

Cours d'acoustique appliquée (2018-2019)

(B1 Technique de l'image et B2 Ciné, option « son »)

Table des matières semi détaillée

Chapitre 1 : brève histoire de l'acoustique

- ✓ 1 Introduction
- ✓ 2 Le son créateur
- ✓ 3 Antiquité et Moyen âge
- ✓ 4 le XVII^{ème} siècle
- ✓ 5 le XVIII^{ème} siècle
- ✓ 6 le XIX^{ème} siècle
- ✓ 7 le XX^{ème} 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 Sons bruités ou bruits
 - 2.2.8 Bruits normalisés en acoustiques : bruits blanc, rose et rouge
 - 2.2.9 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
- ✓ 4 Notions relatives au son numérique
 - 4.1 Introduction à la numérisation du signal sonore analogique et reconstruction
 - 4.1.1 Echantillonnage
 - 4.1.2 Quantification
 - 4.1.3 Signal numérique
 - 4.1.4 Reconstruction
 - 4.2 Echantillonnage et théorème de Shannon-Nyquist
 - 4.2.1 Signal de commande de l'échantillonneur
 - 4.2.2 Effet de l'échantillonnage dans le domaine fréquentiel
 - 4.2.3 Une expérience préliminaire pour introduire le théorème de Shannon-Nyquist
 - 4.2.4 Choix de la fréquence d'échantillonnage : théorème de Shannon-Nyquist
 - 4.2.5 Une conséquence importante du théorème de Shannon
 - 4.2.6 Impossibilité théorique
 - 4.2.7 Que se passe-t-il si le critère de Nyquist n'est pas satisfait ?
 - 4.2.8 Fréquence de Nyquist et repliement de spectre
 - 4.2.9 Filtre anti-repliement
 - 4.3 Bruit de quantification et rapport signal/bruit
 - 4.4 Reconstruction du signal sonore
 - 4.5 Son numérique et transformées de Fourier discrète
- ✓ 5 Propagation des ondes acoustiques en champ libre
 - 5.1 Définitions et caractéristiques générales
 - 5.2 Types de fronts d'ondes
 - 5.2.1 Ondes planes

- 5.2.2 Ondes sphériques
- 5.3 Source omnidirective
 - 5.3.1 Définition
 - 5.3.2 Intensité
- 5.4 Source directive
 - 5.4.1 Définition
 - 5.4.2 Intensité et intensité moyenne
 - 5.4.3 Facteur et indice de directivité
 - 5.4.4 Intensité dans l'axe
- 5.5 Niveau d'intensité acoustique à une distance donnée de la source.
 - 5.5.1 Niveau d'intensité d'une source omnidirectionnelle en champ libre
 - 5.5.2 Niveau d'intensité d'une source omnidirectionnelle encastrée
 - 5.5.3 Niveau d'intensité d'une source directive encastrée ou non
 - 5.5.4 Exercices
- ✓ 6 Sources multiples en champ libre : « addition » de niveaux sonores
 - 6.1 « Addition » de sources non corrélées
 - 6.1.1 Principe de superposition en champ libre
 - 6.1.2 Pression acoustique efficace résultante
 - 6.1.3 Calcul du niveau sonore résultant en général (pour deux sources non corrélées)
 - 6.1.4 Addition de n sources non corrélées
 - 6.2 « Addition » de sources corrélées
 - 6.3 Exercices
- ✓ 7 Phénomènes de superpositions d'ondes acoustiques
 - 7.1 Phénomène d'interférence pour les ondes, étude qualitative
 - 7.2 Superposition de deux ondes harmoniques de même direction et de même fréquence, étude théorique générale
 - 7.3 Interférences résultants de la superposition de deux sources synchrones
 - 7.4 Phénomène de battement
 - 7.4.1 Analyse approchée
 - 7.4.2 Analyse exacte
 - 7.4.3 Applications du phénomène de battement
 - 7.5 Superposition d'ondes harmoniques de même fréquence mais se propageant dans des directions différentes
 - 7.5.1 Ondes stationnaires à une dimension, définition et propriétés principales
 - 7.5.2 Obtention d'ondes stationnaires à une dimension par réflexion sur un obstacle
 - 7.5.3 Cas de la corde vibrante, fixée aux deux extrémités
 - 7.5.4 Cas de la corde vibrante, fixée à une seule extrémité

