

Du son à sa représentation numérique

Sylvain Daudé <sylvain.daudé@umontpellier.fr>

Plan du cours

- 1 Qu'est-ce qu'un son ?
- 2 Représentation brute d'un son
- 3 Caractéristiques physiques et perceptives du son

Plan du cours

1 Qu'est-ce qu'un son ?

2 Représentation brute d'un son

3 Caractéristiques physiques et perceptives du son

Comparaison des sens

- Image

- ▶ = sensation visuelle engendrée par une vibration électromagnétique
- ▶ vitesse dans l'air : 300.000 km/s, dans l'eau : 225.000 km/s

- Odeur = sensation olfactive engendrée par un déplacement d'air

- ▶ vitesse dans l'air : dépend des déplacements d'air

- Son = sensation auditive engendrée par une vibration acoustique

- ▶ vitesse dans l'air : 340 m/s, dans l'eau : 1500 m/s
- ▶ pour qu'il y ait un son, il faut :

- ▶ une source sonore qui crée la vibration

- ▶ un milieu acoustique capable de transmettre

- ▶ un auditeur capable de l'entendre

Comparaison des sens

- Image

- ▶ = sensation visuelle engendrée par une vibration électromagnétique
- ▶ vitesse dans l'air : 300.000 km/s, dans l'eau : 225.000 km/s

- Odeur = sensation olfactive engendrée par un déplacement d'air

- ▶ vitesse dans l'air : dépend des déplacements d'air

- Son = sensation auditive engendrée par une vibration acoustique

- ▶ vitesse dans l'air : 340 m/s, dans l'eau : 1500 m/s
- ▶ pour qu'il y ait un son, il faut :

- ▶ une source sonore qui crée la vibration
- ▶ un milieu acoustique capable de transmettre
- ▶ un auditeur capable de l'entendre

Comparaison des sens

- Image

- ▶ = sensation visuelle engendrée par une vibration électromagnétique
- ▶ vitesse dans l'air : 300.000 km/s, dans l'eau : 225.000 km/s

- Odeur = sensation olfactive engendrée par un déplacement d'air

- ▶ vitesse dans l'air : dépend des déplacements d'air

- Son = sensation auditive engendrée par une vibration acoustique

- ▶ vitesse dans l'air : 340 m/s, dans l'eau : 1500 m/s
- ▶ pour qu'il y ait un son, il faut :

- ▶ une source sonore qui crée la vibration
- ▶ un milieu acoustique capable de transmettre
- ▶ un auditeur capable de l'entendre

Comparaison des sens

- Image
 - ▶ = sensation visuelle engendrée par une vibration électromagnétique
 - ▶ vitesse dans l'air : 300.000 km/s, dans l'eau : 225.000 km/s
- Odeur = sensation olfactive engendrée par un déplacement d'air
 - ▶ vitesse dans l'air : dépend des déplacements d'air
- Son = sensation auditive engendrée par une vibration acoustique
 - ▶ vitesse dans l'air : 340 m/s, dans l'eau : 1500 m/s
 - ▶ pour qu'il y ait un son, il faut :

une source sonore qui crée la vibration
un milieu acoustique capable de transmettre
un auditeur capable de l'entendre

Comparaison des sens

- Image
 - ▶ = sensation visuelle engendrée par une vibration électromagnétique
 - ▶ vitesse dans l'air : 300.000 km/s, dans l'eau : 225.000 km/s
- Odeur = sensation olfactive engendrée par un déplacement d'air
 - ▶ vitesse dans l'air : dépend des déplacements d'air
- Son = sensation auditive engendrée par une vibration acoustique
 - ▶ vitesse dans l'air : 340 m/s, dans l'eau : 1500 m/s
 - ▶ pour qu'il y ait un son, il faut :

une source sonore qui crée la vibration
un milieu acoustique capable de transmettre
la vibration capable de résonner

Comparaison des sens

- Image
 - ▶ = sensation visuelle engendrée par une vibration électromagnétique
 - ▶ vitesse dans l'air : 300.000 km/s, dans l'eau : 225.000 km/s
- Odeur = sensation olfactive engendrée par un déplacement d'air
 - ▶ vitesse dans l'air : dépend des déplacements d'air
- Son = sensation auditive engendrée par une vibration acoustique
 - ▶ vitesse dans l'air : 340 m/s, dans l'eau : 1500 m/s
 - ▶ pour qu'il y ait un son, il faut :
 - ★ une source sonore qui crée la vibration
 - ★ un média acoustique capable de la transmettre
 - ★ un auditeur capable de l'entendre

Comparaison des sens

- Image
 - ▶ = sensation visuelle engendrée par une vibration électromagnétique
 - ▶ vitesse dans l'air : 300.000 km/s, dans l'eau : 225.000 km/s
- Odeur = sensation olfactive engendrée par un déplacement d'air
 - ▶ vitesse dans l'air : dépend des déplacements d'air
- Son = sensation auditive engendrée par une vibration acoustique
 - ▶ vitesse dans l'air : 340 m/s, dans l'eau : 1500 m/s
 - ▶ pour qu'il y ait un son, il faut :
 - ★ une source sonore qui crée la vibration
 - ★ un média acoustique capable de la transmettre
 - ★ un auditeur capable de l'entendre

Comparaison des sens

- Image
 - ▶ = sensation visuelle engendrée par une vibration électromagnétique
 - ▶ vitesse dans l'air : 300.000 km/s, dans l'eau : 225.000 km/s
- Odeur = sensation olfactive engendrée par un déplacement d'air
 - ▶ vitesse dans l'air : dépend des déplacements d'air
- Son = sensation auditive engendrée par une vibration acoustique
 - ▶ vitesse dans l'air : 340 m/s, dans l'eau : 1500 m/s
 - ▶ pour qu'il y ait un son, il faut :
 - ★ une source sonore qui crée la vibration
 - ★ un media acoustique capable de la transmettre
 - ★ un auditeur capable de l'entendre

Petits calculs

- On entend un éclair 3 secondes après l'avoir vu, à quelle distance était-il ?
 - ▶ réponse : approximation : lumière instantanée ;
 $d = v \times t = 340 \times 3 = 1020 \text{ m.}$
- Une molécule d'air est située devant un haut-parleur. A quelle distance est-elle du haut-parleur après 10 secondes de musique ?
 - ▶ réponse : elle n'a (quasiment) pas bougé !

