

# Séance de Spécialité n° 3

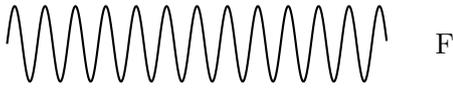
## Acquisition d'un son & reconnaissance vocale

Mots-clefs « reconnaissance vocale », « voix », « gammes » et « harmonies ».

### 1 Activité documentaire : la synthèse spectrale (15 minutes)

#### 1.1 Synthèse sonore

- Lire la vidéo « Initiation à l'acoustique » d'Antonio FISCHETTI, chapitre 5 « Spectre : synthèse sonore ».



a. Noter le nom des différentes composantes formant le signal.

b. Le son entendu correspond à la vibration totale ; que penser de la forme de la vibration totale, au fur et à mesure de l'addition d'harmoniques ?

c. Comment varie la période du signal correspondant à la vibration totale au fur et à mesure de l'addition d'harmoniques ?

d. Cette synthèse sonore est à la base d'un instrument de musique désormais très courant. Quel est-il ?

#### 1.2 Analyse sonore

- Lire la vidéo « Initiation à l'acoustique » d'Antonio FISCHETTI, chapitre 6 « Spectre : sonogrammes ».

e. Écouter les différents sons de flûte proposés. Quel son parmi tous ceux qui sont joués, ressemble le plus à un son de flûte ?

f. Indiquez les grandeurs qui sont utilisées en abscisse et en ordonnée sur les courbes présentées. Quel nom donne-t-on à ces courbes ?

### 2 Activité documentaire : Notes & gammes (45 minutes)

#### 2.1 Le LA, une note arbitrairement fixée

En musique, seules quelques fréquences sont utilisées. Une note de base a été fixée arbitrairement, le LA, donné par un diapason. Le LA dit LA<sub>3</sub> correspond actuellement à une fréquence de 440 Hz.

$$\text{LA}_3 \leftrightarrow 440 \text{ Hz}$$

#### 2.2 L'octave

Les notes suivantes se ressemblent tellement, qu'on leur a donné le même nom LA :

Notes	LA <sub>1</sub>	LA <sub>2</sub>	LA <sub>3</sub>	LA <sub>4</sub>	LA <sub>5</sub>	LA <sub>6</sub>	LA <sub>7</sub>
f (Hz)	110	220	440	880	1 760	3 520	7 040

Le fait qu'elles se ressemblent s'explique par le facteur 2 entre chaque fréquence ; l'oreille étant uniquement sensible aux rapports de fréquence, on a l'impression qu'il y a chaque fois la même différence entre deux notes consécutives. C'est l'**octave**.

On définit l'intervalle entre deux sons par le rapport de la fréquence du son le plus aigu par celle du son le plus

grave ; donc :

$$\text{Octave} \leftrightarrow \text{Intervalle } 2$$

Le mot octave provient du fait que notre gamme comporte sept notes, donc huit avec les deux extrêmes.

Sachez aussi qu'en musique, certaines notes donnent une impression agréable lorsqu'elles sont jouées ensemble, comme les quintes et les tierces ; elles correspondent aussi à des rapports de fréquences fixes, respectivement 1,5 et 1,25.

#### 2.3 Lien avec les harmoniques

Imaginons un instrument jouant un LA<sub>3</sub>. À priori, il émet une vibration de fréquence fondamentale  $f_1 = 440$  Hz, plus des harmoniques de fréquences multiples du fondamental,  $2f_1, 3f_1, 4f_1, 5f_1$ , etc.

- Les harmoniques paires  $2f_1, 4f_1, 8f_1...$  seront aussi des LAs, d'octaves supérieures.

- Les harmoniques impaires, comme  $3f_1$  et  $5f_1$  par exemple, ne seront pas des LAs, mais d'autres notes, dans d'autres octaves. Il est tentant de donner des noms

de notes à ces fréquences ; seulement, cela revient à créer un très grand nombre de notes, car pour chaque note d'une même octave, il y a un très grand nombre d'harmoniques. On préfère se limiter à un total de sept notes, agrémentées de dièses et de bémols, sans se soucier si de telles notes correspondent ou pas à une harmonique exactement créée par un instrument : c'est la **gamme tempérée**.

