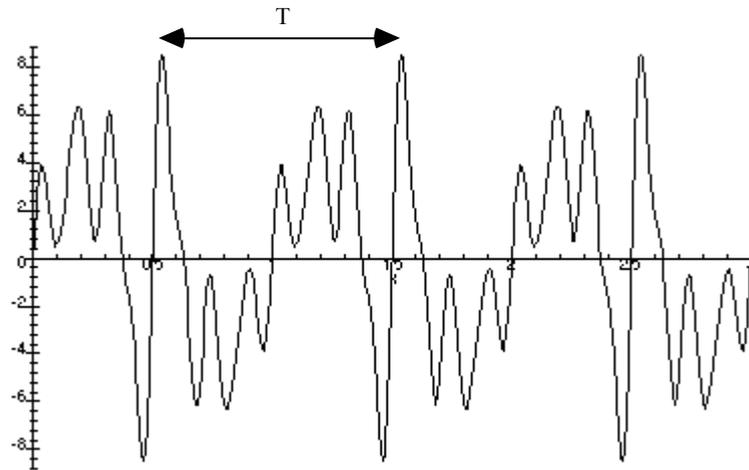


# ACOUSTIQUE MUSICALE

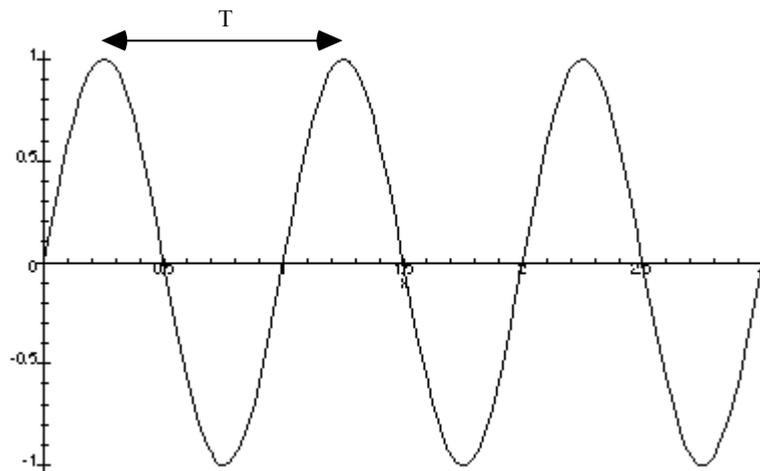
## I - LES SONS DES INSTRUMENTS ET LE SON DU DIAPASON

### 1.1. Les sons musicaux



Les ondes sonores produits par les instruments de musique (ou sons musicaux) sont **périodiques** mais généralement **non sinusoïdaux**.

### 1.2. Le son du diapason : un son pur



On appelle **son pur** le son transmis par une **onde sonore sinusoïdale** (ex : diapason). Les sons musicaux ne sont, en général, pas des sons purs.

## II - HAUTEUR TIMBRE ET INTENSITÉ DES SONS MUSICAUX

### 2.1. La hauteur.

La hauteur d'un son musical est déterminé par la fréquence de l'onde sonore correspondante.

### 2.2. Le timbre.

Des sons de même hauteur, émis par des instruments différents, se distinguent par le timbre propre à chaque instrument. Le timbre correspond à l'allure de l'oscillogramme et par conséquent à l'allure de la vibration de la membrane.

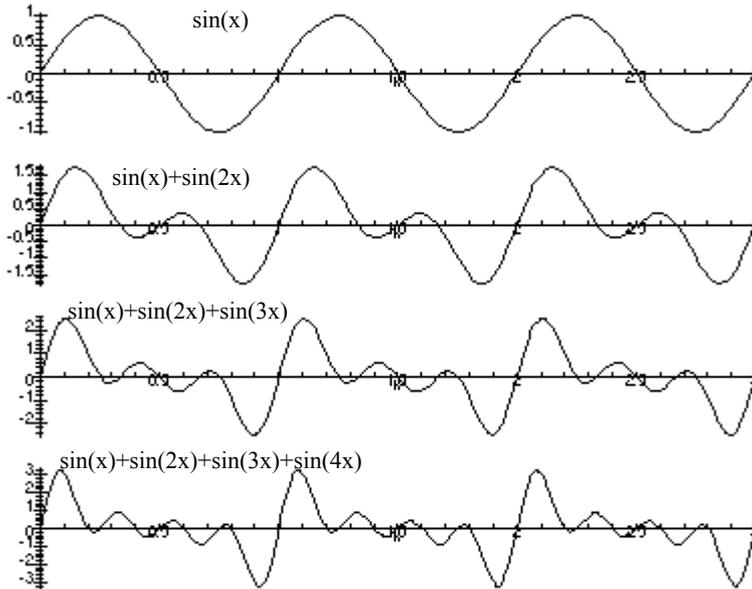
### 2.3. L'intensité.

