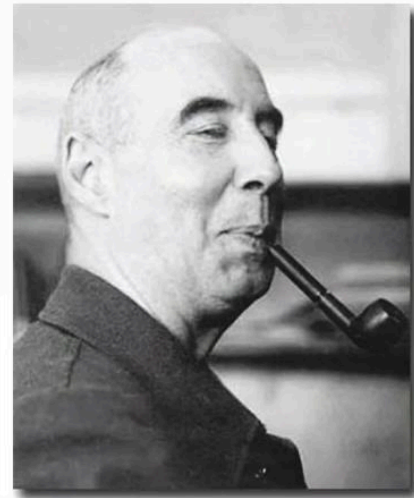


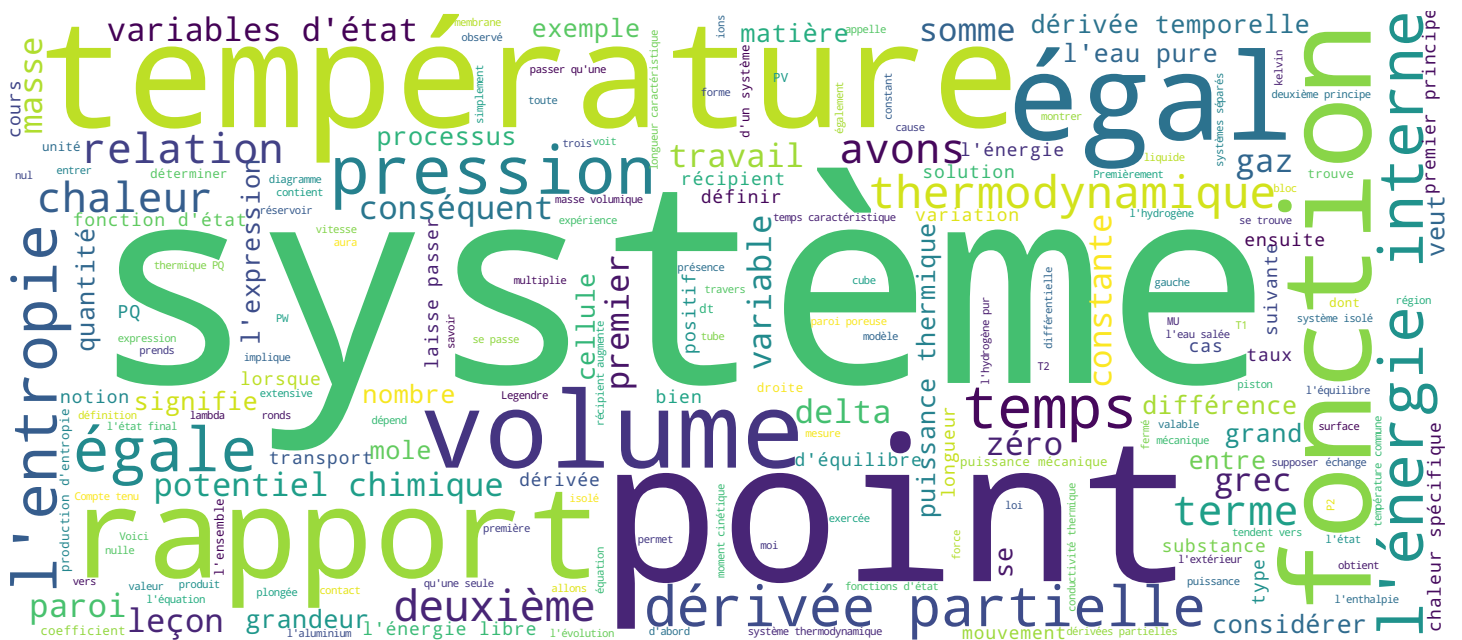
Thermodynamique

Expériences : Sous-systèmes simples

Prof. Jean-Philippe Ansermet



Stückelberg



Search MOOC



Video





● Paroi diatherme

● Paroi poreuse :

