Cycle d’Hiver (Février – Mars 2022)

“La Physique de la Musique”

H. Bulou

Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS)

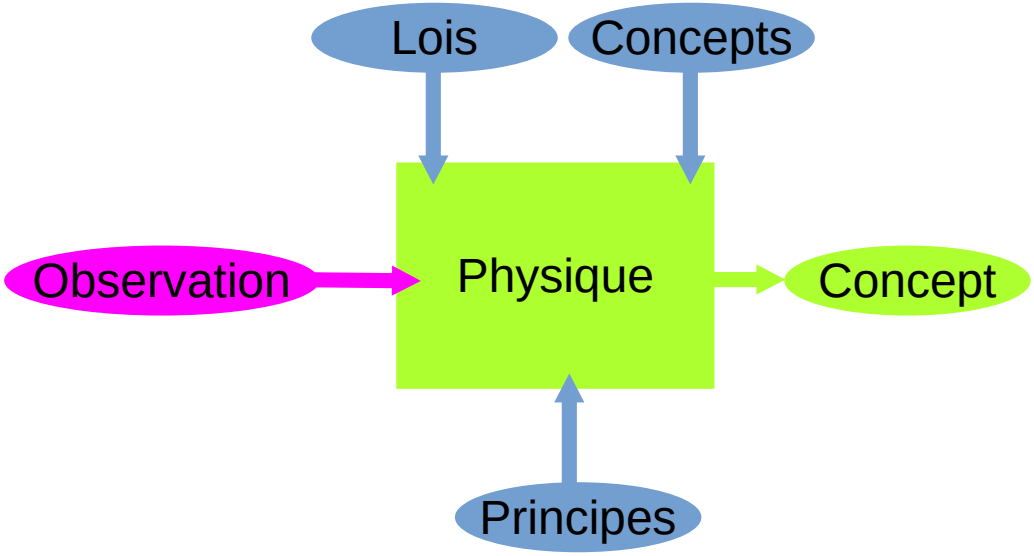
Résumé des épisodes précédents

Physique & méthode scientifique

Physique : Expliquer les phénomènes naturels sur la base d'arguments rationels

Méthode Scientifique : démarche composée de trois étapes

- Observer & décrire un phénomène naturel
- Faire des hypothèses pour l'expliquer
- Expérimenter pour valider ou invalider les hypothèses



Résumé des épisodes précédents

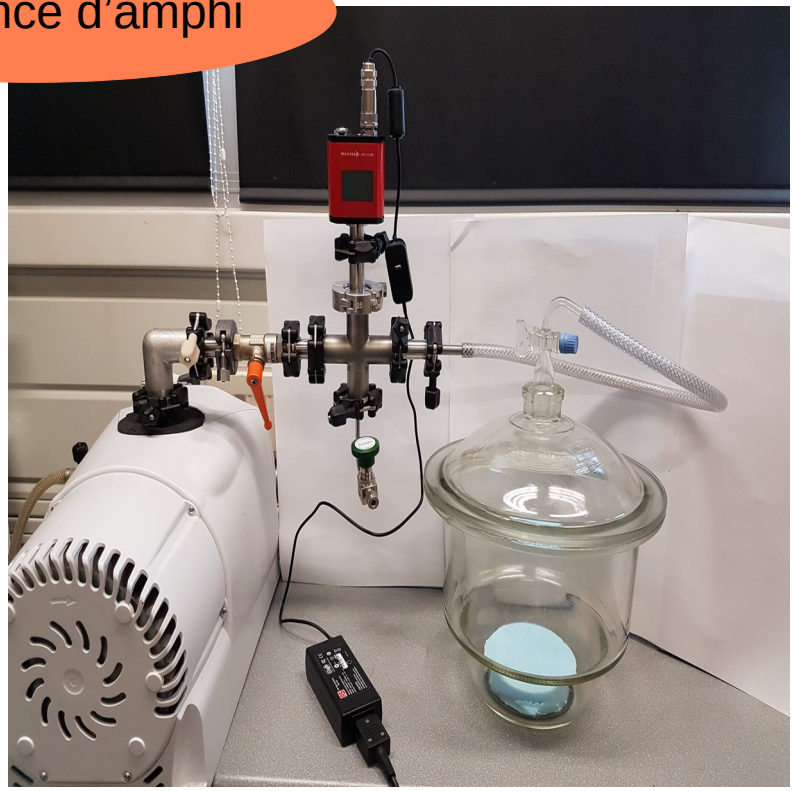
Le son est une perception pouvant être décrite selon trois caractéristiques

- l’amplitude
- la hauteur
- le timbre

Résumé des épisodes précédents

Définir l'amplitude du son

Expérience d'amphi



Expérience de von Guericke

Pour se propager, le son a besoin d'un support matériel

Résumé des épisodes précédents

Les sources de son dans la nature

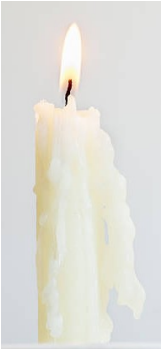
Les sources de son dans la nature

- le drapeau qui claque
- le ruisseau qui coule
- le bruit de la foudre

Résumé des épisodes précédents

Le son du ballon qui éclate

Expérience d’amphi

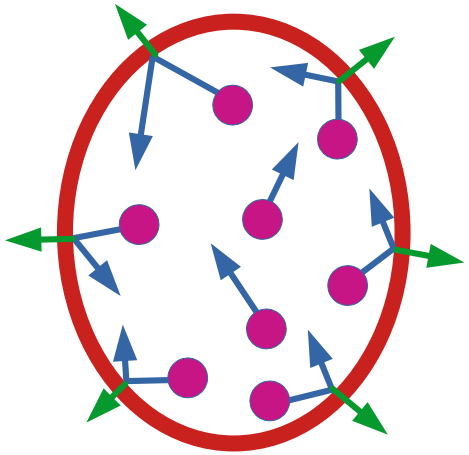


Résumé des épisodes précédents

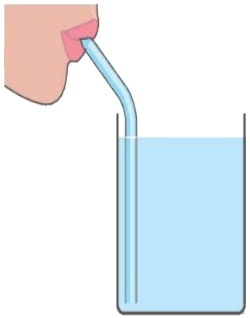
La pression

Le concept de Pression

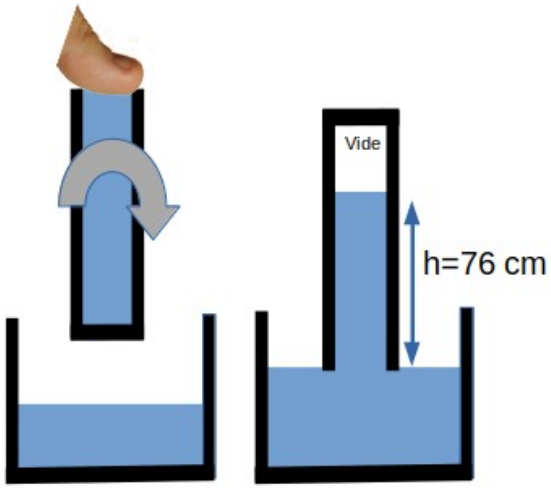
Densité superficielle des **forces** dues au choc des molécules sur la paroi du récipient qui les contient



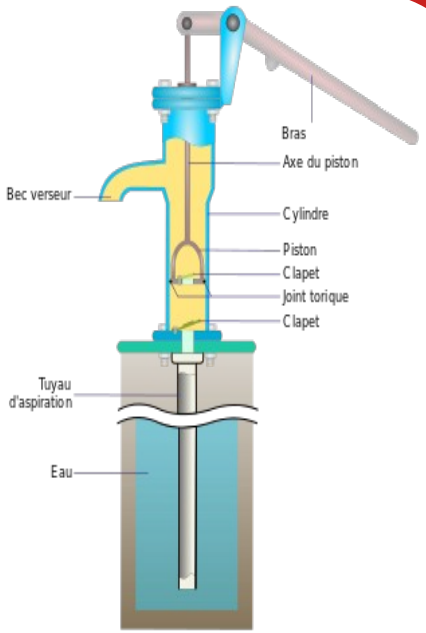
Expérience du quotidien



L'expérience de Torricelli



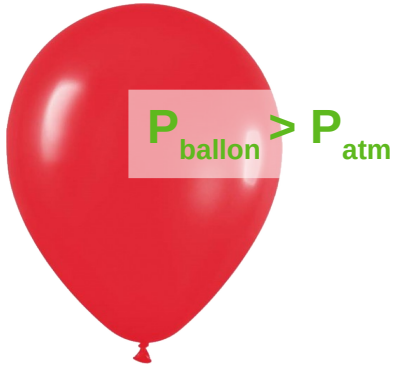
La pompe

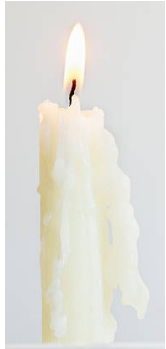


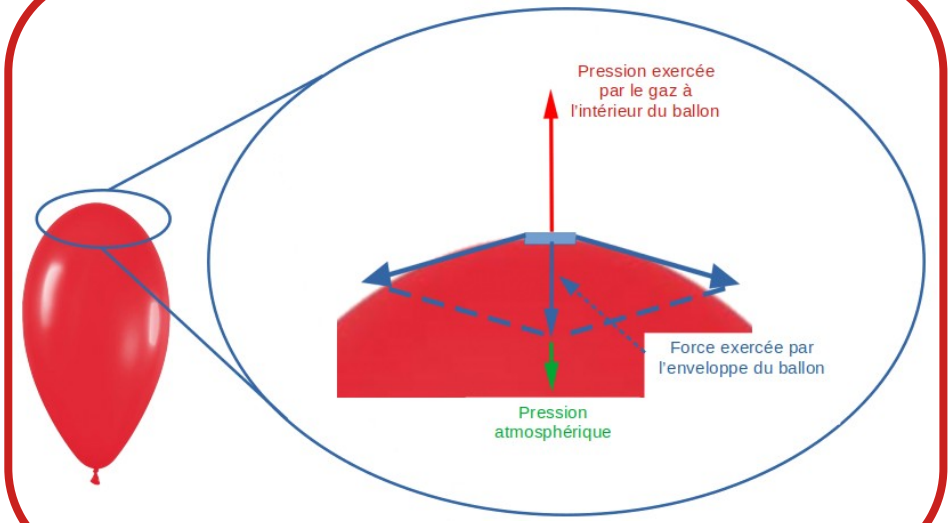
Résumé des épisodes précédents

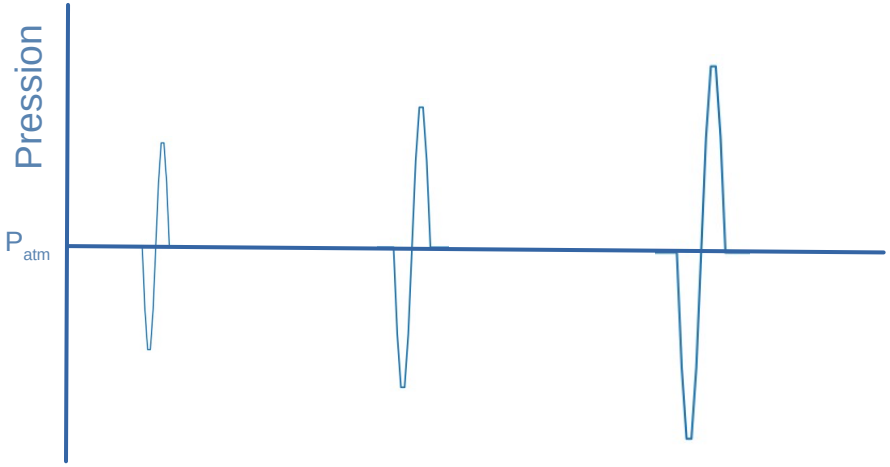
Le son du ballon qui éclate

Expérience d'amphi





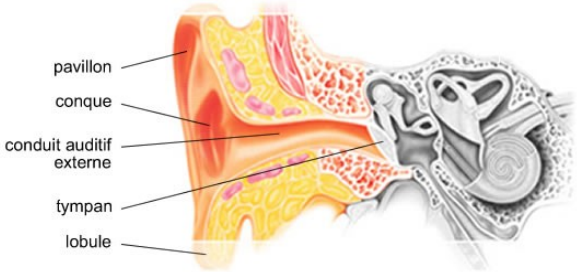


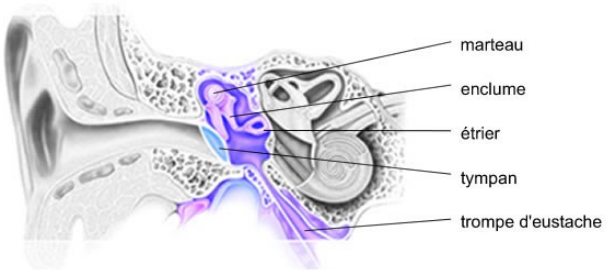


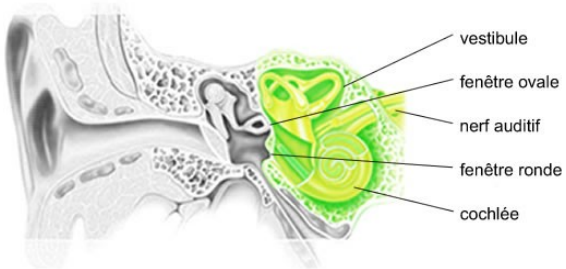
Résumé des épisodes précédents

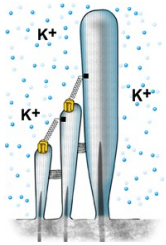
Mécanismes impliqués dans notre perception du son