- 7.5.6 Cas du tuyau sonore fermé (tube ouvert-fermé)
- 7.5.7 explication intuitive des ondes stationnaires dans un tuyau fermé ou ouvert
- 7.6 Ondes stationnaires à deux dimensions
- ✓ 8 Effet Doppler
 - 8.1 Description intuitive du phénomène
 - 8.1.1 Observateur et source immobiles
 - 8.1.2 Observateur immobile et source s'éloignant
 - 8.1.3 Observateur immobile et source approchant
 - 8.1.4 Cas particulier : la source se déplace à la vitesse du son dans le milieu (écoulement sonique)
 - 8.1.5 Source immobile, observateur mobile
 - 8.2 Description mathématique générale du phénomène
 - 8.3 Cas particuliers
 - 8.4 Etude théorique de l'effet Doppler
 - 8.4.1 Vitesses colinéaires à l'axe source-observateur
 - 8.4.2 Cas général
 - 8.5 Illustrations de l'effet Doppler avec des ondes acoustiques
- ✓ Annexe 1 : notions de théorie cinétique des gaz
 - 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 mûles
 - 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
- ✓ Annexe 2 : notions de base de thermodynamique
 - A2.1 Définition
 - A2.2 La thermodynamique, en bref...
 - A2.3 Objet de la thermodynamique
 - A2.4 Définition et description de systèmes thermodynamiques
 - A2.5 Etat stationnaire et état d'équilibre d'un système
 - A2.6 Notions de chaleur et de travail
 - A2.7 Transformations thermodynamiques et premier principe de la thermodynamique
 - A2.7.1 Transformations thermodynamiques
 - A2.7.2 Premier principe de la thermodynamique
 - A2.7.3 Conventions de signe
 - A2.8 Transformations réversibles et irréversibles
 - A2.9 Sens des transformations et second principe de la thermodynamique
 - A2.9.1 Notion d'irréversibilité
 - A2.9.2 Postulats d'irréversibilité
 - A2.10 Notion d'entropie et reformulation du second principe
 - A2.10.1 Introduction à la notion d'entropie
 - A2.10.2 Qualité des énergies
 - A2.10.3 Définition thermodynamique de l'entropie
 - A2.10.4 Second principe et entropie
 - A2.10.5 L'entropie à l'échelle microscopique

- A2.11 Transformations thermodynamiques réversibles particulières du gaz parfait
 - A2.11.1 Transformations isothermes
 - A2.11.2 Transformation adiabatique ou isentropique
- ✓ Annexe 3 : exponentielles et logarithmes
 - A3.1 Introduction historique
 - A3.2 Logarithmes décimaux
 - A3.3 Propriétés de la fonction logarithme décimal
 - A3.4 Logarithmes de base quelconque
 - A3.5 Échelle logarithmique
 - A3.5.1 Graduation linéaire
 - A3.5.2 Graduation logarithmique

Chapitre 3 : acoustique physique

- ✓ 1 Introduction
- ✓ 2 Propagation des ondes acoustiques dans un fluide
 - 2.1 Définitions, notations et hypothèses simplificatrices
 - 2.2 Ondes acoustiques planes dans un fluide
 - 2.2.1 Définition
 - 2.2.2 Propagation unidimensionnelle (exemple d'un tuyau cylindrique)
 - 2.2.3 Equations de conservation unidimensionnelles
 - 2.2.4 Equations de propagation unidimensionnelle
 - 2.2.5 Solutions de l'équation de propagation unidimensionnelle
 - 2.3 Généralisation tridimensionnelle
 - 2.3.1 Equations de propagation tridimensionnelles
 - 2.3.2 Solutions de l'équation de propagation tridimensionnelle
 - 2.4 Considérations énergétiques
 - 2.5 Réflexion et réfraction des ondes planes
 - 2.6 Ondes sphériques
 - 2.6.1 Rappel sur les coordonnées sphériques
 - 2.6.2 Equation de propagation
 - 2.6.3 Etude de l'onde sphérique divergente
 - 2.6.4 Onde sphérique divergente harmonique
- ✓ 3 Propagation des ondes acoustiques dans un solide
 - 3.1 Introduction
 - 3.2 Equations de propagation
 - 3.2.1 Hypothèses
 - 3.2.2 Equation de la quantité de mouvement
 - 3.2.3 Equations de propagation
 - 3.2.4 Vitesses de propagation des ondes acoustiques dans un solide