L'intensité du son dépend de l'amplitude de la vibration sonore. Plus l'amplitude est grande, plus le son est intense et vice-versa.

### III - ANALYSE ET SYNTHÈSE D'UN SON MUSICAL

#### 3.1. La somme de fonctions sinusoïdales

##### a) Quelques essais informatiques



##### b) Généralisation

Une somme de fonctions sinusoïdales de fréquences  $f, 2f, 3f, 4f \dots$  est une fonction périodique de fréquence  $f$ .

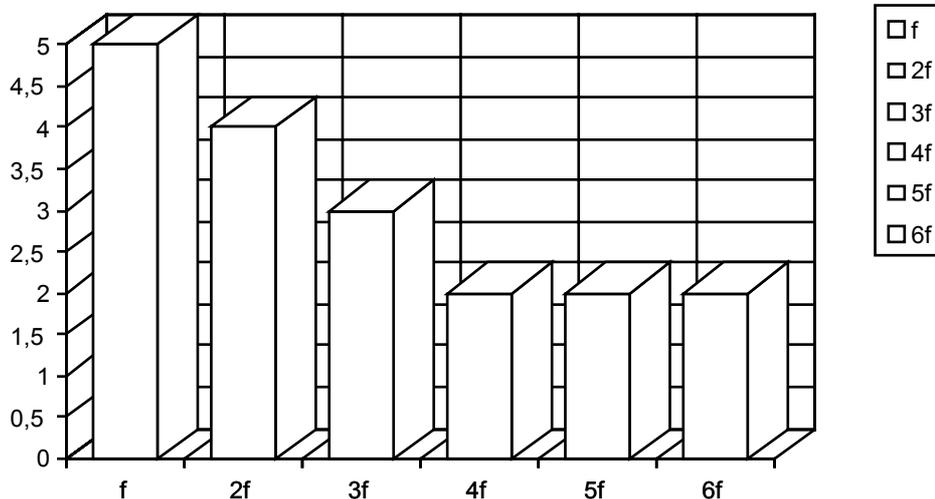
#### 3.2. Analyse d'un son musical

##### a) Qu'est-ce que l'analyse d'un son ?

Analyser un son musical de fréquence  $f$ , c'est déterminer les caractéristiques des sons purs de fréquences  $f, 2f, 3f, 4f \dots$  qui émis simultanément reproduiraient ensemble le son étudié. Il s'agit, pour le son, de l'opération inverse de celle décrite au paragraphe précédent.

Un théorème mathématique (théorème de Fourier) montre qu'une telle analyse est toujours possible.

##### b) Spectrogramme d'un son musical



A l'aide d'un ordinateur, on peut analyser un son musical (cf. TP sonorama). Le résultat de cette analyse est donné sous forme d'un diagramme appelé spectrogramme. Celui-ci se présente sous forme d'une succession de pics disjoints. Les abscisses des pics indiquent les fréquences  $f, 2f, 3f$  etc.. des sons purs qu'il faudrait émettre simultanément pour reconstituer le son de fréquence  $f$  émis par l'instrument. Les ordonnées des pics sont proportionnelles aux amplitudes de ces sons purs.

##### c) Fondamental et harmoniques

Le son pur de fréquence  $f$  du spectrogramme est appelé **fondamental**.