L'oreille

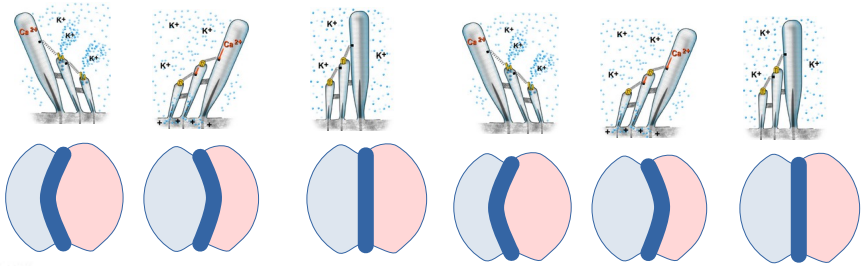






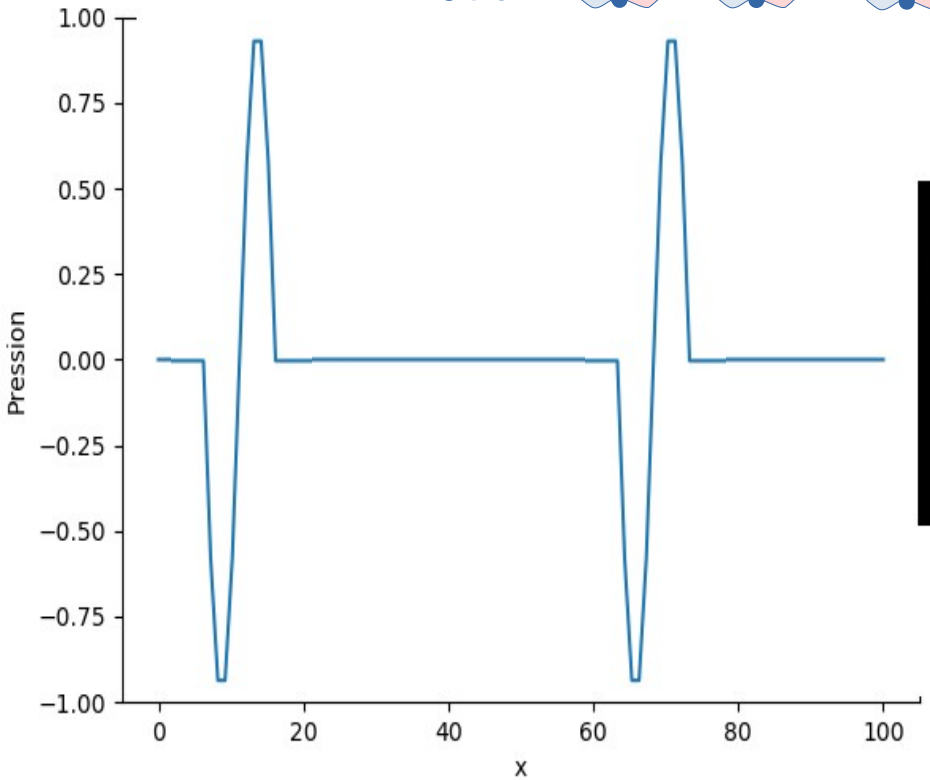


Perception de deux sons brefs



Cil

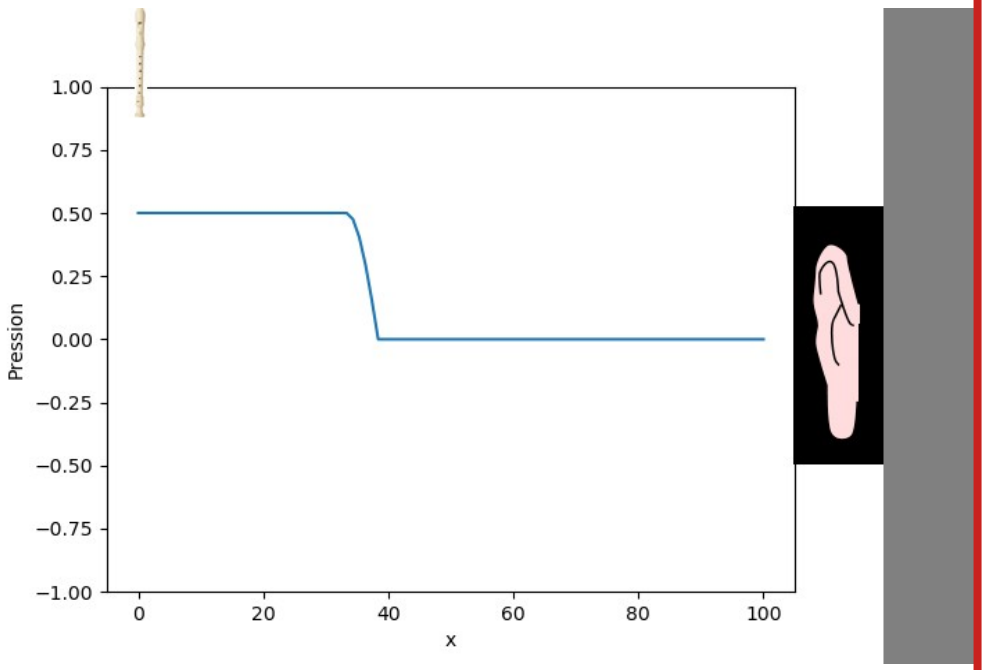
Tympan



Résumé des épisodes précédents

Perception des sons de longue durée

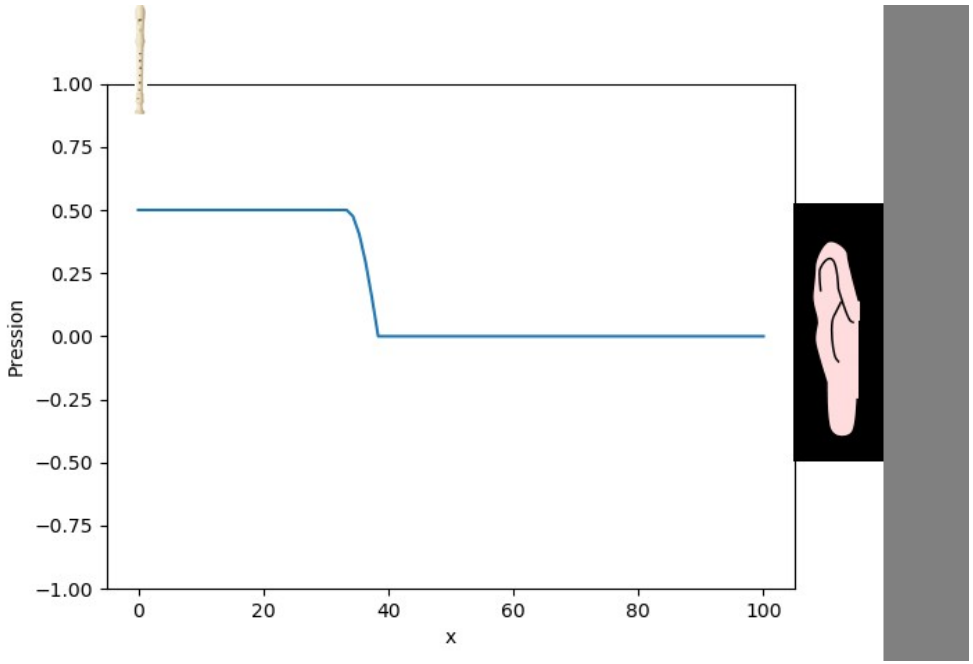
Hypothèse 1



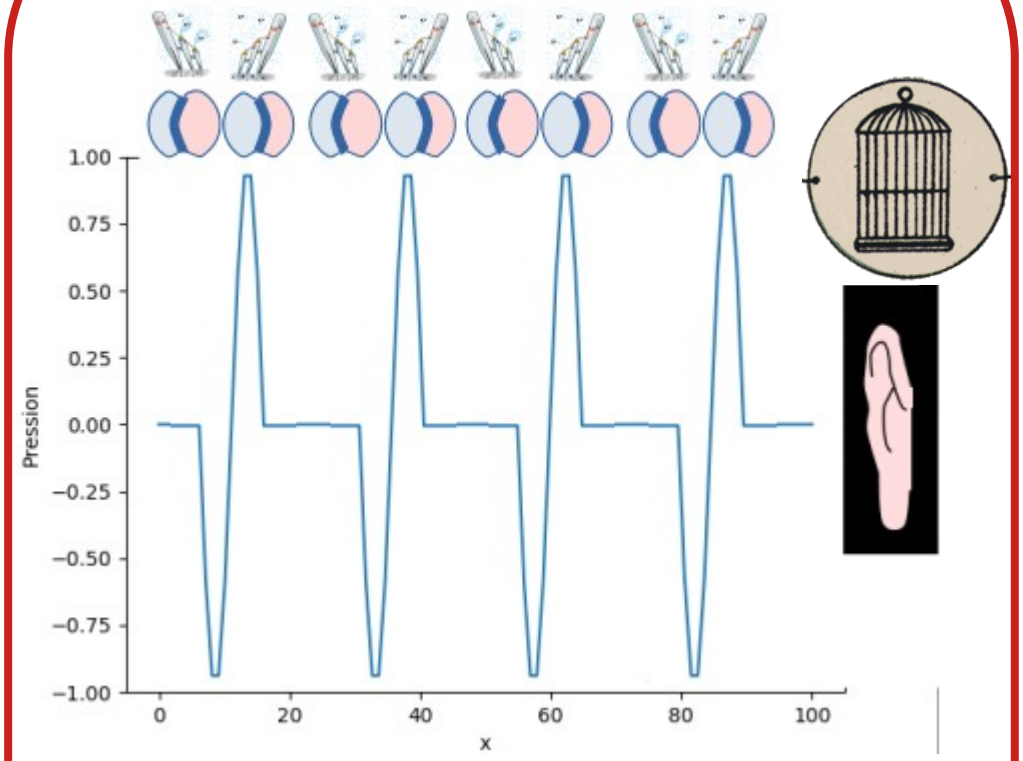
Résumé des épisodes précédents

Perception des sons de longue durée

Hypothèse 1

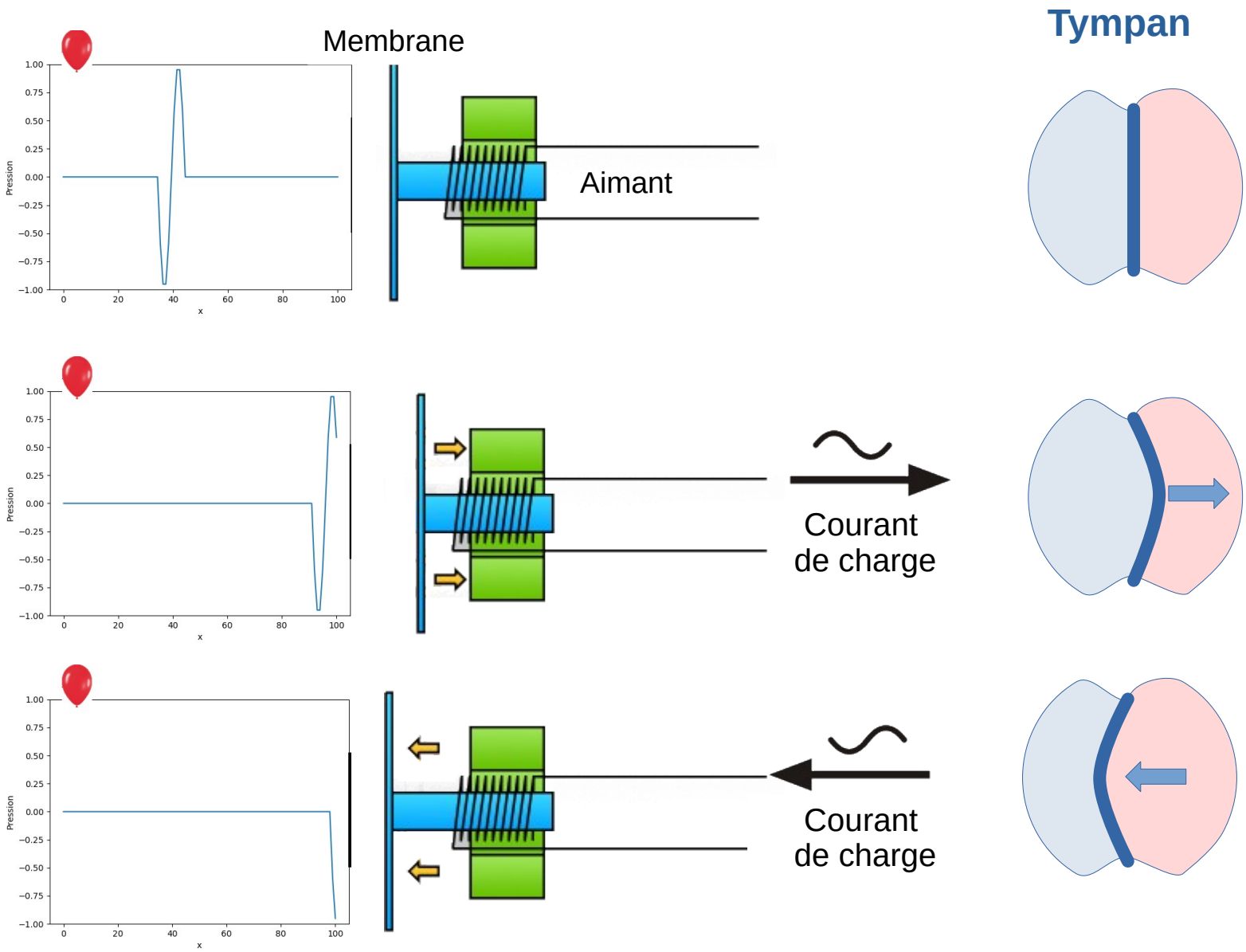


Hypothèse 2



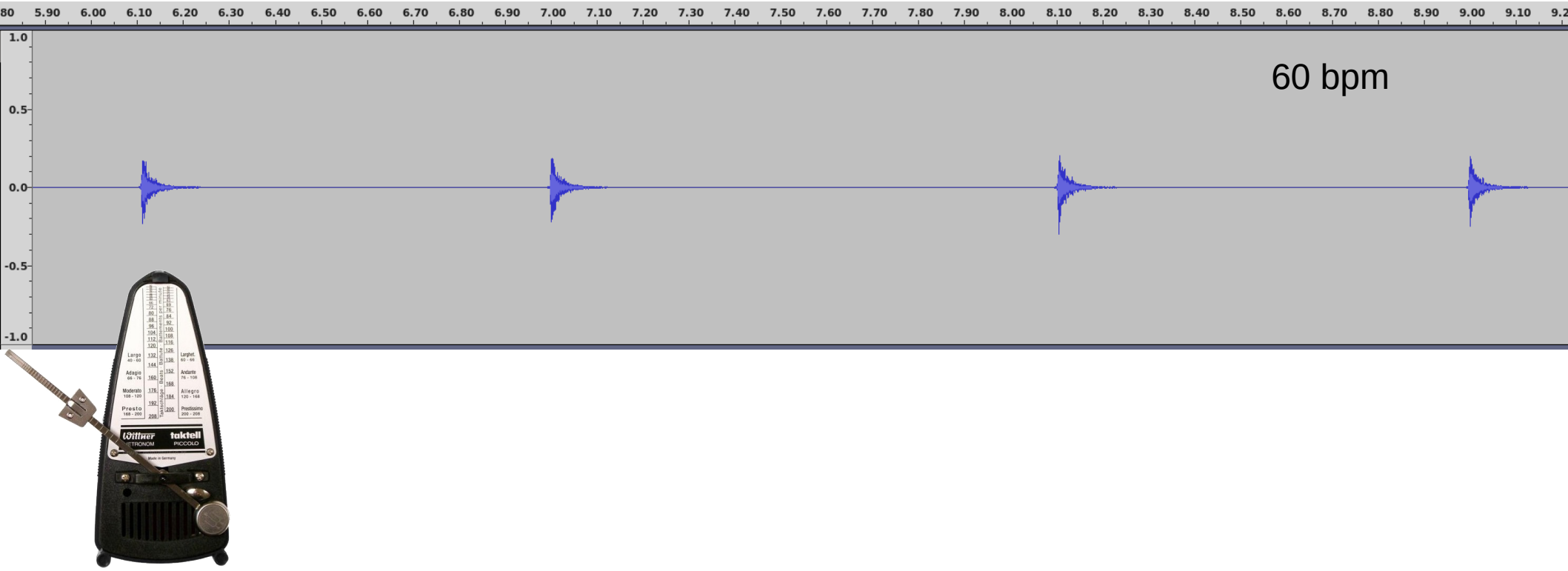
Résumé des épisodes précédents

Principe de la détection du mouvement d'une membrane



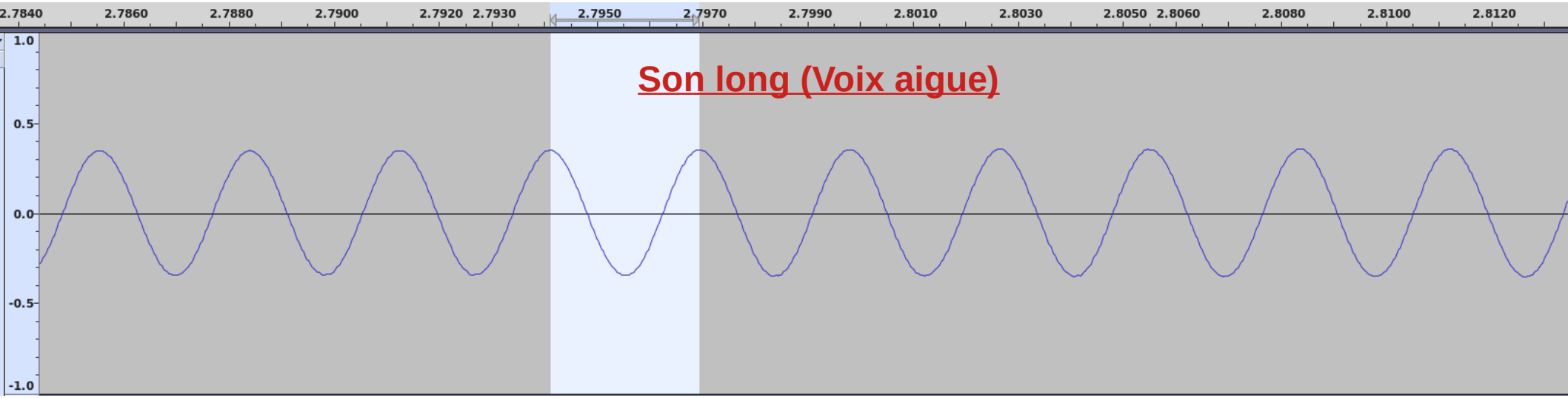
Résumé des épisodes précédents

Détection d’un son bref



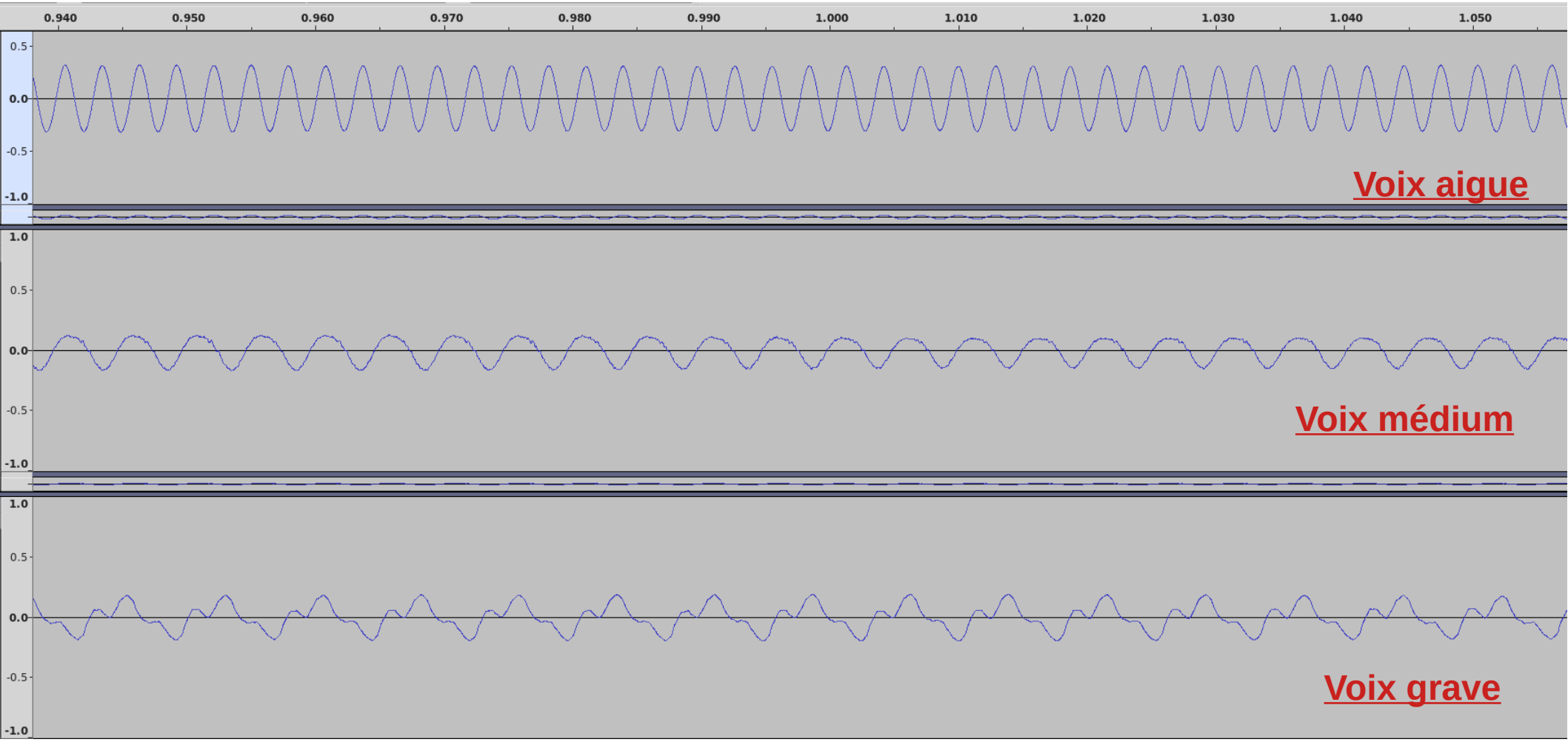
Résumé des épisodes précédents

Détection d'un son bref



Résumé des épisodes précédents

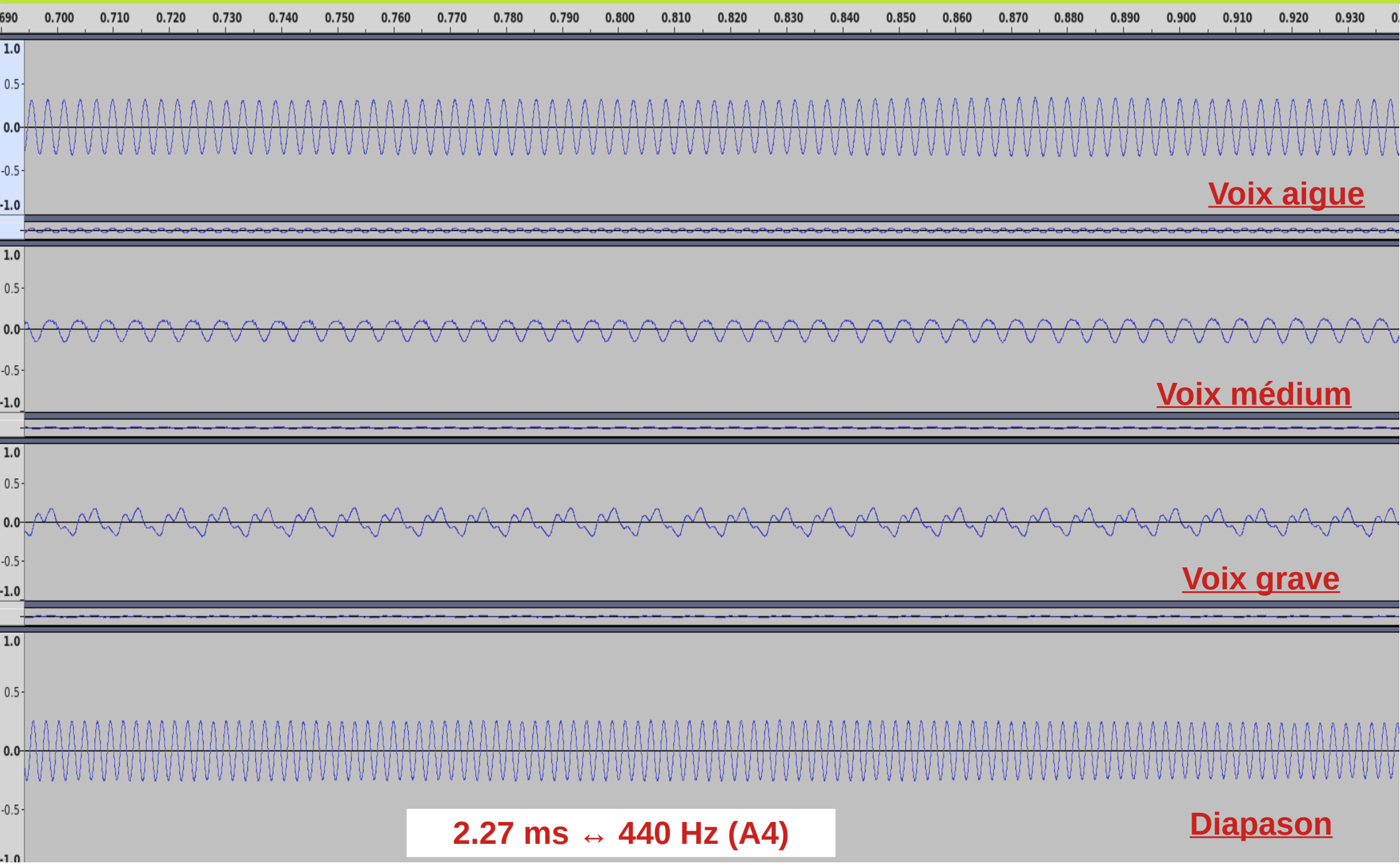
Hauteur d’un son



<u>Signification physique de la hauteur d’un son</u> : Le son paraît d’autant plus grave que l’intervalle de temps entre deux pulses successifs est long

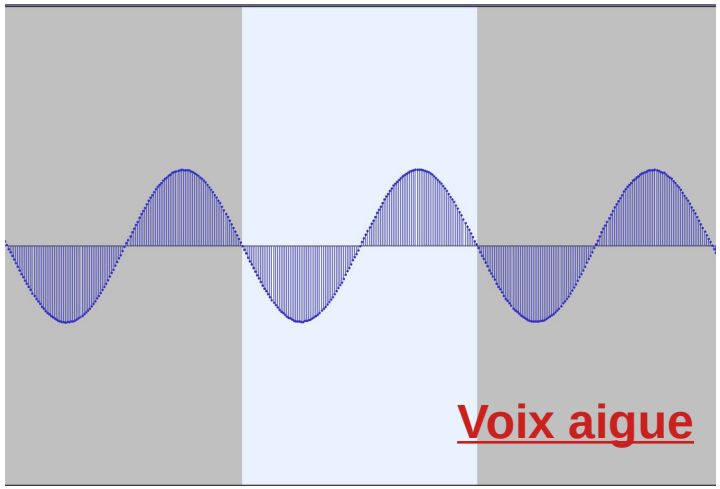
Résumé des épisodes précédents

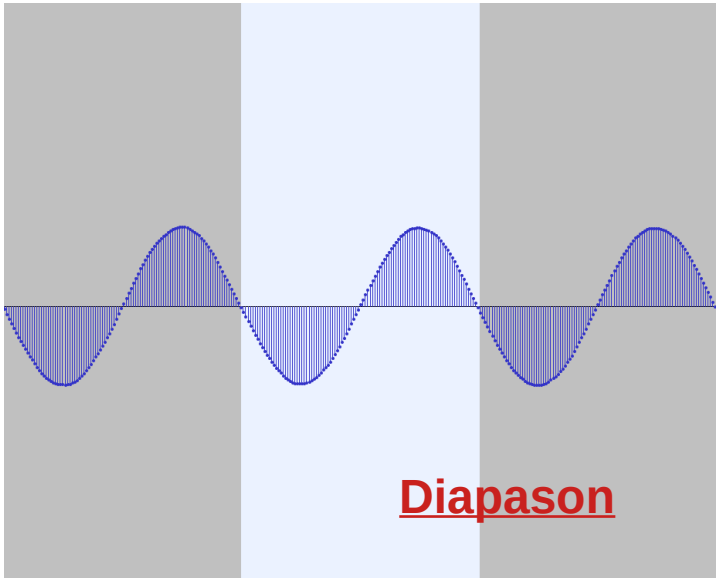
