

Physique pour Tous !

Physique du quotidien

Zoom sur les phénomènes et objets qui animent nos cuisines



Eric Chabert



La cuisine

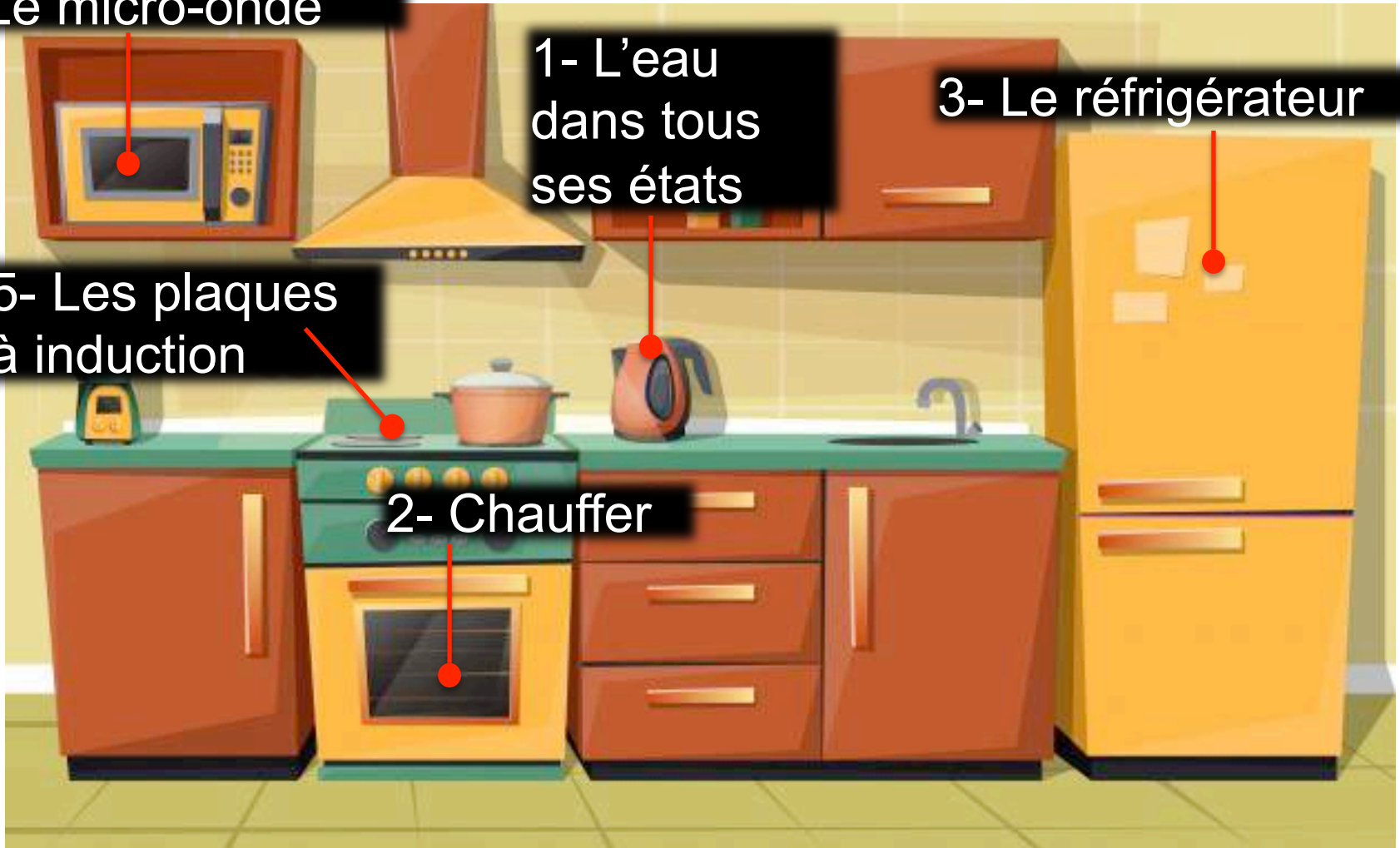
4- Le micro-onde

1- L'eau
dans tous
ses états

3- Le réfrigérateur

5- Les plaques
à induction

2- Chauffer

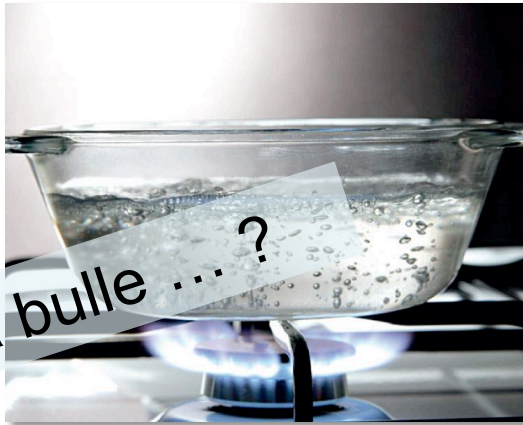


Pourquoi

Physique pour Tous !



ça bulle ... ?



ça mousse ... ?



ça gonfle ... ?



ça flotte ... ?



Mode d'emploi



Quiz en ligne

Sur le site www.menti.com
ou sur l'application *mentimeter*
Code à saisir



Partie plus “technique”
Public “scientifique”



PISTE ROUGE

Ce qu'il fallait retenir



**Idées d'expériences à faire
à la maison (ou à l'école)**

Place aux questions à
la fin de chaque partie



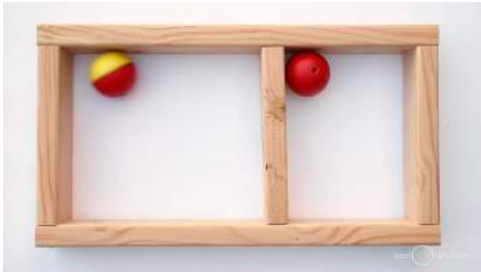
Interrogations “surprises”



Ce qu'il fallait retenir du cours

Pression: manifestation macroscopique des interactions d'un corps sur une paroi fictive ou réelle.

Peut induire une force et donc un mouvement



$$\text{Pression} = \text{Force} / \text{Surface}$$

$$\text{Pression} = \rho g h$$

- ✓ L'équilibre des pressions
- ✓ Le principe des vases communicants
- ✓ Le principe de la paille, du baromètre

Température: manifestation macroscopique du degré d'**agitation des molécules** composant un corps

$$\text{Energie} = 1/2 \times m \times v^2 = 3/2 \times k_B \times T$$

Loi des gaz parfaits:

$$\text{Pression} \times \text{Volume} = N \times k_B \times \text{Température}$$



La cocotte minute

Vapeur d'eau sous pression
(diamètre 22 cm)

→ **Pression de 1.8 bars**

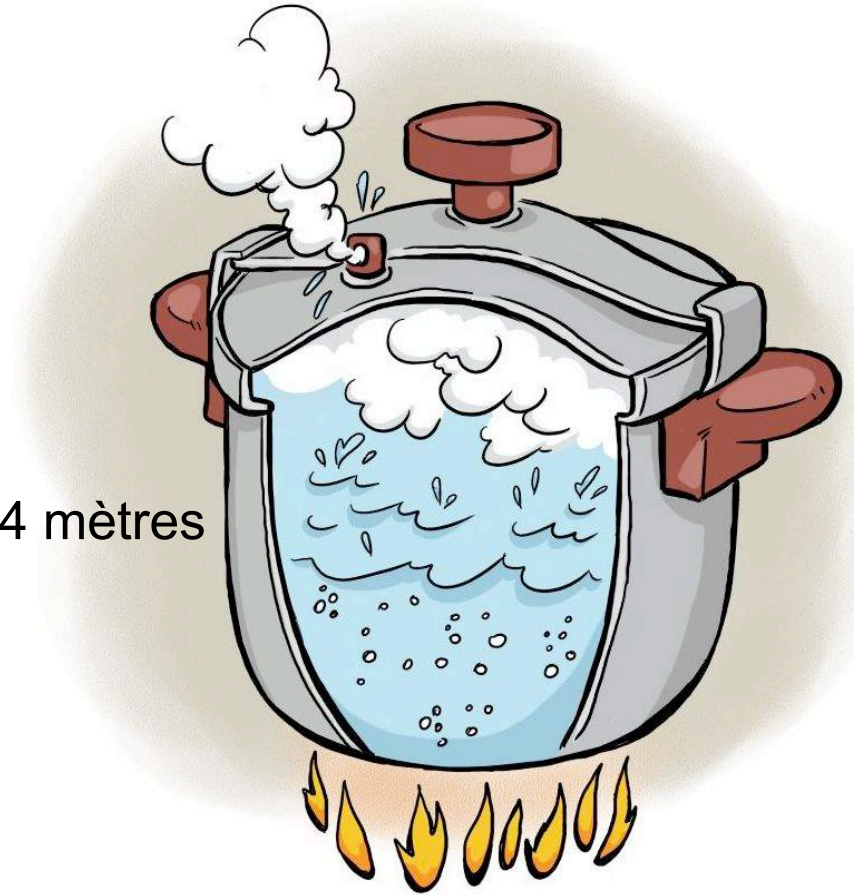
→ **Force de 1.3 tonnes**

Eau chaude (3 litres)

→ **Température de 118°C**

→ **Energie de 720 kJoules**

Soulever un éléphant de 5 tonnes sur 14 mètres



Menu du jour



Question: *Quand la banquise fond, le niveau de la mer monte-t-il ?*

- ☐ Les états de la matière
- ☐ Les transitions entre états de la matière
- ☐ Applications
- ☐ Rajoutons un peu de sel ...
- ☐ ça pétille, ça mousse ...



Pourquoi la glace ne coule-t-elle pas ?



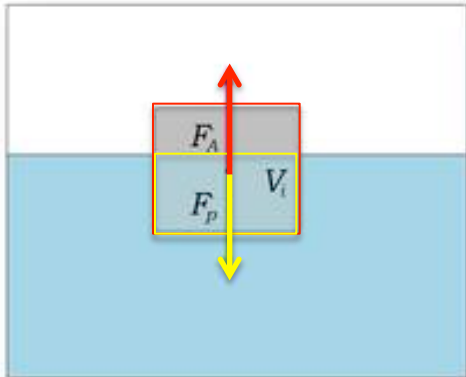
La poussée d'Archimède

“Tout corps **plongé** dans un **fluide** (liquide / gaz) subit, de la part de celui-ci, une poussée (**force**) exercée du bas vers le haut et égale, en intensité, au **poids du volume de liquide déplacé**.”



Pourquoi la glace ne coule-t-elle pas ?

“Tout corps **plongé** dans un **fluide** (liquide / gaz) subit, de la part de celui-ci, une poussée (**force**) exercée du bas vers le haut et égale, en intensité, au **poids du volume de liquide déplacé**.”



Poids du glaçon

$$\begin{aligned} F_p &= \text{masse (glace)} \times g \\ &= \text{masse vol. (glace)} \times \text{volume (glace)} \times g \\ &= \rho_{\text{glace}} \times V \times g \end{aligned}$$

Poussée d'Archimède

$$\begin{aligned} F_A &= \text{masse (eau)} \times g \\ &= \text{masse vol. (eau)} \times \text{volume (immergé)} \times g \\ &= \rho_{\text{eau}} \times V_i \times g \end{aligned}$$

A l'équilibre: $F_p = F_A$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{glace}} \times V \times g &= \rho_{\text{eau}} \times V_i \times g \\ \rightarrow V_i / V &= \rho_{\text{glace}} / \rho_{\text{eau}} \end{aligned}$$



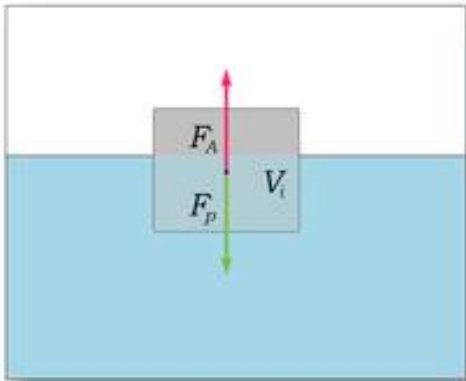
PISTE ROUGE



Pourquoi la glace ne coule-t-elle pas ?

Que se passera-t-il quand la glace fondra ?

La glace de densité plus faible occupera un volume plus petit



$$\text{A l'équilibre: } F_p = F_A$$
$$\frac{V_i}{V} = \frac{\rho_{\text{glace}}}{\rho_{\text{eau}}}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{eau}} &= 1 \text{ kg/L} \\ \rho_{\text{glace}} &= 0.917 \text{ kg/L} \\ \rho_{\text{glace}} / \rho_{\text{eau}} &= 0.917\end{aligned}$$



Pourquoi la glace ne coule-t-elle pas ?

“Tout corps **plongé** dans un liquide (**fluide**) subit, de la part de celui-ci, une poussée exercée du bas vers le haut et égale, en intensité, au **poids du volume de liquide déplacé**.”



$$\frac{V_i}{V} = \frac{\rho_{\text{glace}}}{\rho_{\text{eau}}}$$

→ Le volume immergé représente 91.7% du volume total



Que se passera-t-il quand la glace fondra?

A l'équilibre: $F_p = F_A$

$$\frac{V_i}{V} = \frac{\rho_{\text{glace}}}{\rho_{\text{eau}}}$$

Glaçon immergé

V est le volume de glace

V_f le volume de glace fondue

La quantité de matière restant la même

→ la masse reste identique

masse (glace) = masse (glace fondue)

$$\rho_{\text{glace}} \times V = \rho_{\text{eau}} \times V_f$$

$$\frac{V_f}{V} = \frac{\rho_{\text{glace}}}{\rho_{\text{eau}}}$$

Glaçon fondu



Que se passera-t-il quand la glace fondra?

1

Glaçon immergé

A l'équilibre: $F_p = F_A$
$$\frac{V_i}{V} = \frac{\rho_{\text{glace}}}{\rho_{\text{liquide}}}$$

2

Glaçon fondu

$$\frac{V_f}{V} = \frac{\rho_{\text{glace}}}{\rho_{\text{glace fondue}}}$$

2

1

$$\frac{V_f}{V_i} = \frac{\rho_{\text{liquide}}}{\rho_{\text{glace fondue}}}$$

Si le glaçon et le liquide ont la même composition, alors le niveau reste le même



PISTE ROUGE



Que se passera-t-il quand la glace fondra ?



$$V_f = V_i$$

La glace fondue prendra exactement le même volume que le volume de glace immergée

→ Le niveau d'eau ne monte pas



Glaçon (eau douce) dans l'eau salée

1 Glaçon immergé

A l'équilibre: $F_p = F_A$

$$\frac{V_i}{V} = \frac{\rho_{\text{glace}}}{\rho_{\text{liquide}}}$$

2 Glaçon fondu

$$\frac{V_f}{V} = \frac{\rho_{\text{glace}}}{\rho_{\text{glace fondue}}}$$

2

1

$$\frac{V_f}{V_i} = \frac{\rho_{\text{liquide}}}{\rho_{\text{glace fondue}}}$$

$\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ kg/L}$ $\rho_{\text{ocean}} = 1.025 \text{ kg/L}$
 $\rho_{\text{glace}} = 0.917 \text{ kg/L}$

$$\rho_{\text{ocean}} / \rho_{\text{eau}} = 1.025$$


Iceberg dans un océan

Considérons qu'un iceberg est constitué d'eau douce et qu'il flotte à la surface de l'océan salé

$$\frac{V_f}{V_i} = \frac{\rho_{\text{océan}}}{\rho_{\text{eau}}} = 1,025$$

- Le volume de l'iceberg fondu est plus important que le volume immergé
- Le niveau de l'eau monte



Et la banquise ...



Banquise:

couche de glace qui se forme à la surface d'une étendue d'eau par solidification des premières couches d'eau. L'**artique** (pôle nord)

Eau salée (sur les mers/océans)

→ *Quelle salinité ? (développé peu après)*



Glacier:

couche de glace obtenue par compactage de la neige accumulée. On en retrouve en **montagne** et en **antartique** (continent – pôle sud)

Eau douce



Iceberg:

couche de glace qui se détache et qui flotte.



Un problème plus complexe qu'il n'y paraît ..



