

Une approche sensorielle et expérimentale du son : Hauteur, intensité, timbre

Alain Boudet

Dr en Sciences Physiques

www.spirit-science.fr

3 novembre 2005

Cet article est consacré à la compréhension des caractéristiques physiques du son. Par l'expérience sensorielle, à travers des exemples familiers et grâce à des fichiers sonores inclus, nous découvrons les qualités physiques et musicales des sons. L'expression vocale peut profiter de ces prises de conscience et je propose quelques exercices vocaux d'applications.

Dans la première partie, nous faisons connaissance avec les notions de hauteur et de fréquence, et de la notation musicale correspondante. Dans la deuxième partie, nous familiarisons avec les notions de volume ou force du son, ainsi que ses modulations. Enfin, dans la troisième, nous abordons la prise de conscience du timbre. Par des illustrations visuelles et sonores, j'explique en détail les notions d'harmoniques, ce qui nous permet de comprendre comment fonctionne le chant diphonique.

Table des matières

1. Sons graves et sons aigus: hauteur et fréquence.....	3
Écoutons les voix humaines.....	3
Ondulations.....	4
Fréquence du son.....	4
Reproduire un son.....	4
Diapason: la définition du LA.....	5
Sauts de hauteur sonore et intervalles.....	5
Octaves.....	5
7 petites notes de musiques.....	6
Mesure des intervalles, cents et savarts.....	7
Perception de l'oreille.....	7
Amplitudes vocales et instrumentales.....	8
2. Sons forts et sons faibles: intensité et nuances.....	9
Puissance et volume.....	9
L'oreille et les décibels	9
Nuances.....	9
La perception du volume varie selon le contexte.....	10
3. Couleurs sonores, timbre et harmoniques.....	10
Harmoniques.....	10
Résonances.....	11
Sonagrammes.....	11
Sons partiels et bruits.....	12
Le timbre ne se réduit pas à une quantité physique.....	12
Superpositions de sons. Les accords.....	12
Le timbre de la voix. Travail vocal.....	13
Les voyelles.....	13
Chant harmonique ou diphonique.....	13
En savoir plus.....	14

Comment vous parler du **son**?

Le son a tellement de facettes que je lui consacre plusieurs articles dans mon site web spirit-science.fr.

Et vous, si je vous dis "son", qu'est-ce que cela vous évoque?

Quelles images, quelles sensations, quels sentiments?

La musique, les CD, les bruits de la nature, les bruits de la vie quotidienne?

Votre voix?

L'article présent est une invitation à une écoute affinée afin d'apprendre à connaître les qualités du son par l'expérience sensorielle. Je vais décrire successivement les 3 qualités physiques principales du son, à savoir la **hauteur**, l'**intensité** (dans cet article) et le **timbre** (dans un article séparé), avec l'approche de l'être sensible que nous sommes tous, complétée par celles du physicien, de l'acousticien et du musicien.

Les sons font tellement partie de notre univers qu'ils nous imprègnent de façon consciente et inconsciente dans les domaines les plus variés de notre vie. Notre oreille est stimulée par les sons de façon quasi-permanente. Pour le meilleur et pour le pire.

Le son ne touche pas seulement l'oreille, mais le corps entier et à travers lui, atteint divers niveaux de notre être, physique, émotionnel, mental, spirituel. Selon les personnes ou les circonstances, c'est un aspect ou un autre qui est mis en jeu. Par exemple, s'il survient un fort coup de tonnerre, une personne éprouvera de la peur, et éventuellement la manifestera. Quelqu'un d'autre va rester paisible, comptant le nombre de secondes entre l'éclair et le tonnerre, intéressé par cet aspect informationnel. Le niveau le plus immédiat est peut-être l'**émotion** que le son ou la musique nous procurent, de plaisir ou de déplaisir, quelquefois d'extase. Un autre phénomène extraordinaire lié au son est la **résonance physique** qui se produit dans notre corps et comment cette interaction peut harmoniser ou déséquilibrer les circuits énergétiques de notre corps. J'aborderai ces aspects dans d'autres pages (*voir [Résonances sonores corporelles](#)*).

Il y a aussi les sons qu'on émet soi-même. Comment dire l'importance de notre propre **voix**? A la fois comme instrument de **communication**, reflet de notre personnalité et de notre richesse, et comme **expression** de notre désir de chanter. Envie tout à fait naturelle et vivante, présente chez l'enfant dès le plus jeune âge, émergeant de nos élans intimes, à moins que nous ne soyons entravés par des jugements et que nous ayons honte de notre voix.

Le **physicien** est bien placé pour décrire les caractéristiques du son. Mais détient-il toute la vérité? L'**acousticien** a un autre point de vue, qui tient compte de la physiologie et de la psychologie de l'auditeur. Je décrirai également l'approche du **musicien**, basée sur sa sensibilité et sur un système de notation de la musique occidentale. Mentionnons celle du **musicothérapeute**, qui s'intéresse à l'aspect équilibrant, nourrissant et guérisseur du son. Ce sont toutes des vérités, qui répondent à des interrogations différentes, s'adressent à des plans différents de la personne humaine.

Nous nous aiderons de certains appareillages et logiciels du physicien et de l'acousticien destinés à préciser et illustrer certaines notions. Toutefois, nous laisserons de côté les explications scientifiques théoriques. Bien qu'elles soient utiles et passionnantes, elles ne prennent sens que si elles reposent sur du vécu et perçu.

C'est la recherche de ce ressenti sensoriel qui va nous guider dans notre découverte de la hauteur, de l'intensité et du timbre des sons.

1. Sons graves et sons aigus : hauteur et fréquence

Écoutons les voix humaines

Commençons notre exploration du monde sonore en écoutant les voix humaines, sans jugement, juste pour leurs sonorités multiples. Remarquons la différence entre les voix de femmes et les voix d'hommes par exemple. Pour la plupart d'entre nous, c'est notre expérience première, puisque nous avons écouté la voix de notre mère et celle de notre père, même à l'intérieur de l'utérus maternel. Les femmes ont des voix plus **aiguës**, et les hommes des voix plus **graves**. La qualité sonore qui nous permet de faire la distinction entre les sons graves et les sons aigus est leur **hauteur**.

Les hauteurs de sons sont également très perceptibles lorsque nous les prononçons ou les **chantons** nous-mêmes. Nous pouvons généralement identifier si nous chantons dans le bas de notre voix ou dans le haut. Toutefois, ce n'est pas toujours le cas car il existe des défauts de perception liés à des causes le plus souvent psychologiques, rarement physiques. Une éducation permet de retrouver une perception juste (*voir mon article sur [l'éducation musicale Willems](#)*).

Ondulations

Alors chantons des sons au hasard. Peut-être entonnerez-vous une mélodie. Les mélodies sont composées de notes

successives qui sont comme des paliers de sons à différentes hauteurs.

Et si je vous propose de chanter des sons qui montent et descendent de façon continue?

Cela ne vous semble pas naturel? Pourtant dans la nature, le vent nous fournit des mouvements continus du son en hauteur, surtout par jour de tempête, des montées et descentes du son. Nous pouvons l'imiter par la voix (écoutez l'[illustration sonore](#) jointe, voir la représentation graphique fig.1).

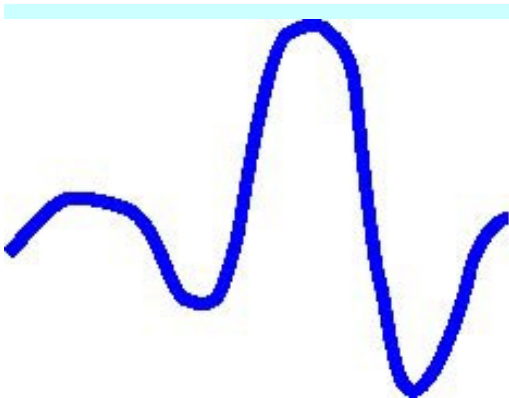


Figure 1. Vagues montantes et descendantes

Peut-être préférez-vous des sons plus mécaniques produits par les machines. Une sirène, une moto qui démarre avec une forte accélération, une débroussailleuse à fil, produisent des sons qui montent et descendent de façon continue.

