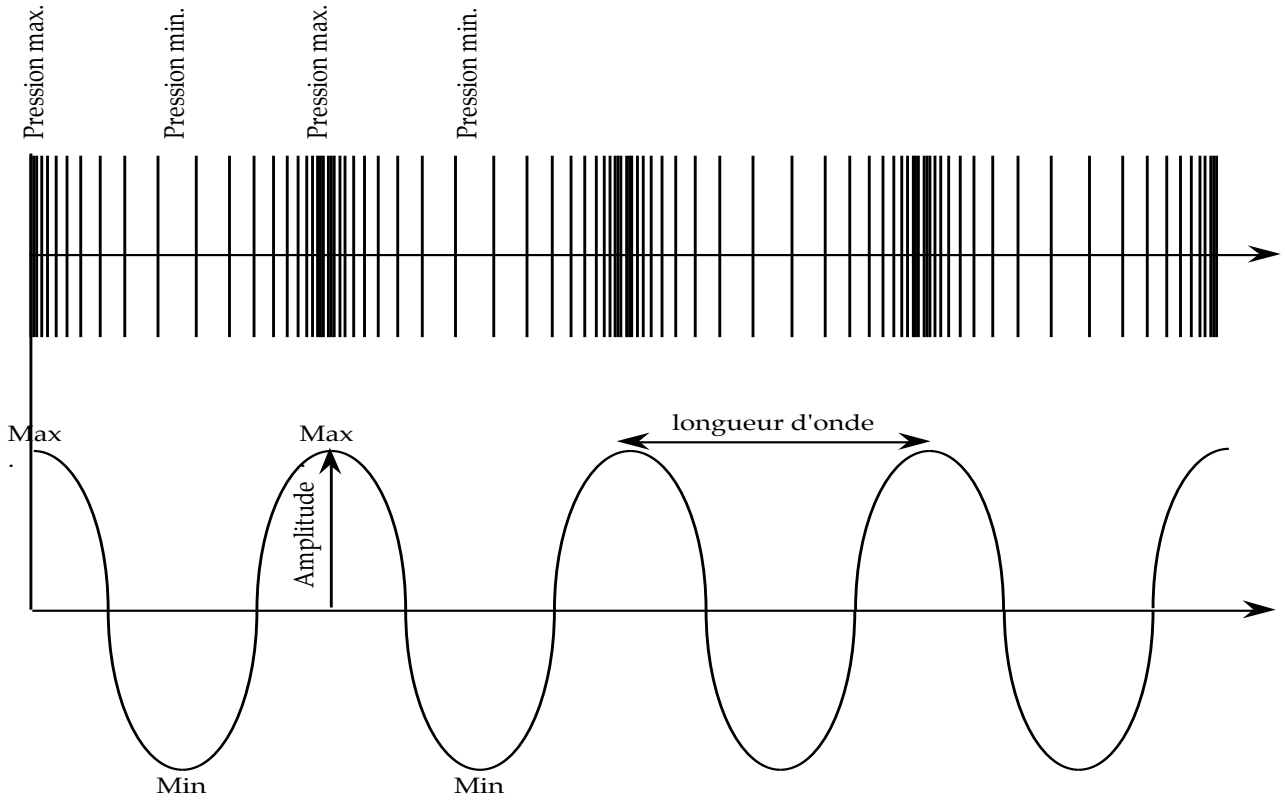
Qu'est-ce que le son ?

(Extrait de "Le son et les instruments de musique")

Notre oreille transmet au cerveau un signal que nous interprétons comme étant un son lorsque le tympan est atteint par une variation alternative très rapide de la pression de l'air. Cette alternance de pression, de quelques dizaines à plusieurs milliers de fois par seconde, correspond à ce qu'on appelle une vibration. Le son résulte donc de la mise en vibration de l'air par un émetteur. Les émetteurs sont nombreux. Ils sont les causes de tous les bruits qui nous entourent. Dans ce petit ouvrage, nous nous limiterons aux émetteurs que sont les instruments de musique.

