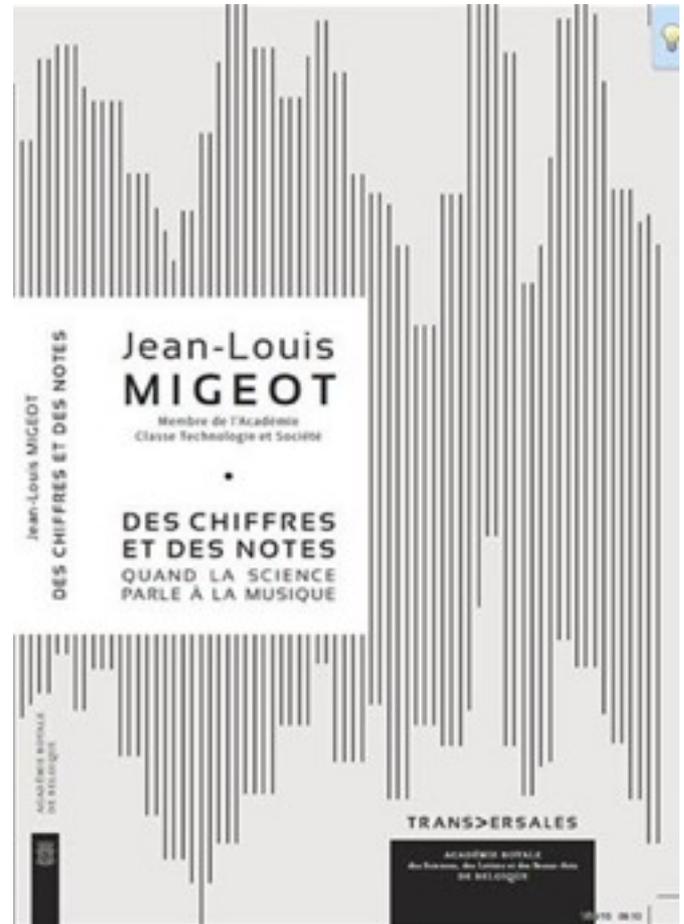

Le concert ? Une aventure scientifique !

Jean-Louis Migeot

*Académie Royale de Belgique, Université Libre de Bruxelles,
Conservatoire Royal de Musique de Liège & Free Field Technologies SA*



Demandez le programme !



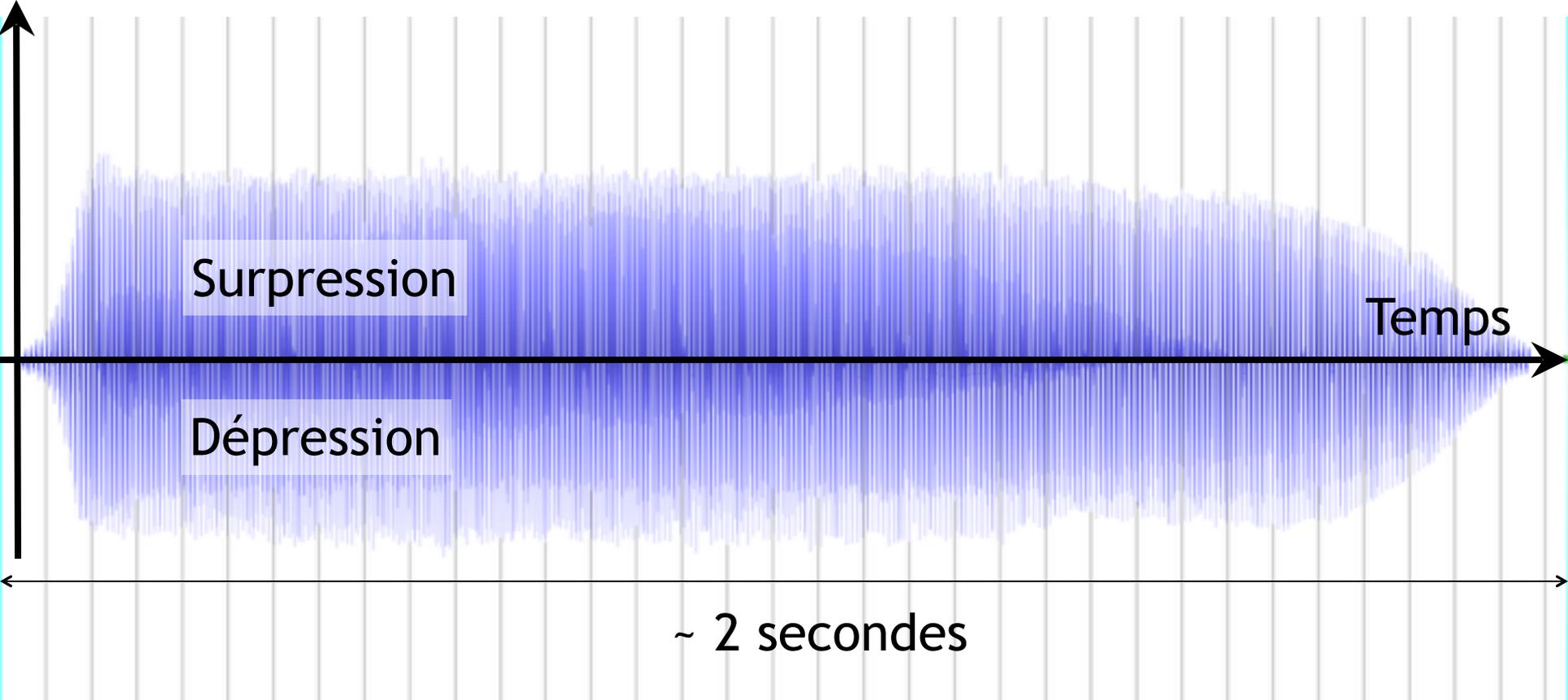
Qu'est-ce qu'un son ?



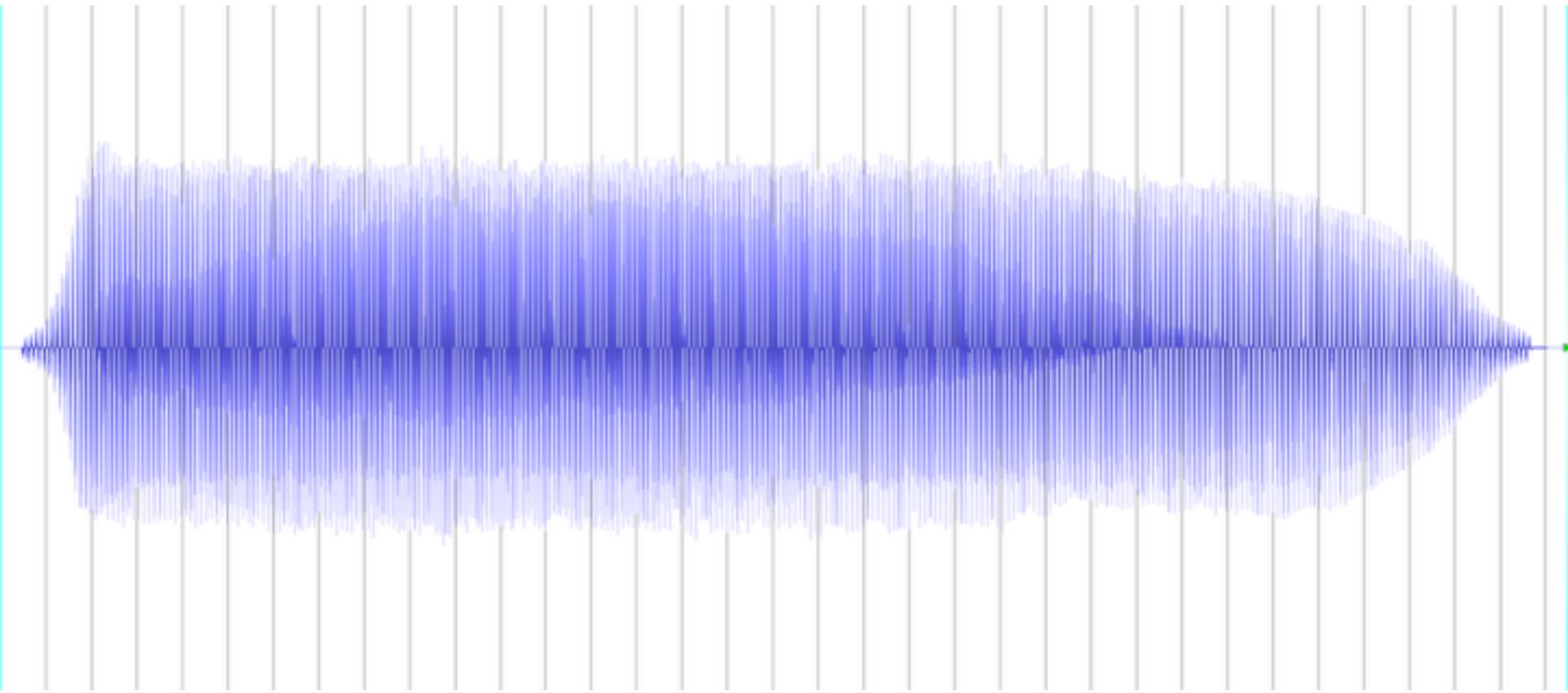
Fa (3)



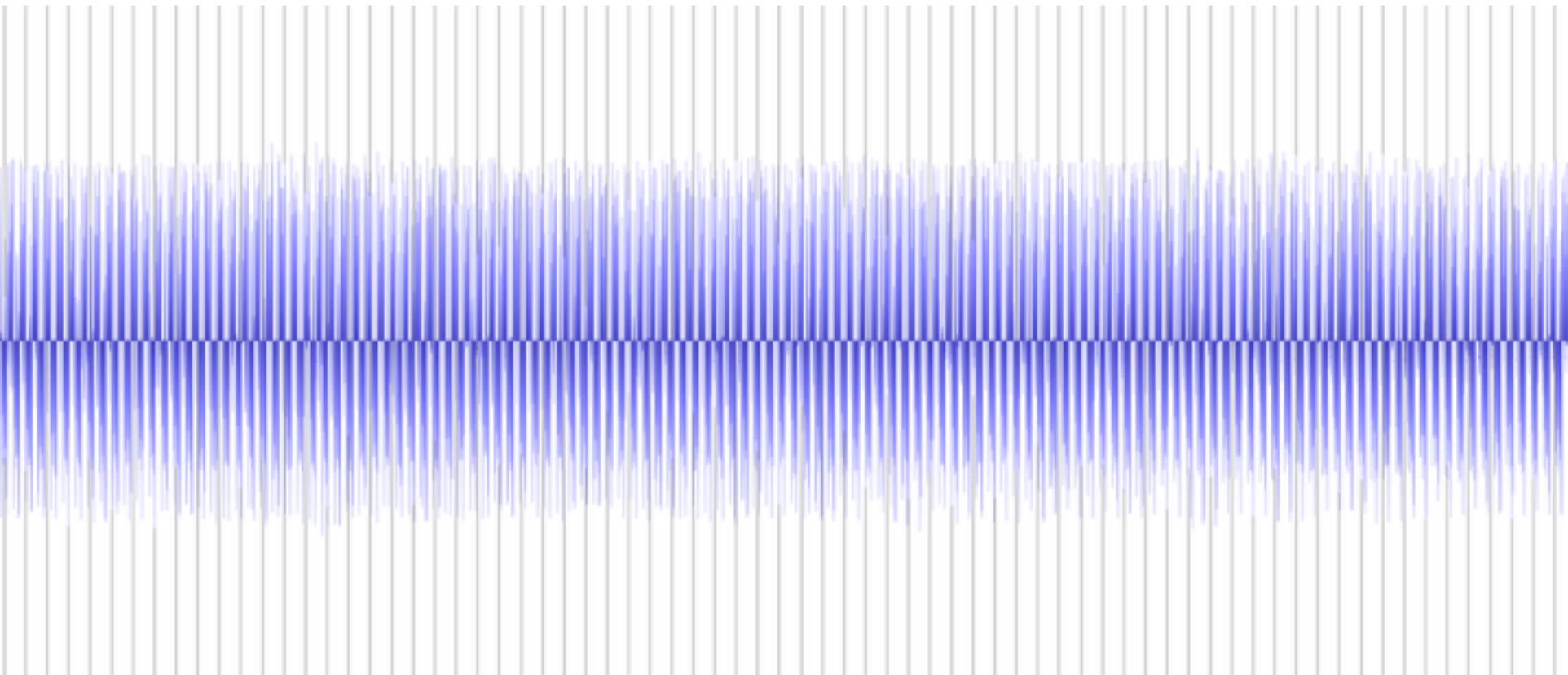
Ecart par rapport à la pression atmosphérique



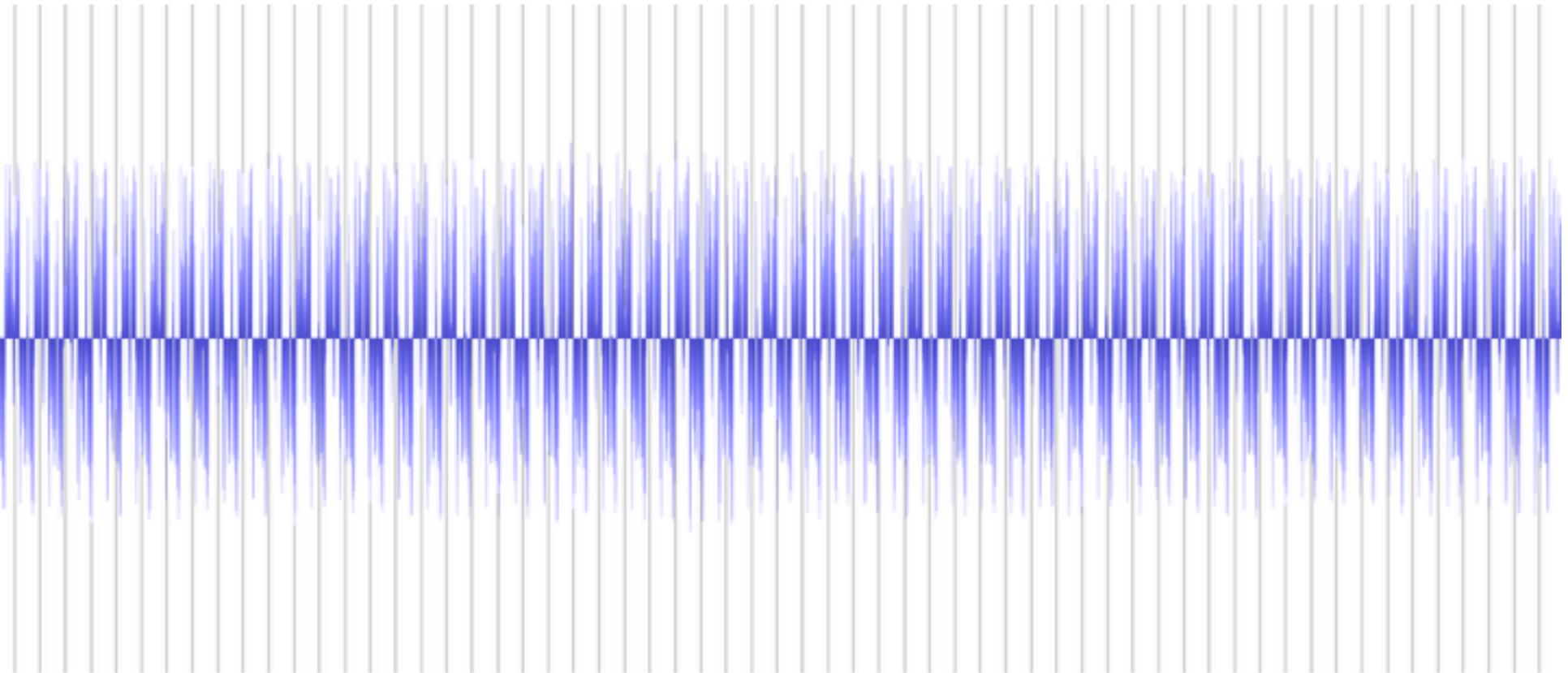
Fa (3)



