



Science et Musique

Enseignement de culture générale
(HLSEG304)

Bernard Hehlen

1^{ère} partie

- Les rapports entre Science et Musique sont très anciens et très féconds. Platon parle déjà des « Mathématiques, Musique des Sphères », et dans son esprit, ce n'est pas une image !
- Dans ce cours, on abordera les thèmes sous la vision du scientifique (théoricien), en non celle du musicien (praticien).
- La vision du musicien est bien plus complexe et plus riche. Elle est bâtie sur des siècles d'empirisme et de recherches.
- La vision des scientifiques est plus simple et vise à dégager des concepts universels.
- Beaucoup de musiciens se sont intéressés (parfois en l'interprétant) à l'approche scientifique.

Plan

I - Un peu d'histoire

Ou comment la musique s'est appropriée les découvertes scientifiques et techniques

II- Math et Musique

Les concepts physiques de l'acoustique moderne

III- La naissance des gammes

Un compromis entre une rationalisation scientifique et un son harmonieux

IV- Psycho-acoustique

L'oreille : consonance et dissonances – Le cerveau: attentes et émotions

V- La synthèse sonore

Le génie n'est plus seulement dans les doigts



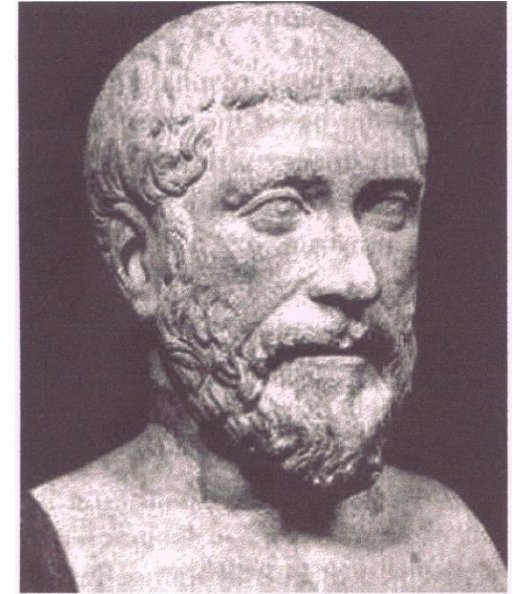
Un peu d'histoire

En quatre temps...

1. La musique comme forme d'expression primitive
(document word)
2. La musique et les nombres: naissance des gammes
3. Conceptualisation mathématique des sons
4. La synthèse sonore et l'avènement du numérique

2^{ème} époque : “La musique et les nombres”

Pythagore 580-495 av JC



Considéré comme le père fondateur de l’acoustique.

*Mise en évidence du rapport étroit qui unissent
la musique et les nombres (fréquence ou
longueur d’onde).*



Gamme Pythagoricienne

Basée sur le cycle des quintes. De nombreux problèmes:
comas, « quinte de loup », transposition impossible

