

# Représentations Musicales: Violence, Pureté et Mathématiques

Petra Cini

Le 9 Novembre 2024

Ircam Paris (FR)

# Structure

- 1.** Méthodologie
- 2.** Violence et pureté
- 3.** Violence et pureté en musique
- 4.** Représentations musicales
- 5.** Développements futurs

- 1. Méthodologie**
2. Violence et pureté
3. Violence et pureté en musique
4. Représentations musicales
5. Développements futurs

Création de **métaphores** musicales de groupes mathématiques analysés sous le prisme des notions de violence et de pureté

Création de **représentations** musicales de groupes mathématiques analysés sous le prisme des notions de violence et de pureté

# Questions

- Qu'est-ce que c'est un groupe mathématique?
- Qu'est-ce que c'est une représentation musicale?
- Pourquoi violence et pureté?

- **Qu'est-ce que c'est un groupe mathématique?**
- Qu'est-ce que c'est une représentation musicale?
- Pourquoi violence et pureté?

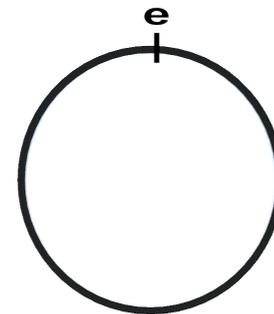
# Groupe mathématique

Un ensemble de transformations, tel que toute combinaison de ces transformations nous en donne une autre qui est contenue dans l'ensemble

Les **éléments** du groupe (les transformations) peuvent être considérés comme des **actions**.

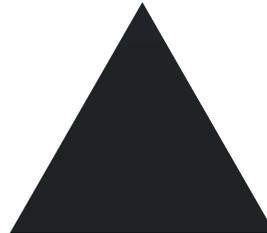
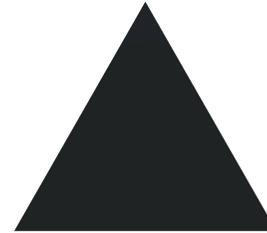
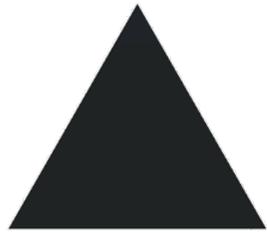


fini (et discret)



infini et continu

# Groupe D3



# Définition de groupe mathématique

Let " $\circ$ " be a binary operation on a set  $S$ . if:

- i.  $(x \circ y) \circ z = x \circ (y \circ z)$  is valid for all  $x, y, z$  in  $S$ ,
- ii. There exists in  $G$  an element  $e$ , called the identity, such that  $x \circ e = e \circ x = x$  and for all  $x$  in  $G$ .
- iii. To each element  $x$  of  $G$  there corresponds an element  $y$  of  $G$ , called the inverse of  $x$ , such that  $x \circ y = y \circ x = e$ .

then the pair  $(G, \circ)$  is called a group.

- Qu'est-ce que c'est un groupe mathématique?
- **Qu'est-ce que c'est une représentation musicale?**
- Pourquoi violence et pureté?

# Concepts clés

- **Métaphore** (générale)
- **Homomorphisme** (mathématique)
- **Représentation** (mathématique)

# Métaphore

« **La forme fondamentale de la métaphore est 'A est B'**, [...] où A est métaphoriquement B. A est la chose à comprendre et est souvent relativement abstraite ; B offre la base de la compréhension de A et est normalement relativement concret. Les expressions métaphoriques individuelles ne prennent pas nécessairement la forme 'A est B' directement... mais si une expression est métaphorique, nous devrions être en mesure de la **refondre** sous la forme normale 'A est B'. »

" the fundamental form of metaphor is A is B, as in Juliet is the sun, where A is metaphorically B. A is the thing to be understood and is often relatively abstract; B offers the basis for understanding A and is normally relatively concrete. Individual metaphoric expressions do not necessarily take the form A is B directly...but if an expression is metaphoric we should be able to recast it in the normal form A is B."

*Arnie Cox, Music and Embodied Cognition: Listening, Moving, Feeling, and Thinking, 58, traduit par Petra Cini.*

# Exemples

Le temps est un voleur.



Le temps = **A**; voleur = **B**

La vie est une course d'obstacles



La vie = **A**; une course d'obstacles = **B**

# Homomorphisme

Un **homomorphisme** est une application qui préserve la structure ou, de façon similaire, une application qui préserve les relations. Donc, un homomorphisme d'une structure  $A$  dans une structure  $B$  fournit un moyen de reformuler  $A$  dans les termes de  $B$ .

Let  $(A, \circ)$  and  $(B, *)$  be binary algebraic structures. A function  $f: A \rightarrow B$  is a homomorphism if, for all  $x, y \in A$ ,

$$f(x \circ y) = f(x) * f(y)$$

# Example

The homomorphism  $\varphi : D_3 \rightarrow \mathbb{Z}_2$  where  $\varphi(\sigma) = \begin{cases} 0 & \text{if } \sigma \text{ is even} \\ 1 & \text{if } \sigma \text{ is odd} \end{cases}$

$\sigma$  is an element of  $D_3$  expressed as a permutation of 3 items (the vertices of the triangle)

$\mathbb{Z}_2$  is the cyclic group of two elements

# Représentation

Une représentation d'un groupe est la réalisation des éléments du groupe en tant que transformations d'espaces appelés espaces vectoriels, qui sont des ensembles dotés de certaines propriétés. Donc c'est un type de homomorphisme spécifique.