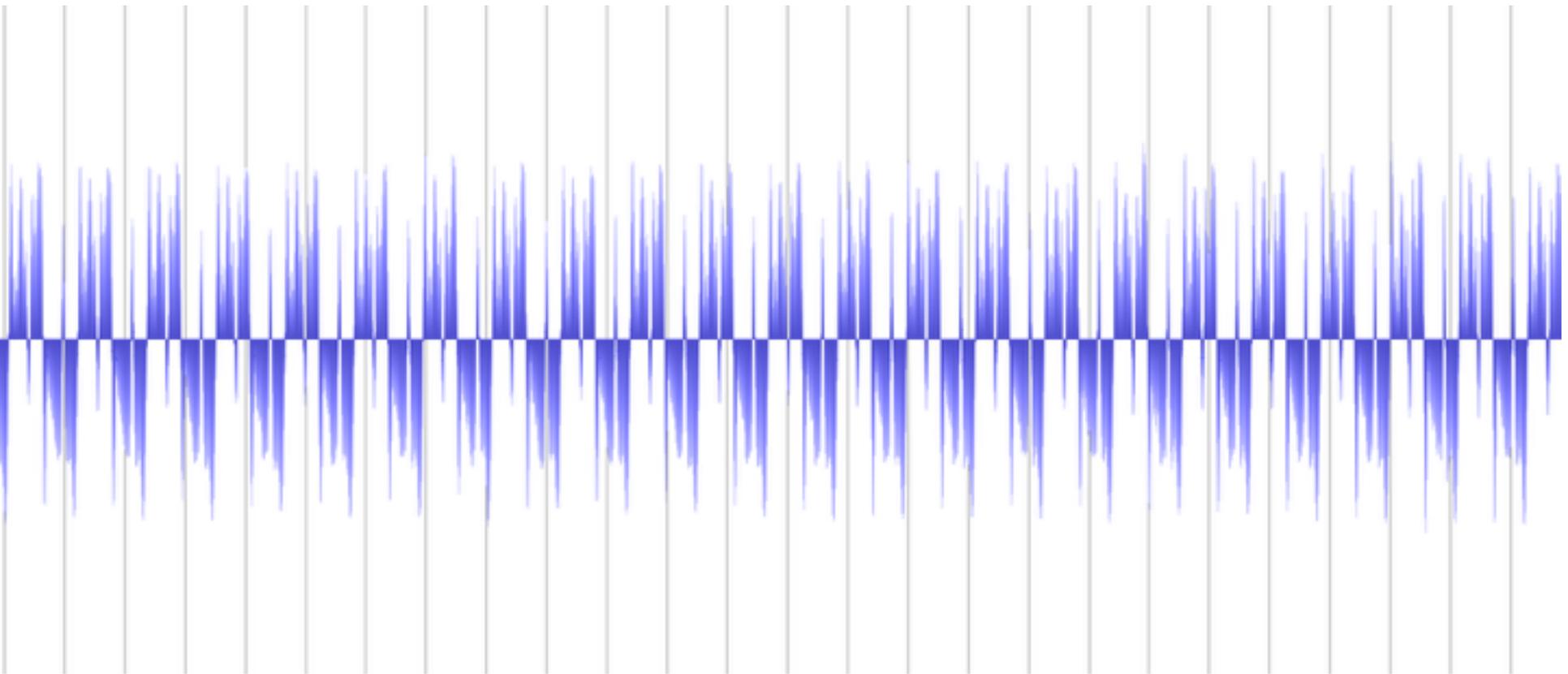
Zoom x2



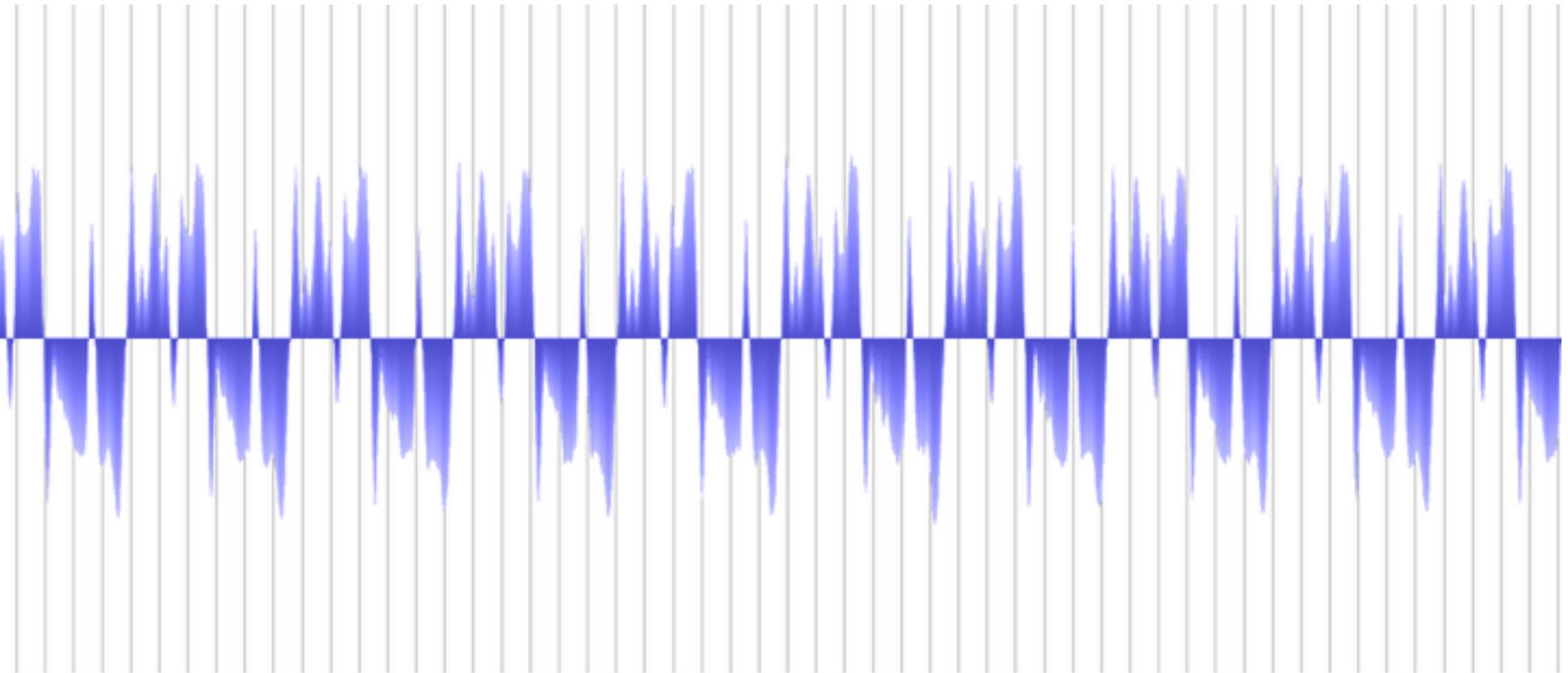
Zoom x4



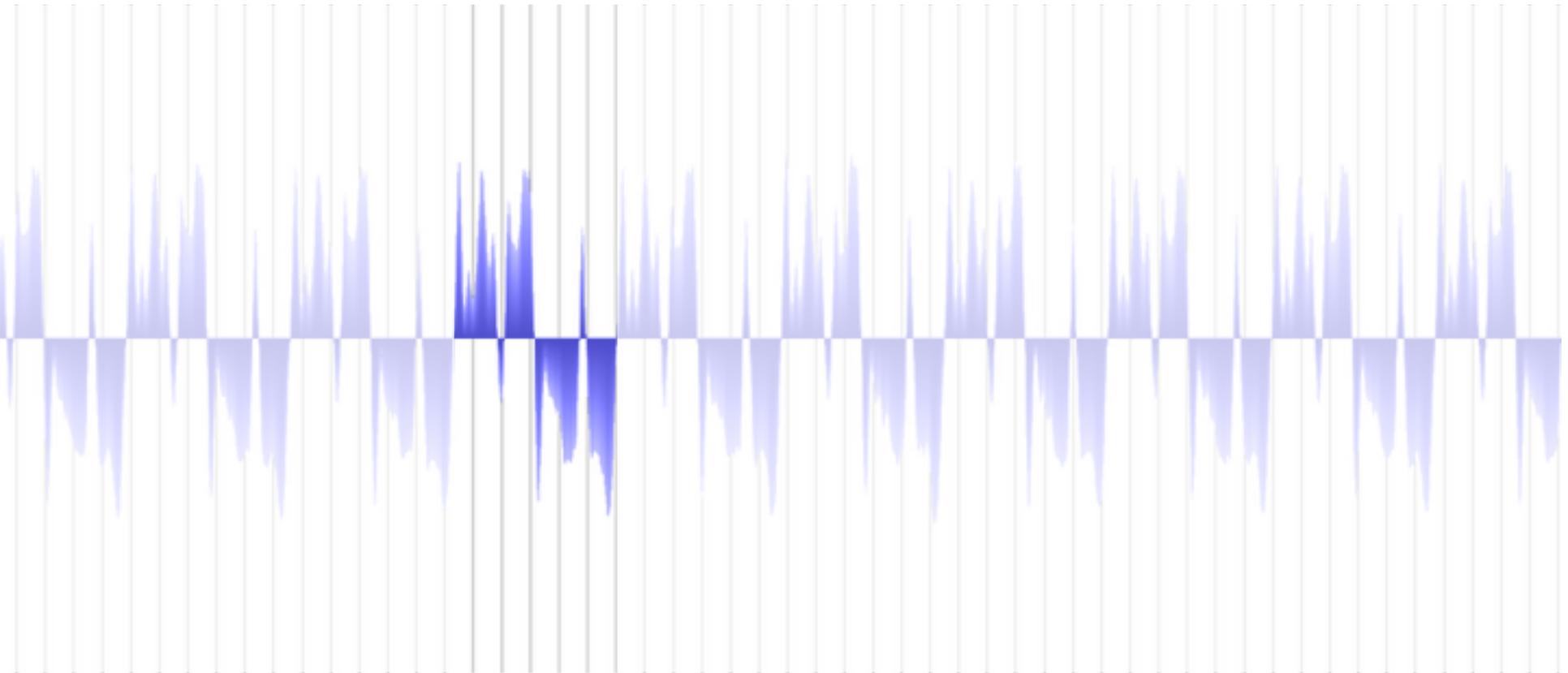
Zoom x8



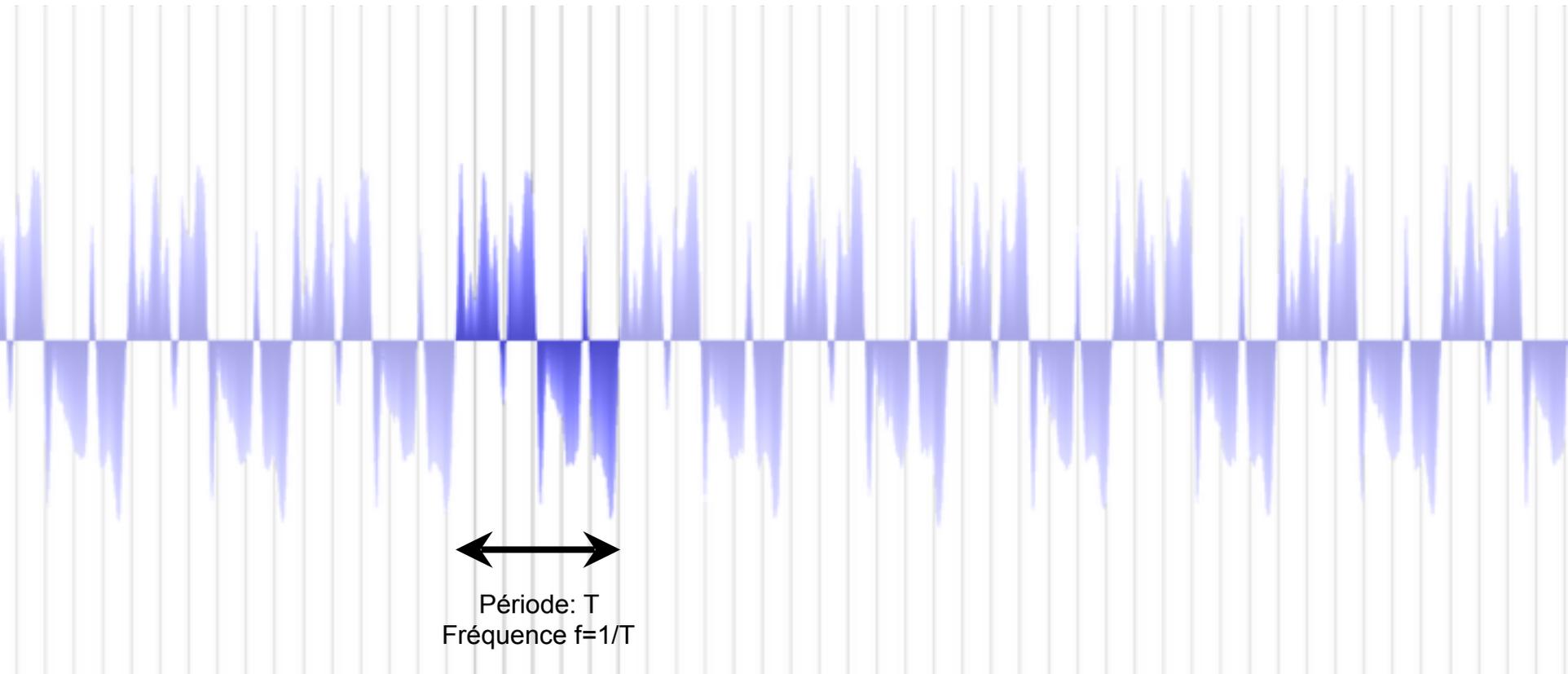
Zoom x16



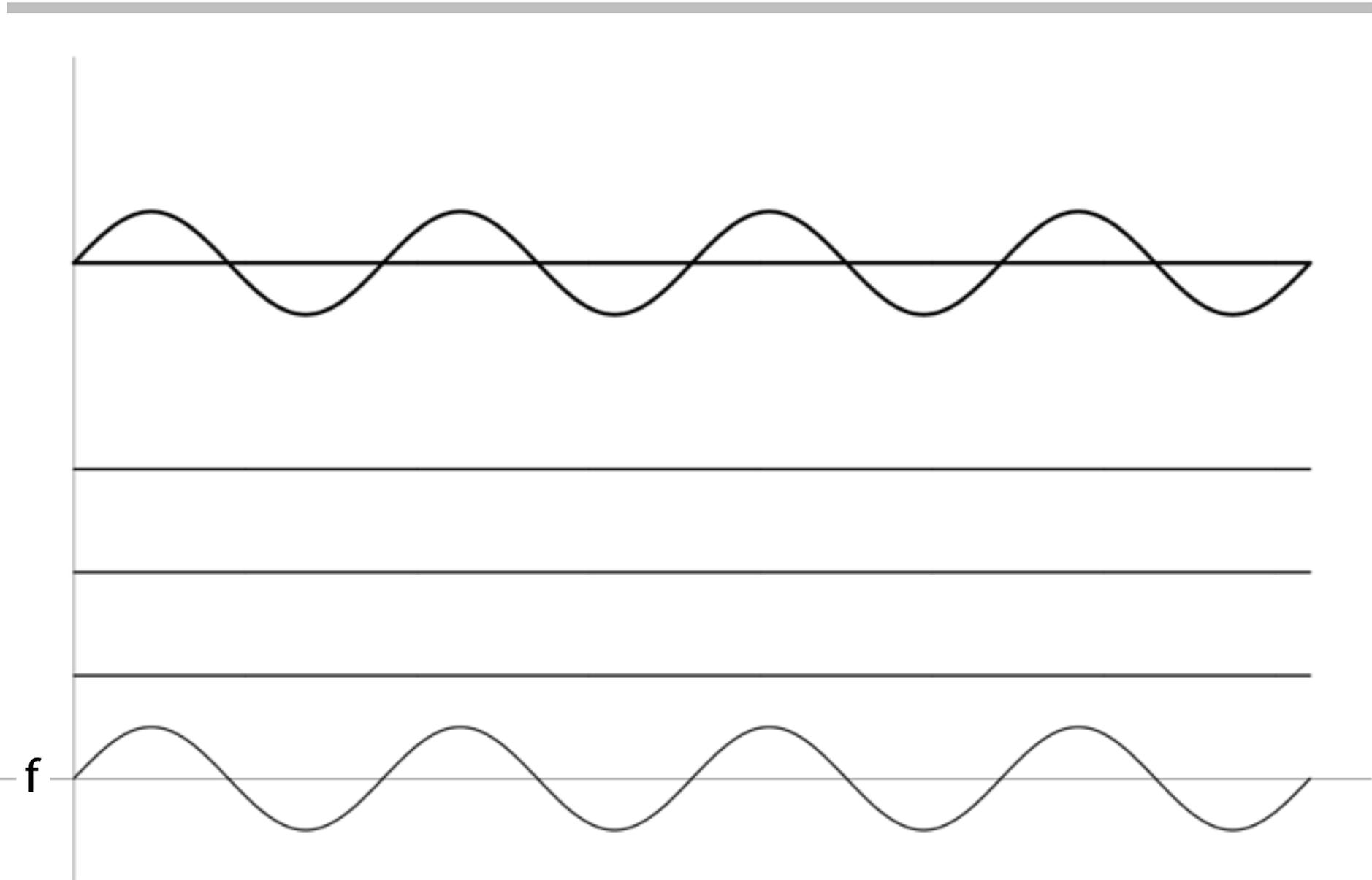
Un motif périodique apparaît ...