Avec cette idée des vagues de sons, revenons à la voix humaine. Ne produisons-nous pas habituellement et naturellement des sons montants et descendant? Et oui, et très souvent, mais nous n'y prêtons pas attention. Il s'agit des intonations de nos phrases dans le langage, celles qui diffèrent d'un accent régional à un autre par exemple. Encore plus typiques sont les intonations accompagnant l'expression de nos **émotions**: "oh", "ah", "ah bon!", "ouah!", ou encore des gémissements, cris, etc.

Les instruments de musique occidentaux sont conçus plutôt pour produire les notes par palier, autrement dit des notes fixes, cependant nombreux sont ceux qui sont capables d'émettre des sons montants et descendants, comme la famille des violons. Le violoncelle sait très bien imiter la voix humaine.

On peut donner une représentation imagée de ces montées et descentes par des graphiques (fig.1). Les sons hauts sont dits **aigus** et les sons bas sont dits **graves** (grave comme gravité terrestre).

Fréquence du son

Depuis longtemps, on sait que **les sons sont produits par des vibrations**. Ainsi, un son peut faire vibrer des objets autour de nous, les vitres de la fenêtre par exemple. Le technicien du son peut observer que les membranes de ses haut-parleurs vibrent lorsqu'elles émettent des sons. Ces vibrations sont lentes pour les sons graves au point qu'on voit la membrane se gonfler vers l'avant et revenir vers l'arrière de façon répétitive. Les allers et retours deviennent d'autant plus rapides que le son est élevé.

Grâce à des expériences extrêmement simples, les physiciens ont pu relier la hauteur du son à sa fréquence de vibration (voir mon article [Histoire de la notion de fréquence sonore](#)). Ils mesurent la vitesse de vibration par le nombre d'allers et retours que fait la membrane par seconde, qu'il nomme la **fréquence**. Elle est mesurée en un nombre par seconde, encore appelé des "périodes par seconde" (abréviation *ps*) ou **hertz** (abréviation *Hz*). Un hertz correspond à 1 vibration par seconde. Un kilohertz (*kHz*) correspond à 1000 vibrations par seconde et un mégahertz (*MHz*) à 1 million de vibrations par seconde. L'oreille perçoit les sons sur une échelle de fréquences allant à peu près de 16 hertz (son très grave) à 16 000 hertz (son très aigu). Ces limites d'audibilité ne sont pas strictes et varient en fonction des individus.

Pour nous rendre compte des valeurs des fréquences, écoutons deux sons, l'un grave de 110 Hz, suivi d'un autre aigu, de 3520 Hz, dans cette illustration sonore.

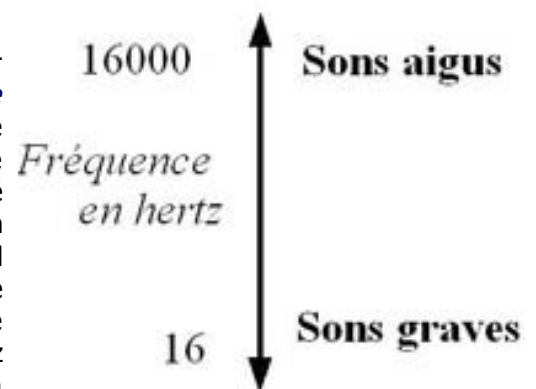


Figure 2. Échelle de fréquence des sons audibles

Son grave et son aigu

Cependant, il faut faire une distinction entre la hauteur absolue, mesurée par la fréquence, et la perception de la hauteur. Comme le dit E. Leipp, *la sensation de hauteur d'un son de fréquence donnée varie avec la hauteur absolue du son, avec son timbre, avec son intensité, avec le contexte musical.*

Reproduire un son

Exercice: Je vous fais entendre un son, celui-ci: [Une note](#)

Je vous demande de le chanter avec votre voix.

Puis celui-ci: [Une autre note](#)

Vous pouvez faire la même chose en produisant une note avec un clavier, ou tout autre instrument et le chanter. Si

vous n'y arrivez pas, ce n'est pas important. Il ne vous manque que l'entraînement à la justesse de voix, qui passe par la sensation corporelle des sons (voir article [Résonances des sons dans le corps](#)).

Diapason: la définition du LA

Les musiciens accordent leurs instruments avant de commencer à jouer de manière à ce qu'ils aient tous le même LA. Or ils s'alignent sur un LA produit par un petit appareil nommé un **diapason**. Est-ce à dire que ce LA est fixé? Effectivement. Toutefois, la hauteur du LA et des autres notes a longtemps été assez approximative sans que cela pose de problème. Pour le musicien, les hauteurs sont plus relatives qu'absolues. Ce qui importe est l'écart juste entre les notes. Ceci est lié à la notion de gammes et de modes (*voir article [Gammes et modes musicaux](#)*).

Vous êtes peut-être habitués aux notes données par le piano pour lequel un DO est un DO. Et lorsqu'un musicien rencontre un musicien, qu'est-ce qu'ils se disent? Accordons-nous. C'est-à-dire vérifions que nous avons bien le DO à la même hauteur. Mais la définition de la hauteur d'un DO ou d'un LA est arbitraire. Et oui! La notion de hauteur déterminée n'existait même pas en Occident avant le XVI^e siècle. Puis la hauteur du LA (et des autres notes) a varié dans le temps et dans l'espace, selon les régions et les pays, selon les époques et selon les instruments. Plus encore, elle pouvait varier d'un bâtiment à l'autre d'une même ville. En Europe, des mesures sur les instruments d'époque montrent pour le LA un étalement de plus de 2 tons. Cependant, on a peu à peu attribué une fréquence fixe aux notes. C'est ce qu'on appelle le **diapason**. Fixer un diapason national ou international est une idée moderne plus ou moins respectée.

En France le LA3 a été fixé à 435 hertz en 1859, avant d'être détrôné par le LA international. En 1939, la *Fédération internationale des associations nationales de standardisation* (ancêtre de l'*Organisation internationale de normalisation* ou ISO) **fixe arbitrairement le LA3 à 440 hertz à la température de 20°C**. En 1953, la Conférence internationale de Londres l'officialise.

Des explications plus détaillées sont données dans mon article: [La hauteur des notes de musique doit-elle être normalisée par un diapason?](#) Les aléas historiques de la fréquence du LA.

Sauts de hauteur sonore et intervalles

Dans les chants, la mélodie se promène par sauts de note en note, contrairement aux chants du vent et de la sirène qui glissent de façon continue. C'est comme si la rampe continue qui permet aux vélos et poussettes de monter la pente, a cédé la place à un escalier composé de marches espacées de façon ordonnée mais pas régulière. Les notes sont comme des paliers, des niveaux de hauteur de son. En musique, l'écart de hauteur entre 2 sons s'appelle un **intervalle**.

Exercice: *Écoutez deux notes successives différentes, qui constituent un intervalle, et amusez-vous à reproduire ces deux notes avec votre voix. Essayez avec celui-ci:*

[Un intervalle](#)

Exercez-vous avec des intervalles variés, en jouant deux touches au hasard sur un clavier par exemple, ou avec un autre instrument. Commencez par les plus simples, avec des touches proches l'une de l'autre.

L'intervalle entre deux touches de piano consécutives s'appelle un **demi-ton**. Intervalle entre un SI et un DO, par exemple, ou entre une touche noire et la blanche adjacente. Bien évidemment, on peut produire des intervalles qui ne sont ni des demi-tons, ni des tons ou leurs multiples: on peut sauter d'un son à un autre sans s'occuper des notes avec notre voix, ou avec des instruments de musique qui ne produisent pas de notes fixes comme le violon ou certaines flûtes rustiques. Il est possible et tout à fait intéressant d'entendre et de reproduire des intervalles beaucoup plus petits qu'un demi-ton (**micro-intervalles**).

Octaves

La musique est faite d'intervalles variés et innombrables. C'est la présence de certains intervalles plutôt que d'autres qui donne à une musique sa couleur orientale, chinoise, indienne ou occidentale par exemple. Car l'assemblage des intervalles produit les modes et des gammes (*voir l'article [Gammes et modes musicaux](#)*).

Toutefois, il est un intervalle que l'on retrouve dans toutes les gammes et dans toutes les cultures, un intervalle universel, c'est l'**octave**. Qu'est-ce que l'octave? La meilleure façon de vous la définir n'est-elle pas de vous le présenter, de vous le faire écouter?

