

Mémoire de DNMADE  
Conception Mobilier et Pièces d'Exception  
Cyprien Hernandez





Sous la direction du corps enseignant du DNMADE 3  
Lycée des arts du bois Pierre Vernotte  
Année universitaire : 2023-2024



**Remerciements :**

*Je tiens tout d'abord à remercier toute l'équipe pédagogique du Lycée Pierre Vernotte et en particulier M.Leprest et Mme Roselet pour leur investissement, leur temps et leurs conseils qui m'ont permis de rédiger ce mémoire.*

*Je souhaite également remercier mes camarades, mes proches ainsi que toutes les personnes extérieures au diplôme qui m'ont apporté un soutien et des avis plus qu'utiles.*

*Pour finir, je remercie toutes les personnes qui m'ont permis de cultiver cet attrait pour le son et l'acoustique depuis plusieurs années maintenant.*



# Sommaire :

<b>Glossaire</b> .....	<b>5</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>7</b>
<b>Les bandes originales au cinéma</b> .....	<b>8</b>
<b>L'IRCAM</b> .....	<b>10</b>
<b>Iannis Xenakis</b> .....	<b>12</b>
<b>La résonance</b> .....	<b>14</b>
<b>La cymatique</b> .....	<b>15</b>
<b>Intention de projet</b> .....	<b>17</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>18</b>
<b>Annexes :</b> .....	<b>23</b>
Compléments bandes originales .....	23
IRCAM .....	24
I. Xenakis .....	33
Résonance .....	38
Cymatique .....	40
Frise Beethoven – G.Klimt .....	42

## Glossaire :

**Artefact sonore** : Son issu d'une transformation humaine, d'origine artificielle.

**Chambre anéchoïque** : Une pièce sans échos, absorbant les sons. Environnement isolé acoustiquement pour des mesures sonores précises.

**Cymatique** : C'est l'étude des motifs visuels créés par les vibrations sonores sur une surface de différents matériaux révélant des structures complexes.

**Design sonore** : L'étude des processus de création des artefacts sonores comprenant le travail d'émission de réception et donc de perception derrière ceux-ci.

**Figures de Chladni** : Les figures de Chladni sont les motifs géométriques formés par les vibrations et la résonance de différents matériaux. Ce sont les motifs de la cymatique.

**Fréquence** : Une fréquence sonore est le nombre de cycles complets d'oscillation d'une onde sonore en une seconde, mesurée en hertz (Hz), déterminant la hauteur du son.

**Fréquence de résonance** : La fréquence de résonance est la fréquence qui fait vibrer un objet ou un système de manière maximale et naturelle.

**MAO** : La Musique Assistée par Ordinateur utilise des logiciels pour créer, éditer et produire de la musique numérique.

**Musique Stochastique** : La musique stochastique utilise le hasard et des règles mathématiques pour créer des compositions musicales, explorant l'imprévisibilité contrôlée.

**Psychoacoustique** : C'est l'étude de la manière dont nous percevons le son, c'est-à-dire la hauteur, le timbre, l'intensité, ainsi que certaines subtilités sonores.

**Résonance** : C'est l'amplification d'une vibration lorsqu'elle correspond à la fréquence naturelle d'un objet, augmentant les mouvements de l'air autour et dans l'objet et donc son amplitude et son intensité.

**Scène sonore** : Aussi appelé événement sonore, une scène sonore est un son spécifique qui se produit à un moment donné. Il peut être bref ou non et complexe ou non.

**Snoezelen** : Le snoezelen est une approche thérapeutique offrant un environnement sensoriel contrôlé pour favoriser la détente et la stimulation sensorielle.

**Spatialisation du son** : La spatialisation du son recrée la position et le mouvement du son dans l'espace pour une expérience d'écoute immersive. Elle vise à attribuer une direction, une distance et une position aux sons.

**Synesthésie** : La synesthésie est une condition où les stimuli d'un sens déclenchent automatiquement des sensations dans d'autres sens. Par exemple, voir des couleurs en entendant des sons.

**Timbre** : Le timbre, c'est ce qui fait qu'une voix ou un instrument sonnent différemment même s'ils jouent la même note. C'est leur "signature" sonore.

## **Introduction :**

Etant moi-même musicien, le son est un domaine qui me tient particulièrement à cœur. J'ai eu la chance de pouvoir participer ou assister à un bon nombre de concerts et d'événements artistiques en tout genre. Et c'est le son qui a été ma porte d'entrée vers le monde de l'art.

Je tiens à développer le fait que notre expérience d'écoute va bien au-delà de l'ouïe. Elle est en effet liée de façon intime à nos autres sens. La difficulté ici est d'abord de prendre conscience de l'existence même de ces différents degrés d'écoute. Pour ensuite en comprendre le fonctionnement à travers notre perception des phénomènes physico-acoustiques qui peuvent créer des émotions ou réactions parfois insoupçonnées voire inconscientes. Et finalement retranscrire ces expériences et recréer des situations similaires au service de personnes en quête de confort, de mieux être ou d'expérimentation.

## Les bandes originales au cinéma :

Pour commencer, plongeons dans l'univers du cinéma et plus précisément des bandes sons. Les bandes originales au cinéma représentent une fusion essentielle entre l'audio et le visuel, créant ainsi une expérience immersive et multisensorielle. Le septième art enveloppe nos sens dans un univers sonore soigneusement élaboré où la musique, les sons et le silence ont chacun leur place. Les œuvres audio-visuelles suscitent des émotions et une connexion intime avec le public, permettant une immersion totale dans l'œuvre.

Ces exemples marquants mettent en lumière l'impact significatif des bandes originales sur l'expérience cinématographique :

- **Interstellar (Christopher Nolan, 2014)** : La composition de Hans Zimmer crée une expérience puissante et profonde pour le spectateur. Les mélodies évoquent un sentiment d'immensité, de transcendance et d'exploration de l'inconnu, renforçant ainsi l'effet visuel du film. Pour beaucoup, la bande son est l'élément central du film.
- **Shining (Stanley Kubrick, 1980)** : La bande son de Wendy Carlos et Rachel Elkind a un effet puissant et troublant sur le spectateur, jouant un rôle crucial dans la construction de l'atmosphère terrifiante du film. Elle crée la peur et l'incertitude, amplifiant ainsi l'impact psychologique sur le public. Le contraste lors de la scène d'introduction entre la symphonie fantastique de Berlioz angoissante et cette voiture qui évolue dans des paysages apaisants amplifie déjà ce côté pesant avant même de rentrer dans le film.