Hauteur d'un son

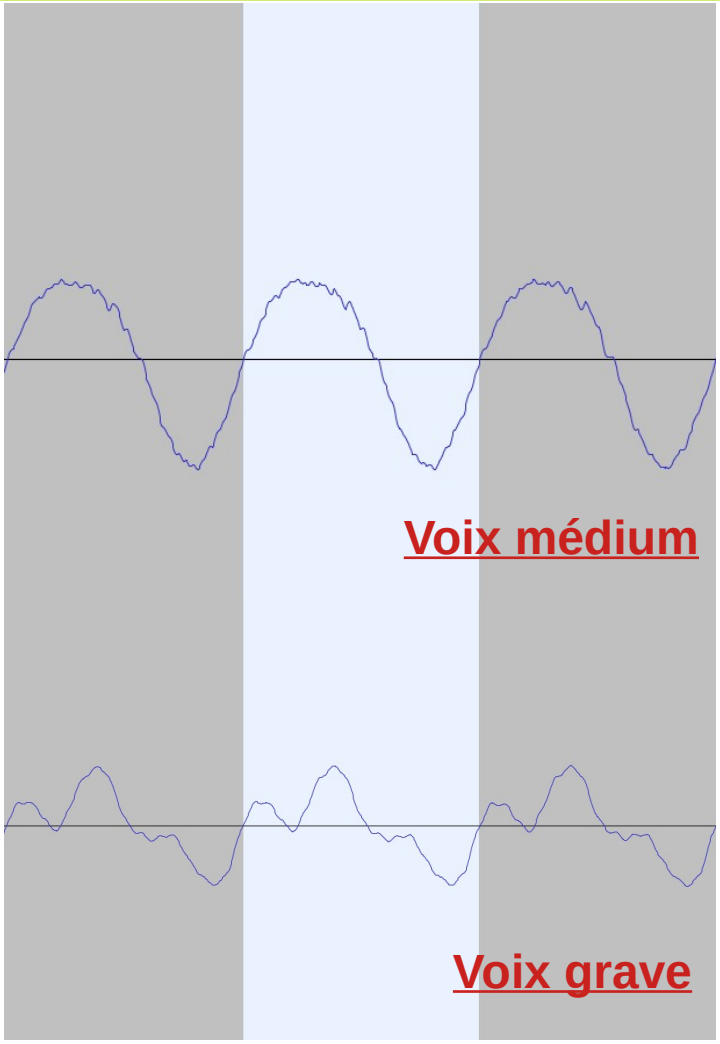


Résumé des épisodes précédents

Hauteur d'un son



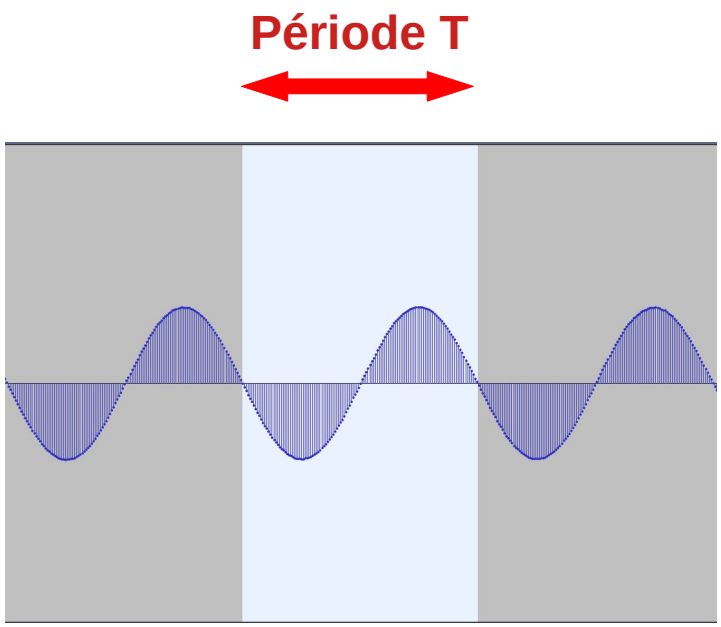


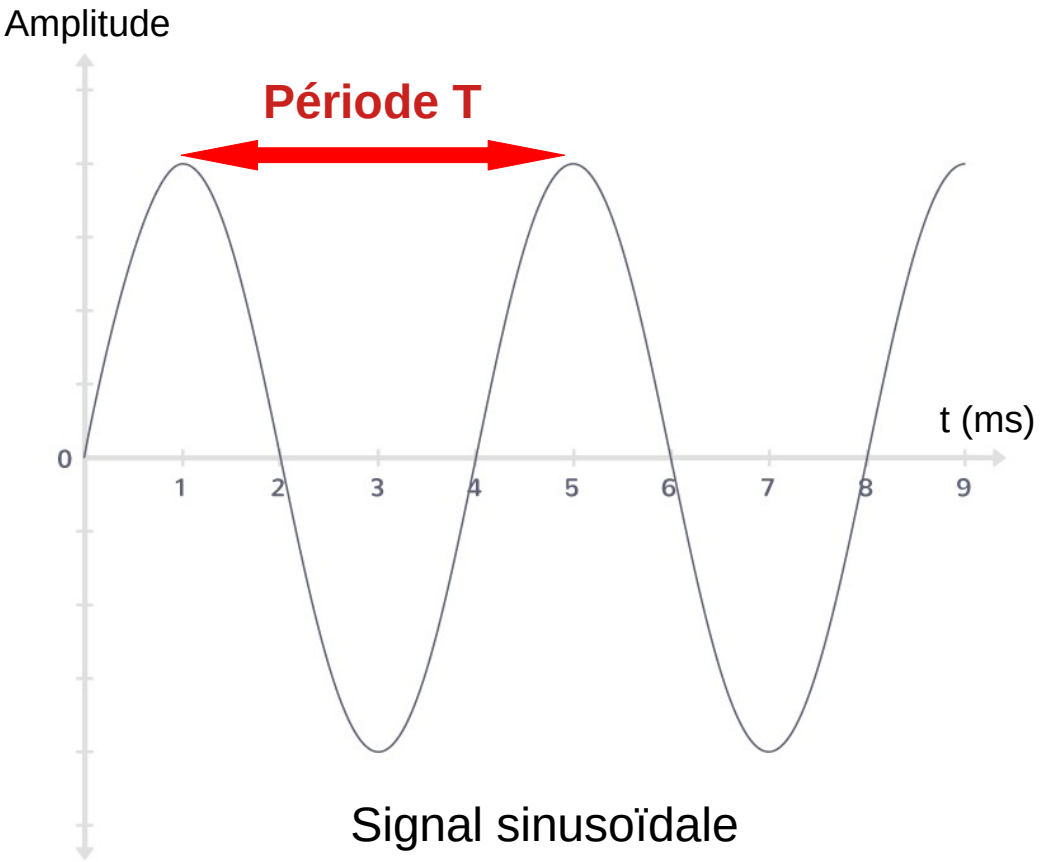


Du son à la note

Son pur

- Signal sonore émis par un diapason = la forme sinusoïdale
- C'est une forme bien connue mathématiquement depuis des siècles
- Elle est caractérisée par la répétition périodique d'un même motif → **Période**
- un signal sonore ayant la forme d'une sinusoïde est dit **pur** → Le son émis par un diapason est un son pur





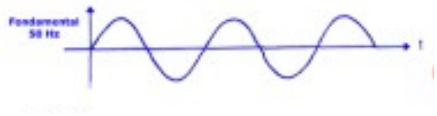
Signal sinusoïdale

Du son à la note

Décomposition de Fourier & Son composé

- Un son composé est un son contenant plusieurs sons purs de fréquences & d’amplitudes différentes

Son pur 50 Hz

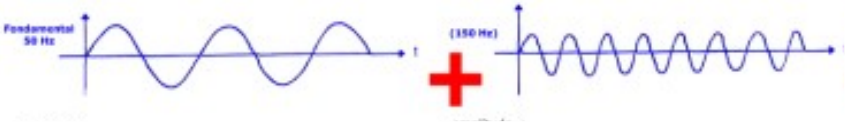


Du son à la note

Décomposition de Fourier & Son composé

- Un son composé est un son contenant plusieurs sons purs de fréquences & d'amplitudes différentes

Son pur 50 Hz **Son pur 150 Hz**



Du son à la note

Décomposition de Fourier & Son composé

- Un son composé est un son contenant plusieurs sons purs de fréquences & d'amplitudes différentes