## 2.4 La gamme tempérée

On sépare une octave (intervalle 2) en douze parties égales. On parle de douze demi-tons. Entre chaque demi-ton, le rapport de fréquence sera de :

$${}^{12}\sqrt{2} = (2)^{\frac{1}{12}} \simeq 1,059463$$

Multiplier onze fois ce facteur par lui-même revient bien à obtenir 2 (mener le calcul avec votre calculatrice!). N'oubliez pas que, comme indiqué précédemment, l'oreille n'est sensible qu'à des rapports de fréquences ; c'est la raison pour laquelle l'écart entre chaque demi-ton doit correspondre à un écart de fréquence.

$$\boxed{\text{Demi-ton} \leftrightarrow \text{Intervalle } {}^{12}\sqrt{2}}$$

Tous les deux demi-tons (donc tous les tons), on place une note, en commençant par le DO. Il faudrait quatorze demi-tons au lieu de douze pour placer les sept notes ainsi que le DO de l'octave suivante ; on place alors seulement un demi-ton d'écart entre le MI et le FA, et entre le SI et le DO :



La figure ci-dessus permettrait de constituer une échelle de fréquences, afin d'accorder les touches blanches d'un piano. Pour les touches noires, qui correspondent aux dièses (symbole #) et aux bémols (symbole b) :



Pour trouver les valeurs des fréquences des notes, il suffit de partir de la fréquence fondamentale 440 Hz puis de multiplier ou de diviser à chaque fois par  ${}^{12}\sqrt{2}$  pour trouver la note suivante, son dièse ou son bémol — selon les cas :

Notes	DO	RE	MI	FA	SOL	LA	SI	DO
$f$ (Hz)	262	294	330	349	392	440	494	523

Le travail qui vous sera demandé consistera en généralement essentiellement à retrouver une fréquence dans ce tableau, par le calcul !

Un **défaut** de la gamme tempérée est que l'on ne pourra pas jouer exactement les notes permettant de former une quinte, si agréable à l'oreille ; cependant, la différence est quasiment inaudible.

*Pour les sept notes, les musiciens parlent de sept degrés diatoniques, et pour les douze intervalles, de douze degrés chromatiques.*

## 2.5 Les accords

*Remarque : toutes les notions d'ordres musicales ou historiques qui suivent seront systématiquement rappelées en cas d'étude de documents.*

Par définition, un accord est un ensemble d'au moins trois degrés différents, c'est-à-dire un ensemble identifiable de notes simultanées. L'harmonie tonale connaît des accords de trois notes (ou accords de quinte), de quatre notes (ou accords de septième) et de cinq notes (ou accords de neuvième). Les accords de plus de cinq notes ne sont pas pris en considération par l'harmonie classique.

Une combinaison de deux notes émises simultanément est plutôt considérée comme un intervalle harmonique. Un accord est donc une superposition de plusieurs intervalles harmoniques.

Il existe deux modèles aboutissant à la construction des accords, un modèle géométrique et un modèle acoustique.

**Géométrique** Le premier modèle géométrique fut développé par PYTHAGORE. PYTHAGORE note que le rapport géométrique le plus simple après l'octave (2), la quinte (3/2) est parfaitement harmonique et, superposé, donne 12 notes également étagées, retournant presque à la note de départ. Il construit ainsi le cycle des quintes.

ZARLINO note ensuite que les rapports mathématiques simples donnent des intervalles agréables, les rapports plus compliqués des intervalles moins naturels. Ainsi, le rapport 2/1 produit l'octave, le rapport 3/2 la quinte, 4/3 la quarte, 5/4 la tierce majeure, 6/5 la tierce mineure et 9/8 la seconde majeure, et bien d'autres encore. Pour ZARLINO, un accord parfait est donc la superposition de deux intervalles simples (5/4 et 6/5), aboutissant à un intervalle plus simple (3/2), ce qui fonctionne aussi bien pour l'accord majeur que pour l'accord mineur.

**Acoustique** Un son génère dans l'aigu un certain nombre de sons secondaires, appelés sons harmoniques, dont la fréquence est un multiple de celle du son générateur (ou son fondamental).

Par exemple, dans les accords « do, mi, sol », « do, mi, sol, do », « mi, sol, do », « mi, sol, do, sol » ou « sol, do, mi », do est la fondamentale, mi, la tierce, et sol, la quinte.

