



Ondes élastiques & Acoustique

© Fabrice Sincère (version 3.0.1)

<http://pagesperso-orange.fr/fabrice.sincere>

Chapitre 4

Acoustique musicale

The image displays a musical score for guitar in 4/4 time. The top staff shows a melody with several triplet patterns. Below the staff are four guitar chord diagrams: G#m/5+, Gm6, F#m7, and B7. The bottom staff is a detailed fretboard diagram with fingerings and techniques. The fretboard is labeled with strings E, B, G, D, A, E from top to bottom. The first three measures show triplet patterns on the G, B, and D strings. The fourth measure shows a triplet on the G string. The fifth measure shows a Harmonic Pinch (HPo) technique on the G string. The sixth measure shows a triplet on the G string. The seventh measure shows a Harmonic Pinch (HPo) technique on the G string. The eighth measure shows a triplet on the G string. The ninth measure shows a triplet on the G string. The tenth measure shows a triplet on the G string. The eleventh measure shows a triplet on the G string. The twelfth measure shows a triplet on the G string. The thirteenth measure shows a triplet on the G string. The fourteenth measure shows a triplet on the G string. The fifteenth measure shows a triplet on the G string. The sixteenth measure shows a triplet on the G string. The seventeenth measure shows a triplet on the G string. The eighteenth measure shows a triplet on the G string. The nineteenth measure shows a triplet on the G string. The twentieth measure shows a triplet on the G string. The twenty-first measure shows a triplet on the G string. The twenty-second measure shows a triplet on the G string. The twenty-third measure shows a triplet on the G string. The twenty-fourth measure shows a triplet on the G string. The twenty-fifth measure shows a triplet on the G string. The twenty-sixth measure shows a triplet on the G string. The twenty-seventh measure shows a triplet on the G string. The twenty-eighth measure shows a triplet on the G string. The twenty-ninth measure shows a triplet on the G string. The thirtieth measure shows a triplet on the G string. The thirty-first measure shows a triplet on the G string. The thirty-second measure shows a triplet on the G string. The thirty-third measure shows a triplet on the G string. The thirty-fourth measure shows a triplet on the G string. The thirty-fifth measure shows a triplet on the G string. The thirty-sixth measure shows a triplet on the G string. The thirty-seventh measure shows a triplet on the G string. The thirty-eighth measure shows a triplet on the G string. The thirty-ninth measure shows a triplet on the G string. The fortieth measure shows a triplet on the G string. The forty-first measure shows a triplet on the G string. The forty-second measure shows a triplet on the G string. The forty-third measure shows a triplet on the G string. The forty-fourth measure shows a triplet on the G string. The forty-fifth measure shows a triplet on the G string. The forty-sixth measure shows a triplet on the G string. The forty-seventh measure shows a triplet on the G string. The forty-eighth measure shows a triplet on the G string. The forty-ninth measure shows a triplet on the G string. The fiftieth measure shows a triplet on the G string.

4-1- Les instruments à cordes

a) Excitation (mise en mouvement) de la corde

corde pincée (guitare), frottée (archet d'un violon), frappée (marteau d'un piano) ...