A *representation* of a group  $G$  is a homomorphism  $\varphi : G \rightarrow GL(V)$  for some (finite-dimensional) vector space  $V$ .

$GL(V)$  is the general linear group of  $V$ , which consists of all automorphisms of  $V$ .

# Example

The homomorphism  $\varphi : D_3 \rightarrow GL(\mathbb{C})$  where  $\varphi(\sigma) = \begin{cases} 0 & \text{if } \sigma \text{ is even} \\ 1 & \text{if } \sigma \text{ is odd} \end{cases}$

$GL(\mathbb{C})$  is the general linear group of the complex vector space  $\mathbb{C}$

# Concepts clés

- **Métaphore:** 'A est B', dans le langage parlé ou écrit
- **Homomorphisme:** 'A est B', dans les mathématiques
- **Représentation :** 'A est B', dans les mathématiques mais il y a des règles très précises pour le dire; A et B sont des groupes mathématiques

# Représentations: métaphores de groupes

**Homomorphisme** = Métaphore mathématique

**Représentation** = Métaphore mathématique d'un groupe

# Idée Centrale

## Application:

groupe  $\longrightarrow$  la représentation du groupe  
(sa métaphore mathématique)  $\longrightarrow$  la représentation musicale du groupe  
(sa métaphore musicale)

# Objectif

## **Création d'une théorie musicale des représentations :**

groupes → méthodologie de composition → représentations musicales des groupes

- Comme les éléments sont des actions, ils sont utilisés pour générer une forme musicale
- Les éléments du groupe sont associés à des sensations allant de la violence à la pureté

- Qu'est-ce que c'est un groupe mathématique?
- Qu'est-ce que c'est une représentation musicale?
- **Pourquoi violence et pureté?**

# La première perception

**Groupe D3** → décrit les symétries d'un triangle équilatéral

- Symétrie de rotation comme une symétrie *pure*



- Réflexion comme une symétrie *violente*



# Méthodologie

**1.** Choix d'un groupe mathématique

(ex. D3)



**2.** Analyse en termes de violence et de pureté

(symétrie de rotation - *pure*  
réflexion - *violente* )



**3.** La forme musicale -  
La marche dans le  
groupe mathématique



**4.** La représentation musicale  
(D3 = <Gentleman, Jack> (2021))

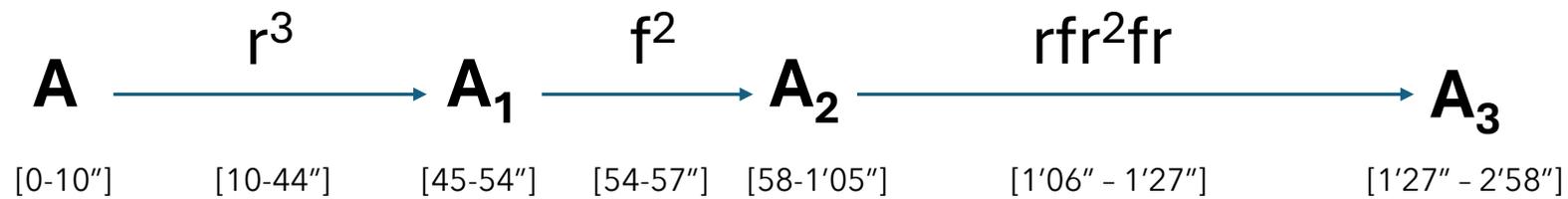
IDÉE CENTRALE

Une application d'un groupe mathématique dans sa métaphore musicale

Collaboration avec des mathématiciens pour étendre le champ d'application de mon projet

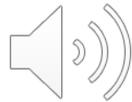
# D3 = <Gentleman, Jack>

Forme:



**r** = rotation

**f** = réflexion



1. Méthodologie
- 2. Violence et pureté**
3. Violence et pureté en musique
4. Représentations musicales
5. Développements futurs

# Violence et Pureté

**Conception**



sentiments ou sensations

**Violence**



force intense (ex. les orages, le vent)



*Burning Piano* (2008) de Yosuke Yamashita



*The Feeding* (2007) de Louise Bourgeois

**Pureté**

→ limpidité, clarté, régularité (ex. l'eau limpide d'un ruisseau de montagne)

*Cantava per le strade  
e si inoltrava dentro le carezze,  
la faccia era lo sprone delle brezze.  
Cairo, Orvieto e le terrazze bianche  
sospese e mescolate.*

*Elle chantait dans les rues  
et pénétrait les caresses,  
son visage était l'éperon des brises.  
Le Caire, Orvieto et les terrasses blanches  
suspendues et mélangées.*

de Vita Meravigliosa de Patrizia Cavalli, traduction de Petra Cini

1. Méthodologie
2. Violence et pureté
- 3. Violence et pureté en musique**
4. Représentations musicales
5. Développements futurs

# Violence en musique

The image shows a musical score for the piece *Nymphéa* (1987) by Kaija Saariaho. The score is for a string quartet, with staves for Violin 1, Violin 2, Viola, and Cello. The music is divided into two distinct sections. The first section, starting at measure 195, is marked '3/4' and 'calmato' (calm), with a tempo of 'rit.' (ritardando). The second section, starting at measure 203, is marked '4/4' and 'con fuoco' (with fire), with a tempo of 'rit.' (ritardando) and 'sempre al volume' (always at volume). The score includes various musical notations such as dynamics (mp, f), articulation (accents, slurs), and performance instructions like 'sempre al volume' and 'rit.'.

mm 195-204, l'indication d'expression est d'abord "con fuoco" puis "pesante, furioso," conduisant à l'instruction dans les mm 203-204, où les interprètes doivent jouer avec "tutta la forza."

