

Les pierres musicales, un dispositif pédagogique interactif

Julien Debove, David Durand, Marion Giraud, Mathieu Giraud, Richard Groult, Nicolas Guiomard-Kagan, Ophélie Hérouart, Emmanuel Leguy, Florence Levé, Nathan Marécaux, et al.

▶ **To cite this version:**

Julien Debove, David Durand, Marion Giraud, Mathieu Giraud, Richard Groult, et al.. Les pierres musicales, un dispositif pédagogique interactif. Journées d'Informatique Musicale (JIM 2017), 2017, Paris, France. hal-01517519

HAL Id: hal-01517519
https://hal.science/hal-01517519

Submitted on 18 May 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

« LES PIERRES MUSICALES », UN DISPOSITIF PÉDAGOGIQUE INTERACTIF

Julien Debove [1] *David Durand* [2] *Marion Giraud* *Mathieu Giraud* [1]
Richard Groult [2] *Nicolas Guiomard-Kagan* [2,1] *Ophélie Hérouart* *Emmanuel Leguy* [1]
Florence Levé [2,1] *Nathan Marécaux* *Hervé Midavaine* [2]

[1] CRIStAL, UMR 9189, CNRS, Université de Lille
[2] MIS, Université de Picardie Jules Verne, Amiens
www.algomus.fr/pierres

RÉSUMÉ

Les *pierres musicales* sont un dispositif interactif tangible pour expérimenter des notions musicales par le jeu et la manipulation d'objets, aussi bien pour le grand public que pour les musiciens apprenants. Constitué d'un support avec lequel les pierres interagissent, ce dispositif pédagogique se base sur notre faculté d'écoute et ne nécessite pas de connaissances préalables. Le participant résout des jeux en ordonnant les pierres, qui représentent chacune un son ou groupe de sons. Aidé par des messages sonores, il poursuit son travail d'auto-formation grâce à sa mémoire et sa capacité d'écoute. Les pierres font découvrir des éléments d'analyse musicale et sont utilisées lors d'événements de médiation scientifique. Le participant est ainsi un apprenant, se forgeant par l'expérimentation sensible des connaissances musicales (hauteurs et rythmes, similarités de mélodies). Ces connaissances peuvent s'approfondir, notamment en interaction avec un pédagogue.

1. INTRODUCTION

La musique est complexe, faite de mélodies et d'harmonies structurées dans le temps et dans les hauteurs. Une démarche d'analyse musicale permet de mieux la comprendre et d'en formaliser certains aspects. *Est-il possible de transmettre et de discuter des notions musicales avec des publics non spécialistes ?* Cette question ancienne de pédagogie musicale – voire de pédagogie d'analyse musicale – peut être aujourd'hui abordée avec des dispositifs d'informatique musicale adaptés, donnant accès à du contenu musical sous de nouvelles formes.

Pédagogie, notations et nouveaux outils. On peut tout d'abord donner accès à un contenu musical sous forme de *partition* qui formalise un ensemble de sons. C'est l'un des moyens principaux pour transmettre, échanger et préserver les oeuvres musicales en Occident. En particulier, « l'analyse musicale s'est toujours servie de la représentation pour modéliser l'évolution des structures dans le temps » [11].

La partition s'est adaptée aux nouveaux usages, qu'ils soient pour l'écoute, l'interprétation ou l'analyse. Les nouvelles technologies donnent accès à des représentations musicales variées permettant la transcription des musiques contemporaines, électroacoustiques et interactives. Concernant la musique classique, l'analyse musicale se pratique très souvent directement sur des partitions utilisant la notation musicale occidentale avec (ou non) l'aide de logiciels tels qu'iAnalyse [10], ou des outils que nous avons proposés autour de music21 [7].

La partition, possiblement numérique et augmentée, est ainsi déjà le lieu d'innovations pédagogiques. Depuis de nombreuses années, la formation musicale, qu'elle soit spécialisée ou pour tous, concerne à la fois la partition et l'oralité, renouant avec des apprentissages traditionnels et développant la faculté d'écoute. Par exemple, le projet pédagogique initié par l'IRCAM « Musique Lab 2 » [22] est en adéquation avec les principaux objectifs de l'Éducation Nationale en matière d'éducation musicale, à savoir, l'importance d'une pédagogie interactive, l'ouverture aux nouvelles technologies, la création et l'écriture musicale, l'analyse par l'expérimentation. Il aborde les relations complexes entre mathématiques et musique et des notions musicales comme la représentation des structures et le système tonal. Les analyses s'appuient sur la mise en lien d'objets musicaux et sont principalement réalisés à partir du logiciel OpenMusic [9].