b) Vibration de la corde aux fréquences propres

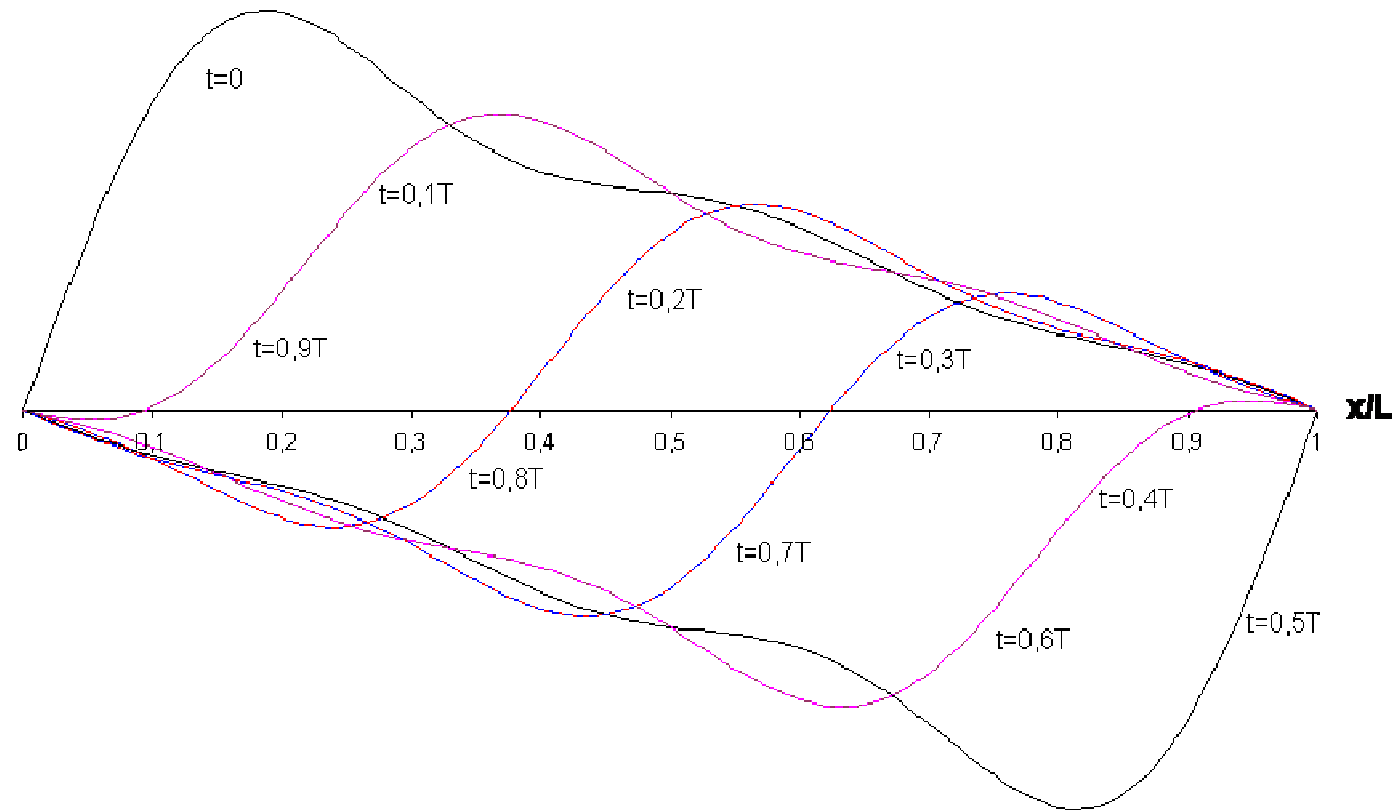
c) Propagation de la vibration dans l'air : onde sonore



Le mouvement de la corde est complexe.

Exemple :

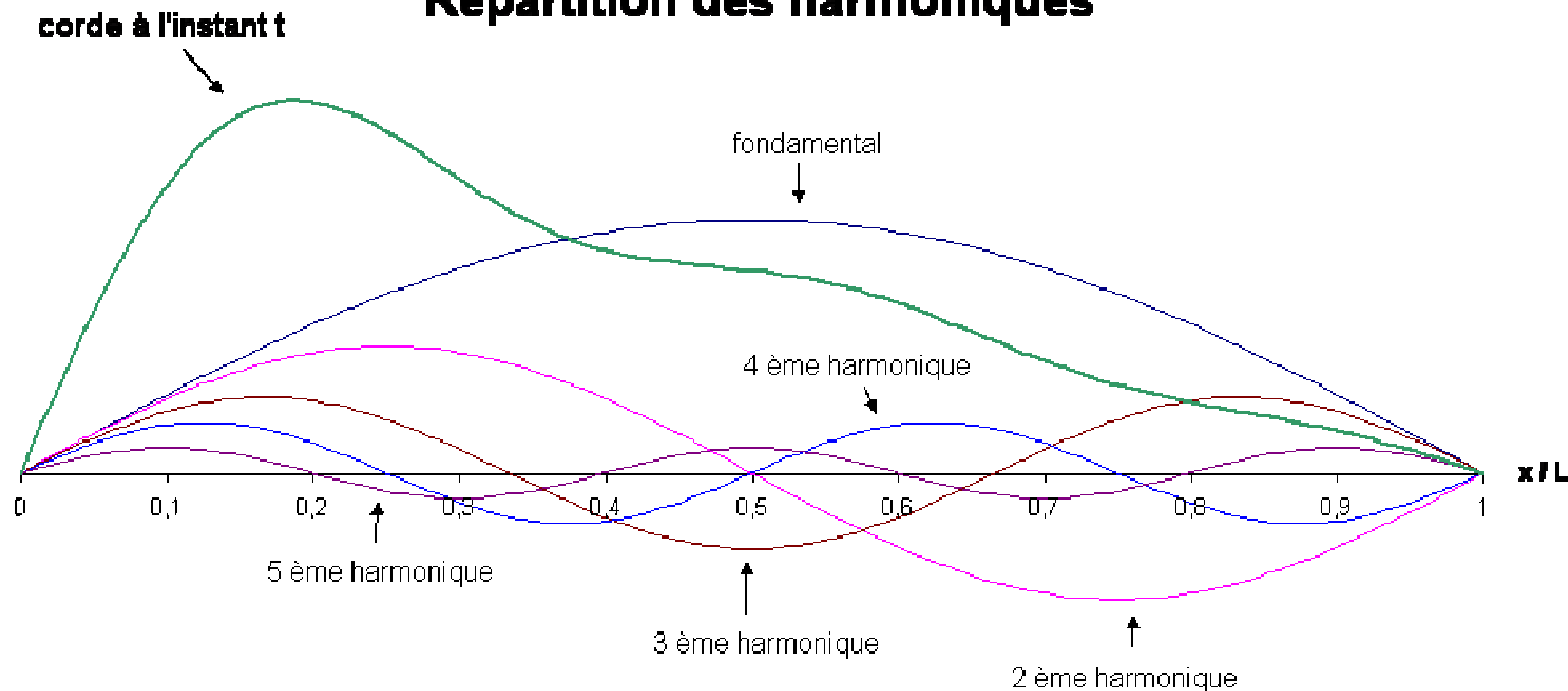
Fig. 1 Evolution de la forme de la corde



