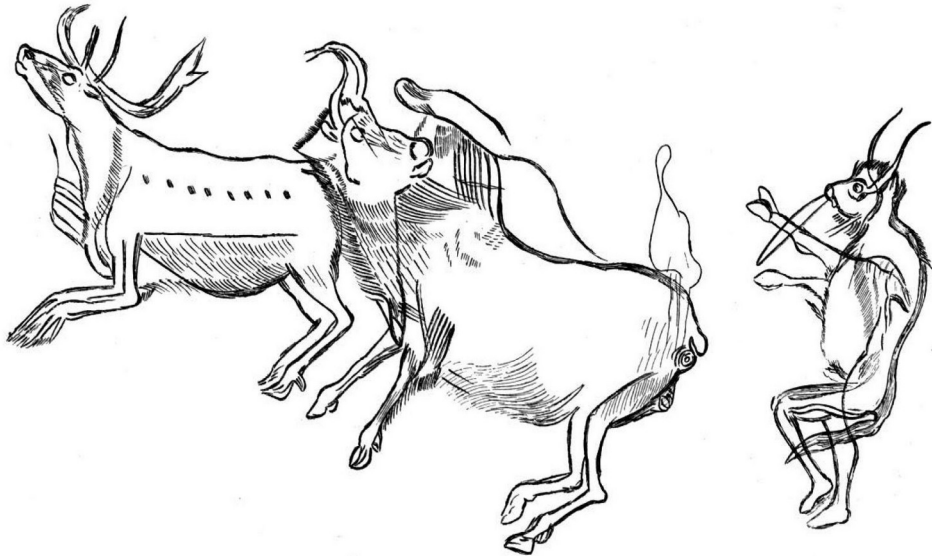


Cycle d'Hiver (Février – Mars 2022)

“La Physique de la Musique”

H. Bulou

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



Cycle d'Hiver (Février – Mars 2022)

“La Physique de la Musique”

Cours 1 – Mais qu'est ce c'est que ce son ?

Cours 2 – Percevoir, capter et enregistrer le son : Faites du bruit !

Cours 3 – Pince, Frotte, Frappe !

Cours 4 – Frappant et percutant !

Cours 5 – A bout de souffle !

Résumé de l'épisode précédent

Mais qu'est ce c'est que ce son ?

- Définition de la Physique

- Observation
- Hypothèse
- Expérimentation
- Résultat
- Conclusion

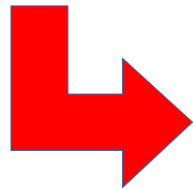


Résumé de l'épisode précédent

Mais qu'est ce c'est que ce son ?

○ Définition de la Musique

- Art de combiner des **sons** d'après des règles
- Art d'organiser une durée avec des éléments sonores
- Suite de **sons** produisant une impression harmonieuse



Qu'est ce qu'un son ?

Résumé de l'épisode précédent

Mais qu'est ce c'est que ce son ?

- Définir le son
 - par son amplitude,
 - par sa hauteur,
 - par son timbre.

Résumé de l'épisode précédent

Mais qu'est ce c'est que ce son ?

- Amplitude du son
- Expérience de la piscine

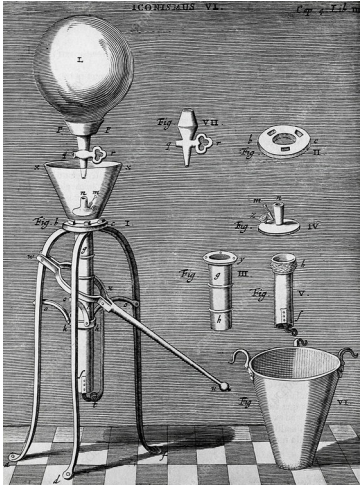


La propagation du son dépend du milieu dans lequel se fait la propagation (air, eau)

Résumé de l'épisode précédent

Mais qu'est ce c'est que ce son ?

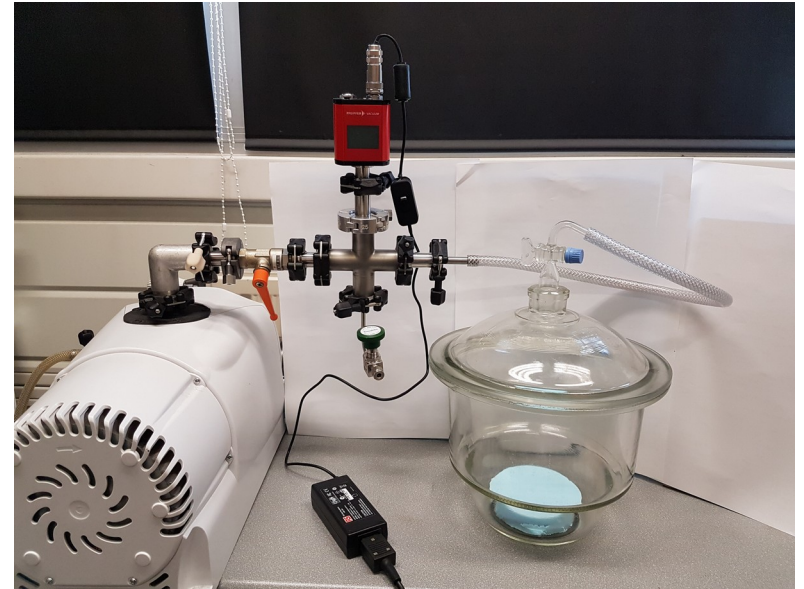
- Amplitude du son
- Expérience de la piscine
- Expérience de von Guericke



La pompe à air de
von Guericke
(1650)



O. von Guericke
1602-1686



Le son a besoin d'un support matériel pour se propager

Cycle d'Hiver (Février – Mars 2022)

“La Physique de la Musique”

Cours 1 – Mais qu'est ce c'est que ce son ?

Cours 2 – **Percevoir, capter et enregistrer le son : Faites du bruit !**

Cours 3 – Pince, Frotte, Frappe !

Cours 4 – Frappant et percutant !

Cours 5 – A bout de souffle !