Sonification et objets musicaux. La pédagogie peut aussi passer par la *sonification* d'objets, que ce soit des objets courants [15] ou des objets musicaux. Certains capteurs reliés à un ordinateur ou un téléphone permettent ainsi de transformer tout objet en instrument, comme pour le capteur « Mogees » [3]. Le lien entre gestes et sonification est en particulier à l'étude dans le projet Legos à l'IRCAM [1, 12].

Une source récente de création d'objets musicaux est la technologie libre *ReacTIVision* qui offre un suivi rapide et robuste de marqueurs attachés à des objets ou des surfaces physiques [17]. Cette technologie conçue comme une boîte à outils a permis le développement de nom-





Figure 1. Les pierres musicales. Un moule en silicone a été réalisé à partir de prototypes sculptés dans du bois. La résine permet d'ajouter facilement des colorants, dans la masse, pour obtenir des couleurs variées et stables.

breuses surfaces tactiles (Molekül 3000, Mixitui, Bricktable, Soundstrukt, dubtable...) [5]. Par exemple, la ReacTable est une interface tangible qui se présente sous la forme d'une surface sur laquelle sont posés des objets. Le joueur contrôle un synthétiseur modulaire en manipulant ces objets [16]. Ces objets musicaux ont été principalement conçus pour la performance.

Notre approche. Les pierres musicales sont des objets interactifs qui, posés sur un support adéquat, restituent de la musique. Nous avons cherché ainsi à réaliser un *dispositif pédagogique* pour expérimenter des notions de théorie musicale par le *jeu* et la *manipulation d'objets*. Nous nous adressons aussi bien au grand public qu'aux musiciens apprenants, en nous basant d'abord sur leur faculté d'écoute plutôt que sur des connaissances préalables. La plupart des objets musicaux existant ont été conçus pour la performance musicale ou la composition : le dispositif des pierres musicales a lui pour but de servir de base à une analyse musicale intuitive. L'approche pédagogique favorise une réappropriation personnelle de notions élémentaires de la musique comme les hauteurs et durées, les mélodies, et possiblement d'autres notions plus complexes.

Afin de favoriser l'auto-apprentissage en situation d'expérimentation, la manipulation est couplée à une sonification, qui se manifeste par un message sonore envoyé à différents moments de l'auto-apprentissage, que ce soit lors de la présentation d'un nouveau jeu ou lors de la validation d'une proposition de solution. Le participant devient un « apprenant » car il acquiert par l'expérimentation une conduite nouvelle et s'approprie un savoir nouveau.

Dans la suite de cet article, nous détaillons le dispositif proposé, pierres, support et logiciel (partie 2), nous décrivons quelques ateliers réalisés ou potentiels (partie 3) et nous finissons par discuter les résultats, la distribution et les perspectives des pierres musicales (partie 4).

2. UN DISPOSITIF INTERACTIF TANGIBLE

2.1. Les pierres musicales, de l'ère préhistorique à l'ère numérique

Les pierres sont un des premiers instruments de musique de l'humanité. On retrouve ainsi des lithophones dès la Préhistoire, notamment en Chine et au Vietnam [24, 2]. Frapper sur les pierres permet d'obtenir des sons et de les faire résonner, et ces sons peuvent être facilement transportés d'un endroit à un autre [13, 14]. Les pierres peuvent émettre des sons variables provenant de leurs diverses densités et éventuellement des découpes, naturelles ou artificielles, qu'elles ont subies.

Des applications sur ordinateur ou sur tablette peuvent être de bons supports d'apprentissage. Nous avons souhaité aller plus loin en créant des objets musicaux interactifs, en reprenant cette image de « pierres musicales ». Transformer des sons éphémères et impalpables en objets identifiables tels que des pierres facilite l'appropriation de savoirs musicaux par la mise en place d'expérimentations, de tâtonnements et d'essais. La taille des pierres a été choisie pour qu'elles puissent tenir dans la main et être aisément manipulées, y compris par des enfants.