Le mouvement de la corde correspond à la superposition de plusieurs modes de vibration :

- mode fondamental : mouvement sinusoïdal de fréquence f (son sinusoïdal de fréquence f)
- 2^{ème} harmonique : $2f$
- 3^{ème} harmonique : $3f$...

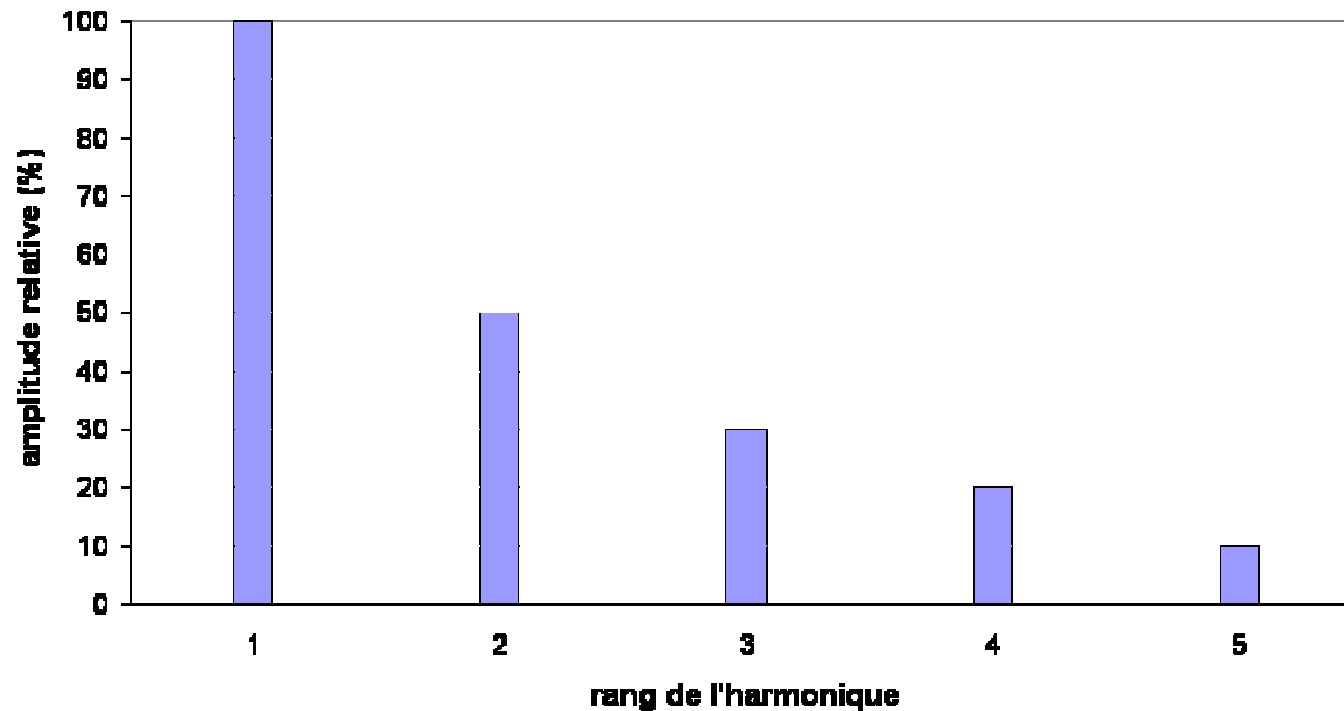
**Fig. 2 Forme de la corde à l'instant $t = 0$
Répartition des harmoniques**



Le son résultant est périodique de fréquence f (fondamental) et non sinusoïdal.