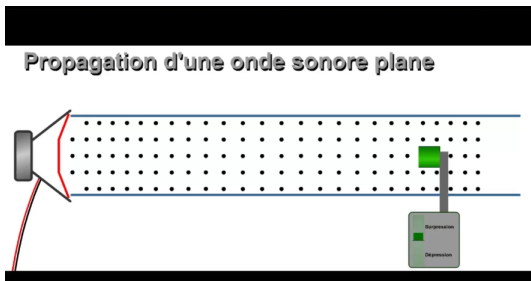
Petits calculs

- On entend un éclair 3 secondes après l'avoir vu, à quelle distance était-il ?
 - ▶ réponse : approximation : lumière instantanée ;
 $d = v \times t = 340 \times 3 = 1020 \text{ m}.$
- Une molécule d'air est située devant un haut-parleur. A quelle distance est-elle du haut-parleur après 10 secondes de musique ?
 - ▶ réponse : elle n'a (quasiment) pas bougé !

Petits calculs

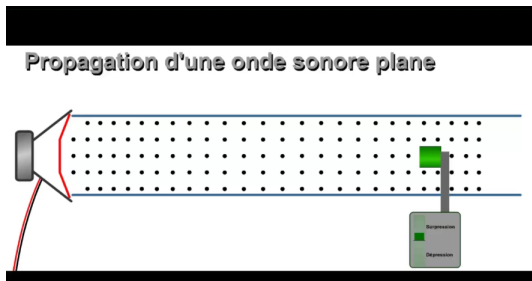
- On entend un éclair 3 secondes après l'avoir vu, à quelle distance était-il ?
 - ▶ réponse : approximation : lumière instantanée ;
 $d = v \times t = 340 \times 3 = 1020 \text{ m}.$
- Une molécule d'air est située devant un haut-parleur. A quelle distance est-elle du haut-parleur après 10 secondes de musique ?
 - ▶ réponse : elle n'a (quasiment) pas bougé !

Onde acoustique



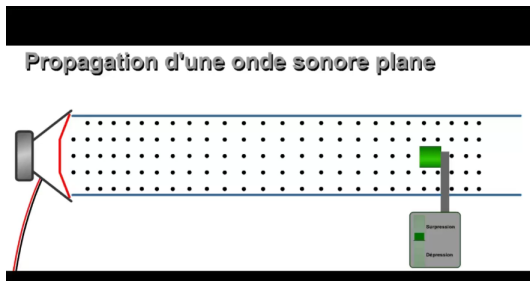
- dans l'air, la propagation de l'onde sonore se fait par compression et décompression de couches d'air successives (l'air est élastique)
- l'eau est incompressible donc le son s'y propage plus vite
- à un point donné, l'enregistrement de la pression en fonction du temps est appelée **signal sonore**

Onde acoustique



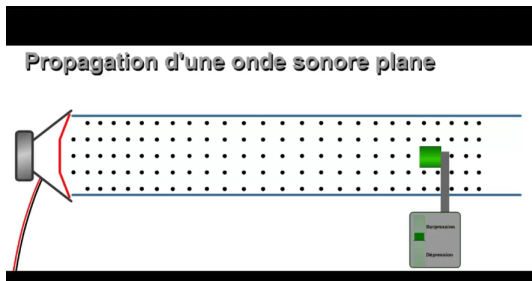
- dans l'air, la propagation de l'onde sonore se fait par compression et décompression de couches d'air successives (l'air est élastique)
- l'eau est incompressible donc le son s'y propage plus vite
- à un point donné, l'enregistrement de la pression en fonction du temps est appelée **signal sonore**

Onde acoustique



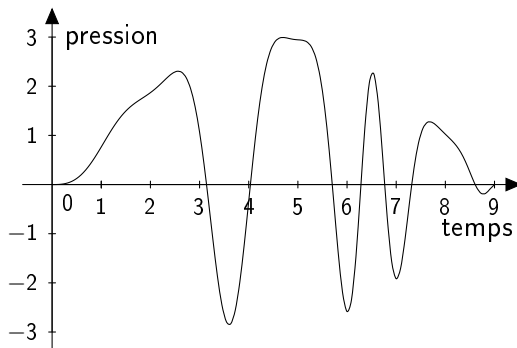
- dans l'air, la propagation de l'onde sonore se fait par compression et décompression de couches d'air successives (l'air est élastique)
- l'eau est incompressible donc le son s'y propage plus vite
- à un point donné, l'enregistrement de la pression en fonction du temps est appelée **signal sonore**