[Deux sauts d'octave](#)

Exercice: chantez le premier intervalle d'octave entendu ci-dessus. Vous pouvez vous aider en imaginant que vous chantez (si vous la connaissez) la chanson suisse "[Là-haut sur la montagne](#)". Ce sont les deux premières notes, l'intervalle entre "là" et "haut".

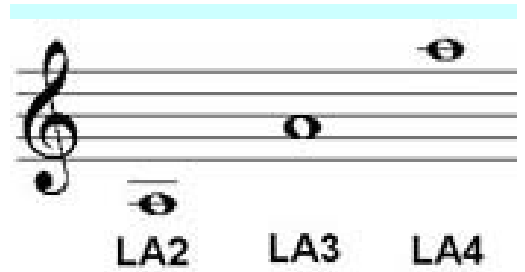


Figure 3. Deux sauts d'octaves successifs

Cet intervalle est universel parce qu'il est naturel, constitutionnel de notre nature. Il est facile de s'en rendre compte en comparant la voix féminine à la voix masculine. Demandons à un homme de chanter une petite mélodie et à sa compagne de chanter la même chose avec lui. Avec sa voix de femme, elle chantera naturellement plus haut que l'homme: exactement une octave plus haut. Et pourtant, tout en sachant que leurs voix sont différentes, ils auront la sensation de chanter la même chose, d'être ensemble, à l'unisson. Deux sons distants d'une octave, c'est le même son à deux niveaux différents.

Numérotation des octaves: LA3 = A4

En musique, deux sons distants d'une octave portent le même nom. Si le son grave est un DO, le son à l'octave au-dessus sera aussi un DO. Pour les distinguer, on leur attribue un numéro d'ordre qui augmente de 1 en montant: DO1, DO2, DO3, etc.... De même pour toutes les notes: LA3, LA4...

Dans les octaves graves en-dessous du DO1, on trouve, du moins pour la France, DO-1 et DO-2. Car **la notation change selon les pays**. En Grande Bretagne et aux Etats-Unis, on ne nomme pas les notes LA, SI, DO, RÉ, MI, FA, SOL, mais A, B, C, D, E, F, G. Pour la numérotation des octaves, l'octave de référence, l'octave numéro 1, n'est pas la même. Selon la notation anglaise, le A1 sonne une octave en dessous du LA1 français. Donc **le LA3 français est équivalent au A4**. En France, on n'utilise pas le zéro, alors qu'on l'utilise dans d'autres pays, et on peut donc trouver aussi la notation DO0 et DO-1 dans des partitions se référant à ces pays.

Pourtant, tous ne suivent pas ces règles. Les logiciels d'édition et de production sonore se réfèrent généralement aux habitudes anglaises et adoptent pour le LA3 la notation A4, qu'ils traduisent en français par LA4. Le même LA peut donc être appelé LA3 si l'on est fidèle à la tradition française ou LA4 s'il est calqué sur l'américain. D'après les concepteurs de ces logiciels, cela évite d'avoir des LA-1 et permet d'avoir un langage cohérent avec des musiciens étrangers.

Dans cet article, je conserve la notation française habituelle du LA3.

Fréquences des octaves

Le technicien qui mesure les fréquences de 2 sons distants d'une octave constate que leurs fréquences sont dans un rapport 2. Par exemple, le son grave a une fréquence de 30 hertz et le son aigu de 60 hertz; ou encore 2000 et 4000 hertz. La connaissance de la fréquence des sons fait donc apparaître des chiffres caractéristiques: **à l'octave est associé le chiffre 2**. L'article [Ton et intonation juste](#) rapporte les nombres associés aux autres intervalles dans trois types de gammes majeures. Ainsi pour les LA, on a les mesures suivantes:

Note	LA-1	LA1	LA2	LA3	LA4	LA5	LA6
Fréquence en hertz	55	110	220	440	880	1760	3520

On sait donc maintenant que l'exemple sonore de la figure 2 montrant l'amplitude des fréquences audibles va d'un LA1 à un LA6, à 5 octaves d'intervalle.

7 petites notes de musiques

Les musiciens repèrent la hauteur du son par les notes de la gamme. En Occident, les gammes de la musique classique et populaire reposent sur 7 notes de base s'inscrivant à l'intérieur d'une octave et répétées aux autres octaves. En français, ce sont les notes:

DO - RÉ - MI - FA - SOL - LA - SI

Tandis que la hauteur des LA est déterminée en fréquence par la convention internationale, les fréquences des autres notes ne peuvent pas être fixées de façon absolue, car elles dépendent de la gamme dans laquelle elles sont employées, et donc de la culture, de la conception que l'on a de la définition des intervalles, de notre jugement sur la justesse de la voix et en définitive de l'interprétation. Des détails sur les intervalles des gammes sont données dans l'article [Ton et intonation juste](#).

En anglais, on désigne ces notes par **A** (La) - **B** (Si) - **C** (Do, etc.) - **D** - **E** - **F** - **G**. En allemand, le **B** désigne un Si bémol, tandis que le **Si** est désigné par la lettre **H**.

Dans la gamme chromatique tempérée en usage actuellement, l'octave est partagée en 12 demi-tons équidistants:

DO - DO# ou **RÉb - RÉ - RÉ#** ou **MIb - MI - FA - FA#** ou **SOLb - SOL - SOL#** ou **LAB - LA - LA#** ou **SIb - SI - DO**

Pour indiquer les hauteurs sur une partition, le musicien représente les notes sur une portée générale à 11 lignes, divisée en deux portées à 5 lignes, une en clé de Sol et une en clé de FA (figure 4).

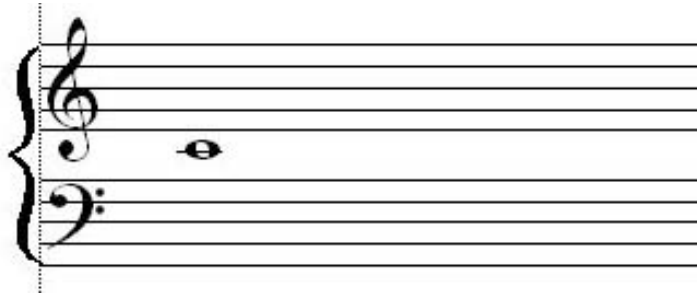


Figure 4. La portée de 11 lignes, avec le DO au milieu, représente l'échelle des hauteurs de notes par degrés

On peut imaginer cette portée comme une projection graphique de l'échelle sonore: les sons graves sont inscrits dans le bas et les sons aigus dans le haut sur une étendue d'environ 3 octaves, sans parler de ceux qu'on peut ajouter en bas et en haut. Le temps se déroule de gauche à droite.

Enfin, je signale qu'il existe une correspondance entre l'échelle verticale des sons et le corps. Les sons

résonnent dans le corps et ces résonances s'étagent des plus graves en bas du corps aux plus aigus dans le haut du corps. Je développe ce sujet dans un autre article ([Résonances sonores corporelles](#)).

Mesure des intervalles, cents et savarts

L'oreille est un organe surprenant. Lorsqu'on monte de LA en LA, on a l'impression qu'on ajoute à chaque fois le même intervalle d'une octave. Pour un musicien, **l'intervalle d'une octave est égal à 12 demi-tons, soit 6 tons**, quelle que soit la hauteur où se situe cette octave. 2 octaves font 12 tons, etc. Or de son côté, le physicien constate la multiplication de la fréquence par 2. En somme l'oreille a la propriété de transformer des multiplications en additions! En mathématique, la fonction qui réalise la même chose s'appelle un *logarithme*. Cela vous évoque-t-il quelque chose? C'est pourquoi on dit parfois que l'oreille est logarithmique.

Cents

Aussi on a inventé une façon de mesurer un intervalle avec une unité qui s'additionne. L'unité la plus simple est l'octave. Un sous-multiple est le demi-ton tempéré défini comme la douzième partie de l'octave. L'unité utilisée par les acousticiens est le centième de demi-ton appelé **cent**. Il s'ensuit qu'**une octave vaut 1200 cents**.