Le son est une onde

Les physiciens décrivent la vibration de l'air comme une onde de compression. Cette onde transmet le son dans l'air à la vitesse d'environ 330 mètres par seconde[1]. On peut se faire une idée du mécanisme d'une onde de compression à l'aide d'un long ressort à boudin : en donnant à l'une de ses extrémités une impulsion parallèle à son allongement, on peut voir une zone de compression des spires se déplacer le long du ressort.



Représentation schématique d'une onde de compression

1 *Cette vitesse varie légèrement suivant la température de l'air.*

© J. Deferne, 29 septembre 2010

Le nombre de vibrations par seconde s'appelle la fréquence. L'unité de fréquence est le Hertz, en abrégé [hz]. C'est la fréquence qui détermine la hauteur du son. Ainsi le la du diapason a une fréquence de 440 herz. Cela signifie que ses lames oscillent 440 fois par seconde.

La longueur d'onde

En divisant la vitesse du son dans l'air par la fréquence, on obtient une longueur qu'on appelle la longueur d'onde. Ainsi, en divisant 330 m/s par 440, on obtient 0,75 m., soit la longueur d'onde du la.

Si on prend l'exemple des vaguelettes concentriques provoquées par la chute d'un objet dans de l'eau calme, la longueur d'onde correspond à la distance qui sépare deux crêtes successives.

Relation entre longueur d'onde, fréquence et vitesse du son.

$$\text{longueur d'onde} = \frac{\text{vitesse du son}}{\text{fréquence}}$$

$$\text{fréquence} = \frac{\text{vitesse du son}}{\text{longueur d'onde}}$$

La hauteur d'un son dépend de sa fréquence

La hauteur du son est déterminée par sa fréquence (ou le nombre de vibrations par seconde, si on préfère). Les sons aigus sont caractérisés par des fréquences élevées correspondant à de courtes longueurs d'onde. Les sons graves sont caractérisés par des fréquences basses et de grandes longueurs d'onde.

L'oreille est un récepteur extrêmement sensible qui détecte les sons dont les fréquences sont comprises entre 20 hz (son grave) et 18'000 hz (son aigu).

Fréquence et longueur d'onde de quelques notes		
	fréquence	longueur d'onde
la le plus grave du piano	27.5	12,36 m
la du diapason	440	0,773 m
la le plus aigu du piano	3520	0,0939 m

L'intensité du son dépend de l'amplitude de l'onde

L'intensité du son dépend de l'amplitude de l'onde. Dans l'exemple des vaguelettes sur un étang, l'amplitude est la hauteur de la vaguelette au-dessus du plan de l'eau. On comprend intuitivement qu'une vague énorme véhicule une plus forte énergie qu'une vaguelette.

Qui n'entend qu'une cloche... n'entend pas qu'un son !

Écoutez avec attention la plus grosse cloche d'une cathédrale lorsqu'elle sonne seule : vous percevez tout d'abord un son intense, la fondamentale, accompagné du "bourdon" sonnant une octave plus basse, puis, lorsque votre oreille est bien attentive, la tierce au-dessus de l'octave supérieure. Parfois même vous pouvez percevoir la quinte. Ces sons supplémentaires qui accompagnent le son fondamental sont les harmoniques naturels de celui-ci.

Que sont donc ces harmoniques naturels ?