On peut dresser la liste des accords principaux, pour une simple information :

- |                     |                        |
|---------------------|------------------------|
| 1. Fondamentale     | 10. Sixième            |
| 2. Seconde mineure  | 11. Septième mineure   |
| 3. Seconde majeure  | 12. Septième majeure   |
| 4. Tierce mineure   | 13. Neuvième diminuée  |
| 5. Tierce majeure   | 14. Neuvième           |
| 6. Quarte           | 15. Neuvième augmentée |
| 7. Quinte diminuée  | 16. Octave             |
| 8. Quinte           |                        |
| 9. Quinte augmentée |                        |

## 2.6 L'harmonie

En musique, l'harmonie renvoie aux simultanités sonores et plus précisément aux accords.

Lorsqu'on dit qu'un instrument est « harmonique », cela signifie que cet instrument est capable de jouer au moins deux sons simultanés. Par exemple, sont qualifiés « d'instruments harmoniques », la plupart des instruments à clavier (piano, orgue, clavecin, accordéon, harmonium...), ainsi qu'un grand nombre d'instruments à cordes (harpe, guitare, luth...); tandis que des instruments tels que la flûte, la clarinette, etc., sont considérés comme des « instruments mélodiques ».

Pour comprendre la notion d'harmonie, il faut se reporter au phénomène sonore lui-même. Chaque son émis par un corps sonore mis en vibration – corde, peau, métal, etc. – produit une note fondamentale que l'oreille perçoit et dont on peut aussitôt identifier la hauteur. Dans le même temps, sont émis d'autres sons, appelés harmoniques, que l'on peut entendre par exemple en écoutant une note sur un piano au cours de son évolution : les sons harmoniques

deviennent progressivement perceptibles à l'oreille lorsque la fondamentale s'atténue.

Une harmonie peut ensuite renvoyer, de manière assez vague, à un ensemble de sons, successifs ou simultanés, agréable à l'oreille, c'est-à-dire, à une « musique harmonieuse ». Par exemple, le « pin-pon » d'une ambulance n'est pas prévue pour être harmonique, et provoque à cause de sa dissonance une mise en alerte !

La notion d'harmonie est liée à une éducation de l'oreille, et soumise à une évolution historique : ainsi les auditeurs du 19<sup>ème</sup> siècle auront du mal à entendre un accord de neuvième comme *dissonant*, alors même que ce type d'accord était proscrit à l'ère baroque (il était *interdit* de le jouer !). Ce n'est d'ailleurs qu'au cours du Moyen Âge que les intervalles de tierce, à la base de l'harmonie « classique », ont été considérés comme consonants. Auparavant, seuls l'unisson, l'octave, la quinte et la quarte l'étaient.

g. Quel est le rapport de fréquences entre deux notes séparées par une octave, une quinte ou une tierce ?

h. Combien de demi-tons contient une octave de la gamme tempérée ? Quel est le rapport de fréquences entre deux demi-tons consécutifs ?

i. À partir du LA<sub>3</sub> à 440 Hz, retrouver par le calcul la fréquence d'un DO<sub>3</sub>.

j. Donner la définition historique d'un son harmonieux.

k. Proposer plusieurs accords harmonieux avec trois notes de la gamme tempérée.

l. Conclusion : à l'aide de ces documents, expliquer en quelques lignes pourquoi la musique peut être considérée comme une discipline scientifique.

## 3 Activité documentaire : la reconnaissance vocale (40 minutes)

Identifier une personne par sa voix est une tâche complexe. La voix dépend de nombreux paramètres physiologiques. En outre, elle peut être imitée ou volontairement déformée. Cependant, l'expérience montre que la voix d'un proche ou d'une personne publique peut être reconnue et de plus en plus de machines utilisent la reconnaissance vocale.

### Document 1 – Description de la voix



La voix peut-être caractérisée par quatre paramètres prin-

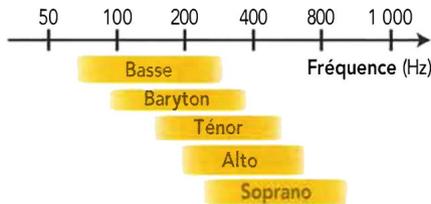
cipaux :

**La hauteur** C'est la sensation auditive liée à la fréquence des vibrations des cordes vocales (son grave, son aigu). L'unité de mesure est le hertz (Hz).

**L'intensité** C'est la sensation auditive liée à l'amplitude des vibrations des cordes vocales (son fort, son faible). L'unité de mesure est le décibel (dB).