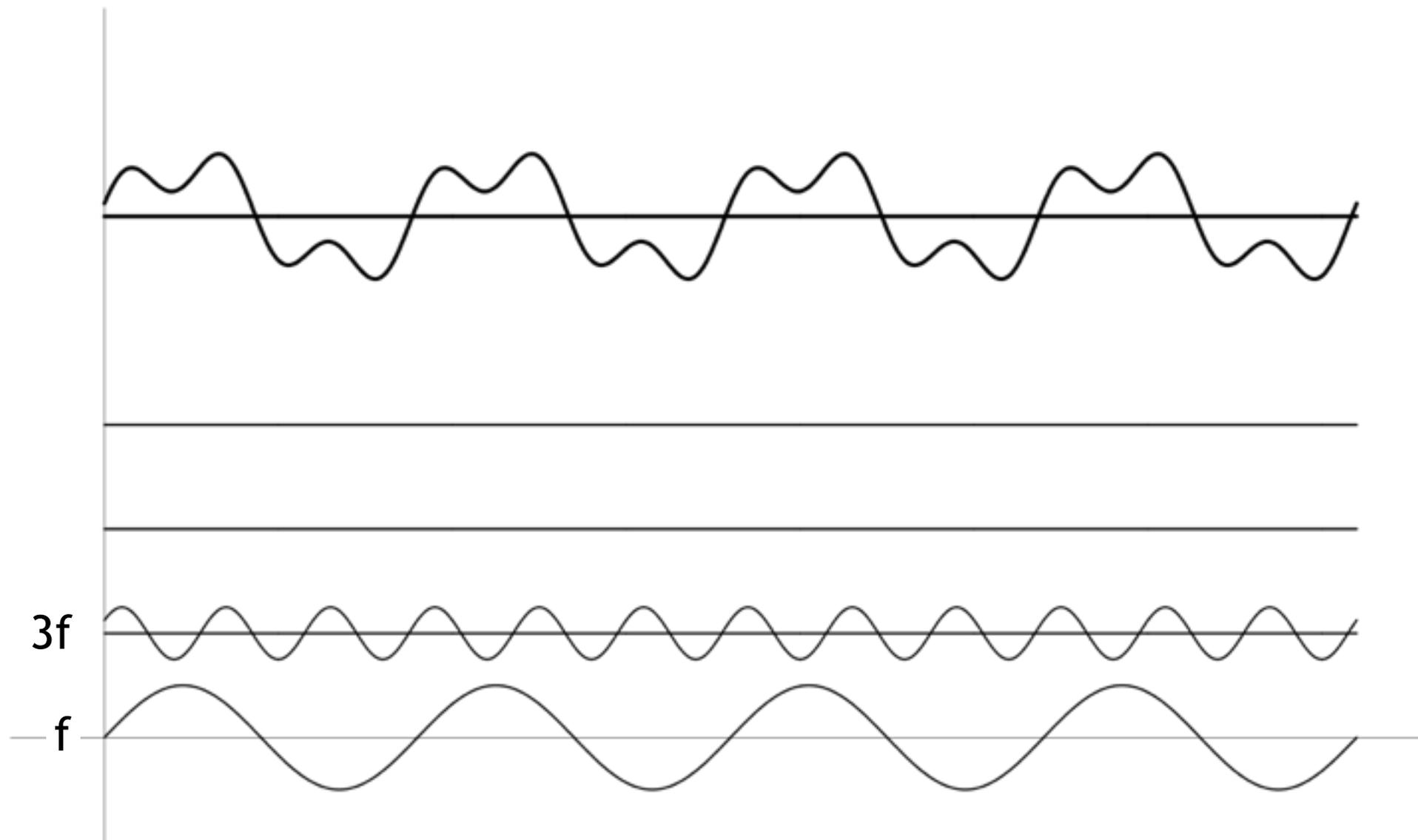
La période et la fréquence définissent la hauteur tonale du son



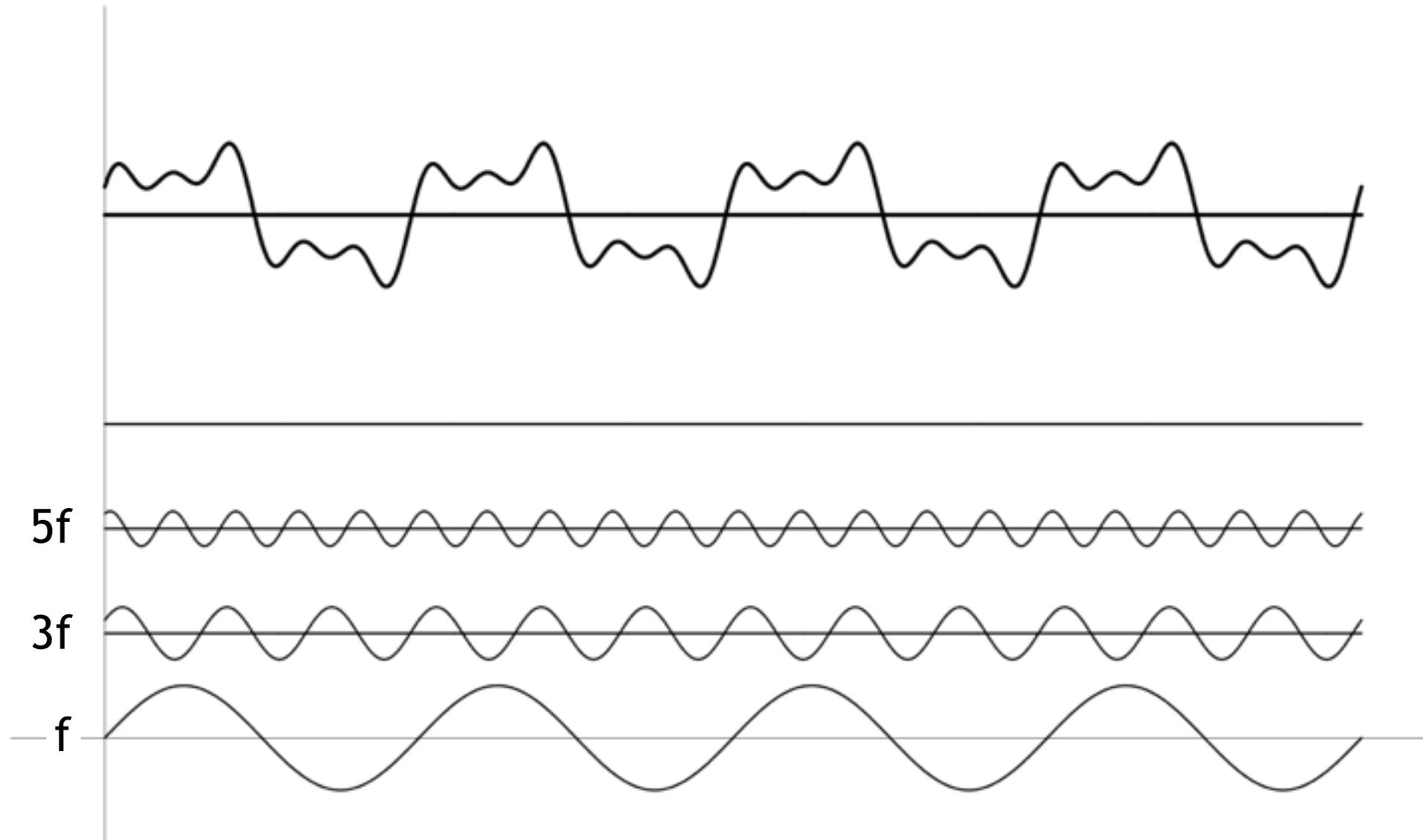
Fondamental



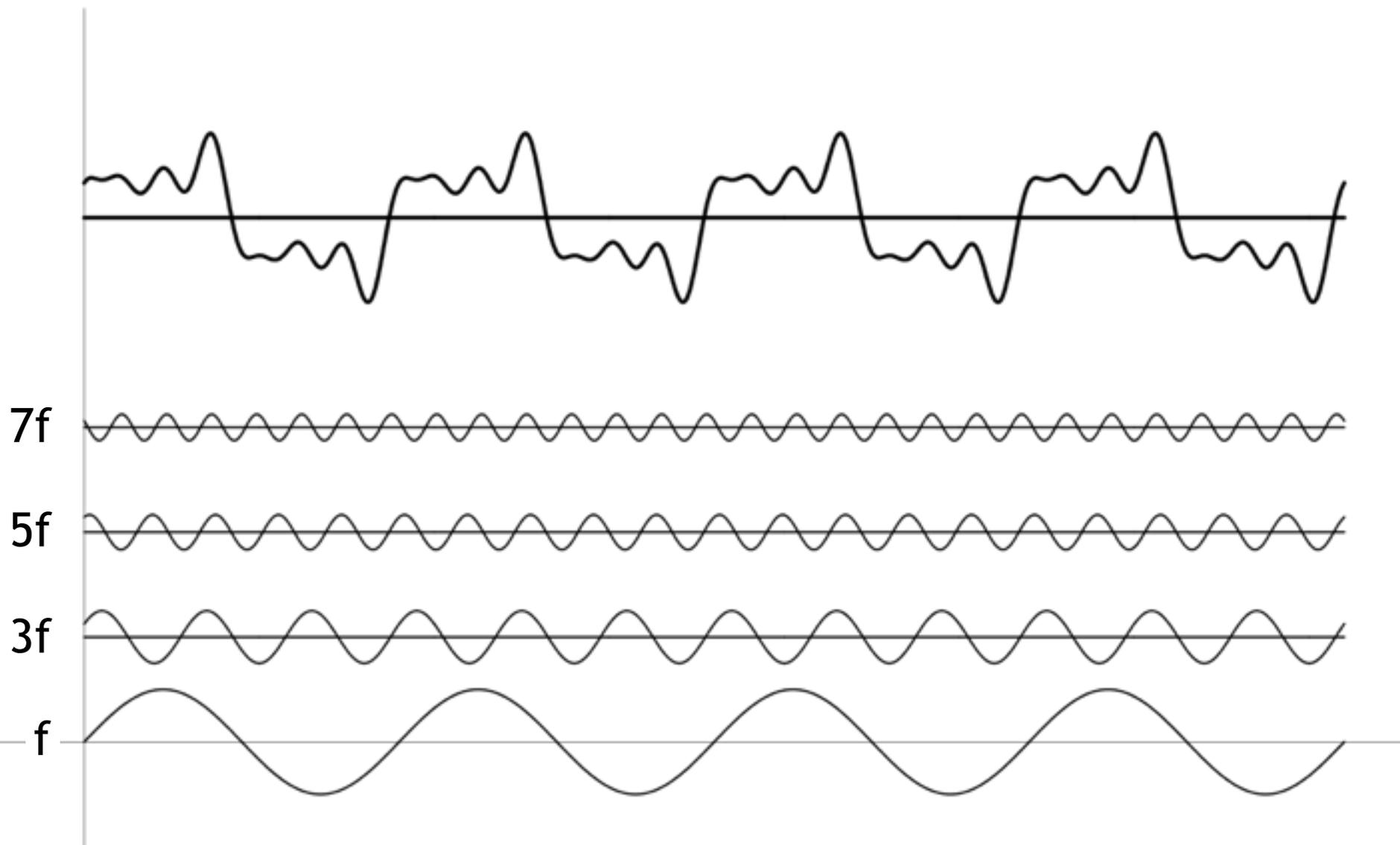
Harmonique 1



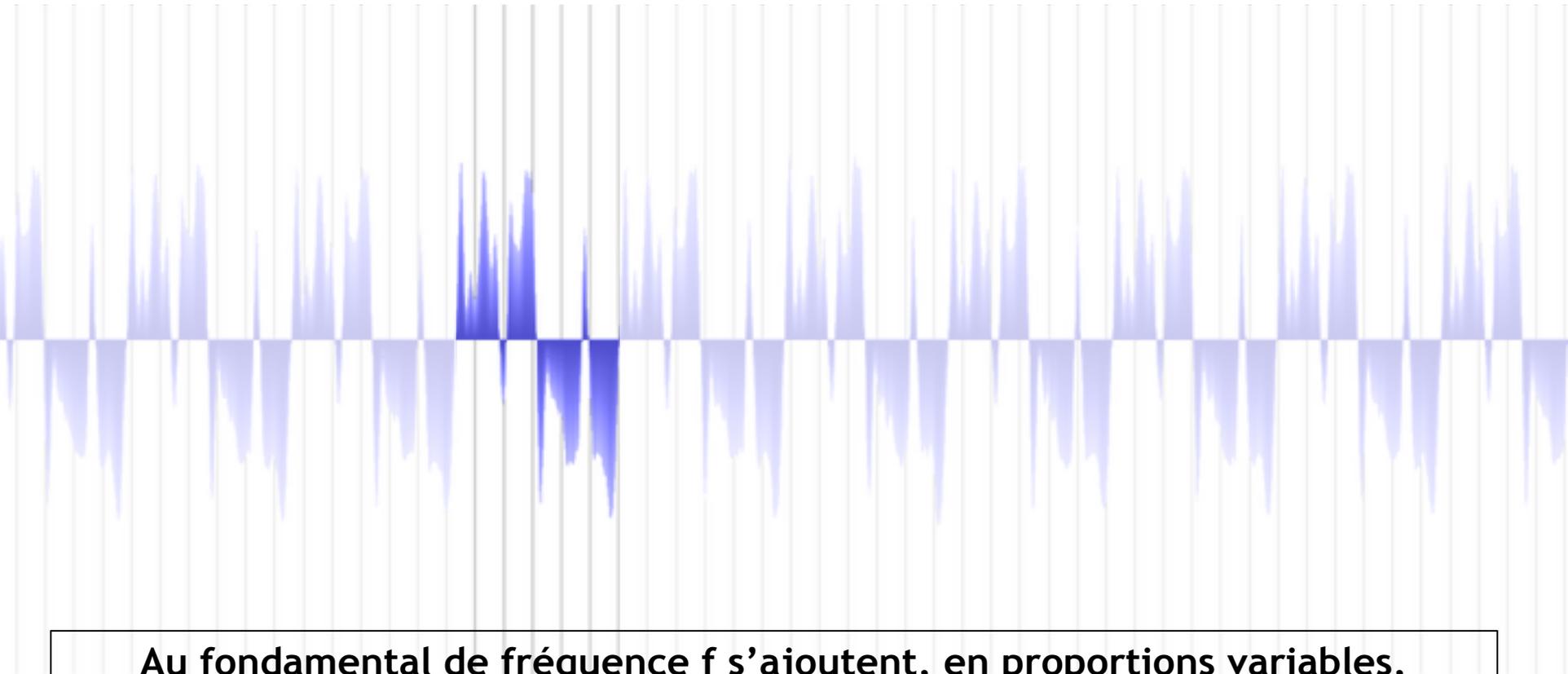
Harmonique 2



Harmonique 3



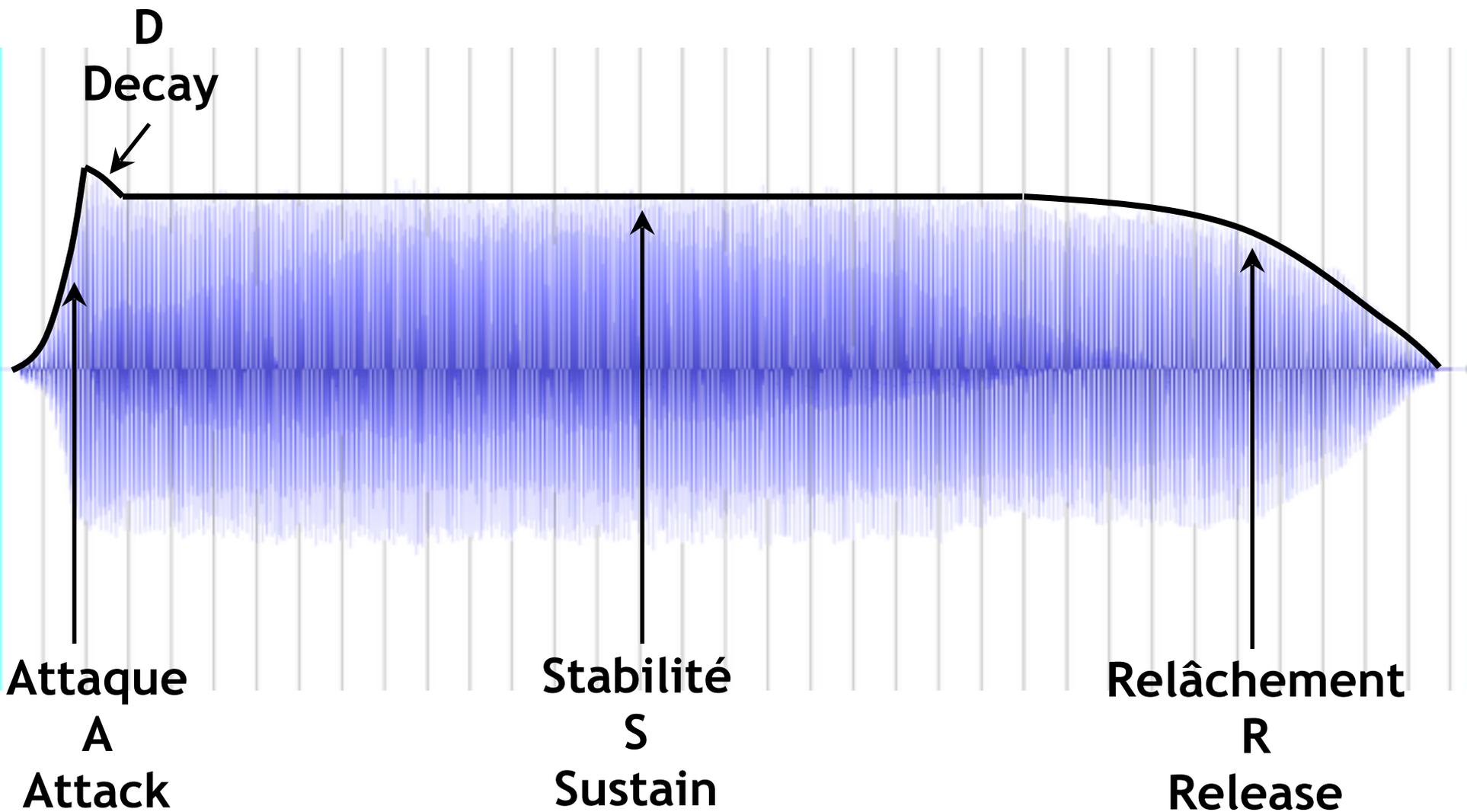
Le motif périodique définit le contenu harmonique du son qui est le premier déterminant du timbre



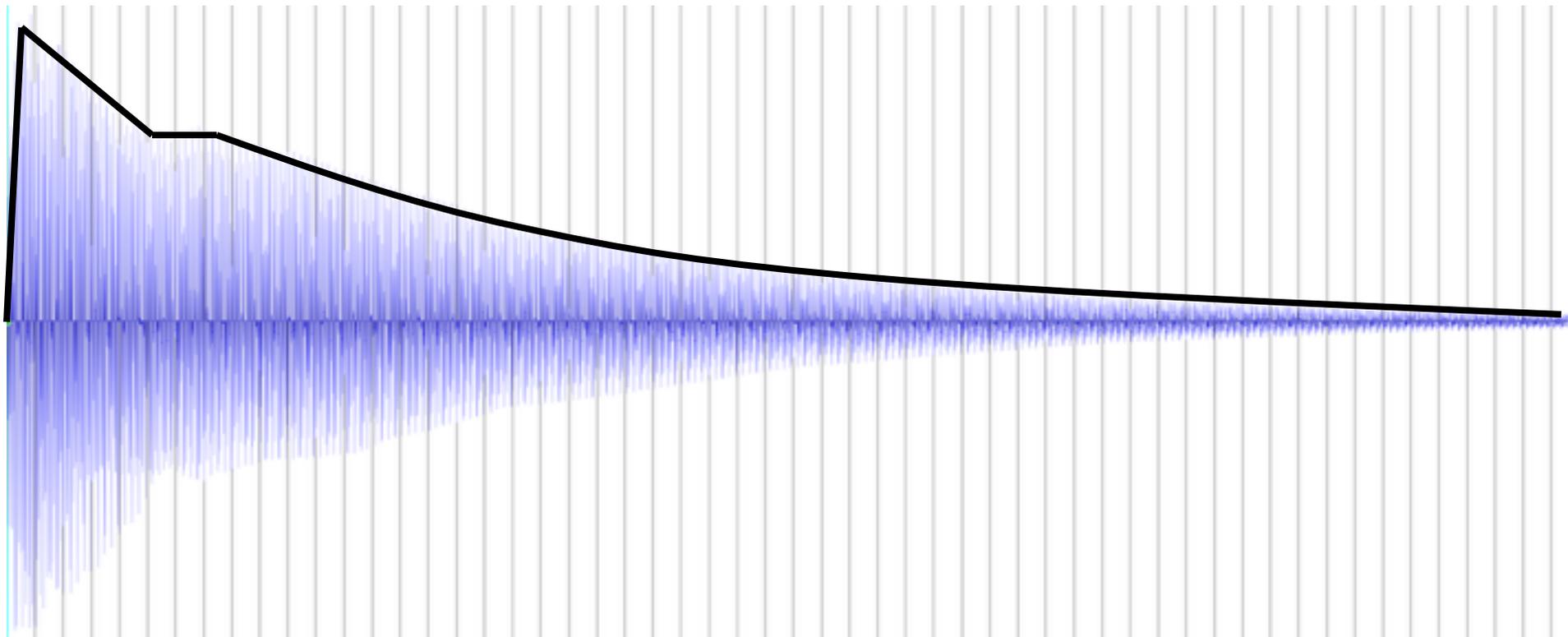
Au fondamental de fréquence f s'ajoutent, en proportions variables, des harmoniques de fréquences $2f$, $3f$, $4f$, ...

