Cycle d'Hiver (Février – Mars 2022)

"La Physique de la Musique"

H. Bulou

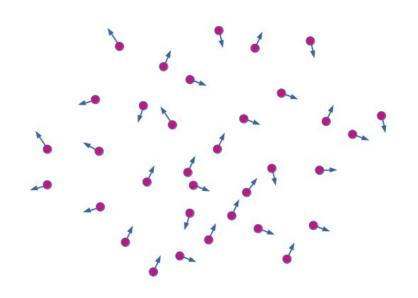
Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS)

L'air



A.-L. de Lavoisier 1743-1794

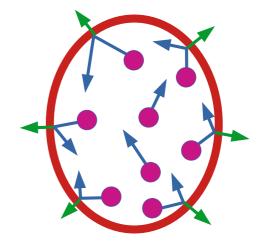




Le concept de pression

Le concept de Pression

- Densité superficielle des **forces** dues au choc des molécules sur la paroi du récipient qui les contient
- on mesure la pression en Pascal (Pa)
- A la surface de la terre, l'air exerce une pression équivalent à la force exercée par une masse de 10 000 kg sur une surface de 1 m x 1 m



La pression atmosphérique

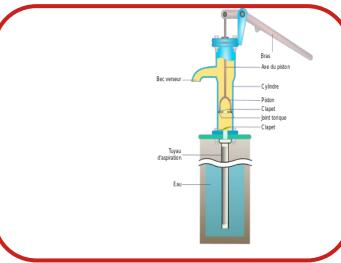
La pression atmosphérique

 A la surface de la terre, l'air exerce une pression équivalent à la force exercée par une masse de 10 000 kg sur une surface de 1 m x 1 m

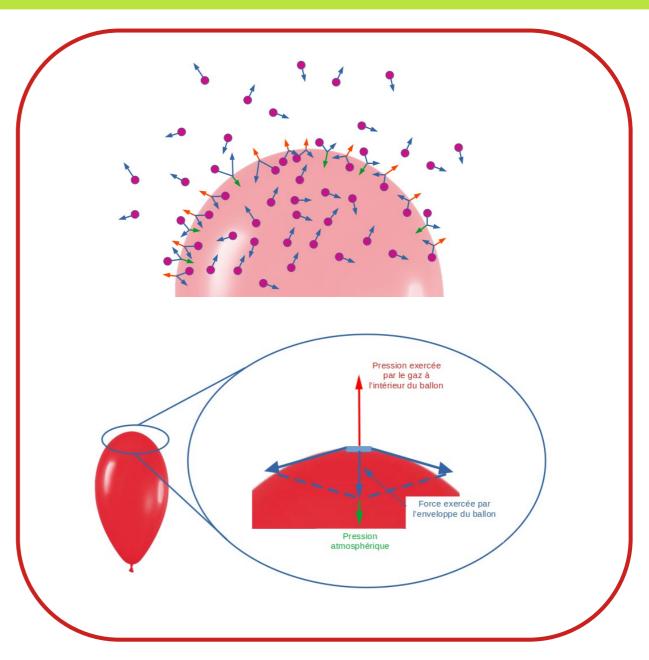
L'expérience de Torricelli Vide Pression exercée l'air Pression exercée par la colonne d'eau

La hauteur de la colonne d'eau résulte de l'équilibre entre la pression exercée par le poids de la colonne d'eau et la pression exercée par l'air (pression atmosphérique)

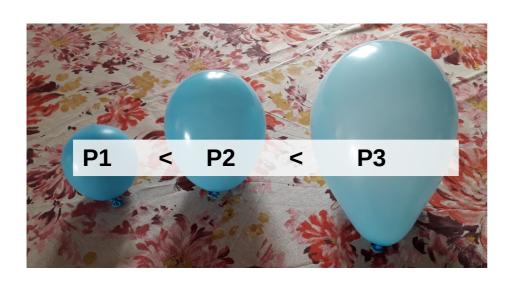




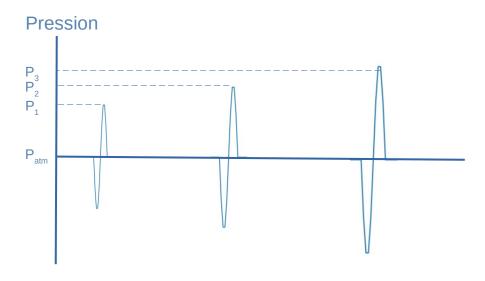
Le ballon de baudruche



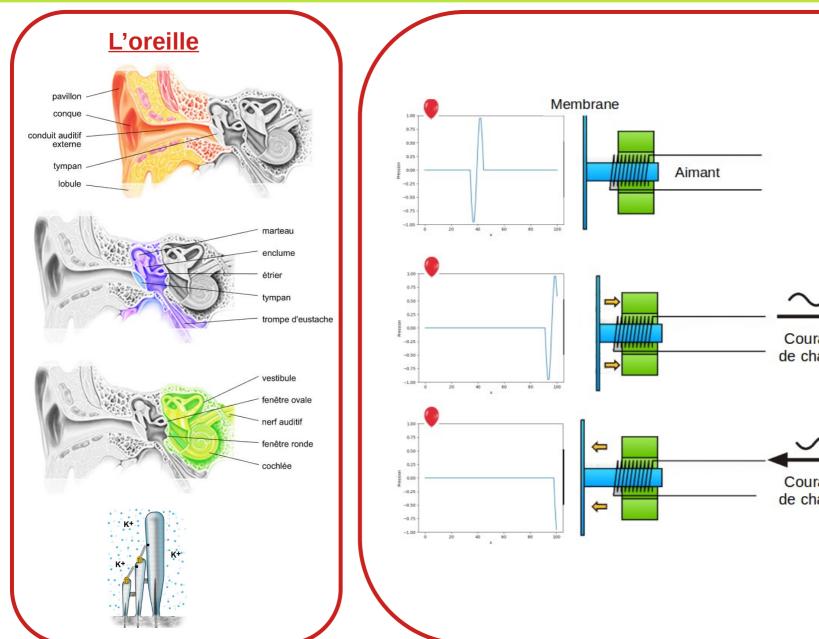
Origine du son

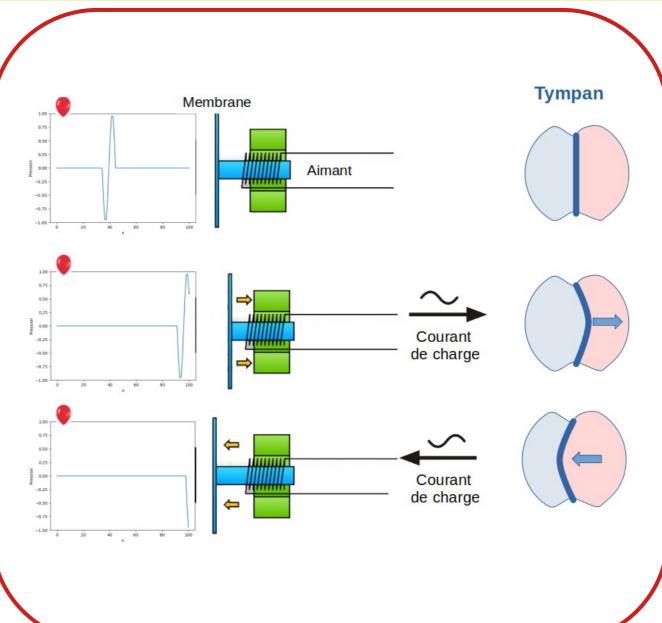


- Un son est émis lorqu'il y a apparition d'une variation locale de pression/pression environnate
- un son paraît d'autant plus fort que la variation de pression est importante



