

# **Cours d'acoustique appliquée (B1 Technique de l'image et B2 Ciné, option « son ») :**

## **table des matières détaillée (2017-2018)**

### **Chapitre 1 : brève histoire de l'acoustique**

- ✓ 1 Introduction
- ✓ 2 Le son créateur
- ✓ 3 Antiquité et Moyen âge
- ✓ 4 le XVII<sup>ème</sup> siècle
- ✓ 5 le XVIII<sup>ème</sup> siècle
- ✓ 6 le XIX<sup>ème</sup> siècle
- ✓ 7 le XX<sup>ème</sup> siècle

### **Partie « acoustique physique »**

### **Chapitre 2 : notions d'acoustique physique**

- ✓ 1 Naissance, nature et propagation du son
  - 1.1 Définition
  - 1.2 Naissance du phénomène vibratoire
  - 1.3 Propagation du phénomène vibratoire
  - 1.4 Influence du milieu de propagation
  - 1.5 Signaux et ondes en général
    - 1.5.1 Onde, définition
    - 1.5.2 Notion de signal ou d'impulsion
    - 1.5.3 La matière n'est pas transportée par le signal.
    - 1.5.4 Signal transversal, signal longitudinal
    - 1.5.5 Signaux et onde
    - 1.5.6 Ondes transversales dans un milieu unidimensionnel
    - 1.5.7 Ondes longitudinales dans un milieu unidimensionnel
    - 1.5.8 Comparaison des ondes longitudinales et transversales dans un milieu unidimensionnel
    - 1.5.9 Ondes longitudinales et transverses dans un milieu à plusieurs dimensions
    - 1.5.10 La propagation d'une onde s'effectue grâce aux oscillateurs du milieu

- 1.5.11 Les ondes transversales et longitudinales peuvent avoir des vitesses différentes
- 1.6 Caractéristiques des ondes acoustiques
- 1.7 Nature des ondes acoustiques dans l'air
- 1.8 Grandeurs oscillantes de l'onde acoustique
- 1.9 Dérivation de l'équation de propagation de l'onde acoustique dans un fluide à partir des équations fondamentales
- 1.10 Dérivation simplifiée de l'équation de propagation de l'onde acoustique dans les fluides
  - 1.10.1 Généralités sur les fluides
  - 1.10.2 Masse volumique
  - 1.10.3 Module de compressibilité, définition
  - 1.10.4 Equation de propagation de l'onde sonore
  - 1.10.5 Solutions harmoniques de l'équation de propagation
- 1.11 Célérité des ondes acoustiques
  - 1.11.1 Formule générale (milieu fluide ou solide)
  - 1.11.2 Célérité dans un gaz parfait
- 1.12 Exercices sur la propagation du son
- ✓ 2 Caractéristiques physiques et modes de représentations du signal sonore
  - 2.1 Représentation temporelle du signal sonore (plan dynamique)
    - 2.1.1 L'enveloppe d'amplitude du son
    - 2.1.2 La forme d'onde
    - 2.1.3 Distinction entre sons et bruits
    - 2.1.4 Grandeurs physiques caractérisant l'aspect périodique du son
    - 2.1.5 Cas particulièrement simple d'onde acoustique, le son pur ou son simple
    - 2.1.6 Lien des grandeurs physiques avec les qualités subjectives d'un son pur
  - 2.2 Représentation spectrale du signal sonore (plan harmonique)
    - 2.2.1 Théorème de décomposition spectrale de Fourier des signaux périodiques
    - 2.2.2 Représentations spectrales des sons
    - 2.2.3 Sons complexes harmoniques et inharmoniques
    - 2.2.4 Exercices
    - 2.2.5 Lien des grandeurs physiques avec les qualités subjectives d'un son complexe : notion de timbre
    - 2.2.6 Transformation de Fourier des vibrations non périodiques
    - 2.2.7 Son numérique et transformées de Fourier discrète
    - 2.2.8 Classification plus détaillée des sons
  - 2.3 Représentation du signal sonore à l'aide d'un sonogramme (plan mélodique)