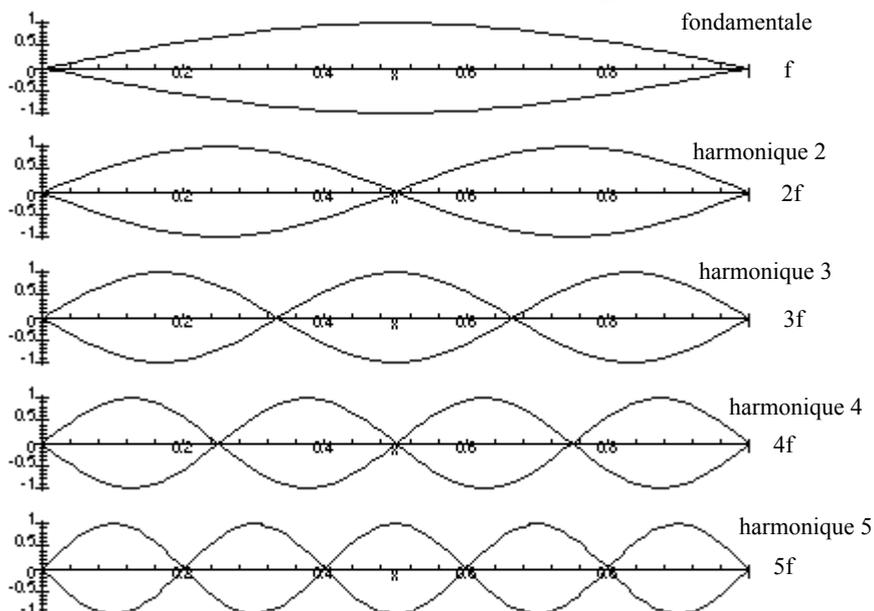
Les autres sons sont les **harmoniques**.  $2f$  est l'harmonique 2,  $3f$  est l'harmonique 3 etc..

#### 3.3. La synthèse d'un son musical, principe du synthétiseur.

À partir des spectrogrammes, on peut reconstituer le son de n'importe quel instrument grâce à des oscillateurs électroniques produisant des signaux sinusoïdaux ou en créer de nouveaux (synthétiseurs).

### IV - LA GAMME MUSICALE

## 4.1. Vibrations naturelles des cordes d'une guitare



En vibrant, une corde ne produit pas uniquement le fondamental, mais également des **harmoniques**.

- Le nombre d'harmoniques dépend de l'endroit où on excite la corde

(excitée près du chevalet, la corde produira un sons plus "durs" car aura davantage d'harmoniques).

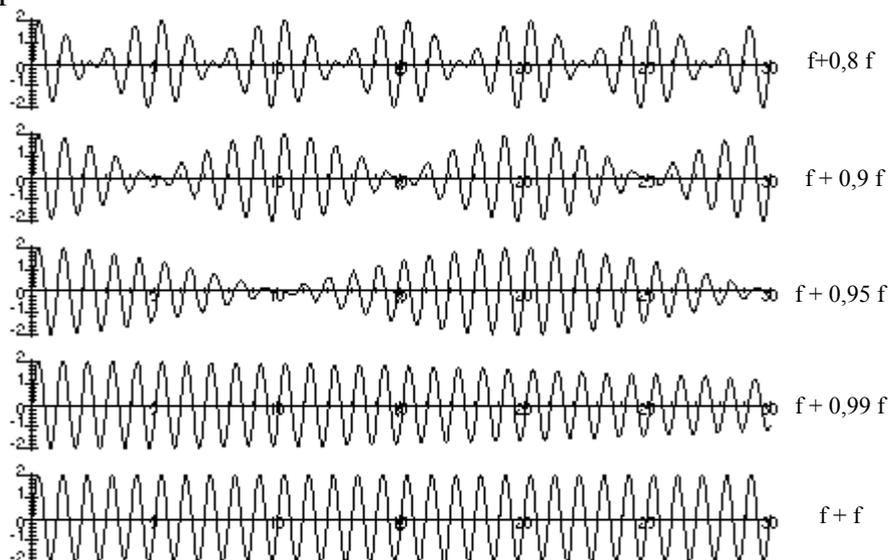
- Les harmoniques ne s'amortissent pas tous à la même vitesse, ce qui produit une variation du timbre au cours du temps ce qui donne une certaine "richesse" au son acoustique.

- Lorsque deux cordes vibrent ensemble, elles produiront toutes deux un ensemble d'harmoniques. Il se peut qu'une **harmonique** d'une corde soit de **même fréquence** qu'une **harmonique** d'une autre corde, même si les **fondamentales** des deux cordes sont **différentes**.

