

UN COURS *MUSIQUE ET MATHÉMATIQUES*

Stefan NEUWIRTH

Laboratoire de mathématiques de Besançon, Université de Franche-Comté,
25030 Besançon CEDEX, France.
stefan.neuwirth@univ-fcomte.fr

RÉSUMÉ

Cet atelier propose de rendre compte d'un cours de la troisième année de la licence de mathématiques de l'université de Franche-Comté, *Musique et mathématiques*, organisé en 2015-2016 et 2016-2017 en collaboration avec un musicien, Olivier Toulemonde, deux mathématiciens, Aurélien Galateau et Martin Meyer, une chargée de projets culturels, Lucie Vidal, et une secrétaire, Mahdya Debayle.

Notre projet se concentre sur la musique improvisée, expérimentale et contemporaine. Ce choix rend compte de nos goûts musicaux, mais découle aussi du souci d'aller au-delà du contenu mathématique de l'acoustique, de l'harmonie et du rythme.

Le cours est construit sur des rencontres avec des musicien.ne.s et compositeur.e.s, suivies d'un concert financé dans le cadre d'un projet du service Sciences, arts, culture de l'université. Le programme est disponible sur <http://epiphymaths.univ-fcomte.fr/musique&maths> et une trace numérique du cours se trouve sur <http://moodle.univ-fcomte.fr/course/view.php?id=7321>.

Dans cet atelier, je voudrais rendre compte de cette expérience pédagogique où la table ronde fait concurrence au cours magistral, où la perception de la musique s'approfondit par un état d'esprit scientifique, et où l'activité mathématique retrouve sa nature de création artistique. Ce cours permet d'articuler des problématiques très profondes grâce à la juxtaposition de deux domaines de recherche éloignés.

Je proposerai d'écouter quelques extraits musicaux pour faire émerger les questionnements de notre cours : les langages mathématiques et les langages musicaux, la liberté de la création, la précision et l'exactitude, le déterminisme, l'espace et le temps, l'émotion mathématique, la matérialité du son.

Les considérations historiques se révèlent très utiles dans cette entreprise : le développement des symboliques mathématiques est mis en parallèle avec le développement des formes musicales ; le développement de l'algèbre et l'arithmétisation des grandeurs illustrent les concepts de créativité et de liberté ; l'histoire des mathématiques nous a aussi aidé.e.s à réfléchir à deux thèmes particuliers : l'erreur et le détournement des outils.

Je montrerai aussi comment la littérature permet de jeter un pont entre musique et mathématiques.

1 Introduction

Notre projet a consisté en un cours hebdomadaire selon une des deux modalités suivantes :

- une rencontre avec des compositeur.e.s et des musicien.ne.s centrée sur leur démarche, suivie d'un concert : Jonas Kocher et Olivier Toulemonde, Tom Johnson, Tony Di Napoli, Julia Eckhardt et Dafne Vicente-Sandoval, Andreas Stauder ;
- des exposés des étudiant.e.s suivis d'un cours.

Les séances de cours ont elles-mêmes adopté l'un ou l'autre des deux formats suivants :

- une table ronde pour réfléchir ensemble en amont et en aval des concerts (sept séances) ;
- un cours magistral (quatre séances).

Il y a eu en sus deux conférences, l'une de Franck Jedrzejewski dans le cadre d'un colloquium de mathématiques, *Tresses et improvisations libres*, l'autre de Michaël Parisot dans le cadre du Conservatoire du Grand Besançon, *Tempéraments et fractions*.

La musique est d'abord une durée consciente et structurée de production, de transmission, d'audition et de perception du son. Elle relève donc tout autant de l'acoustique et de la physiologie que des sciences du cerveau. Les mathématiques interviennent à chacune de ces quatre étapes, mais aussi dans leur articulation.

Je propose une revue de sept thèmes pour lesquels des concepts mathématiques nous sont parus pertinents dans le cadre de notre cours, et je vais montrer en quoi l'histoire des mathématiques est utile pour approfondir ces thèmes. Mais commençons par l'écoute d'un extrait du concert d'ouverture, une improvisation par Jonas Kocher à l'accordéon et Olivier Toulemonde aux objets sonores. Je vous propose d'en faire une écoute consciente en essayant de saisir avec des mots ce que vous entendez.