L'océan n'est pas un simple verre d'eau
→ Température / salinité constante

La banquise n'est pas un simple glaçon



Eau et salinité

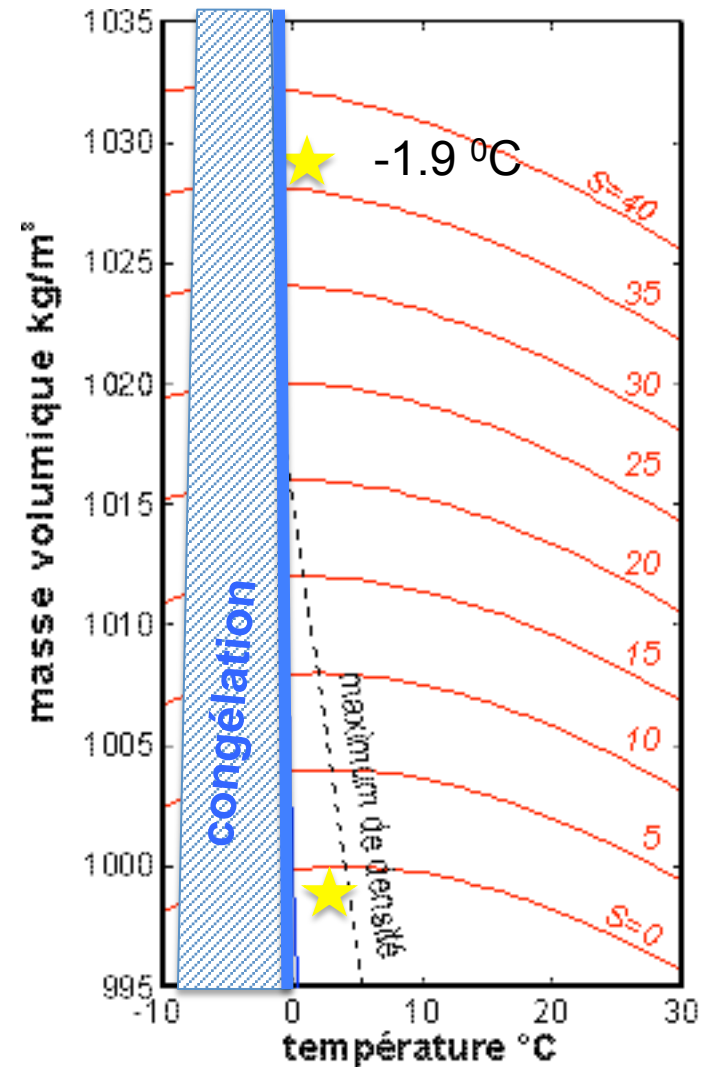
Salinité des océans: 35

La masse volumique de l'eau dépend de:

- La salinité
- La température
- La pression

Dans un océan, en refroidissant, la masse volumique de l'eau augmente, celle-ci descend en profondeur contrairement à l'eau sur un lac

→ Plus difficile de former de la banquise



Formation de la banquise

La congélation va séparer l'eau pure des sels

→ Glace dans une saumure de plus en plus dense et froide qui s'enfonce

Formation complexe:

- Vagues
- Oscillation de température
- Formation de poches d'air et de poches de saumure ou d'air

A la fin on obtient des glaces de

- salinité variable: 0 à 10
- densité variable: 0.86 à 0.92



Question

Quand la banquise fond, le niveau de la mer monte-t-il ?



Oui, c'est lié à la différence de **salinité** entre l'océan et la banquise.

Sans cela, la réponse serait négative

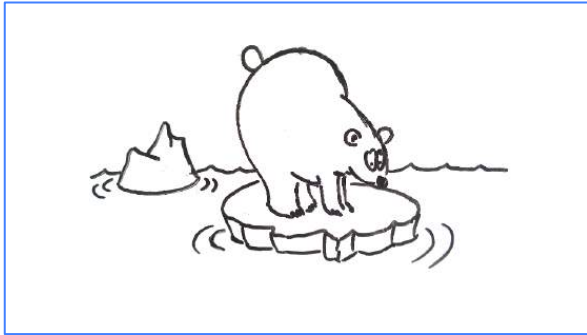
Quantitativement **négligeable**:

les estimations ([ENS](#)) donnent + 4.4 mm



Question

Augmentation du niveau des mers



Le principal phénomène observé est la dilatation thermique

+0.6°C en 1 siècle → dilatation → **+15 cm**

Autres phénomènes:

- **La fonte des glaciers** s'additionne à ce phénomène (pas de poussée d'Archimède ici)
- La banquise a un fort pouvoir de **réflexion des rayons solaires**. Une diminution de sa surface induirait une participation au réchauffement climatique

Estimations du GIEC: $+1.5^{\circ}\text{C}$ → 20 à 80 cm



Interrogation surprise

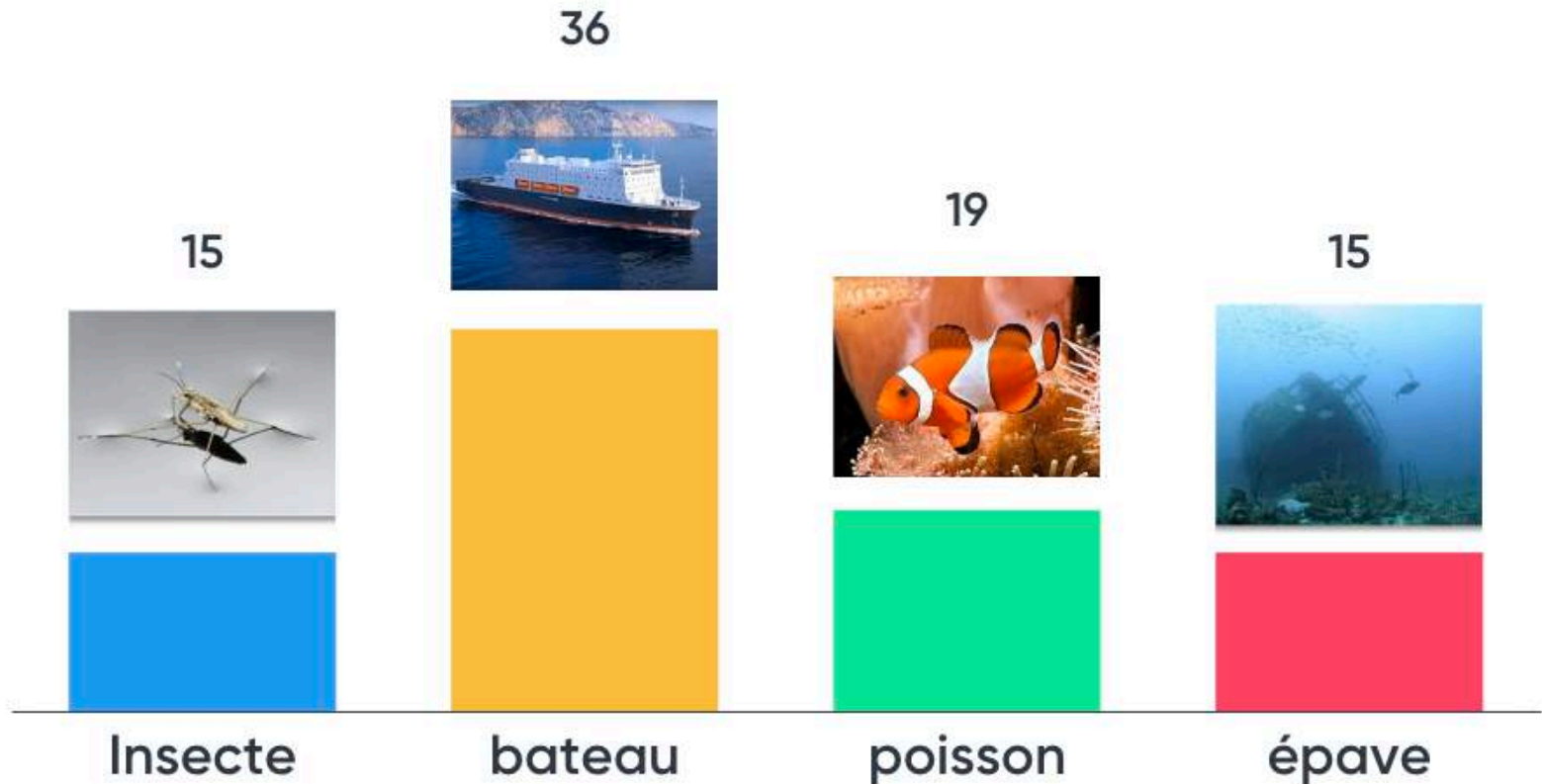


Dans quelle(s) situation(s) le principe d'Archimède s'applique-t-il ?

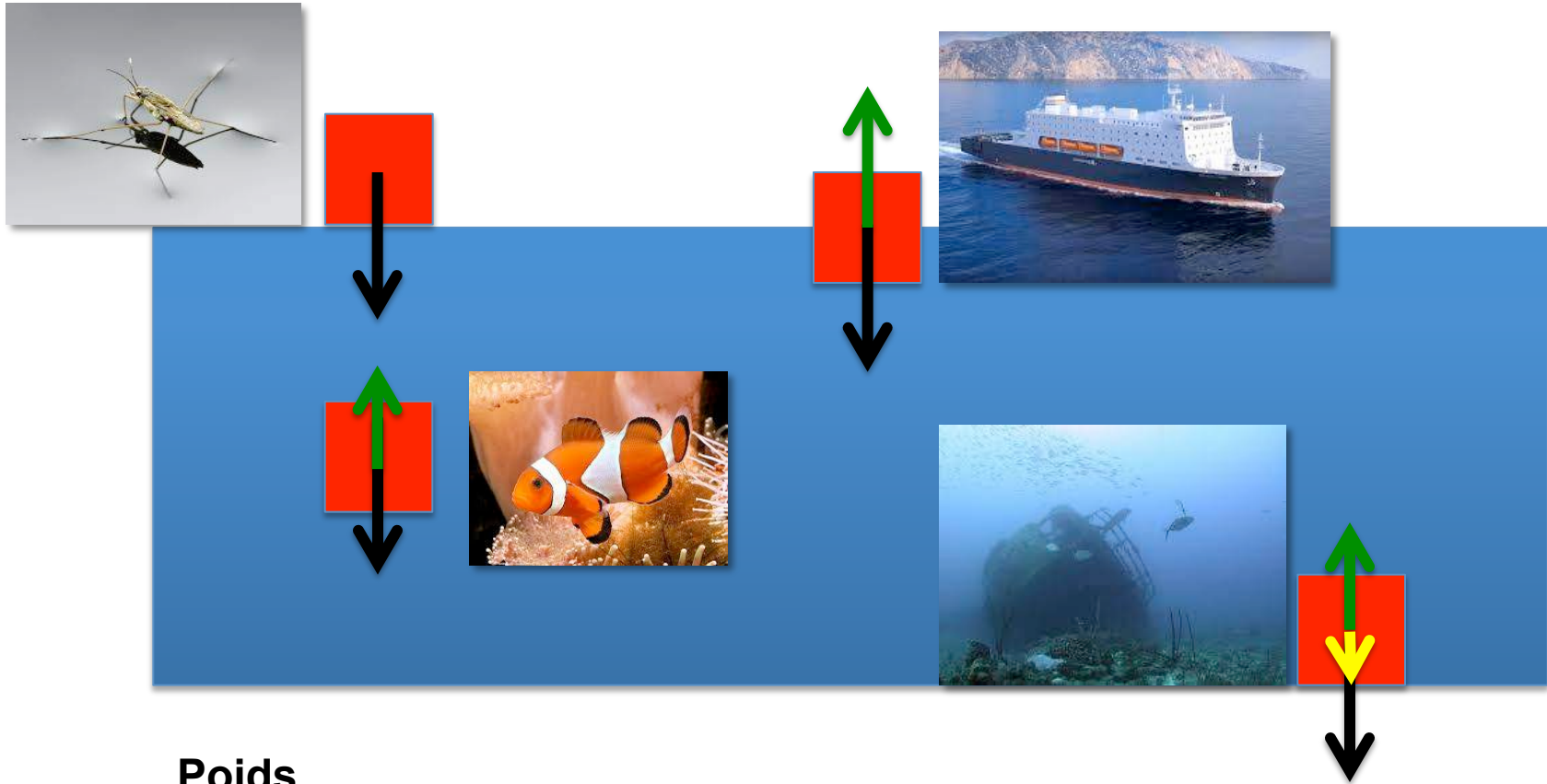
- Insecte en surface
- Bateau
- Poisson
- Épave au fond de l'eau



Dans quelle(s) situation(s) le principe d'Archimède s'applique-t-il ?



Poids d'un objet au fond de l'eau



Poids

Poussée d'Archimède

Force totale

La poussée d'Archimède s'applique à tout corps plongé partiellement ou en totalité dans un fluide



Poids d'un objet au fond de l'eau



https://www.youtube.com/watch?v=Id_0UAsJtz0



D'où vient la poussée d'Archimède ?

PISTE ROUGE

$$P = \rho \times g \times h$$

$$\Delta P = \rho \times g \times \Delta h$$

$$P = F/S$$

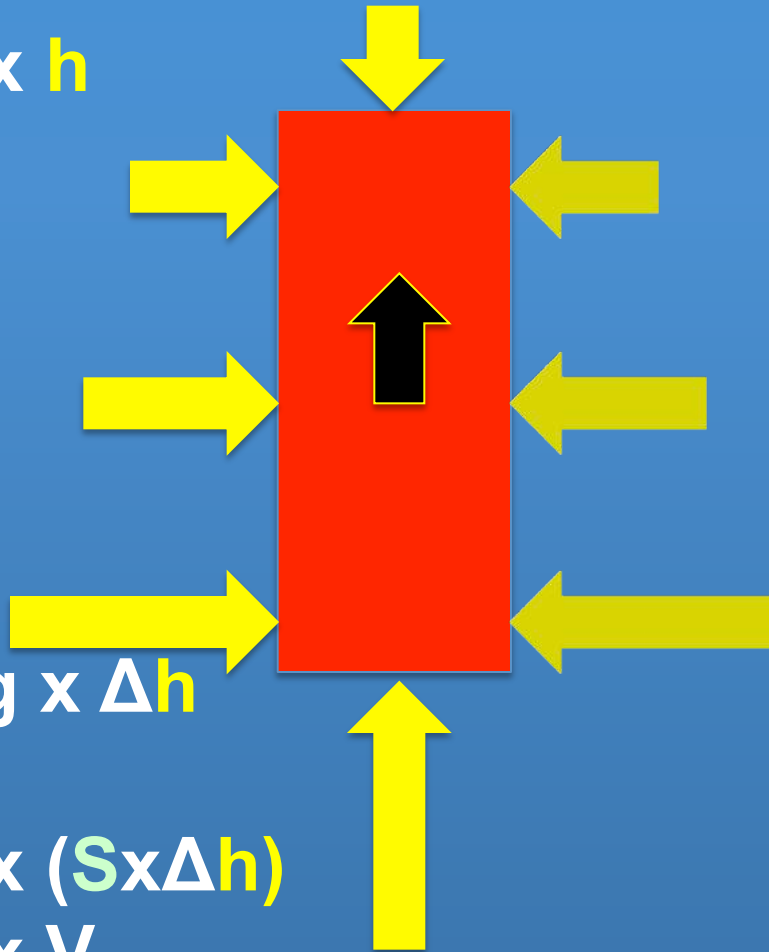
$$F = \rho \times g \times (S \times \Delta h)$$

$$F = \rho \times g \times V$$

= poids du fluide

CQDF

Vu au 1er cours



Archimède dans l'air ... c'est possible ?



Archimède dans l'air ... c'est possible ?

Boule de polystyrène

volume: $V = 0.1 \text{ L}$

$\rho_{\text{polystyrène}} \approx 100 \text{ g/L} = 0.1 \text{ kg/L}$

Poids: $\rho_{\text{polystyrène}} \times V \times g$
 $= 0.1 \times 0.1 \times 9.8 = 0.098 \text{ N}$

$\rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ g/L} = 0.0012 \text{ kg/m}^3$

Poussée d'Archimède: $\rho_{\text{air}} \times V \times g$
 $= 0.0012 \times 0.1 \times 9.8$
 $\approx 0.0012 \text{ N}$

Force totale:
 $0.098 - 0.0012 \approx 0.097 \text{ N}$

$$\frac{F_A}{\text{Poids}} = \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{polystyrène}}} = 1.2\%$$

Fer

volume: $V = 0.0014 \text{ L}$

$\rho_{\text{fer}} \approx 7 \text{ kg/L}$

Poids: $\rho_{\text{fer}} \times V \times g$
 $\approx 0.0014 \times 7 \times 9.8 \approx 0.097 \text{ N}$

$\rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ g/L} = 0.0012 \text{ kg/m}^3$

Poussée d'Archimède: $\rho_{\text{air}} \times V \times g$
 $= 0.0012 \times 0.0014 \times 9.8$
 $\approx 0.000017 \text{ N}$

Force totale:
 $0.097 - 0.000017 \approx 0.097 \text{ N}$

$$\frac{F_A}{\text{Poids}} = \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{fer}}} = 0.02\%$$

La somme des forces est la même mais la masse est différente



Archimède dans l'air ... c'est possible ?