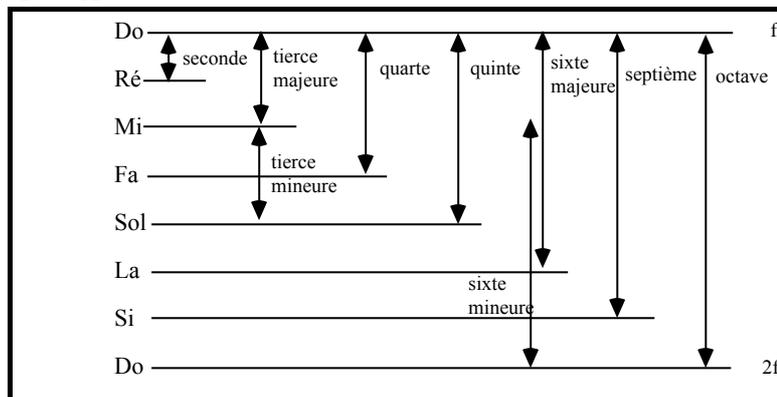
- Lorsqu'on **accordera** l'instrument, il faudra faire en sorte que les harmoniques, précédemment décrites soient **exactement de même fréquence**, sinon, il y aura un phénomène de **battement**, discordant et désagréable à l'oreille.

- Accorder un instrument, c'est donner les **bons intervalles** de fréquences entre les notes de façon que les harmoniques associées ne produisent **pas de battements**.

## 4.2. Le phénomène de battement.



### 4.3. Les intervalles musicaux



### 4.4. Gamme naturelle

Nom de l'intervalle	Notes	Rapport idéal de f	Explication	1/2 tons
tierce mineure	Mi-Sol	6/5	La 5ème harmonique de Sol est la 6ème harm. de Mi	3
tierce majeure	Do-Mi	5/4	La 4ème harmonique de Mi est la 5ème harm. de Do	4
quarte	Do-Fa	4/3	La 3ème harmonique de Fa est la 4ème harm. de Do	5
quinte	Do-Sol	3/2	La 2ème harmonique de Sol est la 3ème harm. de Do	7
sixte majeure	Do-La	5/3	La 3ème harmonique de La est la 5ème harm. de Do	8
sixte mineure	Mi-Do	8/5	La 5ème harmonique de Do est la 8ème harm. de Mi	9
octave	Do-Do	2	La 1ère harmonique du Do est encore un Do plus aigu	12

### 4.5. La gamme tempérée par rapport à la gamme dite "naturelle"

La gamme tempérée est constituée de douze demi-tons dont les fréquences sont les termes généraux d'une suite géométrique de raison  $q = \sqrt[12]{2} = 1,0594631$ . Une telle gamme est une excellente approximation de la gamme naturelle et elle a l'avantage de pouvoir être transposable à n'importe quelle tonalité, ce qui n'est pas le cas de la gamme naturelle. Elle a été adoptée par J.S. Bach en 1720 et est la base de notre musique.

1/2 ton	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
tempéré	1	1,06	1,19	1,26	1,33	1,41	1,50	1,59	1,68	1,78	1,89	2
naturel	1		6/5	5/4	4/3		3/2	8/5	5/3			2
naturel	1		1,2	1,25	1,33		1,5	1,6	1,67			2