- **DUNE Part 1 (Denis Villeneuve, 2021)** : Composée par Hans Zimmer, cette bande son offre une immersion profonde et contemplative. Elle partage des similitudes avec la composition d'Interstellar, ayant cependant une approche plus expérimentale, qui amène le public à une distance avec ces nouveaux mondes et civilisations.

Dans un contexte plus récent, **Oppenheimer (Christopher Nolan, 2023)**, avec la composition de Ludwig Göransson, illustre un traitement sonore paradoxal lors du moment crucial de l'explosion. Plutôt que d'opter pour une démonstration de puissance sonore, le silence accompagne l'explosion, créant ainsi un moment de contemplation, de terreur, de calme et presque de respect envers cette puissance pure : la puissance du silence.

Le cinéma est notre porte d'entrée vers cette prise de conscience des différents niveaux d'écoutes que l'on peut atteindre. L'objectif fondamental de cet art est de faire ressentir des émotions, avec notamment ce jeu entre nos sens et ses réactions qui viennent toucher notre subconscient.

# L'Institut de Recherche et Coordination Acoustique Musique : L'IRCAM

Après l'immersion sensorielle cinématographique, explorons maintenant la rigueur scientifique de l'IRCAM avec l'étude des phénomènes acoustiques et de notre perception auditive.

Fondé par Pierre Boulez 1970, l'IRCAM est aujourd'hui l'un des plus grands centres de recherche publique au monde se consacrant à la création musicale et à la recherche scientifique. C'est un lieu unique où convergent l'avant-garde artistique et l'innovation scientifique et technologique.

L'exploration des artefacts sonores constitue une partie fondamentale des recherches menées à l'IRCAM. Ces études alimentent le principe du design sonore, qui aborde ainsi l'émission, la réception et la perception de ces scènes sonores.

Au sein de l'IRCAM, deux équipes de recherche se distinguent dans leur approche de l'expérience d'écoute :

- **L'équipe Perception et Design Sonore**, qui se concentre en partie sur le traitement émotionnel du son, explorant les tenants et aboutissants de la **psychoacoustique**. Cette discipline étudie comment le cerveau interprète les signaux sonores.
- **L'équipe Espaces Acoustiques et Cognitifs**, qui met l'accent sur la perception des scènes sonores et la spatialisation du son. Cette discipline permet d'explorer et d'exploiter l'espace et l'environnement pour offrir des expériences acoustiques uniques.

Pour expérimenter la spatialisation du son, l'IRCAM dispose d'une chambre anéchoïque. Bien que principalement utilisée pour calibrer des objets électro-acoustiques, cette chambre présente un intérêt particulier, car elle induit une perte rapide des repères de l'individu, l'exposant non pas au silence absolu, mais potentiellement aux sons de son propre système interne, tels que les battements du cœur ou la circulation sanguine. Ces chambres anéchoïques offrent une expérience unique, tant sur le plan sensoriel que visuel.



## Iannis Xenakis :

Pour continuer autour de la spatialisation, évoquons maintenant Iannis Xenakis (1922-2001). Compositeur, architecte et ingénieur d'origine gréco-roumaine naturalisé français, il a profondément marqué le monde de la musique contemporaine. Véritable bâtisseur du son, il a toujours mêlé dans son œuvre l'architecture, l'espace, la musique et le son.

Sa vision novatrice explore la spatialisation du son pour créer des expériences sonores uniques et structurer des environnements qui guident le créateur et le spectateur vers une écoute et un ressenti bien précis.

Dans ses œuvres telles que « *Persephassa* » (1969), conçue pour six percussionnistes répartis dans l'espace, Xenakis nous offre une expérience sonore spatiale exceptionnelle. De même, ses « *polytopes* » incarnent son audace artistique, repoussant les frontières de l'art en fusionnant musique, espace et lumière. Chaque « Polytope » devient une aventure sensorielle unique, explorant les interactions entre le son et son environnement spatial.

Pionnier de la musique contemporaine au XXe siècle, Xenakis a développé la musique stochastique, intégrant des lois mathématiques aléatoires et semi-aléatoires, dans sa composition. La loi de Xenakis, qu'il a formulée, permet, de manière schématique, de générer de la musique informatiquement à l'aide d'algorithmes complexes de manière aléatoire tout en conservant un contrôle sur le rendu global. Cette approche a permis à Xenakis de créer des compositions organiques malgré leur génération aléatoire.

Des œuvres majeures telles que « Metastasis » (1953-54) illustrent sa maîtrise des techniques avant-gardistes en musique orchestrale.

Parallèlement à Iannis Xenakis, le travail de Tod Machover, compositeur, musicien et chercheur américain reconnu, mérite d'être mentionné. Il a notamment été le premier directeur de la recherche musicale à l'IRCAM.

On peut citer certains de ses projets comme la « *sensor chair* », équipée de capteurs de mouvement qui traduisent les actions corporelles en signaux musicaux instantanément. Cette technologie ajoute donc une dimension **synesthésique** à la composition qui devient une performance.

Ou les « *Sensory Friendly Concerts* », qui sont une initiative adaptant les concerts pour rendre la musique et les expériences culturelles plus accessibles aux personnes atteintes de troubles sensoriels ou cognitifs, intégrant des éléments sonores et visuels adaptés.

## La Résonance :

Explorons maintenant la notion fondamentale de résonance, un phénomène clé en acoustique qui révèle la puissance du son dans notre environnement. Comprendre la résonance nous ouvre une porte vers des expériences sensorielles uniques, où les fréquences jouent un rôle crucial.

La fréquence de résonance est le point où les phénomènes acoustiques les plus intéressants se produisent.

C'est notamment grâce à cette notion de fréquence de résonance que l'on peut briser un verre avec notre voix. La résonance nous amène à rentrer en phase avec un objet ou une structure spécifique pour générer un son, une vibration ou tout autre phénomène physico-acoustique perceptible.