● Gaz

● Liquide

Thermodynamique

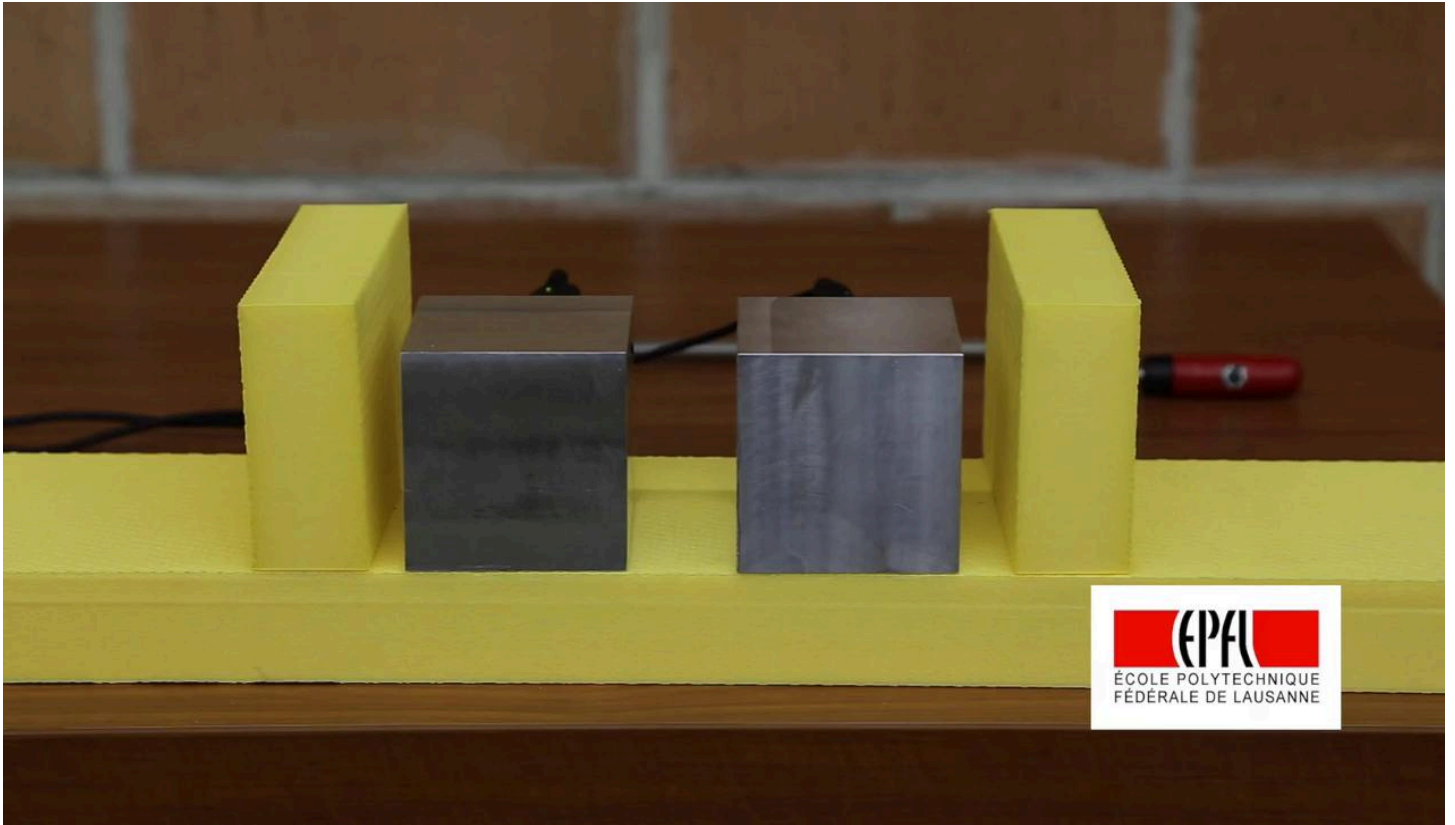
Me voici à nouveau pour vous présenter quelques expériences dans cette leçon. Vous avez vu des échanges thermiques entre des sous systèmes séparés par une paroi due à terme ? Ici, je vais vous montrer un système concret qu'on peut interpréter avec ce modèle. Dans cette même leçon. Vous avez vu les transports de matières ? Ici, on va regarder un transport de matières entre deux sous systèmes séparés par une paroi qui ne laisse passer qu'une seule des substances en présence.