Un intervalle entre 2 sons de fréquences f_1 et f_2 s'exprime par le rapport f_1/f_2 . Le même intervalle exprimé en cents se calcule en passant en logarithmes par la formule: $I(\text{cents}) = \log\left(\frac{f_1}{f_2}\right) \times \frac{1200}{\log 2}$. Les termes 1200 et $\log 2$ sont simplement des coefficients d'échelle qui permettent de s'assurer que l'intervalle d'octave, de rapport $f_1/f_2=2$, fait bien 1200 cents.

Le savart

Il existe également une unité plus ancienne basée sur les logarithmes. Le physicien Savart a simplement transformé les multiplications de fréquences en additions en appliquant la fonction de logarithme à base 10. Puisque l'octave vaut 2 en rapport de fréquences, la nouvelle mesure d'*une octave vaut alors* $\log 2 = 0,30103$.

Le **savart** est défini comme le 1/1000 de l'octave, ce qui fait qu'**une octave vaut 301 savarts**. Tout intervalle entre deux notes de fréquence f_1 et f_2 vaut $1000 \log(f_1/f_2)$ savarts.

Le facteur d'échelle (1000) n'est pas tout à fait le même que celui des cents ($1200/\log 2 = 3986$), de sorte que 1 savart vaut approximativement 4 centièmes.

Un comma vaut environ 5 savarts.

Perception de l'oreille

Quel est le plus petit saut de hauteur que l'oreille peut apprécier?

Écoutez. Entendez-vous le saut de hauteur entre le LA et la fréquence supérieure?

[1/2 ton](#)

Un **demi-ton** tempéré ou 100 cents

soit $301/12=25,08$ savarts

En fréquences $2^{1/12}=1,0595$ (voir article [Ton et intonation juste](#))

Exemple: le saut entre LA de 440 Hz et LA#: $440 \times 1,0595 = 466,16$.

[1/4 de ton](#)

Un **quart de ton** ou 50 cents

ou $2^{1/24} = 1,0293$

Exemple: du LA 440 à la note de fréquence $440 \times 1,0293 = 452,89$

[1/10 de ton](#)

Un **dixième de ton** soit 20 cents

ou $2^{1/60}$

Exemple: saut de fréquence de 440 à $440 \times 1,0116 = 445,11$

[1/20 de ton](#)

Un **vingtième de ton** soit 10 cents

ou $2^{1/120}$

Exemple: saut de fréquence de 440 à $440 \times 1,00579 = 442,55$

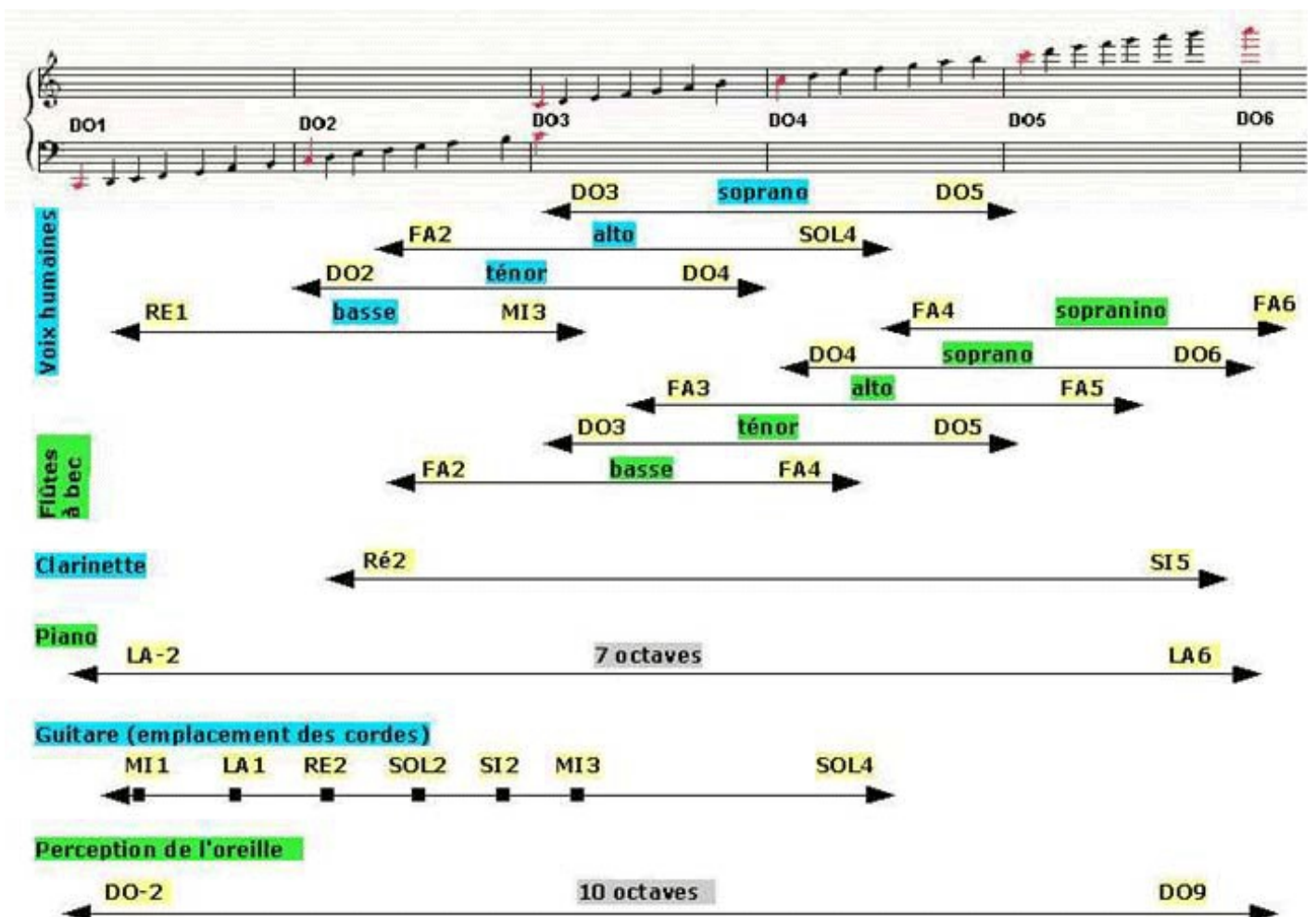
L'oreille perçoit très facilement le demi-ton, mais elle est beaucoup plus performante que ça, bien plus qu'on imagine: il lui est facile de distinguer le 1/10^e de ton et même le 1/20^e de ton. Une oreille entraînée est capable de discerner le 1/200^e de ton dans les fréquences moyennes de sa plage d'audition, soit 1 centième ou une variation de fréquence de 0,05%. **Le cent (centième de demi-ton) apparaît comme la plus petite hauteur perceptible.**

Amplitudes vocales et instrumentales

Sur la figure 5, j'ai reporté les tessitures des voix humaines, des flûtes à bec (flûtes douces), de la guitare et du piano. On remarque que la voix s'étale sur 2 à 3 octaves, tandis que le piano atteint 7 octaves.

Quant à l'oreille, elle peut percevoir environ de 16 à 16 000 Hz soit jusqu'à 10 octaves. En effet, si l'on double la fréquence 10 fois, cela revient à multiplier par $2^{10} = 1024$, très proche de 1000.

Figure 5. Étendues (tessitures) des voix humaines, des flûtes à bec, de la guitare classique et du piano



2. Sons forts et sons faibles: intensité et nuances

Puissance et volume

La comparaison de sons de même hauteur nous livre une deuxième caractéristique, leur **force**. Vous en avez tous l'expérience. Telle personne parle avec une petite voix faible, à peine audible, tandis qu'une autre se fait entendre avec une voix trop forte, presque dérangeante. Cette qualité de force ou de **puissance** du son est nommée **intensité** par les physiciens. L'intensité du son est réglée par le bouton "**volume**" de notre chaîne hi-fi, autre façon d'indiquer sa puissance.

Exercice: Écoutez la clarinette dans l'exemple sonore ci-dessus. De la même façon, émettez avec votre voix un son faible qui devient fort et redevient faible.