- 3.2.5 Ondes longitudinales
- 3.2.6 Ondes planes longitudinales harmoniques
- 3.2.7 Ondes transversales
- 3.2.8 Ondes planes transverses harmoniques
- 3.2.9 Aspects énergétiques

Chapitre 4 : production des sons par les instruments

- ✓ 1 Définition et caractéristiques générales
- ✓ 2 Classification des instruments selon le type d'excitations
- ✓ 3 Facteurs de qualité d'un instrument de musique
 - 3.1 Impératifs anatomo-physiologiques
 - 3.2 Impératifs perceptifs
 - 3.3 Impératifs de fabrication
 - 3.4 Impératifs commerciaux
 - 3.5 Impératifs musicaux
 - 3.5.1 Champ de liberté de l'intensité
 - 3.5.2 Champ de liberté des hauteurs
 - 3.5.3 Champ de liberté des timbres
 - 3.5.4 Conclusion : champ de liberté de formes
- ✓ 4 Classification des instruments par familles
 - 4.1 Les instruments à cordes ou « cordes »
 - 4.2 Les instruments à vent ou « vents »
 - 4.3 Les instruments à percussion ou « percussions »
- ✓ 5 Caractéristiques physiques et perceptives des instruments
 - 5.1 Directionnalité
 - 5.2 Tessiture et contenu spectral
 - 5.2.1 Définitions
 - 5.2.2 Exemples
 - 5.3 Dynamique des instruments
 - 5.3.1 L'oreille et les dB : le crescendo instrumental
 - 5.3.2 Gamme dynamique de quelques instruments
 - 5.4 Timbre des instruments
- ✓ 6 Les instruments à cordes : principes généraux de fonctionnement
 - 6.1 Le système excitateur : la corde harmonique
 - 6.1.1 Modes vibratoires d'une corde
 - 6.1.2 Vibration transversale
 - 6.1.3 Vibration longitudinale
 - 6.1.4 Vibration de torsion
 - 6.1.5 Vibration d'octave
 - 6.1.6 Coexistence des 4 modes vibratoires

- 6.2 Le corps sonore et son couplage avec les cordes
 - 6.2.1 Généralités
 - 6.2.2 Courbe de réponse du corps sonore
- ✓ 7 Les instruments à cordes frottées
 - 7.1 Présentation
- ✓ 8 Les instruments à cordes pincées
 - 8.1 Présentation
- ✓ 9 Les instruments à cordes frappées
 - 9.1 Précurseurs du piano
 - 9.2 La corde frappée
 - 9.3 Le clavicorde
 - 9.4 Le piano
 - 9.4.1 Anatomie
 - 9.4.2 La mécanique
 - 9.4.3 Corps sonore du piano
 - 9.4.4 La structure portante
 - 9.4.5 Le cordage
 - 9.4.6 Les pédales
- ✓ 10 Instruments à vent, principes de fonctionnement
 - 10.1 Généralités
 - 10.2 Le système excitateur : biseau et anches
 - 10.2.1 Le système lame d'air-biseau
 - 10.2.2 Le système des anches
 - 10.3 le corps sonore et son couplage avec l'excitateur
 - 10.3.1 Généralités
 - 10.3.2 Période et fréquence d'un tuyau : loi de Bernoulli
 - 10.3.3 Onde stationnaire, nœuds et ventres, harmoniques et partiels
 - 10.3.4 Trou latéral dans un tuyau
 - 10.3.5 Problèmes du couplage lame d'air-tuyau
 - 10.3.6 Problème du couplage anche-tuyau
 - 10.4 La colonne d'air est un oscillateur forcé : impédance acoustique des instruments à vent
- ✓ 11 La famille des bois
 - 11.1 Généralités
 - 11.1.1 Présentation
 - 11.1.2 Trous sur les instruments de la famille des bois et fréquence de coupure
 - 11.2 La flûte traversière
 - 11.2.1 Présentation et spectre
 - 11.2.2 Description de la flûte traversière
 - 11.2.3 Flûte traversière, production du son