On peut citer le travail de Pierre-Laurent Cassière, un performeur sonore français. Avec une performance réalisée dans une ancienne friche industrielle, Cassière a littéralement redonné vie au bâtiment en émettant des fréquences précises grâce à un important système sonore calibré. Chaque fréquence correspondait aux fréquences de résonance des différentes parties de la structure, créant une expérience sensorielle unique.

## La cymatique :

La résonance nous a montré comment les fréquences font vibrer et résonner les objets. Avec la cymatique, nous découvrons comment ces vibrations sonores transforment visuellement notre environnement

La cymatique est donc une exploration de la forme physique du son. Elle dévoile comment les vibrations sonores, lorsqu'elles traversent un milieu tel que le sable ou l'eau, peuvent influencer la matière et créer des motifs géométriques et plastiquement intéressants. Cette étude permet la visualisation et la compréhension du pouvoir structurant du son sur la matière, ouvrant des perspectives dans divers domaines, de la science à l'art, en passant par la médecine et l'ingénierie acoustique.

À travers la cymatique, on peut littéralement voir et sculpter le son. Les formes ainsi créées sont appelées Figures de Chladni. *Ernst Chladni* était un musicien et physicien allemand souvent appelé le père de l'acoustique moderne. Son travail a profondément influencé divers domaines acoustiques, de la lutherie à l'architecture.

La cymatique est un parfait exemple synesthésique. **La synesthésie** est un phénomène où une stimulation sensorielle telle que la musique déclenche une réponse sensorielle dans un autre sens. Par exemple, certaines personnes voient des couleurs en écoutant de la musique, mettant en lumière la manière dont l'ouïe peut interagir avec la vision.

Ce principe souligne la fragilité, voire l'absence, des frontières entre nos sens et les liens plus ou moins étroits entre eux.



Notre expérience d'écoute peut ainsi varier en fonction des sens stimulés. Prendre conscience de ces interactions peut nous immerger davantage dans un ressenti profond, au-delà de la simple écoute.

A partir de cette constatation des liens évidents entre nos sens, on peut mentionner **les chambres ou salles Snoezelen**.

Une chambre Snoezelen ou salle d'environnement multisensoriel, est un espace spécialement conçu pour offrir une expérience sensorielle relaxante et stimulante aux personnes ayant des besoins particuliers, notamment celles atteintes de troubles du développement, de handicaps sensoriels ou cognitifs, ou de troubles du spectre autistique.

Les chambres Snoezelen sont généralement équipées de divers éléments sensoriels qui stimulent les sens de façon non intrusive et douce, tels que la lumière, la musique, les couleurs, les textures, les odeurs et les sons.

Ces espaces sont bénéfiques pour des personnes ayant des besoins particuliers mais peuvent également être appréciés par d'autres personnes en quête de relaxation et de stimulation sensorielle.



# Problématique et Intention de projet :

Ces différents angles de recherches autour de notre écoute, notre perception et des événements qui y sont liés m'amènent à me demander :

## **De quelle manière nos sens influencent-ils notre expérience d'écoute ?**

Je souhaiterais donc créer un objet mettant en lumière les différents degrés d'écoute que l'on peut atteindre, un prototype qui permettra d'apporter à son utilisateur un état de mieux-être par le biais du son et des vibrations. Je souhaite ainsi lui donner accès à de nouveaux ressentis en jouant sur les sens de façon contrôlée et modérée à l'image des « *Sensory Friendly Concerts* » ou des « *salles Snoezelen* ».

Cet objet pourra être intégré dans un cadre personnel, professionnel ou scolaire.

Une approche scientifique sera nécessaire avec des analyses purement physiques autour du son et de sa propagation dans différents environnements et matériaux.

Je compte collaborer avec des studios d'enregistrements pour pouvoir analyser et tester différentes méthodes qui auront pu être développées auparavant avec l'aide de partenaires techniques tels que des luthiers, acousticiens ou performeurs sonores.

# Abstract:

## Introduction:

As a musician, sound holds a special place in my life. Through various concerts and artistic events, I have realized that sound is way more than just hearing. It's connected to our other senses. Realizing the existence of these different levels of listening is the first step toward understanding how sound can create emotions. We can use this knowledge to recreate similar experiences for those seeking comfort, well-being, or experimentation.

## Original Soundtracks:

First, let's dive into the world of cinema, specifically film soundtracks. Cinema is a fusion of audio and visual elements, creating an immersive experience. In cinema sound, music, sound effects and silence establish a deep connection with the audience, allowing complete immersion in the artwork.

Different examples illustrate the significant impact of original soundtracks on the cinematic experience:

**Interstellar (Christopher Nolan, 2014):** Hans Zimmer's composition delivers a powerful and profound experience. His melodies evoke a sense of vastness, transcendence, and exploration of the unknown, enhancing the visual impact of the film.

**The Shining (Stanley Kubrick, 1980):** Wendy Carlos and Rachel Elkind's soundtrack has a powerful and unsettling effect,

playing a crucial role in creating the film's terrifying atmosphere.

**DUNE Part 1 (Denis Villeneuve, 2021):** Composed by Hans Zimmer, this soundtrack provides a deep and contemplative immersion, like "Interstellar" but with a more experimental approach.

In a recent context, **Oppenheimer (Christopher Nolan, 2023)**, scored by Ludwig Göransson, shows here a paradoxical sound treatment during THE explosion, using silence to create a moment of contemplation, reverence, and awe.

Cinema serves as a gateway to understand the various levels of listening. Its first objective is to create emotions by engaging our senses and their reactions.

### **IRCAM:**

Next, let's explore the scientific rigor of the Institute of Acoustic Music Research and Coordination (in French: IRCAM). Founded by Pierre Boulez in 1970, the IRCAM is one of the world's leading public research institutes dedicated to musical creation and scientific research. It's a unique place where artistic avant-garde and scientific innovation converge.

The study of sound artifacts plays a fundamental role in IRCAM's research, taking us to sound design, that means the emission, the reception, and the perception of phonic scenes. There are two different teams that are consistent with this subject:

**The Perception and Sound Design** team, which explores the emotional processing of sound and the complexity of psychoacoustics.