Si nous imaginons un son grave dont la fréquence est de 100 vibrations par seconde que nous convenons d'appeler "premier harmonique", nous définissons alors :

- *le deuxième harmonique, le son qui a une fréquence double (200 vibrations par seconde), soit l'octave supérieure;*
- *le troisième harmonique, celui qui a une fréquence triple (300 vibrations par seconde), soit la quinte au-dessus de l'octave précédente,*
- *le quatrième harmonique, le son qui a une fréquence quadruple (400 vibrations par seconde), soit la deuxième octave.*
- *le cinquième harmonique, le son qui a une fréquence quintuple (500 vibrations par seconde), soit la tierce au-dessus de l'octave précédente.*
- *le sixième harmonique, le son qui a une fréquence sextuple (600 vibrations par seconde), soit la quinte az-dessus de l'octave précédente.*

En continuant de la m,ême manière, on peut trouver ainsi toute une série d'harmoniques dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale. La suite naturelle des harmoniques que peuvent produire certains émetteurs est montrée sur les schémas représentés sur les pages suivantes.

Ainsi, en considérant le do grave dont la fréquence est de 64 périodes par seconde, nous trouvons pour la fréquence 128 le do de l'octave juste au-dessus, puis un sol pour la fréquence de 192. Nous verrons plus loin comment ces harmoniques sont émis par les divers types d'instruments.

Les deux tableaux qui suivent illustrent comment s'établit la série des harmoniques naturels :

Suite des harmoniques naturels du do grave

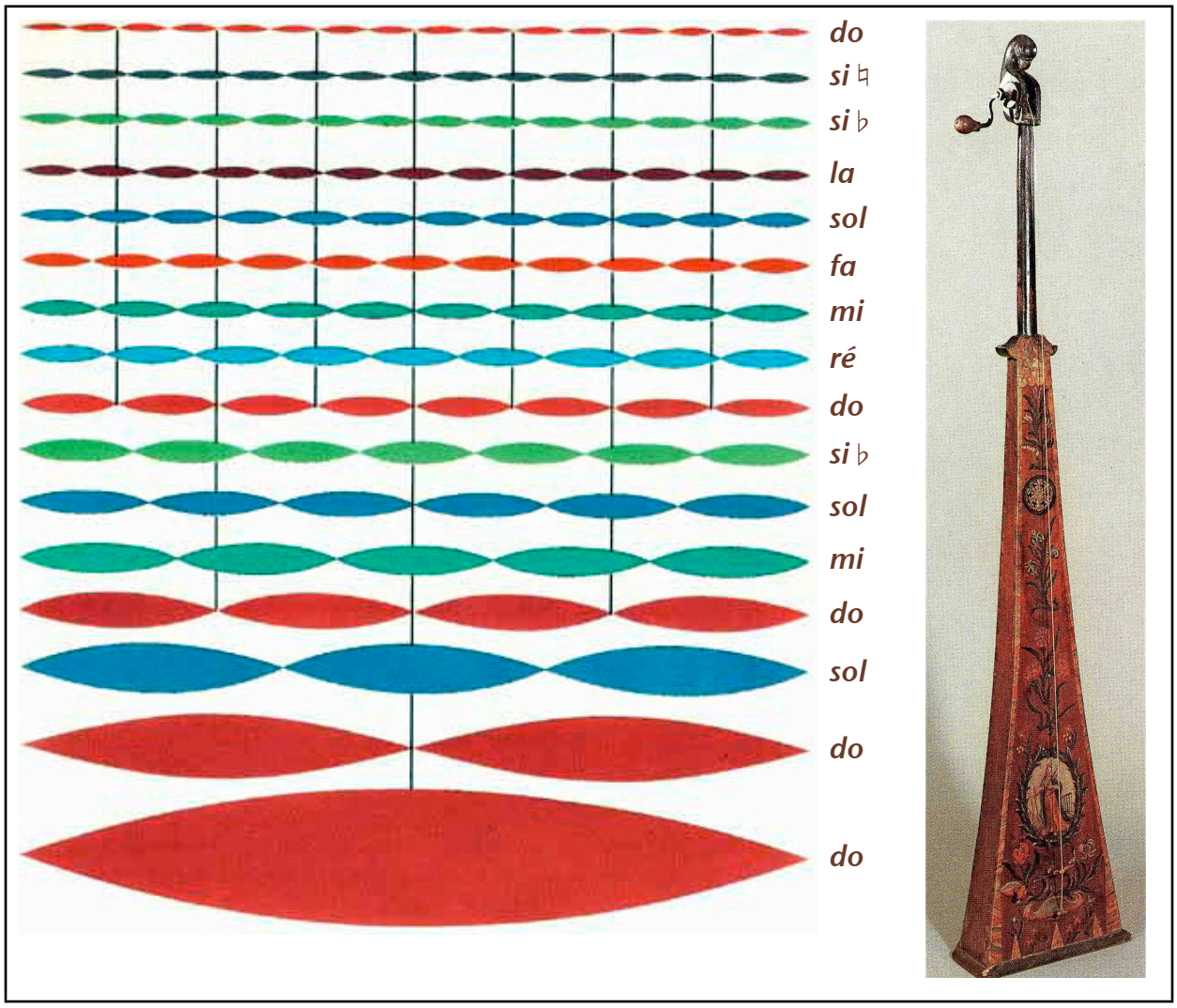
N°	fréquence	note	justesse*	
1	64	do		Première octave
2	128	do		
3	192	sol		Deuxième octave
4	256	do		
5	320	mi		Troisième octave
6	384	sol		
7	448	si ♭	trop bas	
8	512	do		
9	576	ré		Quatrième octave
10	640	mi		
11	704	fa	trop haut	
12	768	sol		
13	832	la	trop bas	
14	896	si ♭	trop bas	
15	960	si		
16	1024	do		
17	1088	do ♯		Cinquième octave
18	1112	ré		
19	1176	ré ♯		
20	1240	mi		
21	1304	fa		

