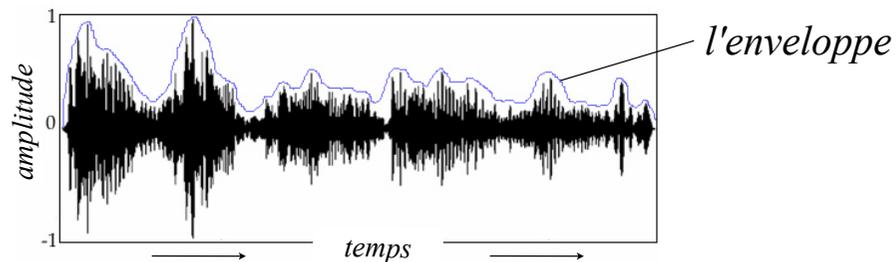


Les objets sonores de Racket



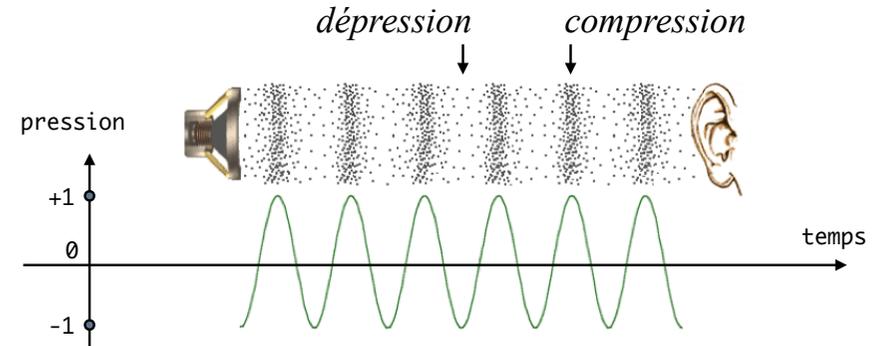
Le son comme fonction du temps

- Un **son** (*sound*) est représenté par une fonction $p=p(t)$ où l'abscisse est le **temps** et l'ordonnée la **pression** d'air (ou **amplitude** du signal).
- La pression peut être positive (compression) ou négative (dépression) suivant le mouvement des particules d'air. La pression nulle correspond au silence.



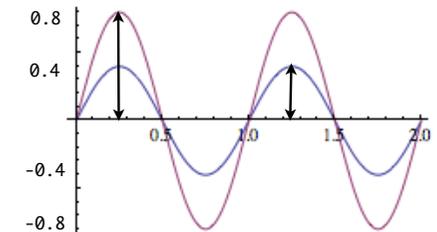
Qu'est-ce qu'un son ?

- Un **son** est un signal **ondulatoire** transportant une **variation de la pression d'air** en fonction du temps. L'oreille capture la variation de pression sur le tympan qui transmet cette information à l'oreille interne puis au cerveau, qui l'interprète.



L'amplitude : intensité d'un son

- Le temps étant discrétisé, la figure précédente représente un grand nombre d'échantillons (*samples*) du son à intervalles réguliers. Un échantillon isolé ne renseigne pas beaucoup sur le son...
- L'amplitude d'un son gouverne son **intensité**. Le signal $0.8 \sin(\omega t)$ sera perçu deux fois plus fort que le signal $0.4 \sin(\omega t)$.