**The Acoustic Spaces and Cognition** team that focuses on soundscapes perception and sound spatialization.

To experiment with sound spatialization, the IRCAM has an anechoic chamber, which is a place with absolutely no sound reflection and can expose people to the sounds of their internal systems, offering a unique sensory and visual experience.

#### **Iannis Xenakis:**

Now we will keep talking about sound spatialization through the works of Iannis Xenakis, a composer, architect, and engineer known for profoundly influencing contemporary music. His innovative vision explores sound spatialization to create unique sound experiences, as seen in works like "Persephassa" and "Polytopes."

Xenakis also developed stochastic music, integrating random mathematical laws into composition while retaining control over the overall outcome. Major works like "Metastasis" highlight his mastery in contemporary orchestral music.

In parallel to Iannis Xenakis, the work of Tod Machover, a recognized American composer, musician, and researcher, deserves to be mentioned. His projects like the "sensor chair" and "Sensory Friendly Concerts" add a synesthetic dimension to musical performance and make cultural experiences more accessible.

### **Resonance:**

Now, let's explore the fundamental concept of resonance, a key in acoustics that reveals the power of sound in our environment. Understanding resonance opens the door to unique sensory experiences in which frequencies play a crucial role.

Resonance frequencies are where the most interesting acoustic phenomena can happen. For example, we can break a glass with our voice. The resonance is the fact that we get properly attuned to a specific object or structure, generating a sound, vibration, or other perceptible physico-acoustic phenomenon.

We can mention the work of Pierre-Laurent Cassière, a French sound performer who literally gave life to an old industrial site by emitting precise frequencies through a calibrated sound system, creating a unique sensory experience in the whole structure. ("L'instant T" Tricycliquedol 2019)

### **Cymatics:**

Resonance showed us how frequencies make objects vibrate and now with cymatics we will see how sound waves can visually change and transform our environment. This is an investigation into the physical form of sound. Cymatics reveals how sound vibrations influence matter and create aesthetically intriguing patterns in mediums like sand or water. This study opens possibilities in various fields, from science to art and medicine.

Cymatics allows us to see and sculpt sound. The shapes created are called Chladni's patterns, influenced by Ernst Chladni's



work, who was a German musician and physicist. Cymatics is a perfect synesthetic example, highlighting the link between our senses.

From this exploration of sensory connections, we can mention Snoezelen rooms, designed to offer sensory experiences to people with special needs and relaxation for others, incorporating elements like smooth light, relaxing music, colours, textures, and sounds.

### **Problematics and project intention:**

These different notions around our listening, our perception and the different events linked to it led me to ask myself:

#### **How do our senses influence our listening experience?**

I aim to create an object highlighting various levels of listening experiences, designed to enhance well-being through sound and vibrations, primarily focused on perception.

This object can be incorporated into personal, professional, or educational settings. I plan to develop a prototype that offers new sensations, inspired by 'Sensory Friendly Concerts' and 'Snoezelen rooms.'

A scientific approach, including the physical analysis of sound propagation in different environments and materials, will be essential. Collaborations with recording studios and technical partners like luthiers, performers, and sound engineers will facilitate testing various methods.

## **Annexes :**

### **Complément bandes originales :**

**Psychose** (Alfred Hitchcock) - 1960

**Pour Quelques Dollars de Plus** (Sergio Leone) - 1965

**Le Bon, la Brute et le Truand** (Sergio Leone) - 1966

**L'Exorciste** (William Friedkin) - 1973

**Les Dents de la Mer** (Steven Spielberg) – 1975

**Midnight Express** (Alan Parker) - 1978

**Star Wars** (saga, George Lucas) – 1977 / 2005

**Blade Runner** (Ridley Scott) – 1982

**Requiem for a Dream** (Darren Aronofsky) - 2000

**Gladiator** (Ridley Scott) - 2000

**Seigneur des Anneaux** (trilogie, Peter Jackson) – 2001 / 2003

**Inception** (Christopher Nolan) - 2010

**Drive** (Nicolas Winding Refn) - 2011

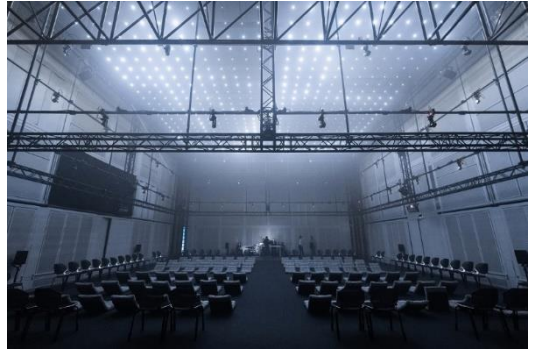
**Birdman** (Alejandro González Iñárritu) - 2014

**Midsommar** (Ari Aster) – 2019

## IRCAM :



L'IRCAM – Eric Laforge



Salle de concert IRCAM – Caroline J.

### Equipe Perception et Design Sonore

**Le projet scientifique de l'équipe Perception et design sonores combine des recherches en perception et cognition sonores avec des recherches et des applications en design sonore.**

Il met en œuvre des relations art/science, d'une part, en alimentant la recherche musicale et sonore avec des questionnements scientifiques d'ordre perceptif et cognitif (axe 'du son au sujet'), et d'autre part, en ancrant les problématiques de la création sonore appliquée dans le champ de la recherche en design (axe 'du sujet au son').

La composante applicative permet, quant à elle, de développer des actions de type recherche-projet ou recherche-action, dans le cadre de thèses ou de collaborations industrielles (Renault, Krug, SNCF...) qui allient « savoir » scientifique et technologique des chercheur.e.s de l'équipe et « savoir-faire »



artistique des compositeurs et compositrices systématiquement associé.e.s (A. Cera, S. Gaxie, A. Sigman, R. Rivas, N. Schütz...).

Ce cadre de travail est enfin complété par une dimension pédagogique essentielle qui, grâce à son implication dans le DNSEP Design Sonore de l'École supérieure d'art et design TALM-Le Mans, permet à l'équipe de contribuer activement à la formation et la structuration de la discipline. Cette implication passe notamment par l'encadrement d'un workshop applicatif annuel qui rassemble des étudiants en design sonore et en design autour d'un cas concret apporté par un partenaire industriel ou institutionnel (Ville du Mans, Région Ile-de-France, RATP, Maison de la Radio, Hôpital Sainte-Anne...).