Voici mon compte rendu :

une note tenue très haute – un grésillement – une voix de bébé – un roulement de bille – un relief : parfois ça gratte et le son monte et descend – l'accordéon entre en scène et en ressort – interférences entre l'accordéon et la bille qui tourne comme si elle tanguait – l'accordéon monte encore et encore – trois objets sonnent en même temps et l'accordéon s'impose dans l'espace sonore – il vibre d'un accord très bas – il va chercher la note de la bille qui tourne et lui tourne autour – un accord qui descend – note tenue et on n'entend presque plus les objets – la note dure comme dure la rotation de la bille – tout s'écroule, l'accordéon aussi – bruits rythmiques, clics, creusements, note haute tenue.

Ce compte rendu est tiraillé entre deux approches concurrentes de l'écoute. L'une s'abandonne à la force évocatrice de la musique : des images et des émotions surgissent. L'autre se concentre sur la matière sonore en tant que telle.

2 Le son physique

Le son consiste en la vibration longitudinale de couches d'air contigües. Par vibration, on entend un mouvement périodique d'aller et de retour. Nous percevons ces périodes dans le son et appelons *fréquence* le nombre de périodes par seconde. Brook Taylor (1713), dans sa solution du problème de la corde vibrante, fait le lien entre fréquence et onde stationnaire sinusoïdale. C'est Jean Le Rond D'Alembert (1747) qui a compris que le son produit par une corde vibrante peut être décrit comme une *superposition* de telles vibrations sinusoïdales : ainsi débute l'analyse harmonique. La figure 1 montre un exemple issu de D'Alembert (1747, tab. VII).

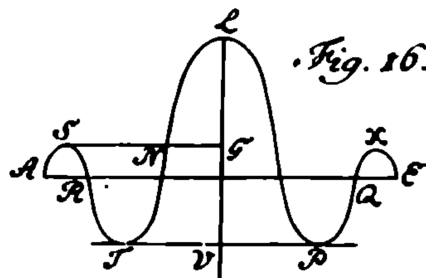


Fig. 1 : Exemple de courbe que forme une corde tendue

La nature ondulatoire du son fait qu'il est soumis au principe d'incertitude de Heisenberg et qu'en particulier il n'a pas de début ni de fin nets et clairs ; il y a aussi une limite inférieure à sa durée selon sa fréquence. Les sons révèlent de cette manière leur nature continue.

L'ajustement et l'organisation des sons selon leur hauteur remonte à la nuit des temps, et l'accordage des instruments a certainement préexisté à la théorisation des gammes. La première description connue d'une gamme remonte à Philolaos de Crotona (-470--385, philosophe pythagoricien de la deuxième génération, Grande Grèce).

La grandeur de l'harmonie comprend la syllabe [« la prise », c'est-à-dire la quarte] et la dioxie [« à travers les aigües », c'est-à-dire la quinte]. La dioxie est plus grande que la syllabe du rapport 9 : 8 [c'est-à-dire d'un ton]. En effet, une syllabe sépare l'hypate [c'est-à-dire la corde du haut, le mi] de la mèse [c'est-à-dire de la corde du milieu, du la] ; une dioxie la mèse de la nète [c'est-à-dire de la corde du bas, du mi] ; une syllabe la nète de la trite [c'est-à-dire de la corde tierce, du si] ; et une dioxie la trite de l'hypate. Entre la trite et la mèse il y a le rapport 9 : 8. La syllabe a le rapport 4 : 3, la dioxie 3 : 2 et le diapason [« à travers toutes », c'est-à-dire l'octave] 2 : 1. Ainsi l'harmonie comprend cinq rapports 9 : 8 et deux dièses [« laissés passer », c'est-à-dire demi-tons], la dioxie trois rapports 9 : 8 et un dièse, et la syllabe deux rapports 9 : 8 et un dièse. (Philolaos, 1988, p. 504)