Son pur 50 Hz **Son pur 150 Hz** **Son pur 250 Hz**

Du son à la note

Décomposition de Fourier & Son composé

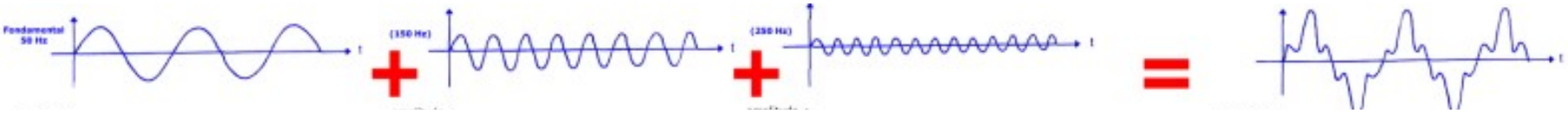
- Un son composé est un son contenant plusieurs sons purs de fréquences & d'amplitudes différentes

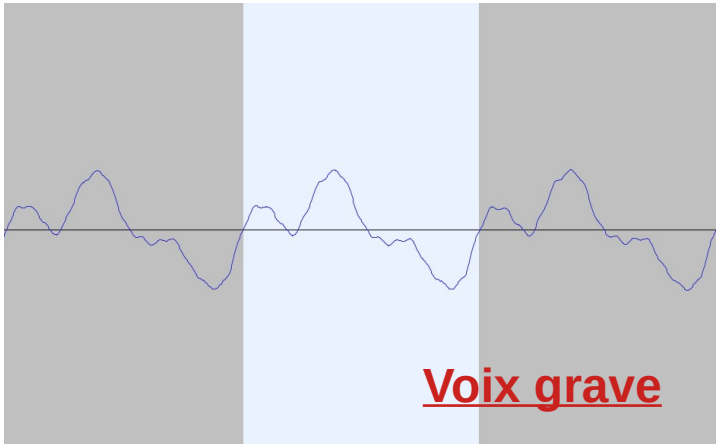
Du son à la note

Décomposition de Fourier & Son composé

- Un son composé est un son contenant plusieurs sons purs de fréquences & d'amplitudes différentes

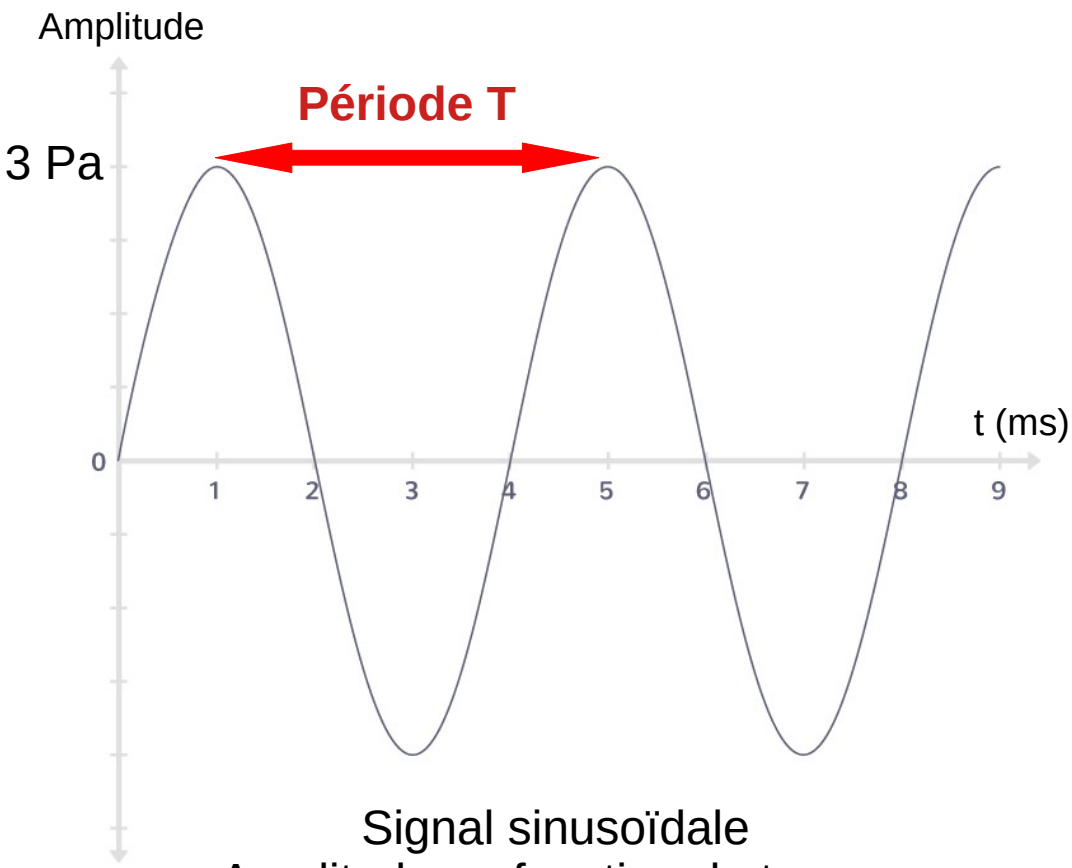
Son pur 50 Hz **Son pur 150 Hz** **Son pur 250 Hz** **Son composé**





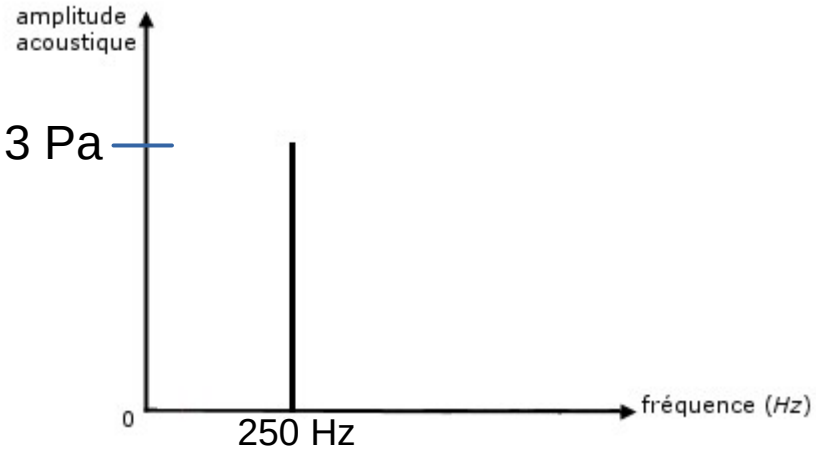
Du son à la note

Représentation spectrale



Signal sinusoïdale
Amplitude en fonction du temps

La **fréquence** correspond au nombre de période(s)/seconde que l'on trouve dans le signal



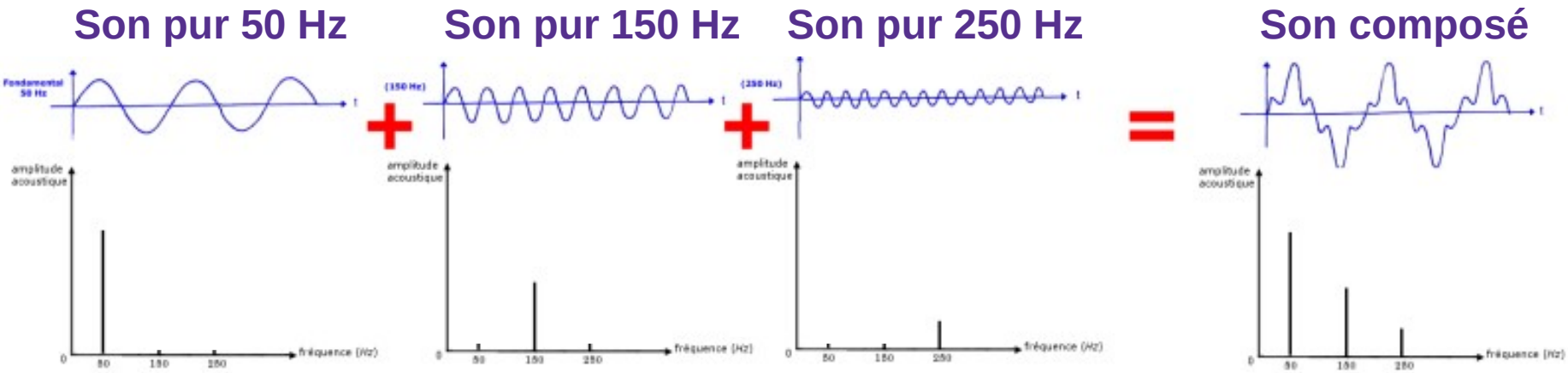
Spectre d'un son pur
Amplitude en fonction de la fréquence

Un son pur n'est composé que d'une seule sinusoïde et donc d'une seule fréquence

Du son à la note

Décomposition de Fourier & Son composé

- Un son composé est un son contenant plusieurs sons purs de fréquences & d'amplitudes différentes

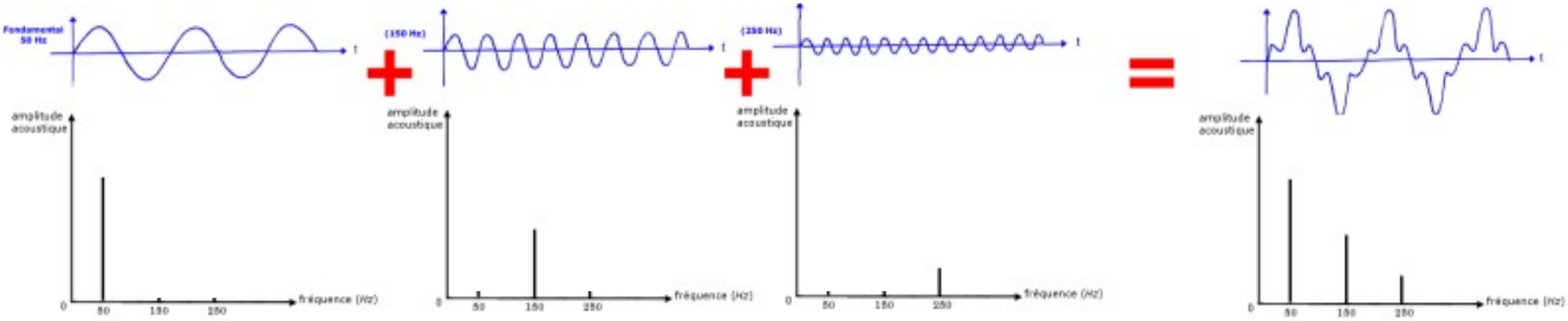


Du son à la note

Décomposition de Fourier & Son composé

- Un son composé est un son contenant plusieurs sons purs de fréquences & d'amplitudes différentes

Son pur 50 Hz **Son pur 150 Hz** **Son pur 250 Hz** **Son composé**



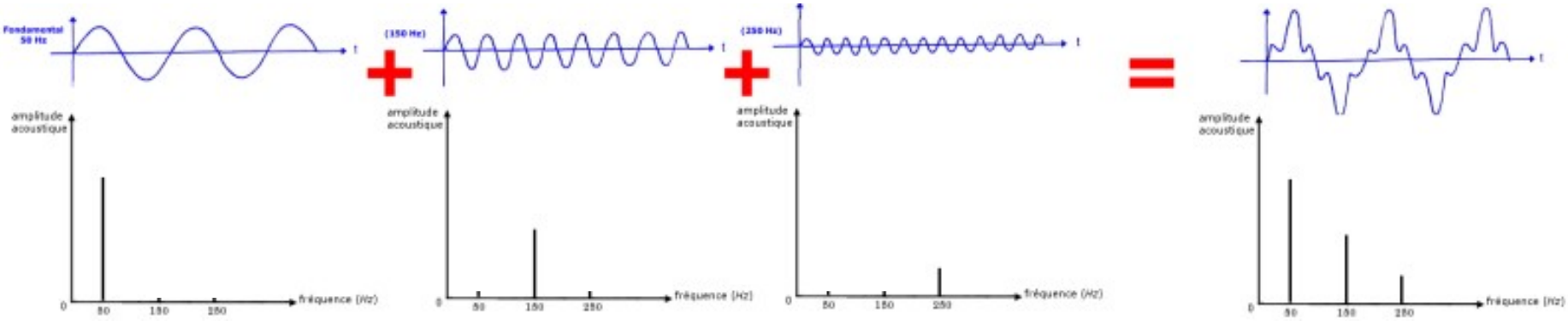
J. Fourier
(1768-1830)

Du son à la note

Décomposition de Fourier & Son composé

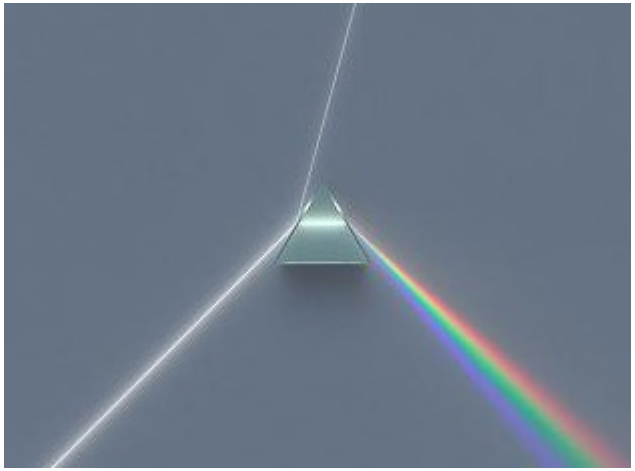
- Un son composé est un son contenant plusieurs sons purs de fréquences & d'amplitudes différentes

