musique a besoin (n.e.).

changements de rotation d'axe en fonction du temps. L'activation des bents est représentée lorsque la ligne dépasse ces limites (Figure 11).



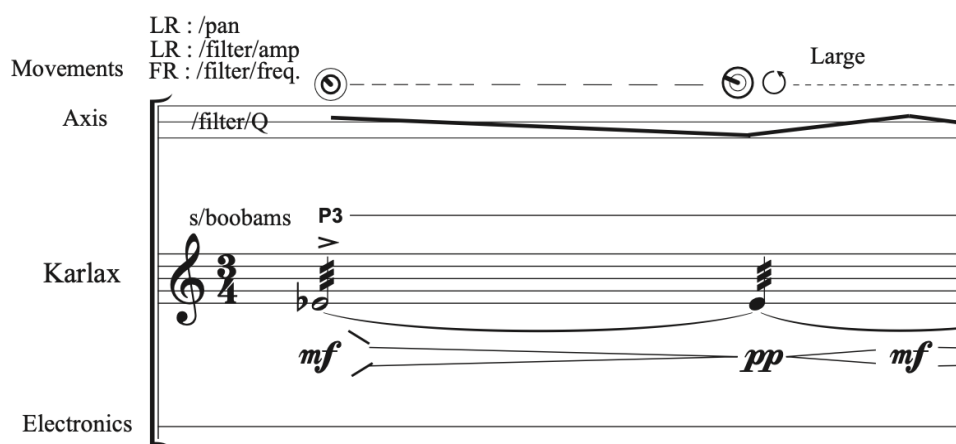
**Figure 10.** Symboles indiquant l'inclinaison du KarlaX avec les gestes correspondants (Mays & Faber 2014)



**Figure 11.** Notation pour l'axe et les bents

Malgré ces symboles, la notation pour KarlaX peut paraître peu naturelle, surchargée ou imprécise. En effet, le KarlaX se définit globalement par quatre types de contrôle : les pistons, les clés, l'axe et la centrale inertielle. Une écriture paramétrique consistant à représenter chacun des signaux associés à ces capteurs peut représenter un casse-tête pour un interprète. À l'inverse, une stratégie de notation consistant à « réifier » les comportements de données par des gestes englobants peut paraître simplificateur ou imprécis au niveau du contrôle et au niveau musical [BEA 00].

La notation choisie pour le cycle *Instrumental Interaction* est une combinaison des deux types de notations : descriptif et prescriptif. Par ailleurs, ce projet de compositions se concentre sur les interactions entre le KarlaX et des instruments acoustiques induisant une approche très « instrumentale » au KarlaX (jeu de hauteurs et rythmes, imitations instrumentales, etc.). De manière générale, les clés et les pistons déclenchent des voix pendant que l'axe et les mouvements contrôlent le timbre. Dans ce sens, la stratégie adoptée a été d'utiliser une notation conventionnelle avec une ou deux portées pour les voix principales avec indication de gestes, surmontés d'une notation paramétrique de l'axe et d'indications de mouvements (Figure 12).



**Figure 12.** Groupe de portée, Instrumental Interaction IVa, mes. 1, mvt. 1 (Lavastre)

### 3.5.1. Nomenclature, note introductive et indications littérales

Une nomenclature détaillée avec les définitions des signes et un inventaire des relations sons/gestes peuvent être essentiels pour communiquer les modes de jeux et l'identité de l'instrument Karlax. De plus, une note introductive décrivant les « règles du jeu » au début de chaque mouvement (moment où le mapping et la synthèse sonore reste globalement fixe) s'avère particulièrement utile. Ce texte court peut réunir des éléments de techniques de jeu, de mapping, de descriptions des sons, ou d'intentions musicales et permet de comprendre les principaux enjeux d'interprétation. Voici un exemple pour le deuxième mouvement de la partition *Instrumental Interaction IVb* :

« Dans ce mouvement, les clés continues activent des voix de synthèse FM (K1 à K8). La rotation de l'axe et l'inclinaison permettent de moduler la FM. Plus l'axe est ouvert, plus le son devient modulé et bruiteux. Le mouvement va progressivement d'un son harmonique proche du timbre du basson vers un son très bruité, pour finir sur le son initial. » (Lavastre, *Instrumental Interaction IVb*, 2024)

### 3.5.2. Notation descriptive avec abréviations pour les clés et les pistons












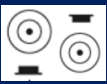

Dans *Instrumental Interaction*, la portée ou le groupe de portée principal utilise une notation conventionnelle de hauteurs et de rythmes avec des indications gestuelles sous forme d'abréviations. Par exemple, si un son est déclenché par le premier piston, une indication P1 surmonte la tête de note. L'indication P1TR signifie qu'il faut appuyer sur P1 et effectuer une poussée vers la droite. Un P barré indique de relâcher le piston, une ligne se finissant par un crochet pour la durée pendant laquelle il faut maintenir le piston appuyée. Pour les clés, l'abréviation K1, signifie de presser la première clé, K1D (clé discrète) signifie de presser la clé jusqu'à la butée, K12D signifie d'appuyer sur les clés 1 et 2 de manière simultanée.

Les indications dynamiques décrivent le résultat sonore. Les dynamiques peuvent être réalisées par l'action combinée de la vitesse d'un piston ou d'une clé avec l'inclinaison ou la rotation de l'axe.

### 3.5.3. Notation pour l'axe et les mouvements

Dans l'écriture pour Karlax, l'axe et les mouvements sont principalement associés au contrôle de la dynamique et du timbre [LAV 23]. Dans le cycle *Instrumental Interaction*, l'axe est noté comme un paramètre en fonction du temps standard (newtonien) alors que les indications d'inclinaisons sont notés sous forme de cercles concentriques (figures 10 et 11). Ces symboles représentent la plupart du temps des stations de départ, d'arrivée ou intermédiaire dans une phrase musicale. On peut ajouter des indications cinétiques grâce à des lignes en pointillées modulables en fonction de la vitesse du geste. Plus les pointillées sont petits, plus le geste est rapide (portée de mouvement, figure 12).

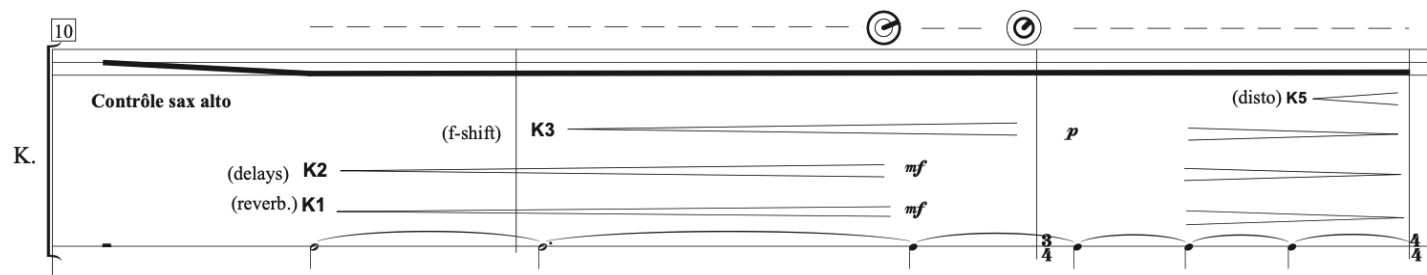
Voici quelques exemples extraits de la pièce *Instrumental Interaction V* (Lavastre 2025): (Tableau 4)

Symbole	Description du symbole	Description du geste
	Flèche vers le bas	Poussée de la base du Karlax vers le bas.
	Flèche vers le bas à gauche	Même geste, en bas à gauche.
	Flèche vers le bas à droite	Même geste en bas à droite
	Flèche vers la droite	Poussée vers la droite lorsque le Karlax est allongé sur la droite.
	Flèche en haut à droite	Poussée vers l'avant, lorsque que le Karlax est allongé vers l'arrière.
	Courbe vers le haut	Mouvement rapide vers l'avant et vers le haut comme projeté. Amplifie par exemple un geste d'un piston que l'on relâche.
	Ligne en forme de vagues	Onduler le Karlax lentement
	Ligne en dent de scie	Secouer vigoureusement le Karlax vers l'avant (« Shake »)
	Flèche en forme d'ovale revenant sur elle-même avec pointillés	Effectuer un mouvement circulaire pendant la durée des pointillés. La tête du Karlax décrit un cercle.
	Forme de sablier avec flèche	Mouvements circulaires rapides de la base du Karlax durant la durée des pointillées (« Churn »)
	Flèche au-dessus des pointillés	Monter progressivement le Karlax
	Rectangles en-dessus ou au-dessous du symbole d'inclinaison	Position du Karlax par rapport au corps en position debout. Rectangle en bas, Karlax en bas, rectangle en haut, Karlax en haut du corps
	Ligne courbe entre deux inclinaisons et rectangles en bas à gauche et en haut à droite	Monter le Karlax d'en bas à gauche à en haut à droite

**Tableau 4.** Notations gestuelles dans Instrumental Interaction V (Lavastre 2025)

### 3.5.4. Notation des traitements en temps réel (continu) avec les clés

L'utilisation des clés continues pour le contrôle du volume d'entrée des traitement en temps réel est largement privilégiée [LAV 23]. En effet, chaque clé peut correspondre au volume d'entrée d'un traitement particulier (décalage de fréquence, multi-délais, distortion, etc.). Les paramètres de chaque module peuvent être contrôllés par les autres signaux continus comme la centrale inertielle, l'axe, les bends et les clés. La figure 13 montre un exemple de notation de contrôle en temps réel avec les clés continues. Des indications dynamiques indiquent l'amplitude du son résultant.



**Figure 13.** Notations des traitements types temps réels (la clé 1 contrôle le volume du signal traité avec de la réverbération, la clé 2 les délais, la clé 3 le décalage fréquentiel et la clé 5 la distorsion (Instrumental Interaction IVb, mes. 10-12 (Lavastre, 2024)

### 3.6. Techniques de jeu

Avant de présenter des éléments de techniques dans l'interprétation avec le Karlax, on peut se demander ce qu'on entend par technique instrumentale avec un IMN. Autrement dit, quels critères prendre en compte pour un.e expert.e du Karlax ? la dextérité ? la virtuosité<sup>18</sup> ? la musicalité ou l'expression gestuelle ? l'aptitude de l'interprète à former la synthèse sonore, à spatialiser les sons, à interagir avec d'autres instrumentistes ou d'autres médias ou encore l'aptitude à pouvoir adapter le mappage ? Pour ce dernier point, quelle est la limite entre ce qui est de la responsabilité de l'interprète et de celle du/de la compositeur.rice ? Aussi, la technique instrumentale avec le Karlax semble particulièrement vaste tant l'utilisation de ce contrôleur est modulable, ajustable et peut agir sur de multiples dimensions. Dans ce sens, le contexte associé à une technique donnée devra être clairement précisé (mappage, synthèse sonore, etc.).

Là encore, il convient de distinguer l'action de l'interprète et le résultat sonore. Une « bonne » technique sera toujours celle qui permet un résultat sonore intéressant, sans que l'on puisse définir à ce stade, ce que ce qualificatif signifie trop précisément. La technique instrumentale s'acquiert souvent par la répétition de gestes considérés comme « bons » dont on améliore la précision, l'efficacité, etc. Qu'est-ce qu'alors un « bon » geste avec un instrument de musique numérique ? Ce serait le geste le plus « simple » pour réaliser un résultat sonore souhaité dépendant du contexte (mapping, synthèse sonore, événements, etc.) et qui préserverait la richesse de contrôle et d'expression.