**Le timbre** C'est la sensation auditive liée aux harmoniques présents dans le son (son « sombre », son « clair »).

**La tenue** C'est la sensation auditive liée à la durée des vibrations des cordes vocales (son long, son court).



Le **registre** d'une voix est l'étendue de son échelle vocale, de la note la plus grave à la note la plus aiguë.

## Document 2 – Les phonèmes

L'une des étapes de la reconnaissance vocale est le repérage des *phonèmes*. La voix peut être décomposée en une suite de sons distinctifs appelés phonèmes. Par exemple, les mots « lait » et « loup » diffèrent par un phonème respectivement repéré, en alphabet phonique, par [ɛ] et [u].

### Les dix-sept consonnes

API	Mots écrits
b	bal, robe
s	souris, pièce
k	carpe, kiwi, qui
d	date
f	face, phare
g	gare, bague
ʒ	journal, gorge
l	la, alors
m	maman
n	non
ɲ	gnôle, agneau
p	petit
r	rare
t	tordu
v	voir, wagon
z	zèbre, oser
ʃ	chat, short

### Les douze voyelles orales

API	Mots écrits
a	patte, papa
ɑ	pâte, tas
ə	fenêtre
ø	jeu, feu
œ	fleur
e	été, nez
ɛ	mer, j'aimais
o	sot, seau, sceau, saut
ɔ	porte, port, or, mort
i	fille, ami
u	coup, août
y	nu, j'ai eu

La transcription phonétique en API (Alphabet Phonétique International) consiste ainsi à découper la parole

en segments sonores supposés *atomiques*, et à employer un symbole unique pour chacun de ceux-ci, en évitant les multigrammes (combinaisons de lettres, comme le son ch du français). Le nombre de caractères principaux de l'API est de 118, ce qui permet de couvrir les sons les plus fréquents. Ces caractères sont pour la plupart des lettres grecques ou latines ou des modifications de celles-ci. Les sons moins fréquents sont transcrits à partir des précédents en indiquant une modification du mode ou du point d'articulation par le biais d'un ou plusieurs signes diacritiques (au nombre de 76) sur le caractère principal. On obtient ainsi une transcription indépendante de la langue. Les quatre tableaux ci-joints donnent la transcription phonétique des principaux sons de la langue française.

### Les quatre voyelles nasales

API	Mots écrits
ɑ̃	rang, avant
ɛ̃	rein, brin, pain
ɔ̃	bon, ton
œ̃	brun, un

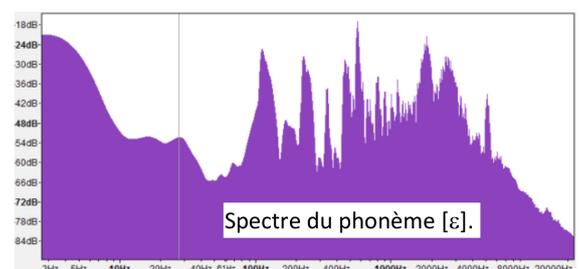
### Les trois semi-consonnes (ou semi-voyelles)

API	Mots écrits
j	yeux ail
w	fouet (/fwɛt/), voir (/vwawʁ/)
ɥ	fuite (/fuit/), lui (/lui/)

Les tableaux ci-joints reproduisent ainsi un sous-ensemble de l'API relatif à 36 phonèmes du français accompagné d'exemples de mots écrits. Dans sa version la plus courante, le français ne compte que 32 phonèmes, car de nombreux locuteurs francophones ne font pas les distinctions entre la deuxième et la quatrième voyelles nasales, les deux premières voyelles orales, la troisième et quatrième voyelles orales, et entre la onzième consonne et le nj (un n « mouillé »). Bien entendu, si vous êtes locuteur russe ou chinois, vos capacités d'élocution et de distinction sont bien plus grandes.

**m.** Faites l'essai : savez-vous distinguer les 36 phonèmes du français ?

## Document 3 – Spectre d'un phonème

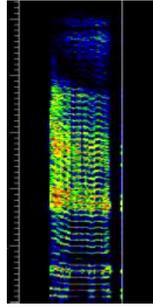


Le spectre d'un son correspondant à un phonème fait apparaître plusieurs pics, appelés formants. Ils sont dus à des phénomènes de résonance à l'intérieur du conduit vocal ; leur fréquence dépend de la position des divers organes mis en jeu dans la voix (langues, lèvres, etc.). Les formants sont caractéristiques du phonème prononcé. Les analyses spectrales montrent que quatre à cinq formants