- 2.4 Complémentarité des trois types de représentations du signal sonore : illustrations
- 2.5 Représentation du son par un modèle à trois dimensions
- ✓ 3 Grandeurs physiques importantes, aspect énergétique
  - 3.1 Introduction
  - 3.2 Valeurs instantanée, maximum et quadratique moyenne (RMS) d'une grandeur oscillante
  - 3.3 Notion d'impédance acoustique d'un milieu
  - 3.4 Densité volumique d'énergie ou pression de radiation
  - 3.5 Puissance acoustique
  - 3.6 Intensité acoustique
  - 3.7 Niveaux acoustiques en puissance, en intensité et en pression
    - 3.7.1 Motivation de l'utilisation des niveaux en acoustique
    - 3.7.2 Niveaux en décibels relatifs
    - 3.7.3 Niveaux en décibels absolus
  - 3.8 Bruits normalisés en acoustiques : bruits blanc, rose et rouge
- ✓ 4 Propagation des ondes acoustiques en champ libre
  - 4.1 Définitions et caractéristiques générales
  - 4.2 Types de fronts d'ondes
    - 4.2.1 Ondes planes
    - 4.2.2 Ondes sphériques
  - 4.3 Source omnidirectionnelle
    - 4.3.1 Définition
    - 4.3.2 Intensité
  - 4.4 Source directive
    - 4.4.1 Définition
    - 4.4.2 Intensité et intensité moyenne
    - 4.4.3 Facteur et indice de directivité
    - 4.4.4 Intensité dans l'axe
  - 4.5 Niveau d'intensité acoustique à une distance donnée de la source.
    - 4.5.1 Niveau d'intensité d'une source omnidirectionnelle en champ libre
    - 4.5.2 Niveau d'intensité d'une source omnidirectionnelle encastrée
    - 4.5.3 Niveau d'intensité d'une source directive encastrée ou non
    - 4.5.4 Exercices
    -
- ✓ 5 Sources multiples en champ libre : « addition » de niveaux sonores
  - 5.1 « Addition » de sources non corrélées
    - 5.1.1 Principe de superposition en champ libre
    - 5.1.2 Pression acoustique efficace résultante

- 5.1.3 Calcul du niveau sonore résultant en général (pour deux sources non corrélées)
  - 5.1.4 Addition de  $n$  sources non corrélées
  - 5.2 « Addition » de sources corrélées
  - 5.3 Exercices
- ✓ 6 Phénomènes de superpositions d'ondes acoustiques
  - 6.1 Phénomène d'interférence pour les ondes, étude qualitative
  - 6.2 Superposition de deux ondes harmoniques de même direction et de même fréquence, étude théorique générale
  - 6.3 Interférences résultants de la superposition de deux sources synchrones
  - 6.4 Phénomène de battement
    - 6.4.1 Analyse approchée
    - 6.4.2 Analyse exacte
    - 6.4.3 Applications du phénomène de battement
  - 6.5 Superposition d'ondes harmoniques de même fréquence mais se propageant dans des directions différentes
    - 6.5.1 Ondes stationnaires à une dimension, définition et propriétés principales
    - 6.5.2 Obtention d'ondes stationnaires à une dimension par réflexion sur un obstacle
    - 6.5.3 Cas de la corde vibrante, fixée aux deux extrémités
    - 6.5.4 Cas de la corde vibrante, fixée à une seule extrémité
    - 6.5.6 Cas du tuyau sonore fermé (tube ouvert-fermé)
    - 6.5.7 explication intuitive des ondes stationnaires dans un tuyau fermé ou ouvert
  - 6.6 Ondes stationnaires à deux dimensions
- ✓ 7 Effet Doppler
  - 7.1 Description intuitive du phénomène
    - 7.1.1 Observateur et source immobiles
    - 7.1.2 Observateur immobile et source s'éloignant
    - 7.1.3 Observateur immobile et source approchant
    - 7.1.4 Cas particulier : la source se déplace à la vitesse du son dans le milieu (écoulement sonique)
    - 7.1.5 Source immobile, observateur mobile
  - 7.2 Description mathématique générale du phénomène
  - 7.3 Cas particuliers
  - 7.4 Etude théorique de l'effet Doppler
    - 7.4.1 Vitesses colinéaires à l'axe source-observateur
    - 7.4.2 Cas général
  - 7.5 Illustrations de l'effet Doppler avec des ondes acoustiques
- ✓ Annexe 1 : notions de thermodynamique