La pression

Rappel : La composition de la matière

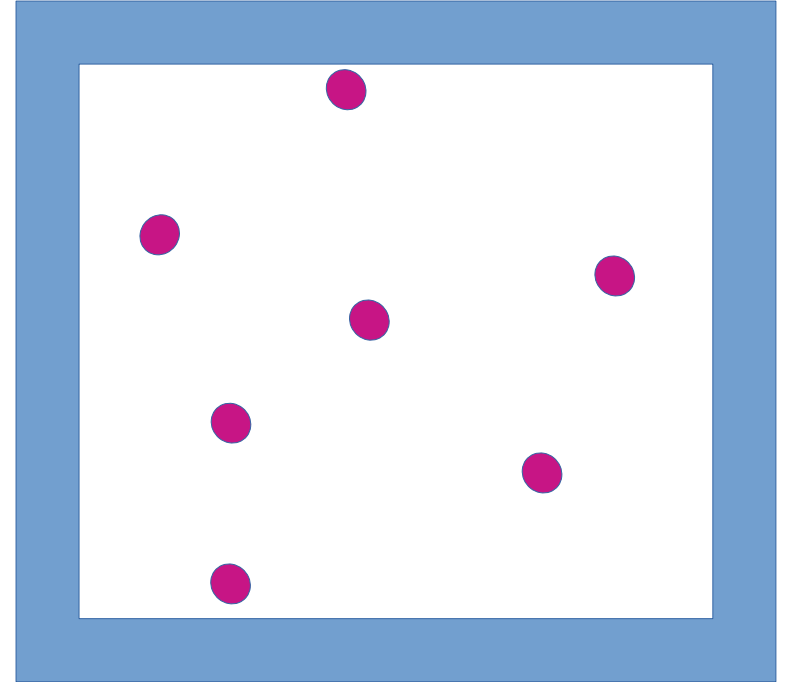
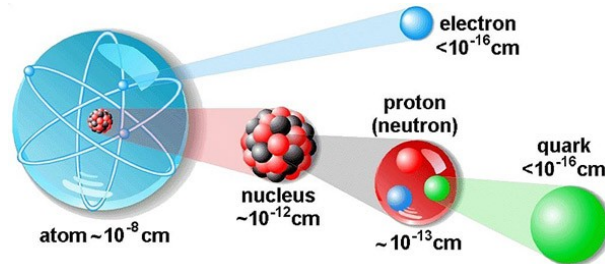
La matière est composée d'un ensemble de petites particules "indivisibles" (les Atomistes, Lavoisier, ...) en interaction les uns avec les autres et baignant dans le Vide.



Lavoisier
1743-1794



Leucippe
(460-370)



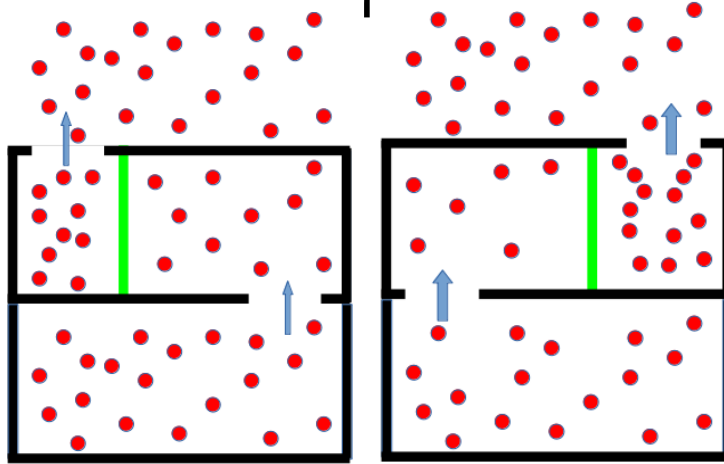
La pression

Rappel : Le vide

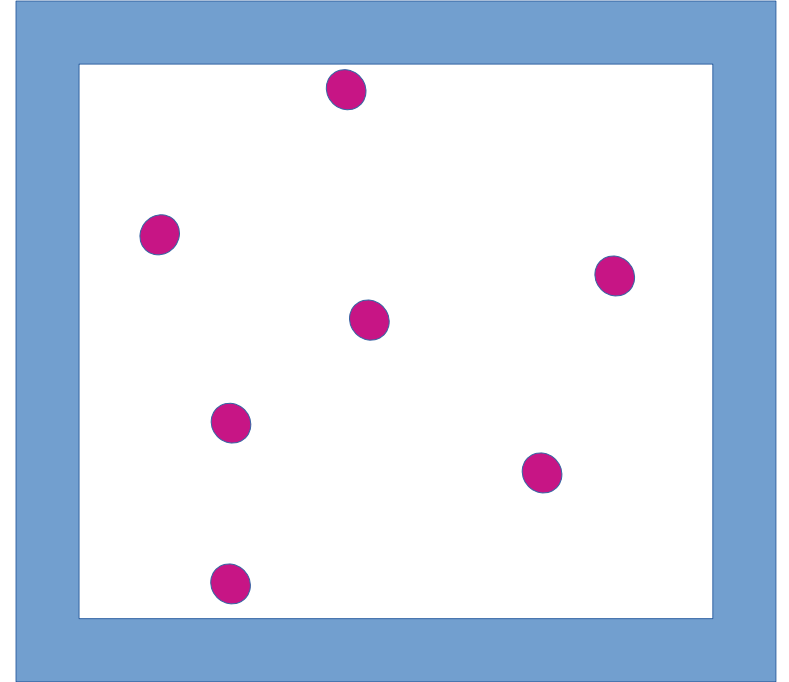
- “Faire le Vide” → O. von Guericke et sa machine pneumatique



O. von Guericke
1602-1686



Suppose que les
particules sont
mobiles ?



La pression

Le mouvement brownien

- XVIIIe siècle : les naturalistes Needham & Spallanzani observent au microscope que des petits grains de substance organique placés dans un fluide sont en perpétuel mouvement.