- 11.2.4 La flûte est un tuyau sonore ouvert
 - 11.2.5 Autres notes sur une flûte traversière
- 11.3 La clarinette
 - 11.3.1 Présentation et spectre
 - 11.3.2 Description de la clarinette
 - 11.3.3 La clarinette, production du son
 - 11.3.4 Vibration d'un instrument muni d'une anche simple
 - 11.3.5 La clarinette est analogue à un tuyau fermé
 - 11.3.6 Effets du pavillon et du bec sur l'impédance
 - 11.3.7 Registres et clés de registres de la clarinette
- 11.4 les instruments à anche double (hautbois, cor anglais, basson, contrebasson)
- ✓ 12 Instruments à vent de la famille des cuivres
 - 12.1 Présentation
 - 12.2 Production du son par les lèvres
 - 12.3 Les cuivres sont des tuyaux fermés
 - 12.3.1 Instruments sans pavillon
 - 12.3.2 Effet du pavillon
 - 12.3.3 Effet de l'embouchure
 - 12.3.4 Harmoniques émis par les cuivres
- ✓ 13 Les instruments à percussion
 - 13.1 Les systèmes excitateurs
- ✓ Annexe 1 : vibration transverse de la corde vibrante
 - A1.1 Vibration libre d'une corde fixée à ses extrémités
 - A1.1.1 Etablissement de l'équation générale des ondes
 - A1.1.2 Recherche de solutions par la méthode de Fourier
 - A1.1.3 Recherche de solutions par la méthode de d'Alembert
- ✓ Annexe 2 : analyse de la vibration transverse d'une corde frottée par un archet
 - A2.1 Mode d'entraînement de la corde par l'archet
 - A2.2 Equation de la corde entraînée par un archet
 - A2.3 Harmoniques produits et spectre d'une corde isolée
 - A2.4 Spectre de la corde isolée, frottée par un archet
 - A2.5 Répartition des efforts provenant de la tension des cordes
 - A2.6 Création du son
 - A2.7 Courbe de réponse du corps sonore du violon et son couplage avec les cordes
- ✓ Annexe 3 : analyse de la vibration transverse d'une corde pincée
- ✓ Annexe 4 : modèle mathématique général du tube sonore cylindrique
 - A4.1 Tube cylindrique ouvert à son extrémité avec commande en pression (flûtes et tuyaux à bouche d'orgue)
 - A4.1.1 Réponse à une excitation harmonique

- A4.1.2 Phénomène de résonance
- A4.1.3 Modes propres
- A4.1.4 Son résultant
- A4.2 Tube cylindrique fermé à son extrémité avec commande en pression (bourdons d'orgue)
- A4.3 Tube cylindrique ouvert avec commande en vitesse (clarinette)
- A4.4 Résonance d'un tube conique
- ✓ Annexe 5 : classification des instruments de musique
- ✓ Annexe 6 : rappels d'acoustique musicale