- A1.1 Notion de température
  - A1.1.1 Introduction
  - A1.1.2 Phénomènes accompagnant la variation de température
  - A1.1.3 Mesurer la température
  - A1.1.4 Echelles de températures
  - A1.1.5 Equilibre thermique de deux corps
  - A1.1.6 Distinction entre chaleur et température
  - A1.1.7 Mesure des quantités de chaleur lors d'un changement de température
  - A1.1.8 Un apport de chaleur ne fait pas toujours augmenter la température
  - A1.1.9 La température reste constante pendant les changements d'état
  - A1.1.10 Nous percevons bien la chaleur et non la température !
- A1.2 Notion de pression
  - A1.2.1 Définition de la pression
  - A1.2.2 La pression atmosphérique
  - A1.2.3 Unités de mesure de la pression
- A1.3 Lois macroscopiques des gaz parfaits
  - A1.3.1 Hypothèse d'Avogadro : nombre d'Avogadro
  - A1.3.2 Lois macroscopiques des gaz parfaits
  - A1.3.3 Equation des gaz parfaits macroscopique
- A1.4 Nombre d'Avogadro et notion de mole
  - A1.4.1 Définition
  - A1.4.2 Notion de molécule-gramme
  - A1.4.3 Unité de masse atomique
- A1.5 Théorie cinétique des gaz parfaits : température cinétique
  - A1.5.1 Introduction microscopique à la notion de température
  - A1.5.2 Vitesse quadratique moyenne
  - A1.5.3 Énergie interne d'agitation
  - A1.5.4 Distribution de vitesses de Maxwell
  - A1.5.5 Définition microscopique de la température
  - A1.5.6 La constante de Boltzmann
  - A1.5.7 Mouvement brownien
- A1.6 Théorie cinétique des gaz parfaits : pression cinétique
  - A1.6.1 Définition
  - A1.6.2 Calcul de la force  $d\vec{F}_l$  exercée par  $N'$  particules par unité de volume ( $N'=N/V$ ) sur l'élément de surface  $dS$
- A1.7 Loi des gaz parfaits microscopique et différentes formes de cette loi
  - A1.7.1 Si la quantité de matière est exprimée en môtles
  - A1.7.2 Si la quantité de matière est exprimée en unités de masse
  - A1.7.3 Les différentes formes de la loi des gaz parfaits

- A1.8 Notions de base de thermodynamique
  - A1.8.1 Introduction
  - A1.8.2 Système thermodynamique
  - A1.8.3 Variables d'état et équation d'état thermodynamique
  - A1.8.4 Notion d'équilibre thermodynamique
  - A1.8.5 Notions de chaleur et de travail
  - A1.8.6 Transformations thermodynamiques
  - A1.8.7 Transformations réversibles et irréversibles
- A1.9 Le premier principe de la thermodynamique
- A1.10 Le deuxième principe de la thermodynamique
  - A1.10.1 Insuffisance du premier principe
  - A1.10.2 Postulats d'irréversibilité et énoncés du second principe
  - A1.10.3 Notion d'entropie, définition thermodynamique
  - A1.10.4 Notion d'entropie, définition microscopique
- A1.11 Transformations thermodynamiques réversibles particulières du gaz parfait
  - A1.11.1 Transformations isothermes
  - A1.11.2 Transformation adiabatique ou isentropique
- ✓ Annexe 2 : exponentielles et logarithmes
  - A2.1 Introduction historique
  - A2.2 Logarithmes décimaux
  - A2.3 Propriétés de la fonction logarithme décimal
  - A2.4 Logarithmes de base quelconque
  - A2.5 Échelle logarithmique
    - A2.5.1 Graduation linéaire
    - A2.5.2 Graduation logarithmique