Fer

volume: $V = 0.014 \text{ L}$

$\rho_{\text{fer}} \approx 7 \text{ kg/m}^3$

$\rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ g/L}$

$$\frac{F_A}{\text{Poids}} = \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{fer}}} = 0.02\%$$

→ négligeable



Archimède dans l'air ... c'est possible ?

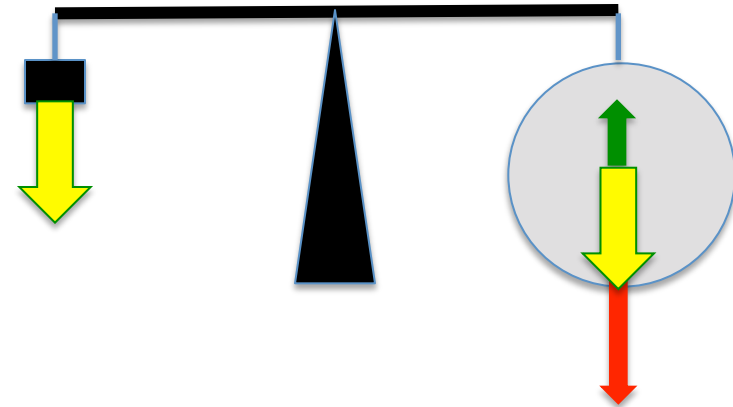
Polystyrène

volume: $V = 0.1 \text{ L}$

$\rho_{\text{fer}} \approx 100 \text{ g/L}$

$$\frac{F_A}{\text{Poids}} = \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{polystyrène}}} = 1.2\%$$

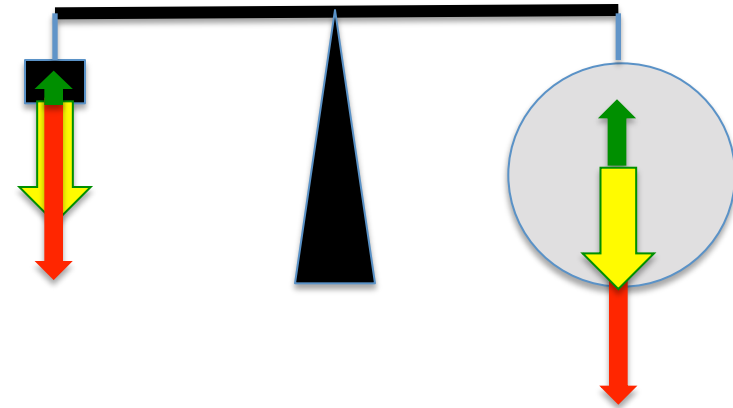
→ effet faible



Archimède dans l'air ... c'est possible ?

On fait le vide

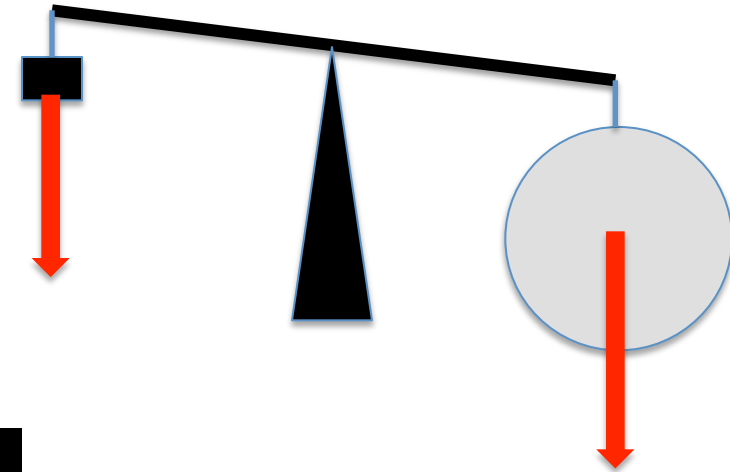
- Il n'y a plus de poussée d'Archimède
- La masse reste la même
- Le poids reste le même
- La force total diminue mais dans des proportions qui dépendent du volume des corps ...



Archimède dans l'air ... c'est possible ?

On fait le vide

- Il n'y a plus de poussée d'Archimède
- La masse reste la même
- Le poids reste le même
- La force totale diminue mais dans des proportions qui dépendent du volume des corps ...



On aura une différence de l'ordre de 1% du poids
→ Faible mais suffisant pour être observable !!



Peut-on avoir confiance en sa balance ?

Remarque:

La balance affiche une **masse** (en kg)
alors qu'elle mesure un **poids** (en Newton)

Corps humain:

volume 70 L (~ 70kg)

Poussée d'Archimède: $\rho_{\text{air}} \times V \times g$

$$\rho_{\text{air}} = 1.2 \text{ g/L}$$

→ Force équivalent à la force subit par une masse de $70 \times 1.2 = 84 \text{ g}$

→ Votre balance sous-estime votre “masse” de ~ 80 grammes

→ plus faible que la précision de la balance (~100 g)

→ effet de 0.12%



Archimède vs le poids

Que se passe-t-il lorsque la masse volumique est inférieure à celle de l'air ?

Air à 20°C: 1.2 g/L
(au niveau de la mer)



La somme des forces est dirigée de bas en haut
→ Ça monte !!



Hélium: 0.18 g/L (à 20°C)



Air à 80°C: 1.0 g/L



CQFR: *poussée d'Archimède*



“Tout corps **plongé** dans un **fluide** subit, de la part de celui-ci, une poussée (**force**) exercée du bas vers le haut et égale, en intensité, au **poids du volume de liquide déplacé**.”

- ✓ **S'applique dans tous les liquides** (eau, ..) et dans les **gaz** (air, ...)
→ ex: glaçon, banquise, corps humain ...
- ✓ **S'applique pour tout corps plongé dans ce fluide**: tout ou partie
→ réduction de la somme des forces
- ✓ **3 situations**
 - ✓ Densité inférieure: le corps remonte (ou “flotte”)
 - ✓ Densité égale: en équilibre
 - ✓ Densité supérieure: le corps “coule”
- ✓ **Origine**:
définition de la pression dans un fluide qui dépend de la “hauteur”



Mesure du nombre d'Avogadro

Rappel: nombre d'Avogadro

nombre d'atomes dans 12 grammes de Carbone (= 1 mole)

$$N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$$

= 602 mille milliards de milliards

Question: comment a-t-on pu mesurer cette grandeur ?

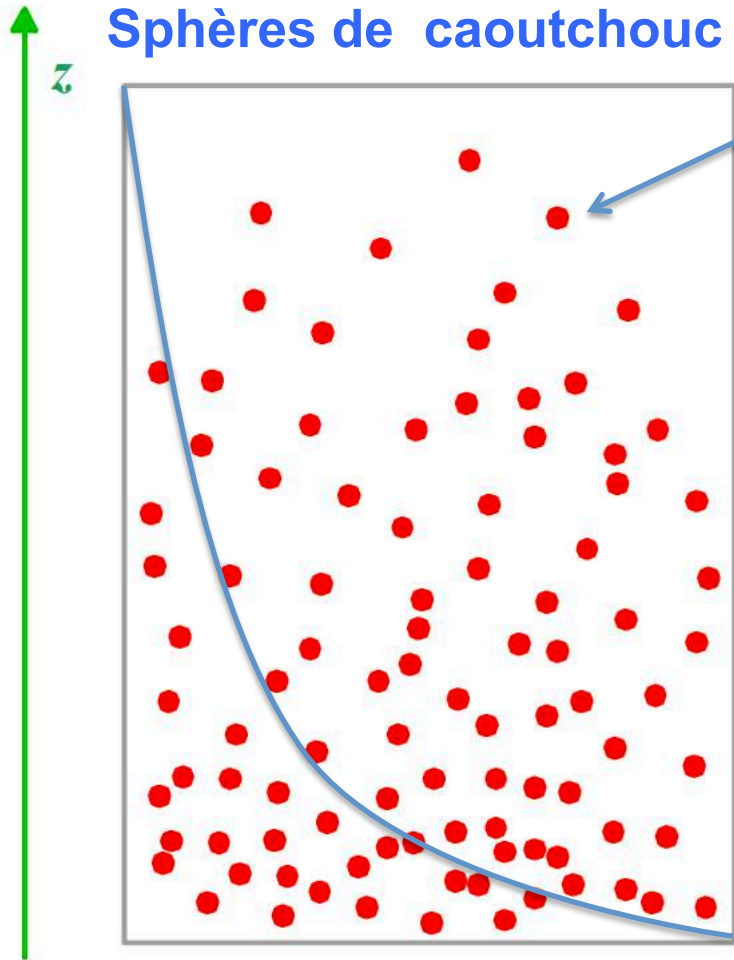


Expérience de Jean Perrin



Mesure du nombre d'Avogadro

Sphères de caoutchouc végétal en suspension dans l'eau



Rayon: 0,2 microns

Initialement, on a une distribution uniforme des sphères

Avec le temps, la concentration augmente en bas

→ Suit un profil **exponentiel**

→ Comparable aux molécules d'air dans l'atmosphère

Cuve de 10 microns
Observée au microscope

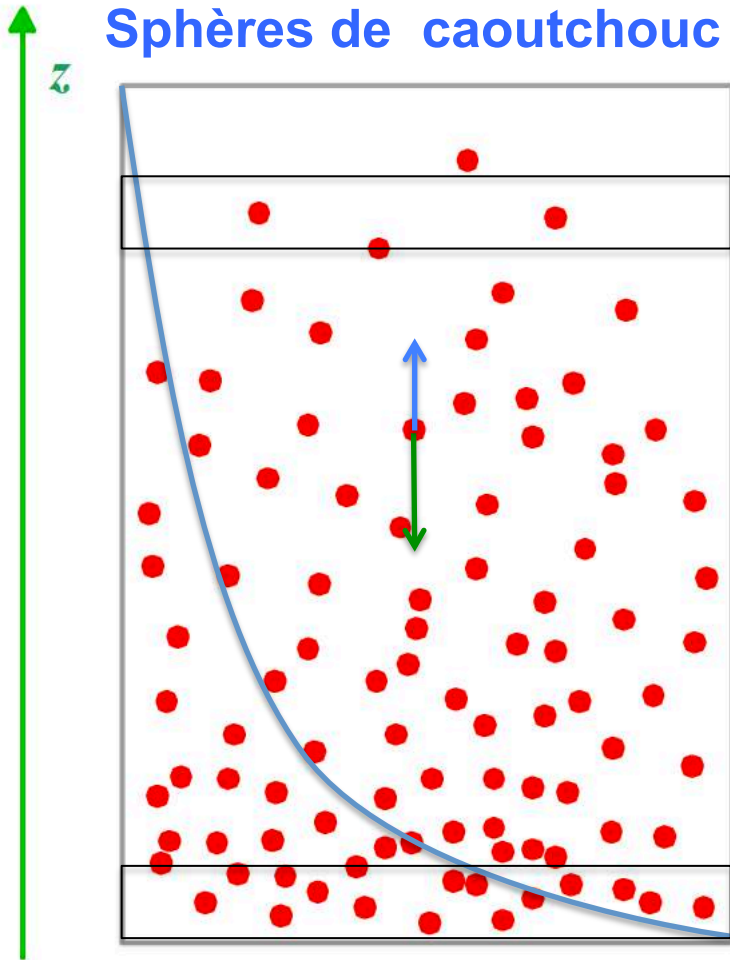


Expérience de Jean Perrin



Mesure du nombre d'Avogadro

Sphères de caoutchouc végétal en suspension dans l'eau



Cuve de 100 microns
observée au microscope

Deux forces s'appliquent: **Poids** + **Archimède**

$$\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ kg/L} - \rho_{\text{sphère}} = 1.2 \text{ kg/L}$$

Statistique de Maxwell-Boltzmann décrit la probabilité de trouver des sphères à une hauteur z

$$N(z) = A \exp(-z/H)$$
$$H = \text{Cst} \frac{T}{N_A \times (\rho_{\text{eau}} - \rho_{\text{sphère}})}$$

Il faut compter le nombre de sphères à différentes hauteurs. Tout le reste est connu.

→ On en déduit la valeur de N_A



Retour en cuisine ...



Les cocktails ...



Densités

- Alcool: 0.79
- Eau: 1
- Jus d'orange: 1.03
- Sirop: 1.26
(100 g sucre + 100g d'eau)



Comment savoir si un oeuf est encore frais ?



- Un oeuf *périmé* a déjà commencé à se décomposer produisant ainsi des **gaz** qui sont emprisonnés dans la coquille
- La densité moyenne de l'oeuf diminue donc et devient inférieure à celle de l'eau
→ **l'oeuf flotte**



Quiz



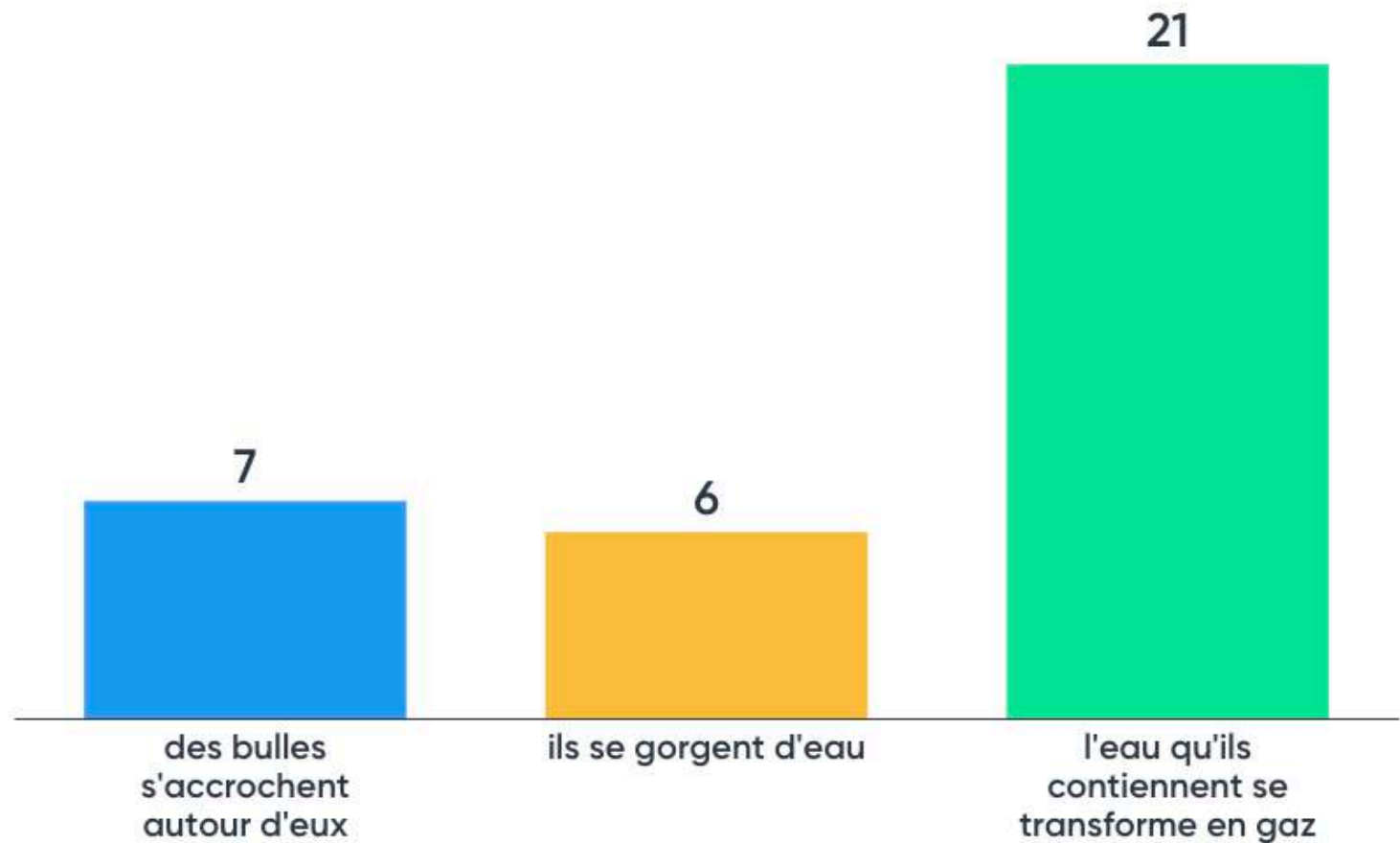
Pourquoi les gnocchis flottent en surface lorsqu'ils sont cuits ?