Notes

Summary



0m 05s

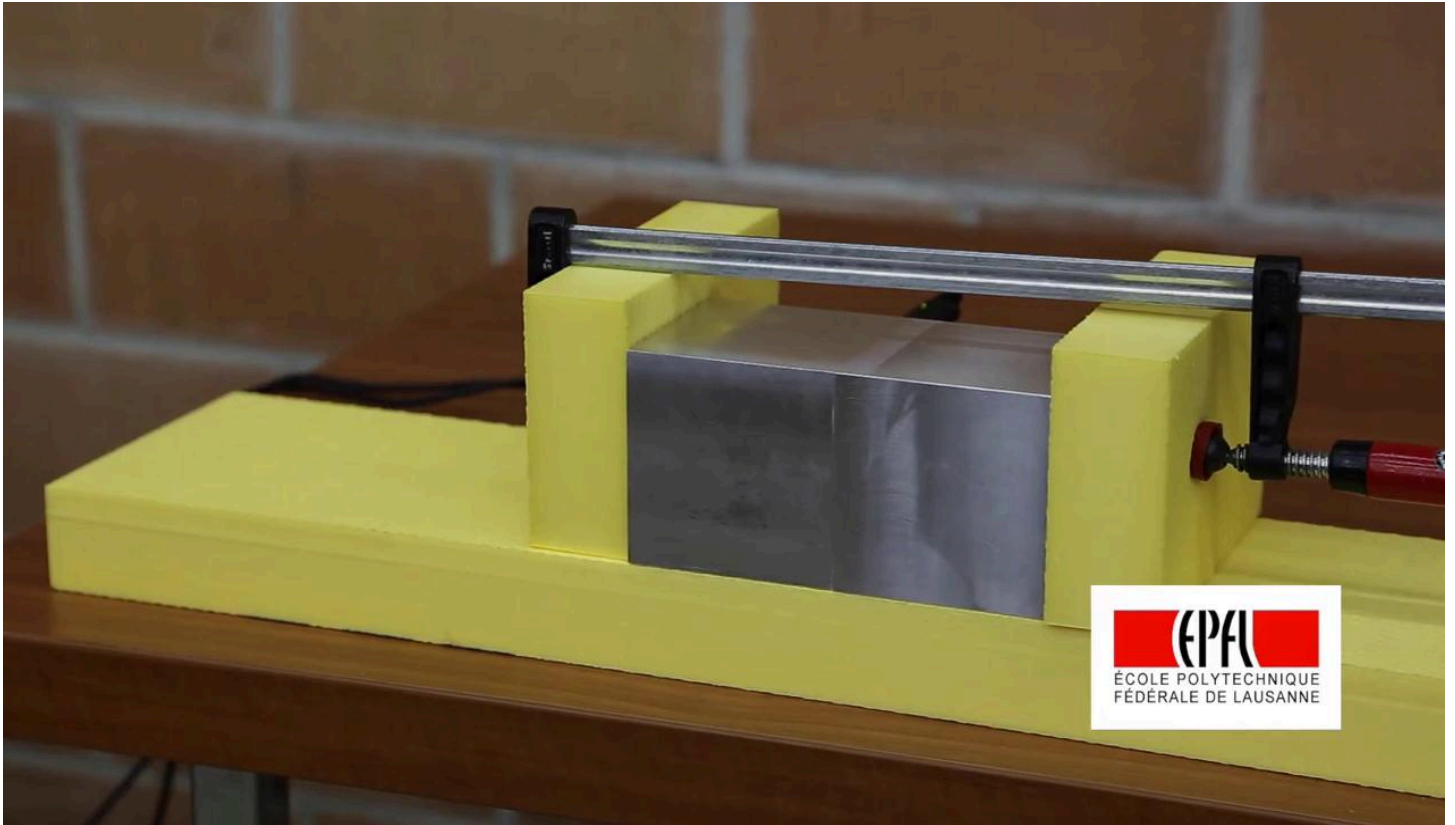


On commence avec. Deux sous systèmes qui sont en contact thermique et qui tendent vers un équilibre thermique. Nous avons ici deux blocs d'aluminium identiques. Chacun est muni d'un thermomètre situé à l'arrière du bloc, sur l'échelle de temps de la mesure.