Onde acoustique



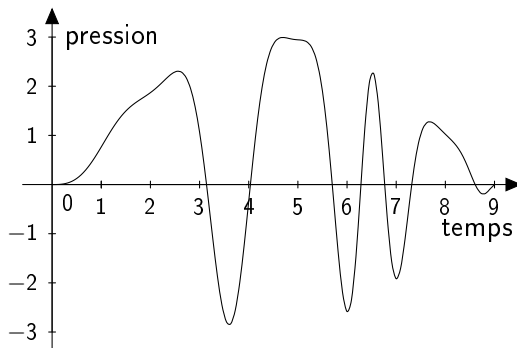
- dans l'air, la propagation de l'onde sonore se fait par compression et décompression de couches d'air successives (l'air est élastique)
- l'eau est incompressible donc le son s'y propage plus vite
- à un point donné, l'enregistrement de la pression en fonction du temps est appelée **signal sonore**

Signal sonore



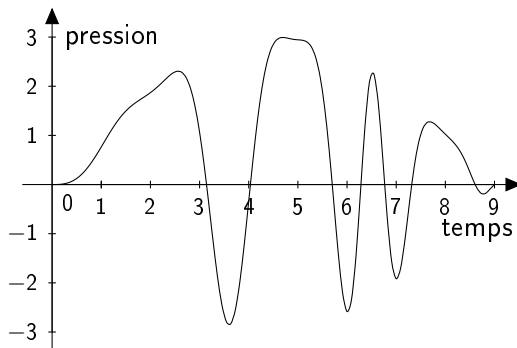
- Crête = pression, creux = dépression
- Pour pouvoir stocker ce signal en machine, on le **discrétise**

Signal sonore



- Crête = pression, creux = dépression
- Pour pouvoir stocker ce signal en machine, on le **discrétise**

Signal sonore



- Crête = pression, creux = dépression
- Pour pouvoir stocker ce signal en machine, on le **discrétise**

Plan du cours

1 Qu'est-ce qu'un son ?

2 Représentation brute d'un son

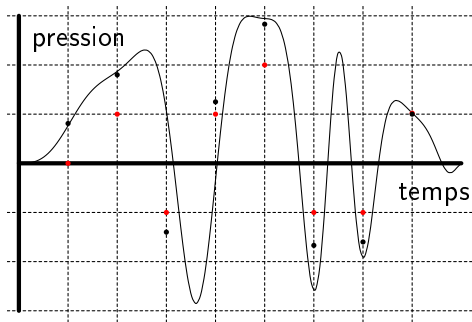
3 Caractéristiques physiques et perceptives du son

Discrétisation (ou numérisation) du son

- Discrétisation = transformation d'un signal continu en suite de valeurs
- 2 étapes :
 - ▶ évaluation du signal à intervalles de temps réguliers = **échantillonnage**
 - ▶ troncature de cette valeur selon le nombre de bits alloué = **quantification et encodage**
- la **profondeur** de l'encodage est le nombre de bits pour un échantillon
 - ▶ faible profondeur = peu de contraste entre les sons forts et faibles
 - ▶ CD = 16 bits, DVD = 16/24 bits, studio = 24/32 bits
- comment déterminer la **fréquence d'échantillonnage** ?

Discrétisation (ou numérisation) du son

- Discrétisation = transformation d'un signal continu en suite de valeurs
- 2 étapes :
 - ▶ évaluation du signal à intervalles de temps réguliers = **échantillonnage**
 - ▶ troncature de cette valeur selon le nombre de bits alloué = **quantification** et **encodage**



- la **profondeur** de l'encodage est le nombre de bits pour un échantillon
 - ▶ faible profondeur = peu de contraste entre les sons forts et faibles
 - ▶ CD = 16 bits, DVD = 16/24 bits, studio = 24/32 bits

Discrétisation (ou numérisation) du son

- Discrétisation = transformation d'un signal continu en suite de valeurs
- 2 étapes :
 - ▶ évaluation du signal à intervalles de temps réguliers = **échantillonnage**
 - ▶ troncature de cette valeur selon le nombre de bits alloué = **quantification** et **encodage**
- la **profondeur** de l'encodage est le nombre de bits pour un échantillon
 - ▶ faible profondeur = peu de contraste entre les sons forts et faibles
 - ▶ CD = 16 bits, DVD = 16/24 bits, studio = 24/32 bits
- comment déterminer la **fréquence d'échantillonnage** ?

Discrétisation (ou numérisation) du son

- Discrétisation = transformation d'un signal continu en suite de valeurs
- 2 étapes :
 - ▶ évaluation du signal à intervalles de temps réguliers = **échantillonnage**
 - ▶ troncature de cette valeur selon le nombre de bits alloué = **quantification** et **encodage**
- la **profondeur** de l'encodage est le nombre de bits pour un échantillon
 - ▶ faible profondeur = peu de contraste entre les sons forts et faibles
 - ▶ CD = 16 bits, DVD = 16/24 bits, studio = 24/32 bits
- comment déterminer la **fréquence d'échantillonnage** ?

Discrétisation (ou numérisation) du son

- Discrétisation = transformation d'un signal continu en suite de valeurs
- 2 étapes :
 - ▶ évaluation du signal à intervalles de temps réguliers = **échantillonnage**
 - ▶ troncature de cette valeur selon le nombre de bits alloué = **quantification** et **encodage**
- la **profondeur** de l'encodage est le nombre de bits pour un échantillon
 - ▶ faible profondeur = peu de contraste entre les sons forts et faibles
 - ▶ CD = 16 bits, DVD = 16/24 bits, studio = 24/32 bits
- comment déterminer la **fréquence d'échantillonnage** ?

Théorème de Shannon

- Théorème de Shannon : « Un échantillonnage à la fréquence F_e restitue fidèlement les fréquences entre $-\frac{F_e}{2}$ et $\frac{F_e}{2}$ » (fréquences négatives générées par l'analyse de signaux finis en temps)
- Quelles fréquences veut-on restituer ?