Son pur 50 Hz **Son pur 150 Hz** **Son pur 250 Hz** **Son composé**

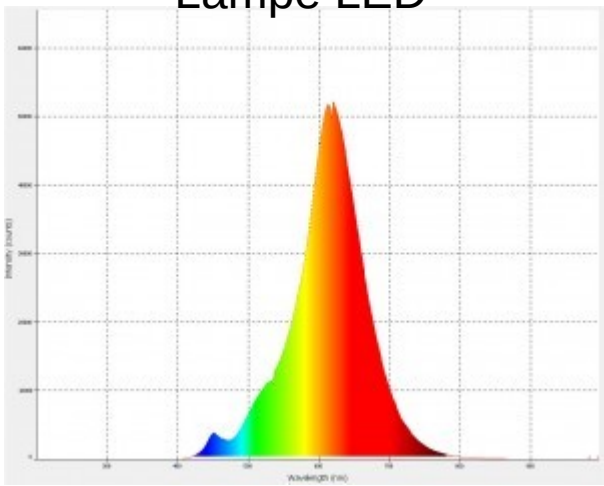


J. Fourier
(1768-1830)

Décomposition spectrale de la lumière

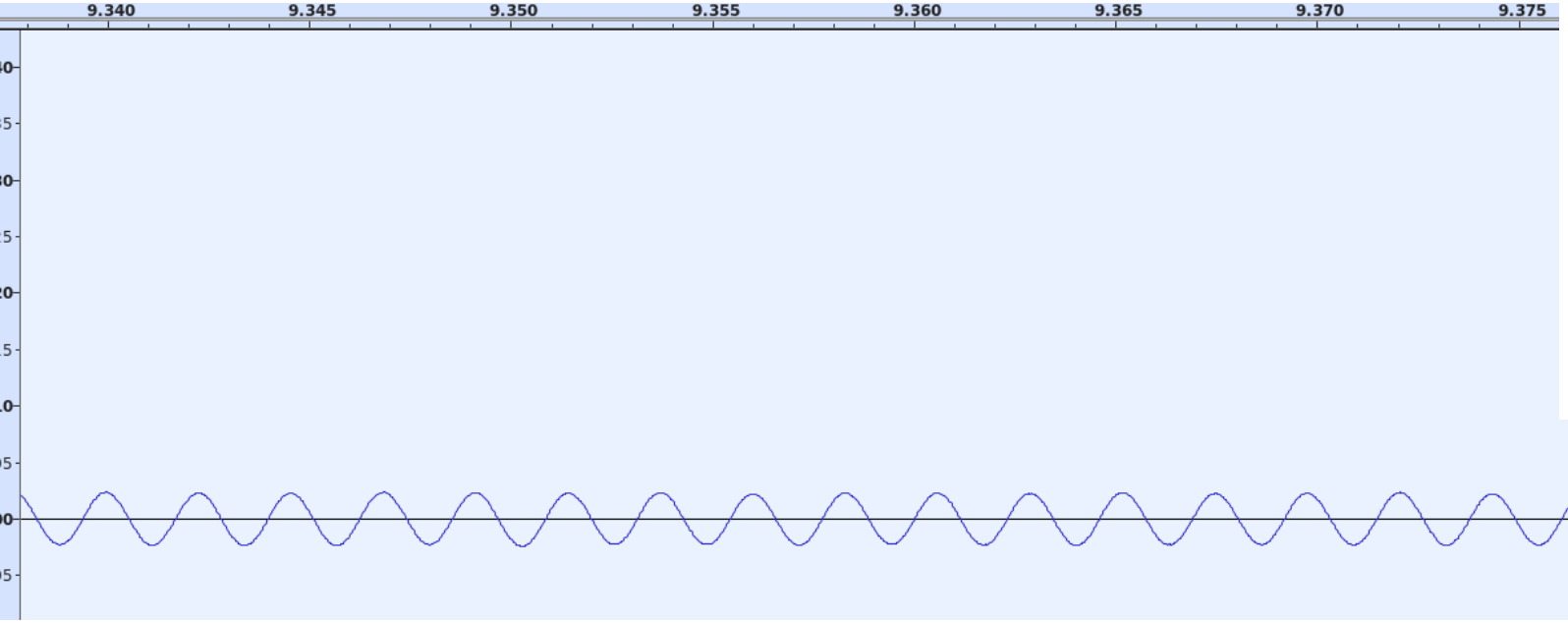


Lampe LED



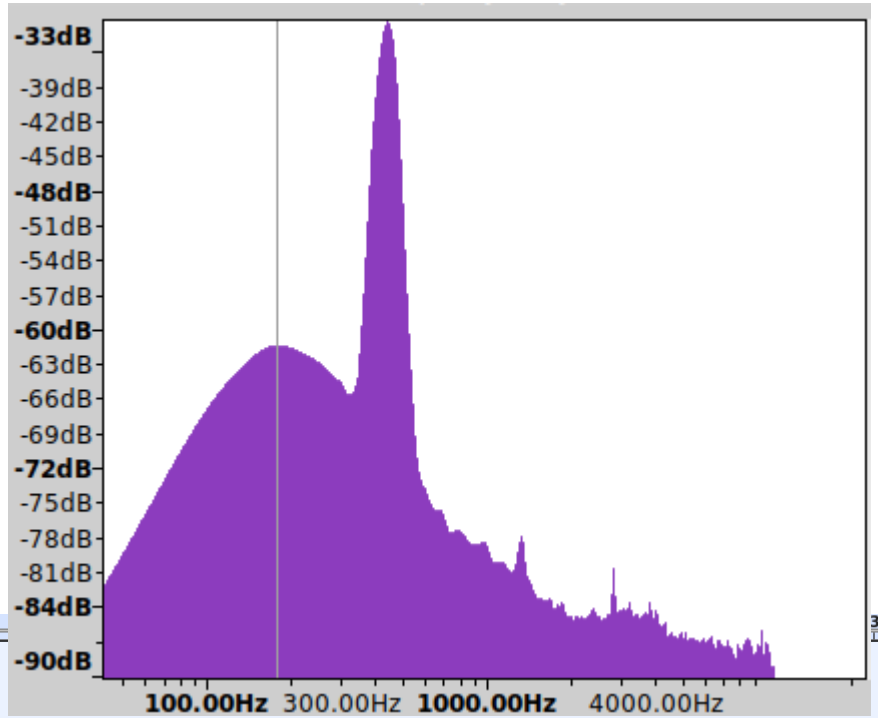
Du son à la note

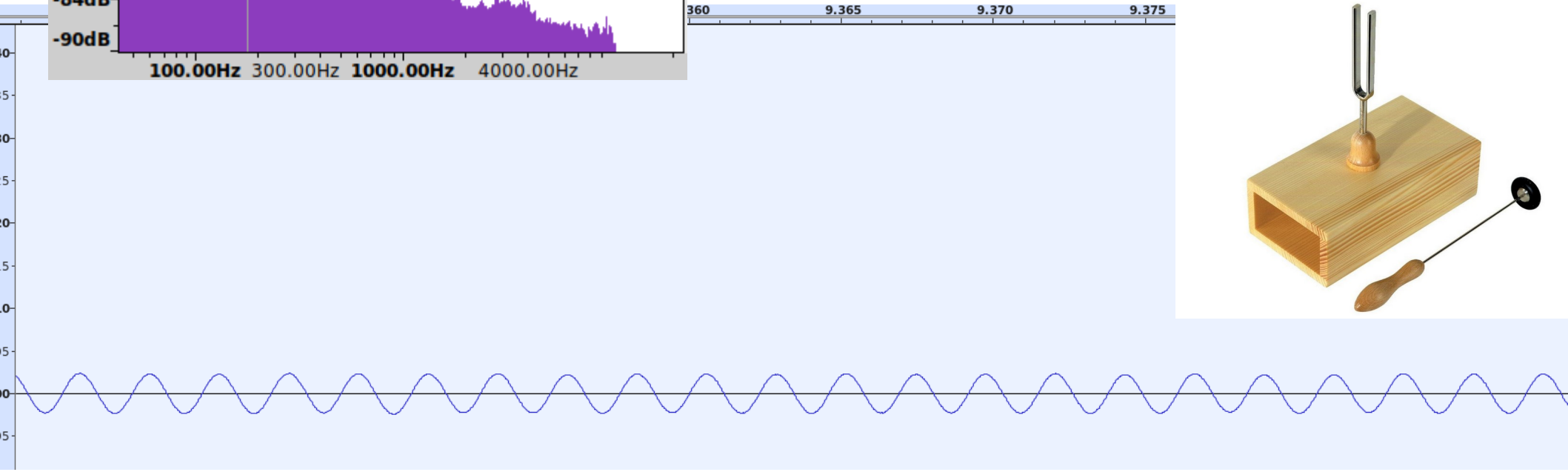
Représentation spectrale du diapason



Du son à la note

Représentation spectrale du diapason

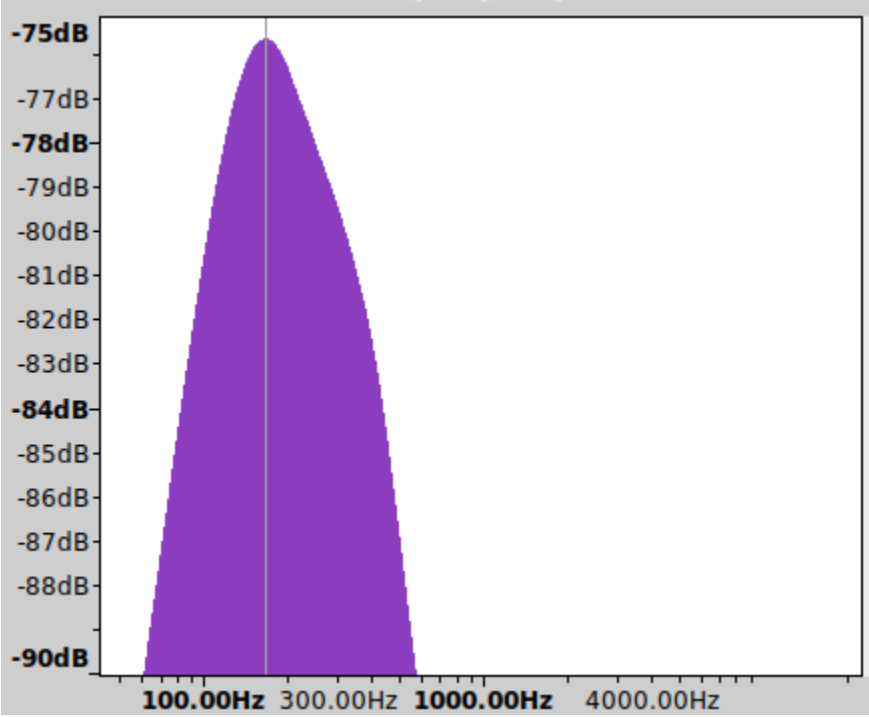




Du son à la note

Représentation spectrale du diapason

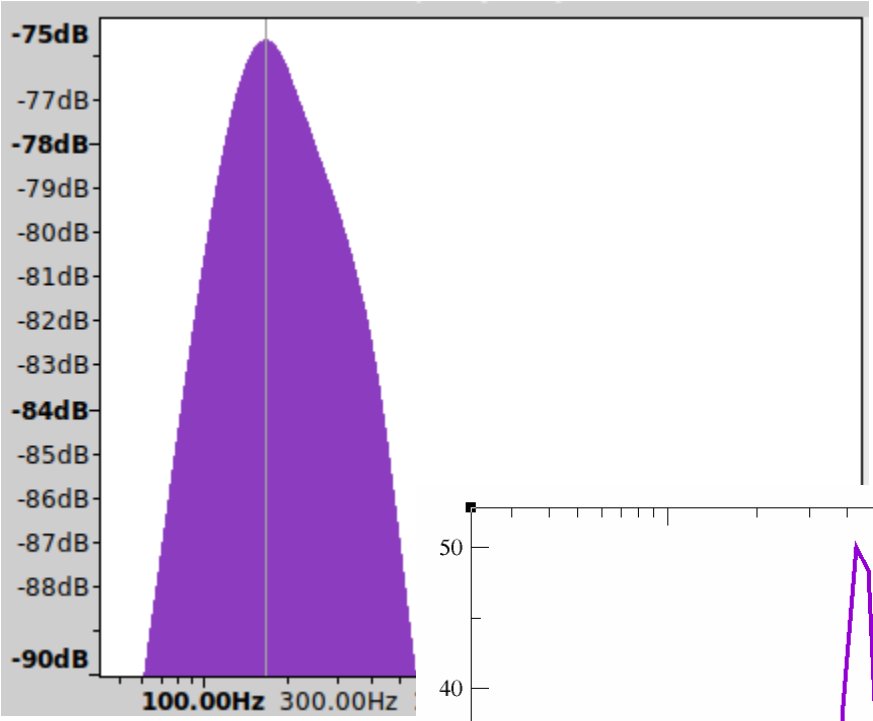
Représentation spectrale du “silence”



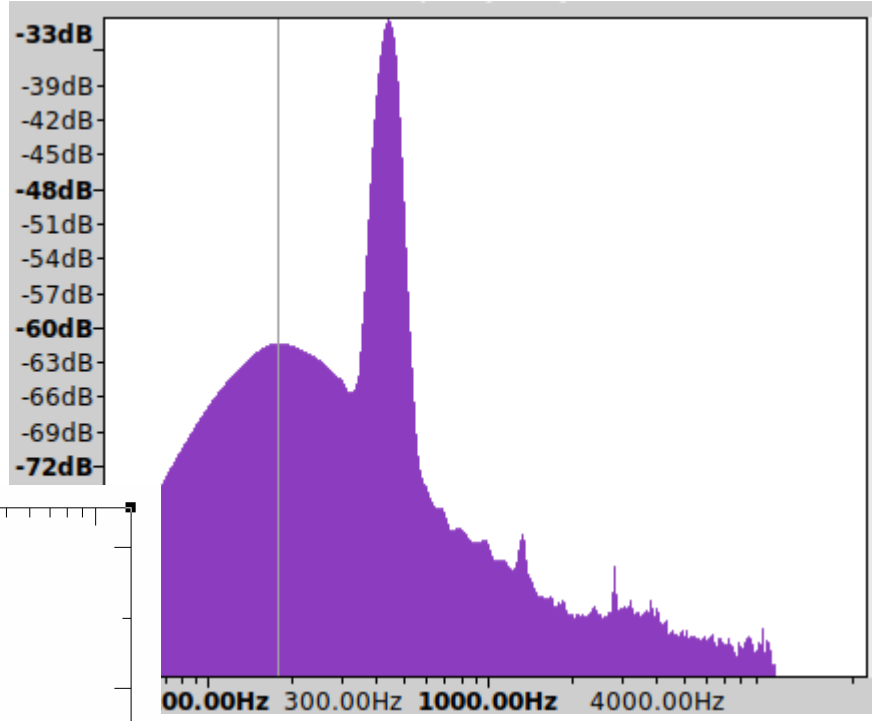
Du son à la note

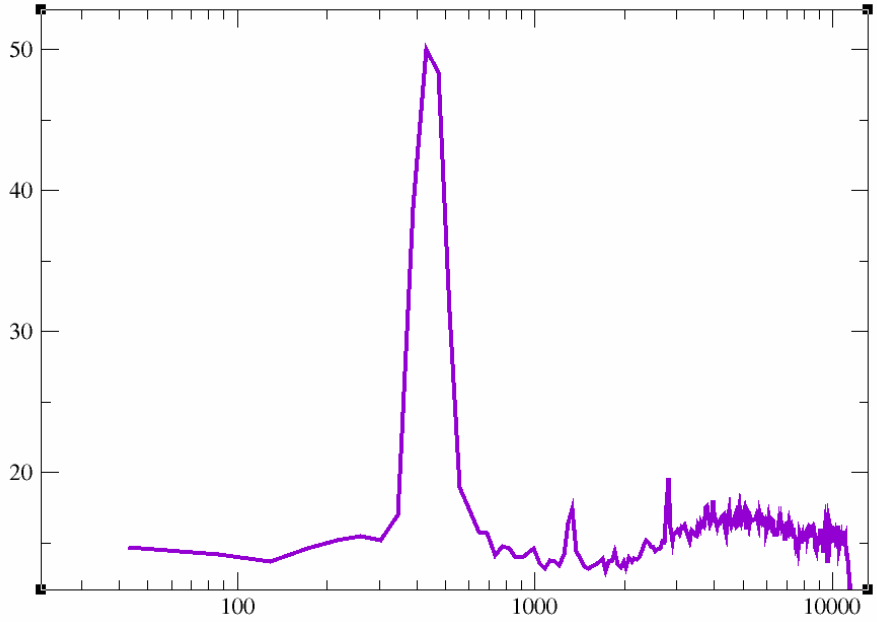
Représentation spectrale du diapason

Représentation spectrale du “silence”