Ce choix étant fait, nous avons cherché à réaliser un dispositif où la technologie serait aussi discrète que possible, naturelle, quasi magique ou invisible, et nous avons décidé d'utiliser la technologie RFID pour que les pierres puisses être reconnues par un support interactif. Il aurait été possible d'utiliser ReacTIVision, mais nous avons privilégié un dispositif plus discret et portable, directement utilisable à chaque session d'atelier sans recalibrage.

Après avoir exploré diverses possibilités, dont l'impression 3D, nous avons finalement décidé de réaliser des pierres moulées en résine Smooth-cast 300 (figure 1). Le moulage se réalise en deux couches, un transpondeur (« tag ») NFC/RFID 13.56 MHz (ADA360) étant inséré entre les deux couches.

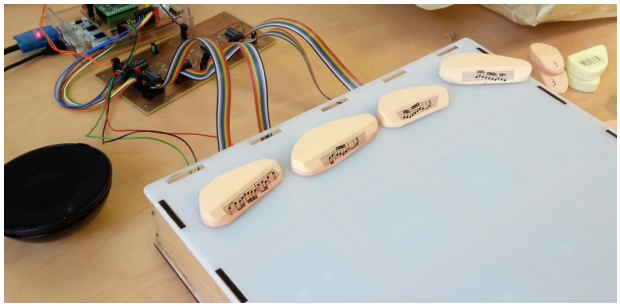


Figure 2. Le support des pierres musicales, prototype de 2016.

2.2. Un support interactif, matériel et logiciel

Le support avec lequel les pierres interagissent est une caisse en bois ($35 \times 35 \times 7$ cm) surmontée de plexiglas (figure 2) ou, dans sa version prototype, de tissu permettant de délimiter une *zone d'écoute* et une ou plusieurs *zones de jeu*. Un bouton est accessible pour que l'utilisateur « active » les pierres présentes sur le support.

La détection des pierres se fait par 16 antennes RFID (4 colonnes de 4 antennes) qui sont scannées et interrogées par un lecteur RFID 13.56 MHz (SM130) (figure 3). La connexion entre la matrice 4×4 et les multiplexeurs est assurée par 4 bus bidirectionnels. Le lecteur RFID est connecté à un pcDuino (carte pcDuino V1) par l'intermédiaire de circuits imprimés. Il ne peut lire qu'une antenne à la fois (ANT). L'idée est donc d'alimenter une seule antenne à chaque instant et, si un tag est présent sur l'antenne sélectionnée, de lire son identifiant. L'association du module SM130 et du système de multiplexeurs (HEF4052) balaie ainsi les colonnes et les lignes de la matrice 4×4. L'ensemble des antennes est ainsi examiné dans un temps allant de 50 à 100 ms. Sans aller jusqu'au temps réel, cette latence convient tout à fait pour mettre en place des ateliers interactifs basés sur les positions des pierres et suscitant la réflexion. Enfin, le protocole choisi pour connecter le lecteur RFID au pcDuino (I2C) permettrait de relier facilement plusieurs modules d'antennes, par exemple pour intégrer 32 antennes ou plus, mais l'encombrement d'un tel système serait alors un facteur limitant.

Le logiciel s'exécutant sur le pcDuino est conçu en deux couches. La première couche, programmée en C, gère la communication entre le matériel et le logiciel (communication I2C entre le pcDuino et le lecteur RFID) et obtient les coordonnées et les identifiants des tags RFID déposés sur les antennes (un tag au plus par antenne). La seconde couche, en Python, en déduit les pierres musicales déposées et gère l'interaction du jeu. Elle rend possible l'écoute de fichiers son Vorbis `.ogg` stockés sur le pcDuino via la bibliothèque Python `pygame` [4].