Fréquence et hauteur

- Expérience : frottement d'une ligne striée
 - ▶ Conclusion : dans une certaine étendue, l'oreille ressent la fréquence des vibrations du signal sonore, sous forme de hauteur.
- Expérience : écoute d'un son à différentes fréquences
 - ▶ Conclusion : au maximum, on entend les fréquences dans l'intervalle [16Hz-20kHz]
 - ▶ Pour restituer tous les sons, il faudrait donc $F_e = 40 \text{ kHz}$
- Expérience : écoute de deux sons proches en fréquence
 - ▶ Conclusion : deux sons proches en fréquence émettent des battements audibles même si ces deux sons dépassent 20 kHz
 - ▶ Pour restituer ces battements, on augmente F_e : 44,1 kHz pour les CD, 48 kHz pour les DAT/DVD
- Expérience : écoute de sons parlés sans les hautes fréquences
 - ▶ aucune différence jusqu'à 6000Hz → large bande : $F_e = 16000 \text{ Hz}$
 - ▶ compréhensible jusqu'à 4000Hz → téléphone traditionnel : $F_e = 8000 \text{ Hz}$

Fréquence et hauteur

- Expérience : frottement d'une ligne striée
 - ▶ Conclusion : dans une certaine étendue, l'oreille ressent la fréquence des vibrations du signal sonore, sous forme de hauteur.
- Expérience : écoute d'un son à différentes fréquences
 - ▶ Conclusion : au maximum, on entend les fréquences dans l'intervalle [16Hz-20kHz]
 - ▶ Pour restituer tous les sons, il faudrait donc $F_e = 40 \text{ kHz}$
- Expérience : écoute de deux sons proches en fréquence
 - ▶ Conclusion : deux sons proches en fréquence émettent des battements audibles même si ces deux sons dépassent 20 kHz
 - ▶ Pour restituer ces battements, on augmente F_e : 44,1 kHz pour les CD, 48 kHz pour les DAT/DVD
- Expérience : écoute de sons parlés sans les hautes fréquences
 - ▶ aucune différence jusqu'à 6000Hz → large bande : $F_e = 16000 \text{ Hz}$
 - ▶ compréhensible jusqu'à 4000Hz → téléphone traditionnel : $F_e = 8000 \text{ Hz}$

Fréquence et hauteur

- Expérience : frottement d'une ligne striée
 - ▶ Conclusion : dans une certaine étendue, l'oreille ressent la fréquence des vibrations du signal sonore, sous forme de hauteur.
- Expérience : écoute d'un son à différentes fréquences
 - ▶ Conclusion : au maximum, on entend les fréquences dans l'intervalle [16Hz-20kHz]
 - ▶ Pour restituer tous les sons, il faudrait donc $F_e = 40 \text{ kHz}$
- Expérience : écoute de deux sons proches en fréquence
 - ▶ Conclusion : deux sons proches en fréquence émettent des battements audibles même si ces deux sons dépassent 20 kHz
 - ▶ Pour restituer ces battements, on augmente F_e : 44,1 kHz pour les CD, 48 kHz pour les DAT/DVD
- Expérience : écoute de sons parlés sans les hautes fréquences
 - ▶ aucune différence jusqu'à 6000Hz → large bande : $F_e = 16000 \text{ Hz}$
 - ▶ compréhensible jusqu'à 4000Hz → téléphone traditionnel : $F_e = 8000 \text{ Hz}$

Fréquence et hauteur

- Expérience : frottement d'une ligne striée
 - ▶ Conclusion : dans une certaine étendue, l'oreille ressent la fréquence des vibrations du signal sonore, sous forme de hauteur.
- Expérience : écoute d'un son à différentes fréquences
 - ▶ Conclusion : au maximum, on entend les fréquences dans l'intervalle [16Hz-20kHz]
 - ▶ Pour restituer tous les sons, il faudrait donc $F_e = 40 \text{ kHz}$
- Expérience : écoute de deux sons proches en fréquence
 - ▶ Conclusion : deux sons proches en fréquence émettent des battements audibles même si ces deux sons dépassent 20 kHz
 - ▶ Pour restituer ces battements, on augmente F_e : 44,1 kHz pour les CD, 48 kHz pour les DAT/DVD
- Expérience : écoute de sons parlés sans les hautes fréquences
 - ▶ aucune différence jusqu'à 6000Hz → large bande : $F_e = 16000 \text{ Hz}$
 - ▶ compréhensible jusqu'à 4000Hz → téléphone traditionnel : $F_e = 8000 \text{ Hz}$

Fréquence et hauteur

- Expérience : frottement d'une ligne striée
 - ▶ Conclusion : dans une certaine étendue, l'oreille ressent la fréquence des vibrations du signal sonore, sous forme de hauteur.
- Expérience : écoute d'un son à différentes fréquences
 - ▶ Conclusion : au maximum, on entend les fréquences dans l'intervalle [16Hz-20kHz]
 - ▶ Pour restituer tous les sons, il faudrait donc $F_e = 40 \text{ kHz}$
- Expérience : écoute de deux sons proches en fréquence
 - ▶ Conclusion : deux sons proches en fréquence émettent des battements audibles même si ces deux sons dépassent 20 kHz
 - ▶ Pour restituer ces battements, on augmente F_e : 44,1 kHz pour les CD, 48 kHz pour les DAT/DVD
- Expérience : écoute de sons parlés sans les hautes fréquences
 - ▶ aucune différence jusqu'à 6000Hz → large bande : $F_e = 16000 \text{ Hz}$
 - ▶ compréhensible jusqu'à 4000Hz → téléphone traditionnel : $F_e = 8000 \text{ Hz}$