Mécanismes impliqués dans notre perception du son



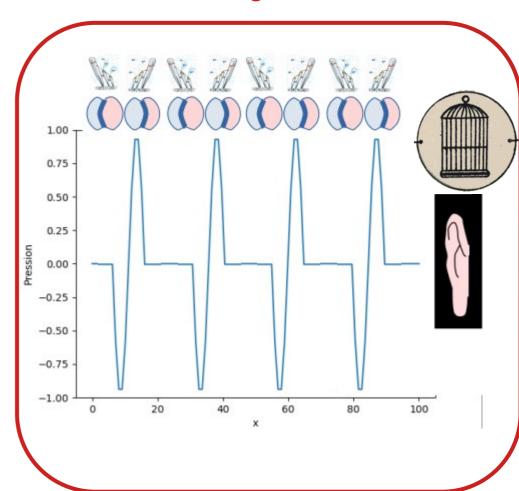


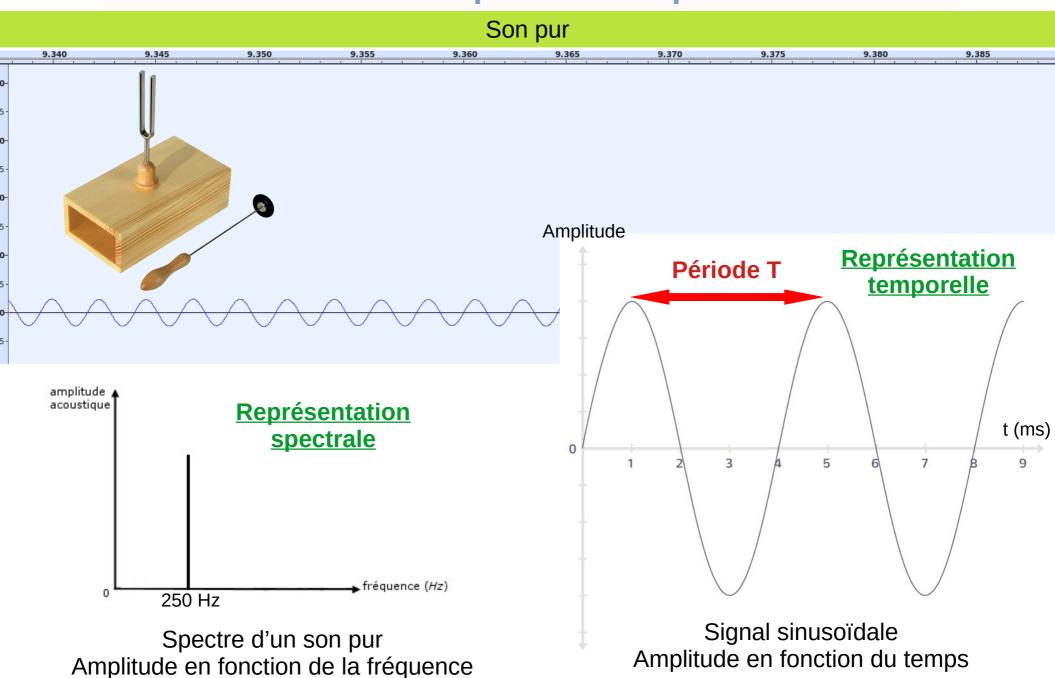
Perception des sons



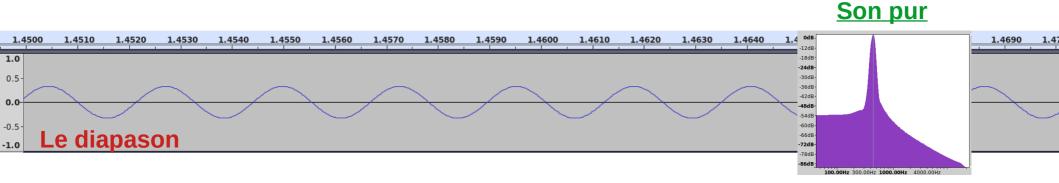
Cil Tympan 0.75 0.50 0.25 0.00 -0.25-0.50-0.75-1.00100 20 40 60 80

Son de longue durée

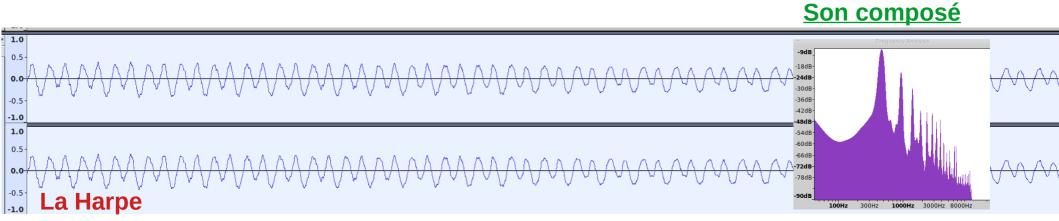




Son composé

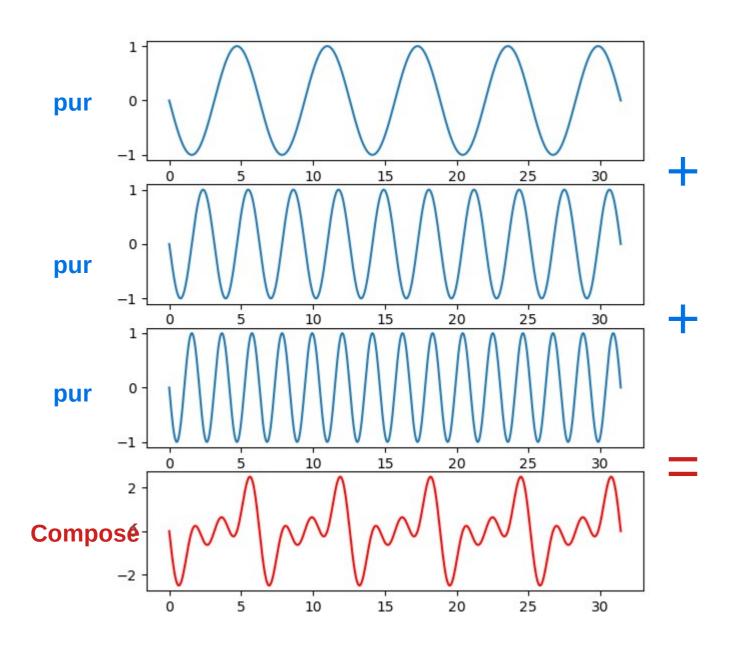


→ une seule fréquence



→ plusieurs fréquences

Son composé





J. Fourier (1768-1830)

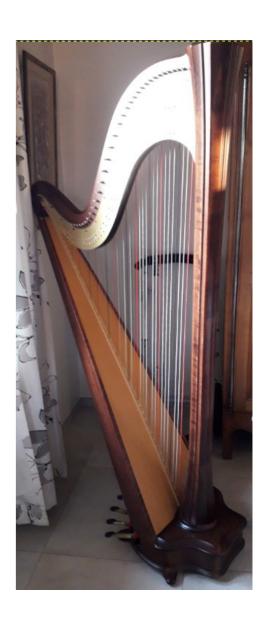
Les instruments de musique à cordes pincées

Cas de la guitare posée horizontalement

Manche Table d'harmonie

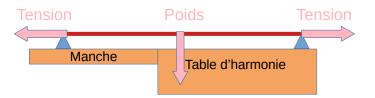
Corde horizontale au repos (équilibre)





Les instruments de musique à cordes pincées

Cas de la guitare posée horizontalement



Corde horizontale au repos (équilibre)



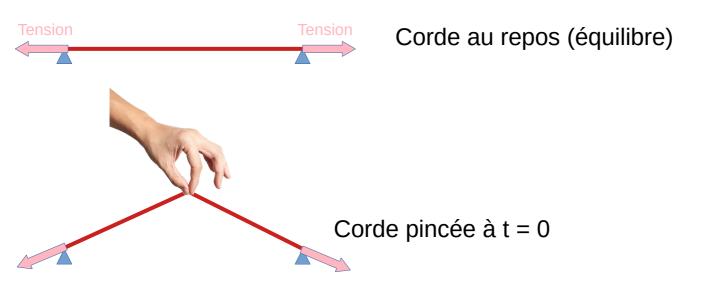
Les instruments de musique à cordes pincées

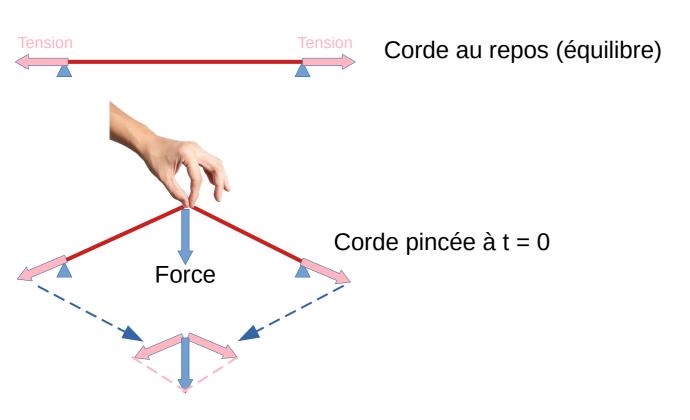
Cas de la guitare posée horizontalement

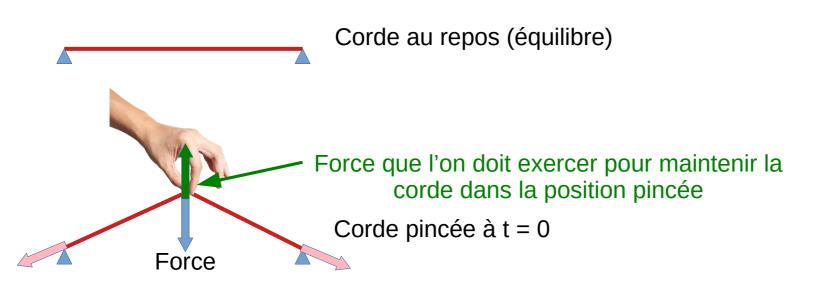
Manche Table d'harmonie

Corde horizontale au repos (équilibre)







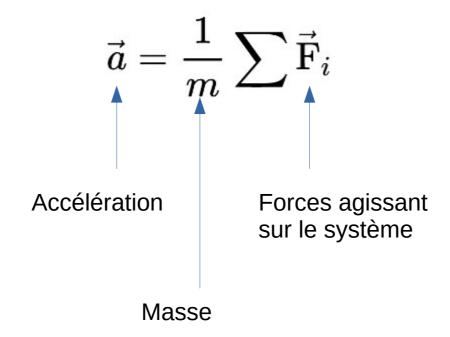


Les instruments de musique à cordes pincées

Principe d'inertie : Tout corps libre persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme

<u>Principe fondamental de la dynamique</u>: dans un référentiel galiléen, l'accélération du centre d'inertie d'un objet de masse m constante est proportionnelle à la résultante des forces qu'il subit, et inversement proportionnelle à m.