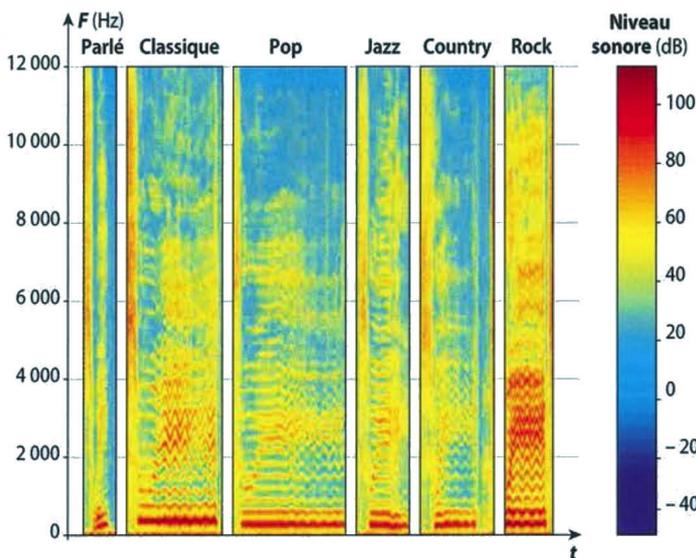
importants sont présents dans tous les spectres de voix.

## Document 4 – Spectrogramme

Un spectrogramme est la représentation visuelle d'un son, comme par exemple le phonème [ε] ci-contre. Il représente la fréquence en fonction du temps et l'intensité sonore associée à chaque fréquence est représentée par un code couleur. Sur un spectrogramme, les formants sont repérés par des zones nettement colorées.



Le nombre d'organes qui interviennent dans la voix varie selon le type de signal émis : parole, cri ou chant. Les organes les plus mobilisés sont le larynx et ses deux cordes vocales, la gorge, le nez, la langue, la bouche et les lèvres. Le spectre des fréquences de la parole dépasse rarement quatre octaves et s'étend entre 300 Hz et 8 kHz. Certains types de chants atteignent des fréquences de 10 000 Hz. Voici un spectrogramme présentant l'analyse du mot « sweet » parlé et chanté dans différents styles.



Sur un spectrogramme, les voyelles correspondent à des intensités acoustiques plus fortes en basses fréquences que les consonnes. Le principe de la reconnaissance vocale repose sur la comparaison des rythmes, des amplitudes et des fréquences entre un enregistrement et les mots d'un locuteur.

En conclusion, la reconnaissance vocale a deux objectifs :

- la reconnaissance de mots-clés prononcés par une personne dans un menu proposé par un répondeur téléphonique ;
- la reconnaissance d'une personne et la réception d'un ordre en vue de commander une machine.

## Document 5 – Le logiciel Vocalab

Se munir d'écouteurs, les brancher sur la prise jack 3,5 mm verte du PC, et visualiser la vidéo YouTube de démonstration du logiciel Vocalab. Si vous disposez d'un smartphone, flashez le QR-Code ci-contre.



<https://www.youtube.com/watch?v=czF8WISSifo>

- n. Analyse des spectrogrammes : sur quelles gammes de fréquences s'étendent les sons enregistrés ? Sur combien d'octaves ?
- o. Le téléphone limite les signaux transmis entre les fréquences 300 Hz et 3,4 kHz. Pourquoi ?
- p. Sur le spectrogramme « sweet », quelles sont les propriétés communes aux différents styles de chant ?

## 4 Activité expérimentale : acquisition & traitement d'un son (15 minutes)

### 4.1 Enregistrement avec Audacity

- Brancher le micro sur la borne à l'avant de l'unité centrale (prise jack micro) ou utiliser le micro-casque.
- Enregistrer le phonème [ε], suffisamment fort, pendant 2 à 3 secondes environ, et réaliser son spectre.

### 4.2 Utilisation de sons pré-enregistrés

- On dispose de fichiers sons dans un dossier « Fichiers sons » de la clef USB. Lire ces sons avec Audacity, en écoutant au casque.

- Réaliser le spectre de ces sons.

- q. Sur le spectre du phonème [ε], repérer les fréquences des cinq premiers formants. Que remarque-t-on ?
- r. À quel paramètre du son du phonème correspond la fréquence du premier formant ?
- s. Comparer les spectrogrammes des phonèmes [ε] prononcés par une voix féminine et une voix masculine. Quelles sont les différences ?