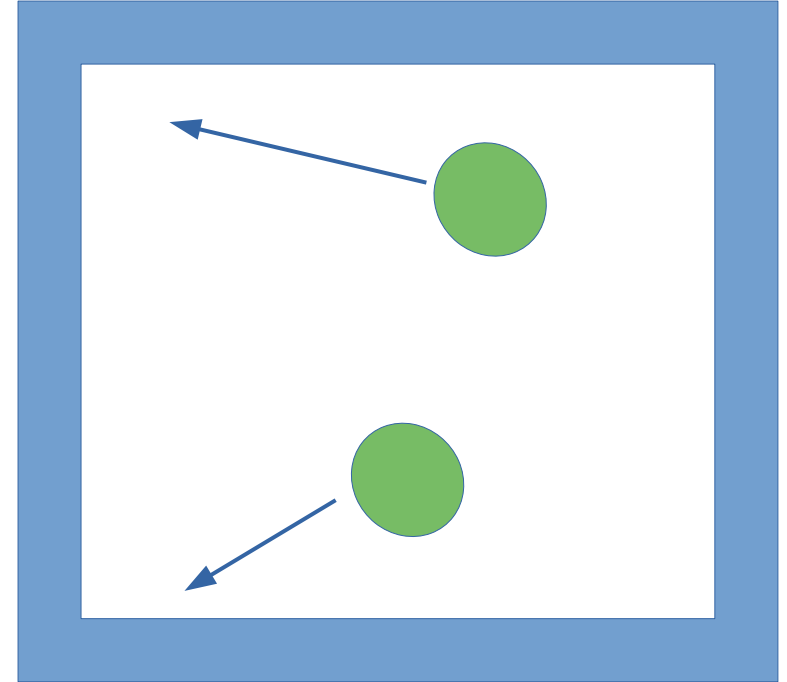
↳ Hypothèse de la vitalité de la substance observée



L. Spallanzani
1729-1798



J. T. Needham
1713-1781



Grain de pollen ; Taille ~ 10 μm

La pression

Le mouvement brownien

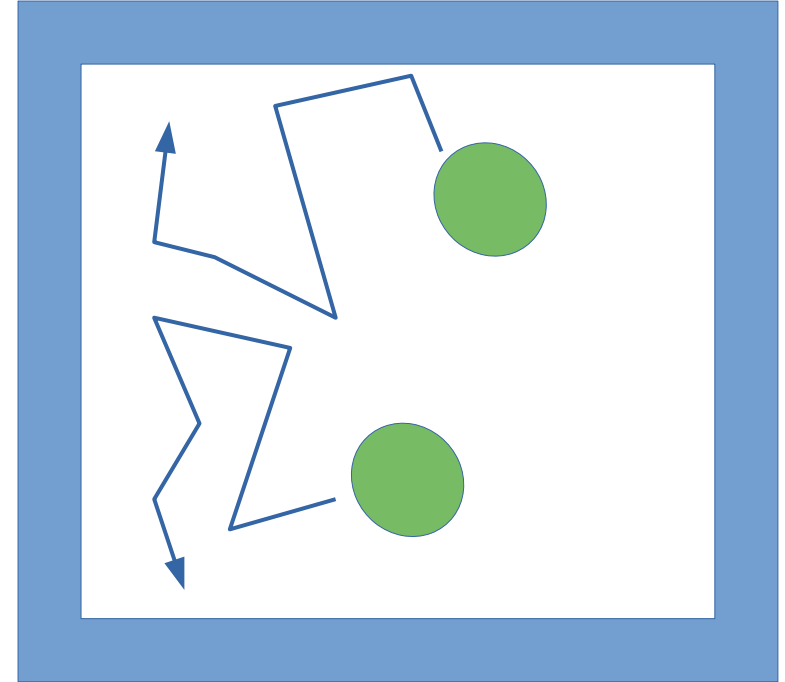
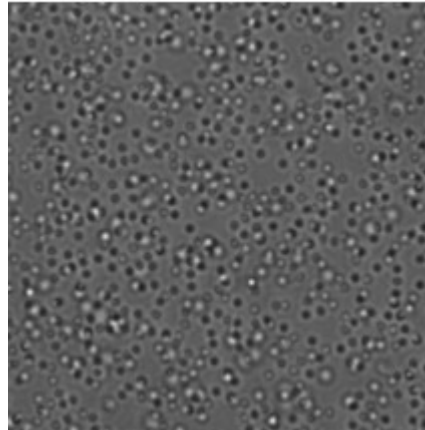
- 1827 : R. Brown, un botaniste anglais, observe au microscope optique que des grains de pollen en suspension dans l'eau sont animés d'un mouvement erratique incessant



Mouvement brownien



R. Brown
1773-1858



Grain de pollen ; Taille $\sim 10 \mu\text{m}$

La pression

Le mouvement brownien

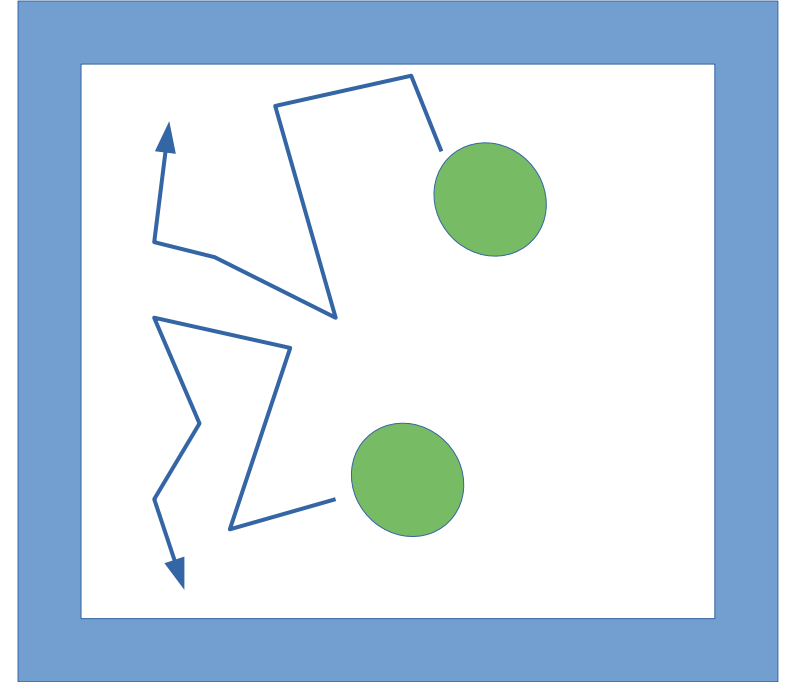
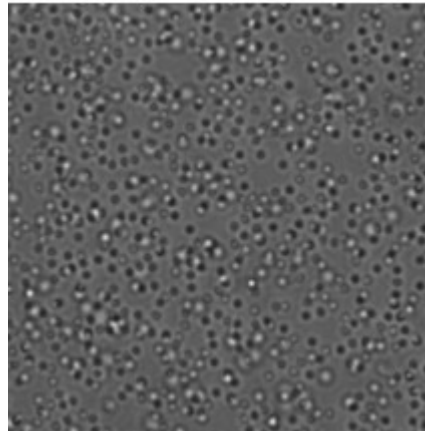
- 1827 : R. Brown, un botaniste anglais, observe au microscope optique que des grains de pollen en suspension dans l'eau sont animés d'un mouvement erratique incessant