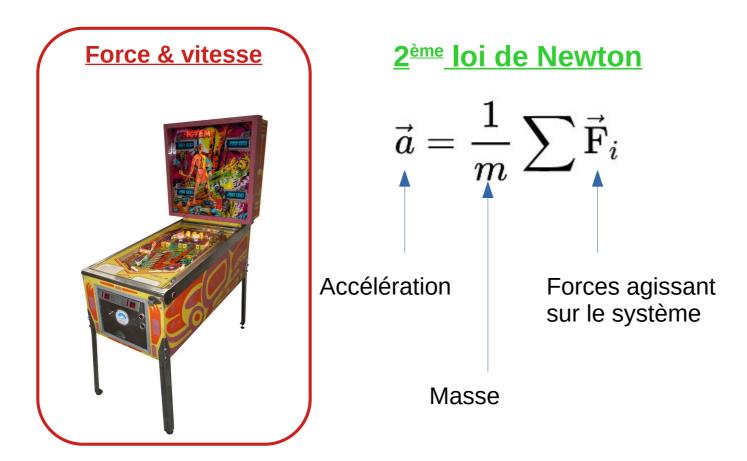
2ème loi de Newton



Les instruments de musique à cordes pincées

Principe d'inertie : Tout corps libre persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme

<u>Principe fondamental de la dynamique</u>: dans un référentiel galiléen, l'accélération du centre d'inertie d'un objet de masse m constante est proportionnelle à la résultante des forces qu'il subit, et inversement proportionnelle à m.



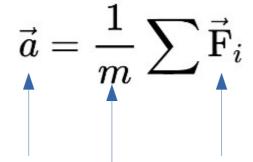
Les instruments de musique à cordes pincées

Principe d'inertie : Tout corps libre persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme

<u>Principe fondamental de la dynamique</u>: dans un référentiel galiléen, l'accélération du centre d'inertie d'un objet de masse m constante est proportionnelle à la résultante des forces qu'il subit, et inversement proportionnelle à m.



2ème loi de Newton



Masse

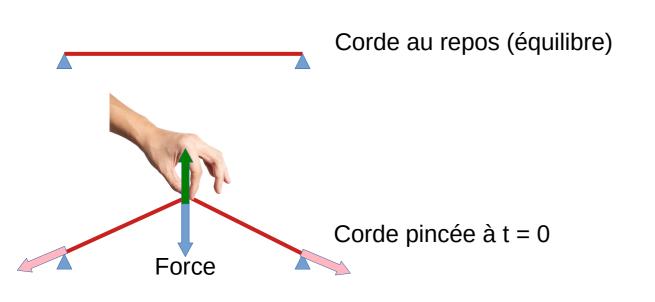
Accélération

Forces agissant sur le système

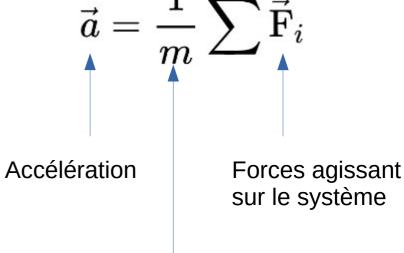
Masse & vitesse



Les instruments de musique à cordes pincées



Principe fondamental de la dynamique

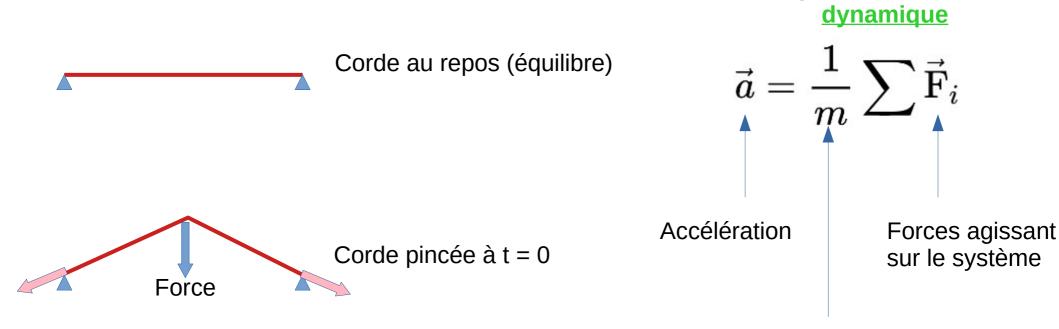


Masse

Les instruments de musique à cordes pincées

Principe fondamental de la

Masse

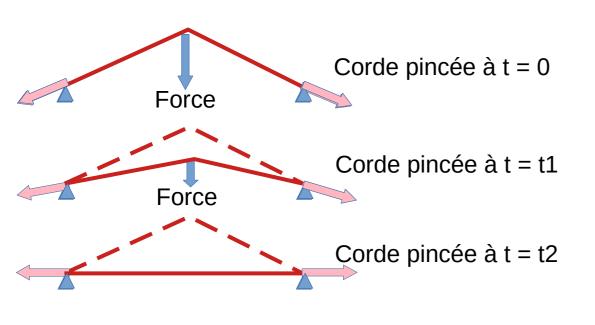


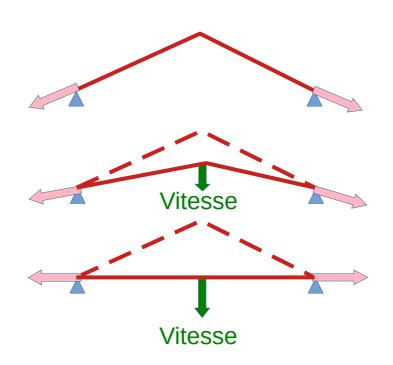
Les instruments de musique à cordes pincées