 **Mentimeter**



Pourquoi les gnocchis remontent-ils à la surface ?



Les gnocchis



Pourquoi les gnocchis flottent en surface lorsqu'ils sont cuits ?

- **Composition:** pulpe de pomme de terre, œuf, farine, eau, un peu de lait
- **Avant cuisson:** ils tombent d'abord au fond de la casserole
- **Pendant la cuisson:**
 - Ils commencent à se détacher du fond
 - Ils ont des mouvements de plus en plus amples suivant les mouvements de convection de l'eau
- **Après la cuisson:** ils remontent et flottent à la surface

Pourquoi ? : Est-ce parce que leur densité est finalement plus faible que l'eau ?



Les gnocchis

Pourquoi les gnocchis flottent en surface lorsqu'ils sont cuits ?

Sortons les, séchons-les et replongez les dans l'eau.
Que se passe-t-il ?

Ils plongent de nouveau ...

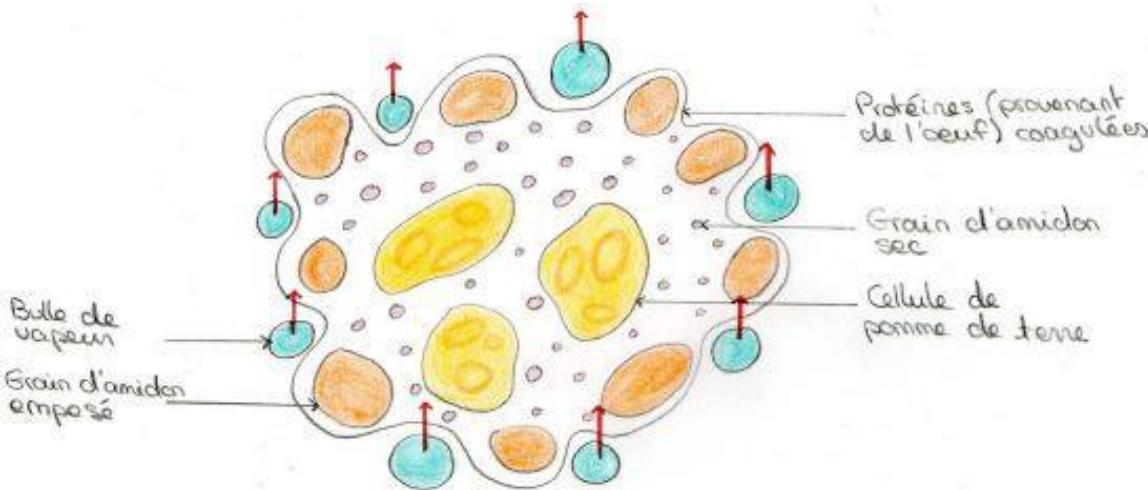
Pourquoi ? :

- Leur densité reste supérieure à celle de l'eau
- Des bulles de gaz se forment au fond de la casserole
- Ces fines bulles d'accrochent à la surface poreuse du gnocchi diminuant ainsi la densité moyenne de l'ensemble, à l'instar d'un plongeur avec un flotteur



Les gnocchis

Pourquoi les gnocchis flottent en surface lorsqu'ils sont cuits ?



Un gnocchi gonfle à la cuisson, il est sustenté par des bulles de vapeur

[@http://tpe-gastronomiemoleculaire-lvc.e-monsite.com/](http://tpe-gastronomiemoleculaire-lvc.e-monsite.com/)

La **cuisson** des gnocchis correspond à la **coagulation de l'œuf** qui a lieu à **68°C**

Il faut que l'ensemble du gnocchi, y compris le centre, atteigne cette température.

Pour de très gros gnocchis, il pourraient flotter avant d'être cuit

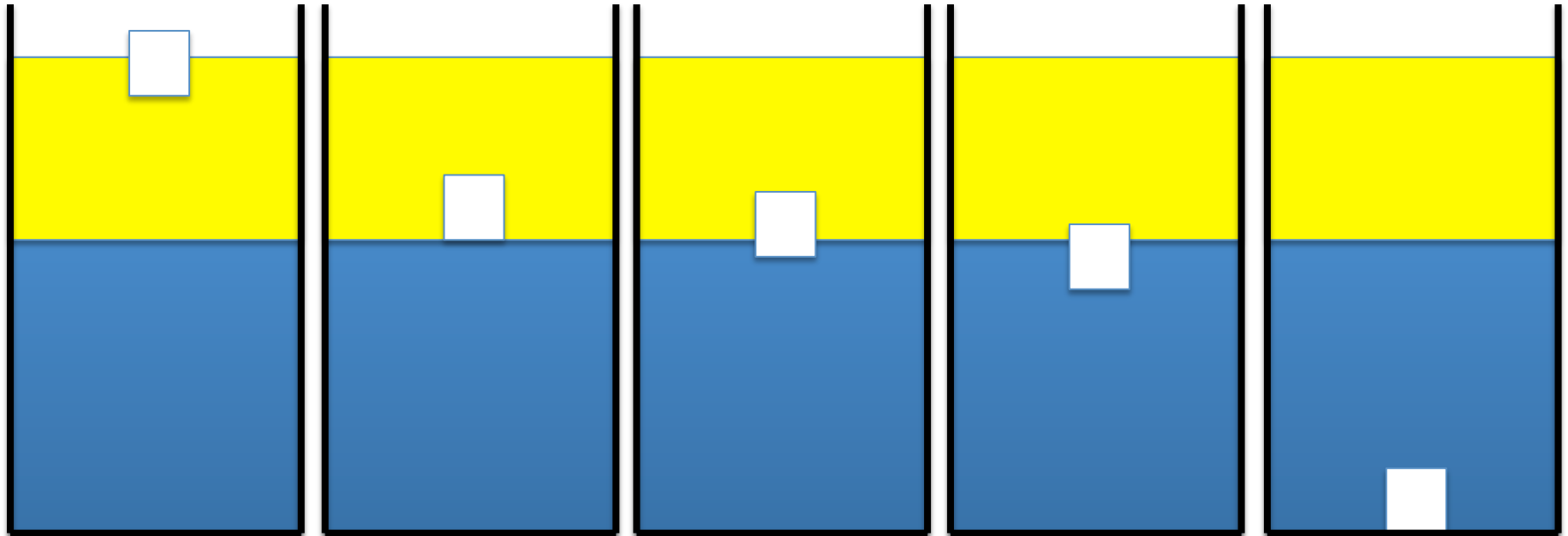
→ Les gnocchis ne sont pas forcément cuits lorsqu'ils flottent. Le diction est incorrect mais c'est un bon indicateur qui fonctionne dans la plupart des cas !



Interrogation surprise

On plonge un glaçon dans un verre contenant
fois de l'eau et de l'huile.

Que se passe-t-il ?



Interrogation surprise

On plonge un glaçon dans un verre contenant à la fois de l'eau et de l'huile.

Que se passe-t-il ?

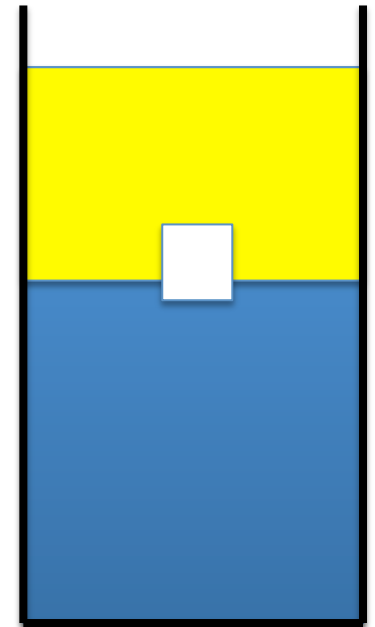
Densité de l'eau: 1

Densité de l'huile: 0.9

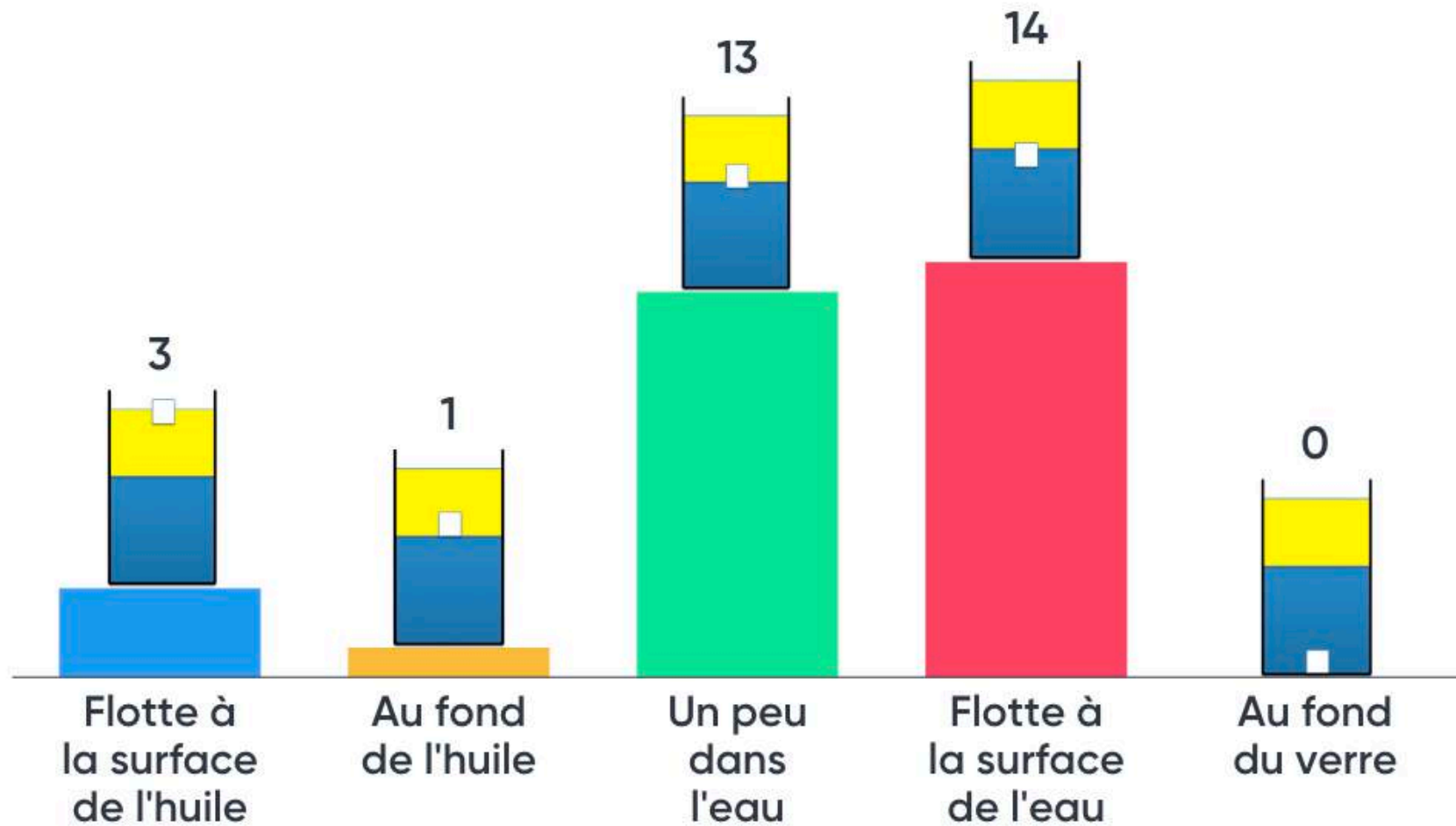
Densité de la glace: 0.917

Forces:

- Poids
- Poussée d'Archimède dans l'huile
- Poussée d'Archimède dans l'eau



Que se passe-t-il lorsque l'on plonge un glaçon dans un verre contenant à la fois de l'eau et de l'huile ?



Menu du jour

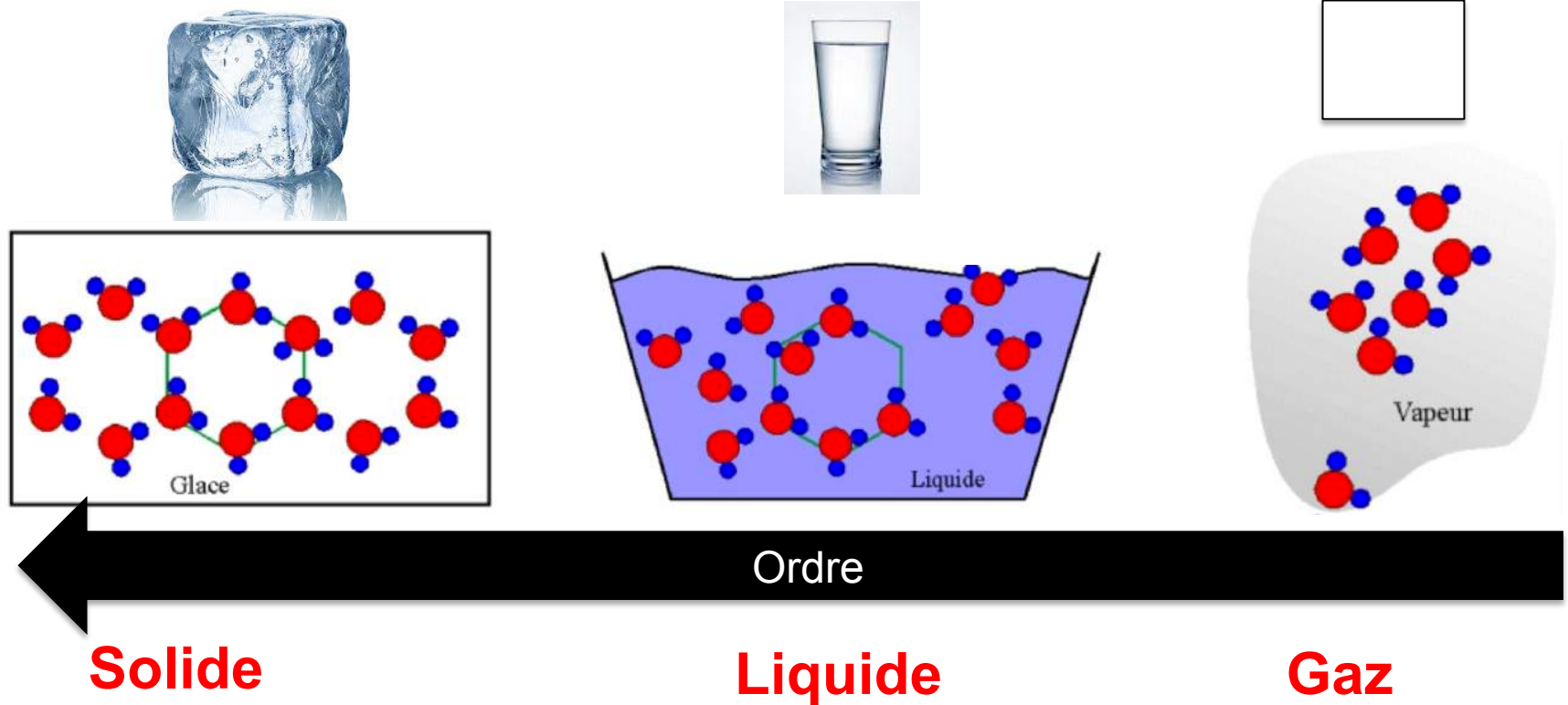


Question: *Quand la banquise fond, le niveau de la mer monte-t-il ?*

- ☐ **Les états de la matière**
- ☐ Les transitions entre états de la matière
- ☐ Applications
- ☐ Rajoutons un peu de sel ...
- ☐ ça pétille, ça mousse ...