C'est la superposition de sons sinusoïdaux de fréquences nf (n : rang de l'harmonique) :

Fig. 3 Spectre de fréquence



4-2- Les instruments à vent

Ce sont des tuyaux sonores.



- 1) Excitation de la colonne d'air
- 2) Résonance de la colonne d'air aux fréquences propres
- 3) Onde sonore

4-3- Note musicale

Une note est définie par sa fréquence (ou hauteur).

Par convention : **$la_3 = 440 \text{ Hz}$** (la de la 3^{ème} octave)

Gamme tempérée de Bach : 7 notes et 12 demi-tons

Tableau 1

notation		Octave							
latine	anglo-saxonne	-1	0	1	2	3	4	5	6
do (ut)	C	16,35	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,50	2093,00
do #	C #	17,32	34,65	69,30	138,59	277,18	554,37	1108,73	2217,46
ré	D	18,35	36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,66	2349,32
ré #	D #	19,45	38,89	77,78	155,56	311,13	622,25	1244,51	2489,02
mi	E	20,60	41,20	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,51	2637,02
fa	F	21,83	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,91	2793,83
fa #	F #	23,12	46,25	92,50	185,00	369,99	739,99	1479,98	2959,96
sol	G	24,50	49,00	98,00	196,00	392,00	783,99	1567,98	3135,96
sol #	G #	25,96	51,91	103,83	207,65	415,30	830,61	1661,22	3322,44
la	A	27,5	55	110	220	440	880	1760	3520
la #	A #	29,14	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1864,66	3729,31
si	B	30,87	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,53	3951,07

(fréquences en hertz)

On change d'octave en multipliant la fréquence par 2 :

$$la_4 = 2 \times 440 = 880 \text{ Hz}$$

On passe au demi-ton suivant en multipliant la fréquence

par $2^{1/12} \approx 1,06$

$$la_{3\#} = 2^{1/12} \times 440 = 466,16 \text{ Hz}$$

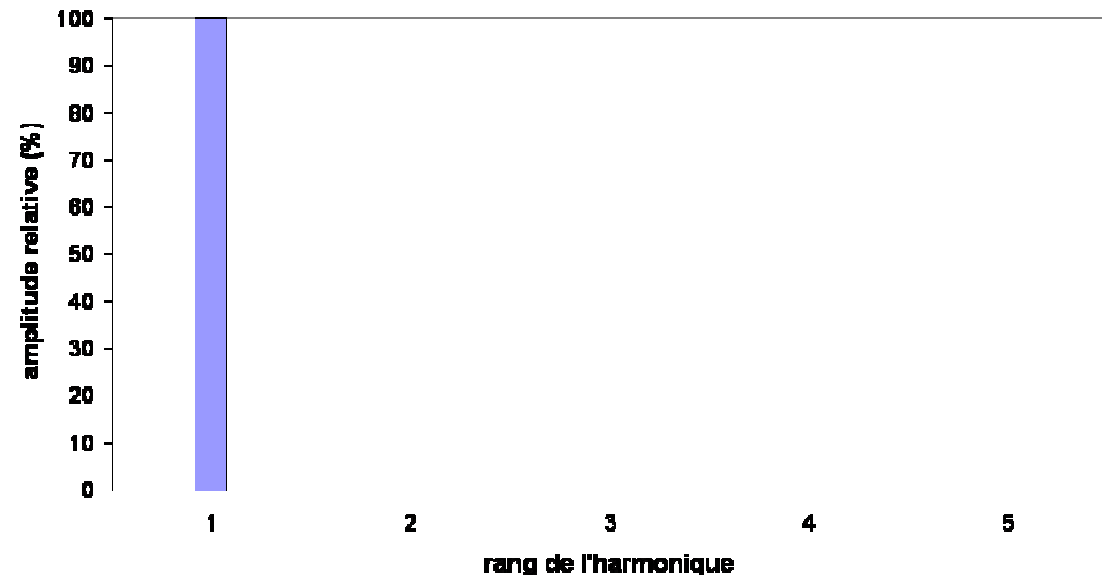
4-4- Timbre

On distingue aisément les voix, les instruments de musique ...