On transpose une note d'une octave vers le bas en divisant sa fréquence par deux.

Réciproquement, on peut monter une note d'une octave vers le haut en multipliant sa fréquence par deux.

* comparée à la gamme conventionnelle utilisée aujourd'hui, basée sur le tempérament égal.

Autre manière de visualiser les harmoniques (d'après Marc Terrien)



On peut obtenir ces harmoniques à partir d'une corde de violon. On entend le premier harmonique et jouant la corde à vide au moyen d'un archet. En effleurant la corde en son milieu on fait sonner le deuxième harmonique. En effleurant la corde au tiers de sa longueur on engendre le troisième harmonique, puis le quatrième harmonique en effleurant la corde au quart de la longueur. Ainsi de suite on peut obtenir tous les harmoniques. La trompe marine est un instrument ancien qui ne produit que les harmoniques naturels. Constitué d'une seule corde longue de près de deux mètres, on la fait sonner avec un archet tenu dans la main droite. Les harmoniques sont alors obtenus en effleurant la corde avec la main gauche aux longueurs voulues.

L'oreille aime l'ordre et la simplicité

La suite des harmoniques naturels comprend donc tous les multiples de la fréquence fondamentale. Les sons qui nous sont familiers sont constitués d'une fréquence dominante accompagnée d'un savant mélange des harmoniques qui l'accompagnent. Ce savant dosage caractérise le timbre du son que nous entendons.

Si on ne considère maintenant que la fréquence du son fondamental et qu'on le compare aux fréquences qui caractérisent les notes des intervalles qui nous sont familiers, octave, quinte, quarte, tierce, on constate, en se rapportant au tableau ci-dessus, que ce sont des rapports de nombres entiers relativement simples.

Une expérience amusante

Prenons quatre bouteilles identiques : remplissons les d'eau à des niveaux de ½, ⅓ et ⅕. En soufflant sur le goulot nous obtenons la tonique, la tierce, la quinte et l'octave.