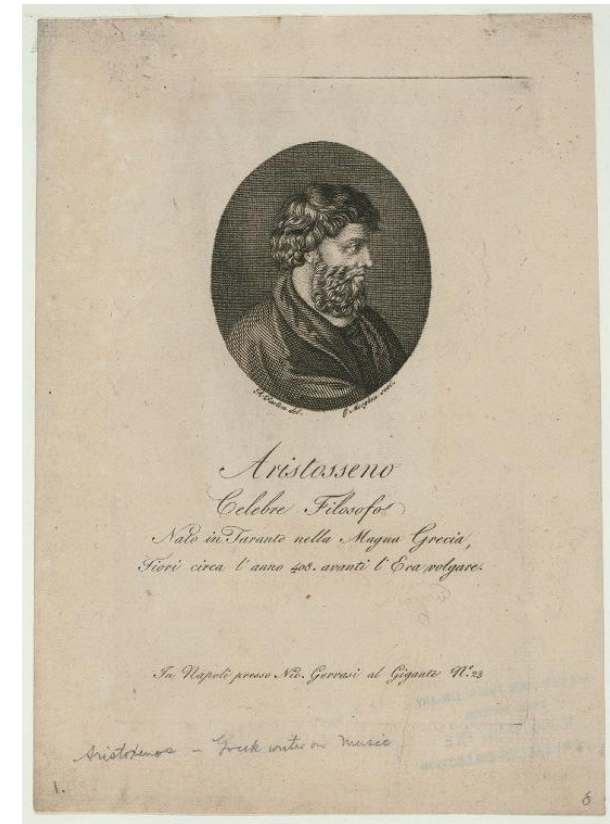
Le Monocorde



Gravure de 1529 montrant un musicien utilisant le monocorde

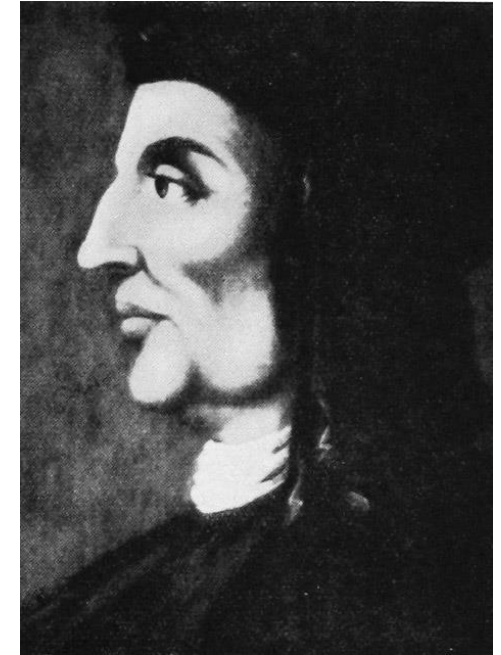
Aristoxène IV^{ème} siècle av. JC

*Les notes de la gamme doivent être jugées,
non pas par un rapport mathématique
(Pythagore) mais par une sensation auditive.*



Gioseffo Zarlino 1517-1590

Compositeur et théoricien de la musique.



➔ **Gamme Zarlinienne (ou gamme naturelle)**

Efface le problème de la « quinte de loup » mais des problèmes subsistent (2 intervalles de ton, transposition impossible)

Kaamelott “la quinte juste”

Dissonance des intervalles de tierce et de sixte au moyen âge, et préférence des quintes et des quartes :

<http://tpemusiquemodale-tonale.jimdo.com/système-modal/la-gamme-de-zarlino/>

Génèse du tempérament égal : séparation d'un octave en 12 intervalles égaux



Nicole Oresme 1323 - 1382

[philosophe](#), [astronome](#), [mathématicien](#), [économiste](#),
[musicologue](#), [physicien](#), [traducteur](#) et [théologien](#) de [langue](#)
[latine](#)

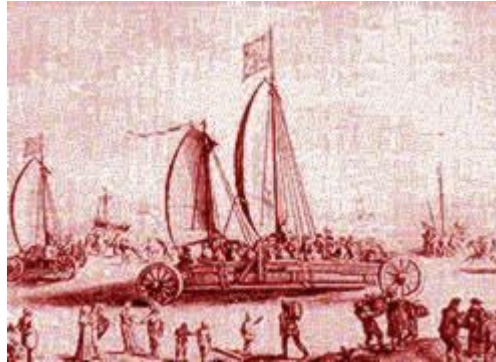
Introduction mathématique de calcul de puissances avec
nombres irrationnels :

Tempérament égal $2^{\frac{1}{12}}, 2^{\frac{1}{12}}, 2^{\frac{1}{12}}, 2^{\frac{1}{12}}, \dots$

Simon Stevin 1548-1620

Ingénieur, physicien, mathématicien et
comptable flamand (né à Bruges)

Char à Voiles



1585 - Brochure « La disme » en français (La theinde)
Notation de Stevin : 3.832 => 3①8①3②2③
Qui deviendra progressivement 3^o832
puis 3.832 ou 3,832 (Neper)

1605 - Manuscrit *Van de Spiegheling der singconst*
**Mention du tempérament égal
sur une gamme à douze notes !**

BEPIELEN
1^e Bepaling
Het is de wyse te bepalen welken stemmen men in
een orgel moet sijn, dat men niet te veel noch te
weinig stemmen heeft, en dat men de stemmen
aparte kan doen horen.
2^e Bepaling
Welken sijn de twee voutende stemmen, die
aparte sijn: Ten eerste het orgel van eenen
orgel, dat men kan doen horen, en dat men
kan doen horen, en dat men kan doen horen.
3^e Bepaling
Het is de wyse te bepalen welken stemmen men in
een orgel moet sijn, dat men niet te veel noch te
weinig stemmen heeft, en dat men de stemmen
aparte kan doen horen.