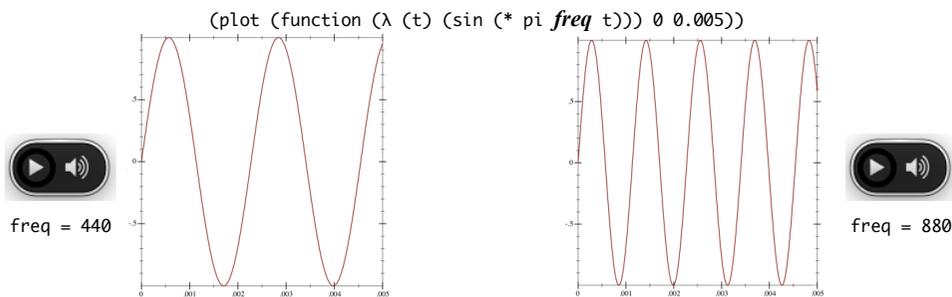


La fréquence : hauteur d'un son

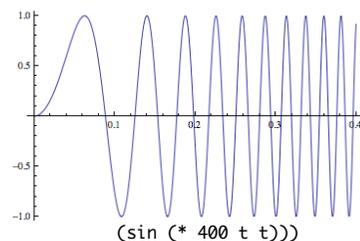
- Un signal sonore $s = s(t)$ est **périodique** s'il se répète à intervalles réguliers, donc si la fonction s est périodique. Par exemple $s = \sin(2\pi\omega t)$ est périodique de période $T = 1/\omega$. Sa fréquence est ω .
- La fréquence (*pitch*) mesure la **hauteur** du son (grave ou aigu). Le signal $\sin(2\pi 440 t)$ a une fréquence de 440 Hz. La fréquence est mesurée en Hertz (Hz = 1/sec).
- La plage de fréquences perceptibles par l'oreille humaine va du grave 20 Hz à l'aigu 20000 Hz (20 Kz).

5

- La **fréquence** ω du signal $\sin(2\pi\omega t)$ mesure l'écartement des vagues de la sinusoïde, alors que l'**intensité** en mesurait la hauteur.



- La fréquence peut ne pas être constante, comme dans un gazouilli (*chirp*) :



7

	Basse fréquence	Haute fréquence
	25.5 Hz	4186 Hz
	80 Hz	240 Hz
	140 Hz	500 Hz
	0 Hz	22000 Hz
	20 Hz	20000 Hz

d'où la fréquence d'échantillonnage ↓

6

De l'Analogique au Digital Numérique

- Le monde **analogique** est continu, ses courbes mathématiques sont lisses. Le monde **numérique** est discret, une courbe est remplacée par une suite de points, les échantillons (*samples*).



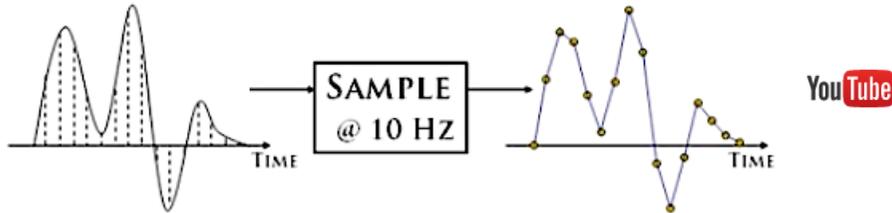
- Le **microphone** convertit une variation de pression d'air en un signal électrique continu : un voltage $v = v(t)$.
- Le **convertisseur** ADC va discrétiser la courbe du voltage.



8

L'échantillonnage (*sampling*)

- Le **convertisseur** ADC va prélever des échantillons sur la courbe du voltage, à une certaine **fréquence d'échantillonnage** F_e , le plus souvent $F_e = 44100$ Hz.



- Plus la fréquence maximale F du signal à échantillonner est élevée, plus F_e doit être élevée, pour ne pas perdre trop d'information. Le **théorème de Nyquist** précise qu'il faut choisir $F_e \geq 2F_{\max}$ pour reconstruire le signal.

9

Le module **rsound** de Racket

- Nous utiliserons le module **rsound** de John Clements :

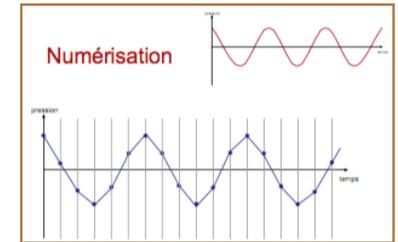
```
(require rsound)
```

ainsi qu'un morceau de musique sur disque dur comme 5th.wav (*Beethoven remixé techno*)...

- Nous travaillerons avec du **.wav 16 bits PCM, sans perte (lossless)** La production d'un .mp3 si besoin (avec perte, *lossy*) se fait ensuite avec un logiciel de conversion externe.
- L'API de **rsound** va nous permettre de construire ou transformer des objets sonores, puis les sauver sur disque en .wav.