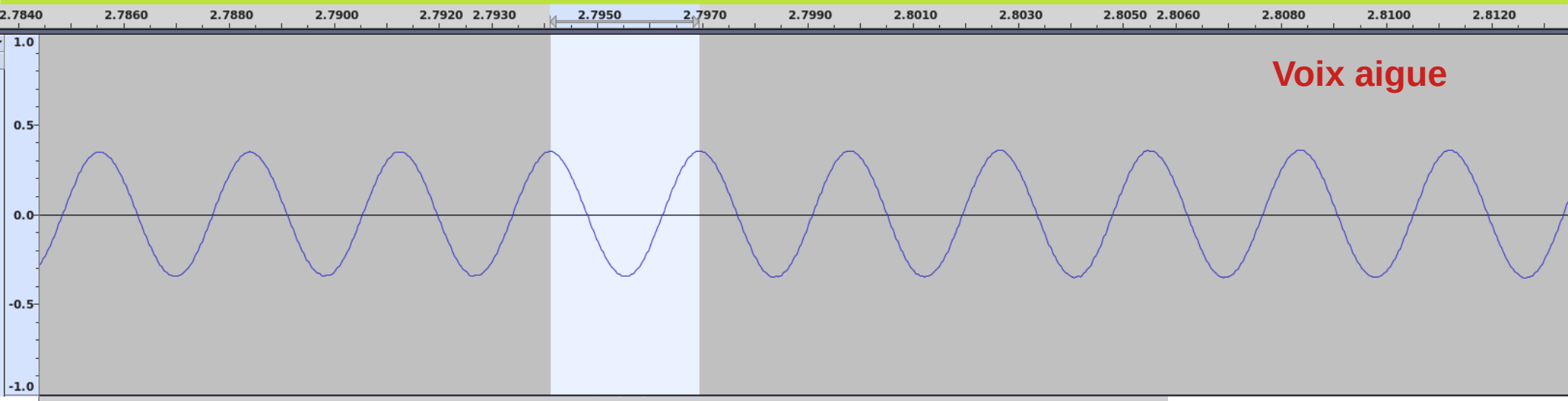
Représentation spectrale du diapason

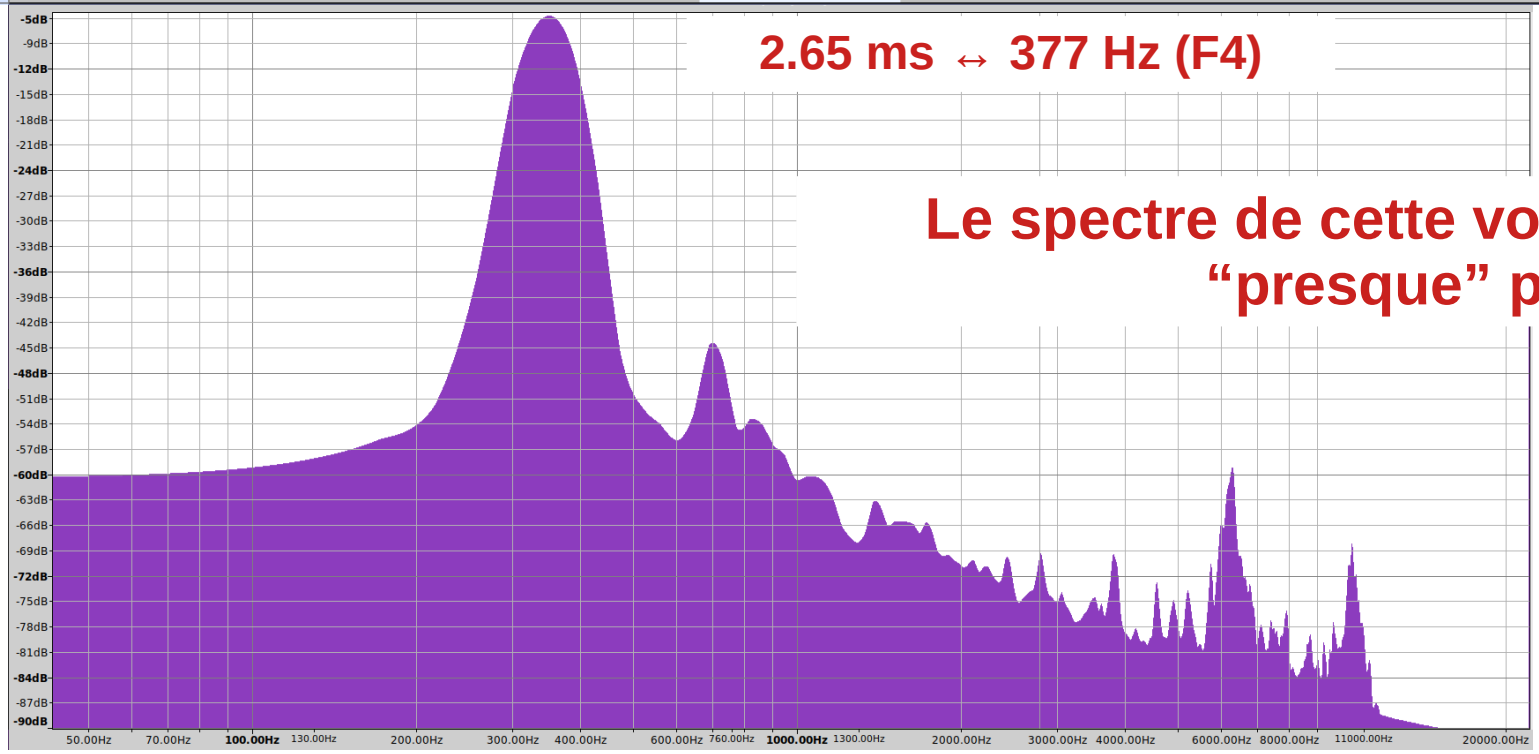




Du son à la note

Voir notre voix

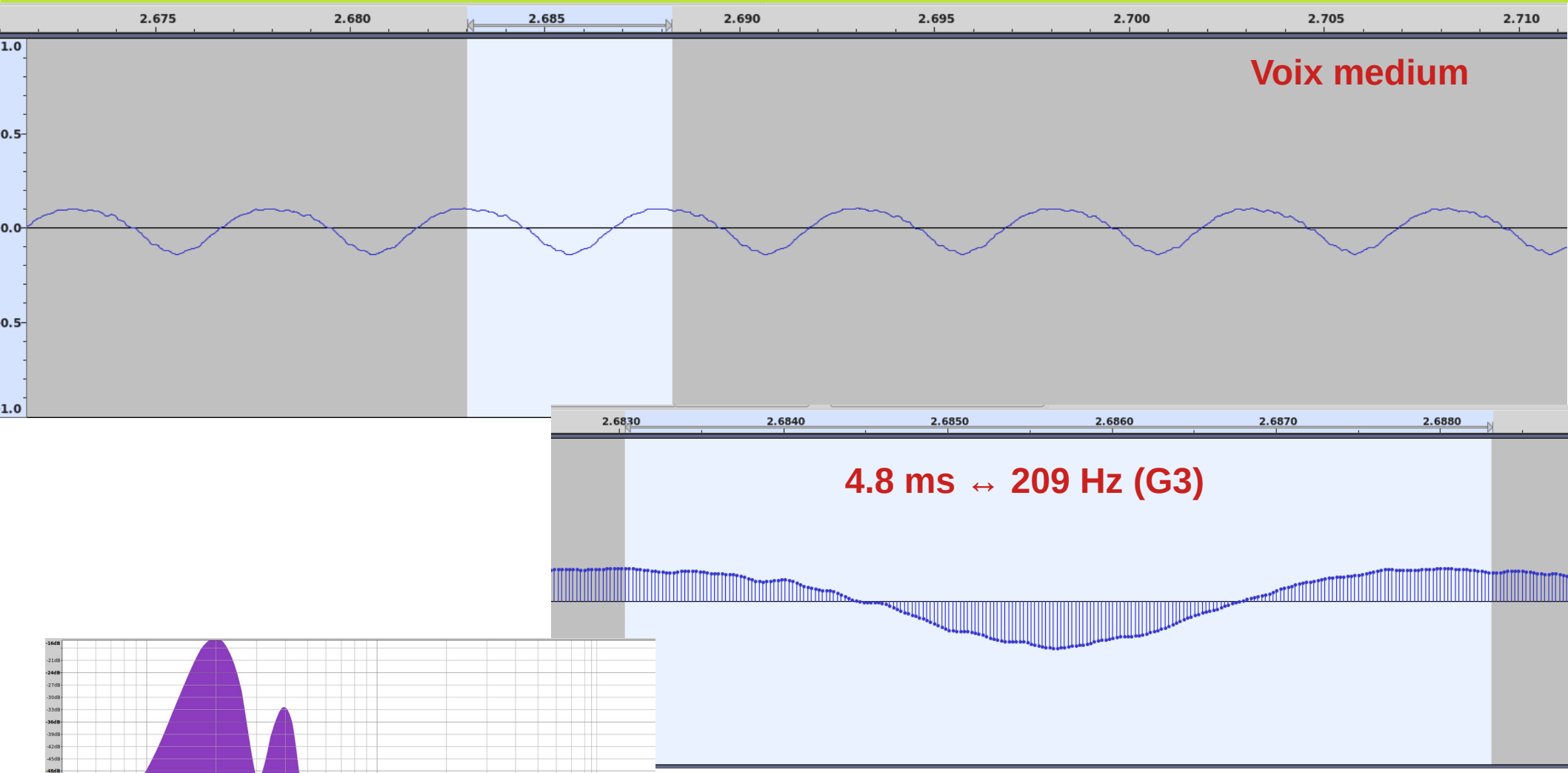


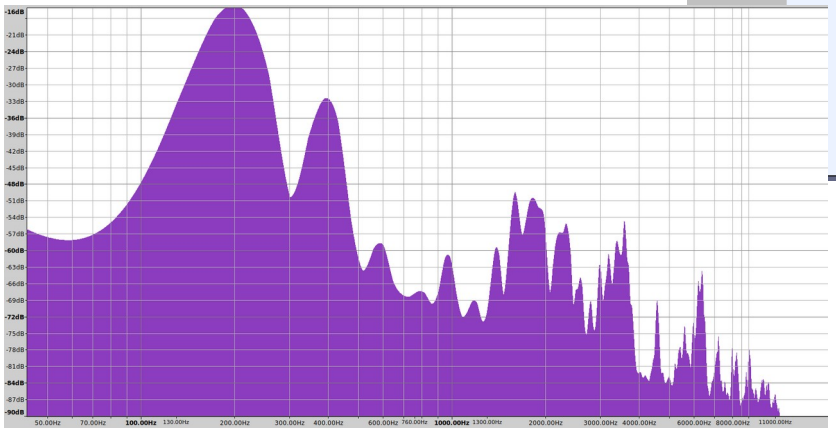


Le spectre de cette voix est un son “presque” pur

Du son à la note

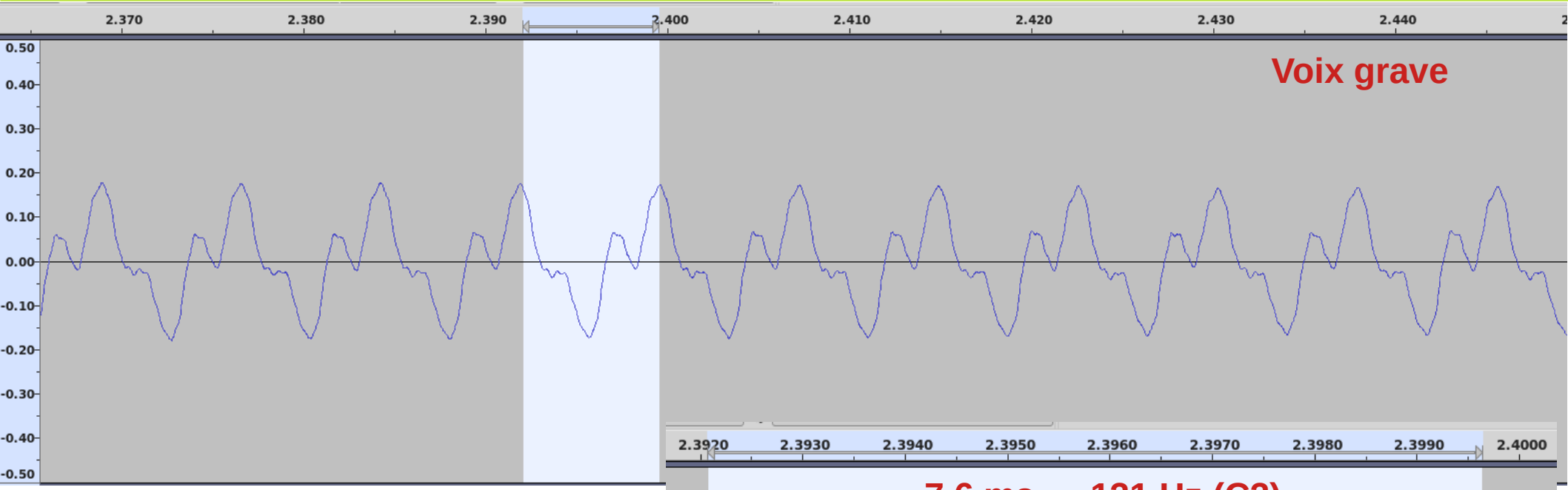
Voir notre voix

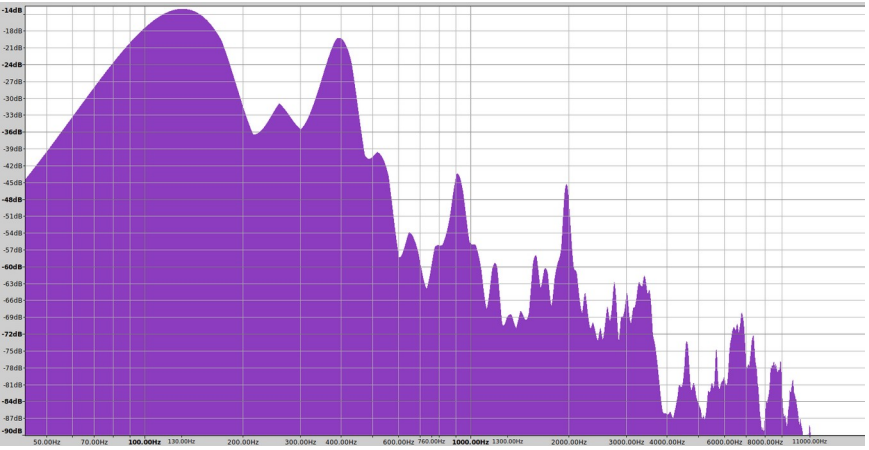


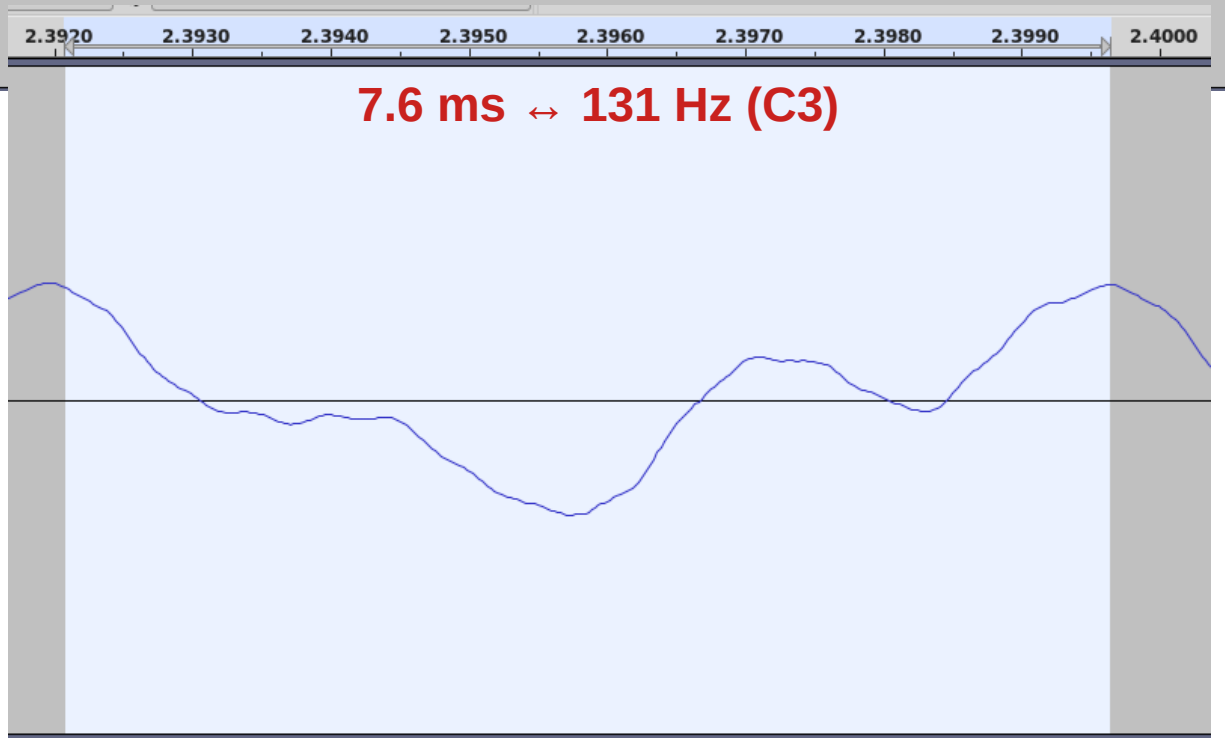


Du son à la note

Voir notre voix

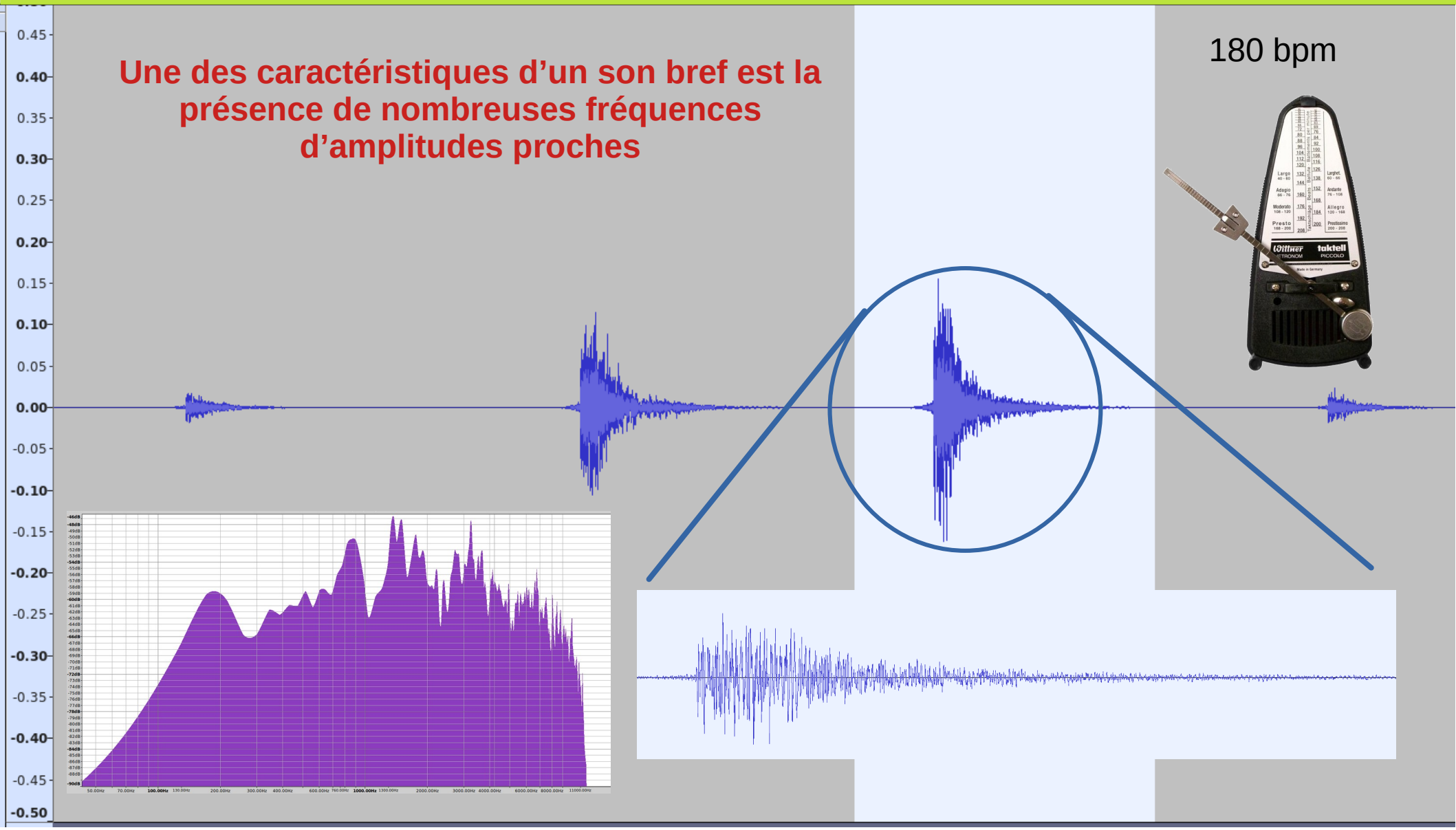






Du son à la note

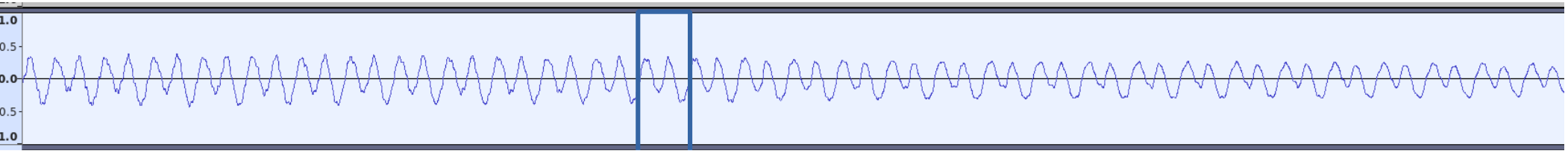
Voir le son du métronome



Du son à la note

Voir le son de la harpe (G3)