La suppression génère de la distorsion.

extrait de *Nymphéa* (1987) de Kaija Saariaho



Extrait de *SO(3) Etude No. 1* (2021-2023) de Petra Cini



Extrait de *Etude No. 4* (2021-2022) de Petra Cini

moins de violence, un mélange de violence et de pureté

# Pureté en musique



Extrait de *Extended Circular Music no. 3* de Jürg Frey

calme, régularité, simplicité et grâce.



Extrait de *D3 = <Gentleman, Jack>* (2021)  
de Petra Cini

Extrait de *Etude No.1* (2020-2021) de  
Petra Cini

Première application de ma  
méthodologie

1. Méthodologie
2. Violence et pureté
3. Violence et pureté en musique
- 4. Représentations musicales**
5. Développements futurs

# Etude No. 4 (2021-2022)

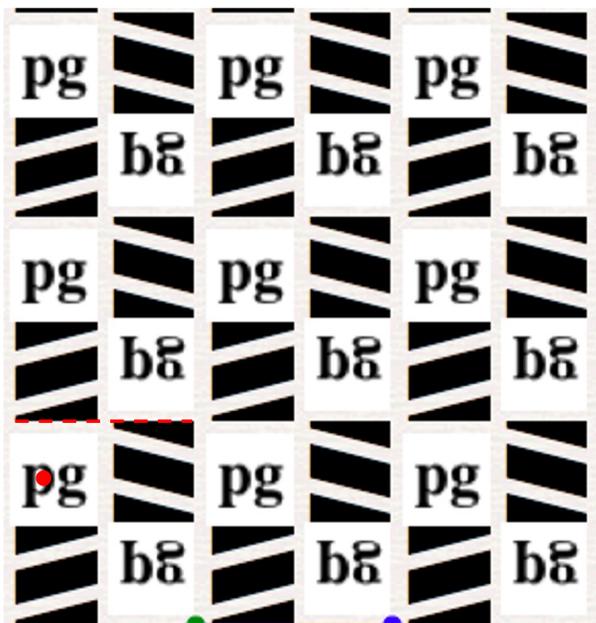
Représentation musicale du groupe de papier peint  $pg$

**Groupe de papier peint  $pg$**   $\longrightarrow$  groupe de symétrie de motifs ressemblant à celui-ci



$pg = \langle p, q \rangle$  où  $p$  et  $q$  sont deux réflexions glissées distinctes qui génèrent le groupe.

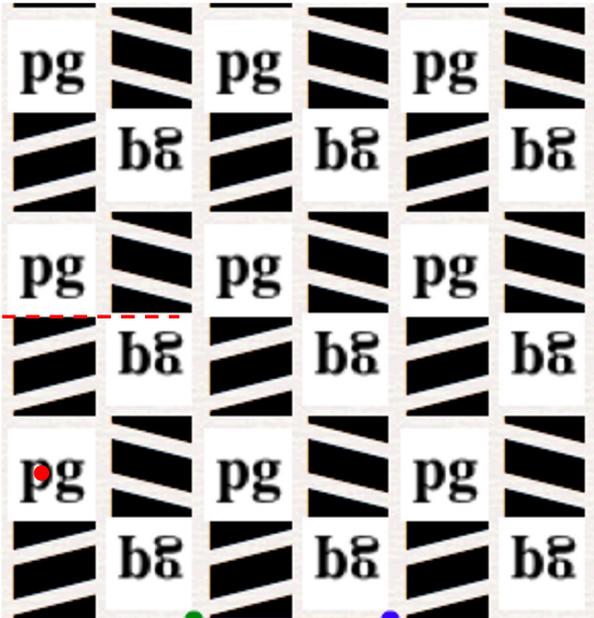
Infinie, pas continu



**réflexion glissée** → Une réflexion par rapport à une ligne suivie d'une translation le long de cette ligne, ou vice versa.