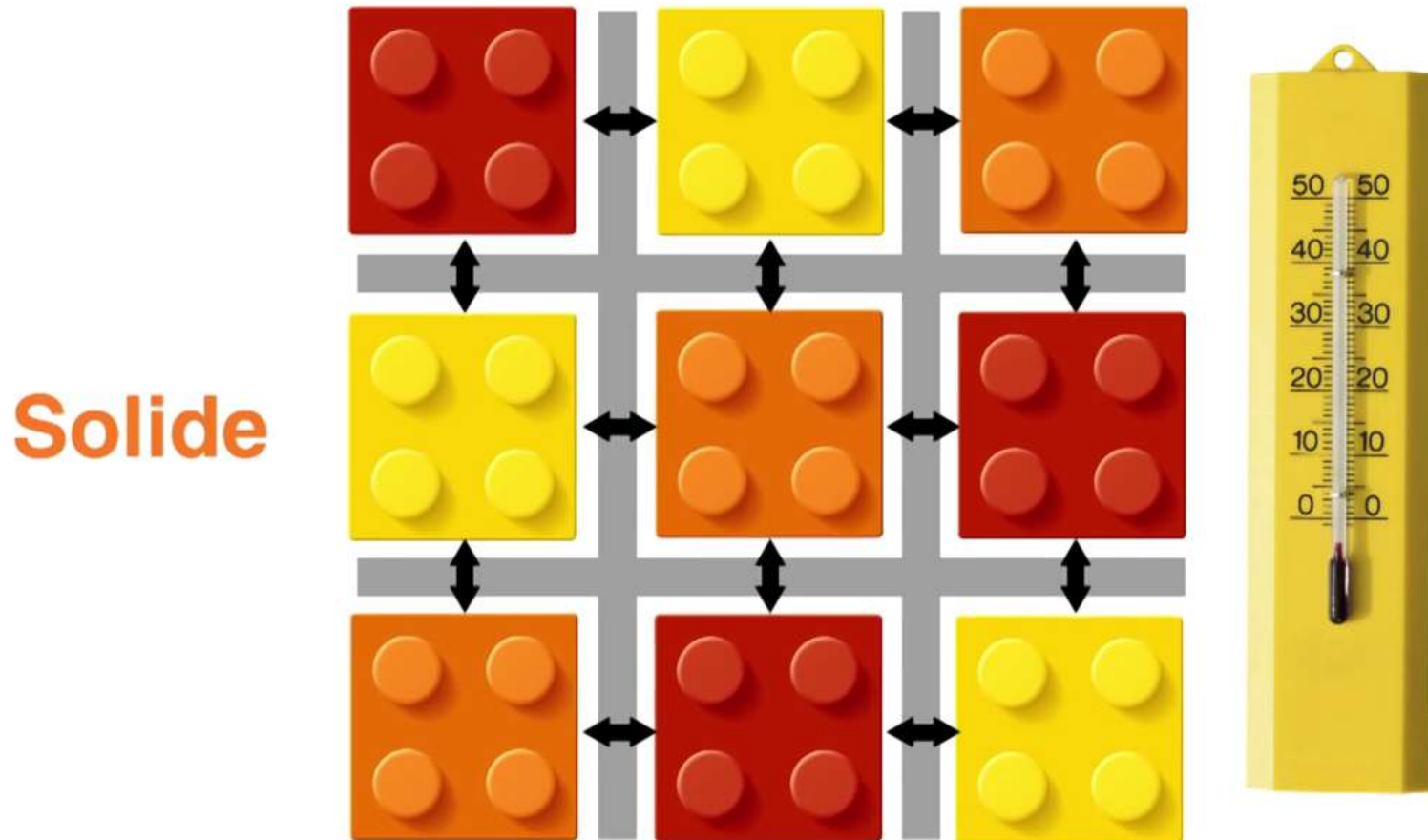
Zoom sur la matière



- Les interactions entre molécules
- La distance inter-molécules



Les états de la matière



<https://www.youtube.com/watch?v=rhYxwv3hCNk>

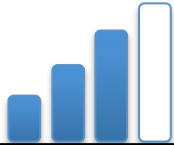
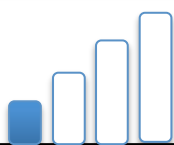


Les états de la matière

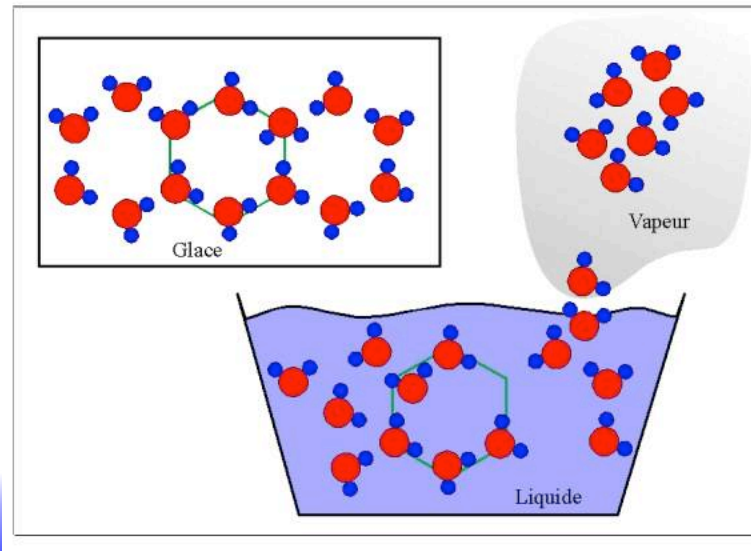
	Solide	Liquide	Gaz
Visuel	Dépend de sa composition (bulles d'air, minéraux, ...)  	Absorption: eau « bleue » en profondeur  Réfraction 	Invisible



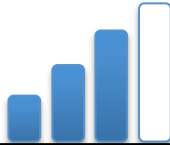
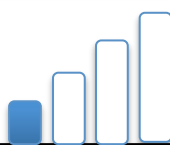
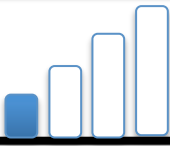
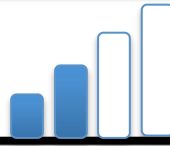
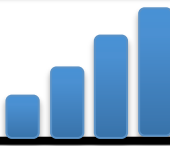
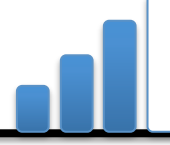
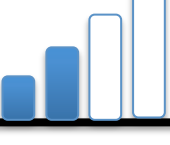
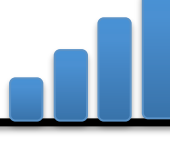
Les états de la matière

	Solide	Liquide	Gaz
Visuel	Transparence	Transparence	Invisible
Densité			

L'eau est une exception. En principe les solides sont plus denses que les liquides (pour un même composé)
Cela provient des liaisons hydrogènes



Les états de la matière

	Solide	Liquide	Gaz
Visuel	Transparence	Transparence	Invisible
Densité			
Compressibilité			
Conductivité thermique			
Conductivité électrique			



Menu du jour

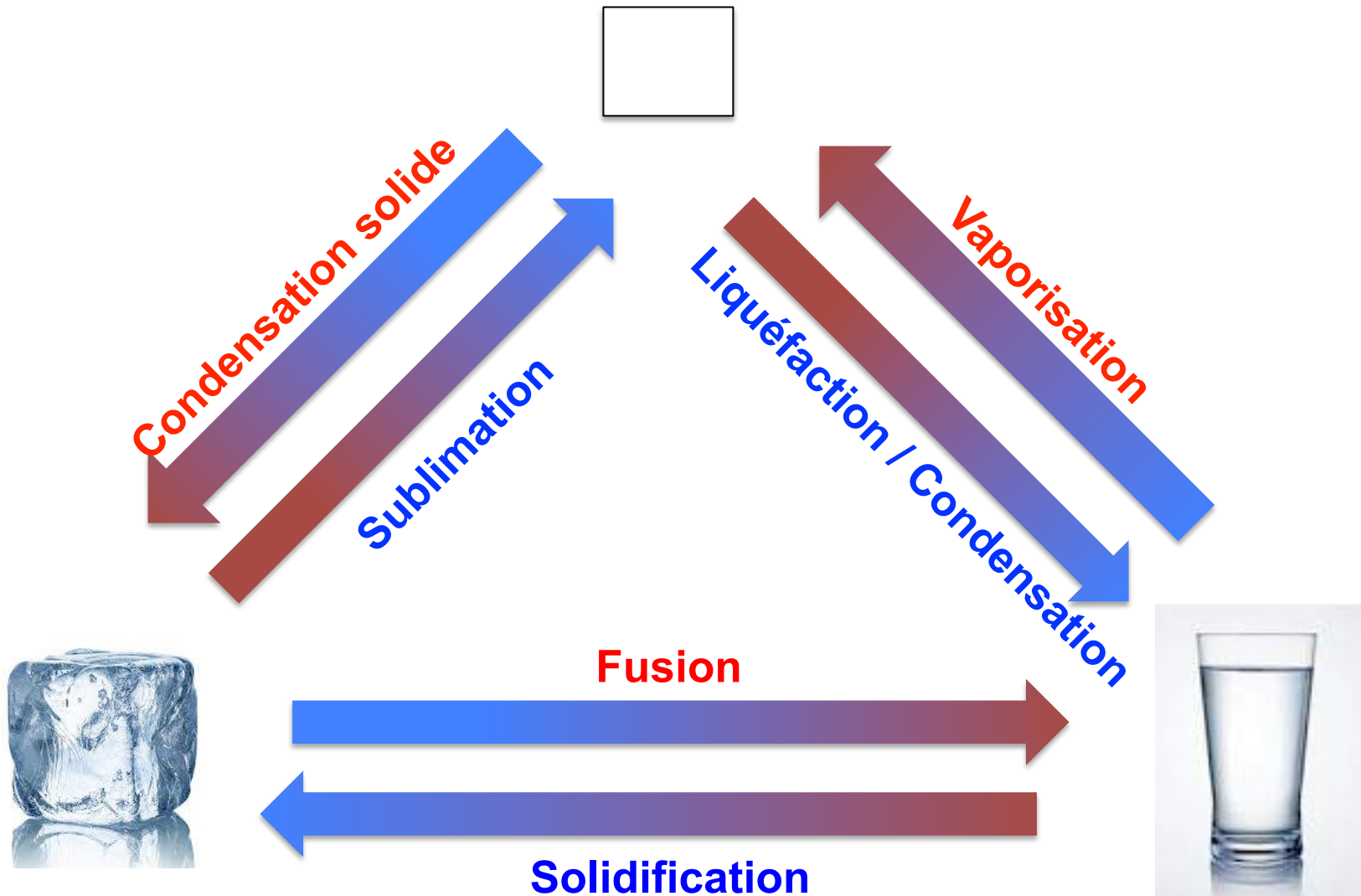


Question: *Quand la banquise fond, le niveau de la mer monte-t-il ?*

- ☐ Les états de la matière
- ☐ **Les transitions entre états de la matière**
- ☐ Applications
- ☐ Rajoutons un peu de sel ...
- ☐ ça pétille, ça mousse ...



Changements d'états



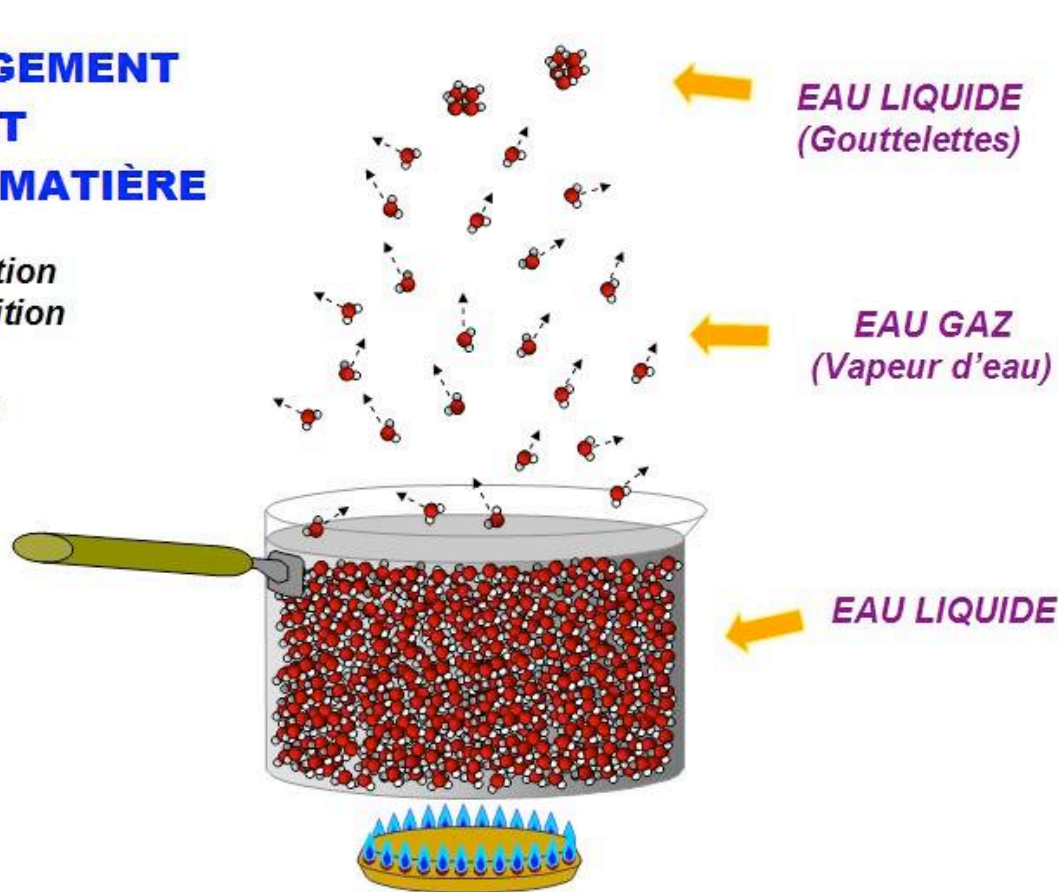
Qu'est-ce que la buée ?



Qu'est-ce que la buée ?