On dit que le timbre est différent.

Physiquement, le timbre est caractérisé par la répartition relative des harmoniques.

Ex. Diapason (son pur)



En pratique, ceci se traduit par des sons de formes différentes (mais de mêmes fréquences).

4-5- Intervalle entre deux notes

La sensation auditive de différence de hauteurs se mesure en savarts :

$$h(\text{savarts}) = 1000 \cdot \log_{10} \left(\frac{f'}{f} \right)$$

A.N. Intervalle :

- d'une octave $1000 \log(2) \approx 300$ savarts
- d'un demi-ton $1000 \log(2^{1/12}) \approx 25$ savarts

Remarque :

La résolution d'une oreille normale est de 5 savarts.

A.N. $1a_2$ (220 Hz) résolution en fréquence ≈ 2 Hz (≈ 1 %)

4-6- Notes et instruments de musique

- Ex. n°1 : guitare



La fréquence du son émis est donnée par la formule des cordes (mode fondamental) :

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

L'accordage se fait en ajustant la tension des cordes.

La longueur utile L est ajustable avec les doigts et permet de changer de notes.



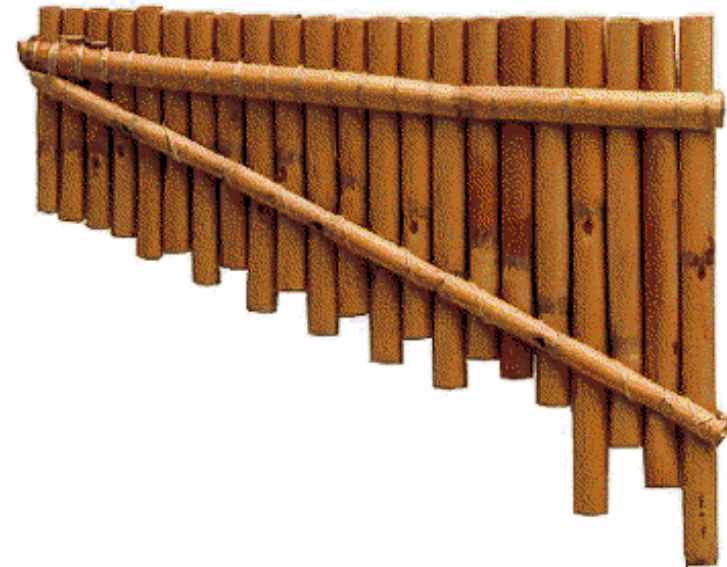
Fig. 5 :

sillet													barrette			chevalet
mi ₃	fa ₃	fa ₃ #	sol ₃	sol ₃ #	la ₃	la ₃ #	si ₃	do ₄	do ₄ #	ré ₄	ré ₄ #	mi ₄	1 ^{ère} corde (aiguë)			
si ₂	do ₃	do ₃ #	ré ₃	ré ₃ #	mi ₃	fa ₃	fa ₃ #	sol ₃	sol ₃ #	la ₃	la ₃ #	si ₃				
sol ₂	sol ₂ #	la ₂	la ₂ #	si ₂	do ₃	do ₃ #	ré ₃	ré ₃ #	mi ₃	fa ₃	fa ₃ #	sol ₃				
ré ₂	ré ₂ #	mi ₂	fa ₂	fa ₂ #	sol ₂	sol ₂ #	la ₂	la ₂ #	si ₂	do ₃	do ₃ #	ré ₃				
la ₁	la ₁ #	si ₁	do ₂	do ₂ #	ré ₂	ré ₂ #	mi ₂	fa ₂	fa ₂ #	sol ₂	sol ₂ #	la ₂				
mi ₁	fa ₁	fa ₁ #	sol ₁	sol ₁ #	la ₁	la ₁ #	si ₁	do ₂	do ₂ #	ré ₂	ré ₂ #	mi ₂	6 ^{ème} corde (grave)			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 ^{ème}	case			

- Ex. n°2 : flûte de pan

Fréquence du fondamental
d'un tuyau ouvert-ouvert :

$$f = \frac{c}{2L}$$



flûte de Pan

A.N.