Chapitre 5 : les microphones

- ✓ 1 Définition et classification
 - 1.1 Définition générale
 - 1.2 Définition électrotechnique
 - 1.3 Classifications des microphones
- ✓ 2 Caractéristiques des microphones
 - 2.1 Sensibilité (ou efficacité) et niveau de sensibilité (ou niveau d'efficacité)
 - 2.1.1 Définitions
 - 2.1.2 Ordre de grandeur de la sensibilité des micros
 - 2.2 Courbe de réponse en sensibilité et bande passante d'un micro
 - 2.3 Directivité et diagramme polaire
 - 2.4 Sensibilité en champ diffus, facteur de directivité
 - 2.5 Directivité des micros et plans sonores
 - 2.6 Impédance et adaptation
- ✓ 3 Modes d'action et types de conversion des microphones
 - 3.1 Modes d'action acoustique
 - 3.2 Types de conversion
 - 3.3 Microphones à pression
 - 3.3.1 Principe de fonctionnement
 - 3.3.2 Types de conversion
 - 3.4 Microphones à gradient de pression
 - 3.4.1 Principe de fonctionnement
 - 3.4.2 Types de conversion
 - 3.4.3 Effet de proximité pour le micro à gradient de pression
 - 3.4.4 Bande passante du micro à gradient de pression
 - 3.5 Microphones à mode d'action mixte : microphones à déphasage
- ✓ 4 Types de microphones
 - 4.1 Microphone électrodynamique à bobine mobile
 - 4.1.1 Description et principe de fonctionnement

- 4.1.2 Caractéristiques générales du microphone électrodynamique à bobine
- 4.1.3 Caractéristiques détaillées
- 4.1.4 Utilisation
- 4.2 Microphone électrodynamique à ruban
 - 4.2.1 Description et principe de fonctionnement
 - 4.2.2 Caractéristiques générales du microphone électrodynamique à ruban
 - 4.2.3 Caractéristiques détaillées
 - 4.2.4 Utilisation
- 4.3 Microphone électrostatique à condensateur
 - 4.3.1 Description et principe de fonctionnement
 - 4.3.2 Caractéristiques principales du microphone électrostatique à condensateur
 - 4.3.3 Caractéristiques détaillées
 - 4.3.4 Utilisation
- 4.4 Microphone électrostatique à électret
- 4.5 Microphone piézo-électrique
 - 4.5.1 Description et principe de fonctionnement
 - 4.5.2 Caractéristiques principales du 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
 - 3.2.1 Echo franc
 - 3.2.2 Echo tonal
 - 3.2.3 Echo flottant (flutter echo)
 - 3.3 Distribution temporelle des réflexions diffuses
 - 3.3.1 Raisonnement énergétique
 - 3.3.2 Raisonnement géométrique
 - 3.4 Définition de la réponse fréquentielle
- ✓ 4 Théorie modale de l'acoustique des salles
 - 4.1 Introduction
 - 4.2 Calcul des fréquences propres des modes à une dimension
 - 4.3 Modes dans une salle parallélépipédique
 - 4.3.1 Résolution de l'équation des ondes
 - 4.3.2 Modes propres dans la salle
 - 4.3.3 Diagramme de Bolt
 - 4.3.4 Dénombrement des fréquences propres d'un local parallélépipédique
 - 4.3.5 Densité modale et approximation hautes fréquences
 - 4.4 Conclusion
- ✓ 5 Champ acoustique diffus et énergie réverbérée, théorie de Sabine
 - 5.1 Les trois phases du son réverbéré : définitions des phases et du temps de réverbération
 - 5.2 Les expériences et les lois théoriques de Sabine
 - 5.2.1 Loi expérimentale d'extinction du son réverbéré dans une salle
 - 5.2.2 Energie réverbérée et intensité réverbérée
 - 5.2.3 Loi théorique d'extinction du son réverbéré et détermination théorique de la constante de temps τ de la salle