réflexion glissée p





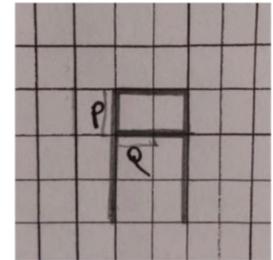
réflexion glissée q



1. Choix du groupe: → 2. Analyse en termes de violence et de pureté: → 3. La forme musicale - La marche dans le groupe

Groupe de papier peint pg

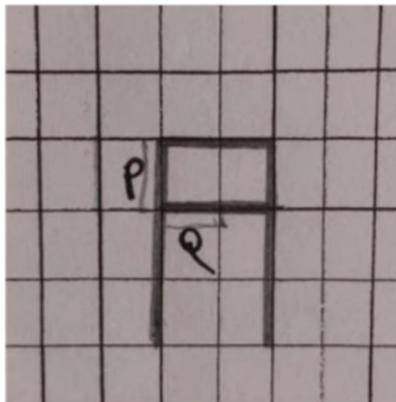
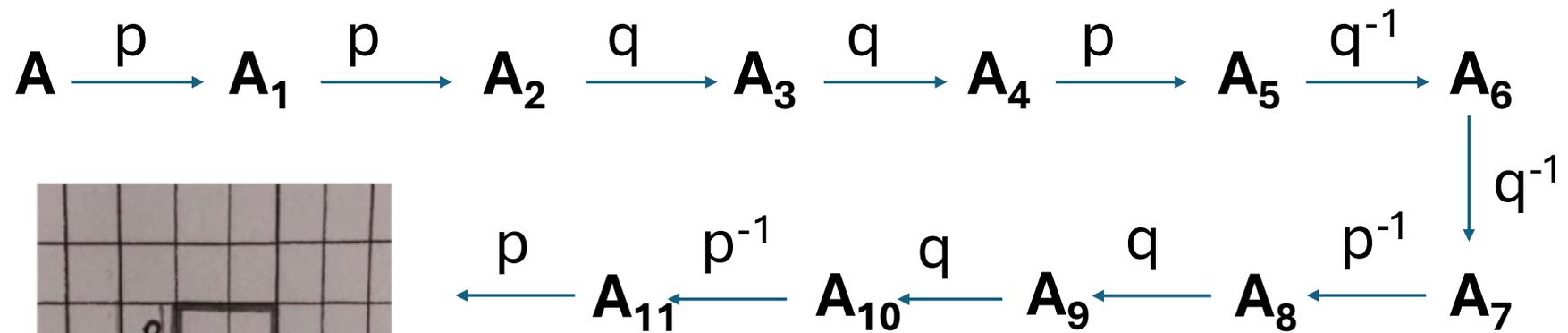
- La symétrie glissée est perçue comme la **combinaison** d'une composante très violente, la réflexion, et d'une composante très pure, la translation.
- La réflexion de glissement qui génère le moins de déplacement (p) est plus violente, l'autre (q) est plus pure.



4. La représentation musicale

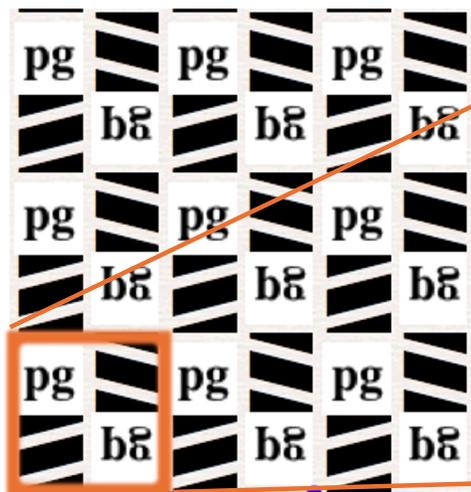
*Etude No. 4 (2021-2022)*

### 3. La forme musicale - La marche dans le groupe



# 4. La représentation musicale: Etude No. 4

Pour saxophone soprano, saxophone basse, trombone ténor, piano, guitare électrique et électronique



A

Matériau musical choisi comme région génératrice de l'Etude No. 4 (2021/22)



# Travailler avec les groupes de Lie

Application de ma méthodologie aux groupes **continus** - les groupes de Lie

**Septembre 2021- mars 2023** → réunions mensuelles avec les mathématiciens Raf Bocklandt (Université d'Amsterdam (UVA)) et Eric Opdam (UVA) pour le développement du cadre méta-mathématique pour la pièce.

# Collaboration

- Choix du groupe de Lie avec lequel travailler et rassemblement des connaissances pertinentes relatives à ce groupe ; le groupe de Lie  $SO(3)$  a été choisi.
- Première étape de la création du cadre méta-mathématique : analyse sous le prisme de la violence et de la pureté du groupe de Lie  $SO(3)$ .

En particulier:

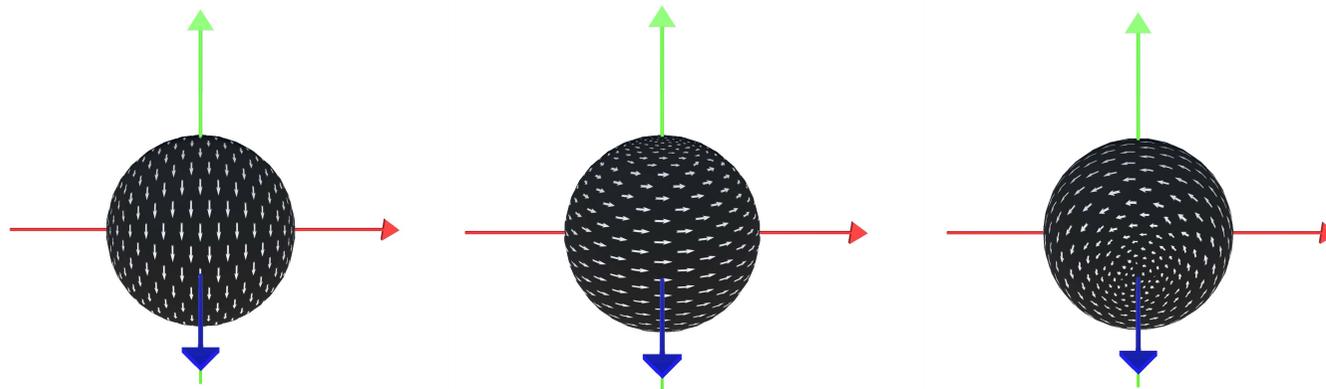
1. Demander aux mathématiciens collaborateurs quelles idées leur viennent à l'esprit en pensant à la **violence et à la pureté dans le contexte des groupes de Lie**.
2. Demander quelles sont les caractéristiques et la typologie des éléments du groupe de Lie  $SO(3)$  sur lesquelles il serait intéressant de se concentrer pour mieux faire comprendre **l'essence de cette structure**.
3. Poser des questions sur le groupe  $SO(3)$  visant à montrer, par le biais de la violence et de la pureté, les **différents caractères, « personnalités », des éléments** de ce groupe.