Mouvement brownien



R. Brown
1773-1858



Grain de pollen ; Taille $\sim 10 \mu\text{m}$

La pression

Energétistes vs Atomistes



E. Mach
1838-1916



M. Berthelot
1837-1907



J. C. Maxwell
1831-1879



L. Boltzmann
1844-1906

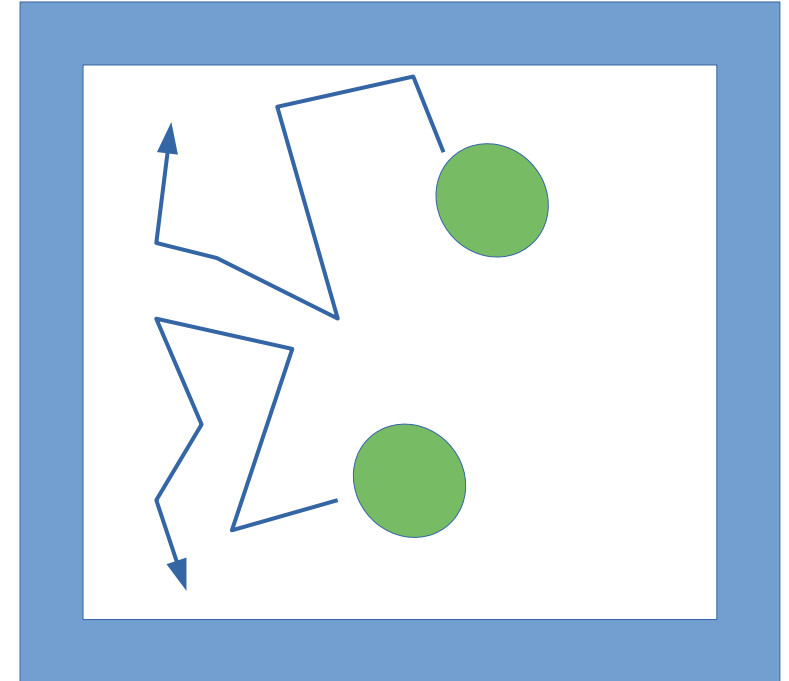
La pression

Le mouvement brownien

- 1905 : Annus mirabilis d'Einstein qui publie 4 articles qui vont contribuer de façon significative à établir les fondements de la physique moderne
 - l'effet photoélectrique
 - la relativité restreinte
 - la relation masse énergie
 - le mouvement brownien



A. Einstein
1879-1955



Grain de pollen ; Taille ~ 10 μm

La pression

Le mouvement brownien

- 1905 : Interprétation du mouvement brownien

549



A. Einstein
1879-1955

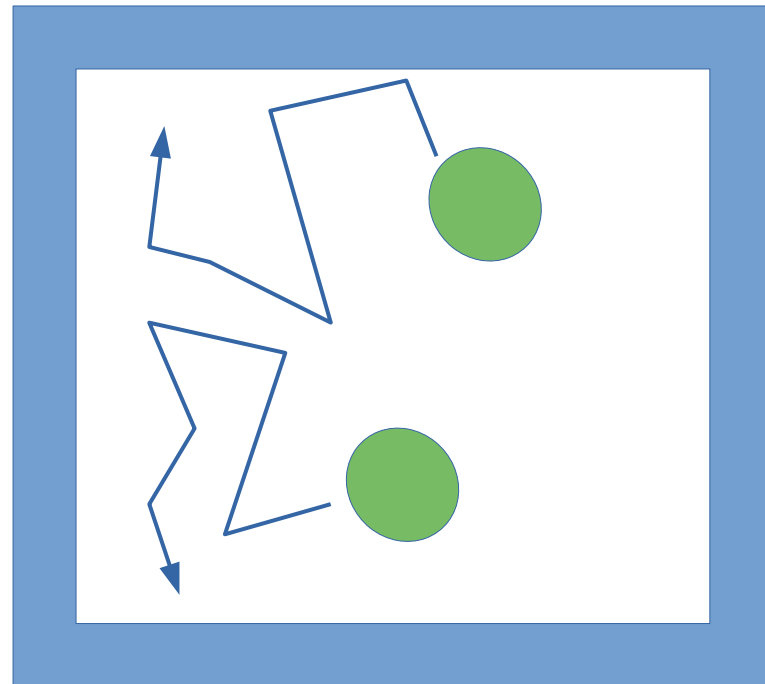
5. Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen;
von A. Einstein.

In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß nach der molekularkinetischen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Körper von mikroskopisch sichtbarer Größe infolge der Molekularbewegung der Wärme Bewegungen von solcher Größe ausführen müssen, daß diese Bewegungen leicht mit dem Mikroskop nachgewiesen werden können. Es ist möglich, daß die hier zu behandelnden Bewegungen mit der sogenannten „Brownischen Molekularbewegung“ identisch sind; die mir erreichbaren Angaben über letztere sind jedoch so ungenau, daß ich mir hierüber kein Urteil bilden konnte.

Wenn sich die hier zu behandelnde Bewegung samt den für sie zu erwartenden Gesetzmäßigkeiten wirklich beobachten läßt, so ist die klassische Thermodynamik schon für mikroskopisch unterscheidbare Räume nicht mehr als genau gültig anzusehen und es ist dann eine exakte Bestimmung der wahren Atomgröße möglich. Erwies sich umgekehrt die Voraussage dieser Bewegung als unzutreffend, so wäre damit ein schwerwiegendes Argument gegen die molekularkinetische Auffassung der Wärme gegeben.