## **Chapitre 3 : acoustique physique**

- ✓ \_Chapitre purement documentaire

## **Chapitre 4 : production des sons par les instruments**

- ✓ Chapitre purement documentaire

## **Chapitre 5 : les microphones**

- ✓ 1 Définition et classification
  - Définition générale
  - Définition électrotechnique
  - Classifications des microphones
- ✓ 2 Caractéristiques des microphones

- Sensibilité (ou efficacité) et niveau de sensibilité (ou niveau d'efficacité)
- Courbe de réponse en sensibilité et bande passante d'un micro
- directivité et diagramme polaire
- Sensibilité en champ diffus, facteur de directivité
- Directivité des micros et plans sonores
- Impédance et adaptation
- ✓ 3 Modes d'action et types de conversion des microphones
  - Modes d'action acoustique
  - Types de conversion
  - Microphones à pression
  - Microphones à gradient de pression
  - Microphones à mode d'action mixte : microphones à déphasage
- ✓ 4 Types de microphones
  - Microphone électrodynamique à bobine mobile
  - Microphone électrodynamique à ruban
  - Microphone électrostatique à condensateur
  - Microphone électrostatique à électret
  - Microphone piézo-électrique
- ✓ Annexe : adaptation d'impédance: cas général (critères)

## **Chapitre 6 : notions d'acoustique architecturale**

- ✓ 1 Introduction
- ✓ 2 Phénomènes sonores dans une salle
  - 2.1 Introduction : champ libre et champ diffus
  - 2.2 Variation du niveau d'intensité du son direct avec la distance à la source : atténuation
    - 2.2.1 Atténuation géométrique du son direct
    - 2.2.2 Atténuation du son direct par dissipation atmosphérique
  - 2.3 Réflexion spéculaire
    - 2.3.1 Loi de la réflexion
    - 2.3.2 Applications de la réflexion spéculaire
    - 2.3.3 Somme d'un son direct et de sa réflexion : filtrage en peigne
  - 2.4 Réflexion diffuse
  - 2.5 Diffraction
    - 2.5.1 Définition et description
    - 2.5.2 Diffraction des ondes mécaniques
    - 2.5.3 Illustrations des phénomènes de réflexion et de diffraction en acoustique des salles

- 2.5.4 Autres illustrations : réflexion et diffraction des ondes sonores dans la nature
- 2.6 Réfraction
- 2.7 Coefficients de réflexion et de transmission
- 2.8 Absorption
  - 2.8.1 Absorbants par porosité
  - 2.8.2 Absorbants de type résonateurs à membranes
  - 2.8.3 Absorbants par résonateur du type Helmholtz
- 2.9 Absorption d'une surface et d'une salle
- ✓ 3 Réponses impulsionnelle et fréquentielle d'une salle
  - 3.1 Définition de la réponse impulsionnelle
  - 3.2 Décomposition de la réponse impulsionnelle
  - 3.3 Distribution temporelle des réflexions diffuses
    - 3.3.1 Raisonnement énergétique
    - 3.3.2 Raisonnement géométrique
  - 3.3 Définition de la réponse fréquentielle
  - 3.4 Calcul des fréquences propres d'une salle parallélépipédique
  - 3.5 Dénombrement des fréquences propres d'un local parallélépipédique
- ✓ 4 Champ acoustique diffus et énergie réverbérée, théorie de Sabine
  - 4.1 Les trois phases du son réverbéré : définitions des phases et du temps de réverbération
  - 4.2 Les expériences et les lois théoriques de Sabine
    - 4.2.1 Loi expérimentale d'extinction du son réverbéré dans une salle
    - 4.2.2 Energie réverbérée et intensité réverbérée
    - 4.2.3 Loi théorique d'extinction du son réverbéré et détermination théorique de la constante de temps  $\tau$  de la salle
    - 4.2.4 Relation entre temps de réverbération et constante de temps  $\tau$  d'une salle
    - 4.2.5 Loi théorique d'établissement du son réverbéré dans une salle
    - 4.2.6 Phase stationnaire du son réverbéré
    - 4.2.7 Formules de Sabine, résumé
  - 4.3 Niveaux en régime stationnaire du son réverbéré et du son direct dans le modèle de Sabine
    - 4.3.1 Niveaux d'intensité et de pression du son direct et du son réverbéré
    - 4.3.2 Niveau de pression total (son direct et son réverbéré)
    - 4.3.3 Rapport Dir/rev
    - 4.3.4 Distance critique
  - 4.4 Phase d'extinction du son réverbéré : niveau et temps de réverbération dans le modèle de Sabine
    - 4.4.1 Linéarité de la décroissance temporelle de niveau