[illegible]

Summary





Les blocs ne changent pas de température lorsqu'ils sont séparés.
Mettant mettons les deux blocs ensemble.

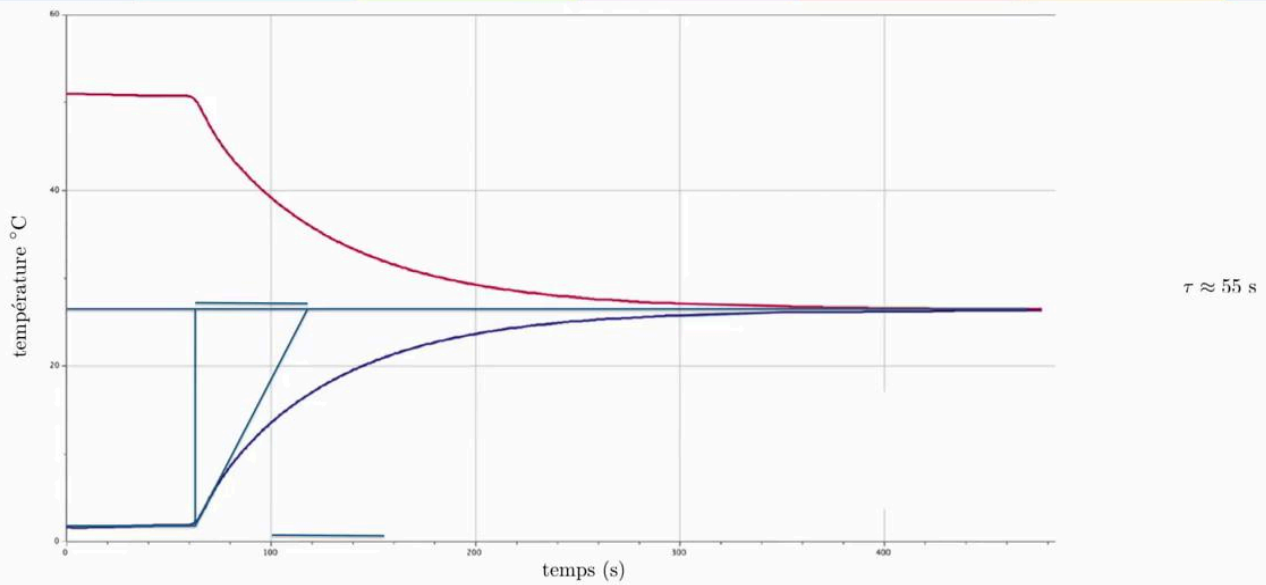
Notes

Summary

1m 02s



Contact thermique



Thermodynamique

Les deux températures évoluent maintenant vers une température commune. Voici le résultat obtenu. On va admettre qu'on a une décroissance exponentielle. On utilise alors la pente à l'origine pour déterminer la constante de temps de l'exponentielle. Je trouve un temps qu'on va noter trop de 55 secondes.

Notes

Summary

1m 14s





$$U = U_1 + U_2 \quad \dot{U} = 0$$

$$\dot{U}_1 = P_Q^{(21)} = \frac{\kappa A}{\ell} (T_2 - T_1)$$

$$\dot{U}_2 = P_Q^{(12)} = \frac{\kappa A}{\ell} (T_1 - T_2)$$

Equation d'état pour chaque bloc (voir leçon 5)