L'enveloppe du son est le second déterminant du **timbre**

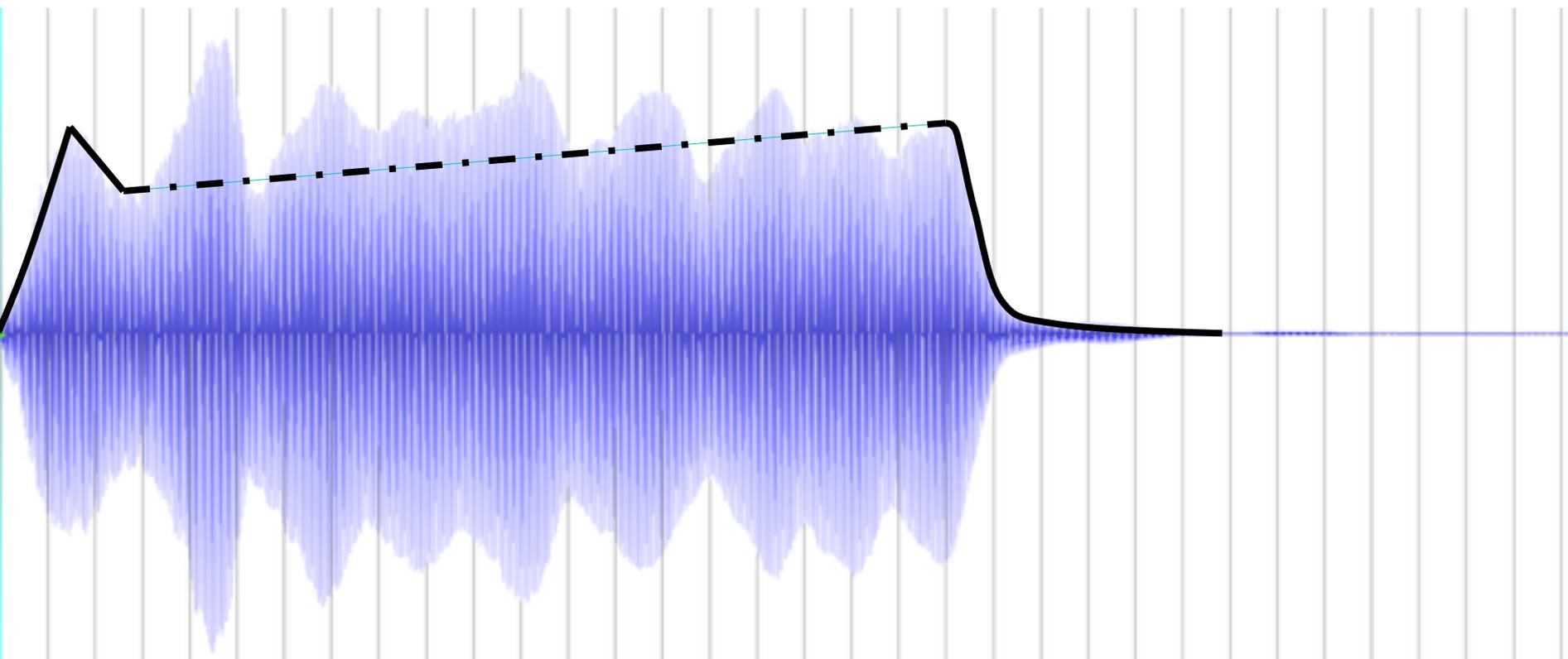
Décroissance



Guitare



Flute



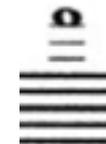
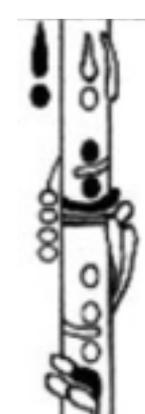
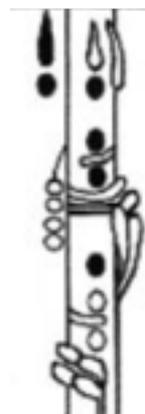
Le son musical: définition

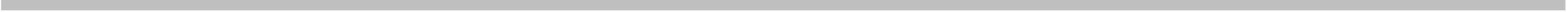
- Un son est défini physiquement comme une petite fluctuation de la pression autour de sa valeur moyenne (pression atmosphérique)
- Le signal de pression $p(t)$ est caractérisé:
 - globalement:
 - par son enveloppe ADSR (timbre)
 - localement:
 - par un motif qui se répète régulièrement:
 - la forme du motif définit le contenu harmonique du son (timbre)
 - sa durée (période) définit la hauteur tonale (fréquence)

Le solfège: des chiffres et des notes

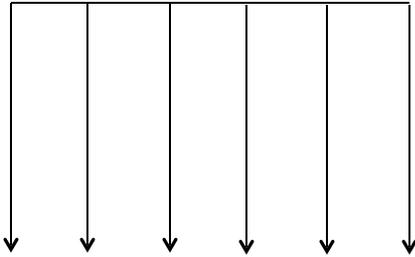


Notre perception de la distance tonale est logarithmique





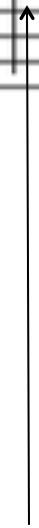
?



$\frac{1}{2}$



1

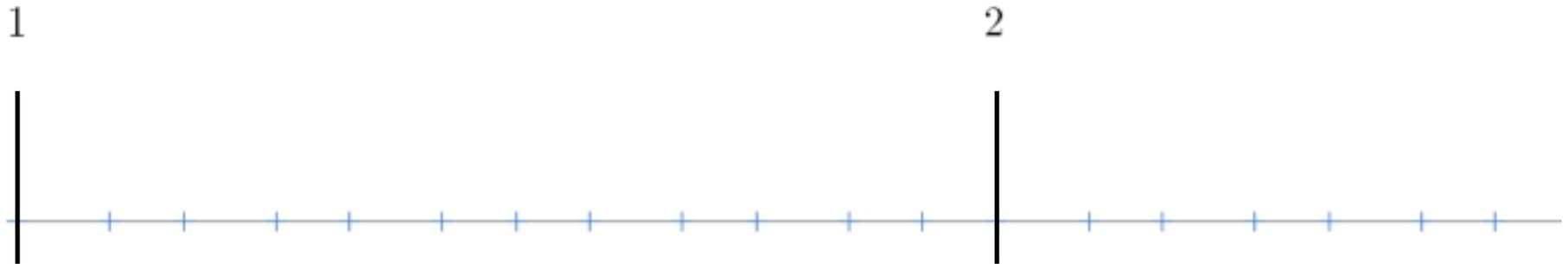


2

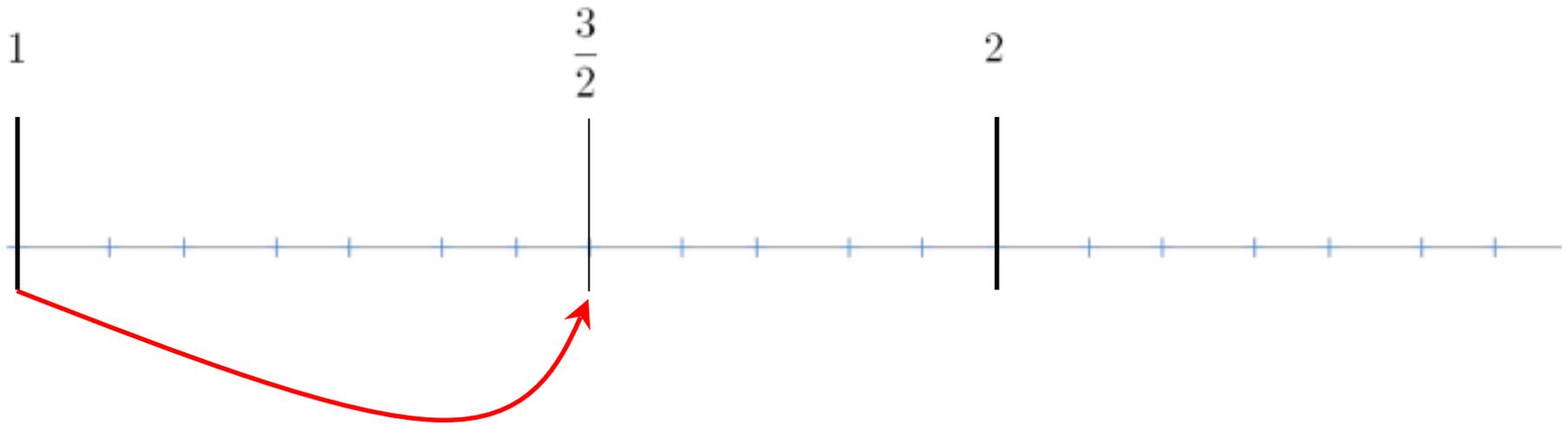


4

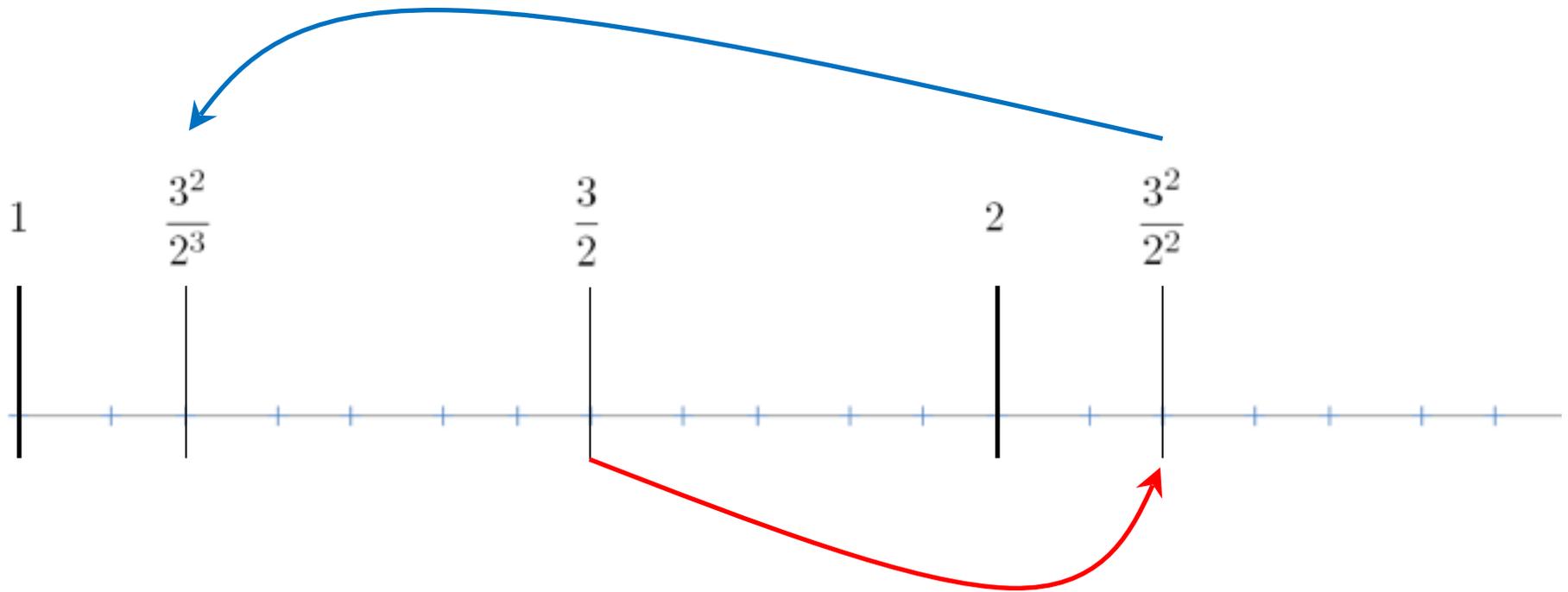
Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



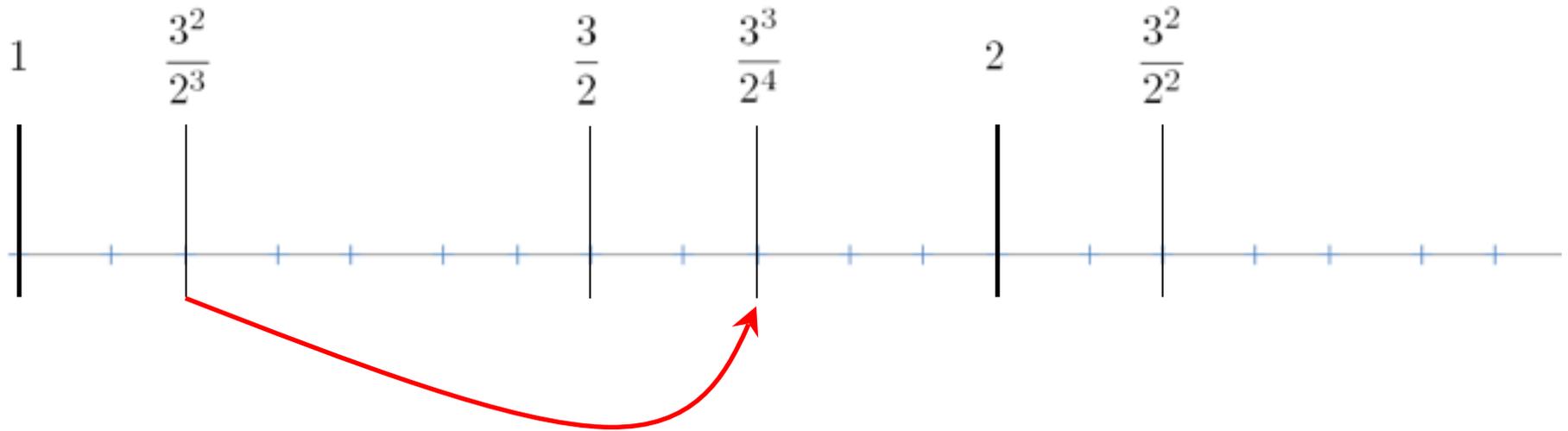
Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



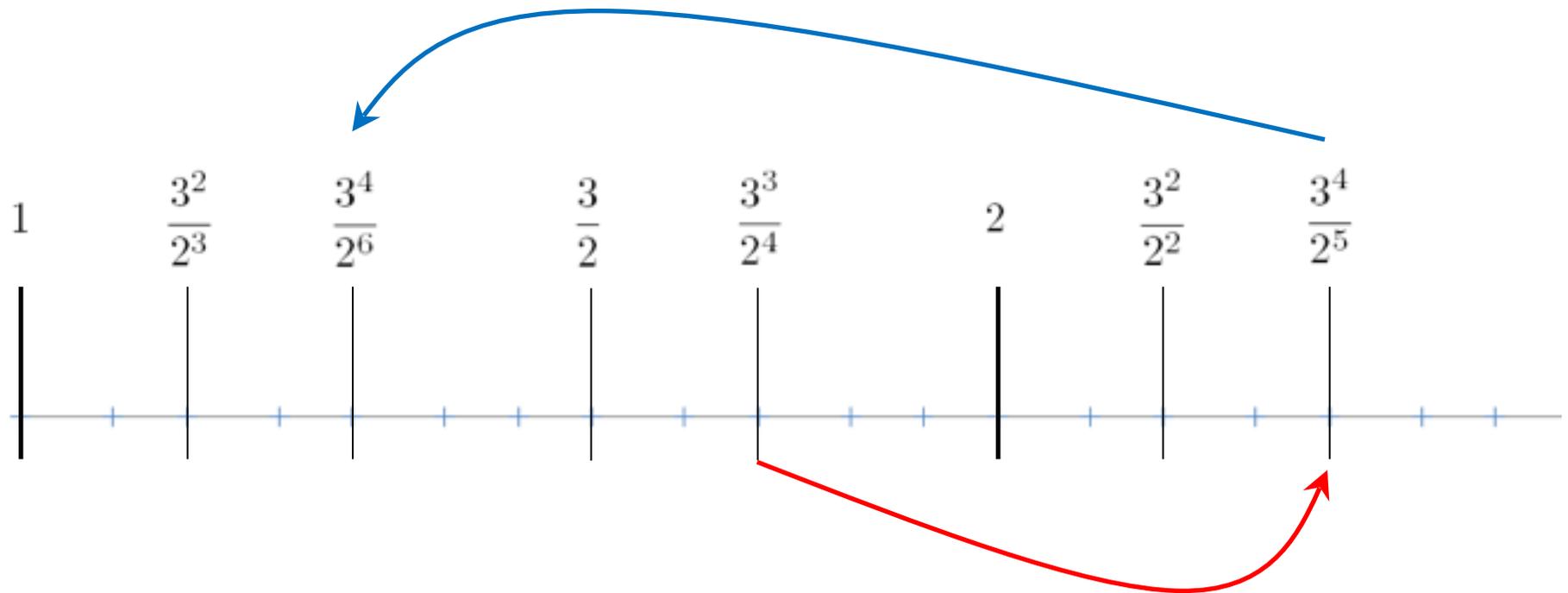
Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