CHANGEMENT D'ÉTAT DE LA MATIÈRE

Vaporisation
par ébullition

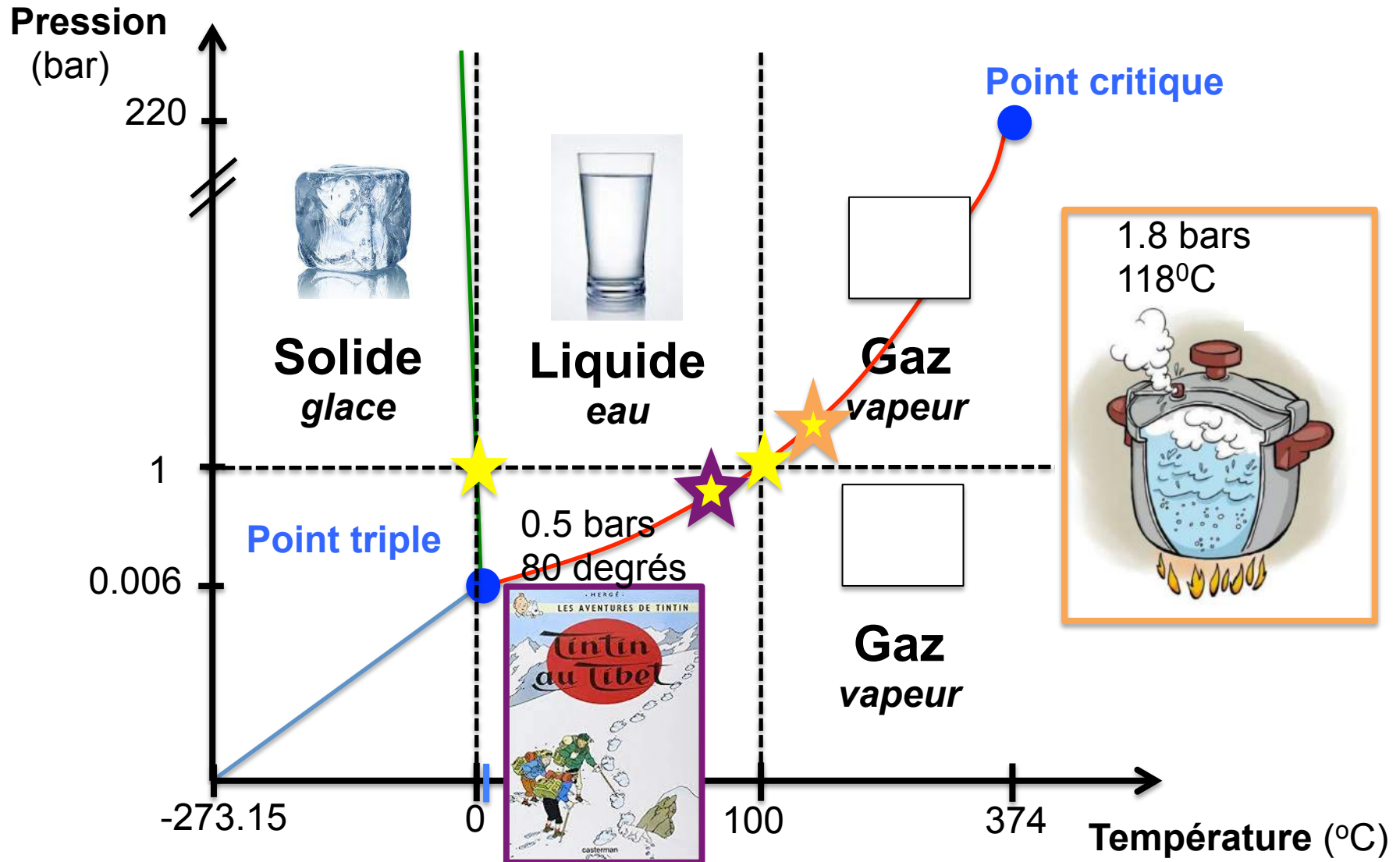


Température

Au contact de l'air froid ou d'une vitre **froide**, la **vapeur d'eau** (gaz *invisible*) va condenser et se transformer en gouttelettes d'eau liquide (grâce aux impuretés présentes)



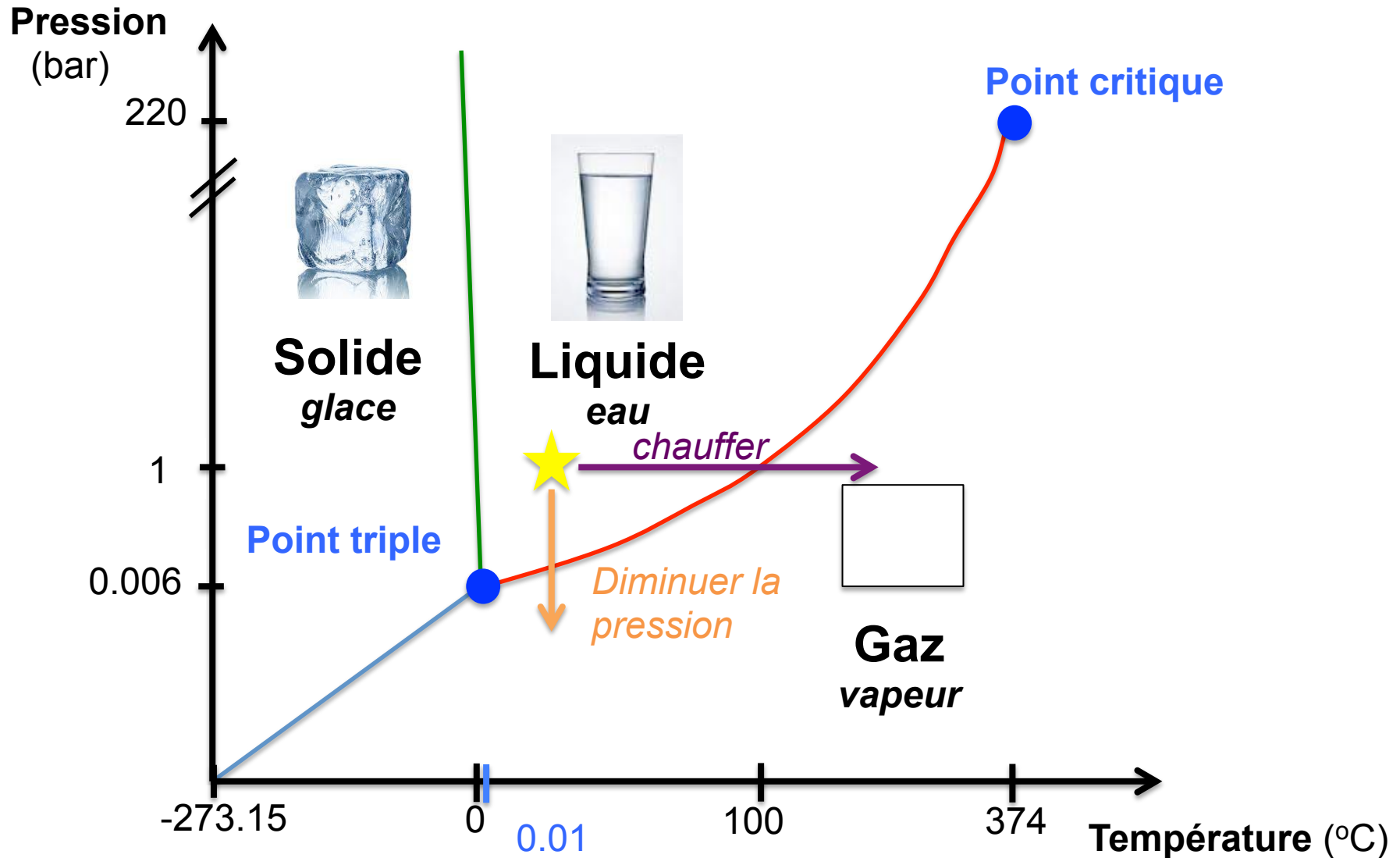
Les états de l'eau



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, viewed from behind. In the background, a large white rectangular screen is illuminated, displaying the text "Faites place au vide ...". The theater walls are dark, and the overall lighting is dim, focusing on the screen.

Faites place au vide ...

Les états de l'eau



L'eau qui bout



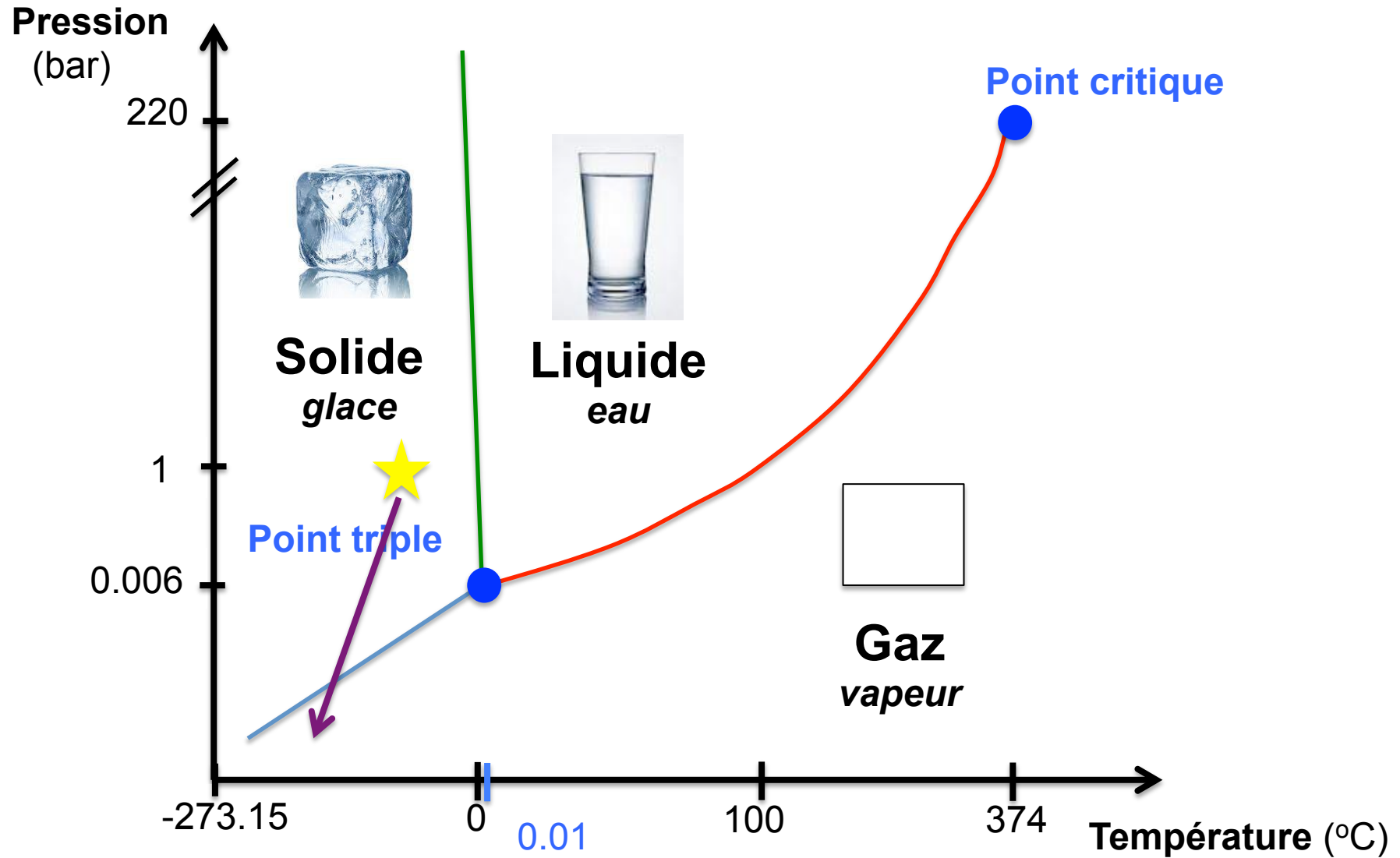
- Chaleur fournie par le fond
- Transition: formation de vapeur d'eau
- Le gaz moins dense remonte sous forme de bulles



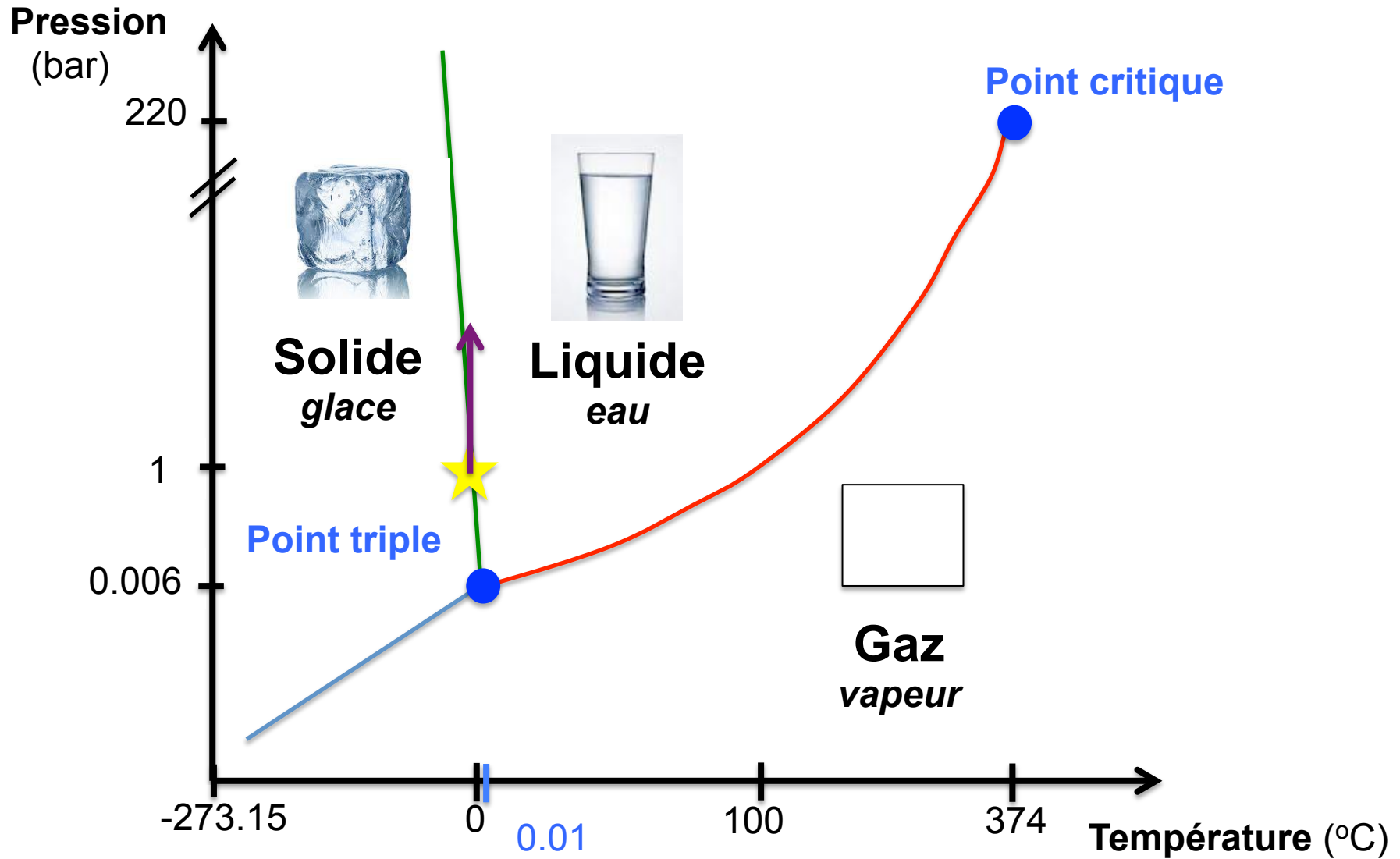
A photograph of a movie theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a white movie screen at the far end. The theater walls are dark, and the lighting is focused on the screen. The text on the screen is in a blue, sans-serif font.

Un astronaute laisse
échapper un glaçon à
l'extérieur de l'ISS !!!

Un glaçon dans l'espace ... sublime !



Compacter de la glace...



Tous les liquides ne gèlent pas 0°C

Température de solidification (à P_{atm})

Éthanol: -114°C

Huile d'olive: -3°C



Température d'évaporation (à P_{atm})

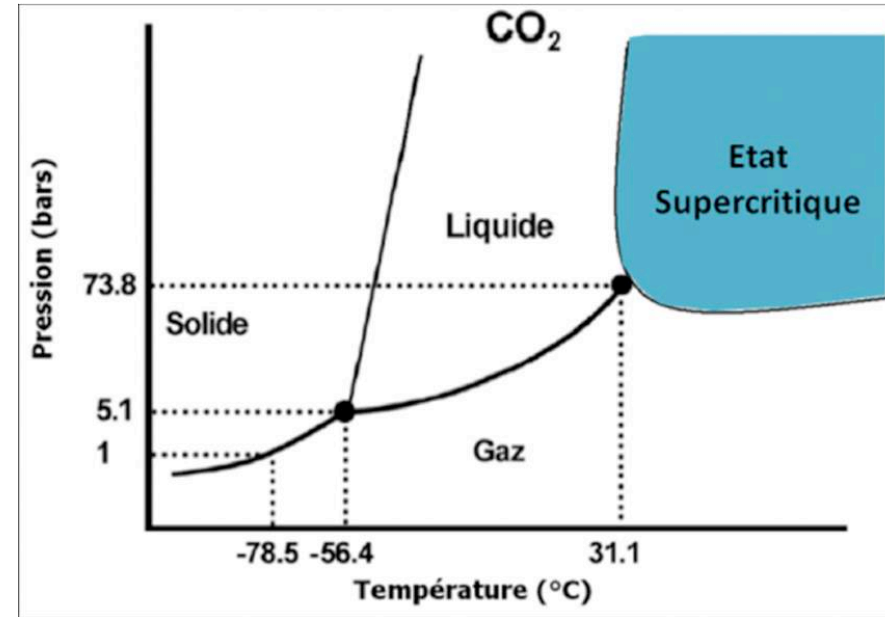
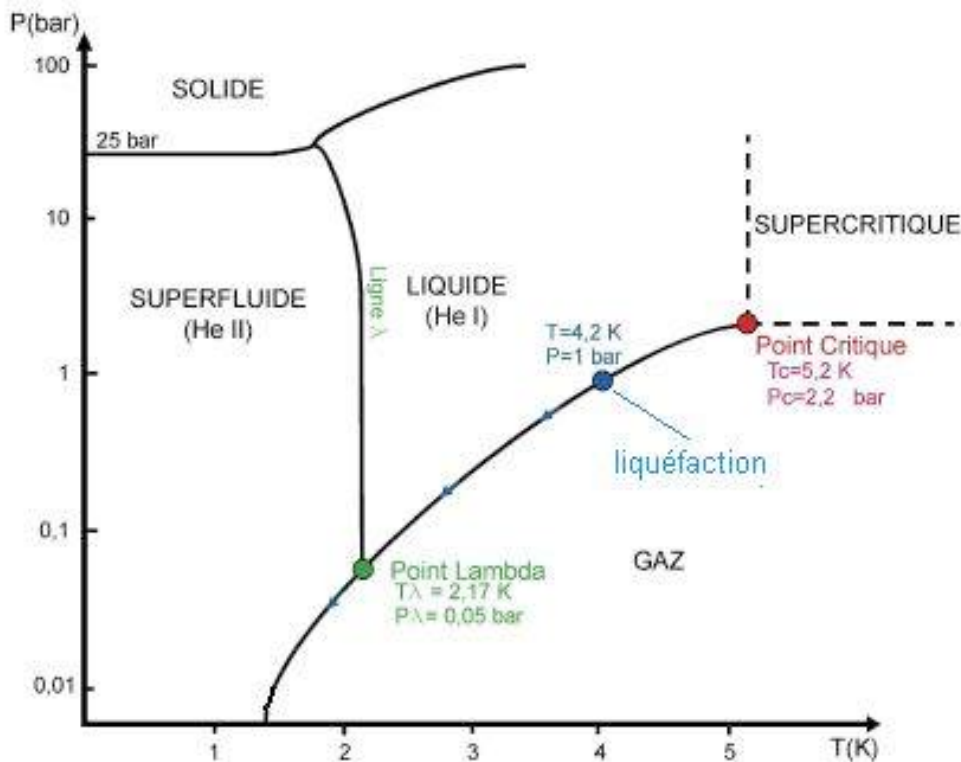
Éthanol: 79°C