Fréquence et hauteur

- Expérience : frottement d'une ligne striée
 - ▶ Conclusion : dans une certaine étendue, l'oreille ressent la fréquence des vibrations du signal sonore, sous forme de hauteur.
- Expérience : écoute d'un son à différentes fréquences
 - ▶ Conclusion : au maximum, on entend les fréquences dans l'intervalle [16Hz-20kHz]
 - ▶ Pour restituer tous les sons, il faudrait donc $F_e = 40 \text{ kHz}$
- Expérience : écoute de deux sons proches en fréquence
 - ▶ Conclusion : deux sons proches en fréquence émettent des battements audibles même si ces deux sons dépassent 20 kHz
 - ▶ Pour restituer ces battements, on augmente F_e : 44,1 kHz pour les CD, 48 kHz pour les DAT/DVD
- Expérience : écoute de sons parlés sans les hautes fréquences
 - ▶ aucune différence jusqu'à 6000Hz → large bande : $F_e = 16000 \text{ Hz}$
 - ▶ compréhensible jusqu'à 4000Hz → téléphone traditionnel : $F_e = 8000 \text{ Hz}$

Fréquence et hauteur

- Expérience : frottement d'une ligne striée
 - ▶ Conclusion : dans une certaine étendue, l'oreille ressent la fréquence des vibrations du signal sonore, sous forme de hauteur.
- Expérience : écoute d'un son à différentes fréquences
 - ▶ Conclusion : au maximum, on entend les fréquences dans l'intervalle [16Hz-20kHz]
 - ▶ Pour restituer tous les sons, il faudrait donc $F_e = 40 \text{ kHz}$
- Expérience : écoute de deux sons proches en fréquence
 - ▶ Conclusion : deux sons proches en fréquence émettent des battements audibles même si ces deux sons dépassent 20 kHz
 - ▶ Pour restituer ces battements, on augmente F_e : 44,1 kHz pour les CD, 48 kHz pour les DAT/DVD
- Expérience : écoute de sons parlés sans les hautes fréquences
 - ▶ aucune différence jusqu'à 6000Hz → large bande : $F_e = 16000 \text{ Hz}$
 - ▶ compréhensible jusqu'à 4000Hz → téléphone traditionnel :
 $F_e = 8000 \text{ Hz}$

Fréquence et hauteur

- Expérience : frottement d'une ligne striée
 - ▶ Conclusion : dans une certaine étendue, l'oreille ressent la fréquence des vibrations du signal sonore, sous forme de hauteur.
- Expérience : écoute d'un son à différentes fréquences
 - ▶ Conclusion : au maximum, on entend les fréquences dans l'intervalle [16Hz-20kHz]
 - ▶ Pour restituer tous les sons, il faudrait donc $F_e = 40 \text{ kHz}$
- Expérience : écoute de deux sons proches en fréquence
 - ▶ Conclusion : deux sons proches en fréquence émettent des battements audibles même si ces deux sons dépassent 20 kHz
 - ▶ Pour restituer ces battements, on augmente F_e : 44,1 kHz pour les CD, 48 kHz pour les DAT/DVD
- Expérience : écoute de sons parlés sans les hautes fréquences
 - ▶ aucune différence jusqu'à 6000Hz → large bande : $F_e = 16000 \text{ Hz}$
 - ▶ compréhensible jusqu'à 4000Hz → téléphone traditionnel : $F_e = 8000 \text{ Hz}$

Quelques calculs

- Quelle durée de musique “brute” peut-on mettre sur un CD stéréo de 700 Mo ?
 - ▶ Réponse : $700.000.000 / (44100 \times 16/8 \times 2) = 3968 \text{ s} = 1 \text{ h } 06 \text{ m } 08 \text{ s}$
- Quelle durée en MP3-64kbps ? (avec suppression de la stéréo)
 - ▶ Réponse : $700.000.000 / (64000/8) = 87500 \text{ s} = 24 \text{ h } 18 \text{ m } 20 \text{ s}$.
 - ▶ Problème : fréquences coupées au delà de 11kHz.
- Quelle durée en MP3-192kbps ? (avec conservation de la stéréo)
 - ▶ Réponse : $700.000.000 / (192000/8 \times 2) = 14853 \text{ s} = 4 \text{ h } 03 \text{ m } 03 \text{ s}$.

Quelques calculs

- Quelle durée de musique “brute” peut-on mettre sur un CD stéréo de 700 Mo ?
 - ▶ Réponse : $700.000.000 / (44100 \times 16/8 \times 2) = 3968 \text{ s} = 1 \text{ h } 06 \text{ m } 08 \text{ s}$
- Quelle durée en MP3-64kbps ? (avec suppression de la stéréo)
 - ▶ Réponse : $700.000.000 / (64000/8) = 87500 \text{ s} = 24 \text{ h } 18 \text{ m } 20 \text{ s}$.
 - ▶ Problème : fréquences coupées au delà de 11kHz.
- Quelle durée en MP3-192kbps ? (avec conservation de la stéréo)
 - ▶ Réponse : $700.000.000 / (192000/8 \times 2) = 14853 \text{ s} = 4 \text{ h } 03 \text{ m } 03 \text{ s}$.

Quelques calculs

- Quelle durée de musique “brute” peut-on mettre sur un CD stéréo de 700 Mo ?
 - ▶ Réponse : $700.000.000 / (44100 \times 16/8 \times 2) = 3968 \text{ s} = 1 \text{ h } 06 \text{ m } 08 \text{ s}$
- Quelle durée en MP3-64kbps ? (avec suppression de la stéréo)
 - ▶ Réponse : $700.000.000 / (64000/8) = 87500 \text{ s} = 24 \text{ h } 18 \text{ m } 20 \text{ s}$.
 - ▶ Problème : fréquences coupées au delà de 11kHz.
- Quelle durée en MP3-192kbps ? (avec conservation de la stéréo)
 - ▶ Réponse : $700.000.000 / (192000/8 \times 2) = 14853 \text{ s} = 4 \text{ h } 03 \text{ m } 03 \text{ s}$.