$$\dot{U}_1 = C_V \dot{T}_1 \quad \dot{U}_2 = C_V \dot{T}_2$$

Thermodynamique

Reprenant l'analyse, comme vous l'avez vu dans cette leçon. On va supposer que l'énergie interne totale est constante. Faisant cela, on suppose que chaque bloc séparément a un échange thermique négligeable avec l'environnement. On a vu dans cette leçon cette loi qu'on applique ici au sous système et au sous système de qui nous donnent la puissance thermique en fonction de la différence de température. Pour des raisons qui deviendront claires. La. Dans la troisième partie du cours, on a noté le coefficient de proportionnalité avec l'aire de contact, parce qu'évidemment, plus le contact est grand, meilleur est le plus grand de la puissance. On a utilisé la conductivité thermique qui est une propriété tabulaire du matériau, et l'analyse dimensionnelle nous dit qu'il faut encore diviser par une certaine longueur et on s'attend à ce que cette longueur soit une longueur caractéristique du système. Pour poursuivre l'analyse, il nous faut encore. Une relation d'État qui lie l'énergie interne à la température. Je vous donne cette relation là. Voici. Ou c_v est appelé la chaleur spécifique. C'est une notion que vous verrez en détail dans le 105. Avec ces deux relations d'État et les relations phénoménologiques.

Notes

Summary



1m 55s



$$U = U_1 + U_2 \quad \dot{U} = 0$$

$$\dot{U}_1 = P_Q^{(21)} = \frac{\kappa A}{\ell} (T_2 - T_1)$$

$$\dot{U}_2 = P_Q^{(12)} = \frac{\kappa A}{\ell} (T_1 - T_2)$$

Equation d'état pour chaque bloc (voir leçon 5)

$$\dot{U}_1 = C_V \dot{T}_1 \quad \dot{U}_2 = C_V \dot{T}_2$$

$$\dot{T}_1 = \frac{\kappa A}{\ell C_V} (T_2 - T_1)$$

$$\dot{T}_2 = \frac{\kappa A}{\ell C_V} (T_1 - T_2)$$

$$\dot{T}_1 - \dot{T}_2 = -\frac{2\kappa A}{\ell C_V} (T_1 - T_2) \quad \tau = \frac{\ell C_V}{2\kappa A}$$

$$\Delta T(t) = \Delta T(o) \exp(-t/\tau)$$

Thermodynamique

Pour la puissance thermique, on peut écrire les équations d'évolution pour la température. On en déduit une équation d'évolution très simple pour la différence de température. Le coefficient qui apparaît ici à des unités de un sur un temps, donc on va définir notre temps caractéristique comme ceci. Et la solution de cette équation différentielle pour la différence de température est simplement une exponentielle dans le temps caractéristique. Et justement le temps τ .