§ 1. Über den suspendierten Teilchen zuzuschreibenden osmotischen Druck.

Im Teilvolumen V^* einer Flüssigkeit vom Gesamtvolumen V seien x -Gramm-Moleküle eines Nichteлектроlyten gelöst. Ist das Volumen V^* durch eine für das Lösungsmittel, nicht aber für die gelöste Substanz durchlässige Wand vom reinen Lösungs-



Grain de pollen ; Taille ~ 10 μm

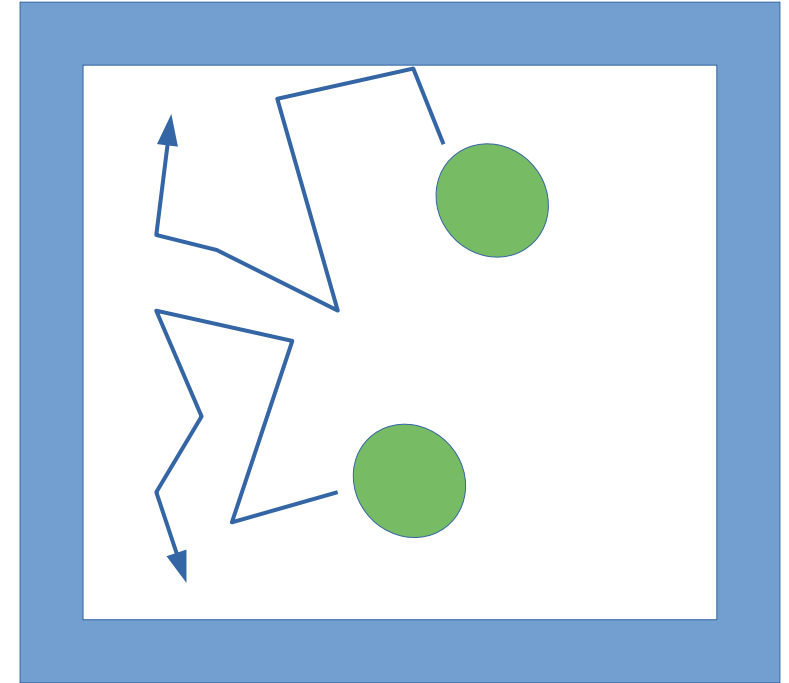
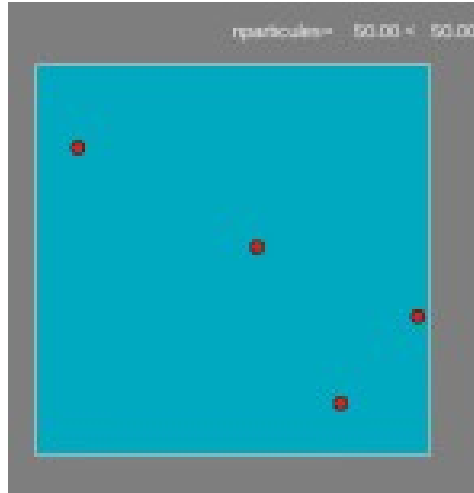
La pression

Le mouvement brownien

- 1905 : Interprétation du mouvement brownien : chocs aléatoires des molécules d'eau, invisibles, sur les grains de pollen



A. Einstein
1879-1955



● Grain de pollen ; Taille ~ 10 μm

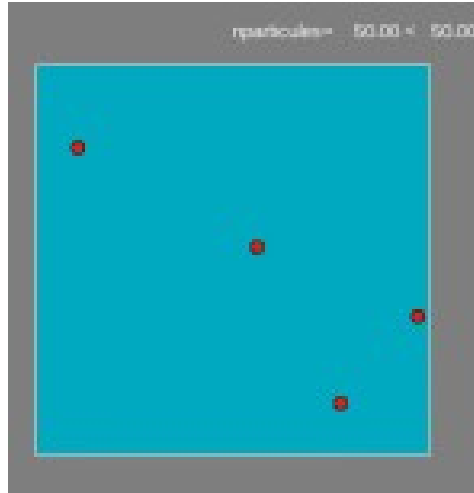
La pression

Le mouvement brownien

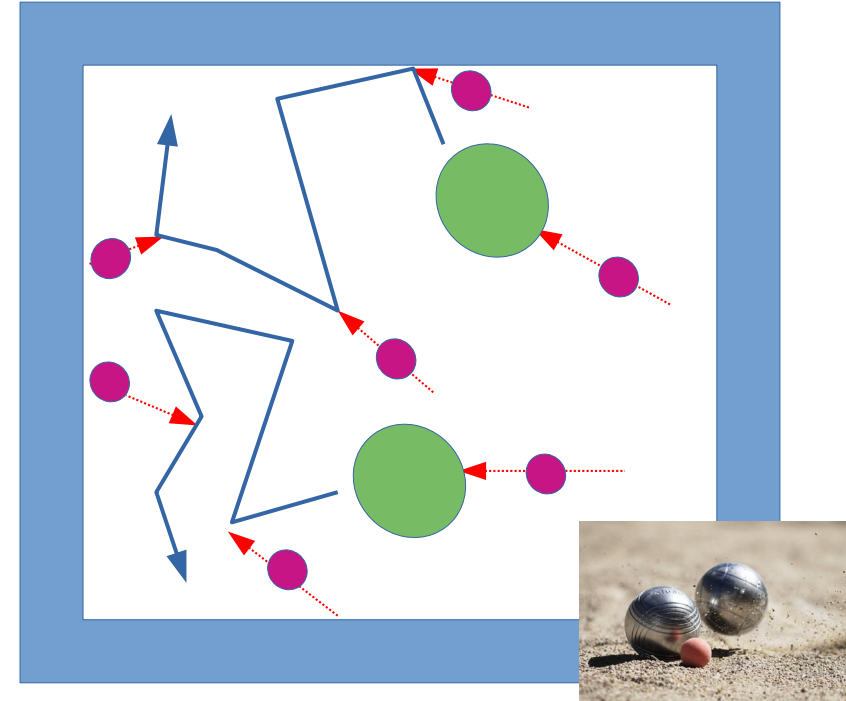
- 1905 : Interprétation du mouvement brownien : chocs aléatoires des molécules d'eau, invisibles, sur les grains de pollen