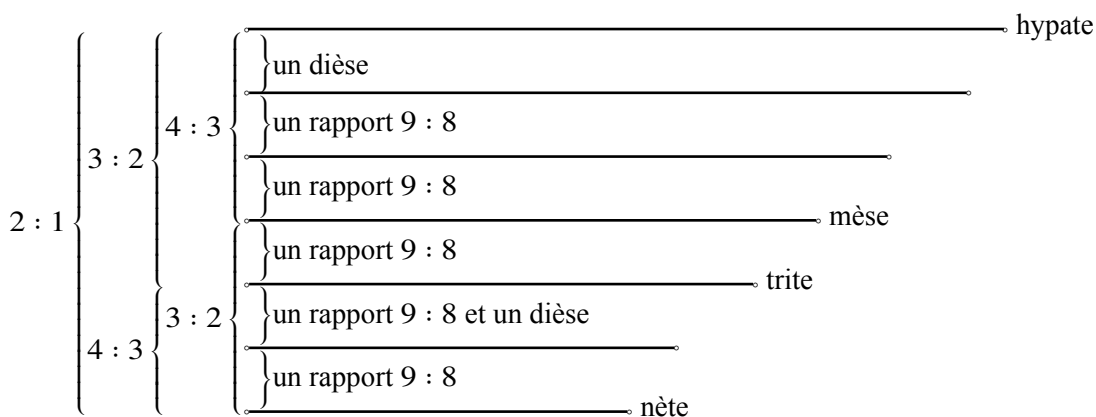


Fig. 2 : L'heptacorde de Philolaos

Cette description fait intervenir des rapports de nombres épimores, c'est-à-dire de la forme $(n + 1) : n$: les rapports 2 : 1, 3 : 2, 4 : 3 et 9 : 8. Cela fait de la musique le paradigme de la constatation suivante de ce philosophe :

Et de fait, tout être connaissable a un nombre : sans celui-ci, on ne saurait rien concevoir ni rien connaître. (Philolaos, 1988, p. 503)

La musique d'aujourd'hui se passionne pour la microtonalité, c'est-à-dire pour des intervalles de fréquences bien en deçà du rapport 9 : 8. Par exemple, Tony Di Napoli a accordé dix lames rectangulaires de calcaire de Vinalmont à l'intérieur de ce rapport, c'est-à-dire au neuvième de ton, avec les deux lames les plus graves à un demi-Hertz l'une de l'autre ; pourtant, l'oreille les discerne et l'accord des deux lames produit un battement de $1/0,5 \text{ Hz} = 2 \text{ s}$ par leur superposition.

Selon la manière dont on fait sonner une lame, la répartition des fréquences qu'elle produit change. On appelle la plus basse la *fondamentale* et les autres les *harmoniques*. Pour les instruments à cordes, les harmoniques sont les multiples de la fondamentale, et c'est ce qui fonde la théorie musicale de Philolaos ; mais pour des lames rectangulaires, comme pour des cloches, leur relation est beaucoup plus complexe. En disposant du sable sur les lames, on peut faire apparaître des figures de leur vibration, parce que le sable a tendance à se disposer le long des nœuds de la vibration, c'est-à-dire les lignes où la lame reste immobile au cours de son mouvement. Ces figures correspondent aux fonctions propres stationnaires de l'équation des ondes associée à la lame. Leur étude phénoménologique remonte à Ernst Florens Friedrich Chladni (1809) et dans la figure 3, on peut observer les figures qu'il a observées pour une lame carrée (Chladni, 1809, tab. IV).

