

Les figures de Chladni

Maël LOPEZ, MP1-MPi, 2026-2027

17 janvier 2026

Professeur encadrant : M. Chauchat

Motivations pour le choix du sujet (50 mots)

La physique est un domaine dans lequel nous apprenons à lier les domaines qui régissent notre monde ; l'espace, le temps, les perceptions, autant de concepts simples pris individuellement et pourtant si complexes et fascinant une fois corrélés. Voici la raison de mon choix de sujet, mettre en parallèle le son et l'espace, grâce aux figures de Chladni.

Ancrage du sujet au thème de l'année (50 mots)

À une fréquence fixée, chaque point de la plaque oscille entre une altitude maximale et une altitude minimale : son mouvement est ~~cyclique~~, centré autour de la position $z=0$.

Justification aussi à
l'échelle de la plaque

Positionnement thématique

~~Physique théorique~~, Équation des ondes / de d'Alembert, Modèle Informatique, Experimentation Physique des milieux continus

Mots-clefs

Mots-clefs – Onde – Équation – Équation différentielle – Chladni – Théorique / Pratique

Keywords – Wave – Equation – Differential equation – Chladni – Theory / Practice

Les références sont à citer dans la bibliographie commentée.
Il faut justifier ses affirmations avec des citations.

Bibliographie commentée (650 mots maximum)

Le phénomène des figures de Chladni a, dès sa découverte, suscité intérêt et s'est imposé comme sujet d'étude important, lorsque Ernst Chladni, physicien allemand découvra, vers la fin du 18 ème siècle, qu'en saupoudrant de la poudre sur une plaque et en faisant vibrer cette dernière, les grains s'organisaient spontanément en motifs géométriques, pour la pluspart réguliers. Ces observations, aussi fascinantes que déroutantes, révélèrent que la matière pouvait offrir une visualisation directe des modes propres de vibration d'un support solide, ce que la théorie mathématique des ondes naissantes ne permettait alors qu'imparfaitement de prédire. L'existence de nœuds – des régions immobiles où la poudre s'accumule – et de ventres de vibration – zones d'amplitude maximale – devint ainsi l'un des premiers moyens expérimentaux de « voir » une solution d'équation différentielle.

sourcer cette phrase

Les premières tentatives pour expliquer précisément la forme et la distribution de ces figures se heurtèrent à la complexité du comportement vibratoire des plaques. L'aspect multi-dimensionnel du problème donnait énormément de fil à retordre aux méthodes de résolution mathématiques connues à l'époque. Ce n'est qu'avec l'arrivée de techniques de mise en vibration plus contrôlées et de plaques aux propriétés mécaniques mieux maîtrisées que l'on put confirmer les prédictions de la théorie, en particulier la dépendance des motifs observés à la fréquence d'excitation, au matériau, ainsi qu'à la géométrie de la plaque utilisée (il était également possible de faire de telles observations sur d'autre type de support, comme par exemple une peau de tambour).

Au XX siècle, l'étude des figures de Chladni prit un nouveau tournant lorsque l'on comprit que leur analyse pouvait éclairer des domaines allant bien au-delà de l'acoustique expérimentale. Les méthodes de visualisation modale inspirées de Chladni furent progressivement appliquées en ingénierie mécanique et en architecture, notamment pour prédire les résonances dangereuses de structures complexes. De plus, avec l'avènement des dispositifs piézoélectriques et des algorithmes de simulation numérique, il devint possible de comparer directement les figures expérimentales aux cartes modales calculées, permettant une validation fine de la théorie des plaques élastiques.

De nos jours, les figures de Chladni peuvent être vues comme un phénomène intéressant, tant du point de vue scientifique que pédagogique. Il est grâce à elles possible d'aborder de manière intuitive des notions comme les conditions aux limites, les harmoniques ou les modes propres, tout en offrant un terrain d'expérimentation riche pour explorer l'interaction entre théorie et expérience. Leur étude s'inscrit ainsi dans une longue tradition visant à comprendre comment des phénomènes physiques invisibles – ici la propagation d'ondes mécaniques – peuvent se manifester sous des formes géométriques ordonnées, révélant la profonde harmonie qui lie vibrations et structures.

Problématique retenue (50 mots)

Comment les figures de Chladni permettent-elles de visualiser les modes propres de vibration d'une plaque et de vérifier expérimentalement les prédictions de la théorie des plaques élastiques ? Quels paramètres — forme, matériau, fréquence, conditions aux limites — influencent la formation et l'évolution de ces motifs vibratoires ?

Objectifs du TIPE (100 mots maximum)

1. Adopter une approche théorique afin de trouver une équation avec solution qui permet d'obtenir en tout point de la grille son altitude en fonction du temps (équation de la forme $z(x,y,t)$)
2. Une fois l'équation trouvée, le but suivant sera de coder un programme permettant de, connaissant la fréquence à laquelle on fait vibrer la plaque, prévoir les formes qui apparaîtront.
3. Finalement, les résultats obtenus dans les deux parties précédentes seront comparés aux résultats obtenus expérimentalement, et si il y a une grosse différence je tenterai d'expliquer les raisons d'un tel écart entre la pratique et la théorie.

Références

[1] CANTAT Serge, « Les figures sonores de Chladni » sur le site « Image des Mathématiques », 2020

<https://images.math.cnrs.fr/les-figures-sonores-de-chladni/>

[2] Compte rendu de TP « Magistère de Physique fondamentale, Licence de 3ème année 2019/2020 (pas de date ni de nom d'auteur)

<https://vulgarisation.fr/v/wp-content/uploads/2020/06/B08Chladni.pdf?utmhttps://vulgarisation.fr/v/>

[3] GASTEBOIS Gilbert, « Figures de Chladni », étude des équations

<https://ggastebois.fr/java/chladni/theoriechladni.pdf>

[4] RICHMOND Michael : « Waves in 2-D », 2019



- [5] TRAVACCA Bertrand, « Les figures accoustiques de Chladni – vibration d'une plaque carrée à bords libres » PDF, site ACADEMIA
https://www.academia.edu/14766545/Les_figures_acoustiques_de_Chladni_vibration_d_u_ne_plaque_carr_ee.pdf
<https://femto-physique.fr/simulations/chladni.html>
- [7] SBCCPhysics, vidéo YouTube, 5 juillet 2011, « Square Chladni Plate.mov »