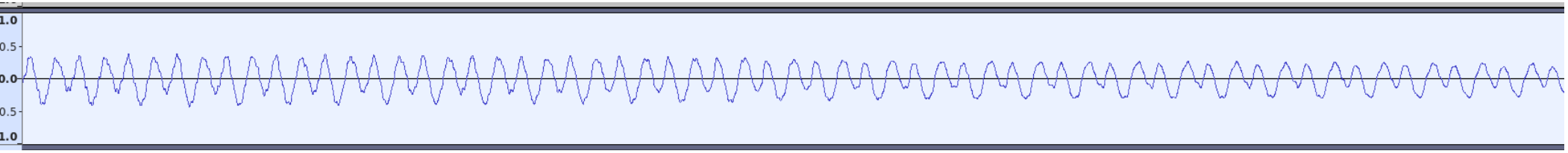
Représentation temporelle



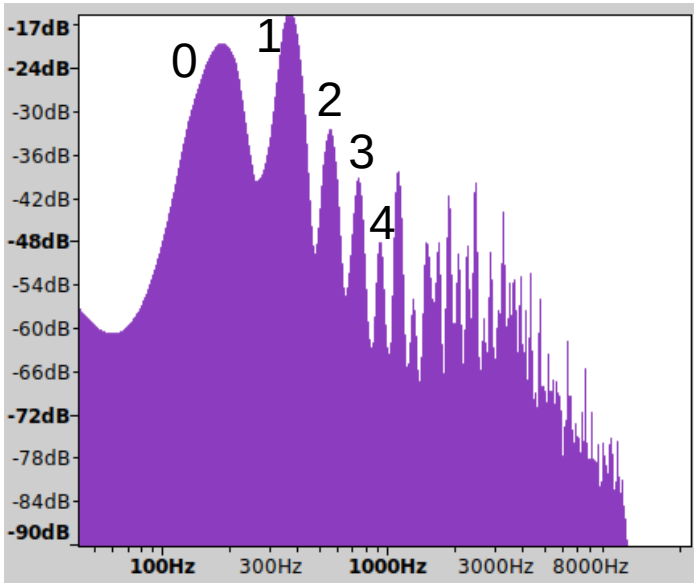
Du son à la note

Voir le son de la harpe (G)

Représentation temporelle



Représentation spectrale

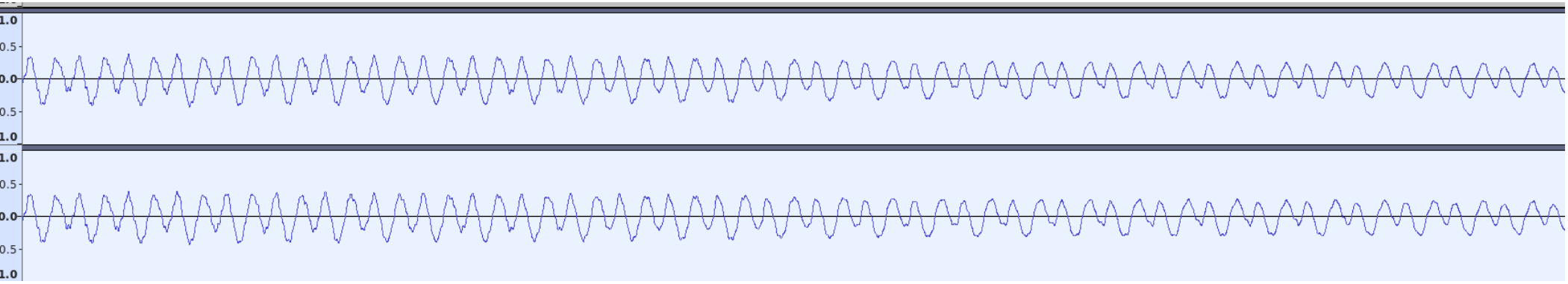


Index n	Pic	
0	185 Hz	
1	369 Hz	
2	553 Hz	
3	741 Hz	
4	925 Hz	

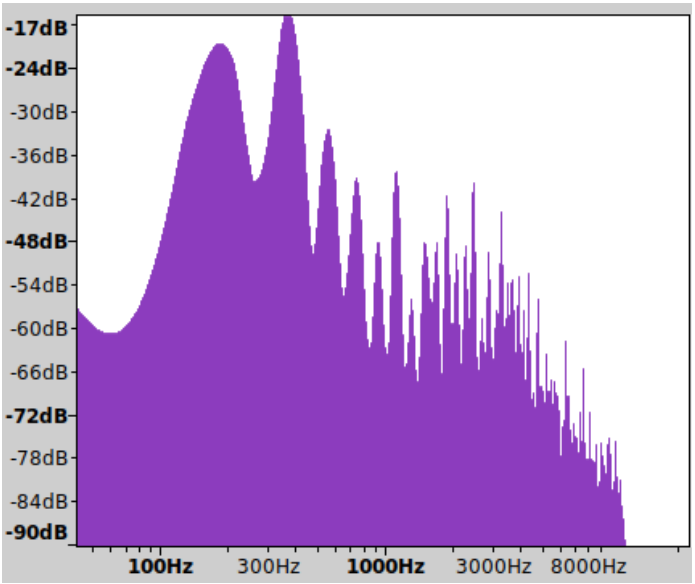
Du son à la note

Voir le son de la harpe (G)

Représentation temporelle



Représentation spectrale

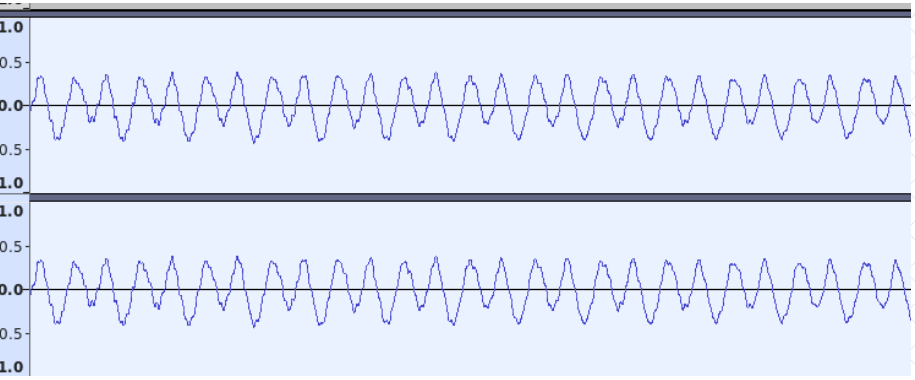


Index n	Pic	f_n/f_0
0	f_0=185 Hz	1
1	f_1=369 Hz	1.99
2	f_2=553 Hz	2.99
3	f_3=741 Hz	4.00
4	f_4=925 Hz	5.00

Du son à la note

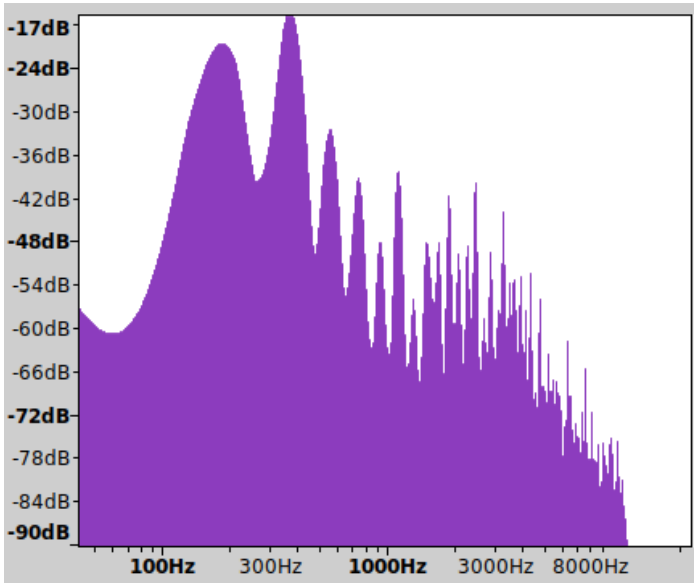
Voir le son de la harpe (G)

Représentation temporelle



	octave	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NOTES												
Do	C	16.3 Hz	32.7 Hz	65 Hz	131 Hz	262 Hz	523 Hz	1 046.5 Hz	2 093 Hz	4 186 Hz	8 372 Hz	16 744 Hz
Do diese ou Re bemol	C# / Db	17.3 Hz	34.6 Hz	69 Hz	139 Hz	277 Hz	554 Hz	1 109 Hz	2 217 Hz	4 435 Hz	8 870 Hz	17 740 Hz
Re	D	18.3 Hz	36.7 Hz	74 Hz	147 Hz	294 Hz	587 Hz	1 175 Hz	2 349 Hz	4 698 Hz	9 396 Hz	18 792 Hz
Re diese ou Mi bemol	D# / Eb	19.4 Hz	38.9 Hz	78 Hz	156 Hz	311 Hz	622 Hz	1 244.5 Hz	2 489 Hz	4 978 Hz	9 956 Hz	19 912 Hz
Mi	E	20.5 Hz	41.2 Hz	83 Hz	165 Hz	330 Hz	659 Hz	1 318.5 Hz	2 637 Hz	5 274 Hz	10 548 Hz	21 098 Hz
Fa	F	21.8 Hz	43.6 Hz	87 Hz	175 Hz	349 Hz	698.5 Hz	1 397 Hz	2 794 Hz	5 588 Hz	11 176 Hz	
Fa diese ou Sol bemol	F# / Gb	23.1 Hz	46.2 Hz	92.5 Hz	185 Hz	370 Hz	740 Hz	1 480 Hz	2 960 Hz	5 920 Hz	11 840 Hz	
Sol	G	24.5 Hz	49.0 Hz	98 Hz	196 Hz	392 Hz	784 Hz	1 568 Hz	3 136 Hz	6 272 Hz	12 544 Hz	
Sol diese ou La bemol	G# /Bb	26.0 Hz	51.9 Hz	104 Hz	208 Hz	415 Hz	831 Hz	1 661 Hz	3 322 Hz	6 645 Hz	13 290 Hz	
La	A	27.5 Hz	55.0 Hz	110 Hz	220 Hz	440 Hz	880 Hz	1 760 Hz	3 520 Hz	7 040 Hz	14 080 Hz	
La diese ou Si bemol	A# / Bb	29.1 Hz	58.0 Hz	117 Hz	233 Hz	466 Hz	932 Hz	1 865 Hz	3 729 Hz	7 458 Hz	14 918 Hz	
Si	B	30.8 Hz	62.0 Hz	123 Hz	247 Hz	494 Hz	988 Hz	1 975 Hz	3 951 Hz	7 902 Hz	15 804 Hz	

Représentation spectrale

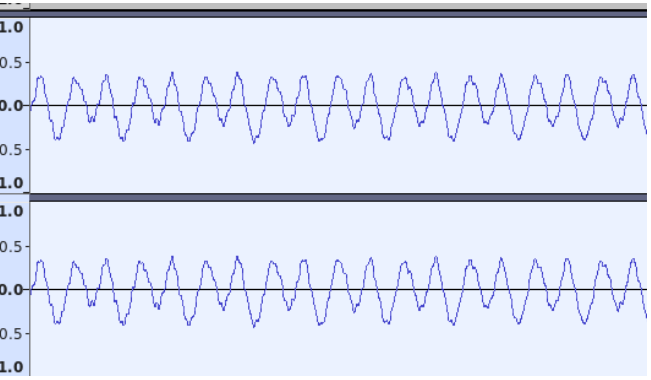


Index n	Pic	f_n/f_0
0	f_0=185 Hz	1
1	f_1=369 Hz	1.99
2	f_2=553 Hz	2.99
3	f_3=741 Hz	4.00
4	f_4=925 Hz	5.00

Du son à la note

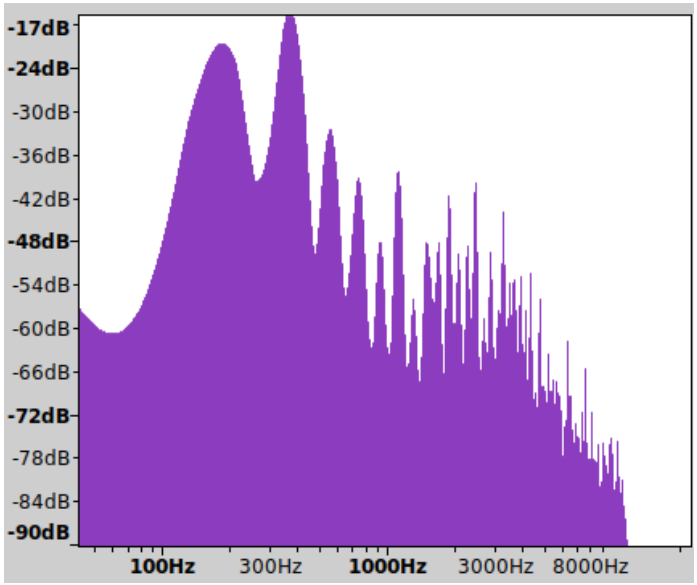
Voir le son de la harpe (G)

Représentation temporelle



- **Le son émis par un instrument de musique est un son composé d'une somme de sons purs dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence la plus basse.**
- **La fréquence la plus basse est la fréquence fondamentale ; elle donne sont nom à la note.**
- **Les autres fréquences sont les harmoniques.**

Représentation spectrale

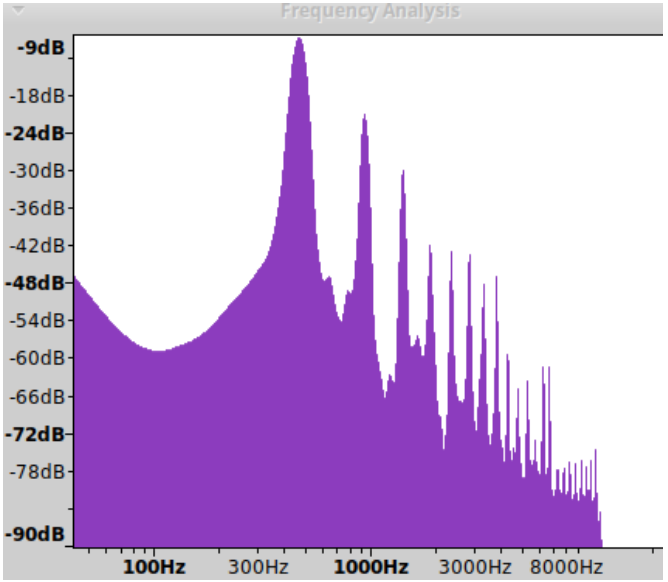


Index n	Pic	f_n/f_0
0	f_0=185 Hz	1
1	f_1=369 Hz	1.99
2	f_2=553 Hz	2.99
3	f_3=741 Hz	4.00
4	f_4=925 Hz	5.00