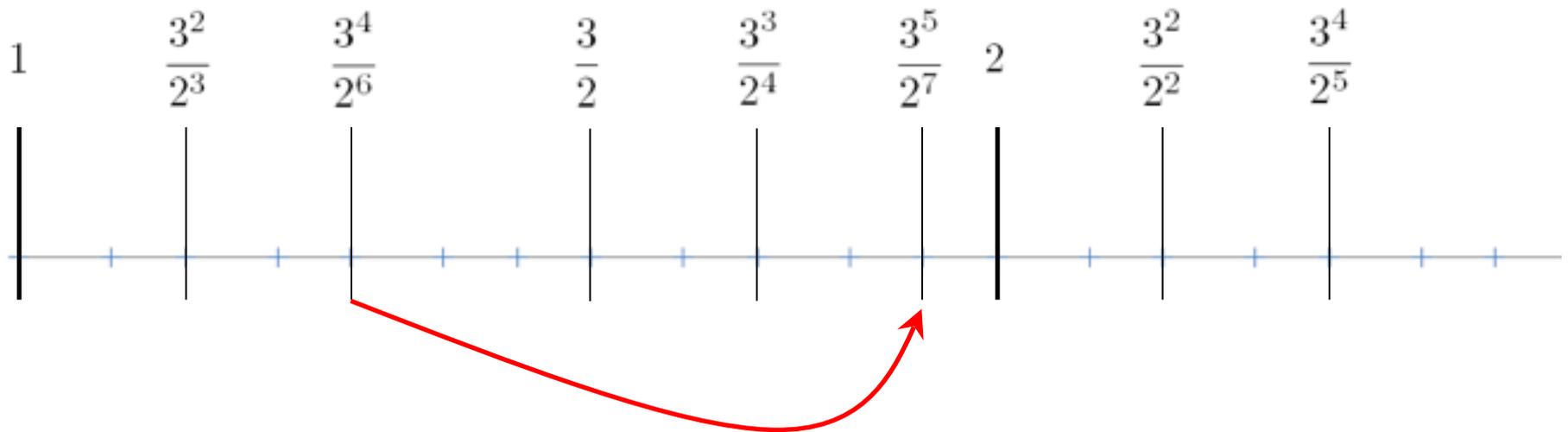
Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



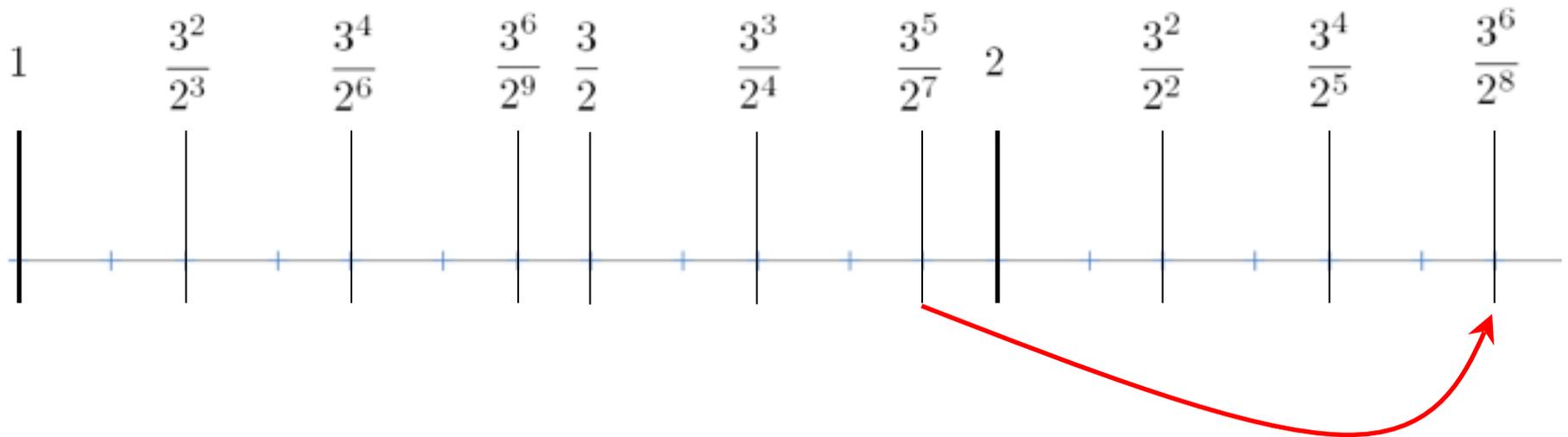
Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



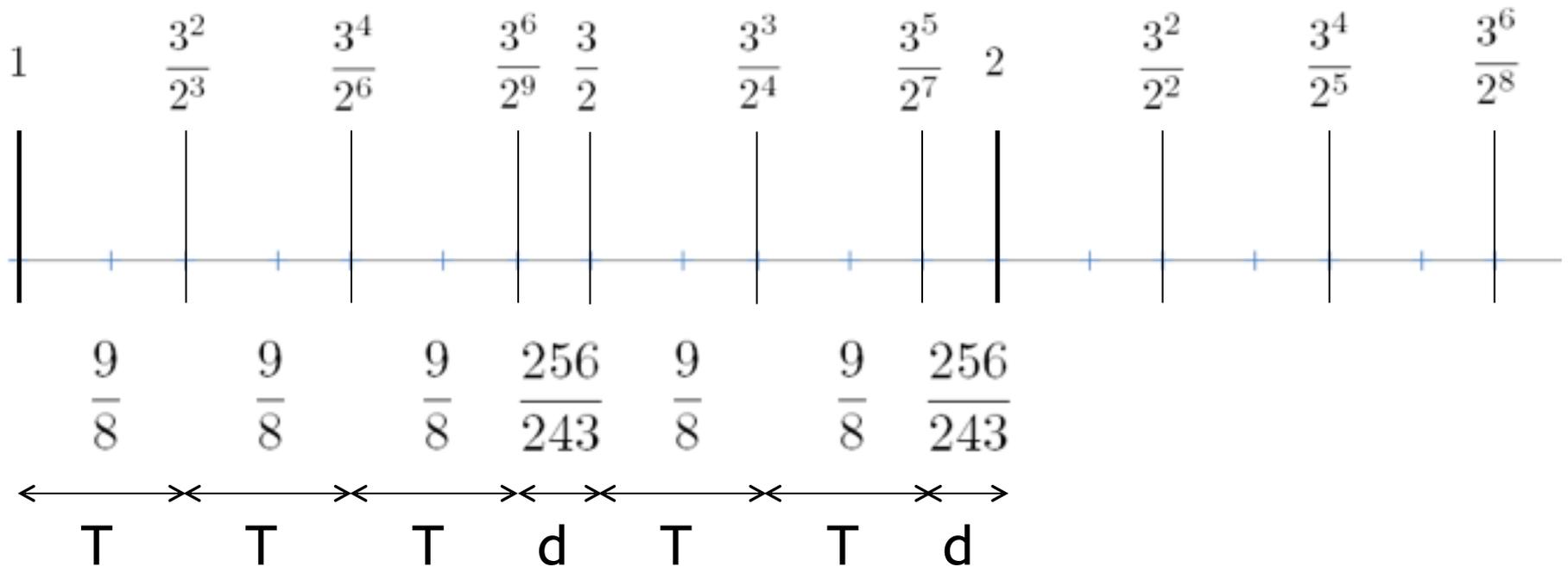
Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



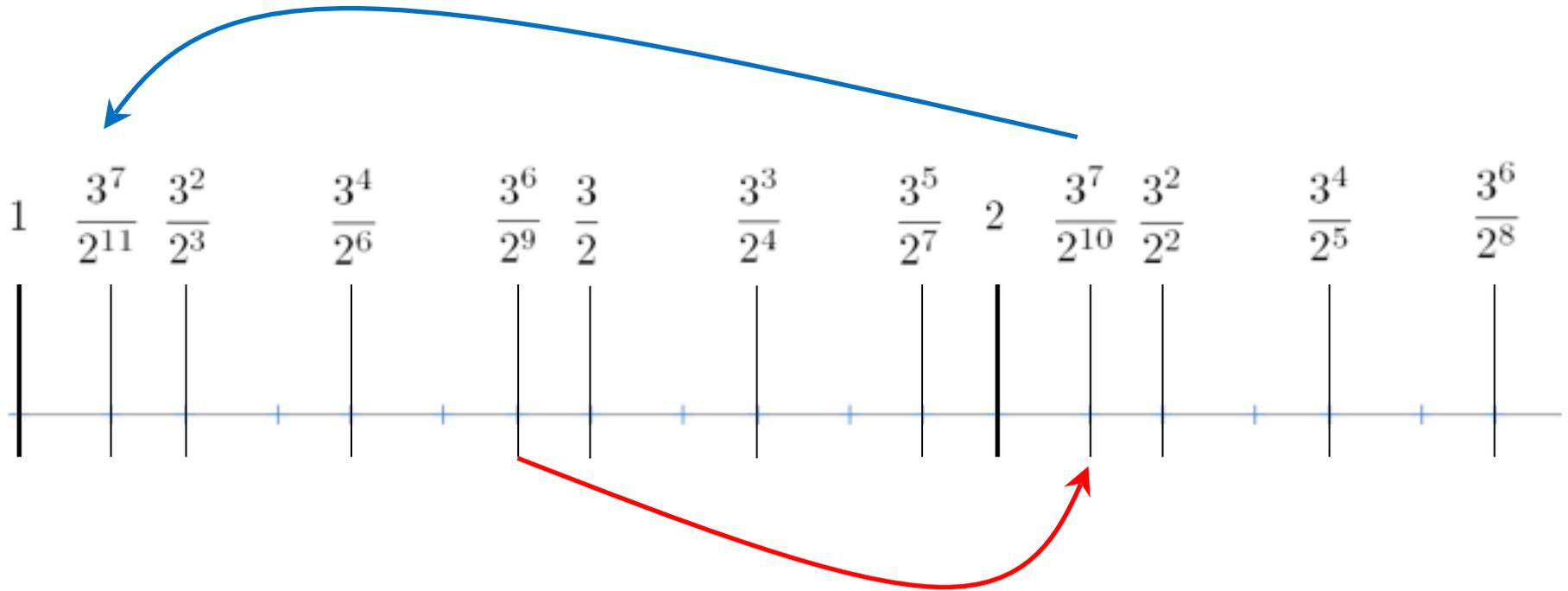
Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



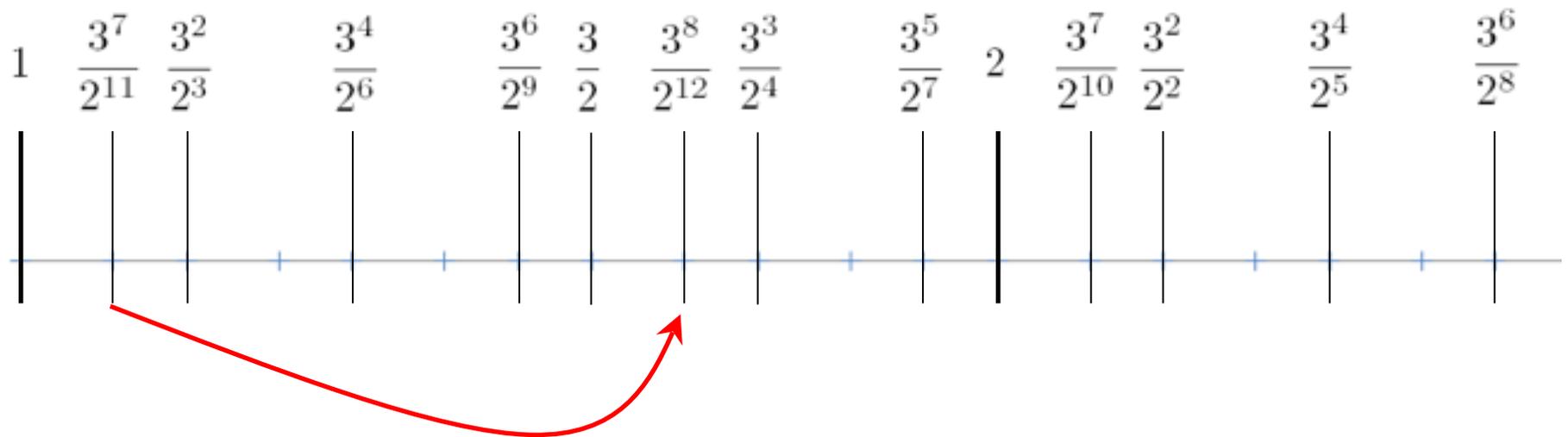
Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



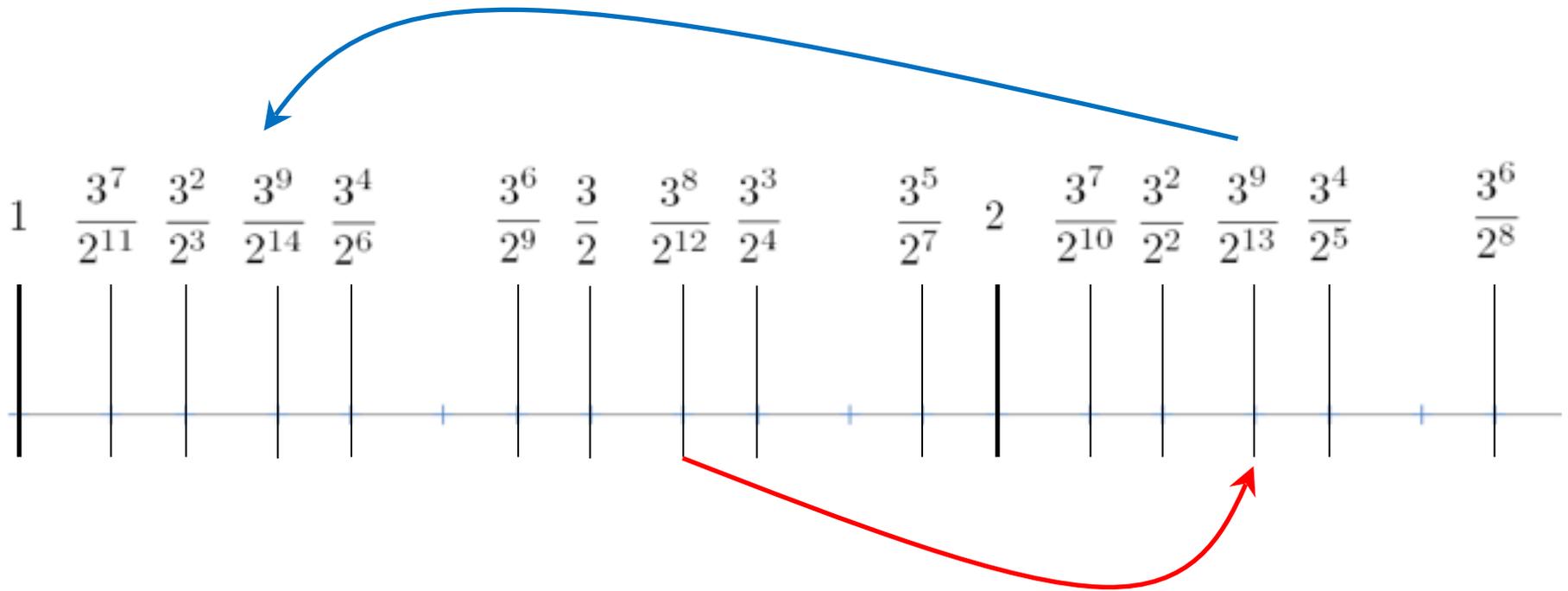
Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



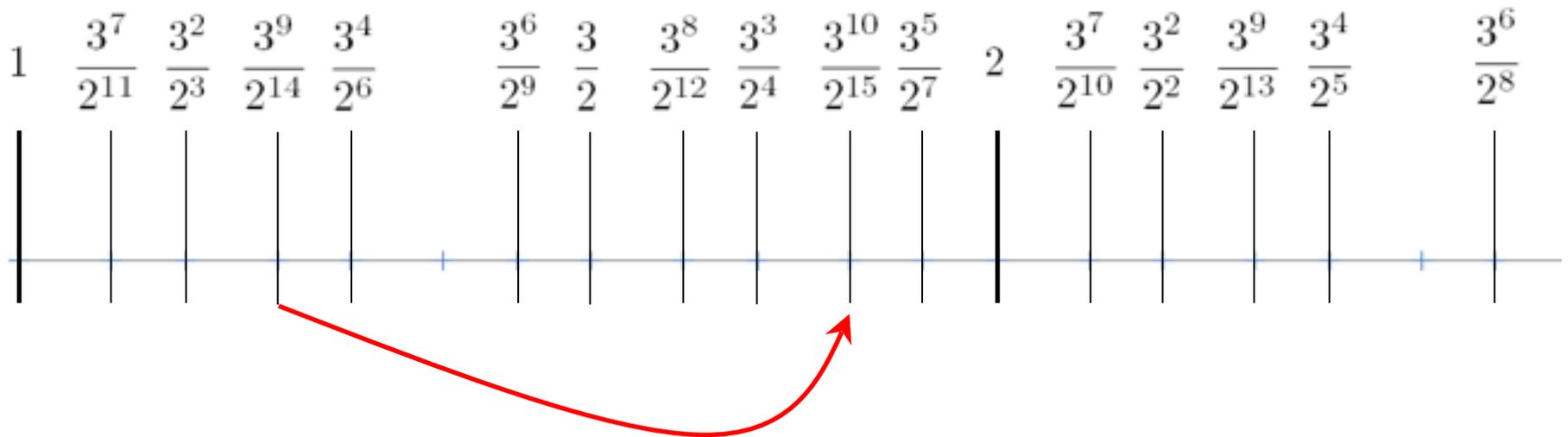
Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