11

- Le son stocké est une suite de nombres donnant l'amplitude du signal sonore. Ces nombres sont sur 8, **16**, 24 bits par ex. suivant la précision voulue.



- Les échantillons sont prélevés (sur un ou plusieurs canaux) à une certaine fréquence $F_e \geq 2 F_{\max}$

- Occupation mémoire** : $\text{mem} = \text{nb-sec} \times \text{nb-octets} \times F_e$

- 10 sec de parole humaine, 11 KHz, 8 bits, mono : 110 Ko
- 1 sec de musique CD, 44.1 KHz, 16 bits, mono : 88 Ko
- Skyfall* (4'50), 44.1 KHz, 16 bits, stéréo : 49 Mo

10

Lecture d'un fichier-disque .wav

- Une valeur Scheme de type **rsound** est une structure :
(define-struct rsound (data start stop sample-rate))

```
> (define foo (rs-read "5th.wav"))
> foo ; un son est une struct
#(struct:rsound #<s16vector> 0 1043006 44100)
> (play foo) ; the audience is listening
> (stop) ; play est asynchrone !
> (rsound-sample-rate foo) ; fréquence  $F_e$ 
44100
> (rs-frames foo) ; nombre d'échantillons
1043006
> (duration foo) ; durée en secondes, cf TP
23.650929705215418
```

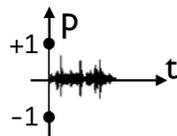


12

Visualisation d'un son

- On peut visualiser la courbe d'amplitude pour chaque canal :

```
> (require rsound/draw)
> (rs-draw foo)
```



- Accès à l'amplitude dans $[-1,1]$ d'un échantillon en $O(1)$:

```
> (rs-ith/right foo 100000) ; l'échantillon
0.12253181554612873 ; n°100000 du canal droit
```

13

Sauvegarde d'un son sur disque

- La fonction `rs-read` permettait de charger sous forme de son un fichier `.wav` 16 bits PCM stéréo.
- La fonction `rs-write` permet inversement de sauver sur disque un objet `rsound` construit en Scheme.

```
> (rs-write fooc "fooc.wav")
```

- L'objet de type `rsound` peut provenir du clip d'un son déjà existant, ou bien d'une suite d'opérations sur plusieurs sons, voire d'un son purement synthétisé. Le fichier produit sera au format **WAVE 16 bits PCM**.

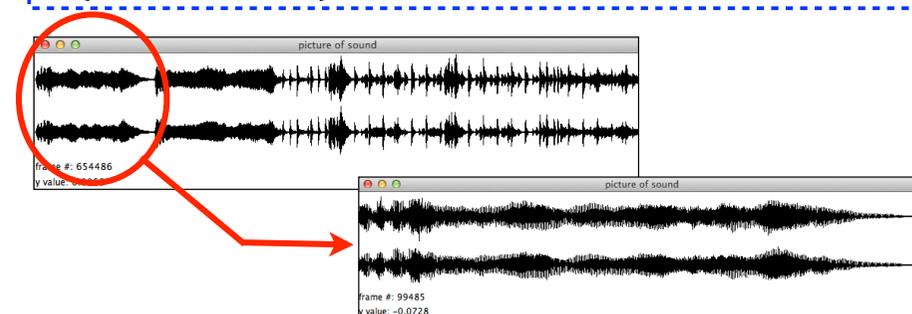
http://fr.wikipedia.org/wiki/WAVEform_audio_format

15

Extraction d'un clip

- On peut extraire un morceau (*clip*) d'un son, en donnant les numéros d'échantillons (*frame*) extrêmes :

```
> (define fooc (clip foo 3000 205000))
> fooc
#(struct:rsound #<s16vector> 3000 205000 44100)
> (rs-draw fooc)
```



14

Concaténation de plusieurs sons

- Concaténation** de sons : `(rs-append snd1 snd2)`

```
(define one (rs-read "1.wav"))
(define two (rs-read "2.wav"))
(define three (rs-read "3.wav"))
(define myclip
  (rs-append* (list one two three
                    (silence 44100)
                    fooc)))
```