Un jeu est constitué d'une ou deux pierres *énoncé* dont l'activation déclenche l'initialisation du jeu et l'énoncé de la consigne. Selon le jeu, 4 à 12 *autres pierres* doivent ensuite être mises dans une certaine configuration pour arriver à une solution acceptable, plusieurs solutions pouvant éventuellement être acceptées. Selon la position des pierres dans les zones d'écoute de jeu, l'activation des pierres par le bouton mène à une audition des pierres ou bien à la vérification des propositions du joueur. Plusieurs pierres physiques (ayant des identifiants de tags différents) peuvent correspondre au même objet musical (ayant un identifiant logique) et une même pierre peut être utilisée par plusieurs jeux. Chaque jeu (l'énoncé et ses solutions) se représente ainsi par les identifiants logiques des pierres musicales, faisant abstraction des identifiants des tags (figure 4).

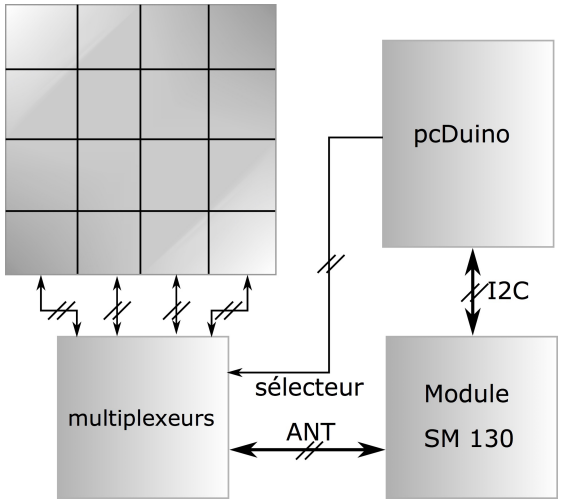


Figure 3. Schéma électrique du support. ANT : entrées/sorties antennes du module SM130.

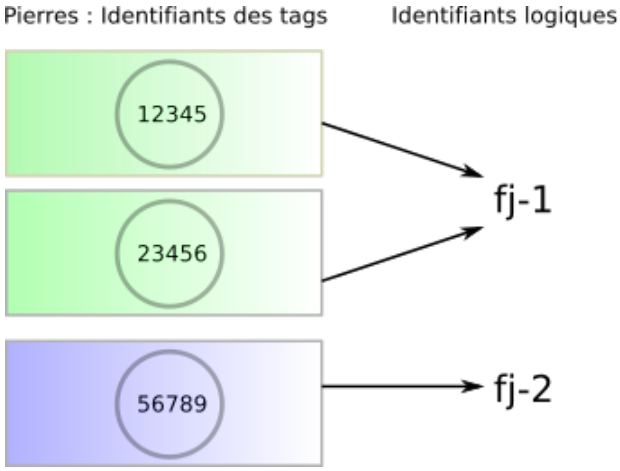


Figure 4. Chaque pierre musicale, comme l'énoncé « Frère Jacques » ou une partie de cette musique, possède un identifiant (`fj-1`, `fj-2` ...) utilisé dans la description logique des jeux.

3. DES ATELIERS MUSICAUX PÉDAGOGIQUES

Les ateliers réalisés avec les pierres comprennent des reconstructions de mélodies (dictées musicales de notes et de mélodies) et de la classification par la recherche de similarités. Nous envisageons aussi d'autres ateliers sur la composition et la structure. Tous les ateliers sont conçus avec différents niveaux de difficultés, le premier niveau étant très simple pour introduire le jeu au participant.

La sonification des pierres musicales concerne à la fois leur contenu (notes ou mélodies) mais aussi l'évaluation des réponses du joueur, pour favoriser un apprentissage personnalisé. Nous n'avons pas prévu de dispositif de captation.

Les *contenus* des pierres sont des enregistrements de piano, violon, alto et voix humaine que nous avons réalisés. En ce qui concerne *l'évaluation*. le son choisi pour indiquer un résultat positif est un accord majeur aigu et celui pour un résultat négatif est une descente chromatique dans le grave. Ces messages sonores aujourd'hui universels sont empruntés à la théorie des passions : dès la fin de la Renaissance, les madrigaux italiens s'efforçaient d'exprimer le contenu affectif du texte. Majeur, consonances, registre aigu et tempo rapide sont associés à la joie, tandis que mineur, dissonances, registre grave et tempo lent sont liés à la tristesse, et mouvements chromatiques à l'enfer [18, p. 305].