### 4.6. Notes de musique et fréquences associées

$f_0$	$qf_0$	$q^2f_0$	$q^3f_0$	$q^4f_0$	$q^5f_0$	$q^6f_0$	$q^7f_0$	$q^8f_0$	$q^9f_0$	$q^{10}f_0$	$q^{11}f_0$	$q^{12}f_0$
$1f_0$	$1,06f_0$	$1,12f_0$	$1,19f_0$	$1,26f_0$	$1,33f_0$	$1,41f_0$	$1,50f_0$	$1,59f_0$	$1,68f_0$	$1,78f_0$	$1,89f_0$	$2f_0$
<b>do<sub>1</sub></b>	<b>do<sub>1</sub>#</b>	<b>re<sub>1</sub></b>	<b>re<sub>1</sub>#</b>	<b>mi<sub>1</sub></b>	<b>fa<sub>1</sub></b>	<b>fa<sub>1</sub>#</b>	<b>sol<sub>1</sub></b>	<b>sol<sub>1</sub>#</b>	<b>la<sub>1</sub></b>	<b>la<sub>1</sub>#</b>	<b>si<sub>1</sub></b>	<b>do<sub>2</sub></b>
<b>C<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>2</sub>#</b>	<b>D<sub>2</sub></b>	<b>D<sub>2</sub>#</b>	<b>E<sub>2</sub></b>	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>F<sub>2</sub>#</b>	<b>G<sub>2</sub></b>	<b>G<sub>2</sub>#</b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>2</sub>#</b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>3</sub></b>
65,4 Hz	69,3 Hz	73,4 Hz	77,8 Hz	82,4 Hz	87,3 Hz	92,5 Hz	98 Hz	103 Hz	110 Hz	116 Hz	123 Hz	131 Hz
<b>do<sub>2</sub></b>	<b>do<sub>2</sub>#</b>	<b>re<sub>2</sub></b>	<b>re<sub>2</sub>#</b>	<b>mi<sub>2</sub></b>	<b>fa<sub>2</sub></b>	<b>fa<sub>2</sub>#</b>	<b>sol<sub>2</sub></b>	<b>sol<sub>2</sub>#</b>	<b>la<sub>2</sub></b>	<b>la<sub>2</sub>#</b>	<b>si<sub>2</sub></b>	<b>do<sub>3</sub></b>
<b>C<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>3</sub>#</b>	<b>D<sub>3</sub></b>	<b>D<sub>3</sub>#</b>	<b>E<sub>3</sub></b>	<b>F<sub>3</sub></b>	<b>F<sub>3</sub>#</b>	<b>G<sub>3</sub></b>	<b>G<sub>3</sub>#</b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>3</sub>#</b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>4</sub></b>
131 Hz	139 Hz	147 Hz	156 Hz	165 Hz	175 Hz	185 Hz	196 Hz	208 Hz	220 Hz	233 Hz	247 Hz	262 Hz
<b>do<sub>3</sub></b>	<b>do<sub>3</sub>#</b>	<b>re<sub>3</sub></b>	<b>re<sub>3</sub>#</b>	<b>mi<sub>3</sub></b>	<b>fa<sub>3</sub></b>	<b>fa<sub>3</sub>#</b>	<b>sol<sub>3</sub></b>	<b>sol<sub>3</sub>#</b>	<b>la<sub>3</sub></b>	<b>la<sub>3</sub>#</b>	<b>si<sub>3</sub></b>	<b>do<sub>4</sub></b>
<b>C<sub>4</sub></b>	<b>C<sub>4</sub>#</b>	<b>D<sub>4</sub></b>	<b>D<sub>4</sub>#</b>	<b>E<sub>4</sub></b>	<b>F<sub>4</sub></b>	<b>F<sub>4</sub>#</b>	<b>G<sub>4</sub></b>	<b>G<sub>4</sub>#</b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>4</sub>#</b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>C<sub>5</sub></b>
262 Hz	277 Hz	294 Hz	311 Hz	330 Hz	349 Hz	370 Hz	392 Hz	415 Hz	440 Hz	466 Hz	494 Hz	523 Hz
<b>do<sub>4</sub></b>	<b>do<sub>4</sub>#</b>	<b>re<sub>4</sub></b>	<b>re<sub>4</sub>#</b>	<b>mi<sub>4</sub></b>	<b>fa<sub>4</sub></b>	<b>fa<sub>4</sub>#</b>	<b>sol<sub>4</sub></b>	<b>sol<sub>4</sub>#</b>	<b>la<sub>4</sub></b>	<b>la<sub>4</sub>#</b>	<b>si<sub>4</sub></b>	<b>do<sub>5</sub></b>
<b>C<sub>5</sub></b>	<b>C<sub>5</sub>#</b>	<b>D<sub>5</sub></b>	<b>D<sub>5</sub>#</b>	<b>E<sub>5</sub></b>	<b>F<sub>5</sub></b>	<b>F<sub>5</sub>#</b>	<b>G<sub>5</sub></b>	<b>G<sub>5</sub>#</b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>5</sub>#</b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>C<sub>6</sub></b>
523 Hz	554 Hz	587 Hz	622 Hz	659 Hz	698 Hz	740 Hz	784 Hz	831 Hz	880 Hz	932 Hz	988 Hz	1047 Hz