Intervalle		Rapport des fréquences
do - do	octave	2
do- sol	quinte	3/2
sol - do	quarte	4/3
do - mi	tierce majeur	5/4
mi - sib	tierce mineure	6/5

Les intervalles harmoniques plaisent à l'oreille

On voit que les intervalles qui constituent la suite des notes qui nous sont familières n'ont pas été fixés par des conventions arbitraires mais sont la conséquence de rapports harmonieux des fréquences que l'oreille humaine perçoit agréablement.

Quant à la gamme, c'est une autre histoire !

La suite des harmoniques peut nous fournir toutes les notes de la gamme. Toutefois cette gamme, dite harmonique, a quelques inconvénients.

On peut aussi reconstituer toutes les notes de la gamme en passant douze fois de suite d'une quinte à une autre. C'est la gamme dite pythagoricienne :

- *En montant on a les notes dièsées, soit : do - sol - ré - la- mi - si - fa# - do# - sol # - ré# - la# - fa - do.*
- *En descendant, on obtient les notes bémolisées, soit : do - fa - si♭ - mi♭ - la♭ - ré♭ - sol♭ - si - mi - la - ré - sol - do.*

Malheureusement le do qu'on pensait obtenir à la fin de ce cycle de quintes montantes est en réalité un si# qui ne coïncide pas tout à fait avec le do de départ.

De même en passant trois fois de suite d'une tierce majeure à la suivante soit do - mi, mi - sol# et sol#- do, on constate que le do qu'on croyait atteindre est en réalité aussi un si# qui ne coïncide pas non plus avec le do original. Par ailleurs, une note bémolisée ne coïncide pas tout à fait avec la note dièsée inférieure. Ainsi fa# est très légèrement plus bas que sol♭ !

Cela implique que les instruments à accord fixe, en particulier les instruments à clavier, ainsi que les violes, les guitares et les luths qui ont des frettes, ne peuvent pas être accordés d'une manière parfaitement juste en regard des intervalles harmoniques. Il en est de même pour toutes les notes jouées avec les touches noires du clavier. Il faut donc adopter un compromis qui consiste à rétrécir légèrement certaines quintes, augmenter les quartes et fausser un peu les tierces pour faire entrer tous les intervalles dans le cadre rigide d'un clavier de douze notes. Ce compromis porte le nom de tempérament. Mais ceci est une toute autre histoire !

Pour pailler à cet inconvénient, aux XVIIe siècle, certains facteurs ont même construits des clavecins et des orgues dont le clavier comportait des touches noires doubles qui permettaient de jouer soit le fa # soit le sol♭. Ils ont même ajouté un mi # et un si # !

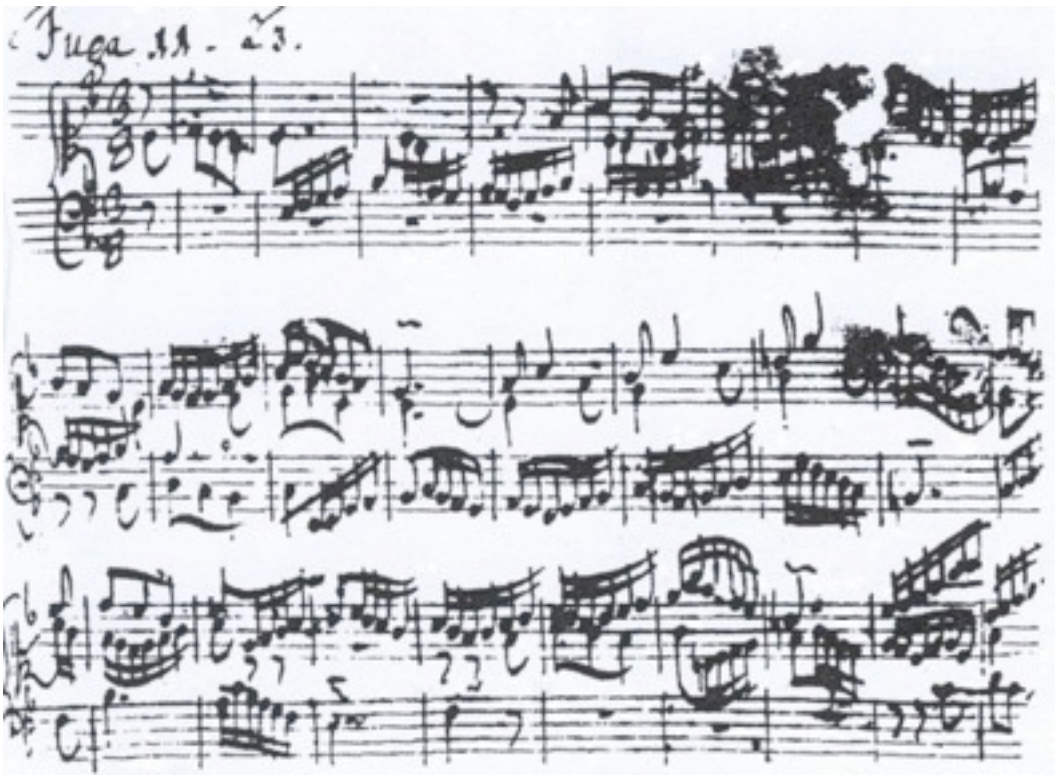
Par contre, la gamme harmonique peut être restituée sans altération par les instruments de la famille du violon, par les cuivres et par les chanteurs.