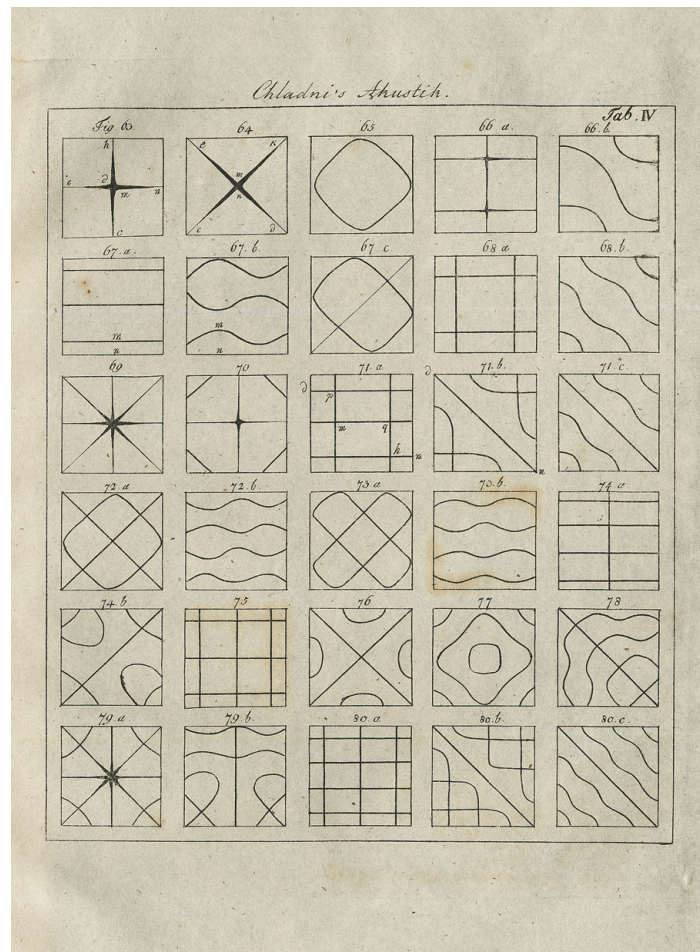


Fig. 3 : Figures de Chladni pour une lame carrée

La transmission des vibrations sonores dépend aussi de la géométrie du lieu où elles sont produites. En particulier, un son qui parcourt l'espace entre deux murs distants d'un multiple impair de la demi-longueur d'onde donne lieu à une onde stationnaire, de sorte que la perception du son change à chaque endroit.

3 Lissité et rugosité du son

Commençons par la lecture d'un extrait de *Nous autres*, de Ievgueni Zamiatine, où D-503 se réveille dans un état de stupeur.

Je ne distinguais plus le rêve de la réalité. Des quantités irrationnelles traversaient l'espace solide à trois dimensions et, au lieu de surfaces lisses et dures, il n'y avait plus autour de moi que des formes toutes tordues et velues. (Zamiatine, 1979, p. 103)

Les notes de la musique classique sont la contrepartie de ces « surfaces lisses et dures », alors que la musique d'aujourd'hui s'intéresse toujours plus à des sonorités « toutes tordues et velues », c'est-à-dire sales voire parasites. Cela mène les compositeur.e.s et les interprètes à découvrir des possibilités toujours nouvelles de leur instrument de musique. Par exemple, la bassoniste Dafne Vicente-Sandoval nous a expliqué comment elle y travaille : elle doigte une note fondamentale et essaie de produire une harmonique en envoyant l'air très vite ; la résistance de l'anche et la position des lèvres sont déterminantes. Ou bien elle produit un son diphonique qui peut être instable. La répétition d'un geste ne produit plus le même effet, de sorte qu'un maillage de l'espace sonore par des sons très proches se met en place. Chaque note requiert un ensemble d'actions microscopiques pour sa production et son maintien.

Cette recherche éloigne les musicien.ne.s des procédés de la mélodie et du rythme pour les plonger dans la matérialité du son. Ce saut est comparable à celui qui mène du concept de trajectoire à celui d'application, de celui de longueur à celui de coupure : fonction et nombre réel deviennent des objets autonomes de la science chez Dirichlet/Lobatchevski et chez Dedekind ; c'est alors que l'on peut envisager de construire des fonctions continues nulle part dérivables (Weierstrass) et d'appliquer la méthode diagonale pour prouver l'existence de nombres transcendants (Cantor).

Terminons sur un autre extrait, tiré des *Leçons Américaines* d'Italo Calvino.

Le poète du vague ne peut qu'être un poète de la précision, dont l'œil, l'oreille, la main sont toujours prêts à saisir avec justesse la sensation la plus ténue. (Calvino, 1992, p. 104)

4 Le signe

Une composition musicale peut être décrite à l'aide d'un système de signes : on parle alors de partition. Ce système est discret par définition : il consiste à aligner des signes discernés les uns des autres. Or nous avons constaté que le son est un phénomène continu. Cette opposition fait que pendant longtemps la partition n'a pas été considérée comme une description mais comme une indication parfois très sommaire du thème. Ce n'est qu'à l'époque romantique qu'elle a acquis la prétention de constituer l'œuvre musicale elle-même. Les compositeur.e.s contemporain.e.s comme Andreas Stauder sont à la recherche de manières toujours nouvelles de dépasser les limitations d'une écriture composée de signes.

Le signe primitif des mathématiques est celui qui désigne l'unité, 1, et selon Errett Bishop, c'est à partir de lui que toutes les mathématiques se construisent.