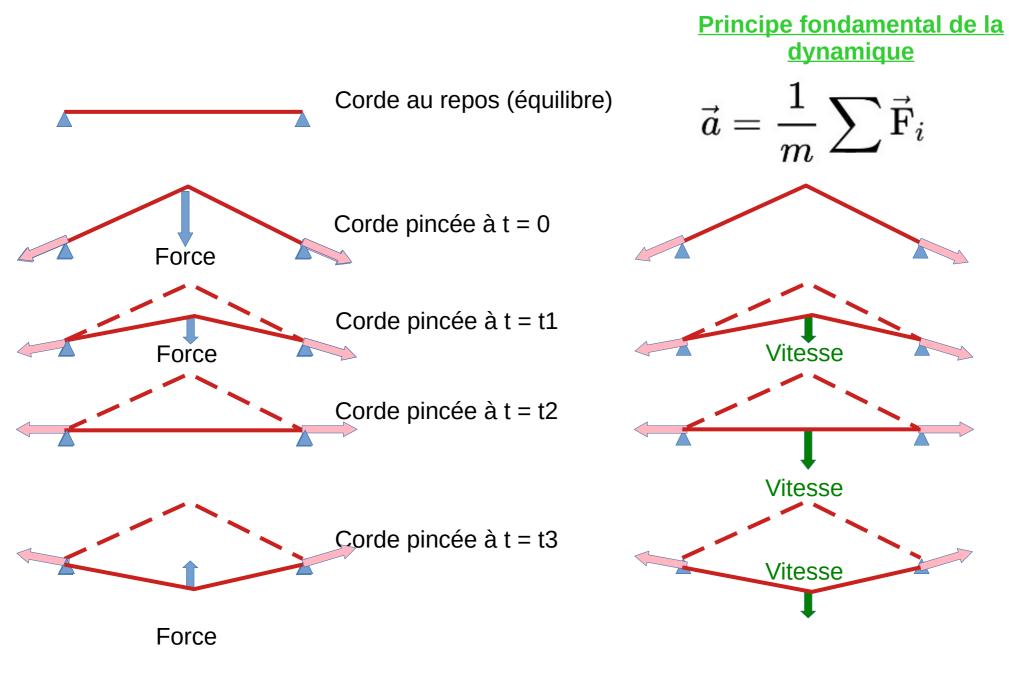


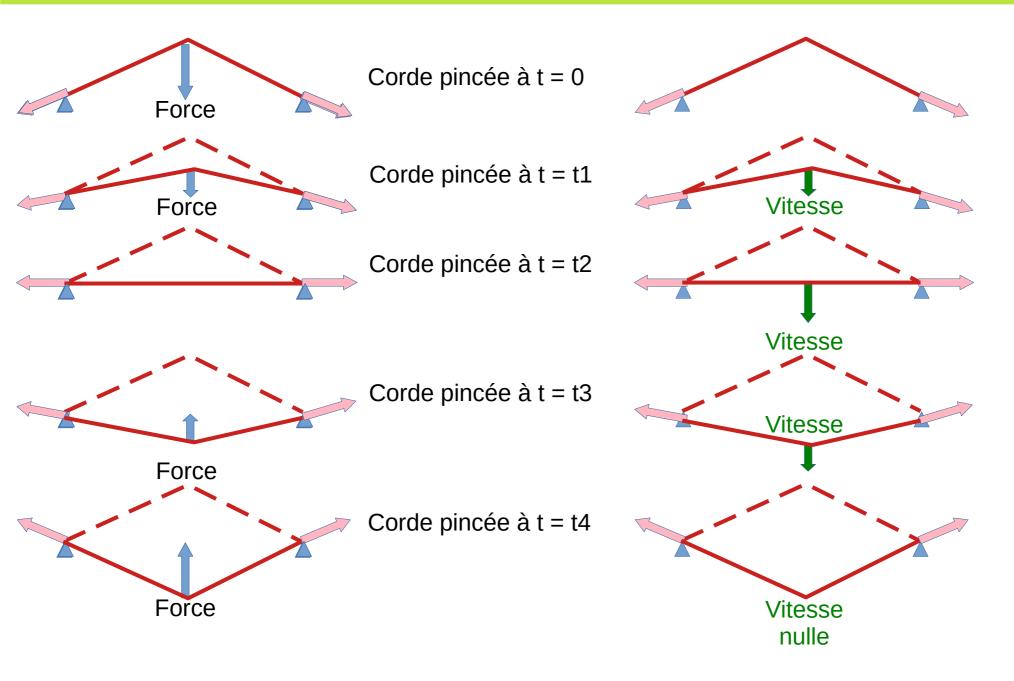
Principe fondamental de la dynamique

$$ec{a} = rac{1}{m} \sum ec{ ext{F}}_i$$



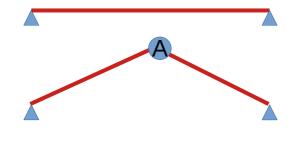




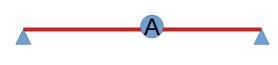


Les instruments de musique à cordes pincées

Corde au repos (équilibre)