A. Einstein
1879-1955



Concept de quantité de mouvement : produit de la vitesse d'un objet par sa masse



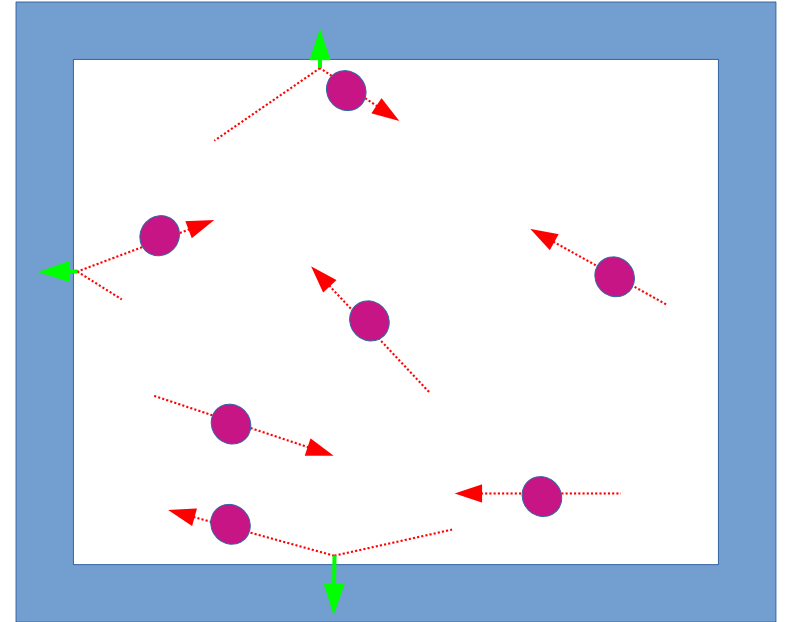
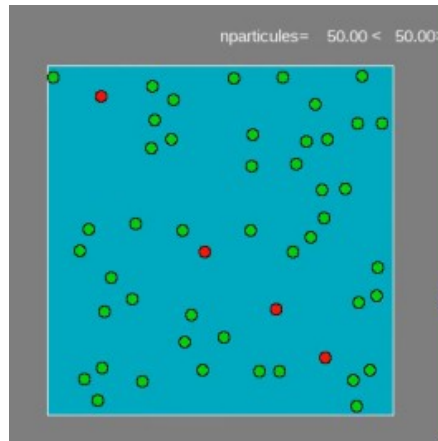
- Grain de pollen ; Taille $\sim 10 \mu\text{m}$
- Molécule d'eau ; Taille 1 nm ; 10000 fois plus petit qu'un grain de pollen

La pression

Définition

- Dans un fluide contenu dans un récipient, les molécules peuvent s'entrechoquer entre elles mais elles peuvent également heurter les parois du récipient
- Les molécules, en heurtant la paroi, exercent une force sur la paroi

➡ Pression

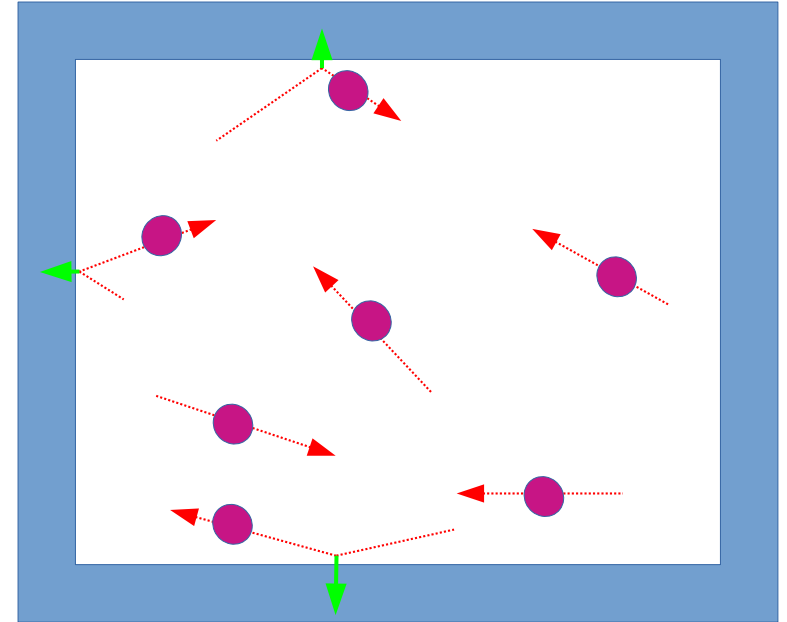


La pression

Définition

- Dans un fluide contenu dans un récipient, les molécules peuvent s'entrechoquer entre elles mais elles peuvent également heurter les parois du récipient
- Les molécules, en heurtant la paroi, exercent une force sur la paroi

➡ Pression



- D'un point de vue microscopique, la pression résulte de l'agitation incessante des molécules et de leurs collisions, entre elles ou sur des obstacles.
- C'est une grandeur physique qui traduit les échanges de quantité de mouvement entre deux systèmes

La pression atmosphérique

“La Nature a horreur du vide” ... mais que jusqu’à 10 mètres !