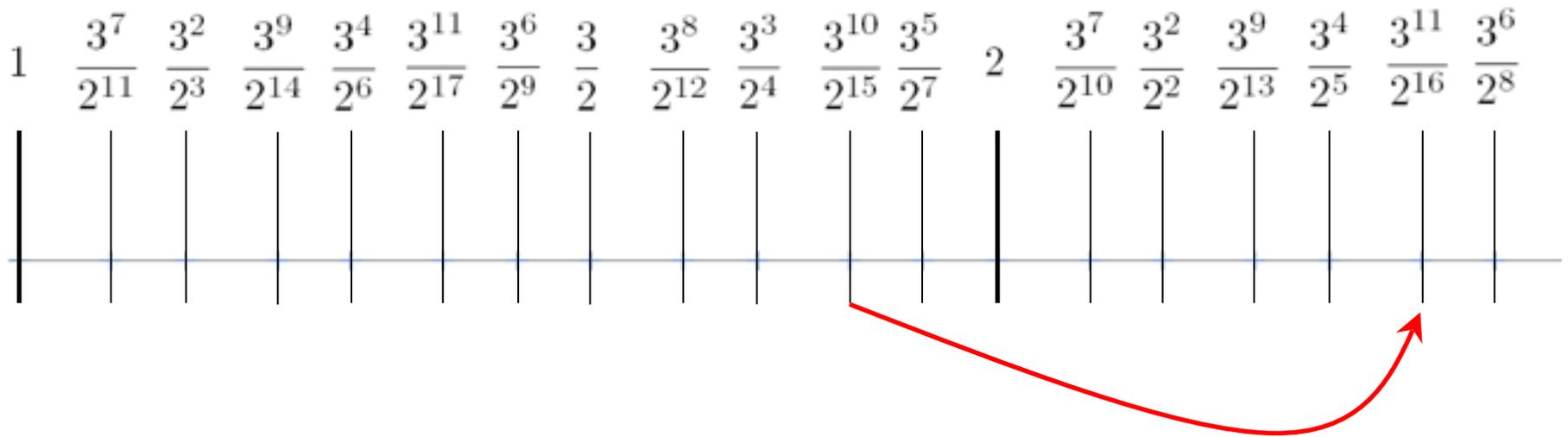
Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



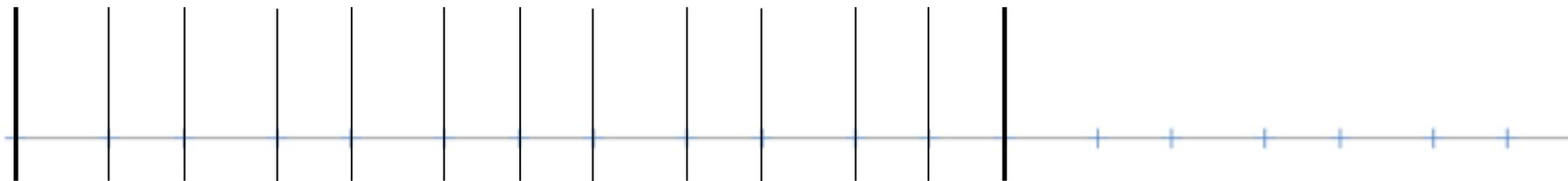
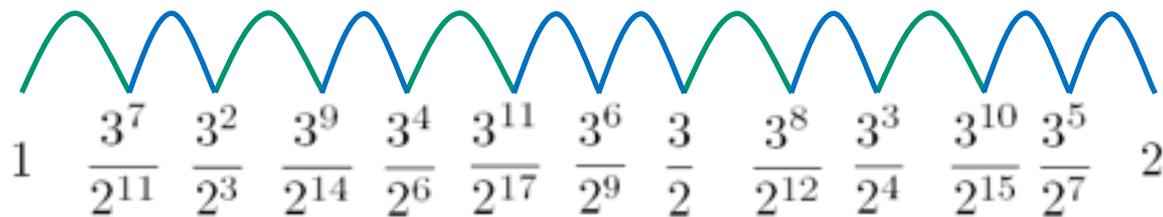
Construire une gamme: Pythagore (~580-495 ACN)



Gamme chromatique de Pythagore

$$\frac{3^7}{2^{11}}$$

$$\frac{2^8}{3^5}$$



$$\left(\frac{3^7}{2^{11}}\right)^5 \cdot \left(\frac{2^8}{3^5}\right)^7 = 2$$

$$\frac{3^7}{2^{11}} \cdot \frac{2^8}{3^5} = \frac{3^{12}}{2^{19}} \simeq 1.014$$

Des chiffres et des notes

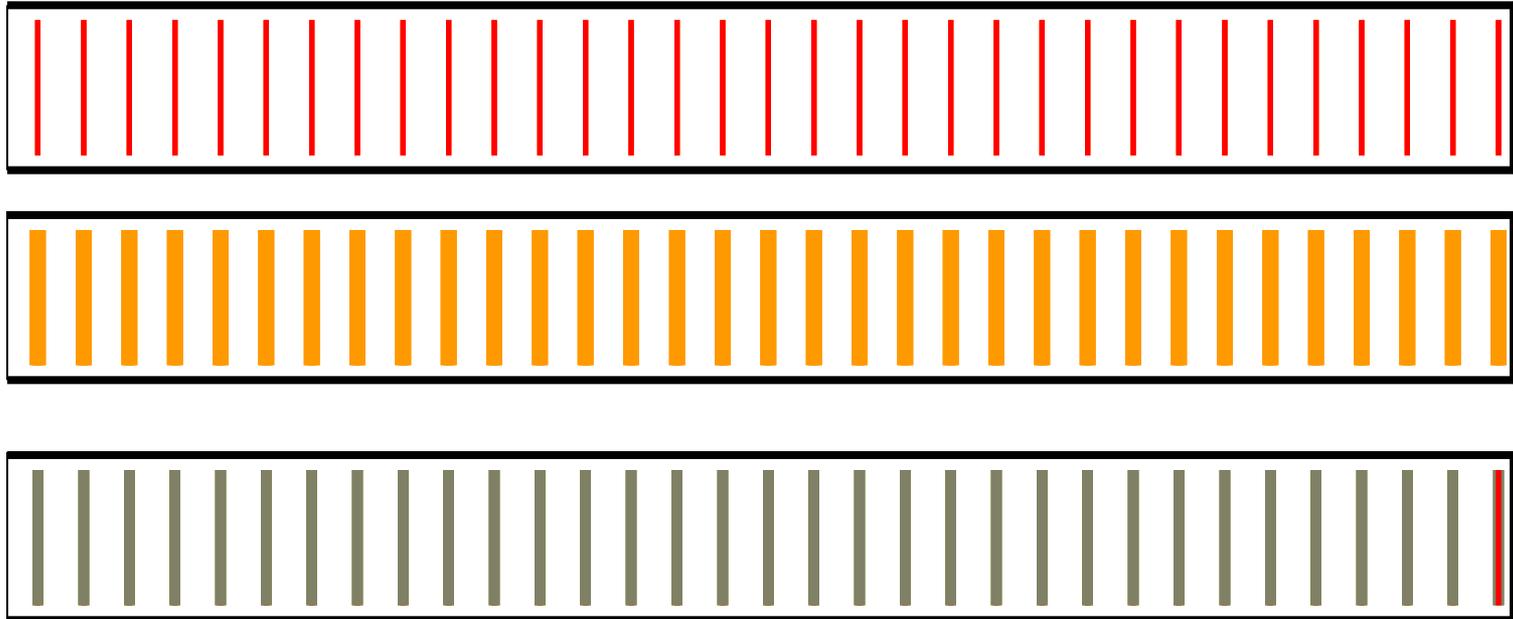
- La distance entre deux notes est liée au rapport des fréquences correspondantes
- L'utilisation du rapport $3/2$ par Pythagore a construit notre gamme musicale occidentale
- La distinction entre demi-tons diatonique et chromatique est aujourd'hui « gommée » par l'utilisation d'une gamme au tempérament égal ou le demi-ton est défini par:

$$\sqrt[12]{2}$$

Produire le son: la physique des instruments à vent



Un drôle d'instrument ...



- Une impulsion donnée à l'extrémité gauche de la colonne d'air (longueur l) se réfléchit à l'extrémité droite. Au total elle fait l'aller-retour en un temps $2l/c$ (c = vitesse du son = 340 m/s). Pour $l=34$ cm ce temps est de 2 ms.
- Deux impulsions successives se propagent indépendamment.
- Si un train d'impulsion est émis avec une période $2l/c$ (2 ms) on voit que les impulsions successives se renforcent: c'est la résonance
- Il en est de même pour tout sous-multiple de cette période $2l/nc$, par exemple 1 ms mais aussi 0.66, 0.50, 0.40, 0.33, 0.29 ms ...

Comme une balançoire ...

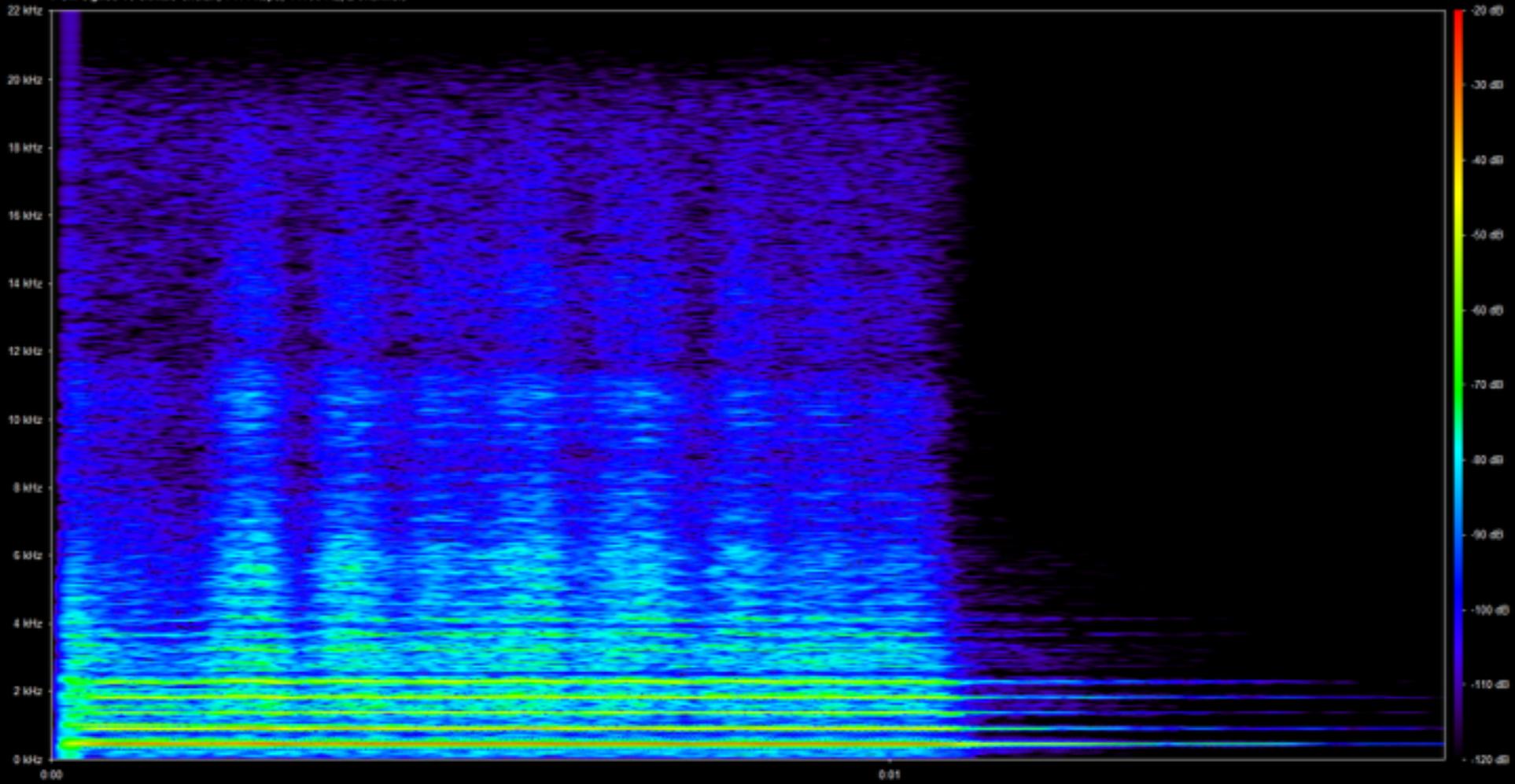


Sonagramme: tous les harmoniques sont présents

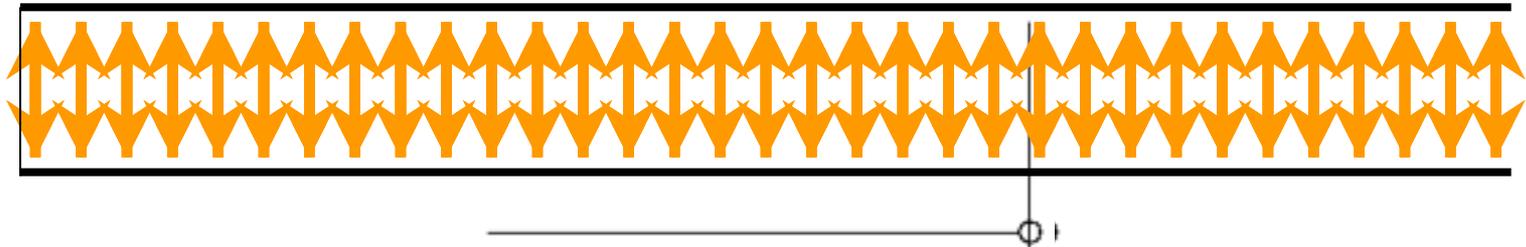
C:\Users\jim\Documents\ULB Documents\Musique\Data\Instruments_Samples\Flute single note.wav

PCM signed 16-bit little-endian, 1411 kbps, 44100 Hz, 2 channels

spek 0.0.2

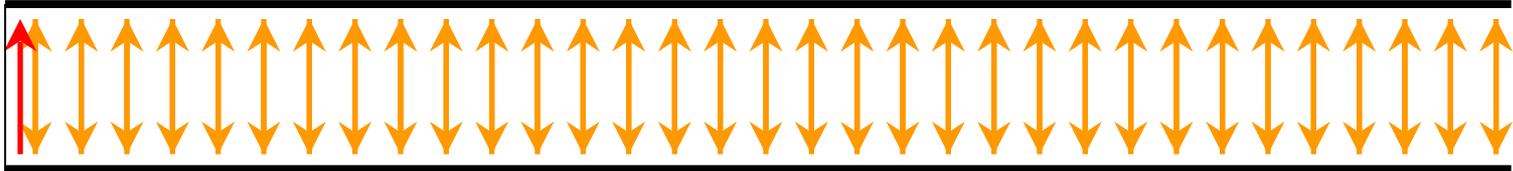


Tube ouvert

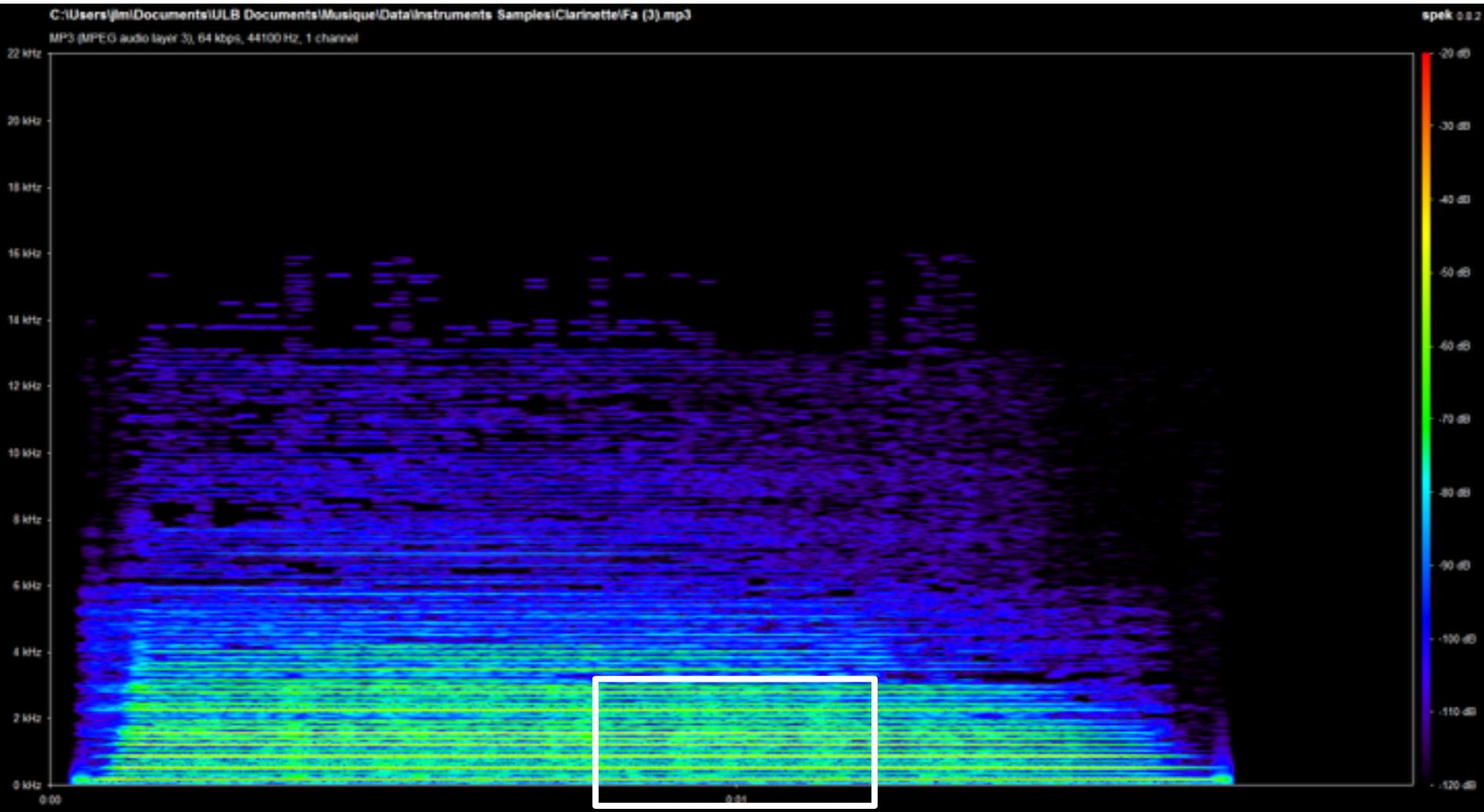


- Une impulsion donnée à l'extrémité gauche de la colonne d'air (longueur l) se réfléchit à l'extrémité droite mais l'onde repart **inversée**.
- Il faut donc un double aller-retour pour retrouver l'impulsion de départ à l'extrémité gauche. Ce double aller-retour prend un temps $4l/c$. Pour $l=34$ cm ce temps est de 4 ms.
- Si un train d'impulsion est émis avec une période $4l/c$ (4 ms) on voit que les impulsions successives se renforcent.
- Il en est de même pour tout sous-multiple impair de cette période $4l/(2n+1)c$, par exemple 1 ms ais aussi 1.33, 0.80, 0.57, 0.44 ms ...