La préoccupation première des mathématiques est le nombre, et cela veut dire les entiers positifs. Nous pensons des nombres de la façon dont Kant pensait de l'espace. Les entiers positifs et leur arithmétique sont présumés par la nature même de notre intelligence et, nous sommes tentés de le croire, par la nature même de l'intelligence en général. Le développement de la théorie des entiers positifs à partir du concept primitif de l'unité, du concept de l'ajout d'une unité et du processus d'induction mathématique emporte une conviction complète. Dans les mots de Kronecker, les entiers positifs ont été créés par Dieu. (Bishop, 1967, p. 2, ma traduction)

Le désir de rendre compte de la structure profonde de pièces musicales a mené Franck Jedrzejewski à appliquer le concept mathématique de tresse à l'*Étude 1 : Désordre* de György Ligeti pour y déceler la distribution des accents et à *Modes de valeurs et d'intensité* d'Olivier Messiaen pour la distribution des figures sérielles. La description de Larry Ochs d'un de ses *Dispositifs et stratégies pour l'improvisation structurée* peut convaincre de la pertinence de cette approche.

Dans *torque* (1988) et d'autres pièces composées après, j'ai ajouté la règle suivante pour chacun des trois joueurs lors de ces triples solos : commencer à partir d'un motif écrit initial (« l'idée A ») ; improviser sur l'idée A jusqu'à ce qu'elle s'établisse vis-à-vis de la version de l'idée A des autres joueurs ; introduire alors progressivement une nouvelle idée (« l'idée B »), qui peut être n'importe quel motif musical adapté à l'humeur de l'aire sonore d'ensemble à ce moment-là ; détruire progressivement l'idée A d'origine. Jouer l'idée B seule en la variant jusqu'à ce qu'elle s'établisse clairement vis-à-vis de la musique des autres joueurs (c'est-à-dire : jouer l'idée B jusqu'à ce que la relation entre votre idée B et la musique du groupe puisse être entendue des autres joueurs [et des auditeurs]) ; introduire progressivement une « idée C » ; détruire progressivement l'idée B. Et cetera. (Ochs, 2000, p. 326, traduction de Franck Jedrzejewski amendée)

On perçoit dans cet extrait l'importance de la clarté et de la précision dans la musique. Il ne s'agit pas d'un art du compromis, mais d'un art de l'affirmation d'une singularité prête à affronter d'autres singularités.

5 Modèle et détournement

Certaines compositions musicales sont des modèles de concepts voire de théories mathématiques. C'est le cas de certaines compositions de Iannis Xenakis : *Pithoprakta* est basée sur la théorie cinétique des gaz et pose le problème d'une interprétation acoustique de la température thermodynamique.

Tom Johnson, quant à lui, part de la simplicité mathématique de l'opération de comptage et de sa complexité dans les langues du monde pour composer ses *Musiques à compter*. Ses pièces ont vocation à fournir la description exhaustive d'un phénomène. Cela cause aussi un plaisir tout mathématique. Par exemple, dans *Mocking*, il énumère les différentes possibilités de marquer 2, 3, 4, 5 ou 6 temps parmi 8 temps donnés d'une mesure. Il y en a respectivement $\binom{8}{2} = 28$, $\binom{8}{3} = 56$, $\binom{8}{4} = 70$, $\binom{8}{5} = 56$, $\binom{8}{6} = 28$, mais alors se pose le problème de l'ordre dans lequel on les joue. En d'autres mots, cette énumération de possibilités a une structure qui ne se réduit pas à une succession. Johnson résout ce problème en présentant cet ensemble de mesures comme

un graphe défini par la relation de différence minimale, qui donne aussi lieu à une distance entre deux mesures. Cette matière combinatoire prend vie lors de l'interprétation par la grande concentration qu'elle requiert de l'interprète ; la transparence des principes de composition a pour corollaire l'évidence de toute erreur éventuelle !

Le principe de cette musique libère l'auditeur de la recherche d'un sens plus profond. Elle illustre comment l'écoute attentive et bienveillante de toute œuvre sonore lui confère sa logique et sa beauté interne. Il s'agit là d'une caractéristique de notre sensibilité qui organise les sons perçus selon le contexte et qui est aussi capable de les investir dans d'autres formes de notre entendement comme par exemple celle de l'espace. Cette tendance à rechercher un sens est inverse de la démarche de la matérialité du son décrite dans la section 2.