Les recherches menées sur l'axe 'du son au sujet' portent en premier lieu – et historiquement – sur les sons environnementaux, objet singulier qui permet d'accéder à plusieurs niveaux de représentation cognitive, en lien avec des modes d'écoute distincts (écoute réduite, causale, sémantique). Elles sont mises en œuvre à différentes échelles temporelles (de l'événement à la scène sonore), à différents degrés de complexité (du son pur au son complexe), et visent autant la caractérisation de mécanismes perceptifs de bas-niveau (sonie, saillance auditive...), que la compréhension de processus cognitifs de plus haut niveau impliquant la reconnaissance, l'identification, la catégorisation, la mémorisation ou le traitement émotionnel de l'information sonore. Sur les dimensions mémorielles et émotionnelles, les recherches de l'équipe se déplacent sur le terrain de la perception multimodale en s'intéressant notamment aux

relations entre la modalité auditive et olfactive (thèse CIFRE en cours de montage avec IFF).

Les recherches menées sur l'axe 'du sujet au son' étendent la catégorie de sons environnementaux à celle d'artefacts sonores – issus d'une transformation humaine, d'origine artificielle – et posent la question de leur conception (design) mais aussi de leur réception (perception). Elles s'intéressent donc globalement à la discipline du design sonore, considérée comme un objet d'étude et de recherche à part entière, en l'intégrant dans le champ de la recherche en design, cadre conceptuel plus large et plus établi d'un point de vue historique et épistémologique. Cette volonté de faire interagir le design sonore avec le design, et d'en acquérir des connaissances, méthodologies ou outils propres, prend le parti de s'inspirer de l'approche des sciences du design formalisée notamment par Nigel Cross (2006). Cette approche se déploie sur des dimensions relatives aux acteurs ('people'), procédures ('process') et produits ('products') de la discipline ; elle se complète, en outre, par une prise en compte spécifique des modalités de réception des 'objets' (artefacts) de design sonore – qu'ils soient de nature tangible, digitale ou spatiale – , ce qui induit notamment la problématique de l'évaluation perceptive. Enfin, l'équipe est partie prenante dans l'axe thématique – et transversale au laboratoire – « Son, Musique / Santé », à travers des projets sur l'utilisation du son et de la musique dans la réduction de l'anxiété (projet Psyson), l'utilisation du feedback vocal dans des protocoles de psychothérapie (thèse N. Guerouaou), ou bien le design de dispositifs audio-tactiles pour l'écoute par voie extra-tympanique (thèse C. Richards).

## **Equipe Espaces Acoustiques et Cognitifs**

**L'activité de recherche et de développement de l'équipe Espaces acoustiques et cognitifs est consacrée à la reproduction, à l'analyse/synthèse et à la perception de scènes sonores.**

Les disciplines scientifiques de l'équipe sont le traitement du signal et l'acoustique pour l'élaboration de techniques de reproduction audio spatialisée et de méthodes d'analyse/synthèse du champ sonore. Parallèlement, l'équipe consacre un important volet d'études cognitives sur l'intégration multisensorielle pour un développement raisonné de nouvelles médiations sonores basées sur l'interaction corps/audition/espace. Les activités de recherche scientifique décrites ci-dessous s'articulent avec une activité de développement de bibliothèques logicielles. Ces développements consistent le savoir-faire de l'équipe, soutiennent son activité de recherche théorique et expérimentale et sont le vecteur majeur de notre relation avec la création musicale et d'autres secteurs applicatifs.

Les travaux concernant les techniques de spatialisation se concentrent sur les modèles basés sur un formalisme physique du champ sonore. L'objectif principal est le développement d'un cadre formel d'analyse/synthèse du champ sonore exploitant des réponses impulsionnelles spatialisées (SRIR pour Spatial Room Impulse Response). Les SRIRs sont généralement mesurées par des réseaux sphériques comportant plusieurs dizaines de transducteurs (microphones et/ou haut-parleurs). L'application principale concerne le développement de réverbérateurs à convolution exploitant

ces SRIRs à haute résolution spatiale afin de reproduire fidèlement la complexité du champ sonore.

La technique de spatialisation binaurale sur casque retient également notre attention. L'évolution des pratiques d'écoute et la démocratisation des applications interactives tendent à privilégier l'écoute sur casque à travers l'usage des smartphones. Grâce à sa capacité d'immersion sonore, l'écoute binaurale devient le premier vecteur d'écoute tridimensionnelle. Basée sur l'exploitation des fonctions de transfert d'oreille (HRTFs) elle reste à ce jour la seule approche assurant une reconstruction exacte et dynamique des indices responsables de la localisation auditive. Elle s'impose comme un outil de référence pour la recherche expérimentale liée à la cognition spatiale en contexte multisensoriel et pour les applications de réalité virtuelle.

Ces techniques de spatialisation audio 3D, associées aux dispositifs de captation des mouvements de l'interprète ou de l'auditeur dans l'espace, constituent une base organologique essentielle pour aborder les questions « d'interaction musicale, sonore et multimédia ». Parallèlement, elles nourrissent une recherche sur les mécanismes cognitifs liés à la sensation d'espace, notamment sur la nécessaire coordination entre les différentes modalités sensorielles (audition, vision, proprioception, motricité, ...) pour la perception et la représentation de l'espace. Nous tentons de mettre à jour l'influence des différents indices acoustiques (localisation, distance, réverbération...) utilisés par le système nerveux central de l'homme sur l'intégration des informations sensorielles et leur interaction avec les processus émotionnels.

Sur le plan musical, l'ambition est de fournir des modèles et des outils permettant aux compositeurs d'intégrer la mise en espace des sons depuis le stade de la composition jusqu'à la situation de concert, contribuant ainsi à élever la spatialisation au statut de paramètre d'écriture musicale. Plus généralement, dans le domaine artistique, ces recherches s'appliquent également à la postproduction, aux installations sonores interactives et à la danse à travers les enjeux de l'interaction son/espace/corps.