La sonification, bien que sommaire, transforme ici l'acteur de l'expérimentation en « apprenant » qui s'auto-corrige et se maintient dans un état de concentration. Il a également la possibilité de vérifier, par la répétition et l'écoute, la validité de ses réponses. Cette autonomie est complétée par l'accompagnement d'un médiateur qui aide à la compréhension des notions musicales abordées, notamment pour expliciter les solutions retenues et clarifier les points où les solutions proposées peuvent paraître arbitraires.

3.1. Reconstruction de mélodies

L'objectif du premier atelier est de reconstituer des mélodies, que ce soit une « dictée » de quelques notes (une note étant représentée sur chaque pierre), ou bien, plus généralement, une suite de fragments mélodiques (un fragment étant représenté sur chaque pierre). Ce jeu permet de faire travailler l'écoute des hauteurs des notes comme des mouvements mélodiques ascendants et descendants tout en se familiarisant avec la transcription occidentale de manière ludique. La partition représentée sur les pierres guide même les non-lecteurs qui sont généralement capables de visualiser des similitudes ou des différences de mouvements mélodiques et rythmiques.

Concrètement, après audition de l'énoncé, le joueur doit placer les pierres « dans le bon ordre » pour solutionner le jeu (reconstituer une mélodie courte, les classer par hauteur croissante ou décroissante). Lorsque les pierres sont elle-mêmes des fragments de mélodies (comme "Sur le pont d'Avignon" ou le "Boléro" de Ravel), ce jeu fait ainsi reconnaître la structure globale d'un thème musical, en proposant une première approche des notions d'antécédent, de conséquent et de cadences.



Figure 5. Jeu autour des variations *Ah vous dirai-je maman*, K. 265, de Mozart. Chaque pierre correspond à un modèle ou une phrase mélodique. À partir des deux modèles, l'apprenant doit pouvoir classer les différents sons selon leur ressemblance au modèle A ou B. Par exemple, la phrase encadrée est une variation rythmique du modèle A.

3.2. Recherche de similarités et classification

L'objectif de cet atelier est de trouver les ressemblances d'une mélodie avec un ou plusieurs modèles et de souligner des notions de similarité modélisées par des travaux d'informatique musicale comme l'algorithme de Mongeau-Sankoff [19] et ses extensions. Le joueur doit ainsi repérer les éléments récurrents et les transformations de courts fragments mélodiques. Dans la version actuelle, deux modèles (A/B) sont proposés pour chaque jeu : soit un mouvement mélodique simple ascendant (A) et un autre mouvement convexe (B), soit l'antécédent (A) et le conséquent (B) du thème *Ah vous dirai-je maman* (figure 5). Les pierres suivantes contiennent des variations sur les modèles A et B, et le joueur doit retrouver le bon modèle pour chaque variation.

Cette démarche intuitive consistant à rechercher les ressemblances en se basant sur la capacité d'écoute peut faire penser à l'approche analytique de Gilbert Rouget [23]. Si, dans cette approche, le découpage des morceaux étudiés est effectué selon les répétitions ou l'absence de répétition, ici, il s'agit plus précisément de repérer les analogies par rapport à un modèle pour pouvoir classer l'ensemble des sons selon leur appartenance au modèle.

3.3. Ateliers futurs envisagés : stratégie du compositeur et recherche structurelle

Il serait possible de créer de nouveaux ateliers pour reconstruire la structure de pièces musicales, que ce soit pour des musiques tonales dites classiques (figure 6) ou des musiques extra-européennes (figure 7). Un jeu évolutif de recherches structurelles pourrait être adapté à différentes échelles, de la reconnaissance thématique à la reconnaissance d'accords, des modulations aux séquences musicales, jusqu'aux principes de *composition* permettant ainsi à l'auditeur de rentrer progressivement « dans la peau du compositeur ». Travaillant sur la musique des pygmées aka d'Afrique centrale, S. Arom a mis en lumière le principe d'« imparité rythmique » [6] que l'on trouve dans les rythmes assymétriques. De la même manière, en mettant en relief les éléments musicaux fondamentaux (formules rythmiques et mélodiques...), il serait possible, via les pierres, de concrétiser des principes de composition d'un style de musique particulier.