## 5 Correction des exercices de la séance n° 2 (début)

### 2.1 N° 5 p. 104 – Visualiser un son

1.

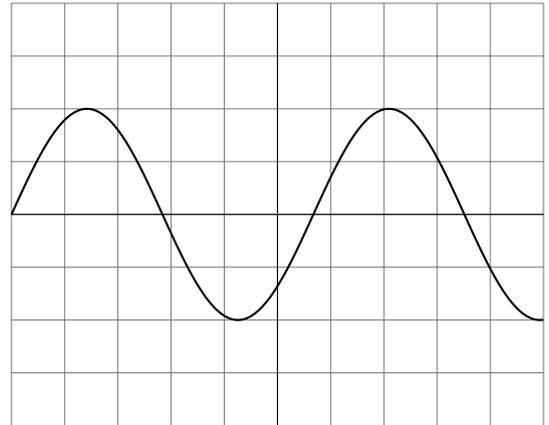


Image : <http://sirius.ucsc.edu/demoweb/images/waves/sound/ForkOsc.jpg>

2.  $f = 440$  Hz pour le LA d'un diapason, donc une période de :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{440} = 2,27 \times 10^{-3} \text{ s}$$

donc 2,27 ms. La base de temps étant de 0,4 ms par division, une période s'étale sur  $2,27/0,4 = 5,675$  divisions.



Sur 10 divisions, on observe un peu moins de deux périodes.

## 6 Exercices de la séance n° 4

### 3.1 N° 7 p. 76 – La gamme de Pythagore

#### 3.2 La restitution des sons

L'enceinte acoustique ou le casque audio constituent le dernier maillon d'une chaîne haute fidélité (Hi-fi) ou d'un baladeur (iPod). Quels sont les critères de qualité d'un système de restitution sonore ?

#### Document 1 – L'utilité de l'enceinte acoustique



Une enceinte acoustique maintient les haut-parleurs et leur permet de transmettre efficacement à l'air les vibrations de leurs membranes.

Quand un haut-parleur est utilisé seul, sa membrane fait à la fois vibrer l'air devant elle, mais aussi l'air derrière elle. En effet, lorsqu'elle avance, la pression augmente devant elle et diminue derrière. Inversement, la pression diminue devant et augmente derrière lorsqu'elle recule. Cela crée deux ondes sonores, une émise vers l'avant et une autre

émise vers l'arrière. Du fait de leur mode de production, ces deux ondes sont en opposition de phase. Si elles se rencontrent et se superposent, elles peuvent s'annuler. Cela se produit surtout pour les basses fréquences.

Pour éviter ce phénomène, il faut supprimer les ondes arrière. Cela peut être réalisé en fixant le haut-parleur sur un « support infini » constitué d'une plaque de grande dimension. Un tel support permet de séparer les ondes avant et arrière et empêche leur superposition.

Une autre solution consiste à renvoyer les ondes arrière vers l'avant tout en les déphasant de  $180^\circ$ . C'est le système *bass-reflex*. Il empêche l'annulation qui pourrait se produire lorsque ces ondes arrière, renvoyées vers l'avant, se superposent aux ondes avant.

Wikipédia.

#### Document 2 – Tester des enceintes acoustiques

« Si l'électronique envoie un signal « propre », encore faut-il que l'acoustique le restitue avec un minimum de dégradation. Qualité des haut-parleurs, des filtres, choix des matériaux, des formes et des volumes, autant de paramètres qui nécessitent un gros zeste de savoir-faire pour obtenir le bon son. Pour le noter, nous faisons appel à une batterie de tests réalisés en « chambre sourde », afin d'absorber les réflexions sonores.

Les principaux tests discriminants sont :

**Vibration du coffret** Les haut-parleurs font vibrer la "caisse" de l'enceinte acoustique. À certaines fréquences, à une certaine puissance, ce phéno-

mène devient franchement dérangeant. À l'aide d'un accéléromètre, nous relevons le niveau de cette vibration à différentes fréquences.

**Pureté des graves** C'est la mesure des déformations générées par des harmoniques sur trois fréquences fondamentales du grave, 40, 50 et 60 Hz. Facilement audibles, elles deviennent vite très désagréables et perturbantes pour l'écoute.

**Rendement** C'est le niveau sonore — mesuré par un micro situé à 1 mètre — qu'une enceinte est capable de restituer lorsqu'on lui envoie une puissance de 1 watt.