### **Chambre anéchoïque du site de l'IRCAM : Développement**

Une chambre anéchoïque est une salle d'expérimentation dénuée d'effets de salle. Tous les matériaux (plafond, sol, murs) y sont absorbants. Des dièdres de laine de verre disposés sur toutes les parois permettent une absorption quasi-totale des ondes sonores émises. Ce type de chambre permet de recréer artificiellement des conditions dites de « champ libre » : le son s'y propage sans réflexion.



Chambre anéchoïque © Ircam - Centre Pompidou, photo : Philippe Barbosa

Fonctions principales : La chambre anéchoïque sert principalement à faire des mesures de rayonnement de source. Une source sonore est un champ acoustique rayonné, très complexe à mesurer. Si l'on prend le cas d'un instrument de musique, son champ acoustique rayonné va dépendre de la note jouée, du type d'instruments, etc. Pour le mesurer, il est indispensable d'être dans une situation « anéchoïque », condition sans laquelle on mesurerait à la fois le champ direct rayonné par l'instrument mais aussi le champ réfléchi par toutes les parois de la salle. La chambre anéchoïque sert aussi de chambre « calme ». Des mesures de sons très précises nécessitent des niveaux d'enregistrement très faibles, sans bruit de fond. Très bien isolée de l'extérieur et du reste du bâtiment (sorte de « boîte dans une boîte », montée sur des silentbloks en néoprène), cette chambre permet d'avoir un rapport signal/bruit satisfaisant.

### **Projet PSYSON : Son et musique contre l'anxiété**

Le projet Psy-Son s'appuie sur le concept d'enveloppe sonore, questionne l'efficacité d'un espace temporel et sonore dans la prise en charge infirmière des états de « crise » de patients hospitalisés en psychiatrie, et vise la recherche et le développement d'un dispositif multimodal et multisensoriel d'écoute sonore et musicale de modulation de l'anxiété. Il s'articule suivant quatre axes distincts de recherche-action: la forme des dispositifs mobiliers et spatiaux favorisant une écoute sonore et musicale qualitative et multisensorielle; le contenu sonore et musical incarnant l'adéquation avec les états émotionnels du patient ; l'interface de contrôle du dispositif proposant des alternatives à l'écran pour favoriser la perception multisensorielle; les scénarios d'usage et de mise en



œuvre, permettant l'évaluation du dispositif tant du côté soignant que patient.

La contribution de l'Ircam dans le projet se concentre sur les questions du contenu et d'interface de médiation qui s'incarnent dans le concept d'entretien musico-soignant. Il s'agit d'un dialogue, ou d'une série de dialogues, entre le soignant et le patient dont l'objectif est, dans un premier temps, de définir conjointement le profil musical et sonore – **la biographie sensorielle** – du patient, et dans un second temps, de proposer au patient une offre musicale et sonore (playlist) en adéquation avec son état et à même de réduire son niveau d'anxiété, au moment voulu. La compréhension, la conception et la personnalisation de l'univers sonore et musical du patient à des fins thérapeutiques constituent l'une des clés de voûte du projet Psy-Son, représentent un véritable enjeu de recherche en design sonore appliqué au monde médical et clinique, et s'appuient sur les compétences croisées dans les domaines des sciences et technologies du son et ceux du soin et de la thérapie.

**Thèse de N. GOUEROUAOU** : Feedback vocal en psychothérapie :

Dans ce texte, on explore l'utilisation de transformations vocales en temps réel comme alternative non-médicamenteuse pour aider à gérer les émotions lors de la thérapie de réexposition à des souvenirs traumatiques. Actuellement, on utilise le propranolol pour faciliter cette thérapie, mais son usage est limité par certaines contre-indications. Notre voix a un pouvoir sur notre expérience émotionnelle, c'est pourquoi nous proposons d'utiliser des transformations vocales pour atténuer l'impact émotionnel de ces souvenirs douloureux. Nous prévoyons trois étapes : analyser les façons dont les patients s'expriment vocalement, concevoir des transformations adaptées, et évaluer leur effet lors de la thérapie de

réexposition. Cette approche novatrice pourrait vraiment améliorer la psychothérapie pour les personnes souffrant de Trouble de Stress Post-Traumatique (TSPT).



## Biographie complémentaire de Iannis Xenakis :

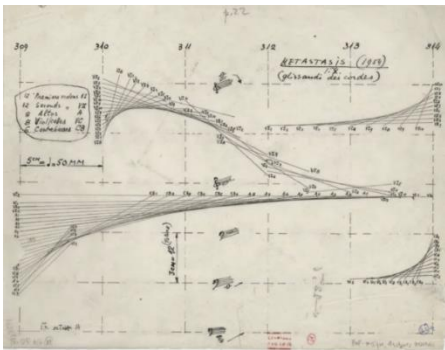


Compositeur, architecte, ingénieur civil, **Iannis Xenakis** est né le 29 mai 1922 à Braïla (Roumanie). Résistant de la Seconde Guerre Mondiale, puis condamné à mort, il est réfugié politique en France depuis 1947 et naturalisé français depuis 1965.

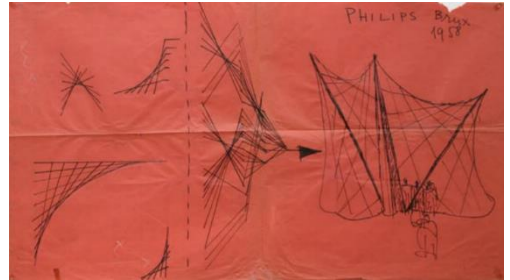
Il a étudié à l'Institut Polytechnique d'Athènes avant d'entreprendre des études de composition musicale à Gravesano avec Hermann Scherchen, puis au Conservatoire National Supérieur de Musique de Paris avec **Olivier Messiaen**. De 1947 à 1960, il est collaborateur de **Le Corbusier** comme ingénieur et architecte.

Inventeur des concepts de masses musicales, de musique stochastique, de musique symbolique ; ayant introduit le calcul des probabilités et la théorie des ensembles dans la composition des musiques instrumentales, il fut l'un des premiers à se servir de l'ordinateur pour le calcul de la forme musicale. Pionnier également dans le domaine de l'électro-

acoustique, auteur de plus d'une centaine d'œuvres pour toutes formations, il apparaît aujourd'hui comme l'une des figures les plus radicales de l'avant-garde, ayant inventé la plupart des techniques compositionnelles caractéristiques de la musique d'après 1945, mais aussi l'un des rares créateurs dont la vitalité ne s'est jamais démentie, et qui a, de plus, conquis un large public.