Prenons un exemple. Un son est déclenché par l'action combinée des clés 1 et 2 (K12D) traitées de manière discrète dont l'amplitude et le timbre sont contrôllés par l'inclinomètre-y. Évidemment, on préférera l'action d'une clé plutôt que deux car cela n'affecte pas le résultat sonore. Si, par contre, le contexte fait qu'à ce moment précis on a besoin d'un nouveau signal discret car les autres capteurs sont « occupés », on préférera ce geste. En revanche, si on enlève l'inclinaison-y par commodité gestuelle, on perd des contrôles fondamentaux. Aussi, on peut envisager de changer de programme (mappage, synthèse) par l'activation d'une pédale MIDI ou d'un bouton. Dans ce cas, il faudra opter pour ce qui est le plus avantageux tenant compte du geste correspondant au changement de programme et les

<sup>18</sup> La notion de virtuosité instrumentale se conçoit aussi dans un environnement technologique et social [JAN 23] [DEV 23].

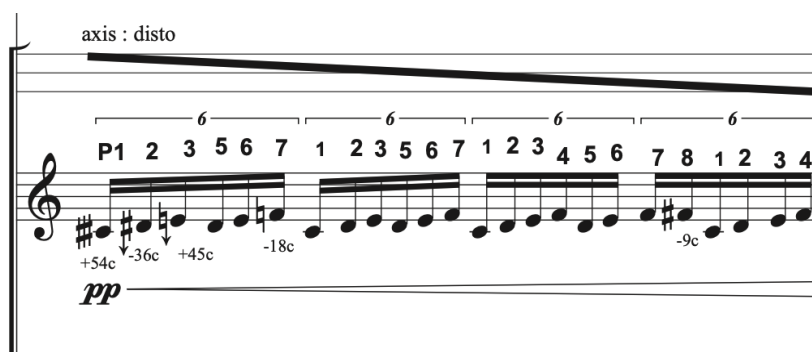
problèmes possibles de latence. De manière générale, un « bon » geste tiendra compte des aspects pratiques liés aux répétitions et au concert.

Dans cette partie, il est discuté de l'utilisation des capteurs (isolés ou combinés) à travers des exemples concrets issus du répertoire, et de la réalisation de techniques d'écriture spécifiques comme la polyphonie.

### 3.6.1. Techniques de jeux avec les capteurs

#### 3.6.1.1. Jeux avec les pistons

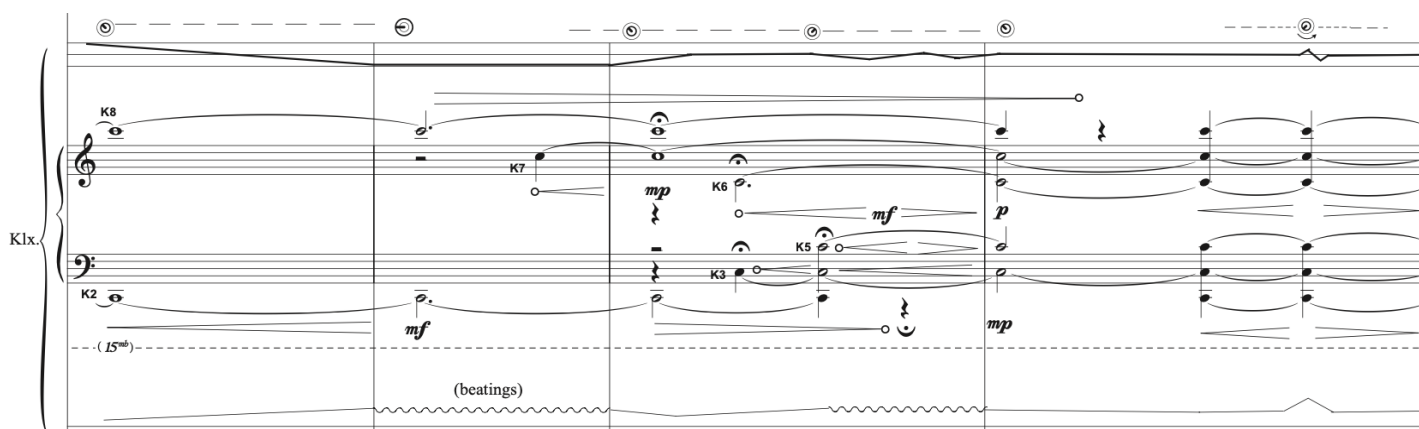
Dans cet exemple, des séries de notes rapides sont jouées avec les pistons (Figure 14). La difficulté est de trouver une bonne régularité et un bon legato. Pour cela, le geste instrumental doit anticiper le temps que mets le piston pour atteindre la base qui permet de déclencher le signal. Dans ce cas, le contrôle dynamique est réalisé par l'inclinaison frontale (inclin-y) seulement. En effet, l'utilisation des capteurs de vélocité pour ce type de jeu « *legatissimo* » rend le résultat en terme de nuances trop aléatoire.



**Figure 14.** *Jeu de pistons*, Instrumental Interaction III, mes. 85 (Gatinet & Lavastre)

#### 3.6.1.2. Jeu de clés

Cet exemple montre un jeu de clés continues de sons de synthèse FM, chaque clé contrôle une voix différente (Figure 15). La difficulté principale est de jouer chaque voix de manière indépendante. Aussi, le ressort qui permet de faire revenir la clé à sa position de repos ne permet pas de maintenir avec précision des positions intermédiaires. Les clés continues permettent de réaliser des crescendi de niente ou decrescendi à niente de manière très fluides et probantes. Une étape de fonction de mappage de la clé sous forme d'une tangente hyperbolique peut aider à réaliser ces nuances (cf. Tableau 3).



**Figure 15.** *Jeu de clés*, Instrumental Interaction I, mes. 11-14 (Lavastre 2022)

Un deuxième exemple (figure 16) concerne les clés utilisées de manière discrète. Les clés doivent être enfoncées jusqu'à la butée pour obtenir un signal. Une des difficultés majeures dans cet exemple consiste à relâcher complètement la clé (signal revient à 0) pour pouvoir la rejouer. Cela est dû à

l'algorithme utilisée concernant les clés discrètes qui permet de reconnaître l'action d'une ou des combinaisons de clés. L'activation des clés discrètes peut demander d'adopter une position particulière si l'on a de petites mains [MOR 24].

**Figure 16.** *Jeu de clés discrètes, Instrumental Interaction IVa, 4<sup>ème</sup> Mvt., mes. 6-8 (Lavastre 2023)*

### 3.6.1.3. Jeu combiné de pistons et de clés

Dans cet exemple, les signaux associés au jeu de pistons consécutifs sont modifiés par l'activation de clés (conditionnement de type « porte ») (cf. 3.2.3.) (Figure 17). À l'image des clés d'octave pour les instruments à vent, on peut composer de cette manière un grand nombre de signaux différents par le jeu de pistons. Les difficultés principales pour ce geste sont le jeu legato des pistons et bien relever les clés entre chaque nouvelle série de pistons (cf. 3.6.1.1. et 3.6.1.2.)<sup>19</sup>.

**Figure 17.** *Jeu de pistons diversifiés par les jeux de clés, Instrumental Interaction IVb, 3<sup>ème</sup> Mvt., mes 17-18 (Lavastre 2023)*

Dans cet autre exemple, un doigt joue à la fois un piston et une clé (Figure 23). Dans ce contexte particulier, où aucune alternative probante n'a été trouvée pour remplacer ce doigté, la clé est appuyée avec la pulpe du doigt alors que la phalange du même doigt joue le piston. Cela requiert précision et un contrôle important (cf. Figure 4). Un mapping adéquat permet de limiter l'influence de la vélocité pour ce geste.

<sup>19</sup> On peut renvoyer le lecteur ici au Métapiano de Jean Haury, invention qui, avec un clavier de piano de moins d'une octave, permet de jouer des pièces du répertoire [HAU 09].

**Figure 18.** Jeu de clés 1 et 2 en même temps que les pistons 1 et 2, Instrumental Interaction III, mes. 77 (Gatinet & Lavastre)

### 3.6.1.4. Jeu combiné de pistons, des impulsions et des inclinomètres

Cet exemple propose un jeu d'impulsions déclenchant des sons de percussions. On trouve plusieurs niveaux de contrôles. L'amplitude des sons de percussions résultant des impulsions est pondérée par la vitesse des pistons. Plus le piston est appuyé fort, plus le son résultant de l'impulse sera fort. La désynchronisation entre la force appliquée au piston et le déclenchement des sons provoqués par l'impulse ne pose pas de difficulté. Un deuxième niveau de contrôle consiste à exercer des poussées dans différentes directions calculées à partir des données des inclinomètres x et y. En fonction de l'activité gestuelle, les données de l'inclinomètre peuvent mettre un certain temps pour revenir à leur état initial. La difficulté est de trouver les bonnes trajectoires gestuelles pour s'assurer d'obtenir le résultat souhaité (Figure 19).

**Figure 19.** Jeu combiné de piston avec des impulsions dans différentes directions, Instrumental Interaction IVa, 1<sup>er</sup> Mvt., mes. 52-55 (Lavastre)

### 3.6.1.5. Jeu avec l'axe en combinaison avec les pistons et les clés

Dans cet exemple (Figure 20), la rotation de l'axe (ligne épaisse au dessus de la portée) permet de « passer » par une technique de morphing (cf. 3.3.5.1.) de sons de synthèse joués par les pistons aux traitements en temps réel du son de la guitare dont l'amplitude est contrôlée par les clés continues. La difficulté principale est de passer de l'un à l'autre de manière fluide. Aussi, il est intéressant de lisser le signal associé à l'axe.

Figure 20 shows a musical score for a guitar control section. It features a diamond-shaped key labeled '51' in the upper left. The score is written in 4/4 time. The upper staff is labeled 'Contrôle guitare' and contains a sequence of notes with fingerings: P5 6 7 2 3 4 5 6 7 2 3 4 5 6 7. Above the notes are fingerings: 3, 6, 6, 6. Dynamics include 'ppp' and '+33c'. Below the staff are control parameters: 'reverb./vol. K2' and 'dels./vol. K1', both with a 'mp' dynamic marking.

**Figure 20.** Succession d'une partie de type contrôle en temps réel (axe ouvert, ligne vers le haut) avec des jeux de pistons (axe fermé, ligne en bas) Instrumental Interaction III, mes. 180-181 (Gatinet & Lavastre)

### 3.6.1.6. Jeu combiné des clés et des inclinomètres

Cet extrait (Figure 21) montre un exemple de morphing de deux signaux audio contrôlés par l'inclinomètre x (cf. 3.3.5.1.). En activant une clé, deux voies de FM sont jouées, suivant si le Karlux est incliné à droite ou à gauche, on peut favoriser une voix ou l'autre. Ce type de mapping donne l'impression de former des sons de synthèse par le geste (Shaping), par ailleurs les clés offrent un bon contrôle dynamique.

Figure 21 shows a musical score for a key-based control section. The key is labeled 'Klx'. Two voices are shown: 'K8' and 'K6'. The score is written in 4/4 time. Above the staff is a diagram of the Karlux axis, showing a dashed line with a circle and a plus sign, indicating the axis is open. Dynamics include 'mp' and 'ppp'.