Notes

Summary



3m 33s



$$\tau = \frac{\ell C_V}{2\kappa A} \quad \tau \approx 55 \text{ s}$$

dimension du cube : d

chaleur spécifique par unité de masse : c_V

$$A = d^2 \quad m = \rho d^3 \quad C_V = mc_V$$

$$\kappa \approx 100 \text{ W / (m K)}$$

$$c_V \approx 0.9 \text{ J / (g K)}$$

$$d \approx 79 \text{ mm}$$

$$\rho \approx 2700 \text{ kg / m}^3$$

$$\ell \approx 5 \text{ cm}$$

Thermodynamique

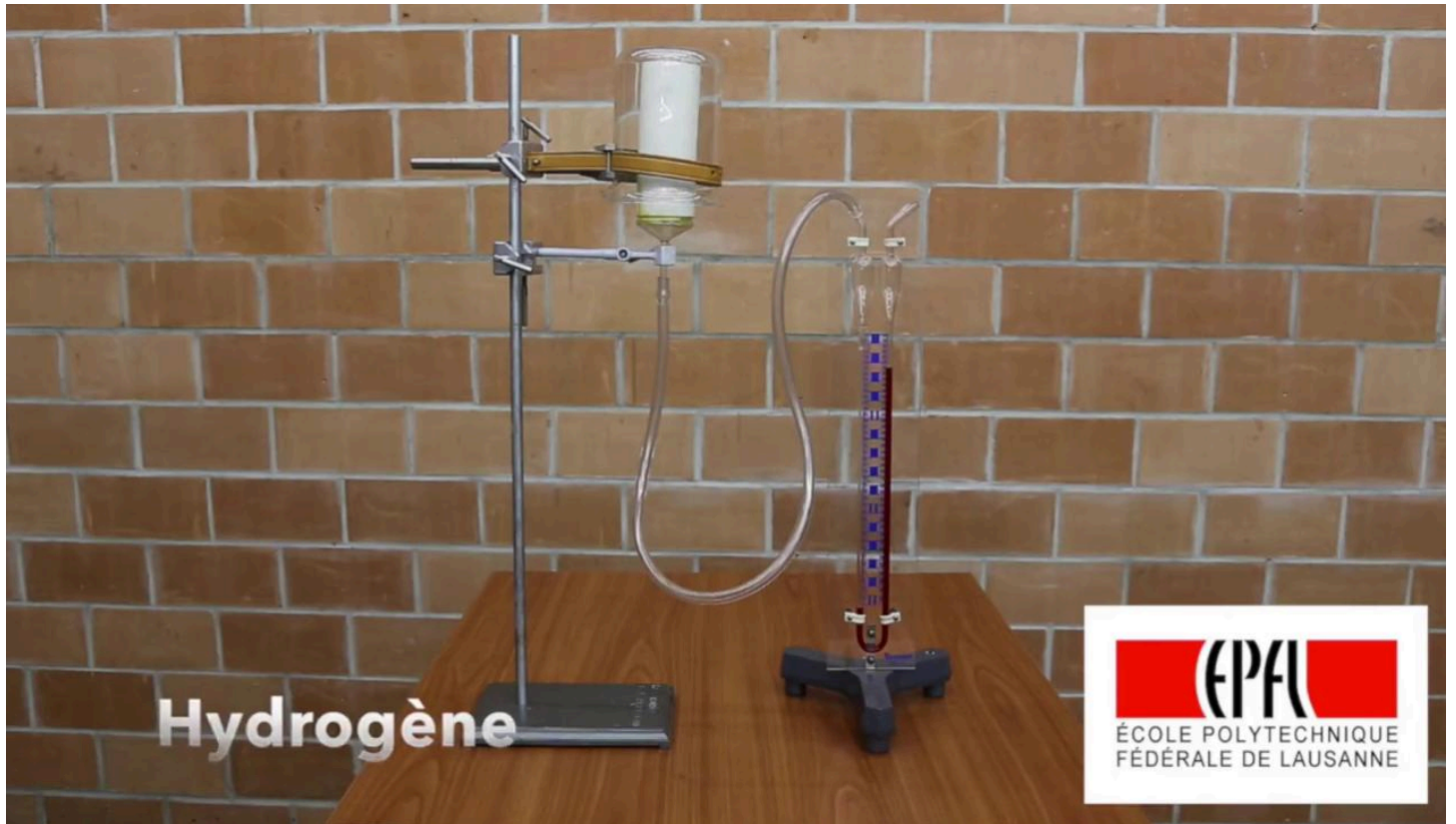
Je résume l'expérience nous a donné un temps caractéristique de 55 secondes et notre modèle nous donne ce temps en fonction des paramètres du système. Si maintenant je désigne par la longueur de l'arête du cube. Je prends la chaleur spécifique par unité de masse parce que c'est souvent ce qu'on trouve dans les tables. L'air s'est déclaré. La masse du cube, c'est sa masse volumique, soit son volume, et le grand c_V c'est la masse fois la chaleur spécifique par unité de masse. Je prends des valeurs typiques pour l'aluminium une conductivité thermique de 100 watt par mètre par Kelvin, une chaleur spécifique de zéro neuf joule par gramme et par kelvin. L'arrête faisait septante neuf millimètres. Et la masse volumique de l'aluminium, c'est 2700 kilos par mètre cube. Avec ces valeurs là, je trouve pour la longueur caractéristique elle cinq cm. C'est de l'ordre de grandeur des dimensions du système. Donc c'est tout à fait raisonnable.

Notes

Summary



4m 08s



Hydrogène



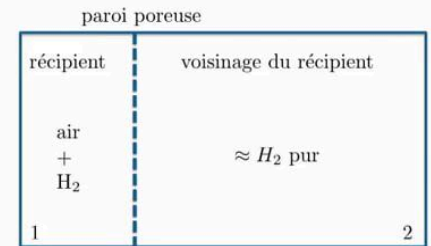
Passons maintenant à des expériences avec un transport de matière commençant par un gaz. Nous avons ici un récipient dont les parois sont poreuses. Ces parois laissent passer l'air, mais très lentement. En revanche, l'hydrogène passe rapidement à travers les parois. Observant ce qui se passe, la pression dans le récipient augmente lorsqu'on expose le récipient à de l'hydrogène. Cela veut dire que l'hydrogène est entré dans le récipient.