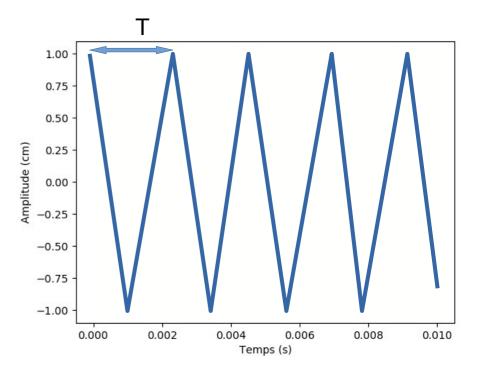
Corde pincée à t = 0



Corde pincée à t = T/4



Corde pincée à t = T/2

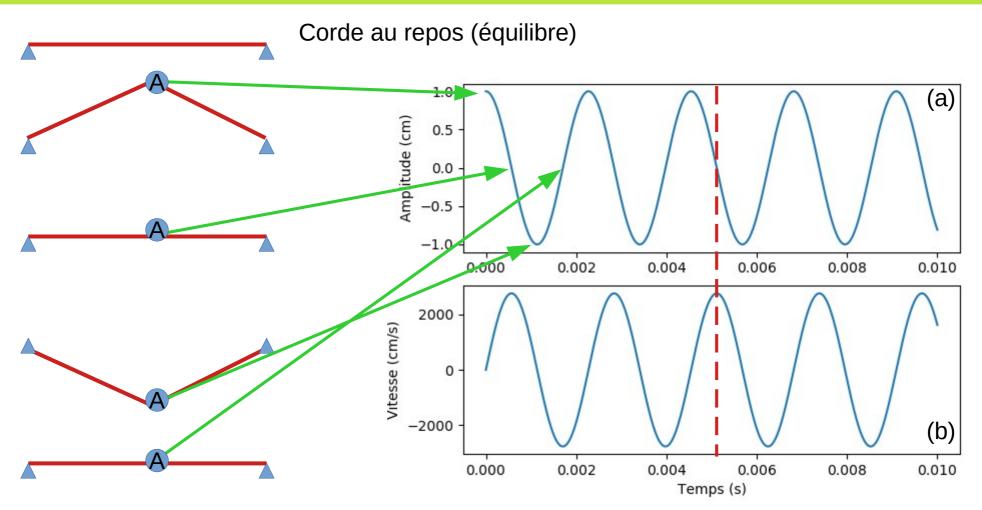




Corde pincée à t = 3T/4

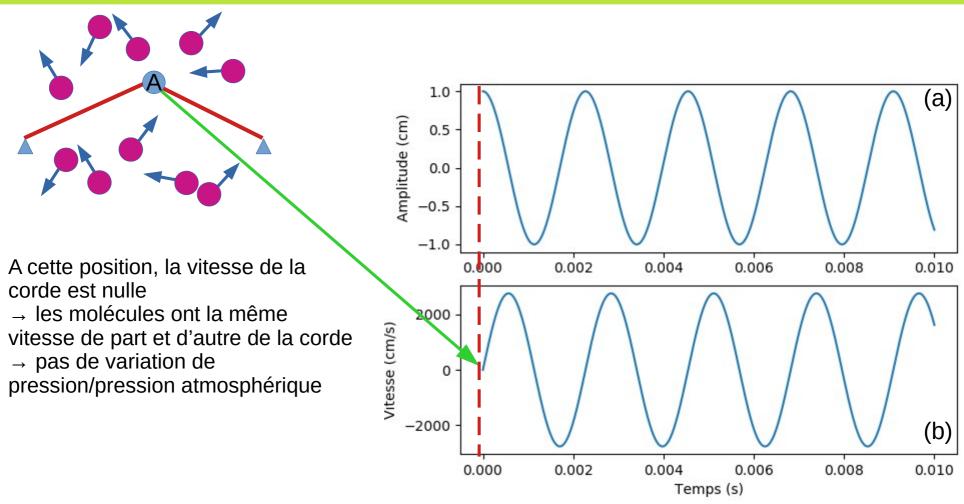
Position du point A au cours du temps



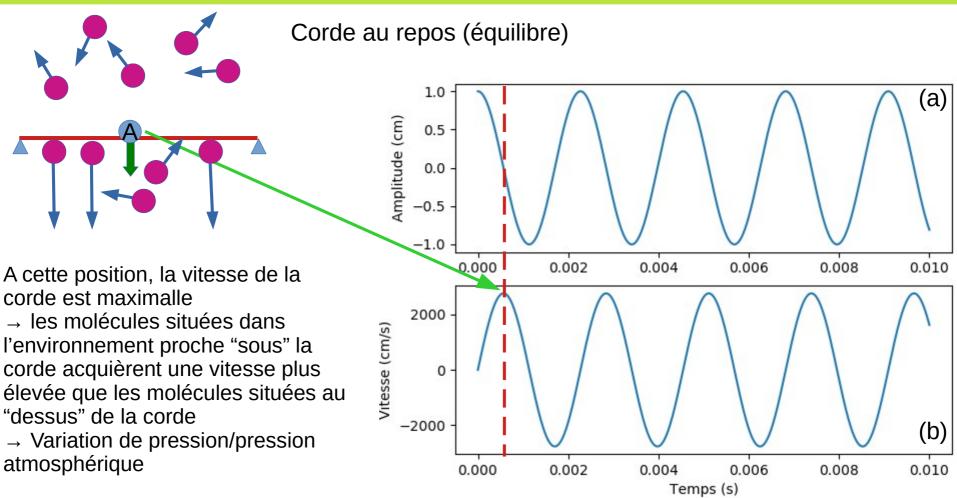


Position (a) et vitesse (b) du point A au cours du temps

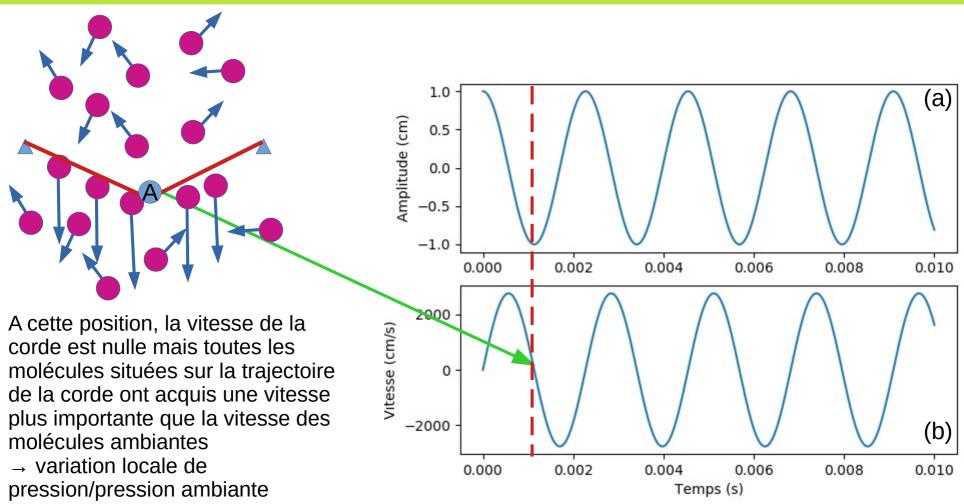




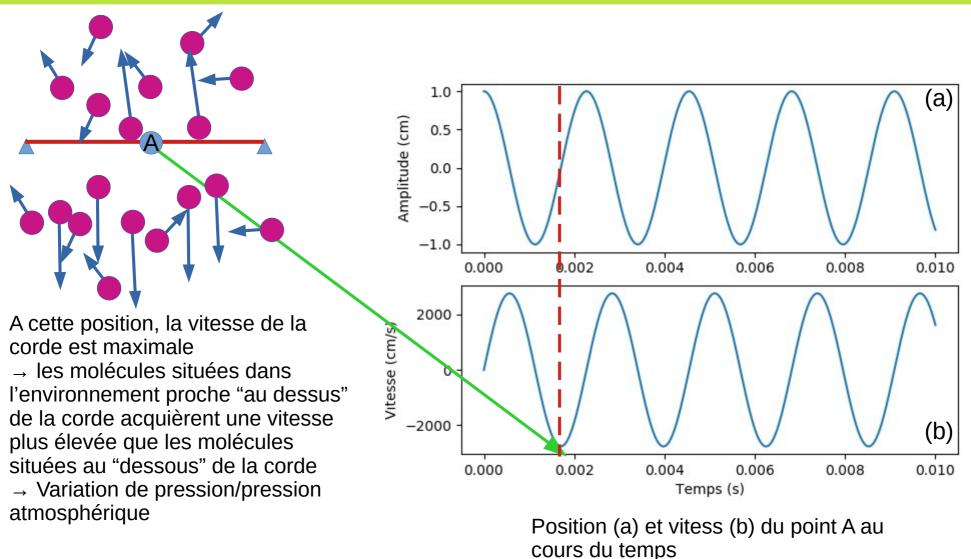
Position (a) et vitess (b) du point A au cours du temps



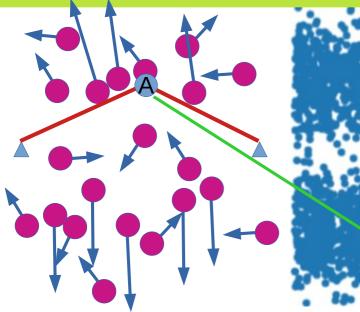
Position (a) et vitess (b) du point A au cours du temps



Position (a) et vitess (b) du point A au cours du temps

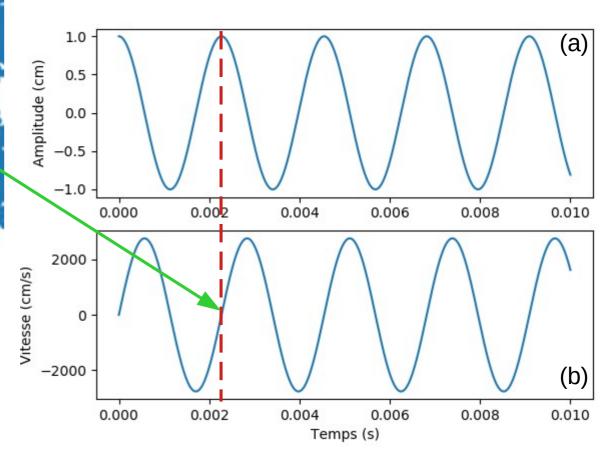


Les instruments de musique à cordes pincées

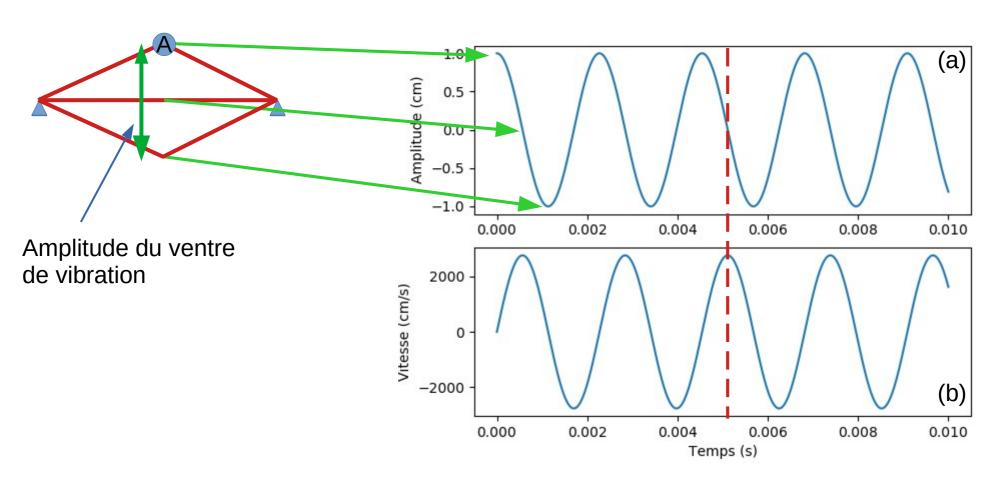


A cette position, la vitesse de la corde est maximale

- → les molécules situées dans l'environnement proche "au dessus" de la corde acquièrent une vitesse plus élevée que les molécules situées au "dessous" de la corde
- → Variation de pression/pression atmosphérique

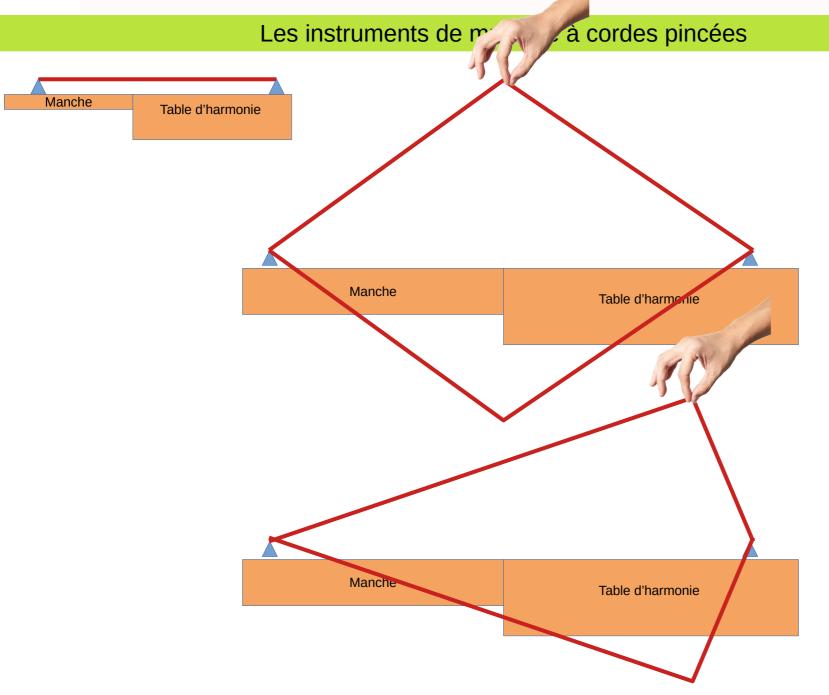


Position (a) et vitess (b) du point A au cours du temps

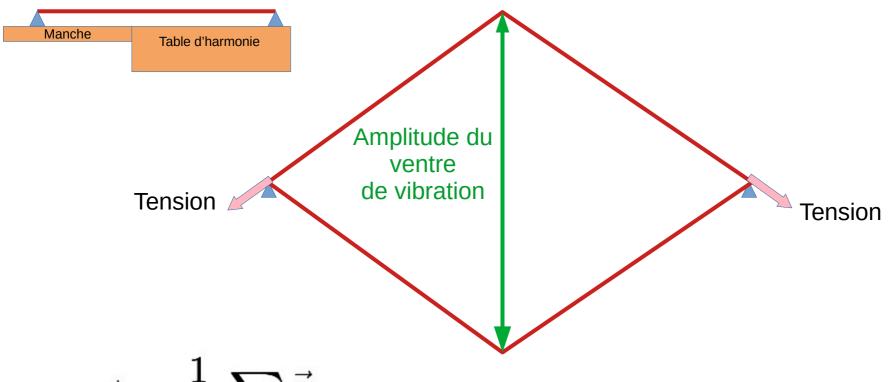


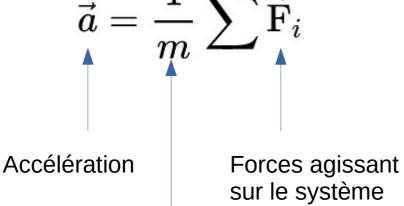
Position (a) et vitesse (b) du point A au cours du temps