**Figure 21.** Jeu de clé où l'inclinaison permet de passer d'une voix à l'autre (en appuyant sur K8 et en penchant le Karlux vers la droite, l'octave apparaît), Instrumental Interaction I, mes.18 (Lavastre 2022)

### 3.6.1.7. Jeu combiné des pistons, des clés, de l'axe et des inclinomètres

La plupart des pièces avec Karlux offre un jeu combiné des principaux capteurs. Dans cet exemple, des sons de synthèse sont joués par les pistons. La rotation de l'axe permet de traiter les sons de synthèse avec de la distortion. L'inclinaison permet de modifier le volume. À la fin de la série de piston, l'action de clés discrètes permet de déclencher de nouveaux sons (Figure 22).

Figure 22 shows a musical score for a combined piston and key control section. The score is written in 4/4 time. The upper staff contains a piston sequence: 5 6 7 8 1 2 3 4 5 6 7 8. Above the notes are fingerings: 6, 6. Dynamics include 'f' and 'p'. Below the staff are control parameters: 'freq-shift/vol. K8', 'multidelays/vol. K7', and 'reverb/vol. K6'. The lower staff is labeled 'Contrôle son-guitare' and contains a sequence of notes with dynamics 'f' and 'p'.

**Figure 22.** Jeu de pistons et de clés continues, Instrumental Interaction III, mes.86 (Gatinet & Lavastre)

### 3.6.2. Jeu polyphonique

L'écriture avec le Karlox est le plus souvent monodique ou l'on contrôle et traite qu'une seule voix. Cependant, ses différents capteurs permettent de concevoir une écriture polyphonique. Prenons l'exemple d'une écriture à deux voix où chaque voix correspond à une main du Karlox. Chaque main joue avec les clés et les pistons. Si l'on applique des contrôles de timbre à l'axe et aux inclinomètres, l'indépendance ne se fera pas clairement ressentir spécifiquement avec un mapping similaire. La façon la plus simple de réaliser une composition de type polyphonique avec le Karlox est alors d'assigner des capteurs différents à chaque voix. Mais cela suppose des niveaux de contrôle limités, car le Karlox est conçu pour un contrôle holistique avec des gestes simples. Les compositeur.rices peuvent également envisager des stratégies de type « porte » ou par reconnaissance d'effort pour ajuster le contrôle à chaque voix. Dans ce cas, certains capteurs ne sont activés que lorsqu'ils sont combinés à d'autres capteurs. Cela permet de différencier le niveau de contrôle pour un même geste, mais nécessite d'alterner le contrôle pour chaque voix. En variant les niveaux de contrôle de chaque voix, l'instrumentiste peut créer l'illusion d'une écriture polyphonique avec un contrôle indépendant.

## 4. Concepts et techniques de composition

La pratique du Karlox et des IMN de manière générale amène à repenser notre rapport aux instruments. La place du geste, la constitution de l'identité instrumentale, les stratégies d'interactions avec d'autres instruments, l'importance de l'écriture paramétrique ou encore la constitution de l'interface bouleversent les représentations traditionnelles du jeu instrumental et peuvent à différents niveaux influencer la composition.

Cette partie aborde l'influence des IMN sur la composition musicale. Elle décrit non seulement des idées et des techniques concernant l'écriture pour les IMN à travers l'exemple du Karlox, mais aussi l'influence des IMN sur la composition de manière générale (concept, méthodologie, forme, écriture, etc.).

### 4.1. L'interface Karlox comme modèle de composition

Une des premières sources d'inspiration pour un.e compositeur.ice est sans doute l'interface elle-même. Certains capteurs peuvent inspirer des jeux particuliers comme les pistons qui rappellent ceux d'une trompette, les clés s'inspirent des instruments à claviers ou des palettes chez les saxophones et clarinettes ou encore le jeu avec les capteurs de mouvements qui évoquent celui avec des contrôleurs gestuels comme le Radio Baton<sup>20</sup>, The Lightning I et II<sup>21</sup>, ou encore l'interface de jeu vidéo Wiimote<sup>22</sup>. Alternner les différents modes de jeux peut constituer une stratégie de composition en soit. Par exemple, dans *Discontinuous Devices* pour Karlox et violoncelle de compositeur Michele Tadini, la pièce commence par une utilisation extensive des pistons puis, dans la deuxième section, le Karlox déclenche et contrôle de longues séquences grâce aux données de l'accéléromètre et du gyroscope, rendant les gestes du Karlox au long de la pièce de plus en plus expressifs.

Dans le troisième mouvement de *Instrumental Interaction IVb*, des figures mélodiques constitués de quatre notes diatoniques soit ascendantes soit descendantes tiennent compte de la possibilité de jouer rapidement les quatre pistons avec une main alors que l'autre change les hauteurs grâce à des combinaisons de clés. Le temps qu'il faut pour activer les clés conditionnent également l'écriture des silences entre chaque série de 4 notes (Figure 17).

---

<sup>20</sup> <https://ccrma.stanford.edu/radiobaton/>

<sup>21</sup> <https://web.archive.org/web/20060825143152/http://www.buchla.com/lightning/>

<sup>22</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Télécommande\\_Wii](https://fr.wikipedia.org/wiki/Télécommande_Wii)

## 4.2. Une écriture paramétrique ?

Schématiquement, un IMN contrôle des paramètres qui décrivent une réalité sonore. Un « état » de synthèse sonore peut se définir comme un ensemble d'algorithmes dont les variables constituent les paramètres. Un paramètre exprimé sous forme d'un nombre peut représenter la durée d'une attaque en milliseconde, un coefficient d'amplitude appliqué au signal audio, une hauteur en Hz ou en langage MIDI ou encore la localisation d'une source en degrés. Ainsi, un IMN peut avoir une influence sur chacune des dimensions : temporelle, fréquentielle, timbrale, spatiale du son [HÖD 19]<sup>23</sup>.

Cette vision « paramétrique » des caractéristiques sonores rappelle les tentatives d'uniformisation des paramètres musicaux par les compositeur.ices de l'école de Darmstadt dans les années 1940-1950. Porté par l'avènement de la musique électronique et le développement de l'acoustique, ces compositeur.ices proposèrent une nouvelle grammaire pour la composition musicale inspirée de la technique sérielle [GRA 01] [BOU 63]. Dans les articles autour du temps et de l'espace, Karlheinz Stockhausen décrit les caractéristiques sonores à partir de plusieurs paramètres quantifiables : les hauteurs, les durées, le timbre (exprimé par des fréquences de coupure et des coefficients de largeur de bande de filtres), la localisation dans l'espace (exprimé par des angles de direction, d'élévation et de distance) [STO 57] [STO 58]. Son approche consistait à regrouper, « unifier » les paramètres musicaux qui présentent des rapports communs à partir d'unités de référence. Par exemple, une seconde constituant la durée de référence pour les durées est associée à la note la 440 Hz, valeur de référence pour les hauteurs. Cette approche, tôt critiquée, [LIG 58] a permis de concevoir le son et les processus de composition comme le résultat d'une manipulation paramétrique.

Dans un autre domaine, un son instrumental peut être représenté comme le résultat combiné et simultané de nombreux paramètres. Par exemple, un son de violon est modélisé par des paramètres qui décrivent l'instrument (la nature des matériaux, la tension des cordes, l'archet, etc.), les actions exercées sur l'instrument (la force appliquée sur l'archet ou sa position, le coefficient de friction, etc.) ou encore comment le son va se propager dans l'espace avec des paramètres de réverbération [DEM 08]. C'est le domaine de la synthèse par modèle physique [ROA 16].

Dans ce sens, il est intéressant de mentionner les travaux qui présentent le geste instrumental par la notation d'actions. Par exemple, dans le quatuor à cordes n°3 de Klaus K. Hübler intitulé *Dialektische Phantasie* écrit entre 1982 et 1984, le compositeur écrit la partie de chaque instrument à cordes sur cinq lignes différentes. Une portée concerne les doigtés de main gauche seulement, une autre indique les cordes qui doivent être jouées par l'archet, une portée indique la direction de l'archet (poussées ou tirés), une quatrième indique la position de l'archet (ponticello, tasto, etc.), la dernière indique s'il faut utiliser le crin ou le bois. Cette approche paramétrique ressemble à une notation prescriptive pour un IMN. Dans ce sens, chaque portée pourrait être associée à des données numériques, soit discret comme le numéro de corde ou la direction de l'archet ou continue comme la position de l'archet. Ce type de notation a par ailleurs été explorée par des compositeurs comme Richard Barrett (*Earth*), Aaron Cassidy (*Second String Quartet*) ou Timothy McCormack (*The Restoration of Objects*).

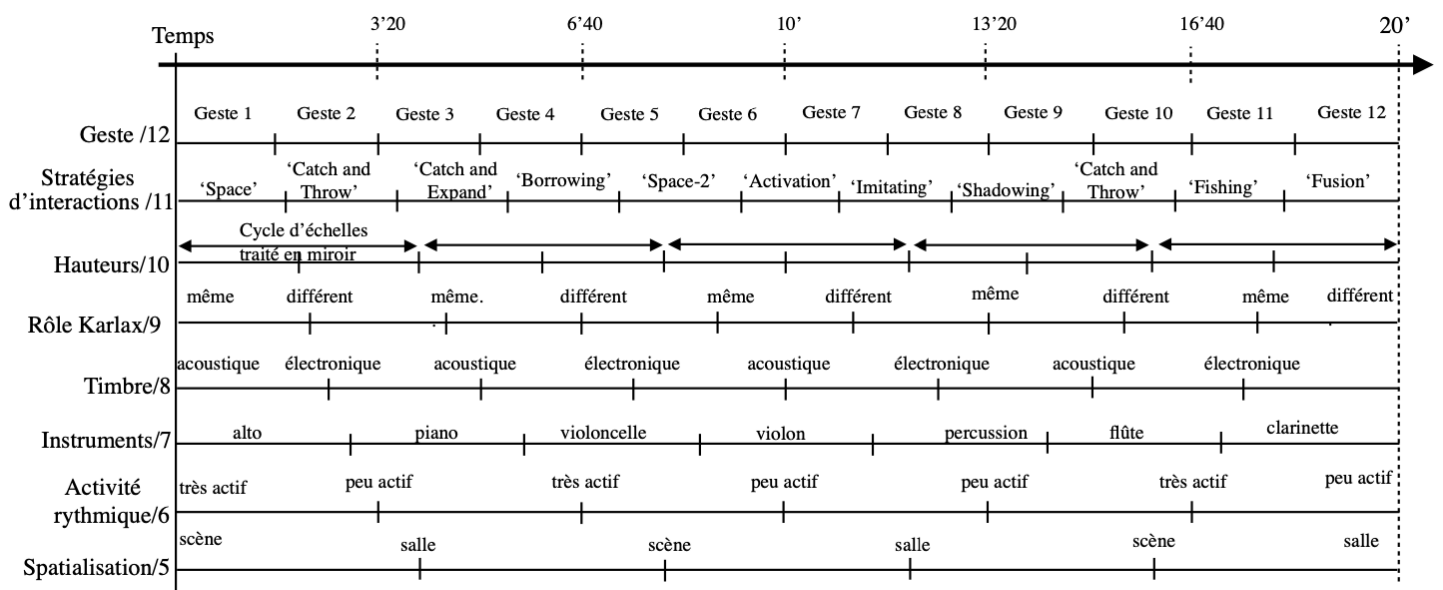
Dans la pièce *Instrumental Interaction V* pour 3 Karlix et ensemble, la forme générale a été pensée selon plusieurs strates qui évoluent avec des vitesses différentes (Figure 23). Il y a en tout huit strates qui représentent chacune un niveau d'écriture (plutôt qu'un paramètre) : « geste », « stratégie d'interaction », « hauteurs », « rôle des Karlix », « timbre », « instruments », « activité rythmique » et « spatialisation ». Ces huit strates évoluent de manière cyclique selon une vitesse différente entraînant des décalages de phases et soulèvent donc des questions mathématiques de racines de l'unité (n.e.). La figure 25 montre les différentes strates calculées à partir de la division de la durée globale de la pièce (20 minutes) où chaque strate correspond à un nombre entier (facteur de division)<sup>24</sup>. Un cycle

<sup>23</sup> On peut bien sûr imaginer d'autres applications (images, etc.).