# Faits clés

- Les groupes de Lie sont à la fois **des groupes et des espaces**.
- Chaque groupe de Lie possède une **structure plus simple** qui lui est **associée**, une algèbre de Lie, à partir de laquelle beaucoup d'informations sur le groupe de Lie peuvent être déduites.
- Il existe un moyen d'exprimer les éléments des groupes de Lie en utilisant les éléments de son algèbre de Lie, **l'application exponentielle**, qui envoie les éléments de l'algèbre de Lie vers les éléments du groupe de Lie.

# Le groupe $SO(3)$

Le groupe de toutes les rotations autour de l'origine de l'espace euclidien tridimensionnel, ou, de manière équivalente, le groupe de Lie qui représente **toutes les rotations d'une 2-sphère** (ce que l'on appelle communément une sphère)



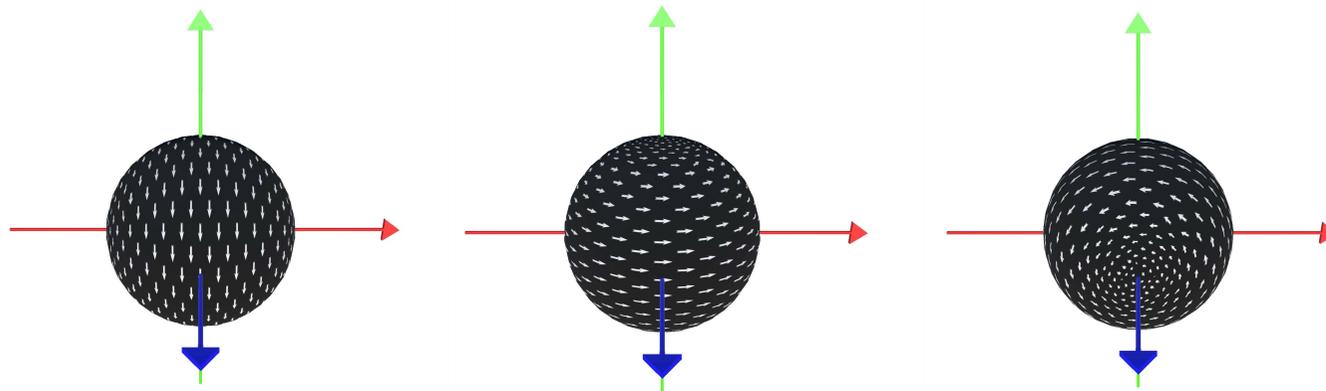
Infini et continu

$$SO(3) = \{X \in M_3(\mathbb{R}) \mid X^T = X^{-1}, \det(X) = 1\}$$

# L'algèbre de Lie $so(3)$

L'algèbre de Lie  $so(3)$  est constituée des générateurs de rotations **infinitésimales**.

C'est un espace tridimensionnel.



$$so(3) = \{X \in M_3(\mathbb{R}) \mid e^{tX} \in SO(3), \forall t \in \mathbb{R}\}$$

# SO(3) ETUDES (2021-2023)

- **SO(3) Etude No. 1:** se concentre sur la présentation de l'algèbre de Lie  $\mathfrak{so}(3)$ , en mettant l'accent sur ses éléments en tant que générateurs de rotations infinitésimales, et sur l'utilisation de l'application exponentielle pour atteindre des éléments du groupe de Lie  $SO(3)$  à partir d'éléments de l'algèbre de Lie  $\mathfrak{so}(3)$ .
- **SO(3) Etude No. 2 :** se concentre sur la représentation musicale du groupe de Lie  $SO(3)$ , qui est présentée en générant une marche à l'intérieur du groupe menant à travers une sélection de ses éléments.

# SO(3) Etude No. 1

|  |   |  |   |   |   |
|--|---|--|---|---|---|
| <u>5" - 10"</u><br>Introduction of the organic complement      | <u>10" - 16"</u><br>The presentation of the three dimensions of the Lie algebra $so(3)$ | <u>17" - 50"</u><br>The presentation, one after the other, of the basis elements of $so(3)$ , i.e. the generators of micro rotations | <u>51" - 1'23"</u><br>The complexification of $su(2) \cong so(3)$ , so from $su(2) \cong so(3)$ to $sl(2,C)$  | <u>1'23" - 1'36"</u><br>The presentation of the three dimensions of the Lie algebra $so(3,C)$ | <u>1'37" - 1'49"</u><br>And I will manage to fix you'; from $so(3,C)$ back to $so(3)$ |
| <u>1'50" - 1'56"</u><br>'Mission completed'; back to $so(3)$ . | <u>1'57" - 2'57"</u><br>Exponential map applied to $z$ to reach a point in $SO(3)$      | <u>2'58" - 2'59"</u><br>Reaching of the corresponding point of $SO(3)$   | <u>3'00" - 3'30"</u><br>Reaching the point corresponding to $x$ in $SO(3)$ through a combination of different exponentiated éléments of the Lie algebra $so(3)$ | <u>3'31" - 3'35"</u><br>Reaching of the corresponding point of $SO(3)$                        | <u>3'36" - 3'48"</u><br>The piece dies down, in the organicity of reality, we wait    |

# Extraits



17" - 50"

**The presentation, one after the other, of the basis elements of  $so(3)$ , i.e. the generators of micro rotations.**

The embellishments and the frantic quality of the musical realization of the basis elements  $x$ ,  $y$  and  $z$  of  $so(3)$  evoke the elements of  $so(3)$ 's function of generators of micro rotations. The element  $x$  is presented first, then  $y$  and  $z$ .