- 5.2.4 Relation entre temps de réverbération et constante de temps τ d'une salle
- 5.2.5 Loi théorique d'établissement du son réverbéré dans une salle
- 5.2.6 Phase stationnaire du son réverbéré
- 5.2.7 Formules de Sabine, résumé
- 5.3 Temps de réverbération dans le modèle de Sabine
 - 5.3.1 Linéarité de la décroissance temporelle de niveau
 - 5.3.2 Temps de réverbération, définition
 - 5.3.3 Formule de Sabine
 - 5.3.4 Validité de la formule de Sabine
 - 5.3.5 Rôle de l'absorption dans l'air
 - 5.3.6 Durée de réverbération optimale
 - 5.3.7 Variation du temps de réverbération en fonction de la fréquence
 - 5.3.8 Dérivation directe de la formule de Sabine
 - 5.3.9 Application : effet du public sur le temps de réverbération
- 5.4 Niveaux en régime stationnaire du son réverbéré et du son direct dans le modèle de Sabine
 - 5.4.1 Niveaux d'intensité et de pression du son direct et du son réverbéré
 - 5.4.2 Niveau de pression total (son direct et son réverbéré)
 - 5.4.3 Rapport Dir/rev
 - 5.4.4 Distance critique ou rayon acoustique
- ✓ 6 Théorie modale et temps de réverbération
 - 6.1 Introduction
 - 6.2 Fréquence de coupure ou fréquence de Schroeder
- ✓ 7 Energie acoustique réverbérée, théorie d'Eyring
 - 7.1 Présentation
 - 7.2 Formule d'Eyring
 - 7.3 Comparaison sur un exemple des modèles de Sabine et d'Eyring
 - 7.4 Etablissement de la formule d'Eyring
 - 7.5 Calcul de l'intensité réverbérée et du niveau de pression en phase stationnaire dans le modèle d'Eyring
 - 7.6 Autres formules dans la théorie d'Eyring
- ✓ 8 Exercices

Partie « acoustique physiologique »

Chapitre 7 : acoustique physiologique

- ✓ 1 Introduction à l'acoustique physiologique et à la psychoacoustique
- ✓ 2 Anatomie et physiologie de l'oreille

- 2.1 L'oreille externe
 - 2.1.1 Description générale et rôles
 - 2.1.2 Rôle de protection mécanique : le pavillon
 - 2.1.3 Rôle d'amplification : le conduit auditif et le pavillon
 - 2.1.4 Rôle de localisation spatiale : audition binaurale
- 2.2 L'oreille moyenne
 - 2.2.1 Description générale
 - 2.2.2 Le tympan
 - 2.2.3 La chaîne ossiculaire
 - 2.2.4 Rôle de transmission de l'oreille moyenne
 - 2.2.5 Rôle de protection de l'oreille moyenne
 - 2.2.6 La conduction osseuse
- 2.3 L'oreille interne
 - 2.3.1 Anatomie générale de l'oreille interne
 - 2.3.2 Anatomie de la cochlée
 - 2.3.3 Rôle de transduction de l'oreille interne
- 2.4 Discrimination sélective des fréquences par la membrane basilaire : théorie de la tonotopie
 - 2.4.1 Tonotopie passive : théorie de Helmholtz
 - 2.4.2 Tonotopie passive : théorie de von Bekezy
 - 2.4.3 Insuffisance de la tonotopie passive
 - 2.4.4 Théorie de la tonotopie active
 - 2.4.5 Détail de la transformation du son en signal électrique et tonotopie active
- ✓ 3 Elaboration du message nerveux
 - 3.1 Innervation des cellules ciliées
 - 3.2 Potentiels électriques cellulaires
 - 3.2.1 Les potentiels microphoniques
 - 3.2.2 Les potentiels de sommation
 - 3.2.3 Distorsion non linéaire
 - 3.2.4 Le codage de l'intensité (CCI)
 - 3.2.5 Le codage de la fréquence (CCI)
 - 3.3 Potentiels d'action
- ✓ 4 Voies nerveuses et cerveau auditif
 - 4.1 Le nerf cochléaire (ou nerf auditif)
 - 4.2 Les messages du nerf cochléaire
 - 4.2.1 Activité spontanée
 - 4.2.2 Réponse à un stimulus
 - 4.2.3 Réponse d'une fibre du nerf auditif
 - 4.2.4 Synchronisation
 - 4.3 Potentiel évoqué auditif du tronc cérébral