- 4.4.2 Temps de réverbération, définitions et méthodes de calcul
- 4.4.3 Rôle de l'absorption dans l'air
- 4.4.4 Durée de réverbération optimale
- 4.4.5 Variation du temps de réverbération en fonction de la fréquence
- 4.4.6 Dérivation directe de la formule de Sabine
- 4.5 Application : effet du public sur le temps de réverbération
- ✓ 5 Energie acoustique réverbérée, théorie d'Eyring
  - 5.1 Présentation
  - 5.2 Formule d'Eyring
  - 5.3 Comparaison sur un exemple des modèles de Sabine et d'Eyring
  - 5.4 Etablissement de la formule d'Eyring
  - 5.5 Calcul de l'intensité réverbérée et du niveau de pression en phase stationnaire dans le modèle d'Eyring
  - 5.6 Autres formules dans la théorie d'Eyring
- ✓ 6 Exercices
- ✓ 7 Théorie modale de la réverbération

## Partie « acoustique physiologique »

### **Chapitre 7 : acoustique physiologique**

- ✓ 1 Introduction à l'acoustique physiologique et à la psychoacoustique
- ✓ 2 Anatomie et physiologie de l'oreille
  - L'oreille externe
  - L'oreille moyenne
  - L'oreille interne
  - Discrimination sélective des fréquences par la membrane basilaire : théorie de la tonotopie
- ✓ 3 Elaboration du message nerveux
- ✓ 4 Voies nerveuses et cerveau auditif
- ✓ 5 Développement du système auditif
- ✓

### **Chapitre 8 : psychoacoustique**

- ✓ 1 Introduction
- ✓ 2 Notions de psychophysique
  - 2.1 Stimulus, sensation et perception
  - 2.2 Perception de l'environnement sensoriel
  - 2.3 Mesurer des sensations
  - 2.4 Procédures de la psycho physique

- 2.5 Stimulus et sensation : établissement de la relation fonctionnelle qui lie les grandeurs
- 2.6 Seuil absolu, seuil différentiel et seuil différentiel relatif des grandeurs d'excitation
  - 2.6.1 Seuil absolu
  - 2.6.2 Seuil différentiel
  - 2.6.3 Seuil différentiel relatif
- 2.7 Lois fondamentales de la psychophysique
  - 2.7.1 Loi proportionnelle de Weber (1829)
  - 2.7.2 La loi de Weber généralisée
  - 2.7.3 Hypothèse de Fechner et loi logarithmique de Weber-Fechner (1860)
  - 2.7.4 Loi de puissance de Stevens (1930)
- 2.8 Le code neural primaire
- ✓ 3 Conditions expérimentales en psychoacoustique
- ✓ 4 Perception de l'espace auditif et localisation des sons
  - 4.1 Introduction
  - 4.2 Facteurs jouant sur la perception de la latéralité
    - 4.2.1 Influence de la différence de niveau de pression acoustique sur la latéralité
    - 4.2.2 Influence de la diffraction (effet d'ombre) sur la latéralité
    - 4.2.3 Influence de la différence de temps d'arrivée du son aux deux oreilles, se traduisant par une différence de phase
    - 4.2.4 Précision de la localisation de latéralité
    - 4.2.5 La théorie duplex de la localisation des sources sonores.
    - 4.2.6 Mécanismes monauraux de localisation des sources sonores.
    - 4.2.7 L'effet de précedence.
  - 4.3 Facteurs jouant sur la perception de l'élévation
  - 4.4 Facteurs jouant sur la perception de la profondeur
- ✓ 5 Force des sons : de l'intensité acoustique à la sonie
  - 5.1 Définition de la sonie
  - 5.2 Seuil absolu de sonie
  - 5.3 Champ audible ou aire d'audition
  - 5.4 Mesure et variations du seuil d'audibilité
    - 5.4.1 Mesure
    - 5.4.2 Variabilité liée à l'âge et au sexe
    - 5.4.3 Fatigue auditive et pertes temporaire ou définitive d'audition
    - 5.4.4 Sommaton binaurale au seuil
  - 5.5 Niveaux physiologiques ou niveaux d'isotonie
    - 5.5.1 Définition
    - 5.5.2 Unité de mesure du niveau d'isotonie : le phone