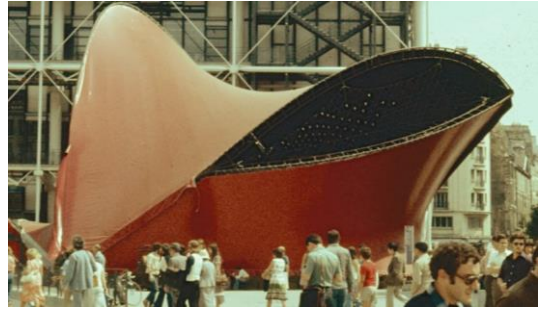
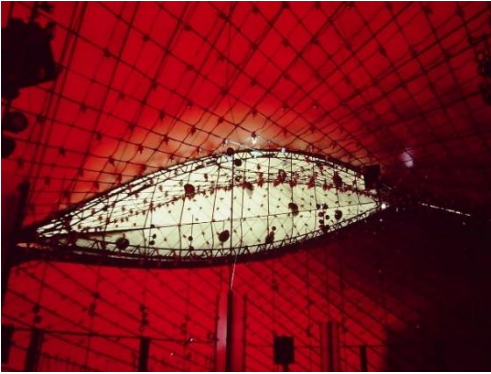


*Partition de l'œuvre Metastasis (1954)*



*Croquis d'architecture à main levée tirée de Metastasis*

Architecte du Pavillon Philips à l'Exposition Universelle de Bruxelles en 1958 ainsi que d'autres réalisations architecturales telles que le Couvent de La Tourette (1955), il a composé Polytopes - spectacles, sons et lumières - pour le Pavillon français de l'Exposition de Montréal (1967), pour le spectacle Persepolis, montagne et ruines de Persepolis, Iran (1971), pour le Polytope de Cluny, Paris (1972), pour le Polytope de Mycènes, ruines de Mycènes, Grèce (1978), pour le Diatope à l'inauguration du Centre Georges-Pompidou, Paris (1978).



*Diatope, Centre Georges Pompidou, Paris (1978) intérieur et extérieur*

Il est fondateur et président (1965) du Centre de Mathématique et Automatique Musicales (CEMAMU) de Paris ; Associate Music Professor de l'Indiana University, Bloomington (1967-1972) et fondateur du Center for Mathematical and Automated Music (CMAM), Indiana University, Bloomington (1967-1972) ; Il est aussi chercheur du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Paris (1970) ; Gresham Professor of Music, City University London (1975) et professeur à l'Université de Paris - Sorbonne (1972-1989).

*Extrait du catalogue des éditions Salabert*

## Biographie complémentaire de Tod Machover :



Tod Machover obtint son diplôme de composition musicale à la Juilliard School. Il a travaillé à l'Ircam de 1978 à 1984 comme responsable du département de recherche musicale.

Depuis 1985, il travaille à l'Institut de technologie du Massachussets (MIT), où il est professeur associé de Music and Media et directeur du Experimental Media Facility.

Quelques œuvres de Tod Machover sont des commandes ou des créations de l'Ircam et de l'Ensemble inter contemporain, y compris *Light* (1979), *Nature's Breath* (1985), et son opéra *Valis*, qui fut créé à l'occasion du dixième anniversaire du Centre Georges-Pompidou en décembre 1987. *Valis* a depuis été produit aux Etats-Unis et au Japon, et publié en disque compact.

Les œuvres les plus récentes de Tod Machover incluent *Song of Penance* pour hyperalto et grand ensemble, commandée par l'Orchestre philharmonique de Los Angeles et *Bounce* pour hyperclaviers, commandée par Yamaha Corporation. Au-delà de la composition musicale, Tod Machover se consacre à la recherche, encourageant et développant la créativité humaine et l'expression par le biais de la technologie.

*Ircam-Centre Pompidou, 1999*

**Noms importants à relier à I. Xenakis :**

**Luigi Russolo (1885 – 1947) :** Peintre futuriste et **père de la musique bruitiste.**

**Autechre (Sean Booth & Rob Brown) :** Duo de musique électronique anglais formé en 1987. La musique d'Autechre évolue au cours du temps : caractérisée par une techno mélodique au début, elle est souvent considérée par la suite comme abstraite et expérimentale, avec une production générée par des algorithmes complexes et peu de conventions stylistiques.

**Thomas Ankersmit (1979) :** Musicien et performeur sonore, connu pour ses performances en direct, au cours desquelles il crée des paysages sonores immersifs et expérimentaux en utilisant une variété d'instruments électroniques et acoustiques. Son travail musical explore la relation entre le son, l'espace et le temps, en utilisant des techniques de synthèse sonore, de traitement électronique, et d'improvisation.



*Respectivement Luigi Russolo, Autechre et Thomas Ankersmit*

## Résonance :

### Briser un verre avec sa voix :

Au-delà de chanter fort, il est également nécessaire de trouver la fréquence de résonance naturelle du verre. Pour cela, il suffit de taper le verre avec



son ongle pour entendre la fréquence de résonance unique à chaque verre, résonance créée par la forme tubulaire du verre. Ainsi, chanter très fort à la fréquence exacte agite les molécules d'air dans le verre, le mettant ainsi en vibration. Et finalement, trop de vibration brisera le verre.

### Résonateur de Helmholtz :

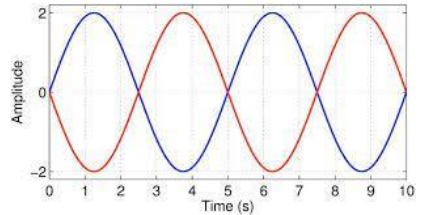


La résonance de Helmholtz est un phénomène de résonance de l'air dans une cavité. Le nom provient d'un

dispositif créé dans les années 1850 par Hermann von Helmholtz afin de déterminer la hauteur des différents tons. Un exemple de résonance de Helmholtz est la résonance du son créé lorsque l'on souffle dans le haut d'une bouteille vide.