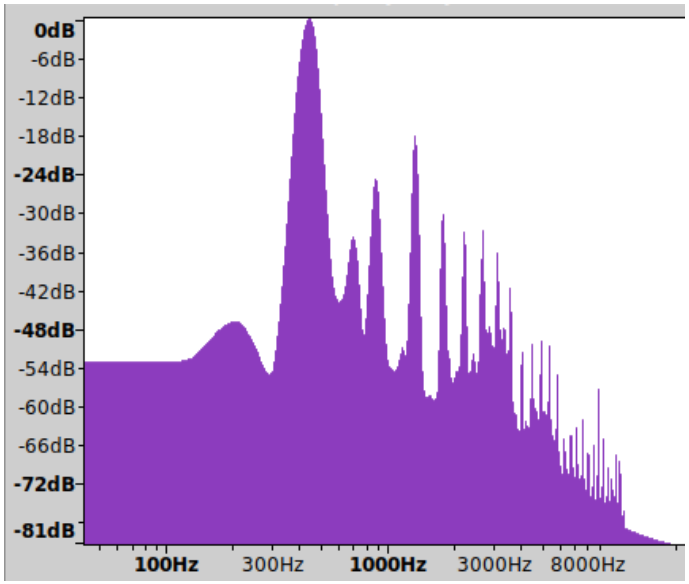
Du son à la note

Voir le son des instruments de musique

Harpe A

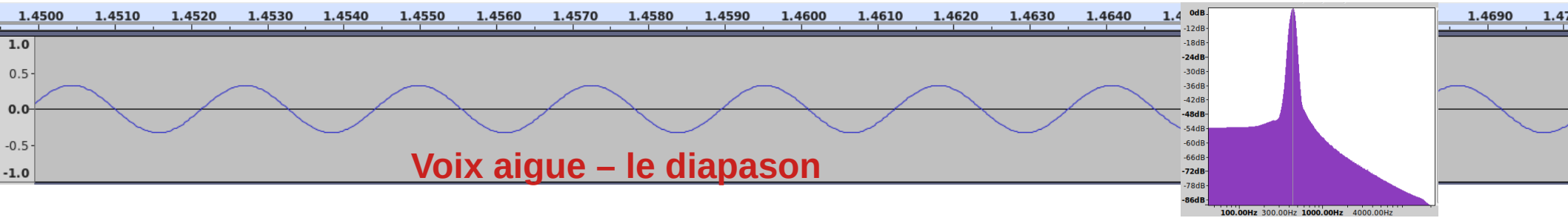


Clarinette A



Du son à la note

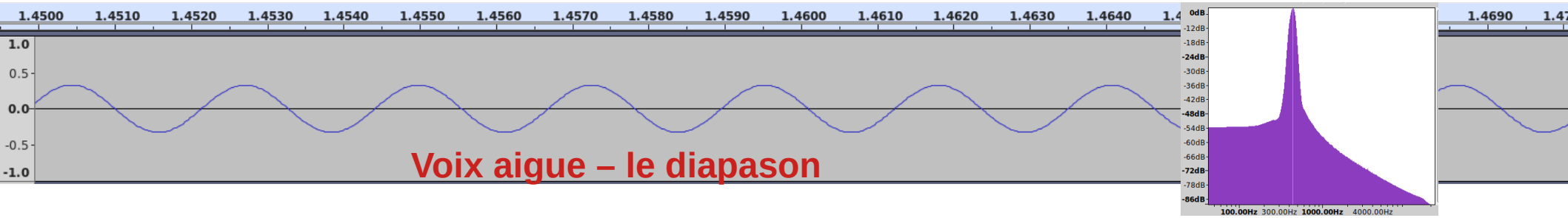
Le timbre : l'identité sonore



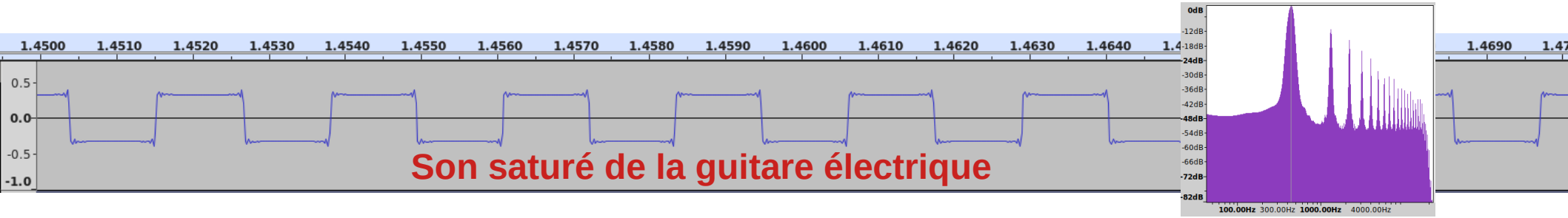
Voix aigue – le diapason

Du son à la note

Le timbre : l'identité sonore



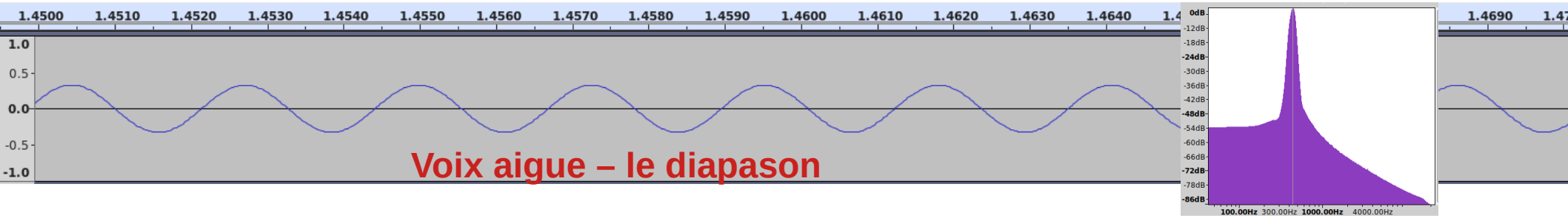
Voix aigue – le diapason

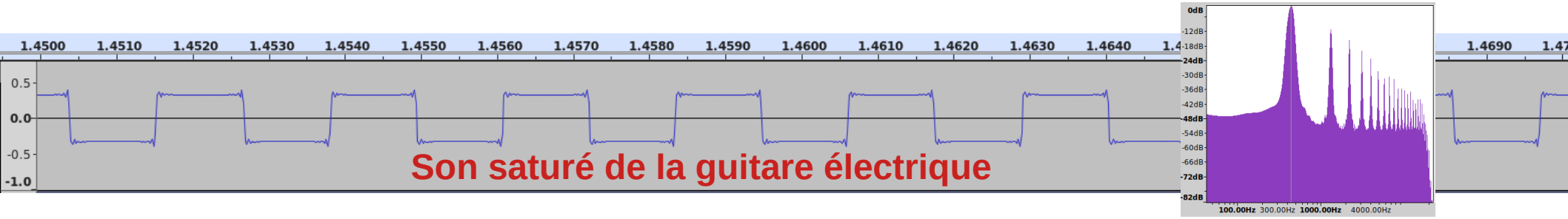


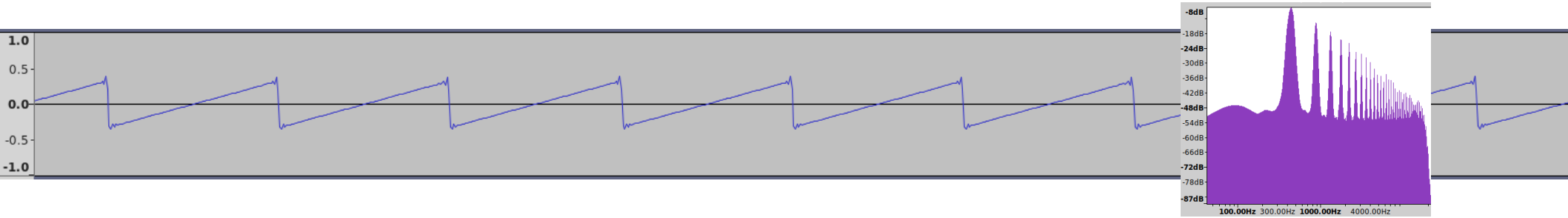
Son saturé de la guitare électrique

Du son à la note

Le timbre : l'identité sonore

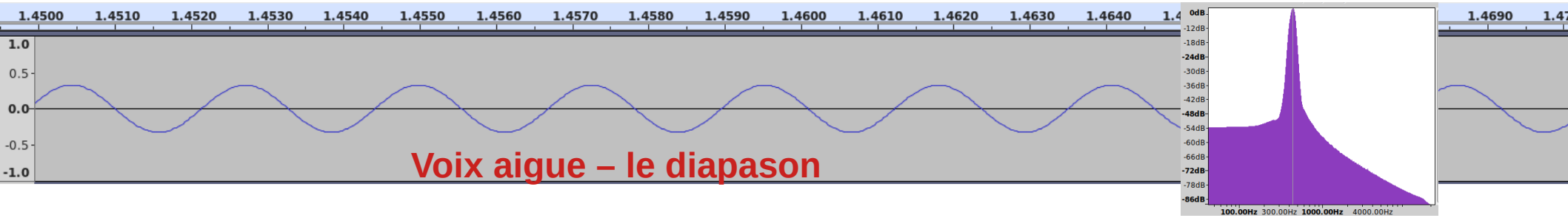


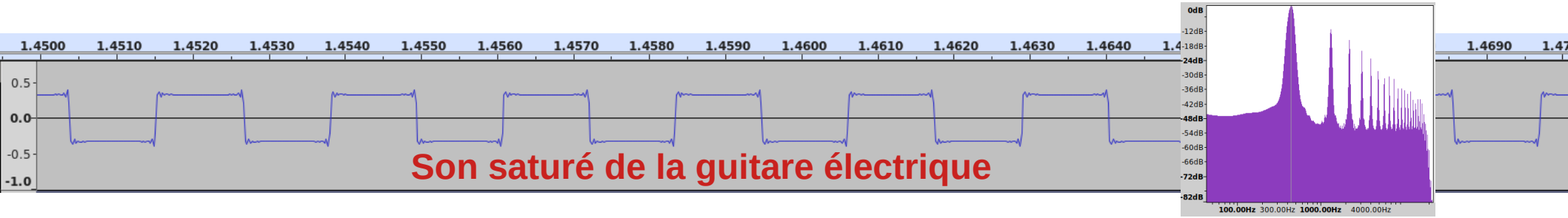


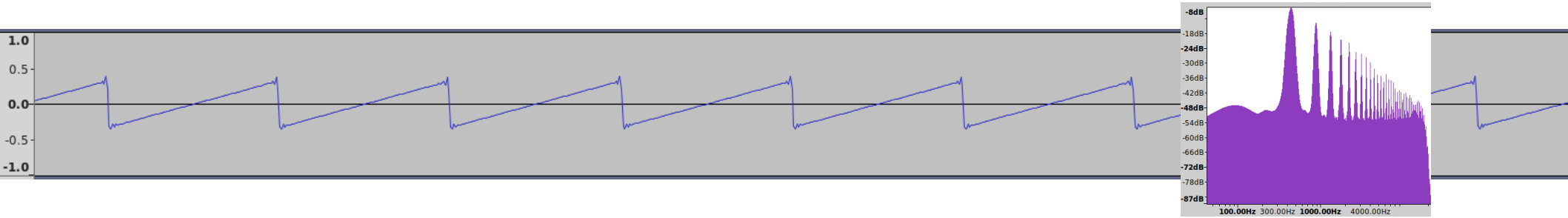


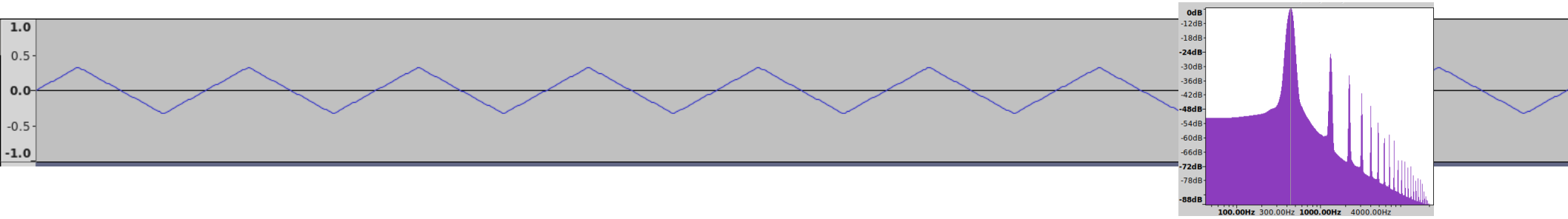
Du son à la note

Le timbre : l'identité sonore





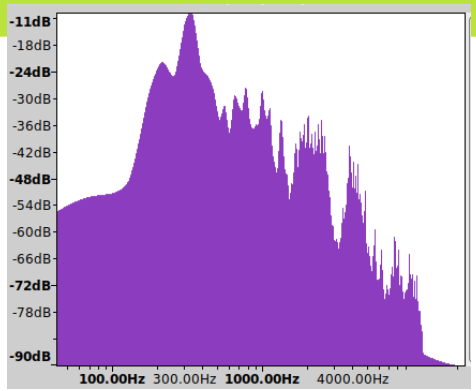


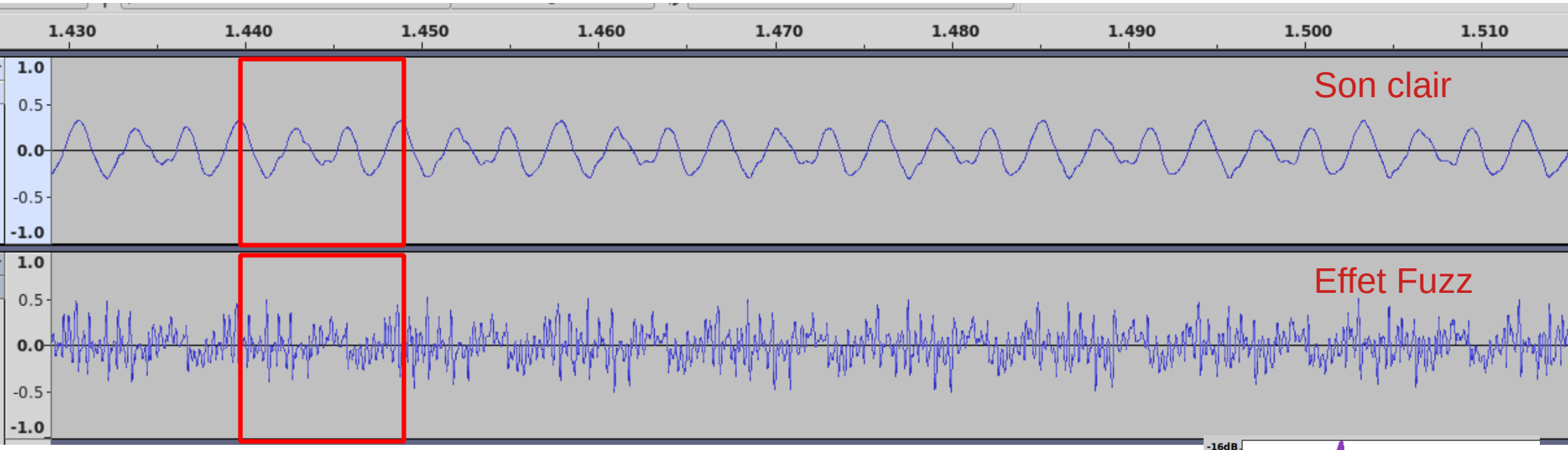


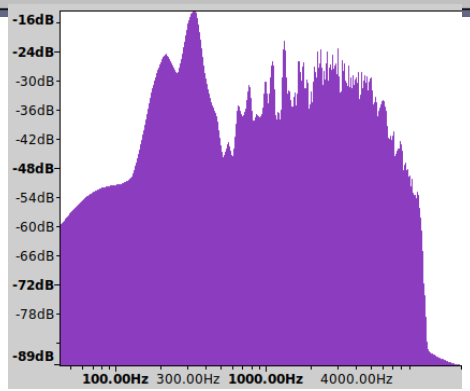
Du son à la note

Le timbre : l'identité sonore

Guitare électrique



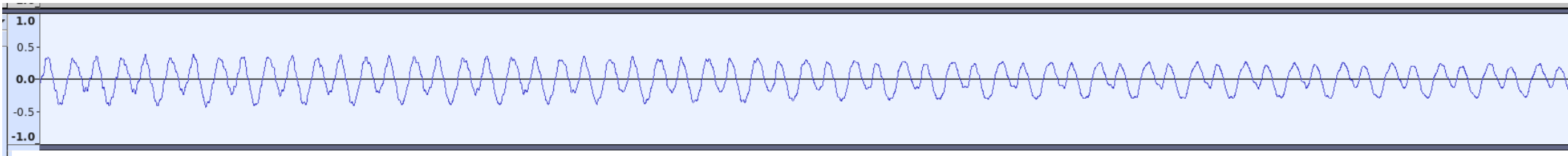




Du son à la note

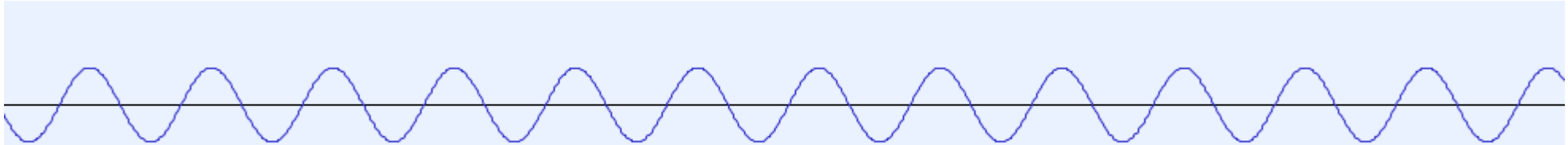
Conclusions

- Un son long, émis par un instrument de musique, est un signal périodique



Le sol de la Harpe

- Certaines formes de signal possèdent des propriétés particulières ; c'est le cas de la forme sinusoïdale du son émis par un diapason → **son pur**



Le la du diapason (son pur)

- Quelque soit le signal périodique que l'on considère, on peut le modéliser comme une somme de sons purs de différentes fréquences → **représentation spectrale**
- Les notes émises par les instruments de musique sont composées de son purs dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence la plus basse → notion de fondamentale & d'harmoniques