Le processus consistant à retrouver la structure musicale d'un morceau à partir de différents éléments musicaux rappelle la démarche d'analyse structurelle de Bruno Nettl [21]. En effet, Nettl considère un répertoire musical, composé ou improvisé, comme la réalisation d'un système divisé en unités composantes. Ces blocs de construction accumulés par la tradition sont utilisés par les musiciens, au sein de la tradition, en les choisissant, combinant, recombinant et en les réarrangeant. Il s'agit, plus particulièrement, comme le suggère Bent dans sa définition de l'analyse musicale, d'identifier les unités constitutives et de déterminer leur rôle et leur articulation par rapport à la structure musicale [8, p. 9]. En liant la stratégie du musicien à la recherche structurelle, nous nous plaçons dans la *poïétique* au sens théorie de la tripartition de Nattiez [20]. L'apprenant adopte le point de vue du compositeur imaginant le résultat de son œuvre ou expérimente lui-même l'œuvre en l'exécutant grâce à des éléments musicaux prédéfinis.

D'autres ateliers de composition pourraient être prévus, en particulier où certaines pierres viendraient *modifier* le comportement d'autres pierres, tout en étant compatible avec les possibilités du support (16 pièces et latence).

4. RÉSULTATS, DIFFUSION ET PERSPECTIVES

4.1. Résultats

À Amiens, déjà plus de 1000 enfants, jeunes et adultes, ont participé à l'atelier des « pierres musicales » ou à l'un de ses prototypes (figure 8), en particulier lors des Fêtes de la Science (2015 et 2016), des journées Connexions (2015 et 2016) organisées par la région Picardie puis Hauts-de-France [1], ainsi que lors du dernier festival Safra'Numériques (2017). Ces rendez-vous nous ont aussi fait ren-

1. http://connexions.npdcp.fr

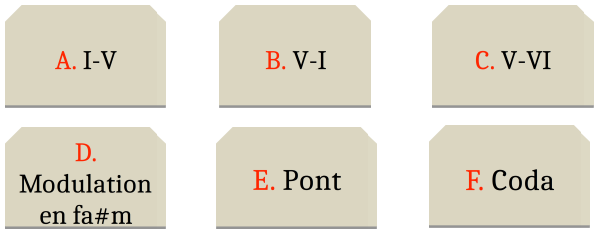


Figure 6. L'analyse de la stratégie compositionnelle de la sonate en ré majeur K. 576 de Mozart révèle une structure ABCABDEABCABF. Une expérimentation sur des pierres servirait de support pour expliquer le cadre tonal, la stratégie du compositeur, les principaux enchaînements d'accords et la symétrie structurelle autour du bloc répété ABCAB.

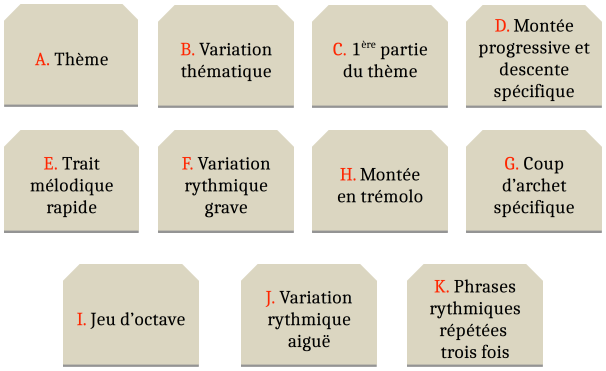


Figure 7. L'analyse comparative du rāga Yaman interprété par deux violonistes hindoustanies donne des structures différentes (N. Rajam, Hubli, 2012 : ABCDECFGDFHIHJEK, R. Shankar, Lille, 2013 : ADEFGEJFHJHJEK). Dans la musique classique d'Inde du Nord, le thème (appelé également gat) est fixe. Il s'agit d'un thème enseigné au sein de la Gwalior Gharana (école stylistique) dans la dynastie des Rajam (lignée de violonistes hindoustanis). Ce thème peut s'apparenter à une composition. Les autres éléments sont soient apparentés au genre du Khyāl, au style des musiciens représentatifs de la gharana ou au musicien lui même. La dernière partie du rāga, le *drut tintāl* (cycle de 16 temps en vitesse rapide), s'organise en différents éléments musicaux. Combiner des pierres correspondant chacune à un élément structurel permettrait ainsi de mieux comprendre la musique classique indienne, la stratégie du musicien, les principaux enchaînements et la structure globale.