C'est un paramètre essentiel pour optimiser le couplage ampli-enceintes au niveau de la puissance : pas d'enceinte de rendement très faible sur un ampli de faible puissance ! La valeur de ce rendement résulte des choix techniques des concepteurs de l'enceinte, mais n'a pas de relation systématique avec sa qualité.

**Directivité** On relève la dégradation de la courbe de réponse sur le plan horizontal à 30° et 45° de l'axe du "tweeter". Avec des enceintes à faible déperdition latérale, la zone d'écoute stéréo et Home Cinema sera plus vaste et plus confortable. »

Dossier Fnac 2011.

### Document 3 – Améliorer l'écoute de son baladeur : les casques audio

« Tout comme les enceintes acoustiques pour la haute fidélité, le casque est l'élément essentiel de la qualité d'écoute. Or, pour « tirer » les prix des baladeurs vers le bas, ou augmenter leurs profits, la plupart des fabricants choisissent d'équiper leurs baladeurs avec des casques tout à fait médiocres. Le remplacer par un bon casque transformera radicalement le son d'un baladeur moyen, tout comme celui du meilleur, car, en fait, le rôle du casque est beaucoup plus important pour la musicalité que la qualité électronique du baladeur.

Pour le choisir, il y a bien sûr des critères subjectifs comme l'esthétique ou la mode, des critères de confort, essentiels pour le supporter longtemps et la bonne tenue sur les oreilles.

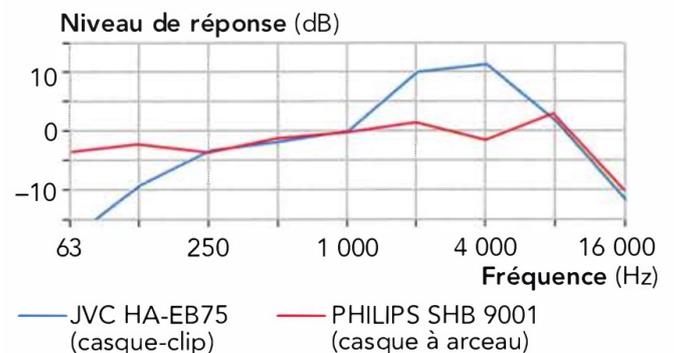
**Les clips** Ils sont de type oreillette traditionnelle, inter ou supra-auriculaires. Ils sont maintenus grâce à un contour d'oreille qui garantit une parfaite stabilité du casque, au prix parfois d'un inconfort après plusieurs heures d'utilisation.

**Les intra-auriculaires** Ils sont discrets et souvent de bien meilleure qualité que les écouteurs traditionnellement proposés avec les baladeurs. Ces

écouteurs pénètrent plus ou moins profondément dans le conduit auditif. Ils isolent ainsi mieux l'oreille des bruits ambiants et offrent une qualité sonore comparable aux casques hi-fi.

**Les casques à arceau** Ils sont de deux types, les casques supra-auriculaires et les casques circum-auriculaires. Les casques supra-auriculaires se placent sur l'oreille et sont reliés entre eux par un arceau, qui entoure le sommet du crâne ou ceinture la nuque. Parfois pliables, ils sont alors destinés à un usage en extérieur. Leur capacité d'isolation et leur qualité sonore sont meilleures que celles des oreillettes « simples », mais moindres que celles des casques hi-fi.

Les casques circum-auriculaires se placent autour de l'oreille. Ils sont plus volumineux que les casques supra-auriculaires, leurs qualités sonores et d'isolation sont optimales, à un tel point que les bruits de la ville sont totalement étouffés ; attention aux risques urbains.



Les casques n'offrent pas une restitution linéaire, selon la technologie employée ils favorisent certaines fréquences, tantôt les graves, les médiums ou les aigus. [...] Leur courbe de réponse vous permet de faire votre choix selon vos propres critères et le type de musique que vous écoutez. »

Dossier Fnac 2011.

**En s'appuyant sur les documents 1, 2 et 3 donnés, répondre aux questions suivantes :**

1. Par quel phénomène les ondes avant et arrières émises par un haut-parleur peuvent-elles s'annuler ? Quelles solutions techniques sont mises en œuvre pour éviter ce phénomène ?
2. Que permettent les tests réalisés sur des produits techniques comme les enceintes acoustiques ?
3. Conclusion : Quels sont les critères de qualité d'une enceinte acoustique et d'un casque audio ?