[Écoutez un crescendo et un decrescendo](#)

Vous pouvez sentir dans votre corps que vous devez mettre plus de force dans le son fort. Cette caractéristique des sons est donc tout à fait perceptible par nos sens, dans les muscles de notre poitrine et de notre ventre, et pas seulement par l'oreille. Elle est reliée à l'**énergie** mise en oeuvre pour produire le son. Le son vibre dans l'air et vient stimuler le tympan. Pour les physiciens, sa puissance peut être exprimée avec des unités liées à l'énergie tel que le watt par mètre carré.

Notre langage est d'ailleurs un peu confus à ce sujet, puisqu'on dira "parle tout bas s'il te plaît". Le "bas" dont il est question ne concerne pas la hauteur du son, mais le **volume** du son. Cette association du haut et du fort (cf "haute tension") ne doit pas se transformer en équivalence. Il est vrai que la distinction de ces deux qualités d'un son n'est pas acquise d'emblée. Prendre conscience qu'un son est plus fort ou plus haut qu'un autre est un processus de conscience qui nécessite un apprentissage. La hauteur d'un son est une caractéristique différente de son intensité. On peut avoir des sons graves qui sont faibles et d'autres qui sont forts et on peut avoir des sons aigus faibles et d'autres forts.

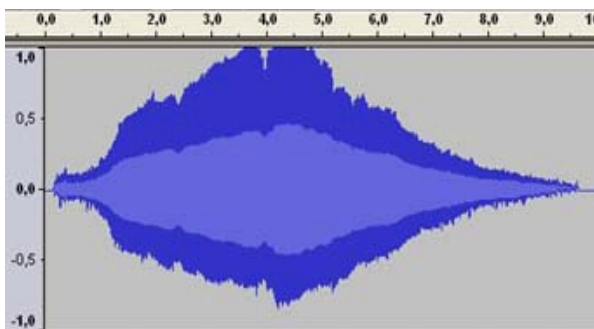


Figure 1. Son croissant et décroissant

La figure 1 montre une représentation possible de la puissance du son. La ligne horizontale figure le déroulement du temps de gauche à droite. La ligne verticale figure le volume: un son fort est représenté par un élargissement de part et d'autre de la ligne médiane du zéro. Un son nul se réduit à la ligne médiane (voir des explications plus détaillées dans l'article [Physique du son](#)).

L'oreille et les décibels

L'oreille n'entend rien en-dessous d'un certain seuil d'intensité (**seuil d'audibilité**). Elle a également une limite supérieure: certains sons sont tellement forts qu'ils sont assourdissants et douloureux.

Les seuils d'audibilité et de douleur varient en fonction de la fréquence du son. On peut donc tracer un audiogramme pour les représenter, comme sur la figure 2. Les audiogrammes varient avec les personnes, avec l'état de santé et avec l'âge. Et aussi avec l'attitude mentale de l'auditeur (concentration, refus d'écouter,...)!

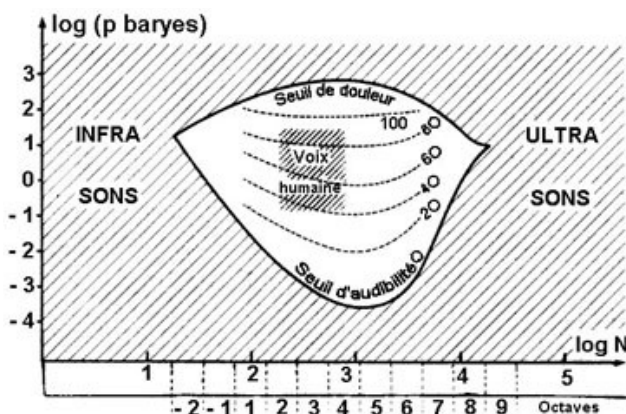


Figure 2. Courbe typique d'audibilité. En abscisse (ligne horizontale), la hauteur du son exprimée par le numéro de l'octave ou la fréquence. En ordonnée (ligne verticale), l'énergie du son exprimée en pression de l'air (d'après Eurin et Guimiot, Cours de physique, Hachette, 1958).

Pour tenir compte des particularités physiologiques et nerveuses du système auditif, les **acousticiens** évaluent l'intensité sonore en **decibels**. Cette unité prend en compte un seuil moyen d'audibilité et certaines lois physiologiques de l'oreille. Celles-ci sont d'ailleurs diversement appréciées par les physiologistes, ce qui donne lieu à plusieurs définitions de "decibels pondérés".

Nuances

Le **musicien** exprime l'échelle de force des sons ou **nuances** du plus faible au plus fort par les termes italiens

pianissimo (pp), piano (p), mezzoforte (mf), forte (f), fortissimo (ff), et le passage de l'un à l'autre par les termes *crescendo* et *decrescendo* (ou *diminuando*).

La perception du volume varie selon le contexte

Ce n'est pas parce que le physicien mesure avec précision l'énergie du son et ses modulations qu'il faut s'imaginer qu'on peut définir la perception de sa force en mesurant son énergie. Pour un signal d'une même force, cette perception diffère avec la hauteur, comme on le voit sur la figure 2.

Elle varie également avec le contexte. Des esprits rationalistes bien intentionnés ont tenté de codifier les nuances *pp*, *ff*, etc. en leur attribuant des valeurs précises en décibels. Mais ils ont échoué car l'exécutant, guidé par sa sensibilité, ne joue pas un "piano" de la même façon selon le passage où il se trouve. *"L'oreille est un système adaptatif, où la chaîne des osselets joue le rôle d'un potentiomètre d'intensité réglable... Si un son est trop intense, l'auditeur, à son insu, généralement "baisse le niveau" de quelques 20 ou 30 décibels en relâchant les muscles de ses osselets. Si un son est trop faible et qu'il veut l'entendre, il "tendra" l'oreille, c'est-à-dire réglera le système ossiculaire de façon optimale. Dès lors les conclusions sont évidentes: le niveau perçu, "subjectif", sera fonction du niveau du contexte musical immédiat (de l'intensité des sons qui précèdent celui qu'on écoute."* (E. Leipp, Laboratoire d'Acoustique Musicale, Université de Paris VI, bulletin du GAM, décembre 1978)

Les nuances n'ont pas de valeur absolue. C'est une appréciation subjective, et c'est ce qui est recherché en musique tant il est vrai que nous avons besoin de plaisirs subjectifs.

3. Couleurs sonores, timbre et harmoniques

Écoutez ces deux sons de même hauteur, un Ré, l'un joué à la clarinette et l'autre à la flûte à bec alto avec la même intensité.

[Écoutez deux sons de timbres différents](#)

Vous distinguez parfaitement bien les deux sons et si vous avez déjà entendu une clarinette et une flûte, vous saurez dire que le premier provient de la clarinette et le deuxième de la flûte. Or qu'est-ce qui vous permet de les distinguer? Comment peut-on nommer ce qui est différent? Ce n'est ni la hauteur ni le volume. Intuitivement, on dira c'est la **couleur** du son. Le musicien l'appelle le **timbre**.

Harmoniques

Pour savoir quel est l'élément responsable du timbre dans le son, les physiciens ont analysé les caractéristiques de l'onde sonore en comparant des sons de même hauteur et de timbre différent. Ils ont découvert que l'onde sonore est composée de plusieurs sons partiels qui se superposent (*voir Analyse physique de l'onde sonore dans mon article: [Physique et perception du Son](#)*). À la composante de base qui donne au son sa nature de note musicale avec sa hauteur et sa fréquence F , se superposent d'autres ondes moins perceptibles dont les fréquences sont des multiples de F : $2F$, $3F$, $4F$, $5F$, $6F$, etc. On les appelle des **harmoniques**.

Pour mieux vous rendre compte de quoi il s'agit, l'illustration sonore suivante vous fait entendre séparément un son fondamental suivi de ses harmoniques. Dans cet exemple, le son fondamental (harmonique 1) a une fréquence de 130 Hz, très proche d'un **DO2**. C'est un choix arbitraire qui donne un LA quasiment à 440 Hz. Puis viennent les harmoniques 2 (260 Hz), 3 (390 Hz), 4 (520), 5 (650), 6 (780), 7 (910), 8 (1040), 9 (1170), 10 (1300), 11 (1430), et 12 (1560).