- 5.6 Mesure de la sonie d'un stimulus : le sonomètre
  - 5.6.1 Définition et caractéristiques générales
  - 5.6.2 Filtres associés au sonomètre
  - 5.6.3 Les courbes de Noise Rating (NR)
  - 5.6.4 Le décibel musical dB(M)
  - 5.6.5 L'évaluation des niveaux sonores des bruits non permanents
- 5.7 Seuil différentiel de sonie pour les sons purs et le bruit blanc
- 5.8 Seuil différentiel relatif de sonie pour les sons purs et le bruit blanc
  - 5.8.1 Dépendance du seuil différentiel relatif de sonie vis-à-vis de l'intensité acoustique des sons purs
  - 5.8.2 Dépendance du seuil différentiel relatif de sonie vis-à-vis de l'intensité acoustique des bruits blancs
  - 5.8.3 Dépendance du seuil différentiel relatif de sonie vis-à-vis de la fréquence des sons purs
- 5.9 Loi de Weber-Fechner et de Stevens pour la sonie
  - 5.9.1 Loi de Weber-Fechner
  - 5.9.2 Test de sonie par estimation d'amplitude
  - 5.9.3 Loi de puissance de Stevens pour la sonie
- 5.10 Justification physiologique des niveaux physiques en décibels
- 5.11 Mesure de la sonie : échelle des sones
  - 5.11.1 Introduction
  - 5.11.2 Echelle de sonie
  - 5.11.3 Fonction de transfert de sonie
- 5.12 Facteurs de variation de la sonie
  - 5.12.1 Effet du niveau et de la fréquence sur la sonie des sons purs
  - 5.12.2 Nature du signal
  - 5.12.3 Forme et mode de présentation des stimuli
  - 5.12.4 Effet de la durée du signal sur la sonie
  - 5.12.5 Effet de l'attention
  - 5.12.6 Effet de la composition spectrale
- 5.13 Bandes critiques
  - 5.13.1 Définition
  - 5.13.2 Mesures des largeurs des bandes critiques
  - 5.13.3 Structure des bandes critiques
  - 5.13.4 Conséquences des bandes critiques sur la sonie et le timbre d'un son complexe
- 5.14 Effet de masque
  - 5.14.1 Introduction
  - 5.14.2 Seuils d'audition dans le cas du masquage d'un son pur par un bruit blanc