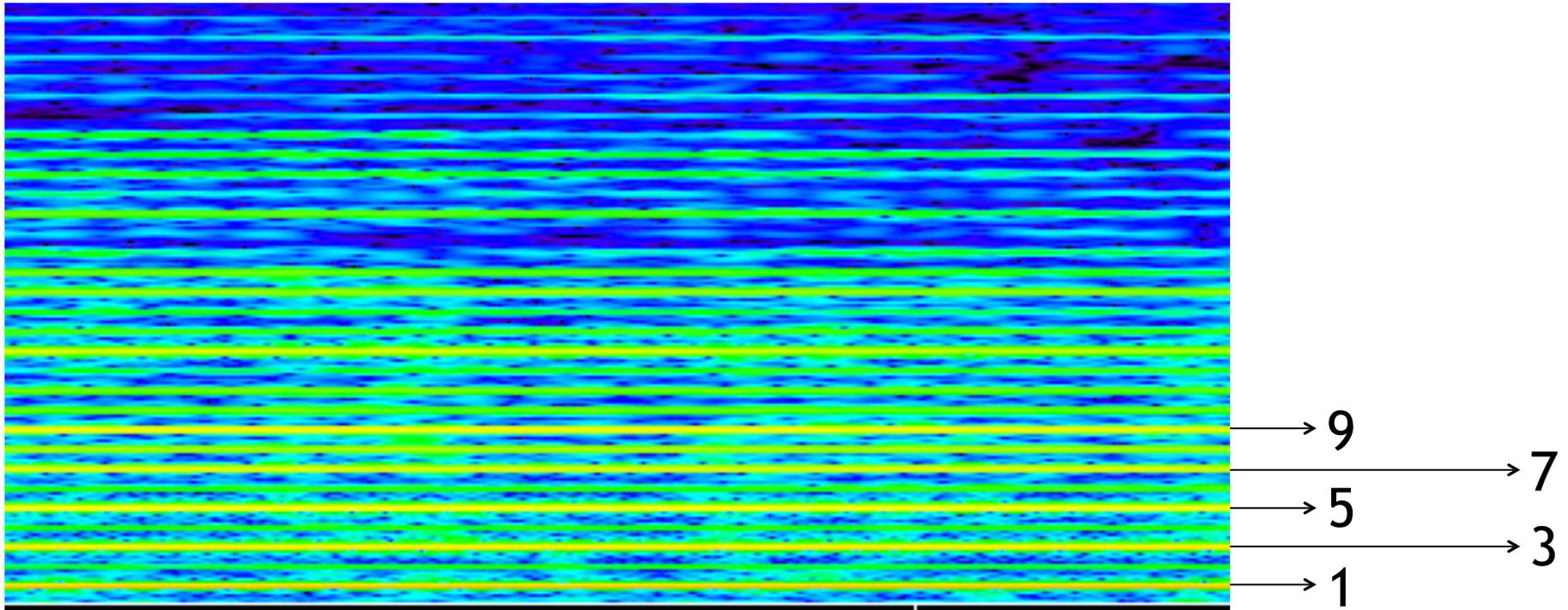
Pas d'harmoniques pairs ...



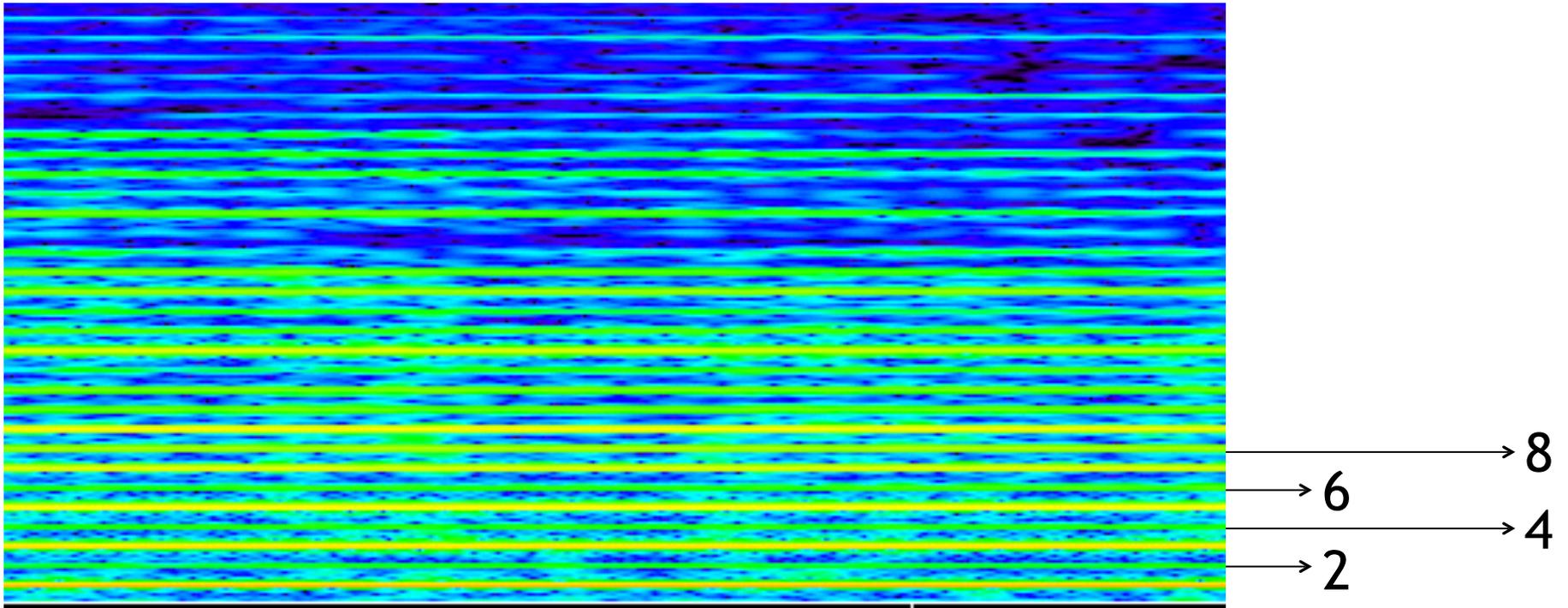
Sonagramme: seuls les harmoniques impairs sont présents



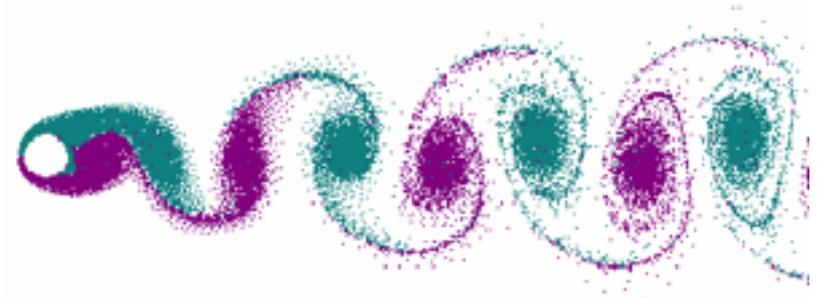
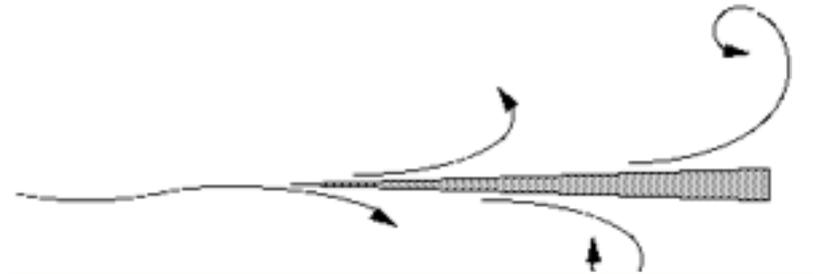
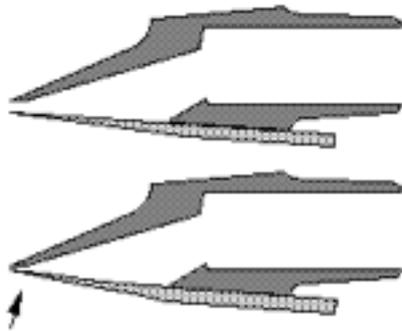
Sonagramme: les harmoniques impairs dominant



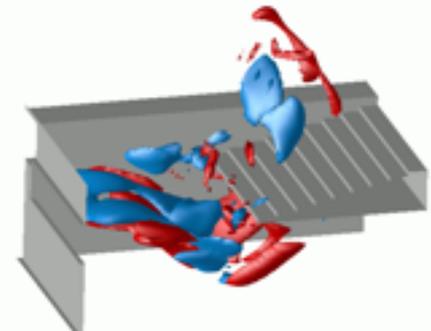
Sonagramme: les harmoniques pairs sont marginaux



Anche et biseau



© Cesareo de La Rosa Siqueira
<http://www.mcef.ep.usp.br/staff/jmeneg>

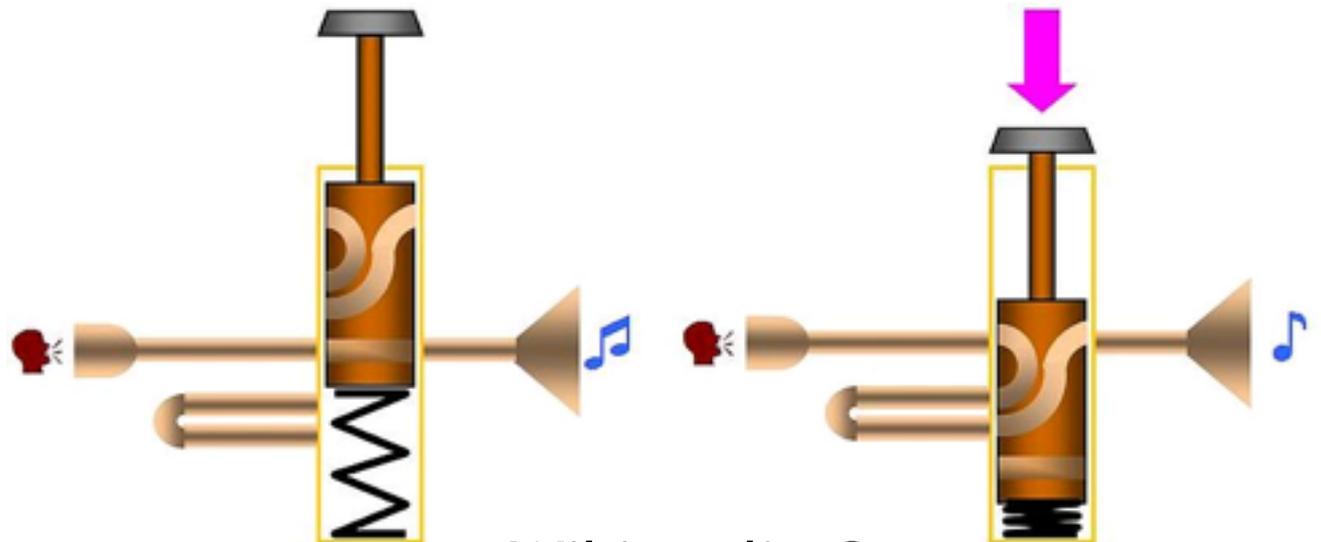


© INSTITUTE OF MUSIC ACOUSTICS
University of music and performing arts, Vienna

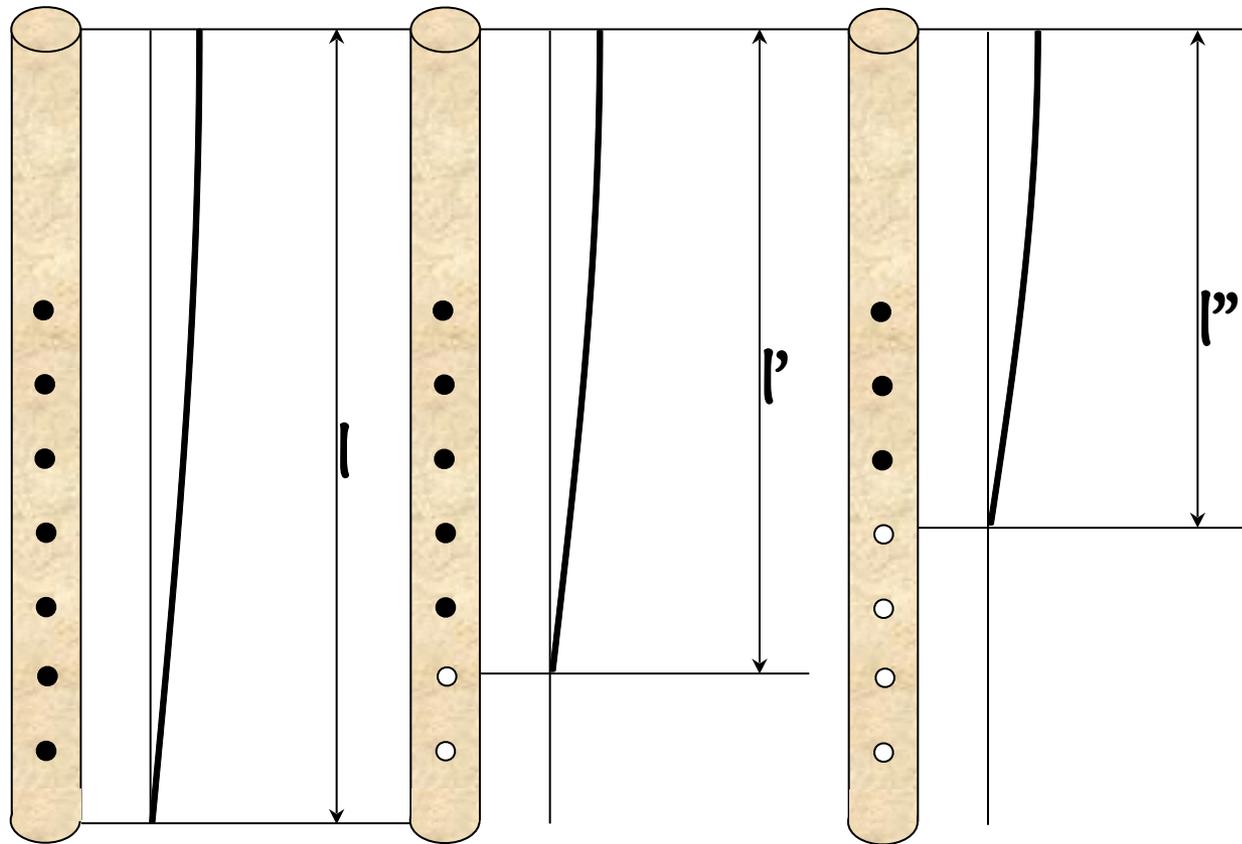
Pour changer de note, changez de longueur