Numéro d'ordre de l'harmonique	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fréquence en hertz	130	260	390	520	650	780	910	1040	1170	1300	1430	1560
Nom de la note correspondante	DO2	DO3	SOL3	DO4	MI4	SOL4	proche de SIb4	DO5	Ré5	MI5	proche de FA#5	SOL5

[Écoutez les harmoniques](#)

Expérience: Si vous disposez d'un piano à cordes (et non électronique), vous pouvez réaliser une expérience pour approfondir cette notion d'harmonique. Vous allez libérer les étouffoirs des cordes de certaines notes choisies en maintenant leurs touches enfoncées doucement. Les notes choisies sont en correspondance harmonique: d'abord un son fondamental, le DO1. Vous enfoncerez ensuite la touche de la deuxième harmonique, qui a la

fréquence double - c'est, on l'a vu plus haut, l'octave, donc DO2. La note de fréquence 3F, troisième harmonique est SOL2, puis les harmoniques suivantes sont DO3, MI3, SOL3. Maintenant, jouez avec force le fondamental DO1. Lorsque vous cessez, tout en maintenant les autres touches enfoncées, écoutez vibrer toutes les cordes libérées.

Ce phénomène n'est-il pas remarquable? Le son d'une note a la capacité de stimuler et de faire sonner d'autres cordes accordées sur ses harmoniques, par résonance, sans contact direct. Remarque: cela ne marche que si le piano est bien accordé. Essayez avec d'autres notes pour constater que la résonance ne fonctionne pas ou presque pas. **Cela nous montre qu'une note et ses harmoniques sont intimement liées.**

Résonances

Ainsi, cette expérience nous révèle un autre phénomène étonnant quoique très répandu, le phénomène de **résonance**. Les cordes du piano se sont mises à vibrer alors qu'elles n'ont pas été touchées mécaniquement. C'est la vibration de la corde DO1 seule qui les a excitées à distance. De même un avion qui passe fait vibrer une vitre de la maison: résonance. Un bruit se manifeste dans votre voiture seulement quand le moteur tourne à une certaine vitesse: résonance.

Dans certains instruments de musique, comme le violon d'amour, instrument du Moyen Âge, ou le sitar, instrument traditionnel de l'Inde, il existe des cordes passives qui sont tendues sur l'instrument mais que le musicien ne touche pas. Elles émettent des sons par résonance avec les autres cordes, les cordes actives. On dit qu'elles vibrent en sympathie, ce sont des **cordes sympathiques**. On peut les trouver sympas car c'est effectivement très agréable, mais le mot signifie qu'elles se trouvent sympas entre elles et qu'elles vibrent ensemble, car cela veut dire "qui sont sensibles (path..) ensemble (syn..)".

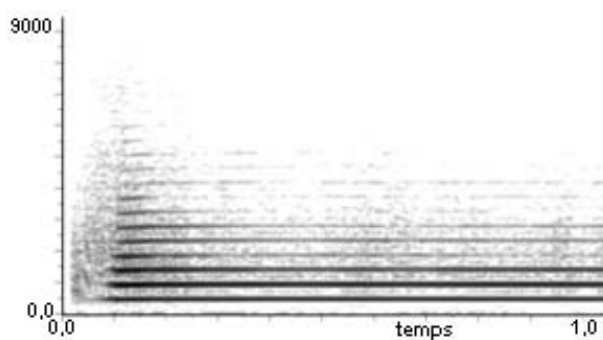
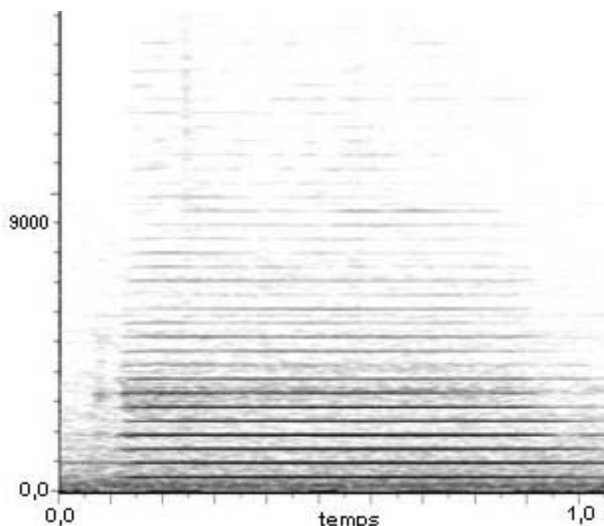
Sonagrammes

Revenons au timbre, munis de cette connaissance des harmoniques. Le **timbre** est déterminé par la richesse du son en harmoniques. Un **sonagramme** (quelquefois aussi appelé sonogramme selon le terme anglais) montre la décomposition du son en ses composantes de différentes fréquences. C'est ainsi que nous pouvons constater que les sons d'un *violon* (figure 1) comprennent beaucoup plus d'harmoniques que ceux d'une *trompette* (figure 2). Si le son fondamental a la fréquence F, les harmoniques sont étagées selon des traits horizontaux espacés régulièrement de la distance F. Il existe aussi d'autres composantes, sons partiels, bruit de fond...

1. Sonagramme d'une note de violon.

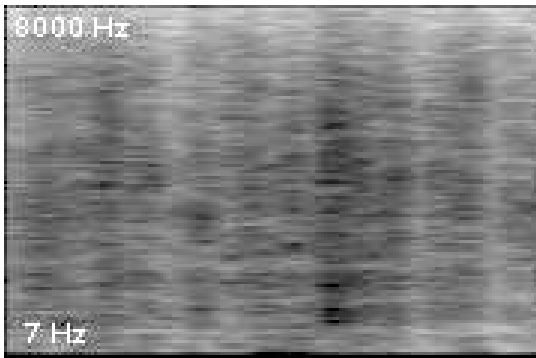
Sur l'axe horizontal, le déroulement du temps. Le son commence à gauche et se termine à droite. Sur l'axe vertical, les fréquences. Le trait est d'autant plus noir que l'intensité est plus forte.

2. Sonagramme d'une note de trompette



Sons partiels et bruits

Les bruits tels que claquements, chocs, crissements, sont trop complexes pour qu'on puisse leur attribuer une hauteur déterminée. Leur sonagramme révèle des composantes qui ne sont pas des harmoniques, car elles ne sont pas des multiples entiers de la fréquence la plus basse. Un **bruit** est fait de la superposition d'ondes de fréquences sans rapport entre elles, qu'on appelle des **sons partiels**.



Spectre d'un bruit de papier froissé. Le bruit ne comporte ni fréquence fondamentale, ni harmoniques, mais un ensemble continu distribué sur toutes les fréquences.

[Écoutez le bruit de papier froissé](#)

Les **instruments à percussion**, qui n'ont pas de hauteur fixe, ne comportent que des partiels.

Le son d'une **cloche**, bien qu'il soit hautement musical, est cependant complexe. On peut détecter plusieurs sons fondamentaux.

Lorsque les harmoniques d'un son de hauteur bien déterminée deviennent prépondérantes par rapport au son fondamental, l'oreille a

de la difficulté à percevoir sa hauteur. Des sons synthétiques jouent sur cette confusion, par exemple en donnant l'impression qu'un son évolue en descendant sans cesse, alors qu'en réalité il est cyclique.

Le timbre ne se réduit pas à une quantité physique

Selon ce qui vient d'être exposé, la notion de timbre semblerait être complètement définie par la physique des harmoniques. Or il n'en est rien. Comme pour la hauteur et l'intensité, l'impression sonore dépend non seulement de l'onde sonore, mais également du fonctionnement de l'oreille et du cerveau, lui-même tributaire de la culture et de l'histoire de la personne (*voir l'article [Son: nature et perception](#)*).

Voici ce qu'en disent Jean-Claude Risset et Gerald Bennett, IRCAM (Institut de recherche et coordination acoustique/musique), Paris, dans la revue *La Recherche* n°108, février 1980. *On croit d'habitude que le timbre se caractérise d'abord par le spectre en fréquences du son, c'est-à-dire sa plus ou moins grande richesse en tel ou tel harmonique. Mais le timbre dépend de la hauteur et de la durée du son, et il est, généralement, lié aux vibrations du spectre au cours du temps, pendant la note. Il s'agit donc d'une notion complexe, difficile à caractériser d'une manière simple.*

Un exemple: l'attaque de la note participe de façon essentielle dans la reconnaissance de l'instrument, donc de son timbre. Autrement dit, pendant un laps de temps très court au-début de la note, le son évolue avant de se fixer sur un régime plus stable. Et bien, si on coupe ce temps électroniquement, on ne reconnaît plus l'instrument. Le son enregistré d'un piano rejoué en sens inverse ressemble à celui d'un accordéon.