<sup>24</sup> Cette structure s'inspire de la figure des formants de durée dans l'article de K. Stockhausen « ...wie die Zeit vergeht... » [STO 57].

correspond à deux sections. Ainsi, certaines strates alternent entre des état différents comme si un curseur était actionné. L'activité rythmique oscille entre « peu » et « beaucoup », le timbre entre « acoustique » et « électronique », le rôle des Karlux entre « même » et « différent » ou encore la spatialisation oscille entre une attention localisée sur les interprètes : « scène », ou plus enveloppante : « salle ». D'autres strates correspondent à des catégories, comme « gestes », « stratégies d'interaction », (cf. 4.3.) ou « instruments ». Pour la strate des hauteurs, chaque cycle est composée d'une séquence d'échelles de hauteurs traitée en miroir (soulevant ici des questions de corrélations par symétries<sup>25</sup>). De la même manière que les strates, les échelles sont formées à partir de la division de l'octave par des nombres entiers de 5 à 12 générant des échelles microtonales.

L'objectif de ce modèle est de mettre en évidence une écriture en strates qui, par le décalage temporel, peut dénoter l'existence d'une écriture paramétrique et se rapprocher du fonctionnement d'un contrôleur. Poétiquement, ce modèle s'intéresse à retrouver une perception du temps plurielle et organique. Cependant, cela supposerait que l'on soit capable d'isoler perceptuellement les strates. Tout au moins, ce modèle propose des nouvelles combinaisons de matériaux et des situations musicales originales.



**Figure 23.** Schéma formel pour Instrumental Interaction V (Lavastre)

Une autre inspiration du fonctionnement des IMN dans le processus de composition peut consister à imiter par des figures musicales des flux de données et leurs conditionnements. Dans *Instrumental Interaction I*, des gammes quasi chromatiques ascendantes ou descendantes représentent les flux d'entrées provenant des capteurs (Figure 24).

Par ailleurs, l'idée de contrôle peut être aussi illustré musicalement. Un paramètre d'un matériel musical peut avoir une influence sur un (ou plusieurs) autres paramètres. Pour rendre cela perceptible, ce processus pourra être renouvelé plusieurs fois. Dans *Instrumental Interaction I*, l'amplitude d'un trémolo de gong orchestrée simule un « contrôle » de la vitesse et de l'ambitus d'un flux de notes de flûte. Plus le cor est fort, plus le flux de notes joué par la flûte ralenti et l'ambitus s'agrandit. La musique procède en vagues successives de cet effet (Figure 25) .

<sup>25</sup>... donc des questions d'intégrabilités, permettant une perception intuitive de la topologie globale (n.e.).

4/4 Roulis III ♩ = 50

121 Y

legatiss. 12 12 9 12 12

Fl. *ff* *pp* *mf* *ff* *mp*

Ob. *p* *f* *p*

Cl. (Bb) *pp* *f* *pp*

Bsn. *ff* *p* *p* *ff* *mf*

Hn. (F) *p*

Trp. *pp* *f* *mf*

Trb. *pp* *f* *mf*

Bass Drum *ff* *f*

Xylo

Pn. *pp* *f* *ff* *f* *ff* *p*

8va 12 15va 12

legatiss. 12 12

Figure 24. Instrumental Interaction I (mes.121-122)

♩ = 72

3/4 4/4 rall. 3/4

46 J

ord. 6 6 3

Fl. *mf* *f* *mf* *f* *sf* *sf* *mf* *f* *f* *mf* *f* *mf*

Ob.

Cl. (Bb)

Bsn.

Hn. (F) *pp* *mf*

Trp. *p*

Trb. *mf*

Perc. *mf*

Figure 25. Instrumental Interaction I (mes. 46-48)

## 4.3. Le geste

### 4.3.1. Applications du geste en musique

Le geste en musique est un sujet complexe et multiple. Pour comprendre son rôle dans la composition avec des contrôleurs comme le Karlix, on retiendra trois applications : le geste de l'instrumentiste, le geste chorégraphié et le geste musical. Dans la première application, on retrouve les actions qui permettent de créer les vibrations sonores associées à la pratique instrumentale : souffler, taper, pincer, frotter, etc. Également, on retrouve les gestes auxiliaires qui n'ont pas de réelles incidences sur le son lui-même et qui accompagnent l'interprétation (« ancillary gestures ») [WAN 05] [VIN 06]. Ainsi, les gestes des instrumentistes peuvent prendre plusieurs significations s'ils visent la production ou la modification du son (« sound producing » ou « sound modifying »), s'ils facilitent la production du son (« sound facilitating ») ou s'ils sont expressifs par nature (« Communicative gestures ») [JEN 10] [DAH 10]. On sait par ailleurs, que le geste de l'instrumentiste influence la perception de la musique [DAV 93] [SCH 07]. Par exemple, un son accompagné d'un geste expressif peut sembler plus long qu'il ne l'est réellement.

Le geste peut être pensé, composé comme une strate expressive en elle-même. Dans ce sens, le geste peut être noté, soit verbalement, soit symboliquement, avec des emprunts possibles à l'art chorégraphique (Méthode Dalcroze [SEI 05], Labanotation<sup>26</sup> [GUE 04], Benesh Movement Notation [BEN 75]). Parmi les pièces représentatives de l'intégration gestuelle dans le processus de composition musicale, on peut citer *Visible Music I et II* (1960-1962) de Dieter Schnebel, pièces qui mettent en scène le geste musical inspiré par les enseignements de John Cage et les happenings du début des années 1960, *Inori* (1973-1974) de Karlheinz Stockhausen, les pièces *Musique de Table* (1987), *Silence Must Be!* (2002) ou *Light Music* (2004) de Thierry De Mey [POT 16], *Aphasia* (2009) de Mark Applebaum ou encore *Prélude à l'épais* (2017) de Philippe Leroux.

Sur ce sujet, le monde des instruments électroniques et contrôleurs offre également un terrain d'exploration intéressant. Du thérémine aux électromyogrammes (EMG) fixés sur le corps de l'interprète en passant par les instruments augmentés, chaque pratique voit une conception originale du geste, du plus fonctionnel au plus chorégraphié. On retiendra particulièrement les travaux des pionniers du genre comme Michel Waisvisz, Laetitia Sonami, Jean-Claude Risset, Don Buchla, Chris Chafe, Mark Goldstein, Pamela-Z, Tod Machover ou Atau Tanaka [BAT 00].

Enfin, le geste peut être aussi métaphorique à travers le contenu musical. Dans cette catégorie, l'expression musicale est porteuse d'un sens de mouvement ou de geste. Les concepts de spectromorphologie et de « mère porteuse » (« surrogacy ») introduits par Denis Smalley [SMA 97] décrivent comment un matériel sonore peut acquérir une signification globale gestuelle notamment dans l'écriture électroacoustique [LER 11]. Parallèlement, les unités sémiotiques temporelles (UST) développées au Laboratoire Musique et Informatique de Marseille définissent des figures sonores délimitées dans le temps qui évoquent par leur description des caractéristiques gestuelles, cinétiques. Par exemple, l'UST « Qui tourne » est décrite morphologiquement comme « animée d'un mouvement cyclique, mais dont la matière sonore n'est pas forcément uniforme » et sémantiquement comme un objet « animé d'un mouvement de rotation sur lui-même et/ou dans l'espace qui « donne l'impression d'un phénomène dont on ne sait où se situe le début et la fin » avec une « absence de progression malgré les variantes/variantions possible » [FAV 07].

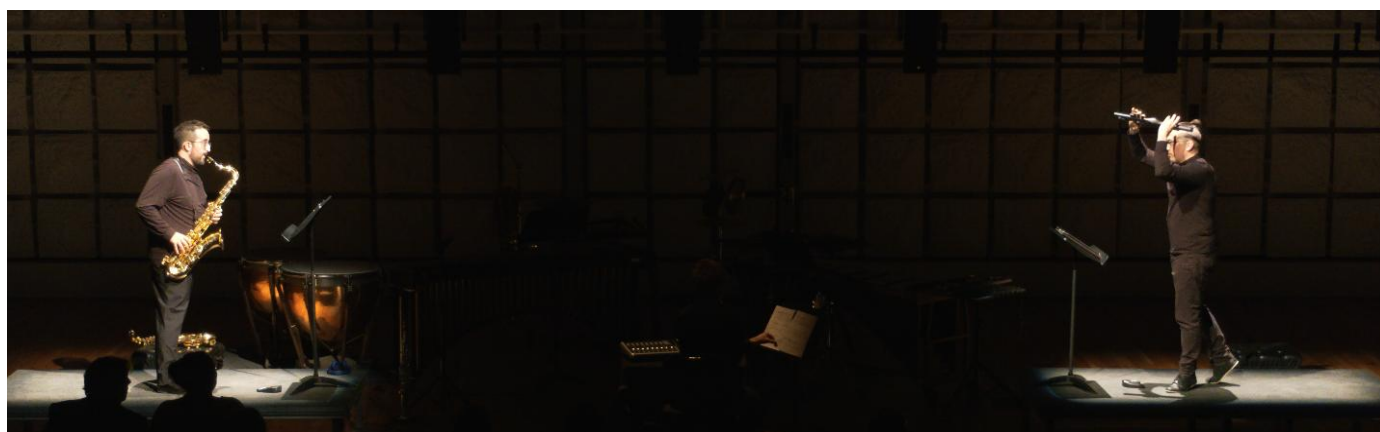
---

<sup>26</sup> La méthode de notation développée par Rudolf Laban décrit six catégories distinctes du mouvement : « le Corps » qui indique ce qui bouge et comment, « l'Espace » qui définit où va le mouvement et dans quel espace il s'inscrit, « l'Effort » qui définit comment le mouvement est effectué et avec quelle qualité d'énergie, « la Forme » qui indique quels chemins sont empruntés par le mouvement, « le Phrasé ou le Rythme » qui définit dans quel laps de temps et suivant quel rythme le geste s'effectue et enfin « l'Interrelation » qui définit comment l'interprète en mouvement est en relation avec son entourage [GUE 04].

### 4.3.2. Le geste dans l'écriture pour Karlax

À partir de ces notions théoriques, on peut déduire plusieurs attitudes concernant l'intégration du geste dans la composition avec Karlax. Premièrement, on peut se concentrer uniquement sur le résultat sonore. Dans ce cas, les clés et les pistons pourraient être favorisés au détriment des capteurs liés à la centrale inertielle ou de l'axe. Cependant, plus on attribuera de contrôles à l'interprète, plus il y aura de possibilités d'expression musicale et gestuelle [LAV 24a].