Les instruments de musique à cordes pincées

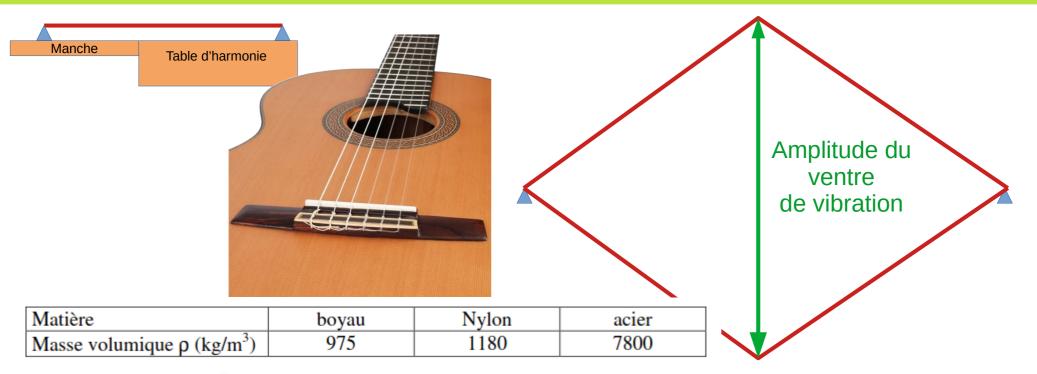


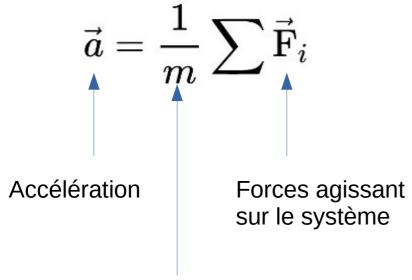


- Pour une même amplitude de vibration, si on augmente la tension
 - → on augmente l'accélération
 - → on diminue la période de vibration
 - → on augmente la fréquence des variations de pression
 - → le son perçu est plus aigu

Masse

Les instruments de musique à cordes pincées





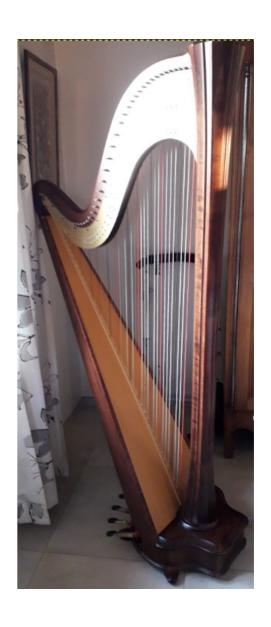
- Pour une même amplitude de vibration et une même longueur de corde, si on augmente la masse volumique
 - → on diminue l'accélération
 - → on augmente la période de vibration
 - → on diminue la fréquence des variations de pression
 - → le son perçu est plus grave

Masse

Les instruments de musique à cordes pincées







La résonance

• Comparaison guitare acoustique/guitare électrique





La Physique de la Musique

La résonance

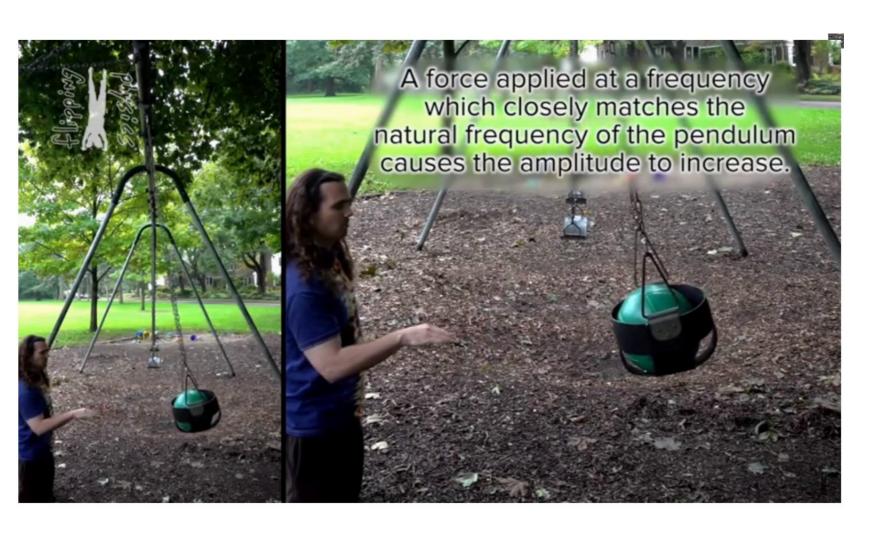




La Physique de la Musique

La résonance

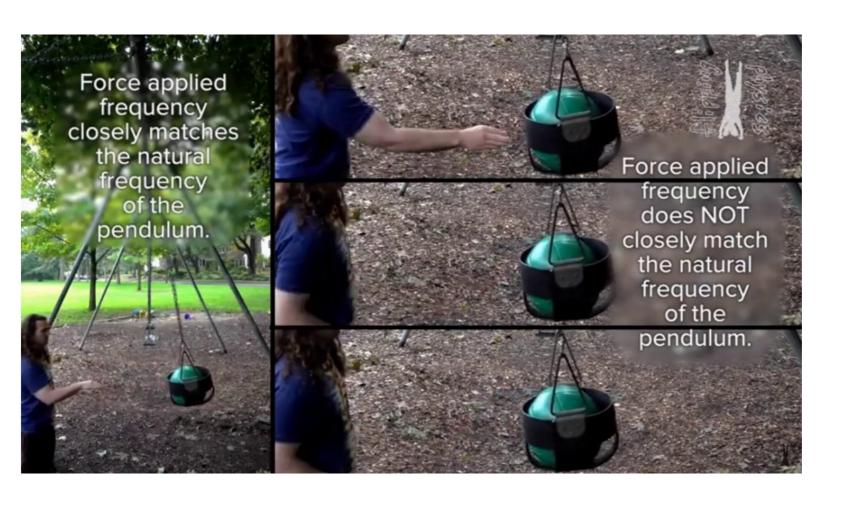




La Physique de la Musique

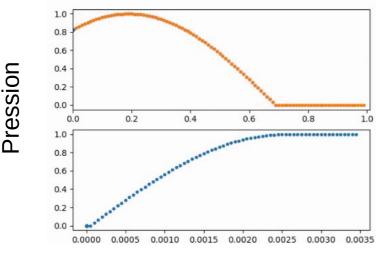
La résonance



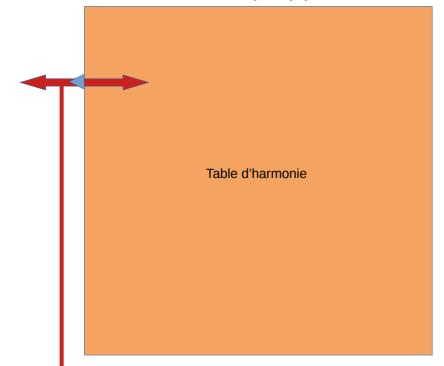


Les instruments de musique à cordes pincées

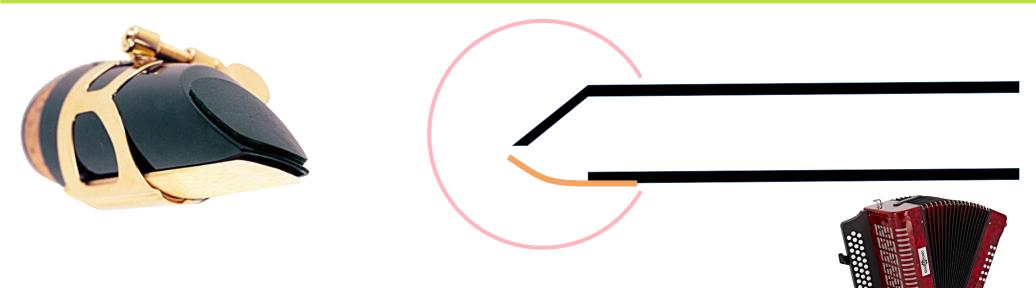
Position (cm)

