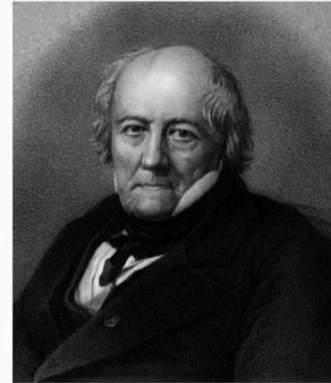


Thermodynamique

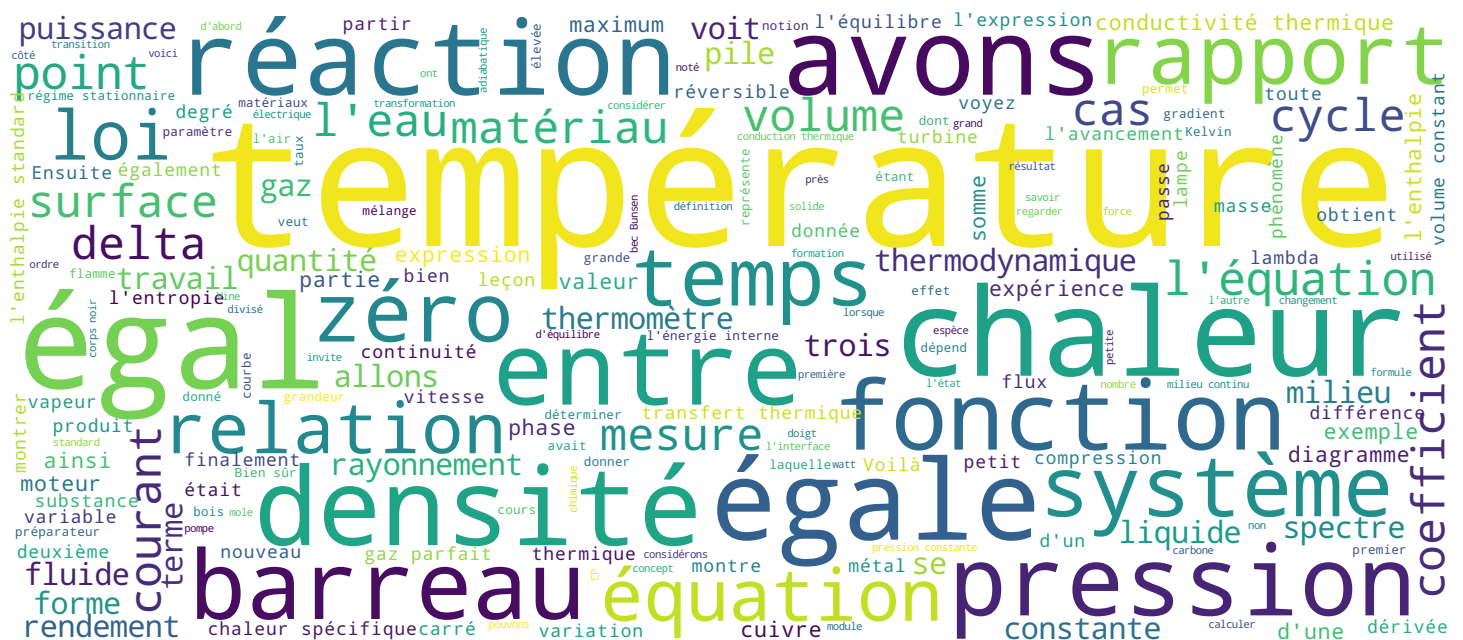
Expériences : Transferts thermiques



Jean-Baptiste Biot, 1774-1862



Prof. Jean-Philippe Ansermet



Search MOOC



Video



EPFL



- Conduction thermique
- Refroidissement avec ou sans ventilation
- Déphasage thermique
- Effusivité
- Rayonnement

Thermodynamique

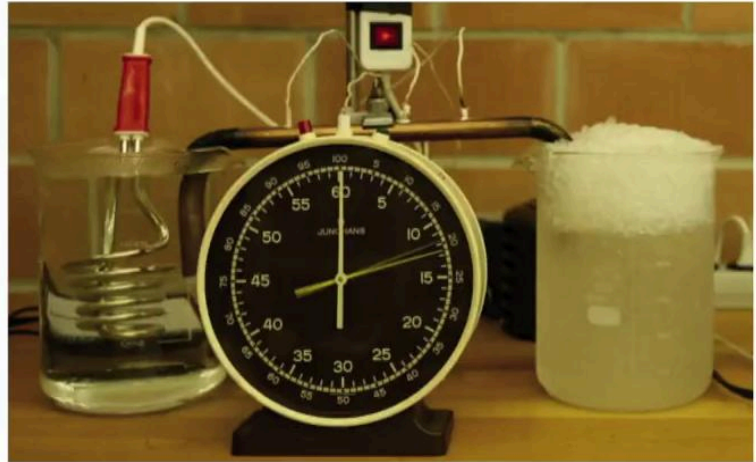
Me voici à nouveau pour vous présenter quelques expériences. Chantal Matteau et Martin Brochu vous en donner une leçon sur les transferts thermiques en régime stationnaire et en régime transitoire. Ici, j'aimerais illustrer leur leçon en leur montrant d'abord la conduction thermique dans un barreau de cuivre en régime stationnaire. Ensuite, j'aimerais aborder la question des pertes thermiques d'un métal au contact de l'air. Ensuite, j'aimerais illustrer la notion de déphasage thermique. Et puis j'aimerais vous montrer une expérience pour laquelle la notion diffusivité intervient. Et je terminerai avec deux expériences sur le transfert thermique par rayonnement commençant avec la conduction thermique.