Zhu Zaiyu 1536 - 1611

Chorégraphe et musicien Chinois
Prince de la dynastie Ming

~1584

Il décrit de manière innovante par un
moyen de calcul mathématique précis
des intervalles du tempérament égal

鍾林	一三三四八三九八五四一七〇〇三四三六四八三	〇八三二	則夷	一二五九九二一〇四九八九四八七三一六四七六	七二一一	右乃夷則倍律積算 置夷則倍律積算進一位為實 以應鍾倍律積算為法除之得
----	-----------------------	------	----	-----------------------	------	--

Tableau des rapports du tempérament égal



Danse du drapeau

3^{ième} époque : “Musique et mathématiques”

Jean le Rond D’Alembert 1717-1783

✓ Équation de propagation des ondes

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} = 0$$



✓ application aux cordes vibrantes

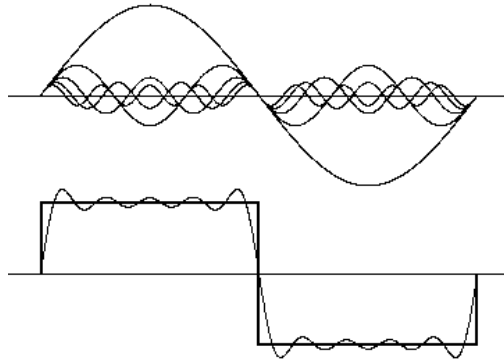


✓ Echelle de tempérament inégaux

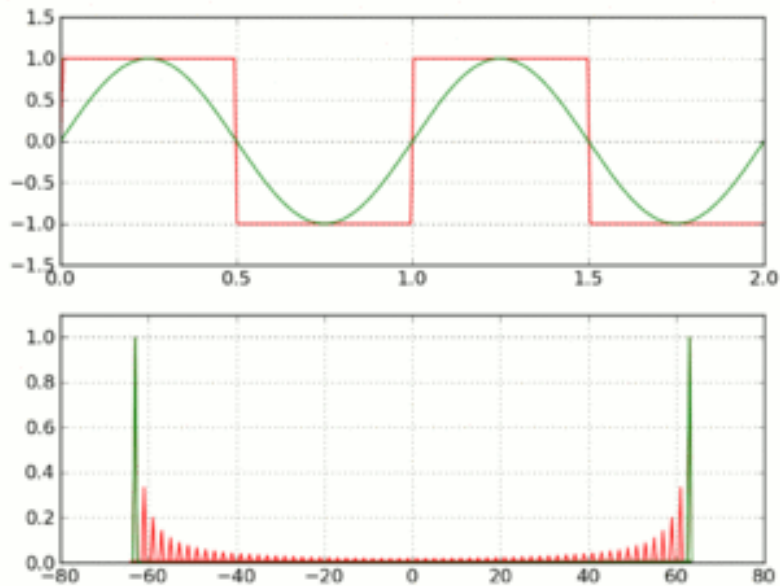
		Do	
Fa	0+	! -1/4	Sol
	0+	! -1/4	
(La#) Sib		!	Ré
	0+	! -1/4	
(Ré#) Mib	-----	! -----	La
	0+	! -1/4	
Sol#-Lab		!	Mi
	0-	! 0-	
(Réb) Do#	0-	! 0-	Si
		Fa#	



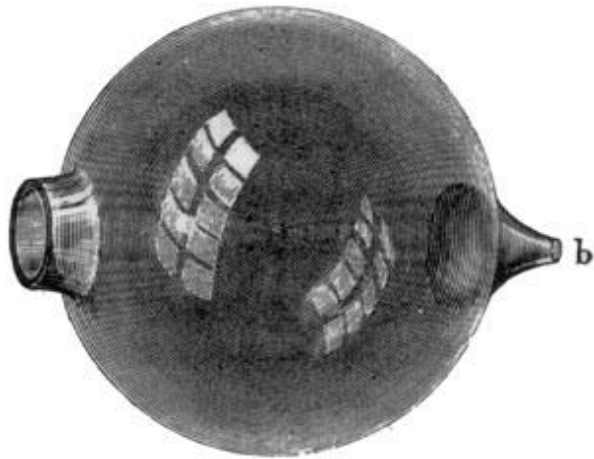
Joseph Fourier 1768 - 1830



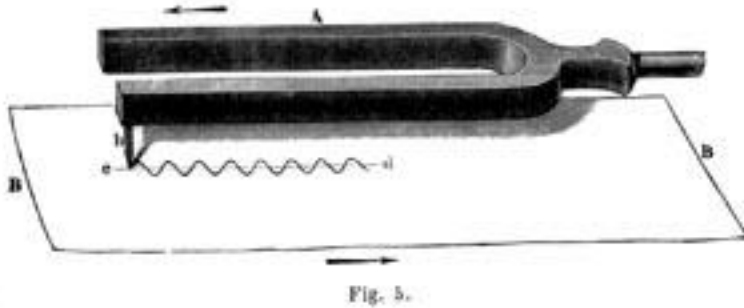
Théorème de Fourier : toute structure périodique se décompose comme une somme de sinusoides.