Quelques calculs

- Quelle durée de musique “brute” peut-on mettre sur un CD stéréo de 700 Mo ?
 - ▶ Réponse : $700.000.000 / (44100 \times 16/8 \times 2) = 3968 \text{ s} = 1 \text{ h } 06 \text{ m } 08 \text{ s}$
- Quelle durée en MP3-64kbps ? (avec suppression de la stéréo)
 - ▶ Réponse : $700.000.000 / (64000/8) = 87500 \text{ s} = 24 \text{ h } 18 \text{ m } 20 \text{ s}$.
 - ▶ Problème : fréquences coupées au delà de 11kHz.
- Quelle durée en MP3-192kbps ? (avec conservation de la stéréo)
 - ▶ Réponse : $700.000.000 / (192000/8 \times 2) = 14853 \text{ s} = 4 \text{ h } 03 \text{ m } 03 \text{ s}$.

Plan du cours

1 Qu'est-ce qu'un son ?

2 Représentation brute d'un son

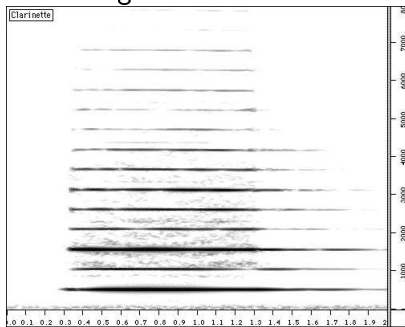
3 Caractéristiques physiques et perceptives du son

Fréquence, fondamentale et harmonique

- Représentation de la fréquence en fonction du temps = **sonagramme**
- ex : sonagramme de clarinette
- Principe naturel : lorsqu'on entend des fréquences multiples d'une fréquence de base, on l'associe à un seul son.
 - ▶ fréquence de base = **fondamentale**
 - ▶ fréquences multiples de la fondamentale = **harmoniques**
- Séries de Fourier : calcul permettant de retrouver la fondamentale et les harmoniques

Fréquence, fondamentale et harmonique

- Représentation de la fréquence en fonction du temps = **sonagramme**
- ex : sonagramme de clarinette



fréquences émises **multiples** d'une fréquence de base

- Principe naturel : lorsqu'on entend des fréquences multiples d'une fréquence de base, on l'associe à un seul son.
 - ▶ fréquence de base = **fondamentale**
 - ▶ fréquences multiples de la fondamentale = **harmoniques**
- Séries de Fourier : calcul permettant de retrouver la fondamentale et

Fréquence, fondamentale et harmonique

- Représentation de la fréquence en fonction du temps = **sonagramme**
- ex : sonagramme de clarinette
- Principe naturel : lorsqu'on entend des fréquences multiples d'une fréquence de base, on l'associe à un seul son.
 - ▶ fréquence de base = **fondamentale**
 - ▶ fréquences multiples de la fondamentale = **harmoniques**
- Séries de Fourier : calcul permettant de retrouver la fondamentale et les harmoniques

Fréquence, fondamentale et harmonique

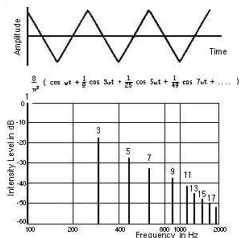
- Représentation de la fréquence en fonction du temps = **sonagramme**
- ex : sonagramme de clarinette
- Principe naturel : lorsqu'on entend des fréquences multiples d'une fréquence de base, on l'associe à un seul son.
 - ▶ fréquence de base = **fondamentale**
 - ▶ fréquences multiples de la fondamentale = **harmoniques**
- Séries de Fourier : calcul permettant de retrouver la fondamentale et les harmoniques

Fréquence, fondamentale et harmonique

- Représentation de la fréquence en fonction du temps = **sonagramme**
- ex : sonagramme de clarinette
- Principe naturel : lorsqu'on entend des fréquences multiples d'une fréquence de base, on l'associe à un seul son.
 - ▶ fréquence de base = **fondamentale**
 - ▶ fréquences multiples de la fondamentale = **harmoniques**
- Séries de Fourier : calcul permettant de retrouver la fondamentale et les harmoniques

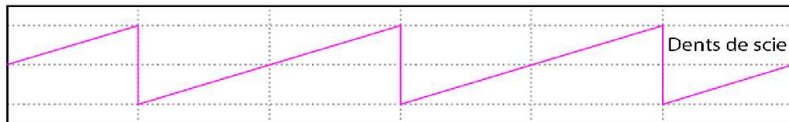
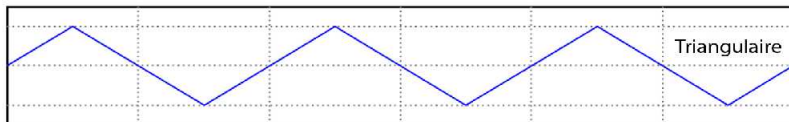
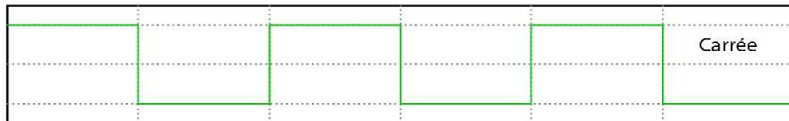
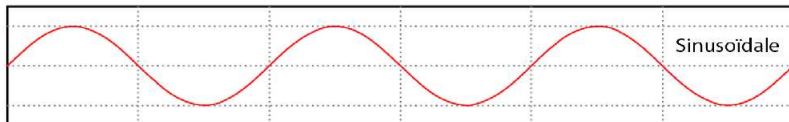
Fréquence, fondamentale et harmonique