La musique peut aussi profiter de stratégies de détournement, comme celle de détourner des objets de leur usage commun pour en faire des instruments de musique. Cela peut être mis en parallèle avec un fait observé maintes fois dans l'histoire des mathématiques, lorsque des contre-exemples, comme la fonction e^{-1/x^2} qui a permis à Cauchy d'exhiber une fonction dont le développement en série de Taylor au point 0 est nul, deviennent un ingrédient incontournable d'une autre théorie, comme celle des distributions.

6 Langage et logique

Le terme de langage est devenu un mot commode pour désigner un système complexe de communication qui n'a pas nécessairement la vocation d'universalité des langues naturelles. Il en est ainsi des langages et des dialectes musicaux.

Les musicien.ne.s improvisateur.e.s font du développement d'un langage clair et intelligible le principe même de leur démarche : connaître son instrument, l'explorer et le maîtriser jusqu'à en formuler une syntaxe avant de partir à la rencontre du public et de ses partenaires.

Interrompons notre propos avec une citation de *Rhétorique spéculative* de Pascal Quignard.

Fronton écrit à Marcus : « Il se trouve que le philosophe peut être imposteur et que l'amateur des lettres ne peut l'être. Le littéraire est chaque mot. D'autre part, son investigation propre est plus profonde à cause de l'image. » L'art des images – que l'empereur Marc Aurèle nomme, en grec, icônes tandis que son maître, Fronton, les nomme le plus souvent, en latin, images ou, à quelques reprises, en grec philosophique, métaphores – à la fois parvient à désassocier la convention dans chaque langue et permet de réassocier le langage au fond de la nature. (Quignard, 1995, p. 11)

Il en est ainsi aussi en mathématiques, parfois de manière explicite lorsqu'une révolution intérieure mène à la reformulation de pans entiers de la science : la rigueur en analyse a mené au langage des ε et des δ ; la théorie des idéaux a mené à la théorie des ensembles ; la courbure des surfaces a mené aux variétés riemanniennes. Mais en fait, chaque mathématicien.ne développe un langage privé à l'égard des concepts mathématiques dont il.le se fait le gardien, et c'est ce langage qui lui permet de deviner ce qui est valide et ce qui est impossible, et pourquoi. Cependant, ce langage ne trouve pas en général le chemin des écrits des mathématicien.ne.s, et cela concourt au rôle très important du folklore transmis oralement, dont la maîtrise est nécessaire pour participer à la recherche mathématique.

Si je peux me permettre une comparaison hardie, les partitions sont les théorèmes de la musique, et ils ne constituent qu'un simulacre de la pratique musicale.

La reconstitution de ces langages est un défi permanent pour l'histoire des mathématiques, et cette difficulté peut expliquer les querelles récurrentes entre historien.ne.s, comme celle des infinitésimaux chez Fermat et chez Cauchy, ou celle de l'impact de la philosophie éléate sur la constitution des *Éléments* d'Euclide.

La constitution d'une syntaxe musicale fournit aussi aux musicien.ne.s la contrepartie des règles d'inférence en logique mathématique. Le vécu des improvisateur.e.s est que dès la première seconde, leur performance se développe selon la forme de la nécessité, alors que juste auparavant il.le.s sont encore dans la plénitude de leur liberté. C'est comme si cette première seconde fournissait les axiomes nécessaires au développement de toute une théorie *ad hoc* et éphémère.

Il y a ici une analogie avec l'attaque d'une note, que les synthétiseurs échouent à simuler alors qu'elle contribue beaucoup à l'identité des instruments de musique. De même, la phase transitoire pendant laquelle une corde se met en vibration se modélise très difficilement en mathématiques.

Cependant, des musicien.ne.s expérimentateur.e.s comme Catherine Christer Hennix posent la question du rapport d'une telle théorie au réel, et plus généralement de l'adéquation des logiques musicales à la réalité du son. Il.le.s développent alors une philosophie de la musique, ultra-intuitionniste pour Hennix, à partir de la musique populaire nord-américaine, indienne et africaine pour Henry Flynt.

7 Topologie

Les concepts de la géométrie différentielle et en particulier de la théorie des catastrophes ont eu un grand succès chez les musicien.ne.s : les notions de voisinage, de stabilité et d'instabilité, de bifurcation, de singularité, de surface leur parlent, en particulier lorsque des philosophes comme Gilles Deleuze et Félix Guattari s'en saisissent.