The following three elements  $x$ ,  $y$  and  $z$  constitute a basis of  $so(3)$

$$x = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 \\ -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \end{bmatrix}, z = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \\ 0 & -2 & 0 \end{bmatrix}.$$

Every element  $s \in so(3)$  can be written as  $s = ax + by + cz$  for  $a, b, c \in \mathbb{R}$ .

A micro rotation matrix generated by  $x$  is  $dx = d\theta x + I$ , one generated by  $y$  is  $dy = d\beta y + I$ , one generated by  $z$  is  $dz = d\alpha z + I$ , for  $d\theta, d\beta$  and  $d\alpha$  generated infinitesimally small.  $dx$  is a micro rotation about the  $z$ -axis,  $dy$  a micro rotation about the  $y$ -axis and  $dz$  a micro rotation about the  $x$ -axis.





1'37" - 1'49"

**'And I will manage to fix you'; from  $\mathfrak{so}(3, \mathbb{C})$  back to  $\mathfrak{so}(3)$**

By fixing through a determined Galois action the real part of  $\mathfrak{so}(3, \mathbb{C})$ , we obtain  $\mathfrak{so}(3)$  again. A voice thus sings: "and I will manage to fix you".

The simplest way to define  $\mathfrak{so}(3, \mathbb{C})$  is as the set of complex matrices  $X$  such that  $X^T = -X$  (skew symmetric). In this case, if we take the simplest Galois action where  $\alpha_\sigma(X)$  is the entry-wise complex conjugation of  $X$ , then the subalgebra fixed for this action by  $\alpha$  is  $\mathfrak{so}(3)$ .





3'31" - 3'35"

### **Reaching of the corresponding point of SO(3)**

A voice whispers 'sing for me 'and another one sings a melody that reminds of a jingle to signify that we have arrived. Then a loud, violent low-pitched sound erupts: we jump on the point we were walking to after the obsessive marching has come to an end. This point is the rotation by  $30^\circ$  around the x axis in SO(3), which will be the first element that will act on the musical theme generating in the musical space.

$$R_x(30) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(30^\circ) & -\sin(30^\circ) \\ 0 & \sin(30^\circ) & \cos(30^\circ) \end{bmatrix}$$



# SO(3) Etude No. 2

La deuxième étape de la création du cadre méta-mathématique : la représentation musicale du groupe de Lie  $SO(3)$ , en tenant compte des points d'intérêt du groupe

**L'action** du groupe  $SO(3)$  **sur un objet musical** contenu dans un « espace musical ».

# 1. Choix du groupe $\longrightarrow$ 2. Analyse en termes de $\longrightarrow$ violence et de pureté

Groupe de Lie  $SO(3)$

- Les éléments du groupe  $SO(3)$  sont identifiés et perçus comme violents lorsqu'ils sont vus comme des points, et comme purs lorsqu'ils sont vus comme des rotations agissant sur un espace vectoriel musical.
- Les rotations avec un angle de rotation plus grand sont réalisées comme des transformations qui prennent plus de temps à se produire et sont donc perçues comme **plus pures**.

### 3. La forme musicale - La marche dans le groupe

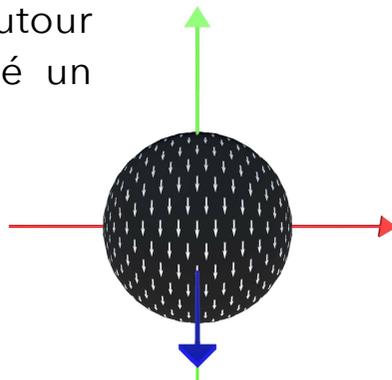
1. Aux trois rotations autour des **axes x, y et z** attribution de leurs **expressions musicales** en tant qu'actions sur l'espace musical.
2. Pour chacun des éléments de  $SO(3)$  utilisés **représentation axe/angle**
3. Aux **valeurs** des représentations **axe/angle** attribution d'expressions et fonctions musicales

1. Aux trois rotations autour des **axes x, y et z** → attribution de leurs **expressions musicales** en tant qu'actions sur l'espace musical.
- chaque élément (rotation) de  $SO(3)$  peut être réalisé comme la multiplication de trois rotations avec des angles de rotation déterminés **autour des axes x, y et z,**

En particulier:

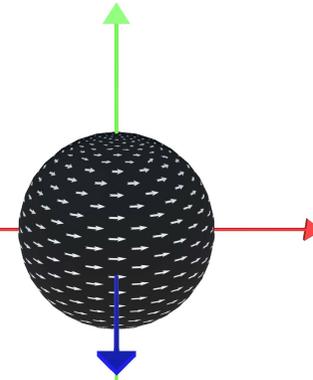
- À la rotation d'un angle  $\beta$  autour de l'axe x  $R_x(\beta)$ , j'ai associé un changement de **nuances**.

$$R_x(\beta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\beta) & -\sin(\beta) \\ 0 & \sin(\beta) & \cos(\beta) \end{bmatrix};$$



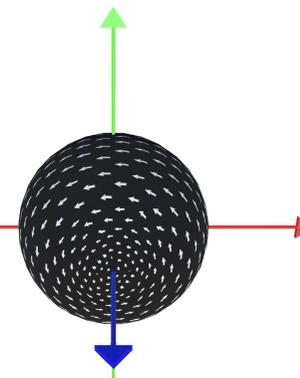
- À la rotation d'un angle  $\beta$  autour de l'axe y  $R_y(\beta)$ , un changement de **vitesse**.