Notes

Summary

5m 27s





Température : la même partout

Approximation :
l'air ne diffuse pas à travers la paroi

$$\dot{N}_1 = F \frac{A}{\ell} (\mu_2 - \mu_1)$$

1 = récipient à paroi poreuse

$$p \nearrow \Rightarrow \dot{N}_1 \geq 0 \Rightarrow \mu_2 > \mu_1$$

le potentiel chimique de l'hydrogène dilué
est plus petit que celui de l'hydrogène pur

Thermodynamique

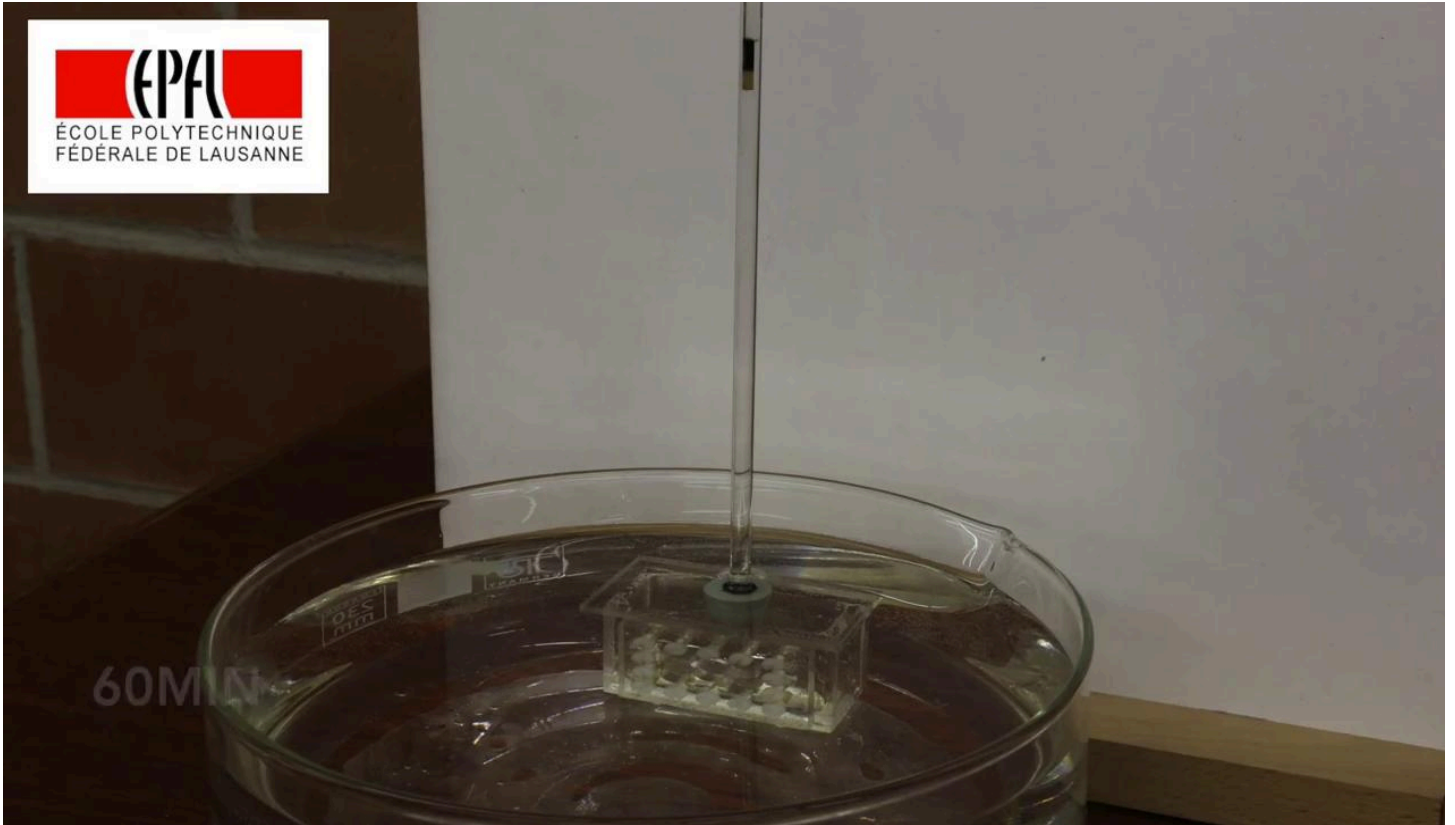
Voici comment modéliser ce système. On va considérer qu'on a un récipient avec une paroi poreuse et le voisinage immédiat de cette paroi poreuse. Ça va être notre deuxième sous système. A l'extérieur du récipient, on va supposer qu'on a de l'hydrogène pur à l'intérieur. On a le mélange. La température ne joue pas de rôle ici. On va supposer qu'elle est uniforme. Et on va faire l'approximation selon laquelle l'air ne peut pas du tout passer à travers la paroi poreuse. Alors on peut utiliser cette formule du cours pour l'évolution du nombre de moles d'hydrogène dans la région. Un, c'est à dire le récipient. Vous avez encore une fois un coefficient de proportionnalité analogue à celui qu'on a vu tout à l'heure ou on a. On a une longueur, elle qui intervient. On a observé que. La pression dans le récipient augmentait. Cela veut dire. Que le nombre de mole dans le récipient augmente. Ça veut dire n un point est positif, ça implique que deux est plus grand que MU un. Ça veut dire que le potentiel chimique de l'hydrogène pur est plus grand que le potentiel chimique. De l'hydrogène dans un mélange.