Huile d'olive: 210°C



Autres composés

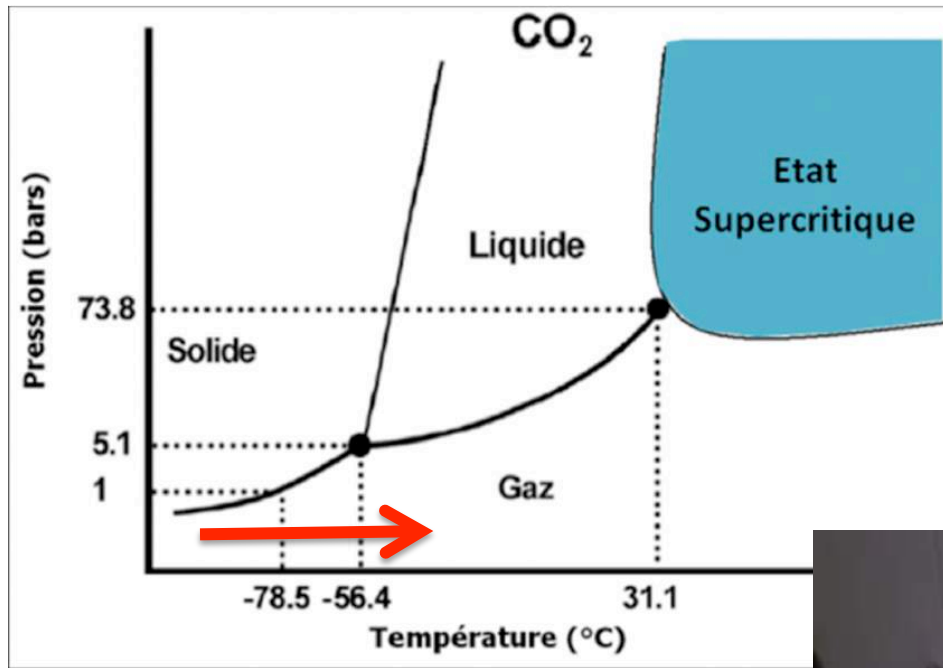
Hélium



CO_2



Epatez vos amis avec de la carboglace



CO_2



<https://www.youtube.com/watch?v=noM7U1QEPoo>



Cocktail avec carboglace



<https://www.youtube.com/watch?v=L9enlhc5mmA>



CQFR: *changements d'états*



- ❑ **Les états de la matière:** solide, liquide et gaz
- ❑ **Différences microscopiques**
Interactions entre atomes/molécules & structure
- ❑ **Différences macroscopiques:**
Densité, compressibilité, etc ...
- ❑ Les **changements d'états** dépendent de la **température** & de la **pression**
 - ➔ Possibilité de faire bouillir de l'eau à température ambiante
 - ➔ Possibilité d'avoir de l'eau à 110 °C
 - ➔ Les valeurs varient selon les composés
- ❑ Les changements d'états sont des transitions « abruptes »
- ❑ L'eau n'est pas un liquide – l'hélium n'est pas un gaz ... cela dépend des conditions environnementales



Menu du jour



Question: *Quand la banquise fond, le niveau de la mer monte-t-il ?*

- ☐ Les états de la matière
- ☐ Les transitions entre états de la matière
- ☐ **Applications**
- ☐ Rajoutons un peu de sel ...
- ☐ ça pétille, ça mousse ...



Les soufflés

Vision simplifiée ...



Le soufflé va gonfler parce que de l'eau qu'il contient (le lait ou les œufs) s'évapore

$$\text{Pression} \times \text{Volume} = n \times R \times \text{Température}$$
$$V = (n \times R \times T) / P$$

Prenons $n = 1$ mole soit **18 grammes d'eau**

$T = 100^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$

$P = \text{pression atmosphérique} = 101\,300 \text{ Pa}$

$R = 8.31 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol})$

→ $V = 0.03 \text{ m}^3 \rightarrow 30 \text{ L}$

→ L'évaporation d'1 gramme d'eau produit plus d'1.5 litre de vapeur d'eau

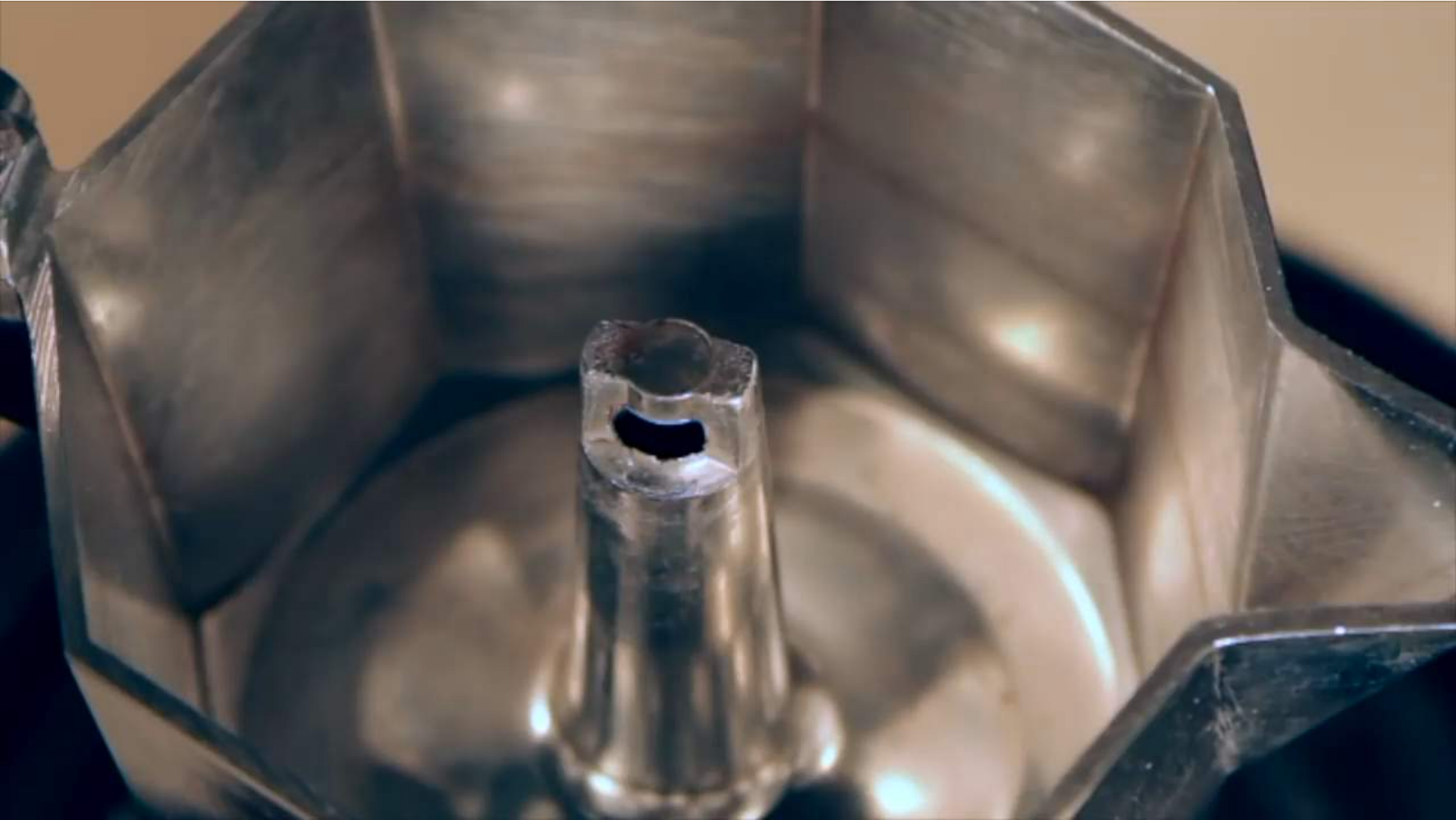
En réalité:

→ Une partie s'échappe sur les bords

→ Certaines "bulles" de vapeur "crèvent" la surface et s'échappent



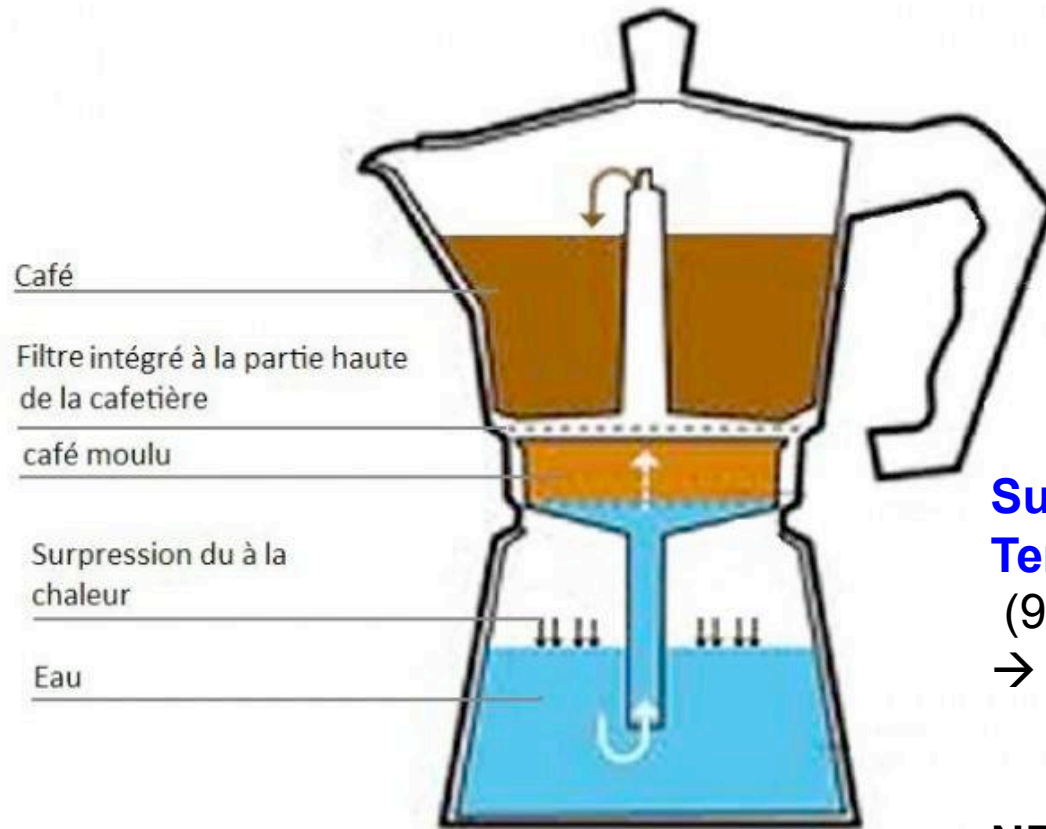
Cafetière italienne



<https://www.youtube.com/watch?v=aC0jdy5bdZw>



Cafetière italienne



Café Moka

Surpression: +3%
Température: ~ 100°C

(90% dans une machine à espresso)
→ Café un peu plus amer et plus chargé en caféine.

NB: attention à ne pas brûler le café
Possibilité de laisser le couvercle ouvert

Gianino C. Experimental analysis of the Italian coffee pot « moka »,
American Journal of Physics, 75, 43, 2007.



Menu du jour



Question: *Quand la banquise fond, le niveau de la mer monte-t-il ?*

- ☐ Les états de la matière
- ☐ Les transitions entre états de la matière
- ☐ Applications
- ☐ **Rajoutons un peu de sel ...**
- ☐ ça pétille, ça mousse ...



Dissous dans l'eau ...



Minéralisation caractéristique en mg/l			
Calcium	35	Bicarbonates	135
Magnésium	11	Sulfates	24
Sodium	3	Nitrite	0
Potassium	1	Nitrate	0
Fluor : 0,5 (par technique d'adsorption autorisée)			
Résidu sec à 180° : 155 mg/l – pH : 7,5			
Eau minérale naturelle : source Artésia.			
 Recommandée pour l'alimentation des nourrissons			

Sels & minéraux: 155 mg par litre



Ajoutons un peu de sel

On peut **dissoudre** du sel (NaCl) dans l'eau.

Les valeurs **maximales** sont:

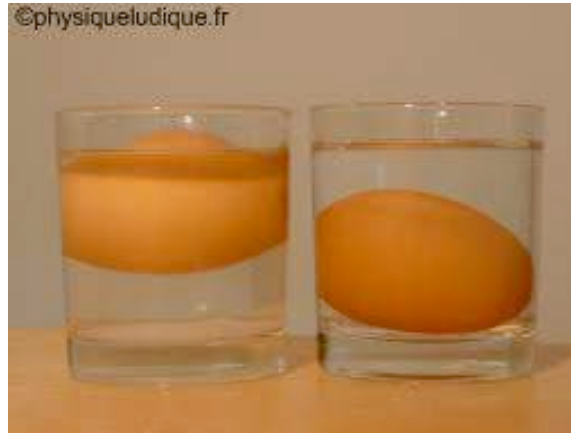
357 g à 0°C jusqu'à 391 g à 100°C

Cela va augmenter la **densité** (ou masse volumique) de ce liquide

→ **densité allant jusqu'à ~ 1.2**

Poussée d'Archimède

Puisque la poussée d'archimède dépend de la **densité** du liquide dans lequel le corps est plongé, alors cette force sera **augmentée**

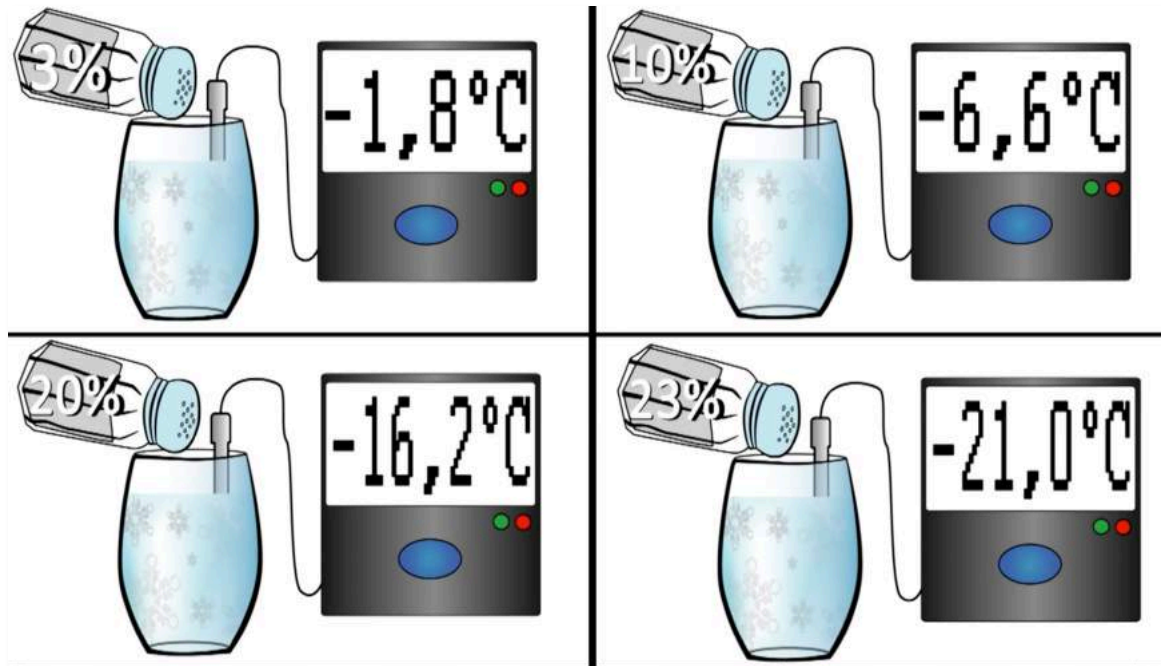


Ajoutons un peu de sel

Les changements d'états

La température de solidification de l'eau (eau → glace) dépend du pourcentage de sel

→ c'est pour cette raison que l'on épand du sel sur les routes en hiver afin d'éviter la formation de verglas



Saler l'eau permet-il de faire cuire les pâtes plus vite ?