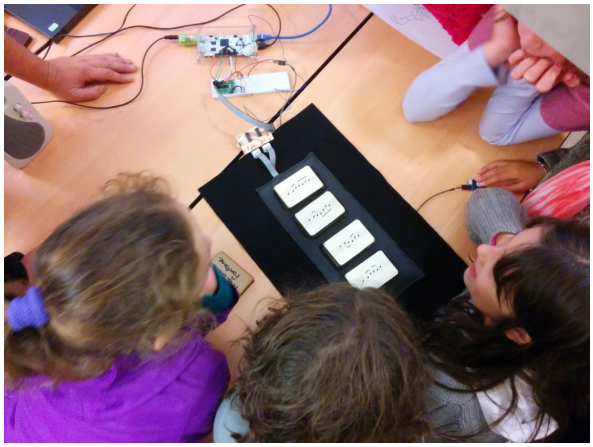




Figure 8. Enfants et jeunes interagissant avec des prototypes des pierres musicales, Amiens, octobre 2014 (gauche) et février 2017 (droite).

contrer des enseignants particulièrement intéressés et qui aimeraient utiliser l'atelier en classe. Les retours enthousiastes des enseignants et du public nous incitent à poursuivre et à améliorer ce projet.

Nous avons mis en place des outils pour récupérer des statistiques d'utilisation, que ce soit sur le nombre d'essais ou sur les temps. Par exemple, lors de la présentation de l'atelier durant 3 jours au festival Safra'Numérique (février 2017), 136 dictées musicales ont été jouées et réussies (temps médians de 50 à 150 secondes) ainsi que 91 recherches structurelles (temps médians de 100 à 180 secondes). Ces ateliers ont engendré 1411 écoutes (avec une moyenne de 6,6 écoutes par dictée musicale et de 5,7 écoutes par recherche structurelle) et 534 vérifications (moyennes de 2,3 vérifications pour les dictées musicales et de 2,4 vérifications par recherche structurelle). Même si ces résultats demanderaient à être fiabilisés, notamment pour exclure les tests et mieux détecter les nouveaux participants, ils sont cohérents avec l'observation des médiateurs : les participants découvrent, écoutent et expérimentent des notions musicales par les pierres.

4.2. Diffusion

L'ensemble du projet (formes des pierres, schémas électroniques, programmes de jeux, fichiers audios) est en licences libres : CC-BY-SA 4.0 pour les designs, les schémas et l'audio, et GPL pour notre code (le code utilisant aussi quelques librairies ayant leur propre licence libre). Ces matériaux sont disponibles à partir de `http://www.algomus.fr/pierres`.

Nous serions heureux que d'autres développeurs proposent des ateliers avec les pierres musicales.

4.3. Perspectives

Nous pensons améliorer le matériel et le logiciel bas-niveau du support (meilleure détection des pierres, délimitation des zones par LED) et réaliser une petite série du matériel (quelques centaines de pierres et plusieurs supports). Nous souhaitons aussi affiner les différents ateliers et en réaliser de nouveaux, par exemple en étudiant les pistes proposées dans la section précédente, ce qui implique à la fois une réflexion musicale, de jouabilité et d'interface, et donc des modifications du code ainsi que l'enregistrement de nouveaux extraits.

Plus généralement, nous souhaitons approfondir notre réflexion sur les aspects pédagogiques et étudier la réaction de jeunes comme d'adultes avec les pierres. Nous avons souhaité que les pierres musicales soient un prétexte ou un premier pas désinhibant vers l'apprentissage de notions musicales plus complexes (consonances/dissonances, cadences, modulations, structures...) et nous chercherons donc à étendre les notions introduites par les pierres.