Notes

Summary



5m 59s

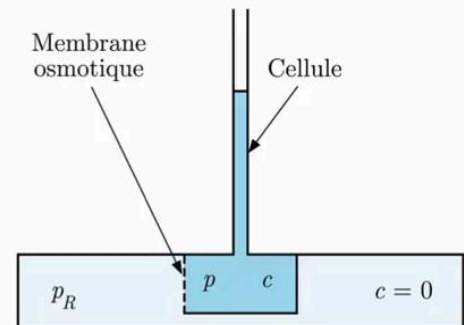


Voici maintenant une expérience avec des liquides. Ici, on aura une paroi qui ne laisse passer qu'une seule des substances liquides en présence. On a ici une cellule qui contient de l'eau salée. Une des parois de la cellule contient une membrane qui laisse passer l'eau, mais pas les ions du sel en solution. On dit que la membrane est osmotique et le phénomène qu'on va observer est connu comme l'osmose. Voyons ce qui se passe quand cette cellule est plongée dans de l'eau pure. Manifestement l'eau pure entre dans la cellule.

Notes

Summary





Membrane osmotique :
seulement l'eau passe à travers la membrane, pas les ions

L'eau pure a tendance à entrer
dans la région où l'eau est salée

Le potentiel chimique de l'eau pure est plus grand
que le potentiel chimique de l'eau salée.

Thermodynamique

Voici une représentation schématisée de l'expérience. Nous avons une cellule qui contient de l'eau salée avec un tube qui permet de montrer que la quantité de liquide augmente. Cette cellule a une paroi qui est une paroi dite osmotique qui laisse passer l'eau mais pas les ions en solution. Cette cellule est plongée dans de l'eau pure. On a observé que l'eau pure avait tendance à entrer dans la région d'eau salée. Cela signifie que le potentiel chimique de l'eau pure est plus grand que le potentiel chimique de l'eau.

Notes

Summary



8m 27s



- Contact thermique
- Diffusion selective d'un gaz
- Osmose

Thermodynamique

Dans la solution. En résumé, on a vu trois expériences. Dans la première, on a vu deux blocs initialement à des températures différentes qui tendent vers un équilibre d'une température commune. Ensuite, on a vu que l'hydrogène pur avait tendance à entrer dans une région où l'hydrogène est mélangé. Et de façon analogue, on a vu l'osmose dans laquelle l'eau pure entre dans la région d'eau salée.

Notes

Summary



9m 07s