- Représentation de la fréquence en fonction du temps = **sonagramme**
- ex : sonagramme de clarinette
- Principe naturel : lorsqu'on entend des fréquences multiples d'une fréquence de base, on l'associe à un seul son.
 - ▶ fréquence de base = **fondamentale**
 - ▶ fréquences multiples de la fondamentale = **harmoniques**
- Séries de Fourier : calcul permettant de retrouver la fondamentale et les harmoniques



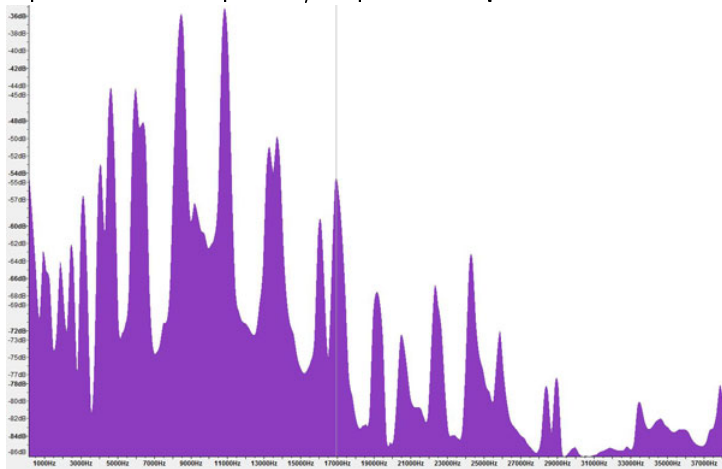
Autres représentations

- représentation amplitude/temps = signal sonore



Autres représentations

- représentation amplitude/temps = signal sonore
- représentation amplitude/fréquence = **spectre** du son

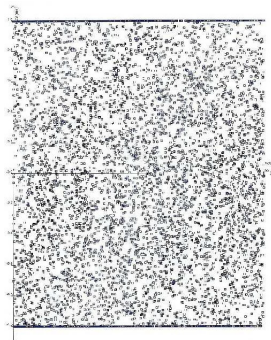


- représentation fréquence/temps = **sonagramme** du son

► ex : bruit blanc : toutes les fréquences sont présentes à parts égales

Autres représentations

- représentation amplitude/temps = signal sonore
- représentation amplitude/fréquence = **spectre** du son
- représentation fréquence/temps = **sonagramme** du son
 - ▶ ex : bruit blanc : toutes les fréquences sont présentes à parts égales

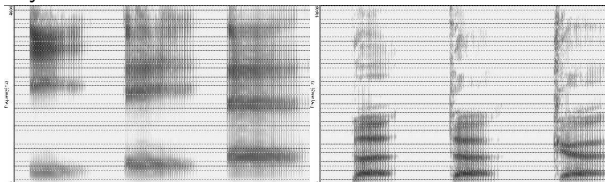


un bruit est défini par son aspect aléatoire et par la répartition statistique de ses fréquences

▶ voyelles et consonnes

Autres représentations

- représentation amplitude/temps = signal sonore
- représentation amplitude/fréquence = **spectre** du son
- représentation fréquence/temps = **sonagramme** du son
 - ▶ ex : bruit blanc : toutes les fréquences sont présentes à parts égales
 - ▶ voyelles et consonnes



- ★ les consonnes commencent par un bruit
- ★ les bandes de fréquences non harmoniques des voyelles s'appellent les **formants**
- ★ une voyelle contient deux hauteurs : celle de la fondamentale + harmoniques et celle des formants. C'est l'origine des chants diphoniques .

Quelques aspects perceptifs

- la fréquence est perçue comme la **hauteur** du son
- l'amplitude des vibrations est perçue comme l'**intensité** (ou **volume**) du son
- le spectre est perçu comme la **texture** (ou **couleur**) du son
- la texture et l'enveloppe dynamique forment le **timbre** du son
- loi de Weber-Fechner ou de Bouguer-Weber : “la sensation varie comme le logarithme de l'excitation”

- ▶ $dS = \lambda \frac{dE}{E}$: plus l'excitation est élevée, moins ses variations sont ressenties
- ▶ commun à la plupart des perceptions
- ▶ loi déviée aux extrêmes
- ▶ exemples :

▶ fréquence $\times 2 \Rightarrow +1$ octave

▶ intensité $\times 10 \Rightarrow +10$ dB (subjective)

Quelques aspects perceptifs

- la fréquence est perçue comme la **hauteur** du son
- l'amplitude des vibrations est perçue comme l'**intensité** (ou **volume**) du son
- le spectre est perçu comme la **texture** (ou **couleur**) du son
- la texture et l'enveloppe dynamique forment le **timbre** du son
- loi de Weber-Fechner ou de Bouguer-Weber : “la sensation varie comme le logarithme de l'excitation”

- ▶ $dS = \lambda \frac{dE}{E}$: plus l'excitation est élevée, moins ses variations sont ressenties
- ▶ commun à la plupart des perceptions
- ▶ loi déviée aux extrêmes
- ▶ exemples :

▶ son de fréquence $\times 2 \Rightarrow +1$ octave

▶ son d'intensité $\times 10 \Rightarrow +10$ dB (subjective)