- 4.3.1 Méthode de stimulation
- 4.3.2 Méthode d'enregistrement
- 4.3.3 Description des résultats
- 4.4 Les voies auditives centrales
- ✓ 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 Sommatation binaurale au seuil
 - 5.5 Niveaux physiologiques ou niveaux d'isophonie
 - 5.5.1 Définition
 - 5.5.2 Unité de mesure du niveau d'isophonie : 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
 - 6.1 Hauteur spectrale et hauteur musicale (ou fondamentale)
 - 6.2 Hauteur tonale, définition
 - 6.3 Hauteur tonale : tonie et chroma
 - 6.4 Seuils absolus, différentiel et différentiel relatif de hauteur tonale pour les sons purs
 - 6.4.1 Seuils absolus de perception des fréquences
 - 6.4.2 Seuil différentiel en fréquence
 - 6.4.3 Seuil différentiel relatif de fréquence
 - 6.5 Loi de Weber-Fechner pour la perception de la hauteur

- 6.6 Unités physiques de hauteur : octave harmonique, intervalles, savart et cent
- 6.7 Hauteurs harmoniques et notes de la gamme tempérée
- 6.8 Tonie
- 6.9 Tonie et bandes critiques
- 6.10 Facteurs de variation de la hauteur tonale d'un son pur
 - 6.10.1 Variation de la tonie avec l'intensité
 - 6.10.2 Variation de la tonie avec la durée
 - 6.10.3 Variation de la tonie en présence d'un son masquant simultané
 - 6.10.4 Effet de sons masquants proactifs.
 - 6.10.5 La diplacousie binaurale
- 6.11 Modèles pour la perception de la hauteur des sons
 - 6.11.1 Le code neural primaire pour la fréquence
 - 6.11.2 Le codage tonotopique de la fréquence et les modèles de reconnaissance de formes
 - 6.11.3 Le codage temporel de la fréquence
 - 6.11.4 Codage temporel vs codage tonotopique de la fréquence
 - 6.11.5 Échelles naturelles de la membrane basilaire
 - 6.11.6 Résumé du codage de la fréquence pour les sons purs : un modèle mixte
- 6.12 Hauteur tonale des sons complexes
 - 6.12.1 Les sons complexes harmoniques
 - 6.12.2 L'affaire de la fondamentale absente
- ✓ 7 Dimension temporelle
 - 7.1 Introduction : code neural primaire représentant les aspects temporels
 - 7.2 Enveloppe et structure fine des sons
 - 7.3 Résolution temporelle
 - 7.3.1 Définition
 - 7.3.2 Limites de la résolution temporelle
 - 7.3.3 Estimations de l'acuité temporelle
 - 7.4 Pouvoir séparateur de l'oreille et quantum acoustique
 - 7.5 Masquage temporel
- ✓ 8 La perception du timbre
 - 8.1 Timbre et composition spectrale
 - 8.2 Timbre et enveloppe temporelle
 - 8.3 Vers un espace des timbres

Chapitre 9 : la parole et la voix humaine

- ✓ 1 Physiologie des organes de la phonation
 - 1.1 Le larynx, organe vibrant

- 1.1.1 Généralités
- 1.1.2 Cartilages du larynx
- 1.1.3 Structure des cordes vocales
- 1.1.4 Muscles du larynx
- 1.1.5 Rôle des cordes vocales
- 1.2 Les cavités résonantes
- ✓ 2 Production du son par l'appareil phonatoire et caractéristiques du son émis
 - 2.1 Fonctionnement général de l'appareil phonatoire
 - 2.2 Mécanisme de production du son
 - 2.3 Caractéristiques du son produit par les cordes
 - 2.4 Mise en forme du son
 - 2.4.1 Rappels physiques sur le phénomène de résonance
 - 2.4.2 Résonances dans l'appareil phonatoire
 - 2.4.3 Effets de la résonance sur le spectre émis
- ✓ 3 Notions de phonétique
 - 3.1 Les voyelles
 - 3.1.1 Nombre de résonateurs
 - 3.1.2 Forme du résonateur buccal
 - 3.1.3 Volume du résonateur buccal
 - 3.1.4 Classement des voyelles
 - 3.2 Les consonnes et les semi-voyelles
 - 3.2.1 Modes d'articulation
 - 3.2.2 Point d'articulation
 - 3.2.3 Consonnes occlusives
 - 3.2.4 Consonnes fricatives
 - 3.2.5 Autres types de consonnes
- ✓ 4 Une application : l'expression « le chapeau »

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