Une deuxième attitude consisterait à écrire le geste comme une strate expressive. Ainsi, le geste peut amplifier, transformer, développer le discours musical. Dans ce cas, il est demandé à l'interprète une attention particulière sur le potentiel expressif de son corps et ses mouvements [SEI 05]. Dans la pièce *Instrumental Interaction II* pour saxophone ténor et Karlax (Lavastre, 2023), le discours musical du Karlax est amplifié par des gestes spécifiques. On trouve des rebonds associés aux signaux d'impulses, des projections (ou jetés) qui amplifient le geste de libération d'un piston, des gestes de rotations qui provoquent une augmentation de l'énergie acoustique ou encore des gestes arrêtés qui scandent le discours musical (Figure 26). Ces gestes sont décrits et notés dans la partition (Tableau 4).



**Figure 26.** Performance d'*Instrumental Interaction II* (Lavastre) par le Duo Airs à la salle MMR (Montréal)

Une troisième attitude consiste à favoriser l'écriture gestuelle et chorégraphique par rapport à l'écriture musicale. Ici le médium principal est avant tout visuel. Par exemple, le chorégraphe Hervé Diasnas dans son spectacle *Penso a te* (écrit en collaboration avec Valérie Lamielle) fait une utilisation originale du Karlax où l'instrument devient quasiment un accessoire du danseur.

**Figure 27.** Extrait de la partition *Instrumental Interaction II*, mes. 43-44 (Lavastre)

Comme décrit précédemment, le discours musical peut contenir une expression gestuelle en elle-même. Il est alors intéressant de comparer les interactions entre la dimension gestuelle liée à l'interprétation avec le Karlox et celle contenue dans la musique. Par exemple, dans *Instrumental Interaction II*, des figures descendantes perpétuelles à la fois jouées par des slaps de saxophone ténor et des sons électroniques au Karlox sont soulignées par une inclinaison progressive du Karlox (Figure 27).

#### 4.4. Les interactions instrumentales

En tant que contrôleur dont l'identité sonore reste à constituer, le Karlox possède un fort potentiel d'interactions avec d'autres instruments ou media.

Il est significatif de contextualiser la composition avec des IMN dans le prolongement de pratiques qui ont révolutionné le rapport à l'écriture instrumentale comme l'essor de la musique mixte et le développement des techniques étendues dans la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle. Dans le premier cas, l'ajout d'une partie électronique (fixe ou avec des traitements temps réel) à une partie instrumentale a permis de placer au centre la question du son, du timbre et de l'espace [SAL 13] [ORC 17] [LAL 17]. D'un autre côté, le développement de la musique concrète instrumentale avec des pièces emblématiques comme *Pression* pour violoncelle ou *Salut für Caudwell* pour deux guitares de Helmut Lachenmann a renouvelé l'écriture par la recherche de sonorités inouïes et l'exploration de techniques de jeux non conventionnelles [LAC 09].

Dans ce sens, la composition avec Karlox offre de nouvelles perspectives. Ici, les compositeur.ices ont moins le souci d'élargir les caractéristiques instrumentales que d'apporter de la « vraisemblance », d'installer une identité sonore et gestuelle et de mettre en scène des interactions. La richesse d'écriture avec le Karlox tient à la variété de rôles qu'il peut assumer. Par exemple, il peut imiter, emprunter, augmenter, transformer des caractéristiques sonores ou gestuelles d'autres parties instrumentales ou électroacoustiques.

Cette partie présente des exemples de stratégies d'interactions entre le Karlox et des parties instrumentales ou électroacoustiques à la lumière de métaphores issues de l'informatique musicale ou de principes perceptifs. Présentées sous forme de catégories, ces stratégies permettent de mieux comprendre le rôle du Karlox. Dans un deuxième temps, il est exploré les manières dont le Karlox peut interagir avec les principales familles d'instruments (instruments à vent, à clavier, à percussion et à cordes), mais aussi avec des parties électroacoustiques fixes ou d'autres IMN.

##### 4.4.1. Les stratégies d'interactions

Les métaphores d'interactions (mot ou groupes de mots évoquant une situation musicale) forment des outils pertinents pour commenter les stratégies compositionnelles pour des pièces avec Karlox en interaction avec d'autres parties instrumentales ou électroacoustiques [LAV 21] [LAV 23]. Ces métaphores peuvent être issues du vocabulaire de l'informatique musicale [WAN 02]. Par exemple, la métaphore « Shaping » (Façonnage) renvoie à « des scénarios où les interprètes contrôlent des morphologies sonores en 'traçant' dans l'air les caractéristiques sonores » [WES 02]. « Catch and Throw » (« Attraper et relâcher ») réfère à des concepts issus du domaine des interactions homme-machine où il est possible de capturer des phrases musicales d'une performance, les transformer d'une certaine manière et les « relâcher » dans l'interprétation [WES 02]. « Space » (« espace ») suggère musicalement des trajectoires intéressantes pour le geste [WES 02]. « Fishing » (« pêche ») renvoie à la reconnaissance gestuelle qui déclenche des effets ou des sons [CAR 14]. Cette stratégie peut être exploitée d'une manière compositionnelle. « Musical tasks » (« tâches musicales ») permet d'appréhender des types de jeux instrumentaux traditionnels (notes isolés, glissandis, vibrato, etc.) et le déclenchement de séquences et leur organisation dans le temps [WAN 02].

Certaines métaphores peuvent faire appel à des critères perceptifs ou dialectiques. Par exemple, les stratégies « Imitating » (« Imitation »), « Shadowing » (« Ombre ») ou « Transforming »

(« Transformation ») renvoient à des idées dialectiques au niveau musical, d'actions et de réaction entre plusieurs composantes acoustiques [LAV 23]. La métaphore « Space » (« Espace ») dans ce cas évoque l'idée d'arrière plan sonore sur lequel évolue une partie principale. D'autres font plus références spécifiquement au Karlax et sa souplesse dans l'identité instrumentale comme la métaphore « Borrowing » (« Emprunt ») qui décrit l'emprunt de caractéristiques sonores et gestuelles d'autres instruments.

L'ensemble de ces métaphores forment un langage qui aide à concevoir les interactions entre un contrôleur comme le Karlax et d'autres parties. Celles-ci peuvent être réalisées par des instruments acoustiques dont le timbre et les modes de jeu sont généralement connus. Elles peuvent être aussi de nature électroacoustique ou réalisées par d'autres instruments de musique numériques, par exemple d'autres Karlax.

#### 4.4.2. Interactions par famille d'instruments

Suivant le mode de jeu (le geste) ou le timbre des instruments avec qui le Karlax interagit, celui-ci peut revêtir différents rôles. Voici quelques exemples illustrés par des extraits de pièces du répertoire pour Karlax.

##### 4.4.2.1. Interactions avec des instruments à vent

Avec sa forme de clarinette ou de saxophone soprano, le Karlax est enclin à se comporter comme - ou interagir avec - des instruments à vent, même s'il ne contient pas de capteurs de souffle comme les contrôleurs EWI [SWA 16] ou les instruments Eigenharp<sup>27</sup>.

Dans le troisième mouvement de *Instrumental Interaction IVb*, le Karlax joue des groupes de quatre notes diatoniques grâce aux pistons. À l'image de clés d'octaves pour les instruments à vent, l'activation de clés modifie les intervalles (cf. 3.6.1.3.). Par ailleurs, joué debout, le Karlax contrôle principalement l'amplitude par l'inclinaison avant-arrière qui renvoie aux gestes auxiliaires réalisés par les instrumentistes à clé. Dans ce cas, le Karlax joue une synthèse sonore qui s'apparente à un son de flûte. Les bruits de clés des saxophones se mêlent aux bruits de pistons du Karlax.

##### 4.4.2.2. Interactions avec des instruments à clavier

Les palettes des clés du Karlax évoquent un instrument à clavier. Conçues pour du contrôle continu, elles peuvent être converties en signaux discrets à la manière d'un clavier MIDI et rejoignent le comportement des pistons en terme de données (cf. 3.2.2.). Joué également debout, le Karlax peut évoquer des instruments MIDI portatifs à clavier comme le Keytar<sup>28</sup>.

Dans *Instrumental Interaction III*, les touches continues jouent des gammes ascendantes réalisées par des synthèses FM, principalement constitués de notes diatoniques avec des échelles microtonales. Dans *Instrumental Interaction V*, les gammes jouées au piano, entrent en écho avec un jeu de type clavier par le Karlax mais dont les hauteurs microtonales se trouvent intercalées entre les notes tempérés du piano.

##### 4.4.2.3. Interactions avec des instruments à percussion

Les instruments à percussion forment une famille aux modes de jeu très nombreux et variés et correspondant à différentes actions : frapper, taper, frotter, secouer, renverser, etc. Par sa forme simple évoquant un bâton, le Karlax peut être associé à de nombreux gestes liés aux instruments percussifs. Par exemple, les jeux d'impulsions ou poussées (tableau 4) peuvent évoquer des coups sur une membrane virtuelle. Des algorithmes de reconnaissance d'effort associés aux gestes « Churn » ou « Shake » peuvent évoquer d'autres sonorités comme des jeux de types maracas par exemple.

---

<sup>27</sup> [www.eigenlabs.com](http://www.eigenlabs.com)

<sup>28</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/Keytar>

Le premier mouvement de la pièce *Instrumental Interaction IVa* développe une sorte de set de percussions virtuels autour de l'interprète. Des sons entretenus de roulements de boobam sont traités par des filtres et des délais, des impulsions jouent des échantillons de roto-toms traités par des résonateurs alors que les clés discrètes et les pistons jouent des échantillons de frappes de boobam. (Figure 28).

**Figure 28.** Jeu de type percussions, *Instrumental Interaction IV.a*, mes. 14-16

#### 4.4.2.4. Interactions avec des instruments à cordes frottées

On peut définir l'action principale d'un jeu de corde frottée par des mouvements de va-et-vient de l'archet. Par ailleurs, le timbre de violon peut être approché par différentes techniques de synthèse par modèle physique de cordes (Modalys<sup>29</sup>, StringStudio<sup>30</sup>).

À la fin de la pièce *Rise of the Virusheads* d'Alex Bridger pour alto et Karlax, l'interface transforme une matière sonore riche par le contrôle d'une fréquence de coupure d'un filtre grâce au geste d'inclinaison avant-arrière. Pendant ce temps, l'alto réalise de larges mouvements d'archet pour entretenir des sons dans le grave de l'alto. Répétés, les deux gestes des instrumentistes ainsi que les matières sonores riches et distinctes des deux instruments, fusionnent singulièrement.

#### 4.4.3. Interactions avec une partie électroacoustique fixe

Pour répondre à la question : « Quel rôle peut adopter le Karlax en interaction avec une partie électroacoustique fixe ? » il faudrait investir la question « comment discerner une partie électroacoustique avec celle jouée par le Karlax ? ». Acoustiquement parlant, rien ne semble les différencier si ce n'est l'empreinte acoustique du Karlax (bruits de pistons, clés). Cependant, on trouve de nombreux points de discussions sur l'écriture électroacoustique et sur les procédés de type temps réel [CRO 07] [DIS 20]. Comme il a été montré, les qualités d'expression avec le Karlax sont liées aux qualités et aux nombres de contrôles accordés par les compositeur.rices aux interprètes [LAV 24a]. Une interprétation avec Karlax contiendra nécessairement plus d'« accidents » qu'une partie fixe. Par ailleurs, la partie de Karlax est liée à l'activité physique de l'interprète, les deux parties peuvent avoir des caractéristiques temporelles et spatiales très différentes. Une séquence longue électroacoustique avec peu ou pas de possibilités de contrôle sera perçue comme une strate musicale indépendante. Cependant, parce que la diffusion provient des mêmes haut-parleurs, l'interprète peut tout à fait simuler des contrôles, favorisant un aspect théâtral.