4.4. Remerciements

Les pierres musicales ont été réalisées grâce au soutien des laboratoire MIS et CRIStAL, du programme Sciences et Cultures du Visuel de l'Université de Lille, d'un soutien Expériences Interactives du fonds régional Pictanovo et à des dons privés. Nous remercions le FabLab Étoele pour la réalisation des pierres, les étudiants de l'IUT d'Amiens pour la réalisation de pièces prototypes dans le FabLab de l'IUT, ainsi que la plateforme de l'IRCICA pour la gravure de circuits prototypes.

5. REFERENCES

[1] Legos. https://www.ircam.fr/project/detail/legos/.

[2] Lithophone. https://fr.wikipedia.org/wiki/Lithophone.

[3] Mogees. http://www.mogees.co.uk/.

[4] pygame. http://www.pygame.org.

[5] Tangible music. http://modin.yuri.at/tangibles/?list=7.

[6] Simha Arom. *Polyphonies et polyrythmies instrumentales d'Afrique centrale : structure et méthodologie*. SELAF, 1985.

[7] Guillaume Bagan, Mathieu Giraud, Richard Groult, and Emmanuel Leguy. Modélisation et visualisation de schémas d'analyse musicale avec music21. In *Journées d'Informatique Musicale (JIM 2015)*, 2015.

[8] Ian Bent and William Drabkin. *L'analyse musicale, Histoire et méthodes*. éd. Main d'oeuvre, 1998.

[9] Jean Bresson, Carlos Agon, and Gérard Assayag. OpenMusic : visual programming environment for music composition, analysis and research. In *International Conference on Multimedia*, pages 743–746, 2011.

[10] Pierre Couprie. Utilisations avancées du logiciel iAnalyse pour l'analyse musicale. In *Journées d'Informatique Musicale (JIM 2010)*, 2010.

[11] Dominique Fober, Jean Bresson, Pierre Couprie, and Yann Geslin. Les nouveaux espaces de la notation musicale. In *Journées d'Informatique Musicale (JIM 2015)*, 2015.

[12] Jules Françoise. Gesture–sound mapping by demonstration in interactive music systems. In *ACM international conference on Multimedia*, pages 1051–1054, 2013.

[13] Erik Gonthier. Ah, joue-moi encore du lithophone ! https://www.franceinter.fr/emissions/la-bas-si-j-y-suis/la-bas-si-j-y-suis-11-mars-2014, 2014.

[14] Erik Gonthier. Des pierres préhistoriques musicales sorties de l'oubli. https://www.youtube.com/watch?v=fRamnKf6OEY, 2014.

[15] Olivier Houix, Florestan Gutierrez, Patrich Susini, and Nicolas Misdariis. Participatory workshops : Everyday objects and sound metaphors. In *International Symposium on Computer Music and Multidisciplinary Research (CMMR 2013)*, pages 41–53, 2013.

[16] Sergi Jordà, Günter Geiger, Marcos Alonso, and Martin Kaltenbrunner. The reactable : exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces. In *International conference on Tangible and embedded interaction*, pages 139–146, 2007.

[17] Martin Kaltenbrunner and Ross Bencina. reacTIVision : a computer-vision framework for table-based tangible interaction. In *International Conference on Tangible and Embedded Interaction (TEI 2007)*, pages 69–74, 2007.

[18] Ulrich Michels, editor. *Guide illustré de la musique*. Fayard, 1995.

[19] Marcel Mongeau and David Sankoff. Comparison of musical sequences. *Computers and the Humanities*, 24(3) :161–175, 1990.

[20] Jean-Jacques Nattiez. *Fondements d'une sémiologie de la musique*. Dufrenne, 1975.

[21] Bruno Nettl. Thoughts on improvisation : A comparative approach. *The Musical Quarterly*, 60(1) :1–19, 1974.

[22] Vincent Puig, Fabrice Guédy, Michel Fingerhut, Fabienne Serrière, Jean Bresson, and Olivier Zeller. Musique Lab 2 : A three level approach for music education at school. In *International Computer Music Conference (ICMC 2005)*, pages 419–422, 2005.

[23] Gilbert Rouget. Un chromatisme africain. *L'Homme*, 1(3) :32–46, 1961.

[24] André Shaeffner. Une importante découverte archéologique : le lithophone de Ndut Lieng Krak (Vietnam). *Revue de musicologie*, 33(97/98) :1–19, 1951.