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{bmatrix};$$



- À la rotation d'un angle  $\beta$  autour de l'axe z  $R_z(\beta)$ , un changement de **hauteur**.

$$R_z(\beta) = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & -\sin(\beta) & 0 \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$



2. Pour chacun des éléments de SO(3) utilisés  $\longrightarrow$  **représentation axe/angle**

$$R_y(45)R_x(60) = \begin{bmatrix} \cos(45^\circ) & 0 & \sin(45^\circ) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(45^\circ) & 0 & \cos(45^\circ) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(60^\circ) & -\sin(60^\circ) \\ 0 & \sin(60^\circ) & \cos(60^\circ) \end{bmatrix}$$

Représentation axe/angle de  $R_y(45)R_x(60)$ : { [ 0.7700762, 0.5524826, -0.318976 ], 73.7200938 }

**3. Aux valeurs** des représentations axe/angle  $\longrightarrow$  attribution d'expressions et fonctions musicales

- L'amplitude de l'angle de chaque représentation axe/angle détermine la durée temporelle de l'action de l'élément.

$R_x(30): \{ [ 1, 0, 0 ], \mathbf{30} \}$  durée temporelle = **8'' env.**

$R_y(45)R_x(60): \{ [ 0.7700762, 0.5524826, -0.318976 ], \mathbf{73.7200938} \}$  durée temporelle = **17'' env.**

- Les composantes x, y et z des vecteurs unitaires de chaque représentation axe/angle sont réalisées en utilisant, avec des **intensités différentes**, les **matériaux** qui avaient été utilisés pour les éléments base de l'algèbre de Lie so(3)

$$R_y(45)R_x(60): \{ [ \mathbf{0.7700762, 0.5524826, -0.318976} ], 73.7200938 \}$$

$$\mathbf{x=0.7700762, y=0.5524826 \text{ et } z= -0.3189760,}$$

la composante x sera présente avec plus d'intensité, suivie par y et z.

## 4. La représentation du groupe

Objet musical contenu dans l' « espace musical ».

**A**

arpeggiando, with increasing intensity

tr

intimate, molto espressivo, con Ped.

tr

semplice, trattenuto

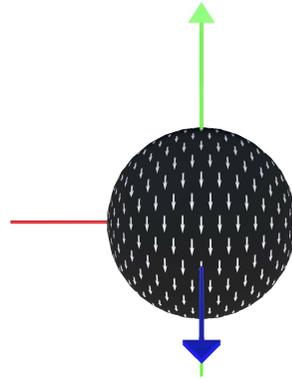
tr

Piano

Matériau musical choisi comme thème musicale du  $SO(3)$  Etude No. 2 (2021/23) ; des transformations de ce matériau se produisent tout au long de la pièce en suivant les actions musicales des éléments du groupe.

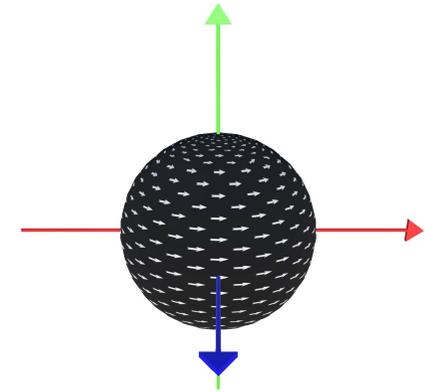
Changement de **nuances**

$$\mathbf{R}_x(\beta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\beta) & -\sin(\beta) \\ 0 & \sin(\beta) & \cos(\beta) \end{bmatrix};$$



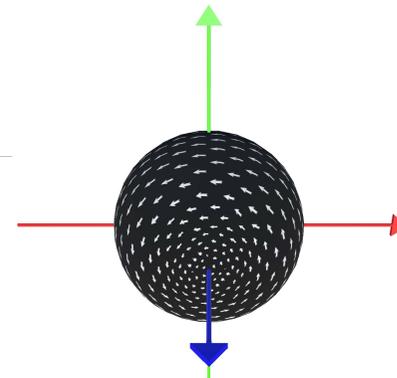
Changement de **vitesse**

$$\mathbf{R}_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{bmatrix};$$



Changement de **hauteur**

$$\mathbf{R}_z(\beta) = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & -\sin(\beta) & 0 \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$



# SO(3) ETUDE 2

|  |   |  |  |  |  |  |
|--|---|--|--|--|--|--|
| <b>m. 1</b><br>Introduction of the organic complement                    | <b>mm. 2-8</b><br>The theme is presented                      | <b>m. 9</b><br>$R_x(30)$                   | <b>mm. 10-16</b><br>The theme is presented again in its transformed form | <b>m. 17</b><br>$R_y(30)$  | <b>mm.18-24</b><br>The theme is presented again in its transformed form  | <b>m. 25</b><br>$R_z(60)$  |
| <b>mm. 26-32</b><br>The theme is presented again in its transformed form | <b>m. 33</b><br>$[R_z(60)R_y(30)R_x(30)]^{-1}$                | <b>mm. 34-41</b><br>The theme is presented | <b>m. 42</b><br>$R_y(30)R_z(45)$   | <b>mm. 43-49</b><br>The theme is presented again in its transformed form | <b>m.50</b><br>$R_x(90)$   | <b>mm. 51-57</b><br>The theme is presented again in its transformed form |
| <b>m. 58</b><br>$[R_x(90)R_y(30)R_z(45)]^{-1}$                           | <b>mm. 59-65</b><br>The theme is presented                    | <b>m. 66</b><br>$R_y(45)R_x(60)$           | <b>mm. 67-73</b><br>The theme is presented                               | <b>m. 74</b><br>$R_x(30)R_z(30)$   | <b>mm. 75-81</b><br>The theme is presented again in its transformed form | <b>m. 82</b><br>$R_z(180)$   |
| <b>mm. 83-89</b><br>The theme is presented again in its transformed form | <b>m. 90</b><br>$[R_z(180)R_x(30)R_z(30)R_y(45)R_x(60)]^{-1}$ | <b>mm. 91-97</b><br>The theme is presented | <b>m. 98</b><br>$R_x(180)R_y(180)R_z(180)$                               | <b>mm. 99-106</b><br>The theme is presented                              |  |  |