<sup>29</sup> <https://forum.ircam.fr/projects/detail/modalys/>

<sup>30</sup> <https://www.applied-acoustics.com/string-studio-vs-3/>

D'une manière générale, une pièce faisant interagir une partie contrôlée par le Karlax et une partie électroacoustique contient les mêmes enjeux qu'une pièce mixte traditionnelle, les problématiques susmentionnés en plus (place du geste, vraisemblance, multiplicité d'identités sonores, etc.).

Dans *Instrumental Interaction II*, de longues séquences indépendantes et spatialisées sont déclenchées par des gestes spécifiques. Un premier mouvement consiste à maintenir le Karlax en position haute avec un piston enfoncé. De cette manière, la séquence musicale pré-enregistrée est comme « libérée » lorsque le piston est relâché. Dans un deuxième exemple, l'interprète du Karlax doit coucher l'interface sur le côté (inclin- $x = 0$ ) pour déclencher le son. Ces deux gestes suspensifs apportent un lien de causalité entre les gestes de l'interprète et la séquence qui suit qui n'est plus alors interprétée comme « contrôlée » par le Karlax.

#### 4.4.4. Interactions avec d'autres instruments numériques

Les pièces combinant plusieurs instruments de musique numérique multiplient les possibilités et les problématiques d'écriture. Un des principaux enjeux est d'attribuer à chacun des instruments de musique numérique des identités sonores et gestuelles propres [FER 10] [STE 10].

La pièce *Instrumental Interaction V* pour 3 Karlax et ensemble, contient un passage avec les trois Karlax sans l'ensemble. Le choix compositionnel a consisté à attribuer des identités sonores aux trois Karlax en fonction des instruments proches géographiquement. Le Karlax 1, proche du piano et du violon alterne des jeux de types claviers et des contrôles dans l'espace (« Shaping ») imitant les techniques d'archet grâce aux capteurs de la centrale inertielle. Le Karlax 2, proche de l'alto, du violoncelle et de la percussion alterne des jeux d'archets et des jeux de types percussions grâce aux algorithmes de reconnaissance gestuelle. Enfin, le Karlax 3 proche des instruments à vent : flûte et clarinette et des percussions alternent des types de jeux avec les clés et les pistons et des algorithmes de reconnaissance gestuelle. En somme, ils reconstituent l'empreinte gestuelle et sonore de l'ensemble.

#### 4.5. La perception intermodale comme contrainte créative

Les mécanismes de perception liés aux pièces impliquant des IMN peuvent représenter des contraintes intéressantes pour les compositeur.ices. Tout d'abord, il est intéressant de noter que l'évolution des techniques de jeu et de composition instrumentale s'est réalisée par des synergies entre les cultures de composition, d'interprétation et les habitudes en termes de perception. Dans le cas du Karlax, ces cultures sont encore très jeunes. Par conséquent, les compositeur.ices doivent installer différentes phases pour construire l'identité sonore et gestuelle du Karlax et le lien avec l'environnement global de la pièce. Ainsi, une première phase d'« acclimatation » où les relations son-geste sont présentées semble particulièrement importante [STE 23]. À l'inverse, une phase de désassemblage (« decoupling ») de ces relations constitue un enjeu dramaturgique intéressant.

Par ailleurs, l'expérience avec des contrôleurs comme le Karlax est intermodale, à la fois sonore et visuelle. Dans la mesure où le geste amplifie la perception audiovisuelle d'une performance musicale [VIN 06], [SCH 07], [DAV 93] [BRO 09], des passages mimés ou des sons évoquant des gestes peuvent mettre en avant cet aspect d'intermodalité.

#### 4.6. Une relation particulière au temps

L'utilisation du Karlax implique une relation particulière au temps. Premièrement, comme il a été montré, les identités sonore et gestuelle peuvent changer au cours du temps. Dans ce sens, l'apparition de nouvelles relations son/geste forment des sortes de marqueurs temporels. Par ailleurs, on peut considérer le jeu avec un instrument comme une superposition d'« empreintes » de différentes natures. Pour un instrument acoustique, les empreintes sonore et gestuelle évoluent forcément de manière simultanée. En revanche, pour un IMN comme le Karlax, l'empreinte numérique, qui correspond aux flux de données, l'empreinte acoustique et l'empreinte gestuelle peuvent être décorrélés dans le temps.

Concrètement pour l'écriture d'un IMN, les signaux numériques et acoustiques peuvent être enregistrées, transformées, rejouées de manière indépendante dans le temps. Cet aspect peut paraître contradictoire avec le fait que les phénomènes de latence représentent une contrainte majeure pour le jeu instrumental. Toutefois, ces techniques de composition qui utilisent de manière différenciée les matériaux audio, numérique et gestuel peuvent mettre en avant des caractéristiques propres aux IMN et constituer des éléments de langage cohérents avec leur utilisation.

#### 4.6. *Éléments de méthodologie*

La composition avec Karlux est profondément interdisciplinaire et fait se conjuguer plusieurs cultures: musique électronique, musique instrumentale ou encore chorégraphique et théâtrale. Elle requiert un environnement technologique important : ordinateur, logiciels, haut-parleurs, etc. Pour envisager une méthodologie de composition avec le Karlux, il faudrait définir quels seraient les critères pour une pièce réussie pour Karlux. Outre ses qualités musicales, sonores, gestuelles, de spatialisation, de notation, cette pièce pourrait constituer un espace d'expression permettant aux interprètes de démontrer une expertise en terme musical et gestuel.

Voici quelques éléments méthodologiques pour la composition avec Karlux.

- 1. *Phase d'expérimentation et de conception* : Une phase d'expérimentation avec manipulations de l'interface, essais de types de synthèse sonore et de mappings est essentiel pour créer des sensations à la base de l'imaginaire créatif. C'est aussi une phase d'esquisse des premières idées musicales et gestuelles, de mises en scène, d'interactions, etc.
- 2. *Choix des types de synthèses sonores et de traitements*. Fort de la première phase, le compositeur peut s'arrêter sur un ou plusieurs types de synthèses sonores et/ou traitements en temps réel. Si le Karlux interagit avec un autre instrument acoustique ou un autre media, il peut être intéressant d'enregistrer un répertoire de sons provenant de ces sources pour favoriser les interactions et qui pourront être utilisés soit pour la synthèse sonore (par exemple, échantillonnage, synthèse granulaire ou synthèse additive après analyses des échantillons, etc.), soit pour les traitements ou soit la partie électroacoustique.
- 3. *Choix de mappings et/ou création de nouveaux signaux*. Afin que le flux de données numériques décrivent le mieux les gestes souhaités, il peut être nécessaire de créer ou ajuster certains signaux. Un choix de mapping adapté permet de renforcer les possibilités expressives avec l'instrument.
- 4. *Notation*. Le choix du type de notation résulte des premières phases de conceptions et d'expérimentations. On pourra privilégier des approches prescriptives, descriptives, littérales ou bien illustrées suivant le projet. À l'image de la composition avec un instrument acoustique dont on imagine les timbres et les gestes, la composition avec Karlux peut résulter d'un processus d'abstractions de sonorités ou de gestes.
- 5. *Ajustements*. Des allers-retours entre la notation, l'ajustements du mapping et de la synthèse sonore et des traitements permet de préciser les idées de composition.
- 6. *Compositions des parties électroacoustiques et spatialisation*. Dépendant du projet et du dispositif impliqué, des phases d'écriture électroacoustique peuvent être mise en place à différentes étapes du projet : séquences spatialisées, articulations, traitements des échantillons ou encore spatialisation.
- 7. *Organisation des changements de programme (« cues »)*. L'organisation des changements de programme consiste tout d'abord à délimiter les moments où le mapping du Karlux reste le même. Suivant le contexte, il est tantôt judicieux soit d'activer une nouvelle pédale soit de changer le mapping. Un changement peut également déclencher des traitements en temps réel ou

des sons à l'image d'une pièce mixte traditionnelle. De même les changements de programme doivent tenir compte des répétitions.

- 8. *Répétitions et concert.* Les répétitions peuvent être adaptées selon que le Karlux contrôle sa propre synthèse ou traite en temps réel le son d'un instrument. Par ailleurs, dépendant du dispositif, on peut imaginer des patches modulables en fonction du nombre et type de haut-parleurs.

## 5. Conclusion

En se concentrant sur un contrôleur dont les qualités de conception et possibilités expressives ont été reconnues, dont une première phase de réflexion a été engagée et qui possède un répertoire de pièces, cet article a pour ambition de développer une phase d'approfondissement avec un IMN. Cela consiste principalement à décrire des éléments de techniques et de langage pour la composition et l'interprétation avec Karlux. Dans ce sens, cet article propose un examen détaillé de l'interface et des techniques spécifiques de programmation, de jeux et de compositions à partir d'exemples concrets issus du répertoire.

Comme pour l'ensemble des IMN, le bagage technique requis pour jouer du Karlux ne se résume pas à la seule manipulation de l'interface. Les étapes de définition de l'environnement matériel et informatique, de conditionnement des données, de choix de synthèse sonore, de mapping et de structure de patch ou encore de notation sont cruciales. Par conséquent, les techniques de jeux peuvent contenir des difficultés très variables selon les contextes (nombre de haut-parleurs, présence de traitements en temps réel, etc.). Plusieurs situations caractéristiques du jeu avec Karlux ont été retenues en partant des capteurs utilisés de manières différenciés ou combinés, et en explorant les différentes possibilités d'écriture avec d'autres instruments. Enfin, l'article propose un cadre de réflexion à la fois philosophique et esthétique concernant la composition avec Karlux basé sur les problématiques de la constitution d'une identité, de la relation son-geste, des stratégies d'interactions ou encore de la perception.

Le Karlux qui est équipé de composants électroniques reste sensible à l'obsolescence. Cependant, ce contrôleur peut correspondre aux besoins d'un.e musicien.ne qui recherche une interface avec une grande qualité de contrôle et qui peut s'intégrer dans différents contextes notamment en interaction avec des instruments de musiques acoustiques. Dans ce sens, on peut se demander quelle serait une société musicale où le Karlux représenterait une option pour un.e compositeur.ice, un.e interprète ou un.e auditeur.ice. Quels changements de paradigmes sociétaux au niveau technologique, culturel, artistique ou musical seraient nécessaires ? Par exemple, peut-on envisager un goût prononcé pour les expériences intermodales, avec une place renforcée pour l'expression corporelle et théâtrale ? Une écriture instrumentale favorisant la virtualité ? Peut-on imaginer des interprètes dédiés, des jury, etc. ? Aussi, quelles mises à jour de l'interface et des outils et quel répertoire seront nécessaires ?

La place du Karlux dans le paysage des IMN est unique et pourvu d'un fort potentiel mais les obstacles demeurent importants notamment en ce qui concerne la création et la reproduction de pièces [MOR 24]. À l'heure actuelle, un ensemble de pièces à la fois expérimentales et pédagogiques de type études pour Karlux semble être fondamental pour développer et pérenniser les pratiques. Ces études pourraient explorer de manière approfondie plusieurs techniques comme une utilisation des capteurs de manière isolé ou en combinaison, des types d'écriture polyphonique, des jeux de types temps réel, du contrôle de spatialisation, des interactions avec d'autres instruments, etc. Ce serait un terrain favorable pour développer des techniques de synthèse sonore, de stratégies de mapping ou de conditionnements de données pour une plus grande expression à la fois gestuelle et musicale.