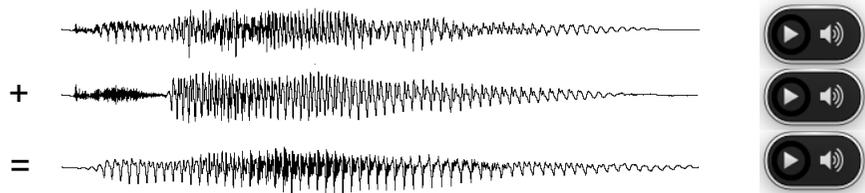
NB: `(rs-append one two)` \Leftrightarrow `(rs-append* (list one two))`

16

Superposition de plusieurs sons

- **Superposition** de sons : `(rs-overlay snd1 snd2)`
- **ATTENTION** : les amplitudes s'ajoutant, risquent de sortir de [-1,+1]!

```
> (define caco (rs-overlay* `(,one ,two ,three)))  
> (play caco)
```



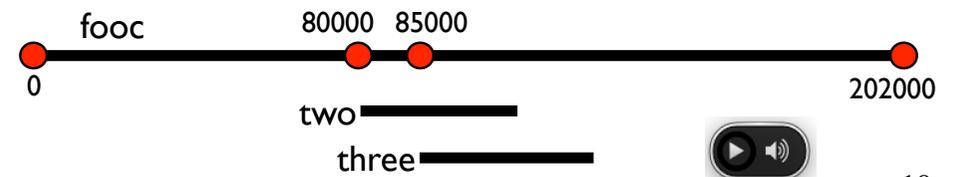
NB: `(rs-overlay one two)` \Leftrightarrow `(rs-overlay* (list one two))`

17

Assemblage de plusieurs sons

- Il s'agit d'une variante de `rs-overlay` dans laquelle les sons peuvent se chevaucher. Il suffit de préciser à quel moment (numéro de *frame*) installer un son.

```
> (define caco1  
  (assemble `(,(fooc 0)(,two 80000)(,three 85000))))  
> (play caco1)
```



18

- **Amplification d'un son** `(rs-scale k snd)`

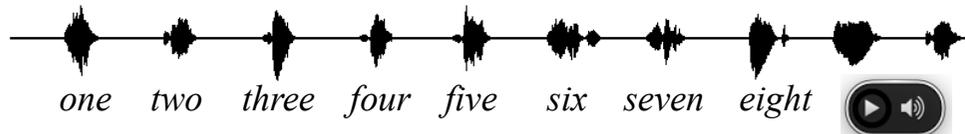
```
> (play (rs-append one (rs-scale 2 one)))
```



```
> (rs-equal? (rs-scale 2 one) (rs-overlay one one))  
#t
```

- **Enregistrement d'un son** : `(record-sound nbframes)`

```
> (define voice (record-sound (* 44100 10)))
```



19

Le streaming avec les pstreams

- L'inconvénient de `play` est de demander au système de bas niveau (Portaudio) d'ouvrir un flot sonore (*stream*) pour chaque son. Pour y remédier, `rsound` propose d'ouvrir une **pstream** (un tube sonore) dans laquelle on peut insérer un son à un moment donné (**passé, présent ou futur**). Avec *moment* = nombre de frames.

```
(define ps (make-pstream)) ; le temps 0 de ps  
(pstream-queue ps (rs-scale 0.2 fooc) 0)  
(pstream-queue ps two 100000) ; à 100000 from now  
(pstream-queue ps one 50000) ; à 50000 from now  
(printf "ps time is ~a\n" (pstream-current-frame ps))
```



20

- Il est possible à tout moment d'injecter un son dans la pstream pour lecture immédiate (superposée aux sons en train d'être joués) :

```
(pstream-play ps one) ; tout de suite !
```

- Un mécanisme permet d'attacher à la pstream un son destiné à être joué à un moment donné (depuis t=0) :

```
(pstream-queue ps one  
 (+ (pstream-current-frame ps) 88200)) ; dans 2 sec
```

- Ou bien une fonction d'arité 0 pour l'appeler plus tard.

```
(pstream-queue-callback ps  
 (lambda () (stop) ; stop  
 441000) ; à t = 10 sec
```

21