Quelques aspects perceptifs

- la fréquence est perçue comme la **hauteur** du son
- l'amplitude des vibrations est perçue comme l'**intensité** (ou **volume**) du son
- le spectre est perçu comme la **texture** (ou **couleur**) du son
- la texture et l'enveloppe dynamique forment le **timbre** du son
- loi de Weber-Fechner ou de Bouguer-Weber : “la sensation varie comme le logarithme de l'excitation”

- ▶ $dS = \lambda \frac{dE}{E}$: plus l'excitation est élevée, moins ses variations sont ressenties
- ▶ commun à la plupart des perceptions
- ▶ loi déviée aux extrêmes
- ▶ exemples :

- ▶ la fréquence $\times 2 \Rightarrow +1$ octave
- ▶ l'intensité $\times 10 \Rightarrow +10$ dB (subjective)

Quelques aspects perceptifs

- la fréquence est perçue comme la **hauteur** du son
- l'amplitude des vibrations est perçue comme l'**intensité** (ou **volume**) du son
- le spectre est perçu comme la **texture** (ou **couleur**) du son
- la texture et l'enveloppe dynamique forment le **timbre** du son
- loi de Weber-Fechner ou de Bouguer-Weber : “la sensation varie comme le logarithme de l'excitation”

- ▶ $dS = \lambda \frac{dE}{E}$: plus l'excitation est élevée, moins ses variations sont ressenties
- ▶ commun à la plupart des perceptions
- ▶ loi déviée aux extrêmes
- ▶ exemples :

- ▶ pour la fréquence : $2 = 2 \times 1$ (octave)
- ▶ pour l'intensité : $10 = 10 \times 1$ (10 dB)

Quelques aspects perceptifs

- la fréquence est perçue comme la **hauteur** du son
- l'amplitude des vibrations est perçue comme l'**intensité** (ou **volume**) du son
- le spectre est perçu comme la **texture** (ou **couleur**) du son
- la texture et l'enveloppe dynamique forment le **timbre** du son
- loi de Weber-Fechner ou de Bouguer-Weber : “la sensation varie comme le logarithme de l'excitation”

- ▶ $dS = \lambda \frac{dE}{E}$: plus l'excitation est élevée, moins ses variations sont ressenties
- ▶ commun à la plupart des perceptions
- ▶ loi déviée aux extrêmes
- ▶ exemples :
 - ★ fréquence $\times 2 = +1$ octave
 - ★ intensité $\times 10 = +10$ dB (décibels)

Quelques aspects perceptifs

- la fréquence est perçue comme la **hauteur** du son
- l'amplitude des vibrations est perçue comme l'**intensité** (ou **volume**) du son
- le spectre est perçu comme la **texture** (ou **couleur**) du son
- la texture et l'enveloppe dynamique forment le **timbre** du son
- loi de Weber-Fechner ou de Bouguer-Weber : “la sensation varie comme le logarithme de l'excitation”

▶ $dS = \lambda \frac{dE}{E}$: plus l'excitation est élevée, moins ses variations sont ressenties

- ▶ commun à la plupart des perceptions
- ▶ loi déviée aux extrêmes
- ▶ exemples :

★ fréquence $\times 2 = +1$ octave

★ intensité $\times 10 = +10$ dB (décibels)

Quelques aspects perceptifs

- la fréquence est perçue comme la **hauteur** du son
- l'amplitude des vibrations est perçue comme l'**intensité** (ou **volume**) du son
- le spectre est perçu comme la **texture** (ou **couleur**) du son
- la texture et l'enveloppe dynamique forment le **timbre** du son
- loi de Weber-Fechner ou de Bouguer-Weber : “la sensation varie comme le logarithme de l'excitation”

- ▶ $dS = \lambda \frac{dE}{E}$: plus l'excitation est élevée, moins ses variations sont ressenties
- ▶ commun à la plupart des perceptions
- ▶ loi déviée aux extrêmes
- ▶ exemples :

- ★ fréquence $\times 2 = +1$ octave
- ★ intensité $\times 10 = +10$ dB (décibels)

Quelques aspects perceptifs

- la fréquence est perçue comme la **hauteur** du son
- l'amplitude des vibrations est perçue comme l'**intensité** (ou **volume**) du son
- le spectre est perçu comme la **texture** (ou **couleur**) du son
- la texture et l'enveloppe dynamique forment le **timbre** du son
- loi de Weber-Fechner ou de Bouguer-Weber : “la sensation varie comme le logarithme de l'excitation”

- ▶ $dS = \lambda \frac{dE}{E}$: plus l'excitation est élevée, moins ses variations sont ressenties
- ▶ commun à la plupart des perceptions
- ▶ loi déviée aux extrêmes
- ▶ exemples :

- ★ fréquence $\times 2 = +1$ octave
- ★ intensité $\times 10 = +10$ dB (décibels)

Quelques aspects perceptifs

- la fréquence est perçue comme la **hauteur** du son
- l'amplitude des vibrations est perçue comme l'**intensité** (ou **volume**) du son
- le spectre est perçu comme la **texture** (ou **couleur**) du son
- la texture et l'enveloppe dynamique forment le **timbre** du son
- loi de Weber-Fechner ou de Bouguer-Weber : “la sensation varie comme le logarithme de l'excitation”

- ▶ $dS = \lambda \frac{dE}{E}$: plus l'excitation est élevée, moins ses variations sont ressenties
- ▶ commun à la plupart des perceptions
- ▶ loi déviée aux extrêmes
- ▶ exemples :
 - ★ fréquence $\times 2 = +1$ octave
 - ★ intensité $\times 10 = +10$ dB (décibels)

Merci pour votre attention