# Extrait



**$[R_z(60)R_y(30)R_x(30)]^{-1}$**

Since the angle of rotation of  $R_z(60)R_y(30)R_x(30)$  is (approximately)  $65^\circ$ , we have that its inverse  $[R_z(60)R_y(30)R_x(30)]^{-1}$  will have angle of rotation of (approximately)  $295^\circ$ . Hence, in accordance with the temporal length of associated to the previous elements, it takes 1'13" ca. to be made.

The material used in the first etude for the loud, violent low-pitched sound used to represent that we have reached the point of  $SO(3)$  is stretched for the duration of the 1'13" ca. and reversed, to signify that the we are taking the inverse of the composition of the previous elements. We are walking back to our initial position.

The materials that had been used in the exponentiation processes, derived from the musical realizations of  $x, y$ , and  $z$ , are presented to signify that the rotation  $[R_z(60)R_y(30)R_x(30)]^{-1}$  has been constructed using the Lie algebra elements  $x, y, z$ . These materials are present with different intensities in accordance with the values of the entries  $x, y, z$  of the axis of rotation of the element  $[R_z(60)R_y(30)R_x(30)]^{-1}$ , following the methodology mentioned at the beginning of the section. Such materials are also reversed to signify that we are taking the inverse of the composition of the previous elements. The piano materials have a coloring function.

$$[R_z(60)R_y(30)R_x(30)]^{-1} = \left( \begin{bmatrix} \cos(60^\circ) & -\sin(60^\circ) & 0 \\ \sin(60^\circ) & \cos(60^\circ) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(30^\circ) & 0 & \sin(30^\circ) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(30^\circ) & 0 & \cos(30^\circ) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(30^\circ) & -\sin(30^\circ) \\ 0 & \sin(30^\circ) & \cos(30^\circ) \end{bmatrix} \right)^{-1}$$

Axis-angle representation of  $R_z(60)R_y(30)R_x(30)$ : { [ 0.1693787, 0.6321298, 0.7561236 ], 65.40094 }

The axis of rotation of  $[R_z(60)R_y(30)R_x(30)]^{-1}$  is the same of  $R_z(60)R_y(30)R_x(30)$ , its angle of rotation is approximately  $360^\circ - 65^\circ = 295^\circ$ .



1. Méthodologie
2. Violence et pureté
3. Violence et pureté en musique
4. Représentations musicales
- 5. Développements futurs**

# Nouveau projet

## Sur le groupe $SL(2, \mathbb{C})$

- En contact avec Anne-Marie Aubert, Eric Opdam et Raf Bocklandt
- Le collectif néerlandais **Nieuw Amsterdams Peil**
- Printemps 2026 Muziekgebouw aan 't IJ (Amsterdam, Pays-Bas)

# Références

Artin, Michael. *Algebra*. London: Pearson Education, 2011.

Cavalli, Patrizia. *Vita Meravigliosa*. Torino: Einaudi, 2020.

Cini, Petra. "An introduction to my musical theory 'A Damaged Purity - technique and theory of my musical practice.'" Paper, 19 November 2020. <http://www.petracini.it/wp-content/uploads/2020/11/Petra-Cini-An-introduction-to-my-musical-theory-%E2%80%9CA-Damaged-Purity-technique-and-theory-of-my-musical-practice%E2%80%9D-2020-1.pdf>.

Cox, Arnie. *Music and Embodied Cognition: Listening, Moving, Feeling, and Thinking*. Bloomington, In: Indiana University Press, 2016.

Fraleigh, J.B., and V.J. Katz. *A First Course in Abstract Algebra*. Boston: Addison-Wesley, 2003.

Frey, Jürg. *Extended Circular Music No.3*. Haan: Edition Wandelweiser, 2014.

Groot, J., G. Grevink, Y. Chen and M. de Yong. "A Meta-Musical Evening - 25 March 2023." Booklet, Splendor Amsterdam 2023. <http://www.petracini.it/wpcontent/uploads/2022/01/A-Meta-Musical-Evening-25-March-2023.pdf>.

Saariaho, Kaija. *Nymphéa*. Edition Wilhelm Hansen Helsinki (World), 1987.

Steinberg, Benjamin. *Representation Theory of Finite Groups: An Introductory Approach*. New York: Springer, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0776-8>.

Vuković, Ivan. *The Irreducible Representations of the Lie Algebra  $su(2)$* . Paper, University of Split, 2015. [https://www.phy.uniri.hr/~ivukovic/su\(2\)IRREPs.pdf](https://www.phy.uniri.hr/~ivukovic/su(2)IRREPs.pdf).

"Yosuke Yamashita, Burning Piano 2008." YouTube video, 09:42. Posted by "KusLab," January 31, 2011. [https://www.youtube.com/watch?v=YpKT\\_eeCVNI&t=1s](https://www.youtube.com/watch?v=YpKT_eeCVNI&t=1s).

# Contact et plus d'info



 : <https://www.petracini.it/>

 : @petra\_cini

 : Petra Cini