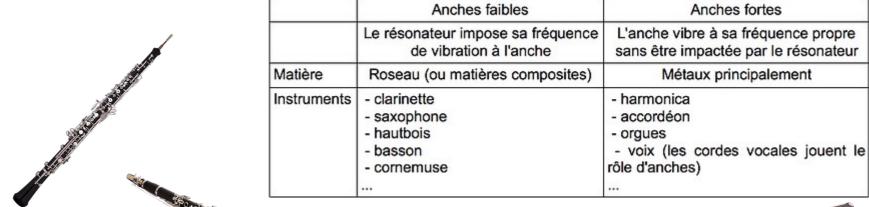


Temps (s)



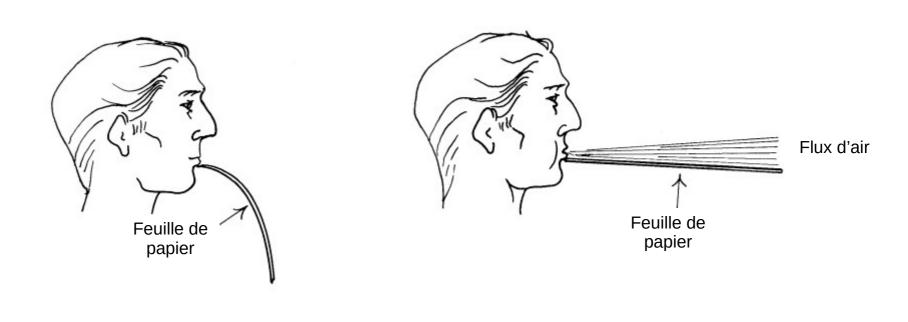
Les instruments de musique à anche

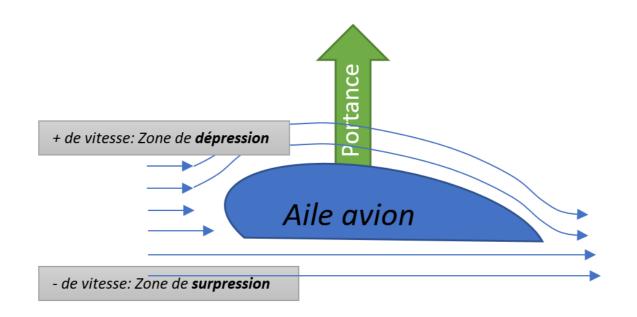




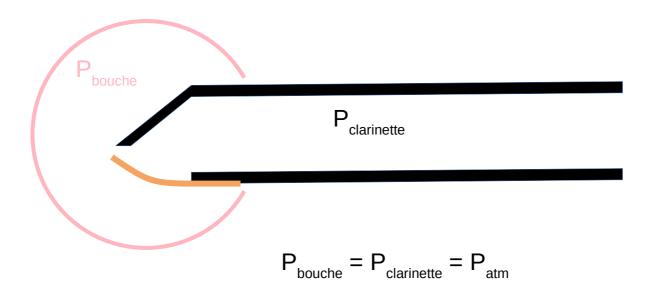


Le principe de Bernoulli

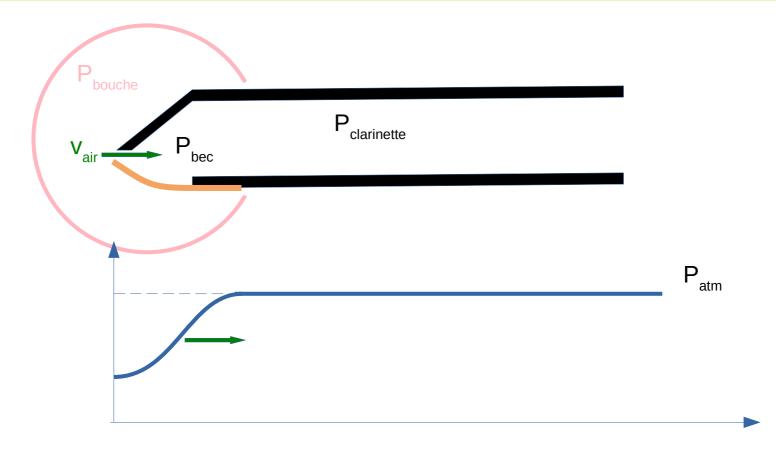




Les instruments de musique à anche



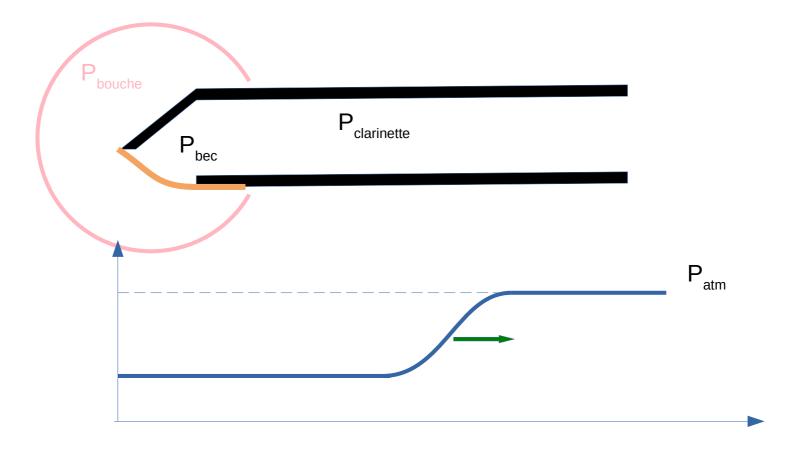
Les instruments de musique à anche



Augmentation de la vitesse de l'air au niveau de l'anche ; selon le principe de Bernoulli,

- \rightarrow $P_{bec} < P_{bouche}$
- → l'anche ferme l'ouverture
- → formation d'une dépression locale dans le bec qui va se propager dans la clarinette

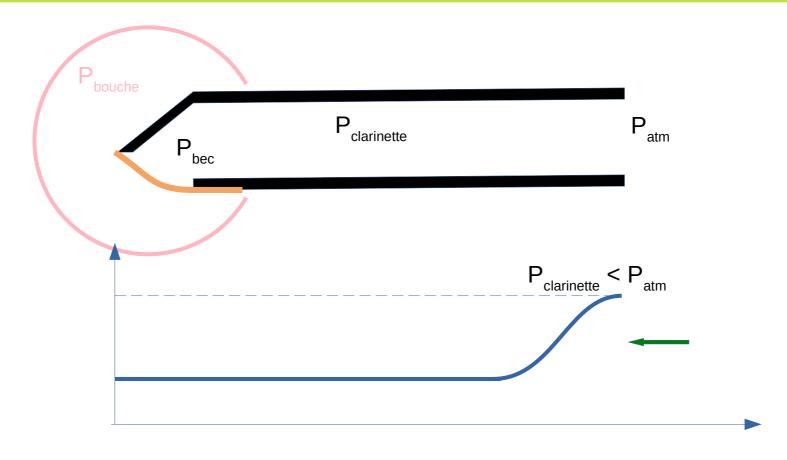
Les instruments de musique à anche



La propagation de la dépression se poursuit jusqu'à ce que la dépression atteigne une ouverture (pavillon ou trou)

→ l'air est alors aspiré dans la clarinette afin de compenser la dépression

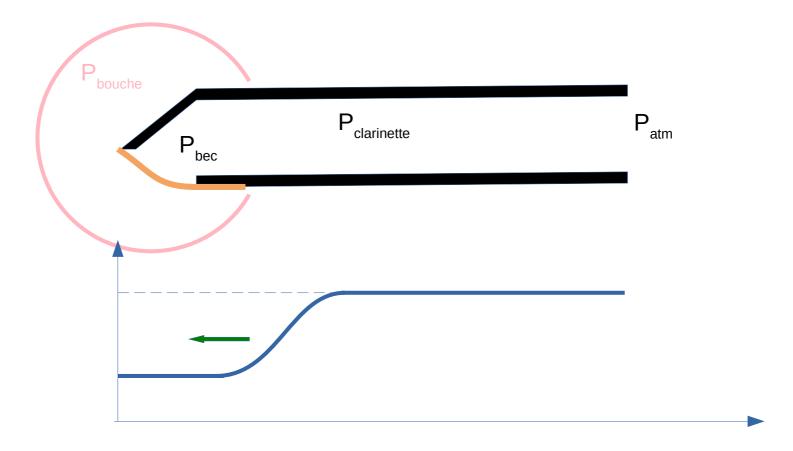
Les instruments de musique à anche



La propagation de la dépression se poursuit jusqu'à ce que la dépression atteigne une ouverture (pavillon ou trou)