Plus malin: la trompette



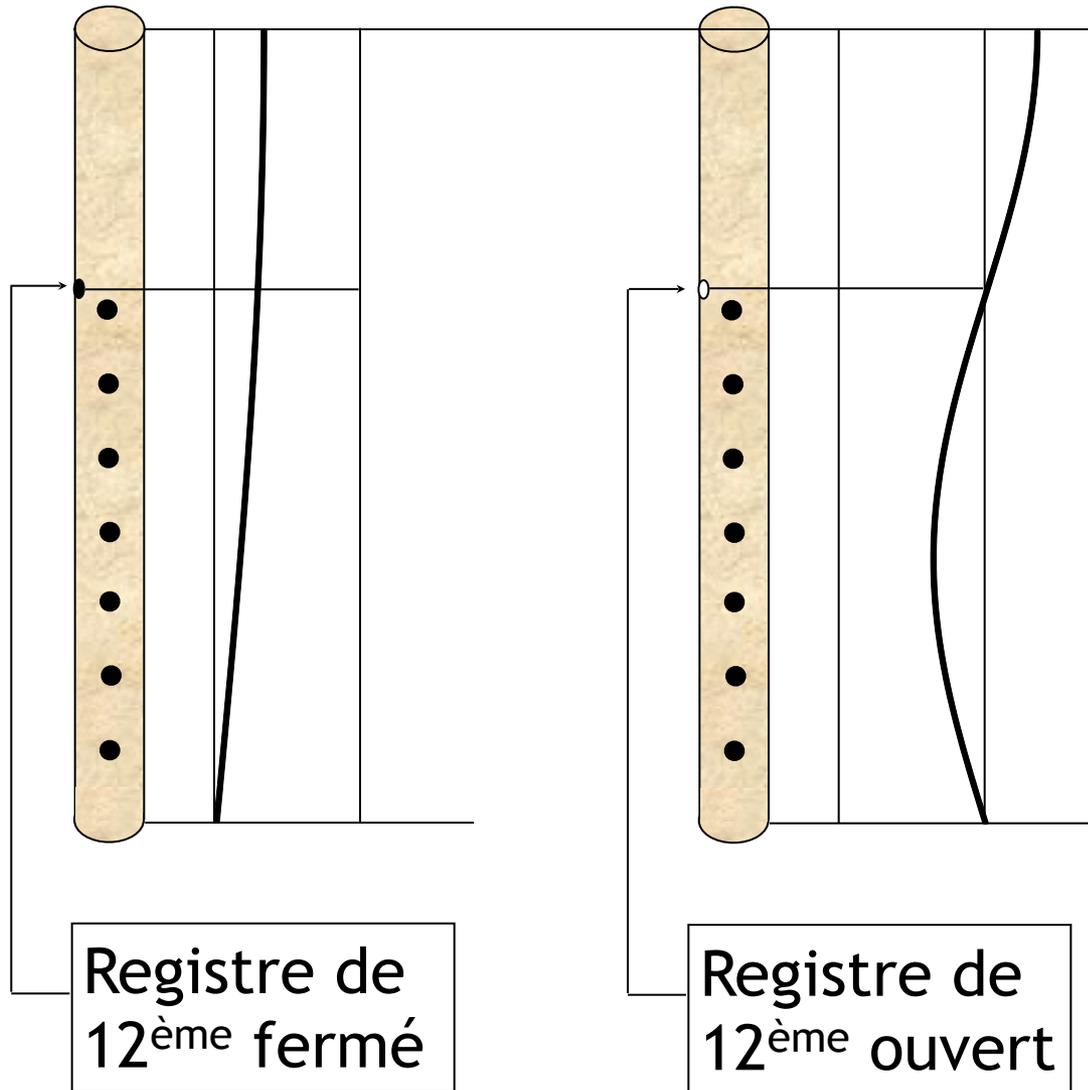
De plus en plus fort: les trous de la flûte



● Trou fermé ○ Trou ouvert

$$\frac{c}{4l} < \frac{c}{4l'} < \frac{c}{4l''}$$

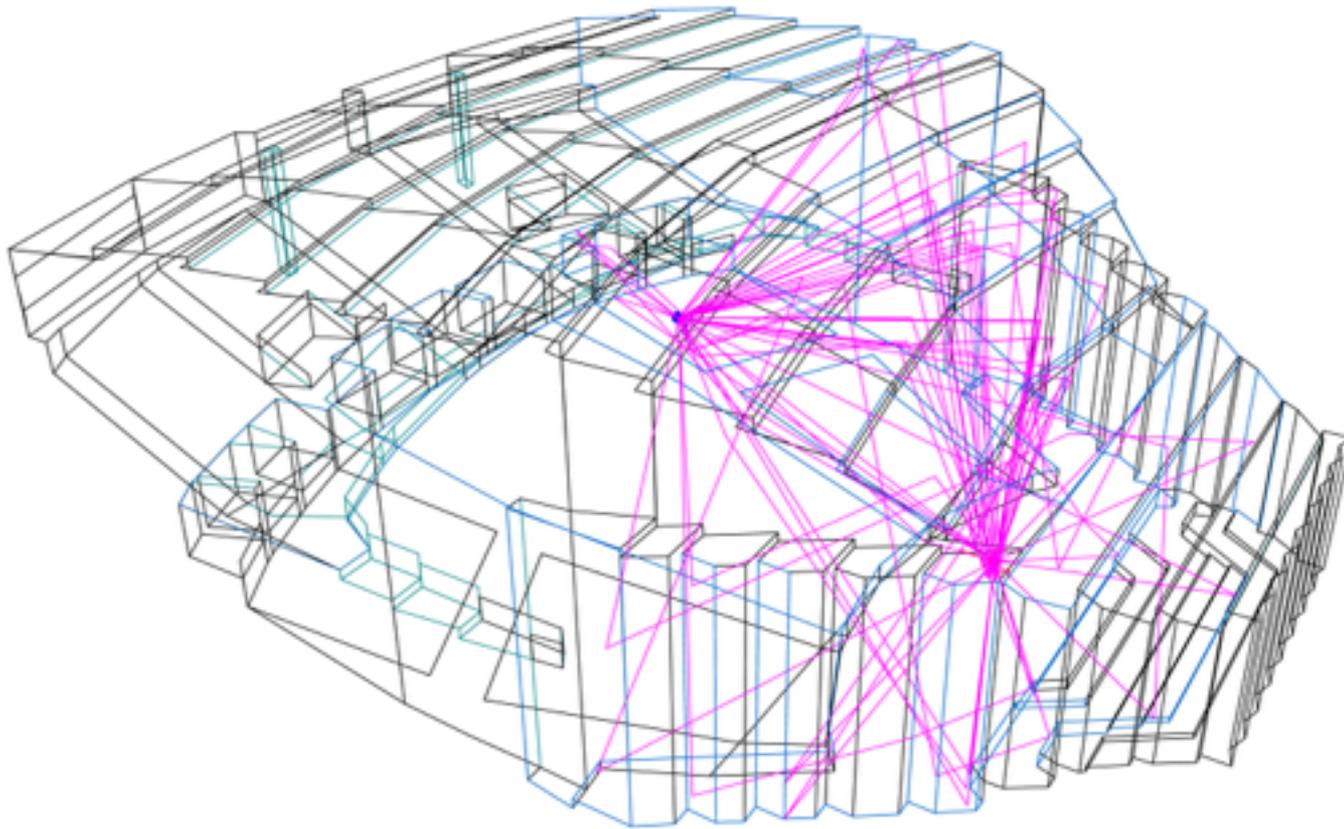
La clé de douzième



Bien voir, bien entendre: le rôle de la salle

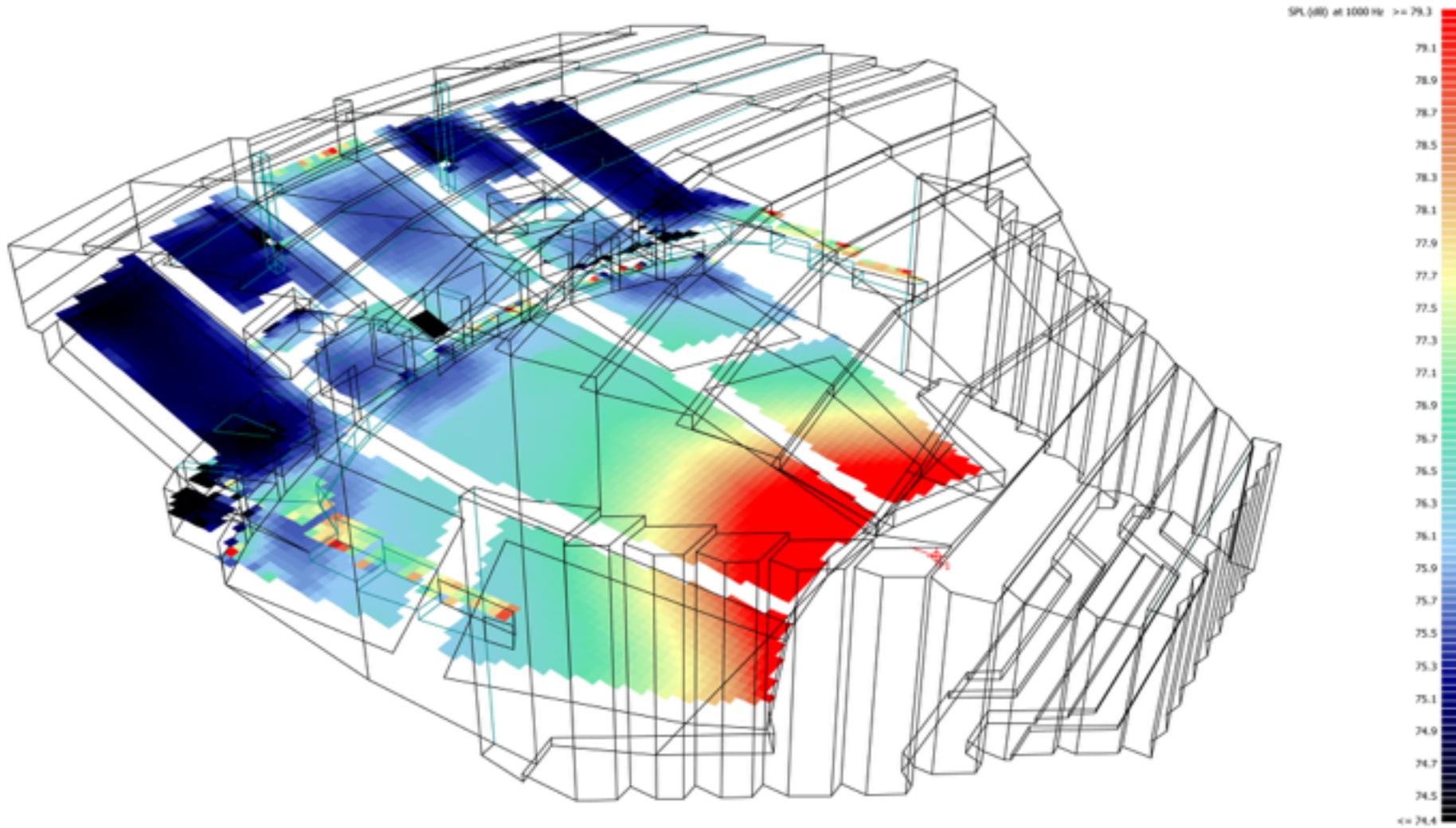


Méthode des tirs de rayons

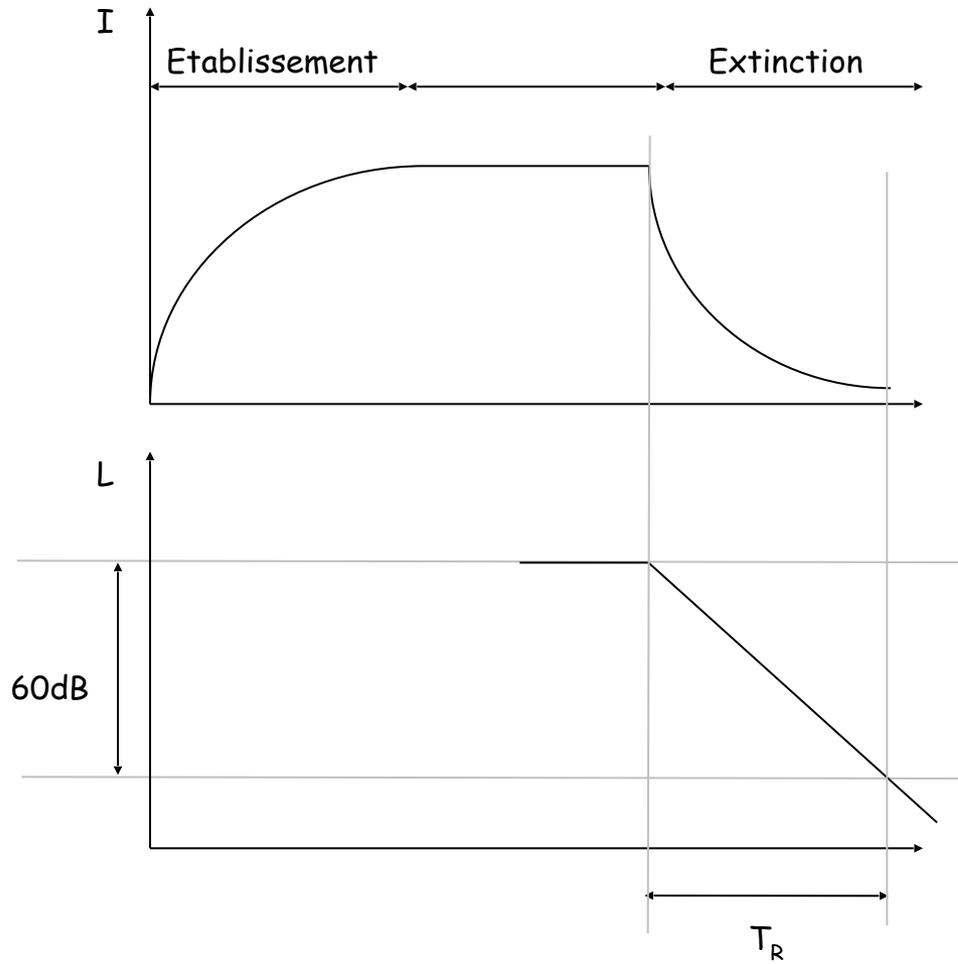


Source: 1
Surface: "Receiver"
Refl.: 3
Path <ms>: 71.82
Time <ms>: 207

Méthode des tirs de rayons



Temps de réverbération

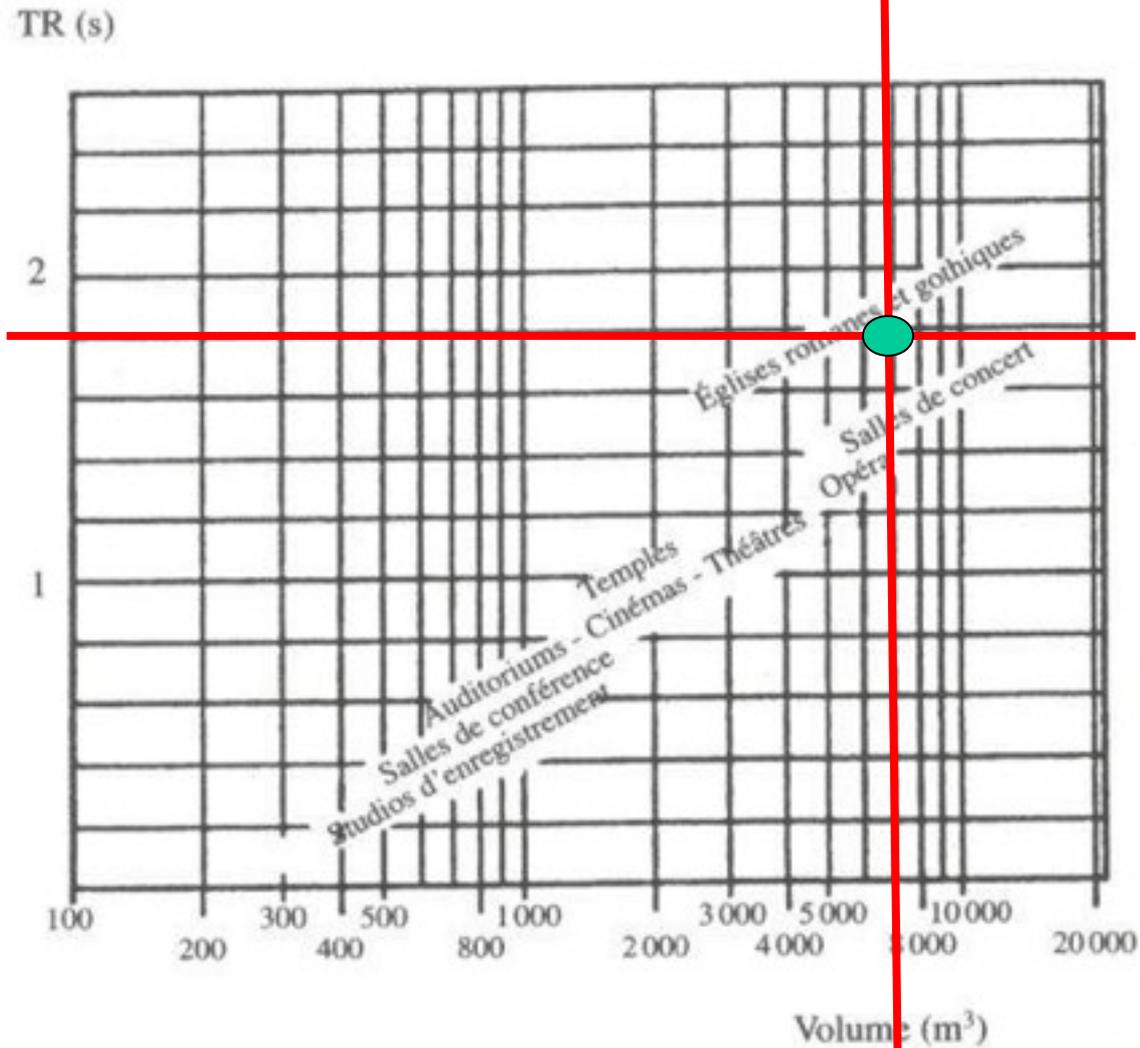




Mesure du temps de réverbération de la salle philharmonique

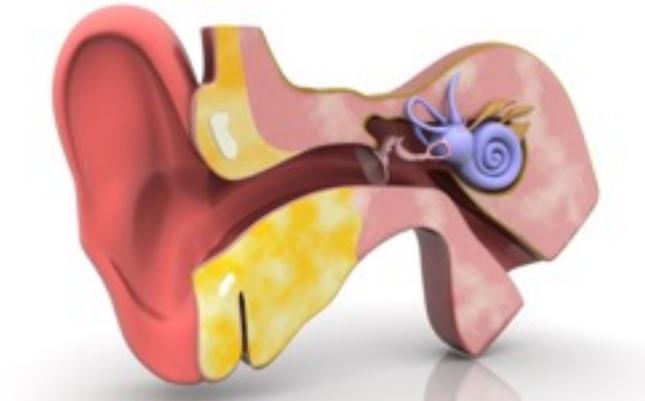


Une salle optimale !



Une si parfaite oreille





Final





Science et désenchantement du monde ?



Max Weber
Die Entzauberung der Welt

[...] la science ne dévoile jamais. Elle révèle un dévoilement. [...] Ce n'est jamais la nudité première et ultime de la réalité qui apparaît. C'est un récit. Et ce récit lui-même est un voile nouveau qui recouvre la nudité en disant la disparition des voiles anciens.

Jean-Claude Ameisen

Dans la lumière et les ombres

Merci de votre attention ...

... et un énorme merci à
**Benjamin Obyn, Fabienne Duthoit,
Nevzat Mohamed et Colin Pivin**