Pour avoir un la_4 , il faut une longueur :

$$342 / (2 \times 880) = 19,4 \text{ cm (à } 20^\circ\text{C)}$$

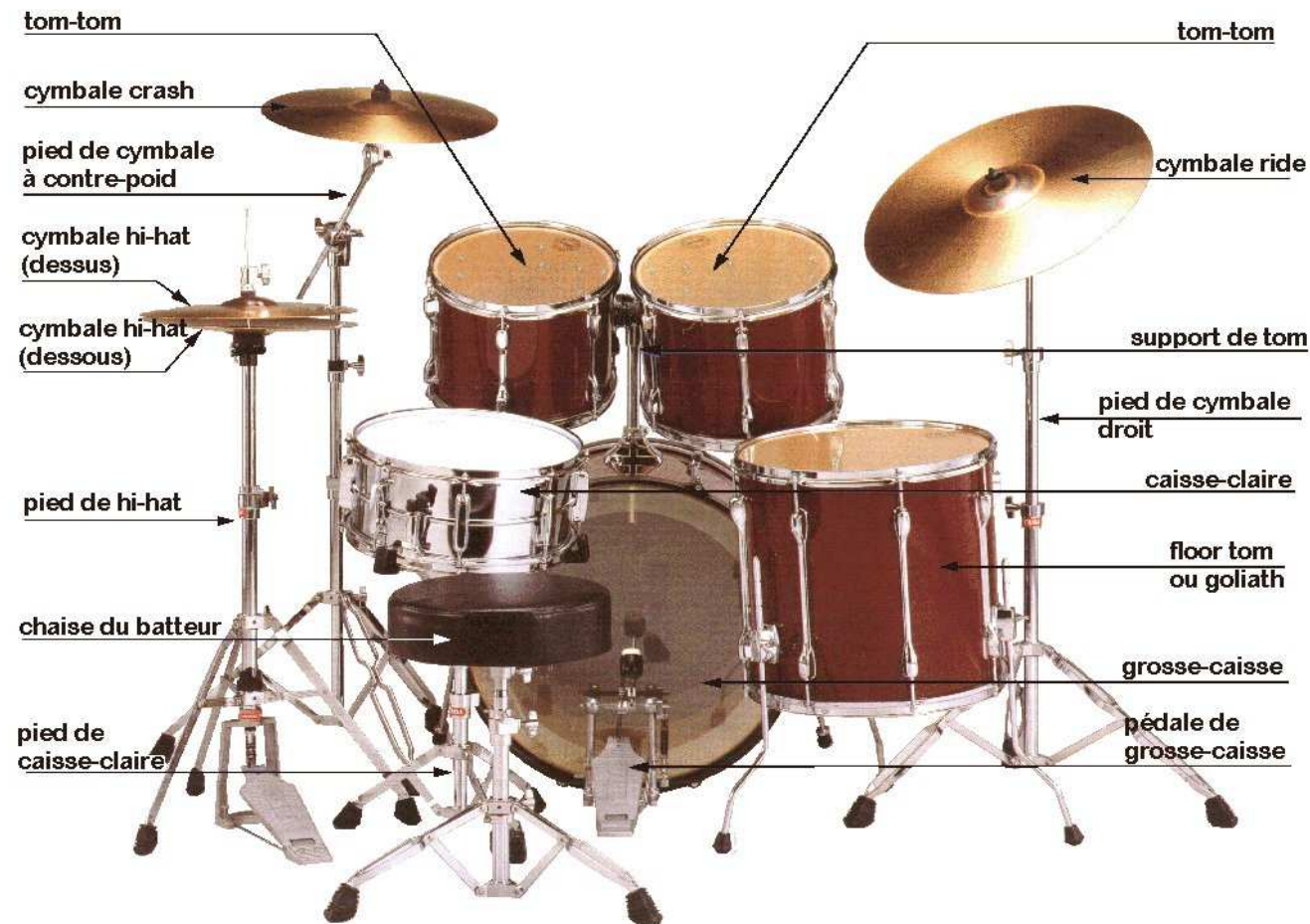
$$\text{à } 40^\circ\text{C : } f = 354 / (2 \times 0,194) = 911 \text{ Hz}$$

Ecart : $1000 \log(911/880) \approx 15 \text{ savarts } (\approx 1/4 \text{ de ton})$

- Remarque générale

dimension utile ↘ fréquence du son ↗ : son plus aigu

(valable également pour les instruments à percussions)



Ex.

- Tuyaux d'orgue
- Famille des violons (violon - alto - violoncelle - contrebasse)
- Cri d'un enfant
- Sifflet