Elles permettent de décrire un phénomène bien connu des musicien.ne.s improvisateur.e.s : lorsqu'il.le.s arrivent sur un plateau sonore, qu'il.le.s s'y installent et y prennent leurs aises, il.le.s savent que ce plateau annonce l'irruption d'un bouleversement dont il faut saisir le germe.

C'est ainsi que le temps d'un plateau sonore peut être mis en parallèle avec le temps d'une époque entière des mathématiques comme celle des séries entières (qui croyait donner une forme définitive à l'analyse au 18^e siècle) avant qu'une catastrophe mène à la théorie des fonctions (au 19^e siècle) ; de même, la théorie de la représentation des fonctions par des séries de Fourier (au 19^e) a précédé celle de leur convergence par resommation (au 20^e).

8 Le hasard

Le hasard a été une des grandes affaires de la musique de la deuxième moitié du 20^e siècle, à la suite de Iannis Xenakis (écouter par exemple la musique poissonnienne d'*Achorripsis*) et de John Cage (écouter par exemple le silence rempli de bruits fortuits de *4'33"*). L'aléatoire

apporte une objectivité au son, une indépendance par rapport aux affects et aux émotions qui est inaccessible autrement, et cela a été un de ses grands attraits. Le hasard permet aussi de modéliser la tension entre le son en puissance et le son en acte, provoquée par le libre arbitre chez les improvisateurs, et à l'origine d'une perception multidimensionnelle du temps : avant qu'un son ne soit produit, musicien.ne.s et auditeur.e.s vivent dans la potentialité simultanée de tous les sons possibles, et, comme le dit Mallarmé, « un coup de dés jamais n'abolira le hasard ».

La musique contemporaine est aussi à la recherche de l'indétermination due au chaos, par exemple l'exposition d'un.e interprète à une partition dont la complexité dépasse ses capacités techniques.

9 Conclusion : le dispositif pédagogique

Les quatre membres de l'équipe pédagogique se sont réunis six fois en amont du cours, deux fois pendant le semestre et deux fois en aval. Ces réunions ont pris la forme d'une table ronde dans laquelle chacun rend compte de son expérience musicale et mathématique, et propose des phénomènes et des concepts à explorer.

À l'issue du cours, nous nous sommes aperçus d'une forte dissension quant à la forme du dispositif pédagogique.

- Deux parmi nous ont simplement transposé la forme de ces réunions aux séances de cours, avec les tables disposées en carré, et chacun.e invité.e à prendre la parole, à réagir et à contribuer à la recherche.
- Les deux autres estiment que les contributions de chacun méritent d'être préparées sous la forme d'un exposé présenté aux autres, tant pour les enseignants que pour les étudiant.e.s.

De fait, le travail demandé aux étudiant.e.s relevait de ces deux formes :

- la participation active aux tables rondes et
- des exposés sur la base d'un mémoire écrit d'une dizaine de pages.

Les interrogations soulevées par l'opposition entre ces deux approches relèvent pour partie de conceptions différentes sur la finalité d'un tel cours.

- Les premiers, bien que détenteurs d'un savoir, estiment qu'il s'agit d'abord de faire germer des questions, et que le début d'un mouvement de questionnement chez les participants est aussi important que les réponses.
- Les deuxièmes ont pour but de donner une vue d'ensemble des rapports entre musique et mathématiques, et de transmettre une vision culturelle et diachronique du sujet.

Un enjeu du cours de 2016-2017 sera de trouver une synthèse de ces deux approches qui satisfera tous les quatre.

Pour les étudiant.e.s, il s'est agi d'une rare occasion de se voir traité.e.s à l'égal des enseignants, et ces derniers ont fait de leur mieux pour les encourager à partager leurs impressions et leurs interrogations. Ceu.lles qui avaient plus d'aisance à s'exprimer et à articuler leur pensée étaient visiblement privilégié.e.s. Le moyen le plus efficace pour permettre à tou.te.s de participer à la recherche a été de faire régulièrement un tour de table.

Le contenu du cours a déstabilisé les étudiant.e.s, dont une moitié avait une culture musicale, mais dont aucun.e ne connaissait les musiques présentées. La musique expérimentale américaine a provoqué chez la plupart une résistance et des émotions très fortes. Tant le travail de Tom Johnson que celui de Tony Di Napoli a rencontré un vif succès.

Voici pour conclure le retour de trois étudiant.e.s.