- 5.14.3 Seuils d'audition dans le cas du masquage d'un son pur par un bruit uniformément masquant
- 5.14.4 Seuils d'audition dans le cas du masquage tonal (d'un son pur par un autre son pur)
- 5.14.5 Seuils d'audition dans le cas du masquage d'un son pur par un bruit à bande étroite
- 5.15 Perception d'intensité et perte auditive
  - 5.15.1 Le recrutement ou rattrapage de la sonie
  - 5.15.2 L'adaptation pathologique
  - 5.15.3 L'altération des filtres auditifs
- 5.16 Etudes psychoacoustiques des mécanismes du codage de la sonie
  - 5.16.1 Le code neural primaire représentant l'intensité
  - 5.16.2 Le pattern d'excitation
  - 5.16.3 Code « rythme-localisation » vs code « temporel »
  - 5.16.4 Rôle de l'extension du pattern d'excitation dans la fonction de sonie normale
  - 5.16.5 Recrutement de la sonie
  - 5.16.6 Indices utilisés dans la discrimination de deux intensités.
- ✓ 6 Hauteur des sons : de la fréquence à la tonie
  - Hauteur spectrale et hauteur musicale (ou fondamentale)
  - Hauteur tonale, définition
  - Hauteur tonale : tonie et chroma
  - Seuils absolus, différentiel et différentiel relatif de hauteur tonale pour les sons purs
  - Loi de Weber-Fechner pour la perception de la hauteur
  - Unités physiques de hauteur : octave harmonique, intervalles, savart et cent
  - Hauteurs harmoniques et notes de la gamme tempérée
  - Tonie
  - Tonie et bandes critiques
  - Facteurs de variation de la hauteur tonale d'un son pur
  - Modèles pour la perception de la hauteur des sons
  - Hauteur tonale des sons complexes
- ✓ 7 Dimension temporelle
  - Introduction : code neural primaire représentant les aspects temporels
  - Enveloppe et structure fine des sons
  - Résolution temporelle
  - Pouvoir séparateur de l'oreille et quantum acoustique
  - Masquage temporel
- ✓ 8 La perception du timbre
  - Timbre et composition spectrale

- Timbre et enveloppe temporelle
- Vers un espace des timbres

## **Chapitre 9 : la parole et la voix humaine**

- ✓ 1 Physiologie des organes de la phonation
- ✓ 2 Production du son par l'appareil phonatoire et caractéristiques du son émis
- ✓ 3 Notions de phonétique
- ✓ 4 Applications

## **Partie « acoustique musicale »**

## **Chapitre 10 : introduction à la notation musicale**

- ✓ 1 Introduction
- ✓ 2 Les notes de musique
- ✓ 3 La portée, support de la mélodie
- ✓ 4 Notation de la hauteur des notes
- ✓ 5 Signes complémentaires de la notation de la hauteur
- ✓ 6 L'organisation des portées en systèmes comme reflet de la hauteur
- ✓ 7 Notation de la durée des notes
- ✓ 8 Notation de la durée des silences
- ✓ 9 Signes complémentaires de notation de la durée
- ✓ 10 Divisions du temps
- ✓ 11 Découpage en mesures ; mesures simples et composées
- ✓ 12 Les signes de reprise
- ✓ 13 Mouvement ou tempo
- ✓ 14 Interprétation et phrasé

## **Chapitre 11 : acoustique musicale et gamme(s)**

- ✓ 1 Introduction
- ✓ 2 Point de départ : la consonance des sons
- ✓ 3 Justification physiologique de la consonance
- ✓ 4 Consonance et harmoniques
- ✓ 5 L'octave comme intervalle de départ
- ✓ 6 Construction d'une gamme : formulation mathématique du problème
- ✓ 7 Mesure des intervalles : le savart et le cent
- ✓ 8 La gamme de Pythagore, construction par les quintes
- ✓ 9 Gamme naturelle de Zarlino
- ✓ 10 Systèmes naturels et systèmes tempérés (ou tempéraments)
- ✓ 11 Le diapason
- ✓ 12 Comparaison de la gamme tempérée et des autres gammes
- ✓ 13 Au-delà du tempérament égal

## **Chapitre 12 : théorie musicale et tonalité**

- ✓ 1 Présentation générale de la tonalité
- ✓ 2 Les intervalles
- ✓ 3 Les gammes
- ✓ 4 Les accords
- ✓ Annexe 1 : construction mathématique ex nihilo de la gamme pythagoricienne
- ✓ Annexe 2 : transpositions de la gamme de Zarlino