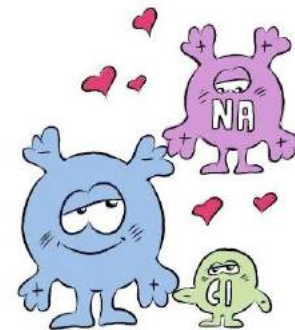
1- La vitesse à laquelle l'eau atteindra l'ébullition, dépend de ce que l'on appelle la **capacité thermique massique** (traité dans le prochain cours)
Cela dépend de la salinité de l'eau, les variations sont modestes : 8% pour 70 g/litre

→ La **différence de temps** pour atteindre la température d'ébullition est très **faible**.

2 – La température d'ébullition de l'eau dépend de sa salinité. Elle peut atteindre 101.5°C (70 g/l) – 100.6°C pour de l'eau de mer

→ Similitude avec l'objectif de la cocotte minute: augmenter la température

→ **Quantitativement faible**



Saler l'eau permet-il de faire cuire les pâtes plus vite ?

3 – Absorption de l'eau dans les pâtes (=cuisson) ne dépend pas (ou peu) de la salinité (étude sc.)

Dans la réalité, les cuisiniers ne mettent plutôt ~10 g/l.
→ Le gain en temps est tout à fait marginal

Intérêts:

- Empêcher les pâtes d'être collantes en limitant la gélatinisation de l'amidon en surface
- Le *goût* ...

Réponse: Non !



Menu du jour



Question: *Quand la banquise fond, le niveau de la mer monte-t-il ?*

- ☐ Les états de la matière
- ☐ Les transitions entre états de la matière
- ☐ Applications
- ☐ Rajoutons un peu de sel ...
- ☐ ça pétille, ça mousse ...



Interrogation surprise



A quoi correspondent les bulles qui se forment sur les parois du verre ?



 **Mentimeter**



Des gaz dans l'eau

Équilibre entre gaz et liquide.

→ Gaz dissous dans l'eau



On retrouve ~ 10 mg **d'oxygène** par litre d'eau

→ Permet aux poissons ... de respirer !

→ Environ 25 litres d'eau contiennent autant d'oxygène qu'1 litre d'air

On retrouve également du CO_2

→ L'océan est un régulateur de la teneur en CO_2 de l'atmosphère.

→ Impact sur le pH (acidité)

On retrouve d'autres gaz: azote, ...

Les concentrations diminuent quand la température et la salinité augmentent.



Des bulles dans l'eau



Solubilité de l'oxygène dans l'eau

5°C - 13 mg/L,
10°C - 11 mg/L
50°C - 5,5 mg/L
80°C - 2,8 mg/L

L'eau froid issu du frigo ou du robinet
se réchauffe dans la pièce

→ **Dégazage**

De manière similaire des bulles se forment
au fond de la casserole qui chauffe avant
d'atteindre l'ébullition

→ **Dégazage**



La bière



Pression d'environ 2 bars

→ Augmente avec la température

CO₂ dissous: environ 5 g/l

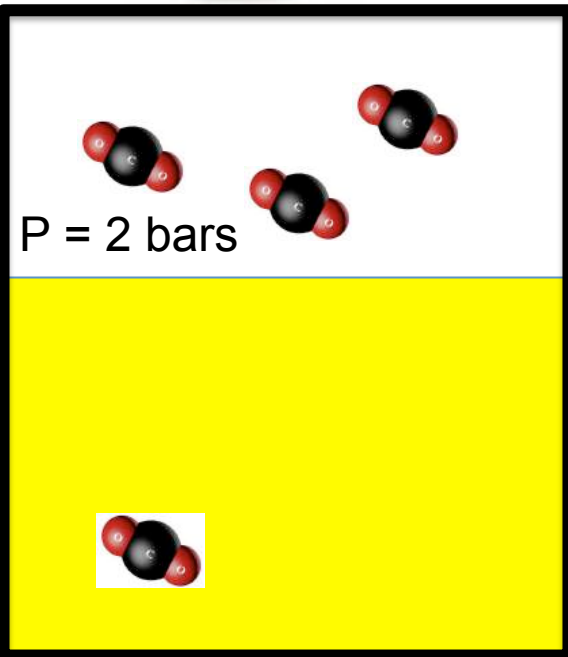
Loi de Henry

“À température constante, la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle qu'exerce ce gaz sur le liquide”,

Ouverture de la bouteille

→ Diminution de la pression

→ CO₂ dissout retourne à l'état gazeux: bulles,.



La bière



Pression d'environ 2 bars

→ Augmente avec la température

CO₂ dissous: environ 5 g/l

Loi de Henry

“À température constante, la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle qu'exerce ce gaz sur le liquide”,

P = 1 bar



Ouverture de la bouteille

→ Diminution de la pression

→ CO₂ dissout retourne à l'état gazeux: bulles,.



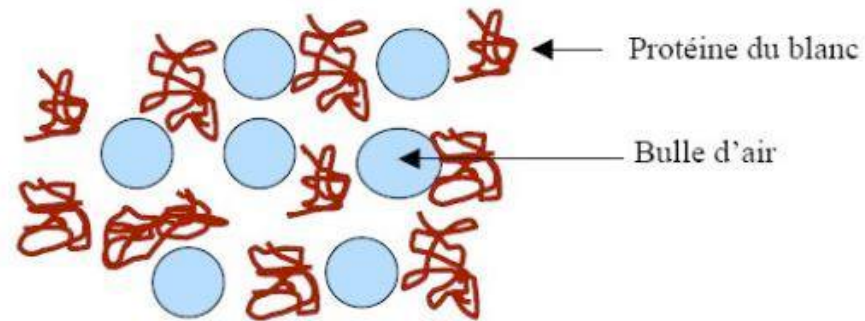
Les blancs en neige

Blanc d'œufs:

- 90 % d'eau.
- 10% de **protéines** dont l'ovalbumine (tensioactif)



On monte les blancs en neige en introduisant de l'**air** (fouet, batteur ...)



- Structure tenue grâce aux **protéines**
- Couleur blanche due aux bulles d'air
- Diminution de la masse volumique



“Comme le lait sur le feu”

Lait riche en **protéines**

- s'agglutinent et monte à la surface,
- forment une peau

Les graisses s'accumulent sous cette pellicule

- Augmente l'épaisseur



Les bulles de vapeur créées par l'ébullition du lait

- une mousse se forme à sa surface
- provoque le débordement



Anti monte lait:

- placé au fond de la casserole
- bulles arrêtées et rassemblées en plus grosses bulles.
- les grosse bulles déstabilisent l'anti-monte lait et finissent par atteindre la surface (son !)



La cocotte minute

Vapeur d'eau sous pression
(diamètre 22 cm)

→ **Pression de 1.8 bars**

→ **Force de 1.3 tonnes**

Eau chaude (3 litres)

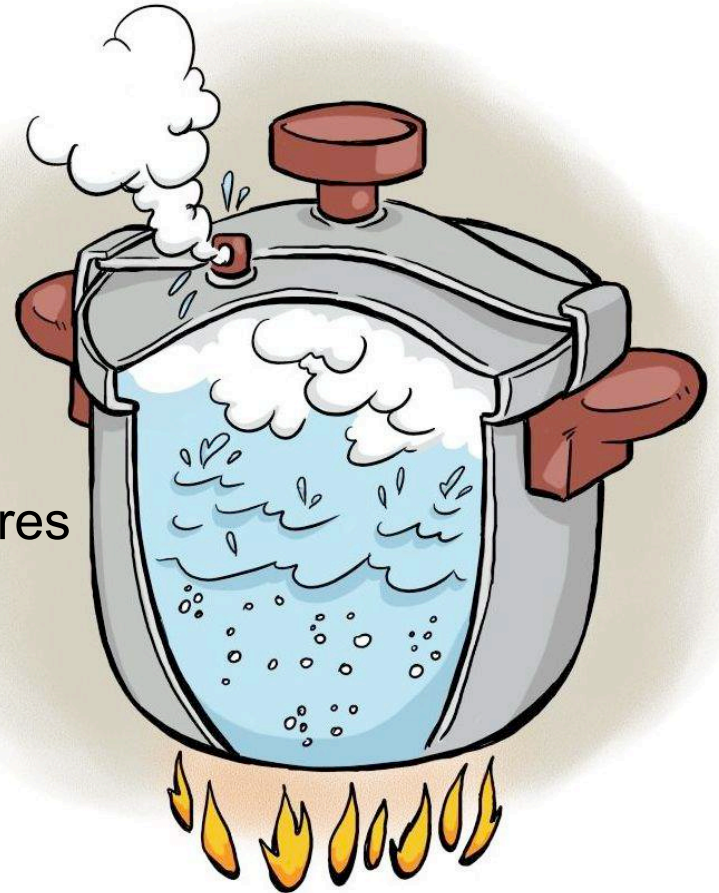
→ **Température de 118°C**

→ **Energie de 720 kJoules**

Soulever un éléphant de 5 tonnes sur 14 mètres

L'eau est présente sous plusieurs
états: liquide et gaz

→ **les transitions dépendent de la
température et de la pression !!**



Ce qu'il fallait retenir



❑ La poussée d'Archimède

- ✓ S'applique aussi bien dans l'eau que dans l'air
- ✓ S'applique à tout corps plongé **partiellement ou en totalité**
- ✓ **Origine**: la pression dans un fluide qui dépend de la « hauteur »

❑ Les états de la matière

- ✓ Différences microscopiques: **interactions** (liaisons) & structure
- ✓ Différences macroscopiques très nombreuses

❑ Les changements d'états

- ✓ Dépendent de la température & de la pression
- ✓ Dépendent du composé (eau, CO_2 , etc ...)
- ✓ Pour l'eau, cela dépend également de la salinité

❑ Équilibre liquide / gaz:

- ✓ La quantité de gaz dissous de la pression (loi de Henry)



Ce qu'il fallait retenir



Ça bulle ...



Ça mousse...



Ça gonfle...



Ça flotte...



Prochaine séance

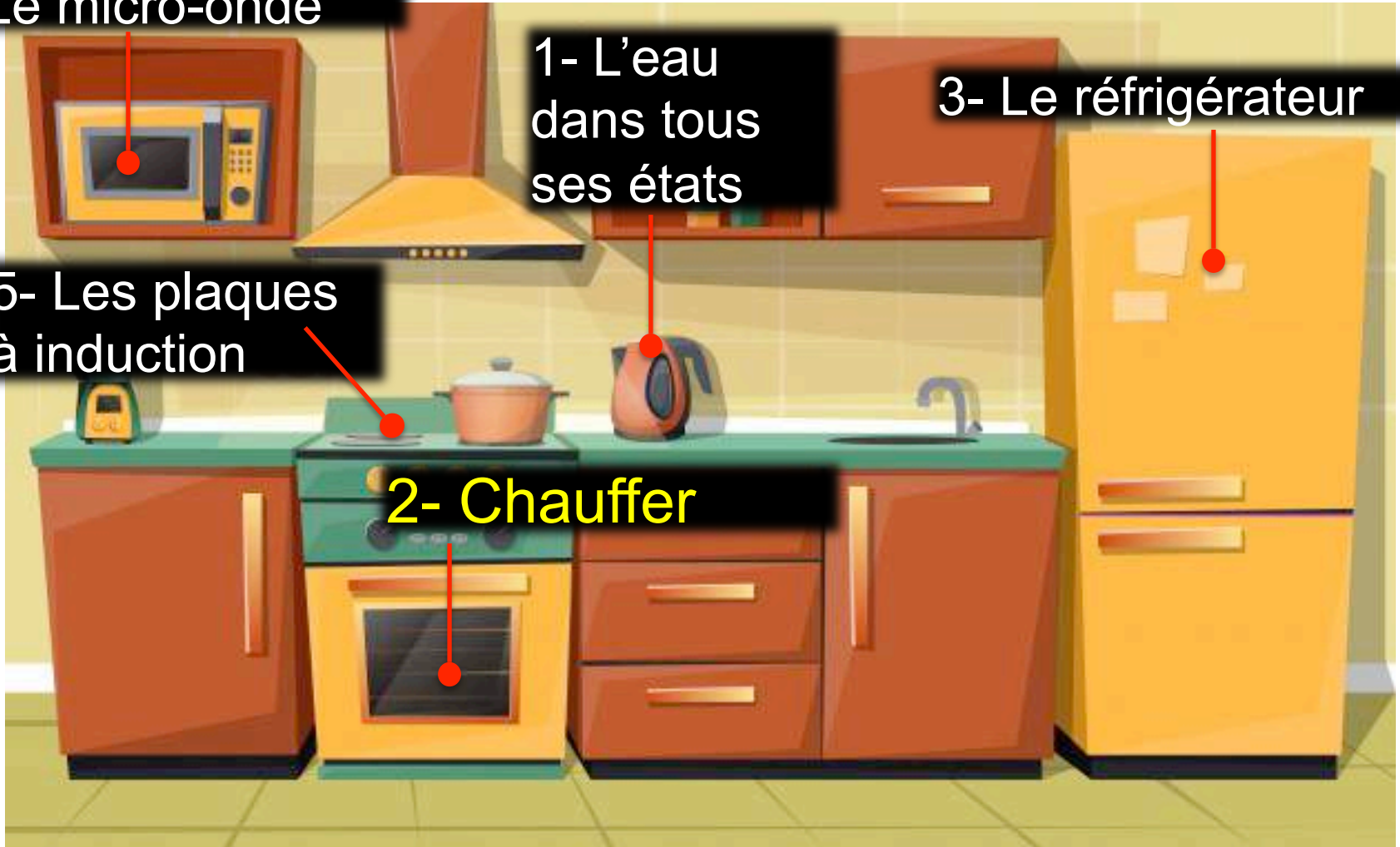
4- Le micro-onde

1- L'eau
dans tous
ses états

3- Le réfrigérateur

5- Les plaques
à induction

2- Chauffer



Parlez-en à vos amis ...

Site web: <http://physiquepourtous.unistra.fr/>

Mail: physiquepourtous@unistra.fr

Facebook: <https://www.facebook.com/physiquepourtous67>



Merci à François Stuber, Marc-Olivier Hunzinger, Eric Baussan, Thierry Pradier et tous les autres collègues de Physique pour Tous !



Bibliographie

- ✓ En avant la physique ! *42 phénomènes du quotidien déchiffré*
J.M. Courty – E.Kierlik | Edition Belin
- ✓ La physique par les objets quotidiens
C. Ray – J.C. Poizat | Edition Belin
- ✓ Vous avez dit physique ? De la cuisine au salon,
de la physique partout dans la maison
K. Fadel – Edition Dunod
- ✓ Toute la physique dans un verre d'eau
C. Santamaria – Edition Ellipes
- ✓ [Unisciel: physique à main levée](#)
- ✓ [Unisciel: Kezako](#)
- ✓ [France TV: C'est pas sorcier](#)
- ✓ [France TV: On est pas que des cobayes](#)

Youtube.fr/ScienceClic