J'ai, tout d'abord, beaucoup apprécié l'intérêt des enseignants pour le sujet ainsi que l'investissement qu'ils ont placé dans le projet et celui de tous les artistes et intervenants qui y ont pris part.

Le programme était très intéressant et très complet, très dense peut-être trop. Certaines notions méritaient peut-être d'être approfondies d'avantage ce qui n'a pas été possible dans le temps imparti. D'un autre côté, il était intéressant d'aborder tous ces aspects de la musique (expérimentale, improvisée, contemporaine), c'est difficile de trouver un équilibre entre le contenu et le temps passé sur chaque notion.

L'organisation de l'unité (rencontre avec les artistes suivie d'une représentation puis discussion en cours) permettait d'avoir du recul. J'ai d'ailleurs particulièrement apprécié la prestation de Tony Di Napoli avec qui j'avais échangé pour mon exposé.

Cette unité n'exigeait aucun prérequis de la part des étudiants. Cependant, sans parler de notions de solfège poussées, il était nécessaire, selon moi, d'avoir eu une formation musicale générale pour pouvoir s'ouvrir à l'écoute de musiques différentes, nouvelles, peu médiatisées. Et certaines interventions exigeaient un niveau de connaissances théoriques relativement élevé. Je pense notamment à la présentation du compositeur Andreas Stauder ou même à la conférence sur les tempéraments.

Personnellement, j'ai trouvé que cette unité était un bon complément de ma formation au conservatoire et de ma formation mathématique. Elle m'a permis, comme plusieurs unités ce semestre, de percevoir une image plus globale du monde des mathématiques. J'ai pu, ainsi, comprendre une partie des liens qui unissaient ces deux domaines et approfondir l'idée que les mathématiques sont une forme de culture et non seulement une science théorique.

.....

J'ai trouvé le cours et les rencontres avec les différents musiciens intéressants. Cependant, comme je n'ai aucune notion en musique, j'ai eu du mal à comprendre plusieurs notions abordées. Je trouverais plus intéressant de revoir en début d'année les notions de base en musique pour que ce soit clair pour tout le monde et pour mieux comprendre la suite du cours.

.....

En ce qui concerne le cours, j'ai trouvé cela très intéressant mais assez difficile d'accès. J'ai pas toujours trouvé ça évident de rentrer dans les différents concerts, et d'y trouver ma place. Cependant, j'ai apprécié d'assister à des concerts variés puisque j'ai moi-même une formation classique. J'ai trouvé que c'était une bonne ouverture musicale et cela m'a fait découvrir diverses musiques et ce qui s'ensuit.

RÉFÉRENCES

- Bishop, E. (1967). *Foundations of constructive analysis*. New York : McGraw-Hill.
- Calvino, I. (1992). Exactitude. In *Leçons américaines : aide-mémoire pour le prochain millénaire* (p. 97-129). Paris : Gallimard. (Traduction par Y. Hersant.)
- Chladni, E.-F.-F. (1809). *Traité d'acoustique*. Paris : Courcier.
- D'Alembert, J. L. R. (1747). Recherches sur la courbe que forme une corde tendue mise en vibration. *Histoire de l'Académie royale des sciences et des belles lettres de Berlin*, 1, 214-249. Consulté sur <http://bibliothek.bbaw.de/bibliothek-digital/digitalequellen/schriften/anzeige?band=02-hist/1747&seite:int=00000243>
- Ochs, L. (2000). Devices and strategies for structured improvisation. In J. Zorn (éd.), *Arcana : musicians on music* (p. 325-335). Granary books/Hips road. Consulté sur <http://www.rova.org/foodforthought/strategies-in-rovas-music.html>
- Philolaos. (1988). B. Fragments. In J.-P. Dumont, D. Delattre, & J.-L. Poirier (éds.), *Les présocratiques* (p. 502-513). Paris : Gallimard.
- Quignard, P. (1995). Fronton. In *Rhétorique spéculative*. Paris : Calmann-Lévy.
- Taylor, B. (1713). De motu nervi tensi. *Philos. Trans. Roy. Soc. London*, 28, 26-32. (Traduction en anglais dans *Philos. Trans. (abridged)*, 6, 14-17 (1809).)
- Zamiatine, E. (1979). *Nous autres*. Paris : Gallimard. (Traduction par B. Cauvet-Duhamel.)