## Bibliographie

- [ALM 23] LE MEHAUTE, A. GAVRILUT. A., TAYURSKII D , « Outline about Sheaf Approach of the Arrow of Time and Creativity: Fractional Operators, Topos and Grothendieck Schemes Approach », dans *Hyperion International Journal of Econo-Physics and Modern Economy* , vol 16 (2024) Bucarest.
- [ALM26] LE MEHAUTE, A., « A propos de la dualité Entropie et Anti-Entropie. De la dynamique fractionnaire à la lumière des correspondances de Langlands », *Entropie N° Spécial Lila Entropie Ed. ISTE* (2025)
- [BAR 23] BARRETT G. D., « Engendering the Digital: Digitality and the Posthuman Hand in Laetitia Sonami's Lady's Glove », dans G Douglas Barrett *Experimenting the Human, Art, Music, and the Contemporary Posthuman*, The university of Chicago Press, 2023.
- [BAR 72 ] BARTHES R., « Le grain de la voix », *Musique en jeu*, n° 9, p. 57-63, 1972.
- [BAT 00] BATTIER M., WANDERLEY M. M., ROVAN J., BUXTON, BUCHLA D., CHAFE C., MACHOVER T., MATHEWS M., MOOG B., RISSET J.-C., SONAMI L., WAIVISZ M., « Electronic Controllers in Music Performance and Composition », dans M. M. Wanderley & M. Battier (dir.) *Trends in Gestural Control of Music*, Ircam, Centre Pompidou, 2000.
- [BEA 00] BEAUDOUIN-LAFON M., « Instrumental Interaction: an interaction model for designing post-WIMP user interfaces », dans *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factor in Computing systems*, p. 446-453, 2000.
- [BEN 75] BENESH R., BENESH J., *An Introduction to Benesh Movement – Notation: Dance, Dance Horizons Inc.*, 1975.
- [BER 12] BERWECK S., *It Worked Yesterday: On (re-) Performing Electroacoustic Music*, Thèse de doctorat, University of Huddersfeld, 2012.
- [BER25] Berthoz A., Verdier F. *Une séance de peinture entre cerveau art et science*, (2025) Ed. Odile Jacob, Paris
- [BOU 63] BOULEZ P., *Penser la musique aujourd'hui*, Éditions Gonthier, 1963.
- [BRO 09] BROUGHTON M., STEVENS C., « Music, movement and marimba: An investigation of the role of movement and gesture in communicating musical expression to an audience », *Psychology of Music*, volume 37, n° 2, p. 103-113, 2009.
- [BRU25] Bruter C., *The value of mathematics and computing in contemporary art* (2025) Beauty and mathematics Cambridge Scholar publishing Cambridge
- [BUT 08] BUTLER J., « Creating Pedagogical Etudes for Interactive Instruments », *Proceedings of the 2018 International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, p. 77-80, 2008.
- [CAR 14] CARAMIAUX B., FRANÇOISE J., SCHNELL N., BEVILACQUA F., « Mapping Through Listening », *Computer Music Journal*, volume 38, n° 3, p. 34-48, 2014.
- [CAR 18] CARPENTIER T., « A New Implementation of Spat in Max », dans *Proceedings of the 15<sup>th</sup> Sound and Music Conference*, p. 184-191, Limassol, Cyprus, 2018.
- [CHA16] Chatelet G. *L'enchantement du virtuel*, Eds. Aluni Charles et Paoletti Catherine (2016) Press ENS , Paris
- [COO 17] COOK P., « 2001: Principles for Designing Computer Music Controllers », dans A. R. Jensenius & M. J. Lyons (dir.) *A NIME Reader. Fifteen Years of New New Interfaces for Musical Expression*, p. 1-11, Springer, AG, 2017.
- [CRO 07] CROFT J., « Theses on liveness », *Organised sound*, volume 12, n° 1, p. 59-66, 2007.
- [DAH 10] DAHL S., BEVILACQUA F., BRESSIN R., CLAYTON M., LEANTE L., POGGI I., RASAMIMANANA N., « Gestures in Performance », dans R. I. Godøy & M. Lemán (dir.), *Musical Gestures, Sound, Movement, and Meaning*. New York, Routledge, p. 36-35, 2010.
- [DAV 93] DAVIDSON J. W., « Visual Perception of Performance Manner in the Movements of Solo Musicians », *Psychology of Music*. volume 21, p. 103-113, 1993.
- [DEM 08] DEMOUCRON M., *On the control of virtual violins*. Thèse de doctorat, KTH Computer Science and Communication, Stockholm, Sweden, 2008.
- [DEV 23] DEVENISH L. HOPE C., MCAULIFFE S., « Contemporary musical virtuosities », dans L. Devenish, C. Hope (dir.). *Contemporary Musical Virtuosities*, p. 1-13, Routledge, 2023.
- [DIS 20] DI SCIPIO A., *Qu'est-ce qui est « vivant » dans la performance Live Electronics ? Une perspective écosystémique des pratiques de création sonore et musicale*, Thèse de doctorat en musicologie, Université Paris 8, Vincennes, 2020.

- [DOB 06] DOBRIAN C., KOPPELMAN D., « The E in NIME: Musical Expression with New Computer Interfaces », *Proceedings of the 2006 International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, p. 277-282, 2006.
- [DUR 25] DURY, R. Communication personnelle avec Benjamin Lavastre, 2025.
- [ELM 02] ELMENREICH W., *Sensor Fusion in Time-Triggered*, Thèse de doctorat, Technischen Universität Wien, Vienne, 2002.
- [FAV 07] FAVORY J., « Les unités sémiotiques temporelles », *Mathématiques et sciences humaines*, n° 178, p. 51-55 Centre d'analyse et de mathématique sociales de l'EHESS, 2007.
- [FEL 02] FELS S., GADD A., MULDER A., « Mapping Transparency Through Metaphor: Towards More Expressive Musical Instruments », *Organised sound*, volume 7, n° 2, p. 109-126, 2002.
- [FER 10] FERGUSON S., WANDERLEY M. M., « The McGill Digital Orchestra: An Interdisciplinary Project on Digital Musical Instruments », *Journal of Interdisciplinary Music Studies*, volume 4, n° 2, p. 17-35, 2010.
- [FUK 21] FUKUDA T., MENESES E., WEST T., WANDERLEY M. M., « The T-Stick Music Creation Project: An approach to building a creative community around a DMI », *Proceeding of the 2021 International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, 2021.
- [GRA 01] GRANT M. J., *Serial Music, Serial Aesthetics: Compositional Theory in Post-War Europe*, Cambridge University Press, 2001.
- [GUE 04] GUEST, A. H., M. J., *Labanotation: The system of Analyzing and Recording Movement*, Taylor & Francis Group, 4<sup>th</sup> edition, 2005.
- [HAU 09] HAURY J., « La pianotechnie ou notage des partitions musicales pour une interprétation immédiate sur le métapiano », *Journées d'Informatique Musicale*, Grenoble, 2009.
- [HÖD 19] HÖDL O., « 'Blending Dimensions' when Composing for DMI and Symphonic Orchestra », *Proceedings of the 2019 International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, p. 198-203, 2019.
- [HUN 03] HUNT A., WANDERLEY M. M., PARADIS M., « The Importance of Parameter Mapping in Electronic Instrument Design », *Journal of New Music Research*, volume 32, n° 4, p. 429-440, 2003.
- [JAN 23] JANKOWSKA L., « Re-Thinking Virtuosity for the Hybrid Era of Multifarious Approaches », *Contemporary Music Review*, volume 42, n° 3, p. 288-303, 2023.
- [JEF 11] JEDRZEJEWSKI F., « Ontologie des catégories », *Ed. L'Harmattan Paris*, pp. 139, 2011.
- [JEN 10] JENSENIUS R. A., WANDERLEY M. M., GODØY R. I., LEMAN M., « Musical Gestures, Concept and Methods in Research », dans R. I. Godøy & M. Leman (dir.), *Musical Gestures, Sound, Movement, and Meaning*. New York, Routledge, p. 12-35, 2010.
- [JEF 19] JEDRZEJEWSKI F., *Hétérotopies musicales : modèles mathématiques de la musique*, Editions Hermann, Paris 2019.
- [KAN 07] KANNO M., « Prescriptive Notation: Limits and challenges », dans *Contemporary Music Review*. New York, volume 26, n° 2, p. 231-254, 2007.
- [LAC 09] LACHENMANN H., *Écrits et entretiens*, Éditions Contrechamps, Genève, 2009.
- [LAL 17] LALITTE P., « Topo-Analyse de la musique mixte », dans *Analyser la musique mixte*, Éditions Delatour France p. 21-38, 2017.
- [LAV 21] LAVASTRE B., WANDERLEY M. M., « Mixed Writing with Karlux and Acoustic Instruments: Interaction strategies from computer music », *Proceedings of the 15th International on Computer Music Multidisciplinary Research, Japan*, 2021.
- [LAV 23] LAVASTRE B., WANDERLEY M. M., « Interaction Strategies in Composition for Karlux and Acoustic Instruments », dans M. Aramaki, K. Hirata, T. Kitahara, R. Kronland-Martinet et S. Ystad (dir.), *Music in the AI Era, CMMR 2021. Lecture Notes in Computer Science*, volume 13770, Springer, p.163-179, 2023.
- [LAV 24a] LAVASTRE B., WANDERLEY M. M., « Studying Performances with Digital Musical Instruments: A Case Study of Ritual, a Piece for Solo Karlux », dans A. R. Jensenius (dir.), *Sonic Design, Current Research in Systematic Musicology*, volume 12, Springer, p. 138-154, 2024.
- [LAV 24b] LAVASTRE B., « « Le Kammerkonzert de G. Ligeti à la lumière de l'article « ... wie die Zeit vergeht... » de K Stockhausen », note personnelle à l'attention de l'éditeur de la revue Entropie, Montréal, Janvier 2024.
- [LER 11] LEROUX P., « phraser le monde : continuité, geste et énergie dans l'œuvre musicale », *Circuit*, Volume 21, , n° 2, p. 29-48, 2011.