Tempérament égal ou inégal, c'est toujours un compromis !

De nombreux musiciens ont proposé des tempéraments particuliers qui tous présentent des avantages et des inconvénients. La plupart d'entre eux favorisent les tonalités les plus utilisées au détriment des autres. À l'époque de J.-S. Bach, on a imaginé des tempéraments permettant de jouer dans toutes les tonalités. Ce sont des tempéraments dits "inégaux" dans lesquels chaque tonalité montre un caractère qui lui est propre.

C'est probablement dans cet esprit que J.-S. Bach a composé les deux cycles de 24 préludes et fugues composées dans toutes les tonalités majeures et mineures. Ce n'est que plus tardivement qu'on leur a donné le nom de clavecin bien tempéré. Il n'est pas du tout certain que Bach pensait à un tempérament parfaitement égal. Ce n'est que vers 1900, qu'on a adopté, pour les instruments à clavier, le tempérament égal qui consiste à diviser la gamme en 12 demi-tons égaux. À l'exception de l'octave, tous les intervalles sont légèrement faux et malheureusement toutes les tonalités ont rigoureusement la même couleur !

Aujourd'hui, on est revenu à une attitude plus souple et on adopte, pour la musique ancienne, divers tempéraments inégaux qui sont choisis en fonction des œuvres jouées et de leur tonalité.



Extrait du manuscrit de J.S. Bach d'une fugue du clavecin bien tempéré

Le timbre d'un instrument dépend du mélange des harmoniques

L'expérience de la cloche nous fait sentir intuitivement que le timbre, c'est-à-dire la couleur du son qui nous permet d'apprécier la différence entre une flûte, un hautbois ou une clarinette, est dû aux proportions des différents harmoniques qui accompagnent le son fondamental. Ainsi, à la fréquence fondamentale qui détermine la hauteur du son s'ajoute donc un savant dosage d'harmoniques qui détermine le timbre de l'instrument.

Le timbre d'un instrument est dû au mélange subtil des harmoniques qui se superposent au son fondamental.

Ce savant dosage d'harmoniques est la conséquence de la géométrie de l'instrument. Pour les instruments à vent c'est le rapport du diamètre sur la longueur, la perce cylindrique, conique ou parabolique. La façon d'entretenir la vibration est aussi importante : anche simple, anche double ou vibration des lèvres.

Pour les instruments à cordes c'est la forme de la caisse, la qualité de la table d'harmonie, l'accroche des cordes, et la façon dont elles sont mises en vibration qui donnent à ces instruments le timbre qui les caractérise.