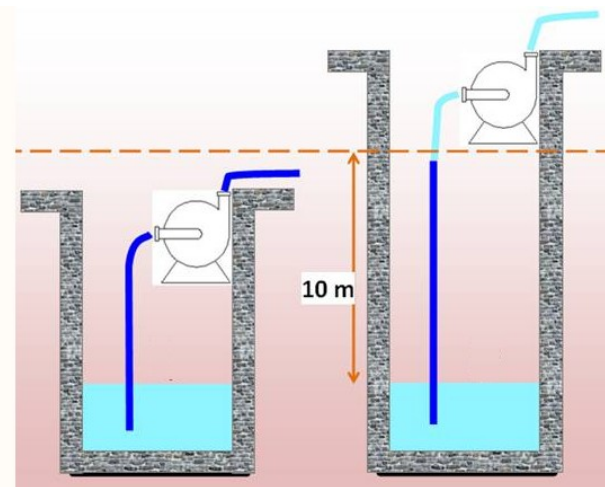
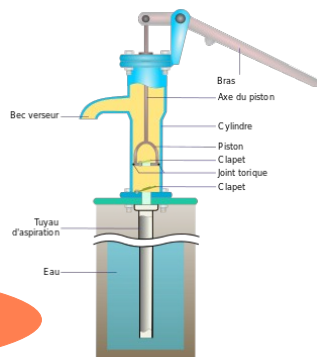
Doctrine d'Aristote : “La nature a horreur du vide”

→ Pour élever l’eau dans un puits, il suffit de faire le vide dans un tuyau en y aspirant l’air (expérience de la paille dans la “limonade”)

Problème : Au XVII^e siècle, les fontainiers de Florence observent qu’il est impossible de faire monter l’eau au delà d’une hauteur de 10 m



Expérience du quotidien



La pression atmosphérique

“La Nature a horreur du vide” ... mais que jusqu'à 10 mètres !

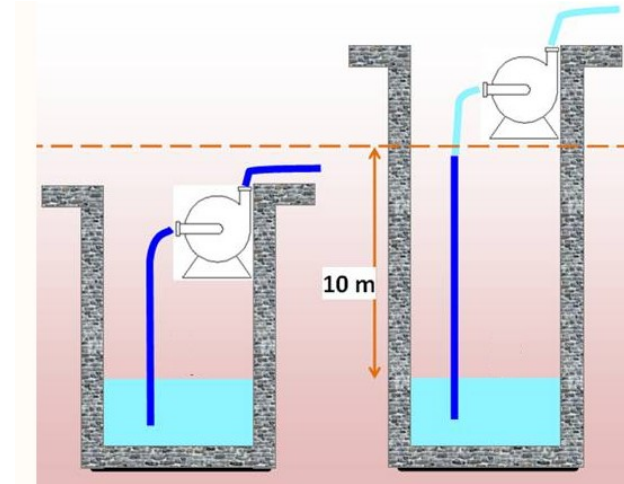
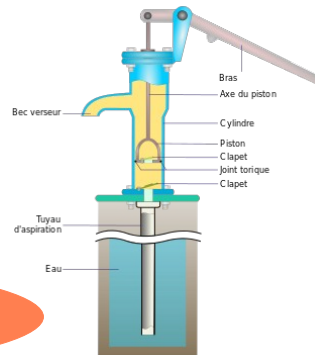


Problème : Au XVII^e siècle, les fontainiers de Florence observent qu'il est impossible de faire monter l'eau au delà d'une hauteur de 10 m

Hypothèse de Baliani : la pression exercée par l'eau qui se trouve dans le tuyau s'équilibre avec la pression exercée par l'air dans le puits



Expérience du quotidien



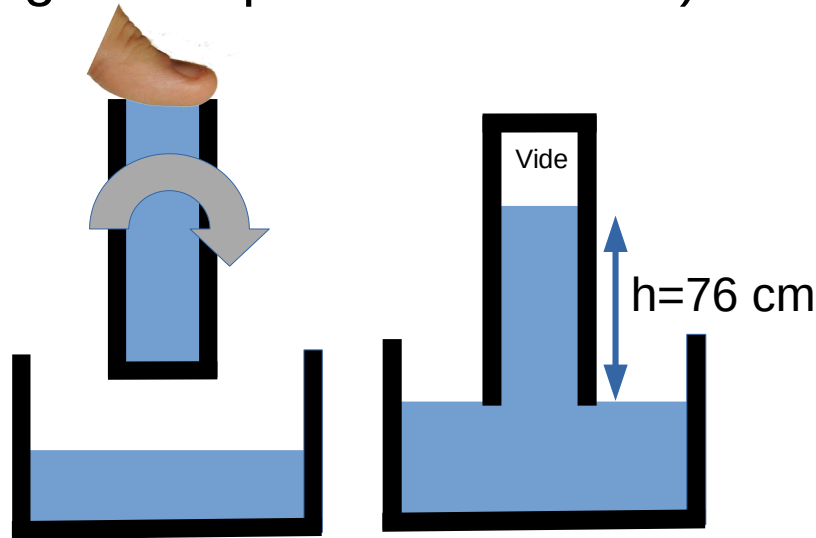
La pression atmosphérique



E. Torricelli
1608-1647

L'expérience de Torricelli

Torricelli met au point une expérience avec du mercure pour pouvoir observer le phénomène expérimentalement sans avoir à manipuler de trop grosses quantités d'eau (la densité volumique du mercure est 13.6 fois plus grande que celle de l'eau)



Amplitude du son

Des sources de son

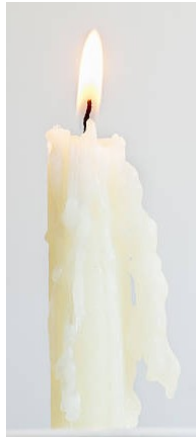
- Expérience du quotidien : les sources de son
 - le drapeau qui claque
 - le ruisseau qui coule
 - le bruit du tonnerre