- \rightarrow l'air est alors aspiré dans la clarinette afin de compenser la dépression ($P_{clarinette}$ < P_{atm})
- → la propagation change de sens (une partie du signal est réfléchie, une partie du signal rayonne)

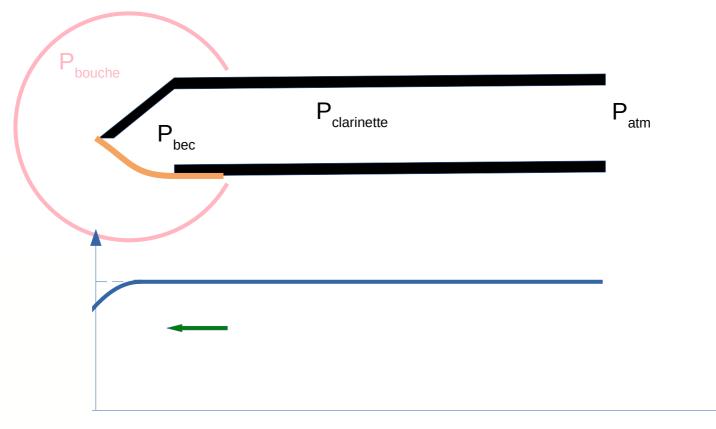
Les instruments de musique à anche



La propagation de la dépression se poursuit jusqu'à ce que la dépression atteigne une ouverture (pavillon ou trou)

- \rightarrow l'air est alors aspiré dans la clarinette afin de compenser la dépression ($P_{clarinette}$ < P_{atm})
 - → la propagation change de sens, jusqu'à atteindre le bec

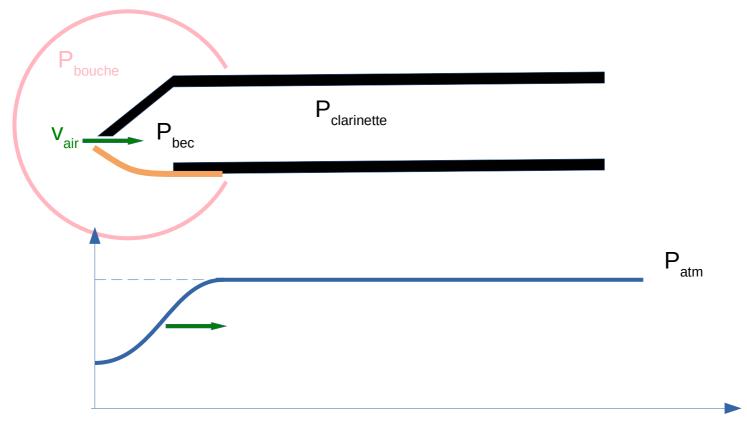
Les instruments de musique à anche



La propagation de la dépression se poursuit jusqu'à ce que la dépression atteigne une ouverture (pavillon ou trou)

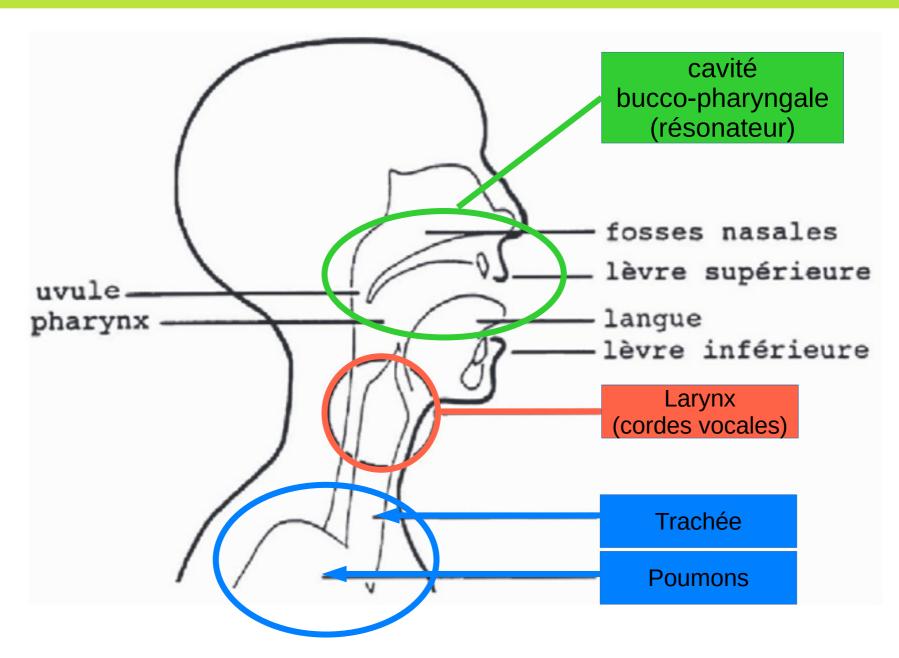
- \rightarrow l'air est alors aspiré dans la clarinette afin de compenser la dépression ($P_{clarinette}$ < P_{atm})
 - → la propagation change de sens, jusqu'à atteindre le bec
 - \rightarrow P_{bec} = P_{bouche}
 - → l'anche se détache du bec

Les instruments de musique à anche

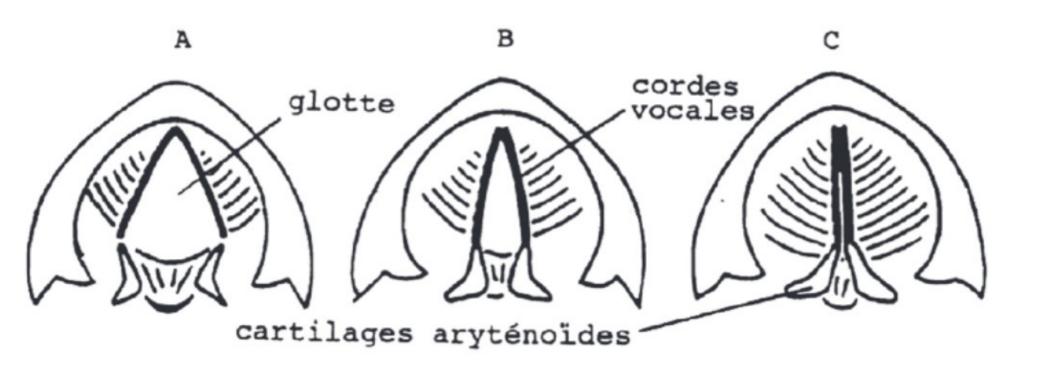


- → le processus recommence
- → processus périodique dont la période dépend de la distance parcourue par la dépression avant compensation
 - \rightarrow pour L=1 m, v=330 m/s \rightarrow T=3.03 ms <=> 330 Hz

La voix

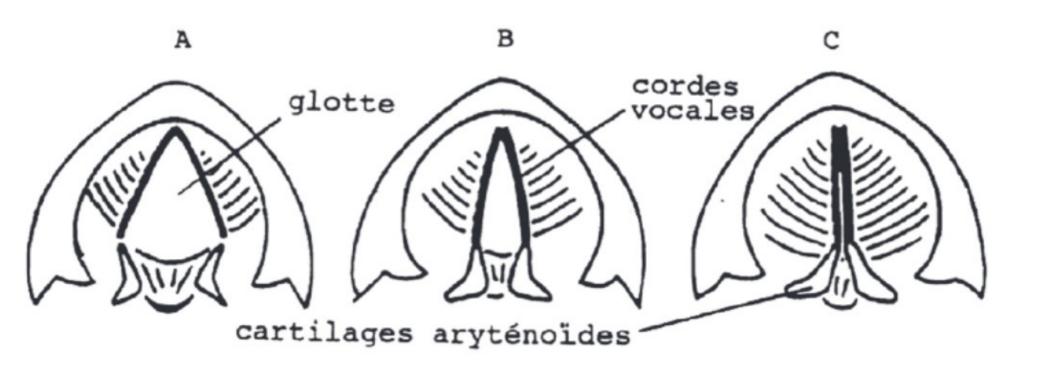


La voix



Coupe latérale du larynx, représentant trois positions différentes des cordes vocales : a) Glotte ouverte pour la respiration ; b) Glotte entrouverte pour la voix chuchoté ; c) Glotte fermée par l'accolement des cordes vocales pour la phonation.

La voix



Coupe latérale du larynx, représentant trois positions différentes des cordes vocales : a) Glotte ouverte pour la respiration ; b) Glotte entrouverte pour la voix chuchoté ; c) Glotte fermée par l'accolement des cordes vocales pour la phonation.

Conclusions

- Pour produire un son un instrument de musique doit remplir deux rôles : vibrer et émettre
- la vibration étant généralement trop faible pour être audible, il est nécessaire de l'amplifier
 - → caisse de résonance ou résonateur



- Cordes
- anches
- membranes tendues

- Caisse de résonance
- tuyaux