- [LEV 02] LEVITIN D. J., MCADAMS S., ADAMS R. L., « Control parameters for musical instruments: a foundation for new mappings of gesture to sound », *Organised Sound*, volume 7, n° 2, p. 171-189, 2002.
- [LIG 58] LIGETI G., « Pierre Boulez: Entscheidung und Automatik in der Structure 1a », *Die Reihe*, volume 4, p. 38-63, 1958.
- [LOC 72] LOCKE J., *Éssai philosophique sur l'entendement humain*, écrit en 1694, traduit par Fr. De P. Coste, Éditions Vrin, Paris, 1972.
- [MAL 13] MALLOCH J., SINCLAIR S., WANDERLEY M. M., « Libmapper: (a library for connecting things) », dans *CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, p. 3037-3090, Association for Computing Machinery, New York, USA, 2013.
- [MAL 17] MALLOCH J., WANDERLEY M. M., « Embodied Cognition and Digital Musical Instruments: Design and Performance », dans M. Lesaffre, P.-J. Maes, M. Leman (dir.), *The Routledge Companion to Embodied Music Interaction*, p. 440-449, Routledge, 2017.
- [MAL 18] MALLOCH J., SCHUMACHER M., SINCLAIR S., WANDERLEY M. M., « The Digital Orchestra Toolbox for MAX », *Proceedings of the 2018 International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, p. 255-258, 2018.
- [MAR 18] MARQUEZ-BORBON A., MARTINEZ-AVILA J. P., « The Problem of DMI Adoption and Longevity: Envisioning a NIME Performance Pedagogy », *Proceedings of the 2018 International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, p. 190-195, 2018.
- [MAR 20] MARQUEZ-BORBON A., « Collaborative Learning with Interactive Music Systems », *Proceedings of the 2020 International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, p. 581-586, 2020.
- [MAR 17] MARIER M., *Musiques pour éponge: la composition pour un nouvel instrument de musique numérique* », Thèse de doctorat, Université de Montréal, Montréal, 2017.
- [MAS 23] MASU R., MORREALE F., JENSENIUS A. R., « The O in NIME: Reflecting on the Importance of Reusing and Repurposing Old Musical Instruments », *Proceedings of the 2023 International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, Mexico City, 2018.
- [MAY 10] MAYS T., RUBIANO R., « TapeMovie: Un environnement logiciel pour la création temps réel intermédia », Journées d'Informatique Musicale, Rennes, France, 2010.
- [MAY 14] MAYS T., FABER F., « A Notation System for the Karlax Controller », *Proceedings of the 2014 International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, p. 553-556, 2014.
- [MAZ 07] MAZZOLA G., « Vérité du beau dans la musique », *Quatre leçons à l'Ecole Normale Supérieure de Paris* Ed. Delatour, pp 180 , 2007.
- [MCC 16] MCCLELLAN J. H., SCHAFFER R. W., YODER M. A., *DSP First*, Second Edition, Pearson, 2016.
- [MCP 12] MCPHERSON A. P., KIM Y. E., « The Problem of the Second Performer: Building a Community Around an Augmented Piano », *Computer Music Journal*, volume 36, n° 4, p. 10-27, 2012.
- [MED 14] MEDEIROS C. B., WANDERLEY M. M., « A Comprehensive Review of Sensors and Instrumentation Methods in Devices for Musical Expressions », *Sensors*, volume 14, n° 2, p. 13556-13591, 2014.
- [MEN 02] MENZIES D., « Composing instrument control dynamics », *Organised Sound*, volume 7, n° 3, p. 255-256, 2002.
- [MIR 06] MIRANDA E. R., WANDERLEY M. M., *New Digital Musical Instruments: Control and Interaction beyond the Keyboard*, Middleton, WI: A-R Editions, 2006.
- [MOA 90] MOLES A. *L'art et l'ordinateur*, Editions Casterman, Paris 1990.
- [MOR 24] MORICEAU G., YAN Y., THIBAUT D., WANDERLEY M. M., « The Obstacle Course of DMI Performance: Two Case studies with T-Stick and Karlax », *Proceedings of the 2024 International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, 2024.
- [MOR 17] MORREALE F., MCPHERSON A. P., « Design for Longevity: Ongoing Use of Instruments from NIME 2010-14 », *Proceedings of the 2017 International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, p. 192-197, 2017.
- [MOR 18] MORREALE F., MCPHERSON A. P., WANDERLEY M. M., « NIME Identity from the Performer's Perspective », *Proceedings of the 2018 International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, p. 168-173, 2018.
- [ORC 17] ORCALLI A., « Analyser la musique mixte. Théories et interprétations », dans *Analyser la musique mixte*, Éditions Delatour France p. 239-297, 2017.

- [PAI 15] PAINE G, « Designing the techno-somatic », dans *Proceedings of the 2nd International Workshop on Movement and Computing (MOCO'15)*, p. 48–51, 2015.
- [PAM 03] PAMELA Z, « A Tool is a Tool », dans J. Malloy (dir.) *Women, Art, and Technology*, The MIT Press, p. 369-361, 2003.
- [POT 16] POTAPOVA GESLIN V., « Le geste, le mouvement et des nouvelles lutheries dans la musique contemporaine à travers Light Music de Thierry de Mey », dans C. Délécraz, A. Giomi, A. Sini, *Corps, son et technologies entre théories et pratiques*, Nice, 2016.
- [PUL 97] PULKKI V., « Virtual Sound Source Positioning Using Vector Base Amplitude Panning », *Audio Engineering Society*, volume 45, n° 6, p. 456-466, 1997.
- [RAM 06] RAMSDEN E., *Hall-Effect Sensors – Theory and Applications*, Second edition, Newnes, Elsevier, 2006.
- [REI 23] REIMER P. J. C., GUPTA A., GUASTAVINO C., WANDERLEY M. M., « Longitudinal Evaluation of User Experience with Digital Musical Instruments: Development and Demonstration of a New Method », Thèse de Master, McGill University, 2023.
- [RIC 90] RICOEUR P., *Soi-même comme un autre*. Éditions du Seuil, 1990.
- [ROA 16] ROADS C., *L'audionumérique. Musique et informatique*, 3ème édition, Éditions Dunod, 1997.
- [ROV 97] ROVAN J. B., WANDERLEY M. M., DUBNOV S., DEPALLE P. « Instrumental Gestural Mapping Strategies as Expressivity Determinants in Computer Music Performance », *Proceeding of the AIMI International Workshop*, p. 68-73, 1997.
- [SAL 13] SALOMOS M., *De la musique au son. L'émergence du son dans la musique des XXe-XXIe siècles*, Presses Universitaires de Rennes, 2013.
- [SCH 07] SCHUTZ M., LIPSCOMB S., « Hearing gestures, seeing music: Vision influences perceived tone duration », *Perception*, volume 36, p. 888-897, 2007.
- [SEI 05] SEITZ J. A., « Dalcroze, the body, movement and musicality », *Psychology of Music*, volume 33, n° 4, p. 419-435.
- [SMA 97] SMALLEY D., « Spectromorphology: explaining sound-shapes », *Organised sound*, volume 2, n° 2, p. 107-126, 1997.
- [STE 10] STEWART D. A., *Catching the Air and the Superman*, Thèse de doctorat, Université McGill, Montréal, 2010.
- [STE 16] STEWART D. A., « Karlax Performance Techniques: It Feels Like... », *Proceedings of the 2016 International Computer Music Conference (ICMC)*, p. 83-89, 2016.
- [STE 23] STEWART D. A., *Communication personnelle avec Benjamin Lavastre*, 2023.
- [STO 57] STOCKHAUSEN K., «...wie die Zeit vergeht... », *Die Reihe*, volume 3, p. 13-42, 1957.
- [STO 59] STOCKHAUSEN K., « Musik im Raum », *Die Reihe*, volume 5, p. 59-73, 1959.
- [SWA 16] SWALLOW M. J., *MIDI Electronic Wind Instrument: A Study of the Instrument and Selected Works*, Thèse de doctorat, West Virginia University, Morgantown, États-Unis d'Amérique, 2016.
- [TOR 16] TORRE G., ANDERSEN K., BALDÉ F., « The Hands: The Making of a Digital Musical Instrument », *Computer Music Journal*, Vol. 40, No. 2, p. 22-34, 2016.
- [VAN 02] VAN NORT D., WANDERLEY M. M., DEPALLE P., « Mapping Control Structures for Sound Synthesis; Functional and Topological Perspectives », *Computer Music Journal*, volume 38, n° 3, p. 6-22, 2002.
- [VIN 06] VINES B. W., KRUMHANSL C. L., WANDERLEY M. M., LEVITIN D. J., « Cross-modal interactions in the perception of musical performance », *Cognition*, volume 101, n° 3, p. 80-113, 2006.
- [WAN 02] WANDERLEY M. M., ORIO N., « Evaluation of Input Devices for Musical Expression: Borrowing Tools from HCI », *Computer Music Journal*, volume 26, n° 3, p. 62-76, 2002.
- [WAN 05] WANDERLEY M. M., VINES B. W., MIDDLETON N., MCKAY C., HATCH W., « The Musical Significance of Clarinetists' Ancillary Gestures: An Exploration of the Field », *Journal of New Music Research*, volume 34, n° 1, p. 97-113, 2005.
- [WES 02] WESSEL D., WRIGHT M., « Problems and Prospects for Intimate Musical Control of Computers », *Computer Music Journal*, volume 26, n° 3, p. 11-22, 2002.

## Liens articles et vidéos

STEWART D. A., *Performance techniques on the Karlax*, <https://www.youtube.com/watch?v=x7ewJjgXzqc>

MAYS T., *Notation System for the Karlax Controller*, <http://www.canalc2.tv/video/14378>

## Medias, musiques, partitions citées

APPLEBAUM MARK, *Aphasia*, pour chanteur et bande, 2010.

BARRETT RICHARD, *Earth*, pour trombone et percussion, 1987-88.

BRIDGER ALEX, *Rise of the Virus Heads* pour Karlax et alto, 2023.

DIASNAS HERVÉ., *Penso a te*, spectacle chorégraphique avec Karlax, 2023.

CASSIDY AARON, *Second String Quartet*, 2010.

DE MEY THIERRY, *Musique de tables* pour 3 percussionnistes, Inédit, 1987.

DE MEY THIERRY, *Silence Must Be !* pour un chef d'orchestre, Inédit, 2002.

DE MEY THIERRY, *Light Music !* pour un chef d'orchestre, Inédit, 2004.

GATINET BRICE, LAVASTRE BENJAMIN, *Instrumental Interaction III* pour guitare classique et Karlax, Babelscores, 2024.

<https://youtu.be/TP8PcxZSLTI>

HÜBLER KLAUS K, *Streichquartett n :3 « dialektische Fantasie »*, Breitkopf & Härtel, 2024.

LACHENMANN HELMUT, *Pression*, pour violoncelle, 1969.

LACHENMANN HELMUT, *Salut für Caudwell*, pour violoncelle, 1969.

LAVASTRE BENJAMIN, *Instrumental Interaction I* pour Karlax solo et ensemble, Babelscores, 2022.

<https://youtu.be/r1To-PsudPs>

LAVASTRE BENJAMIN, *Instrumental Interaction II* pour saxophone et Karlax, Babelscores, 2023.

<https://youtu.be/oBf3rtitycE>

LAVASTRE BENJAMIN, *Instrumental Interaction IV.a*, pour Karlax solo, Babelscores, 2024.

[https://youtu.be/Lx\\_dKPUXJoY](https://youtu.be/Lx_dKPUXJoY)

LAVASTRE BENJAMIN, *Instrumental Interaction IV.b* pour Karlax et trois saxophones, Babelscores, 2024.

LAVASTRE BENJAMIN, *Instrumental Interaction V* pour 3 Karlax et ensemble, Babelscores, 2025.

LEROUX PHILIPPE, *Prélude à l'épais* pour flûte, clarinette, piano, violon et violoncelle, Billaudot, 2017.

MCCORMACK TIMOTHY, *The Restoration of Objects*, pour quatuor à cordes, 2008.

SCHNEBEL DIETER, *Visible Music I*, pour un chef d'orchestre et un instrumentiste, 1960 -1962.

STEWART D. A., *Ritual*, pour Karlax solo, 2015.

STOCKHAUSEN K., *Inori* pour 2 danseurs et orchestre, op. 38, Stockhausen Verlag 1976-77.

TADINI MICHELE, *Discontinuous Devices*, pour violoncelle et Karlax, 2015.