Amplitude du son

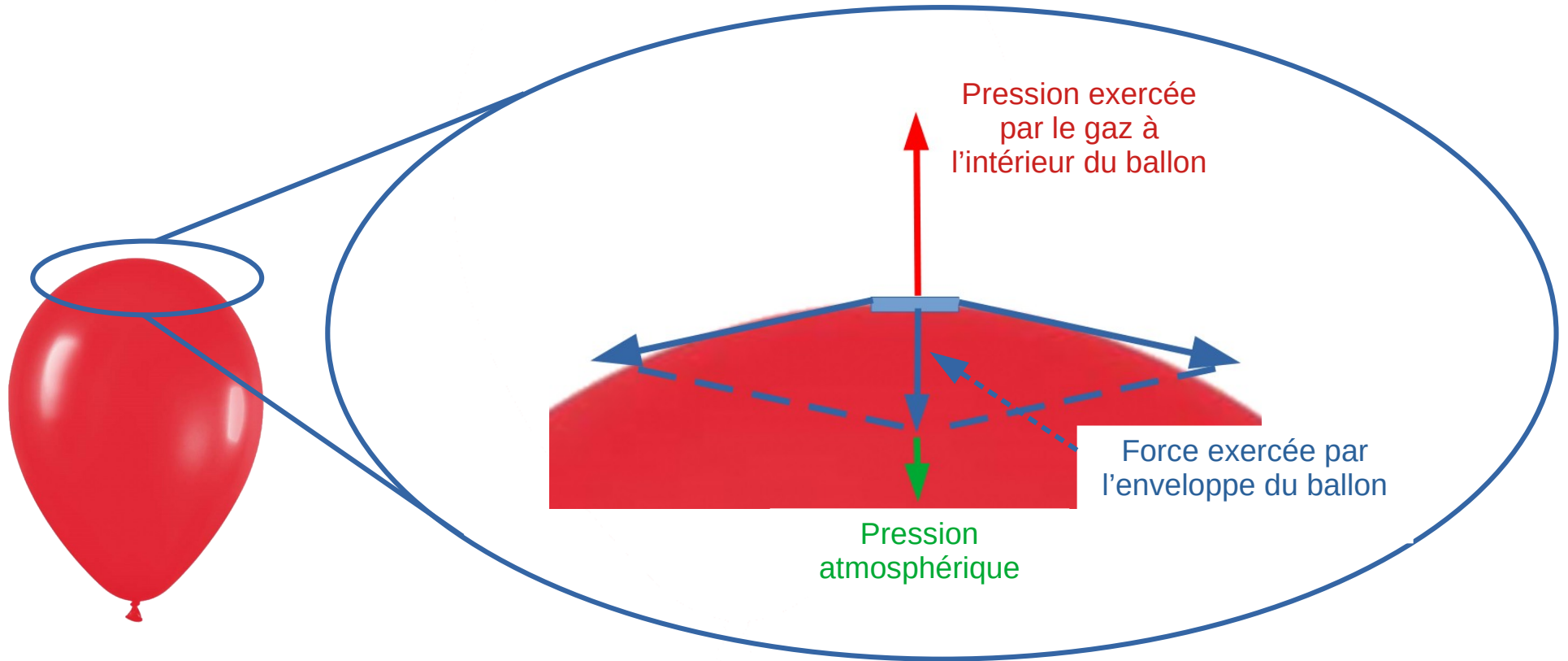
Le ballon

Expérience d'amphi



Amplitude du son

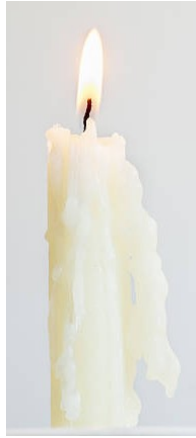
Le ballon



Amplitude du son

Le ballon

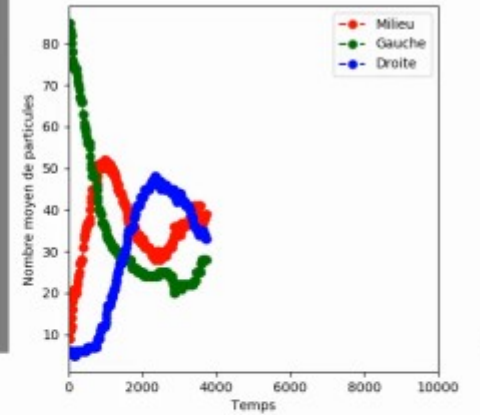
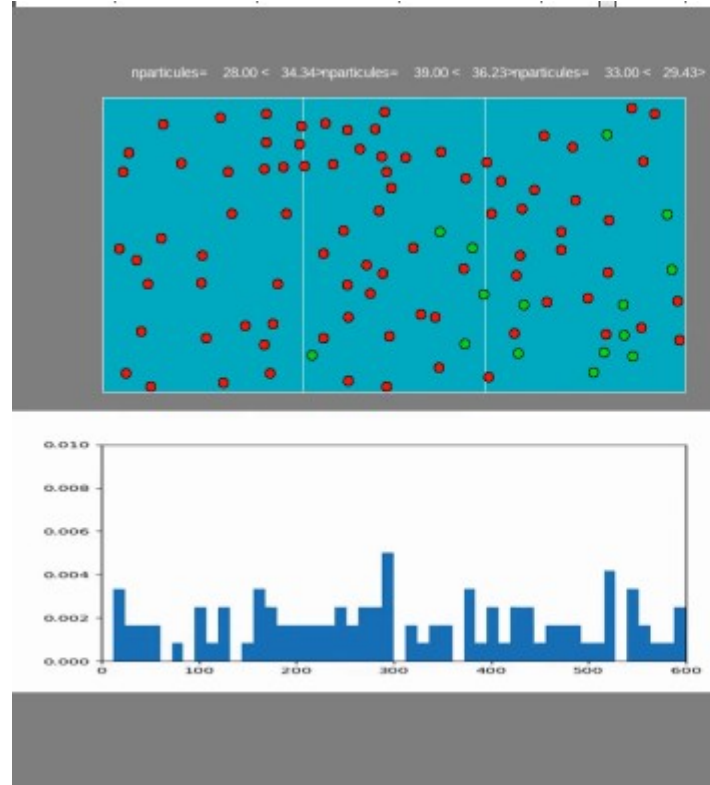
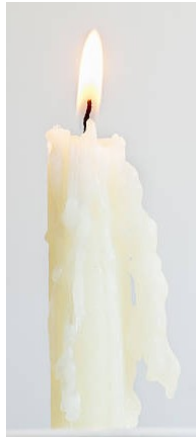
Expérience d'amphi



Amplitude du son

Le ballon

Expérience d'amphi

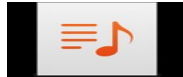


Amplitude du son

Le bruit du tonnerre



- Eclair droit & court, et tombe verticalement → brruit fort, sec et quasi-instantané
- Ressemble à un déchirement



Eclair long & sinueux, se propageant de manière oblique dans le ciel

- longue détonation
- impression de grondement, qui croît avec la distance et la longueur de l'éclair

Le son

Conclusions

- Nécessite la présence d'un support matériel pour se propager ; pas de son dans le vide.



- Pour qu'il y ait un son, il faut qu'il y ait des variations de pression au cours du temps : l'amplitude du son est d'autant plus forte que les variations de pression sont fortes.