Et voici ce qu'en disait E. Leipp, Laboratoire d'Acoustique Musicale, Université de Paris VI, bulletin du GAM, décembre 1978. *Les composants d'un SON MUSICAL CHANGENT CONTINUELLEMENT DANS LE TEMPS, un son qui ne fluctue pas continuellement étant un son "mort", non musical. En effet, un son physique, fixe, est bien un "objet sonore", mais un son musical est un "être sonore", un être qui naît, évolue puis meurt. Et dès lors une pièce de musique ne peut plus être considérée comme une "exposition d'objets" mais comme une "pièce de théâtre" acoustique où les sons musicaux sont des acteurs qui vivent, se côtoient, réagissent différemment selon les moments, les circonstances, le voisinage de l'instant, etc...*

Superpositions de sons. Les accords

Vous pensez peut-être que l'approche vers la notion de timbre a été bien technique puisqu'elle a nécessité un appareil d'analyse électronique, le sonographe, et que cela n'a rien de sensoriel. Toutefois, le sensoriel est intervenu en premier lieu dans l'écoute de sons différents par leur timbre. En second lieu, il est possible de percevoir sensoriellement les harmoniques d'un son complexe. Autrement dit, ce que l'appareil a fait, l'oreille entraînée et développée peut le faire. Ce n'est cependant pas immédiat et cela demande un peu de pratique.

Il s'agit de distinguer plusieurs sons différents dans un complexe de sons. Cela commence par l'écoute de sons complexes où les composantes sont nettes et bien identifiées: les accords. Un **accord** est l'émission de plusieurs notes simultanées et superposées par tierces.

Expérience: Voici un accord composé des 3 notes DO, MI et SOL (accord parfait majeur) dans l'illustration sonore ci-dessous. Percevons tout d'abord l'accord comme un son global agréable et riche. Puis orientons notre attention sur les trois notes qui le composent et cherchons à les percevoir l'une après l'autre, séparément, puis à nouveau assemblées en accord.

[Écoutez un accord de trois notes](#)

Le processus est exactement comparable à la dégustation d'un plat savoureux. On peut l'apprécier globalement, et on peut également fixer son attention sur la recherche des ingrédients, épices, légumes, etc. qui participent à la saveur. Une autre image, sonore celle-ci, est celle d'un orchestre jouant une symphonie dans lequel on peut percevoir la partie séparée de divers instruments. L'oreille possède donc la capacité remarquable de distinguer les sons composants dans un son complexe.

Le timbre de la voix. Travail vocal

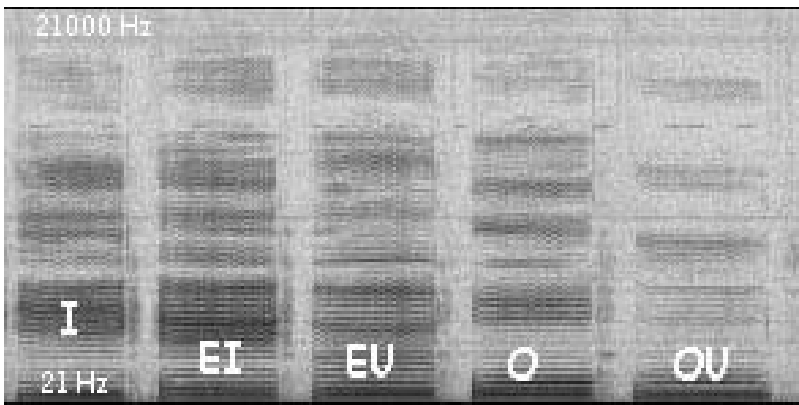
L'étape suivante du développement sensoriel de l'oreille consiste à repérer **les timbres de la voix chantée**. On reconnaît la voix de quelqu'un à sa couleur, à son timbre. Bien sûr, il y a aussi la hauteur de la voix, voix grave, voix aiguë. Mais on va également estimer que certaines voix sont "timbrées", alors que d'autres sont plus plates. Il en est de même de la voix chantée. Ce qui nous fait reconnaître un chanteur d'un autre, chantant la même chanson à la même hauteur, c'est son timbre de voix.

Lorsqu'on entreprend un travail vocal, le timbre de la voix change. Le travail vocal tel que je l'envisage ne consiste pas à façonner sa voix en luttant contre sa nature pour la faire ressembler à un modèle, mais à la découvrir, à l'explorer et à libérer ce qui l'encombre, pour en récupérer les pleines potentialités. On constate alors que la voix s'enrichit en harmoniques. Même si on n'est pas capable de percevoir les harmoniques, on constate la richesse de la voix globalement. Comme si des parties de notre corps un peu éteintes se mettent à vibrer et à participer à l'ensemble.

Les voyelles

Or la voix chantée s'appuie essentiellement sur les voyelles. Les consonnes agissent pour structurer les voyelles. Ce que je désigne par voyelle ici, ce ne sont pas uniquement les voyelles *écrites*, qui sont spécifiques de l'alphabet spécifique français, tandis que chacun des alphabets étrangers codifie ses propres voyelles, différentes en nature et en nombre. Je parle des *sons* que produit la voix continue soutenue par le souffle, tels que A, E, I, O, U certes, mais également é, è, on, an, in, mm, nn, etc.

Il est intéressant de porter attention au timbre du son d'une voyelle. Si je prononce deux voyelles différentes, ou mieux si je chante deux voyelles à la même force et la même hauteur, je les reconnais et les distingue parce qu'elles n'ont pas la même composition en harmoniques. En fait, ce qui caractérise chacune des voyelles et qui fait leur nature, c'est leur spectre d'harmoniques.



Spectre des voyelles: I, È ou EI, EU, O, OU

[Écoutez la suite des voyelles correspondantes](#)

Le I comporte des harmoniques aiguës intenses. Puis, en chantant la suite È ou EI (comme dans vEIne ou parEII qui se prononcent à peu près parEII au nord et au sud de la France), EU, O, OU, on renforce des harmoniques de plus en plus basses.

Il existe des façons traditionnelles de chanter qui mettent en avant la richesse de la voix en harmoniques, et plus particulièrement des voyelles. La convergence des voix entre elles,

associée à la résonance des voix avec un lieu tel qu'une église qui renforce les harmoniques, produit des harmoniques très distinctes qui semblent planer au-dessus des spectateurs et surgir de nulle part.

Chant harmonique ou diphonique

Les musiciens et les chanteurs entraînés ont de tout temps été capables d'entendre les harmoniques contenus dans le son et superposés au fondamental. Certains sont même capables de les faire résonner séparément dans la voix chantée. C'est ce qu'on appelle le chant diphonique ou harmonique.

[Écoutez un extrait de chant diphonique](#)

Cette façon de chanter existe depuis longtemps et a probablement été utilisée dans des rituels sacrés pour mettre en état de transe. David Hykes a été un pionnier aux USA et en France dans les années 1970 pour faire découvrir ce type de chant grâce à son groupe, *The Harmonic Choir*. Un chercheur d'origine vietnamienne, Tran Quang Hai, ethnomusicologue au CNRS, a étudié cette manière de chanter dans le chant traditionnel d'un peuple de l'Asie centrale, les Touvas.

Dans le film "Rencontre avec des hommes remarquables" (1977), d'après le livre autobiographique de même titre de George Ivanovitch Gurdjieff, le réalisateur Peter Brook montre un concours de chant harmonique en plein air "qui fait trembler la montagne".