### Principe d'inversion de phase :

Lorsque nous évoquons la création sonore, il est essentiel de comprendre le rôle de la phase. Produire du son implique d'entrer



en phase avec un objet, c'est-à-dire d'être en synchronisation avec ses vibrations. Cependant, l'inversion de phase est également significative, annulant ainsi les ondes sonores et nous ramenant à un état de silence. C'est le principe des écouteurs ou casques audio à réduction de bruit. On renvoi dans nos oreilles le bruit parasite extérieur déphasé.

### Pierre-Laurent Cassière :

Pierre-Laurent Cassière (\*1982) est un artiste français dont le travail porte principalement sur la sculpture, l'installation sonore et le cinéma élargi. Après des études à la Villa Arson, École Nationale Supérieure d'Art de Nice, et un séjour en Islande à l'Academy of the Arts de Reykjavik, il obtient son DNSEP en 2005. Étudiant invité du département Théorie des Médias de l'Académie d'Art et Médias (KHM) de Cologne l'année suivante, il obtient en parallèle un DEA interuniversitaire en Art actuel (MA2 spécialité recherche) entre les universités de Liège et Bruxelles.

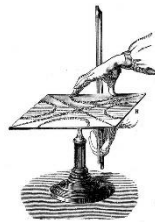




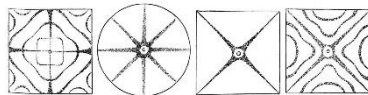
## La cymatique :

### Ernst Chladni :

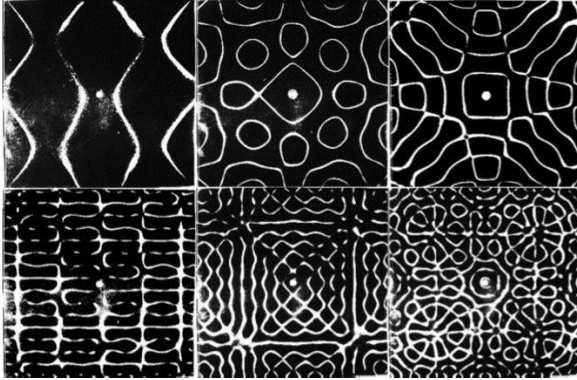
Souvent vu comme le fondateur de l'acoustique moderne, il était le fils d'un professeur, président de la faculté de droit de Wittenberg, Ernst F. F. Chladni y naît le 30 novembre 1756. Son père lui impose des études de droit. Étudiant à Leipzig, il peut aussi commencer à pratiquer la musique. Diplômé, il commence une carrière juridique, jusqu'à la mort de son père, après laquelle il dirige ses efforts vers la physique et les sciences naturelles. Il commence alors ses expérimentations sur le son et les vibrations, commençant par le domaine connu des cordes, il mesure la vitesse de phase du son dans différents gaz en utilisant la résonance d'un tuyau d'orgue, selon la méthode de Gassendi, avant de s'intéresser aux plaques de verre et de métal, dont il a l'idée d'entretenir la vibration par un archet. Il publie son premier mémoire à ce sujet à Leipzig en 1787 et se fait « une grande réputation par ses travaux sur le son, l'écho et le ton ». Il publie son Traité d'acoustique à Leipzig en 1802, dont il donne lui-même la traduction française parue à Paris en 1809. Il poursuit ensuite en Allemagne sa carrière de chercheur et d'enseignant jusqu'à sa mort le 4 avril 1827.



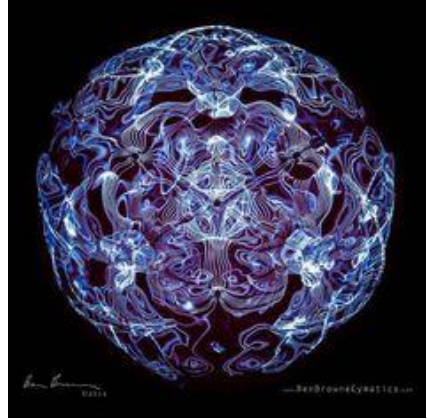
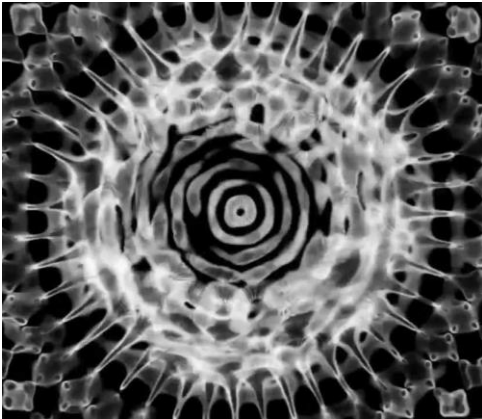
CHLADNI  
FIGURES



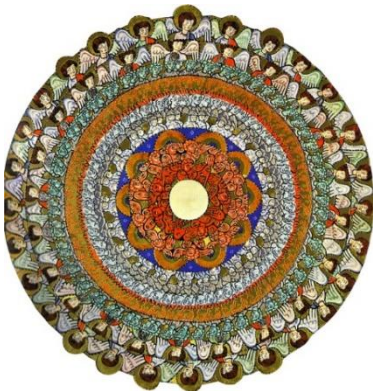




*Figures de Chladni :  
Sable sur plaque en métal*



*Figures de Chladni : Eau et lumière*



*Certaines figures obtenues  
peuvent ici rappeler des  
enluminures d'Hildegard von  
Bingen.*



## **Une œuvre synesthésique :**

### **La frise Beethoven de KLIMT :**

La frise Beethoven est présentée pour la première fois au public en 1902, lors de cette exposition. Klimt a conçu un décor qui consiste en une fresque murale de sept panneaux, mesurant 34,14 mètres de long sur 2,15 mètres de haut et représentant la Neuvième Symphonie. Pour son auteur, il s'agit bien d'une œuvre d'art totale, puisqu'elle unit à la musique la peinture et l'architecture, cette frise occupant le haut de trois murs dans un vaste espace au sein du bâtiment de la Sécession.

L'œuvre est approuvée par Gustav Mahler (Compositeur et chef d'Orchestre Autrichien). Pour lui, elle représente l'aspiration au bonheur de l'humanité souffrante, qui cherche son apaisement dans les arts.