Hermann Ludwig von Helmholtz 1821 -1894



Résonateur de Helmholtz



Son ouvrage

Théorie physiologique de la musique
révolutionne l'acoustique musicale

(origine physiologique de la
consonance et dissonance des sons)

<http://www.college-de-france.fr/site/colloque-2008/symposium-2008-10-16-10h10.htm>

John William Strutt Lord Rayleigh 1842 -1919
Prix Nobel 1904



Peut on entendre la forme d' un tambour ?
Mark Kac (1914-1984)

Ernst Florens Friedrich **CHLADNI**, physicien allemand (1756 - 1827)

Figures de chaldni

<https://www.youtube.com/watch?v=lvKt9dfxHNI>

figure Chaldni.mp4

<https://www.youtube.com/watch?v=6kLmlbkWJZ8>

Amplification des son par les surfaces : Haut parleur vibrant.mp4

Modes propres d'une surface de savon : Vibrations of a Soap Membrane.mp4



Son ouvrage ***Theory of Sound***
fonde la théorie mathématique de
l'acoustique.



4ème époque : “La synthèse sonore”

Quelques dates

- En **1928** [Maurice Martenot](#) invente les **ondes Martenot**, [instrument](#) de [musique électronique](#). Cet instrument monodique à [oscillateur](#) électronique se caractérise par ses sonorités particulières, dont la plus connue, proche de la [sinusoïde](#), évoque des voix « venues d'ailleurs », assez proche de la [scie musicale](#), mais présente aussi bien d'autres possibilités.

L'**onde Martenot** fonctionne suivant le **principe** de l'hétérodyne, c'est-à-dire avec deux **ondes** de fréquences légèrement différentes. Ces **ondes** sont mélangées de façon à produire une oscillation ; elles sont ensuite amplifiées et le son est émis par un haut-parleur.

Video: onde martenot performance

- En **1929** le [Trautonium](#) de l'allemand [Friedrich Trautwein](#) est le premier synthétiseur à synthèse soustractive. La bande-son du film *Les Oiseaux* d'[Alfred Hitchcock](#) a été entièrement réalisée avec cet instrument, par [Oskar Sala](#), notamment les cris des oiseaux.



Model 7ème génération (1975)



Oskar Sala-Telefunken (1933)

Quelques dates

- En **1935**, c'est la naissance de l'[orgue Hammond](#), conçu par [Laurens Hammond](#) qui travaillait à l'origine à la mise au point d'un moteur destiné à une horloge. Les sons de l'orgue Hammond sont créés par un grand nombre de roues phoniques (sortes de dynamos) et selon un procédé de synthèse additive. Cet instrument est totalement polyphonique. Destiné initialement aux églises, il sera popularisé par le [gospel](#) puis le [blues](#), le [jazz](#) et le [rock](#). Il est encore très populaire aujourd'hui.



MODEL A (*Obsolete*)

Quelques dates

- En **1947**, l'électronicien français [Constant Martin](#) invente le [Clavioline](#), instrument à clavier (une octave et demi) n'ayant qu'un seul oscillateur. Un des 1^{er} instruments de musique électronique (sons imitant trompette, violon, hautbois,...)
- En **1950**, le chef d'orchestre [Raymond Scott](#) crée le Clavivox pour produire des jingles publicitaires, puis l'[Electronium](#), un instrument très avant-gardiste puisqu'il est à la fois un synthétiseur et un séquenceur, permettant donc de programmer des mélodies.
- En **1964**, [Moog](#) commercialise son premier synthétiseur Moog.



Vidéo : [etienne-jaumet-making-music](#)



P. Boulez à l'IRCAM (70's)

Experimentation/créations
musicales assistées par
techniques numériques ou
analogiques

« Chaque nouvel instruments ouvre de
nouveau styles musicaux (e.g. sax, synthé) »
<http://www.cornell.edu/video/trevor-pinch-history-of-moog-synthesizer>



H.A. Deutch (musicien) avec le premier
prototype du synthétiseur MOOG
(1er Moog modulaire en 1964)

(Beatles album «Abbey road » 1969)



Minimoog (1970-82)



Le son numérique et la MAO : logiciels de conception musicale

1^{er} programme de synthèse sonore numérique:

- En 1957 [Max Mathews](#), ingénieur aux [Bell Laboratories](#) écrit le premier programme de synthèse numérique, appelé MUSIC-I, pour l'IBM 704.
- Un exemple actuel (ableton Live) :