En savoir plus

Dossier Musique et Sons dans le site spirit-science.fr

- **Le phénomène sonore: Nature et perception:** Qu'est-ce que le son? Est-ce un phénomène physique? Non, c'est un phénomène de perception par le cerveau provoqué par une source physique. Dans cet article, nous découvrons cet enchaînement de phénomènes: nature vibratoire du son, comment il est émis, comment il se propage; par quel mécanisme il est capté, entendu et perçu par le cerveau.
- **Modes et gammes**
 - 1. **Nature et constitution.** La gamme est un condensé de mélodie qu'on peut appréhender sans connaître le solfège, par l'approche sensorielle. La notion de mode est tout aussi naturelle. Un mode, c'est ce qui reste fixe lorsqu'on change la hauteur de la mélodie. C'est une façon de diviser l'octave en échelons intermédiaires. La gamme, c'est ce qui change dans un mode lorsqu'on change la hauteur de la mélodie. Cette distinction est apparue récemment dans l'histoire musicale, en même temps que l'idée de hauteur absolue.
 - 2. **Défilé de modes.** Ceux qui, conditionnés par le gavage scolaire, s'imaginent que l'univers musical repose en tout et pour tout sur les modes majeur et mineur, devront réviser leur point de vue et reculer les frontières de leur esprit. La construction des modes devient un jeu surprenant et amusant. De la manière d'arranger des intervalles à l'intérieur d'une octave. Découverte de nombreux types de modes produits par des cultures créatives de notre vaste monde. Modes pentatoniques et heptatoniques. Gammes occidentales, tziganes, indiennes, contemporaines, chinoises, arabes, etc. avec illustrations sonores.
 - 3. **Le ton et l'intonation juste.** Pourquoi les interrogations sur la définition du ton et les intervalles constitutifs des gammes ont-elles préoccupé tant de compositeurs et musicologues depuis l'antiquité grecque? Le ton n'est-il pas une donnée absolue? Il y a des réponses techniques et mathématiques. La gamme tempérée a succédé à d'autres gammes, telles que les gammes pythagoriciennes et la gamme de Zarlino. Elle n'est qu'une mode passagère, correspondant à une époque. Sa remise en cause actuelle correspond à une phase de déconditionnement. Toutefois l'essentiel réside dans l'effet sonore qui résulte de la gamme et comment elle résonne et agit sur le corps. Les recherches actuelles tentent de trouver une intonation qui soit juste pour le corps et l'être.
- **La hauteur des notes doit-elle être normalisée par un diapason? Les aléas historiques de la fréquence du LA.**
 - 1. Depuis 1953, une norme internationale recommande d'accorder les instruments de musique à la fréquence de 440 hertz pour le LA. C'est une volonté récente, car dans le passé, on ne s'intéressait qu'aux intervalles entre les notes et on ne savait pas mesurer leur fréquence.
 - 2. Fixer un diapason à 1 Hz près a un sens purement technique car musicalement, les notes émises par les instruments sont fluctuantes et varient avec la température et le souffle. Lorsque vous entonnez une chanson, vous ne vous souciez pas du diapason. La nécessité d'un diapason commun est apparue pour des motifs pratiques et commerciaux, afin de faciliter la musique professionnelle d'ensemble et la fabrication des instruments.
 - 3. Au moins jusqu'au 18^e siècle, le diapason des instruments variait d'un endroit à l'autre, d'une époque à l'autre et d'un instrument à l'autre. Puis des tentatives de normalisation ont été effectuées, mais le choix des valeurs retenues a suscité des controverses, qui ne se sont pas éteintes avec la normalisation internationale de 1953.
 - 4. Le choix d'un diapason plus haut ou plus bas peut affecter le rendu sonore et la performance vocale des chanteurs lorsqu'il s'agit d'interpréter des œuvres écrites dans le passé. L'essentiel est l'impact émotionnel et physique de la musique sur l'auditeur. Il résulte de paramètres complexes qui dépassent de loin la question du diapason.
- **Évolution de l'expression musicale occidentale du Moyen-Âge à nos jours.** Du plaint-chant à la polyphonie, de la monodie à l'harmonie, du modal au tonal puis à l'atonal, les formes de l'expression musicale n'ont pas cessé de s'inventer et de se réinventer tout au long de l'histoire. Dans cette évolution, c'est l'âme humaine qui s'explore sous toutes ses facettes. Quelle que soit l'époque, certaines musiques nous nourrissent, d'autres nous causent des préjugés. (Illustrations sonores)
- **Résonances sonores corporelles:** Les sons de notre environnement ne stimulent pas seulement les tympanes de nos oreilles, ils mettent en vibration certaines parties de notre corps. Toutes les parties de notre corps sont susceptibles d'être mobilisées en fonction de la hauteur et du timbre de ces sons. Apprendre à ressentir et prendre conscience de ces résonances, et plus particulièrement celles provoquées par notre propre

voix chantée, est une porte essentielle pour développer d'autres dimensions subtiles de notre être.

- **Les sons créateurs de formes. Les sons ont-ils participé à la formation de l'univers?** Lorsqu'une plaque sur laquelle on a déposé du sable ou un liquide est soumise à une vibration ou à un son, le sable ou le liquide s'arrangent en d'extraordinaires figures géométriques. Ces figures sont segmentées en cellules symétriques d'autant plus fines et complexes que la fréquence vibratoire est élevée. Des gouttes d'eau isolées pulsent et s'organisent en polyèdres. Par ce procédé, le son est transcrit en formes. La voix humaine produit de merveilleuses figures et l'on peut suivre les formes d'une musique. Beaucoup de ces figures acoustiques sont analogues à des formes que l'on trouve dans les végétaux et les animaux, et aussi dans les planètes et les crop-circles. Se pourrait-il que le monde et la nature aient été créés par des sons, comme le rapportent les mythes de nombreuses traditions?
- **L'éducation musicale selon Willems:** L'éducation musicale doit collaborer au plein épanouissement des facultés humaines. Il ne s'agit pas de faire l'éducation musicale d'un enfant ou d'un adulte dans le but de lui fournir une occupation, un divertissement, mais pour développer en lui des éléments de vie qui sont prêts à être utilisés: la musique est l'expression de la vie.

Autres articles sur Internet

- **Encyclopédie Wikipedia :** [Son](#); [Acoustique musicale](#); [Hauteur \(musique\)](#); [Hertz](#); [Diapason](#); [Note de musique](#); [Échelle des sons](#); [Tessiture](#) ; [Timbre](#); [Harmonique](#); [Sonagraphe](#)
- [A propos des gammes](#), D. Beaufils et M. Grente, Sur le site de l'INRP, Institut National de Recherche Pédagogique, Lyon, France.
- [À propos d'intensité, de hauteur et de timbre](#), D. Beaufils, Institut National de Recherche Pédagogique
- [Le Chant diphonique Xöömij](#): origine, styles et phonation, Trân Quang Hai (CNRS, France)

Article imprimé

Gamme, article dans Encyclopaedia Universalis

Logiciels

Je voudrais également citer les logiciels qui m'ont permis de confectionner la plupart des illustrations sonores et visuelles de cet article, Melody Assistant et Audacity, tout simplement parce que je les trouve géniaux et que je voudrais vous faire profiter de ces merveilles. Merci aux créateurs et contributeurs.

Les figures qui montrent des portions de **partitions** ont été réalisées avec **Melody Assistant**. "Melody Assistant" est un logiciel dédié à l'écriture et l'impression de musique. Il permet également de restituer la musique écrite et d'enregistrer le fichier sonore correspondant, en format MIDI ou en format audio (MP3, etc.), ce qui a donné une partie de ceux qui sont intégrés dans ce texte. C'est un produit de la société internationale toulousaine Myriad, existant en version française que vous pouvez acquérir pour un prix très modique.

Les enregistrements sonores et créations de sons ont été réalisés avec le logiciel de traitement sonore **Audacity** en version française. *Audacity* est un véritable petit studio de traitement du son. Il permet d'enregistrer, de jouer, d'importer et d'exporter des données en plusieurs formats dont WAV et MP3. C'est un logiciel libre et gratuit, répondant à la licence GNU.

3 Novembre 2005

© Copyright 2005 - Alain Boudet

www.spirit-science.fr - France

Tous les documents présents sur ce site sont protégés par les lois sur les droits d'auteur.

[Les publications de ce site sont identifiées par le numéro international ISSN 2430-5626](#)

Cet article est l'aboutissement d'études, d'investigations, de compréhensions, de synthèse, de réflexions, de clarifications et de reformulation en langage simple, qui ont demandé une somme importante de travail.

Si vous deviez en tirer parti devant un public de lecteurs ou de spectateurs ou pour quoi que ce soit, merci de le citer.