Notes

Summary



0m 04s



Thermodynamique

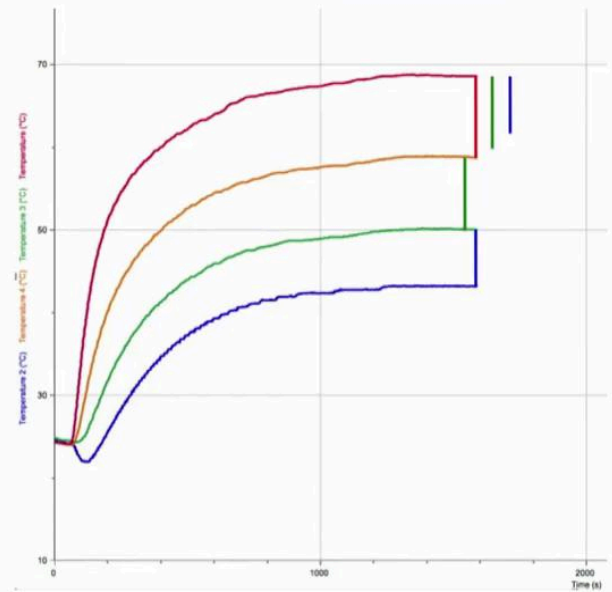
Je vous propose de regarder la température le long d'un barreau de cuivre. Qu'on voit juste derrière cette grosse minuterie. On a monté quatre thermocouples à des distances égales le long du barreau. On va enregistrer ces températures alors que le barreau est maintenu à une extrémité dans de l'eau bouillante et de l'autre côté dans de la glace pilée. Fondante. Donc à zéro degré.

Notes

Summary



1m 03s



Thermodynamique

Je vous montre sur ce graphique. Le résultat de l'expérience. Vous avez. En ordonnées la température en degrés Celsius. En abscisse le temps en seconde. On ne va pas s'intéresser ici à l'évolution temporelle, mais vous voyez qu'on a après passé 1000 secondes, on a atteint un régime stationnaire. Ce que j'observe, c'est que les écarts de température ne sont pas exactement ce que j'avais prévu pour le cas idéal. Si vous voulez, je peux tracer ici l'écart entre deux températures rapportées. Ces écarts ? Vous voyez que par ce petit montage graphique, on n'a pas toujours le même écarts de température alors que les quatre thermomètres sont acquis distants.

Notes

Summary



1m 34s

$$j_Q = -\kappa \nabla T \quad P_Q = j_Q (\pi r^2)$$

Entre deux thermomètres :

α : perte relative entre deux thermomètre

S : surface de cuivre

Entre le cuivre et l'air : ΔT

$$h = \frac{\alpha P_Q}{\Delta T S} \text{ (W m}^{-2}\text{K}^{-1}\text{)}$$

$$\alpha \approx 15\%$$

Thermodynamique

Comment analyser cette expérience ? Alors je parle de la loi de Fourier. J'appelle ça pas la conductivité thermique. Si on n'a aucune perte thermique, on peut appliquer cette loi partout. On a la même puissance thermique PQ. Qui dépend donc du courant de chaleur, la densité de courant de chaleur GQ et de la surface de la section du barreau, puis r carré qui nous donne la puissance. On aurait la même puissance partout. Manifestement, ce n'est pas le cas. Sinon on aurait le même delta t entre tous les trois thermomètres, tous les quatre thermomètres. Alors je vais supposer qu'en deux thermomètres, j'ai une perte relative de puissance, mais je vais appeler cette perte relative alpha. J'appelle ESS la surface du cuivre entre deux thermomètres. Je vais supposer, c'est le paramètre que je maîtrise le moins bien. Je vais supposer que j'ai une différence de température delta T1 entre la surface du métal et l'air à son voisinage. Et je vais donc calculer un coefficient de perte thermique comme ceci. Par unité de surface. J'ai une perte en watt par mètre carré par Kelvin. Si je prends mes données numériques, j'ai ma petite construction géométrique qui réapparaît ici.

Notes

Summary





$$j_Q = -\kappa \nabla T \quad P_Q = j_Q (\pi r^2)$$

Entre deux thermomètres :

α : perte relative entre deux thermomètre

S : surface de cuivre

Entre le cuivre et l'air : ΔT

$$h = \frac{\alpha P_Q}{\Delta T S} \quad (\text{W m}^{-2}\text{K}^{-1})$$

$$\alpha \approx 15\% \quad \Delta T \approx 25 \text{ K}$$

$$\kappa = 380 \text{ W/(mK)} \quad \nabla T \approx \frac{98 \text{ K}}{0.35 \text{ m}}$$

$$r \approx 10 \text{ mm} \quad \Delta \ell \approx 0.05 \text{ m}$$

$$h \approx 64 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$$

Thermodynamique

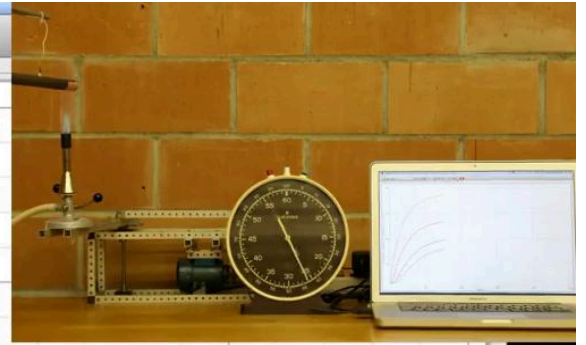
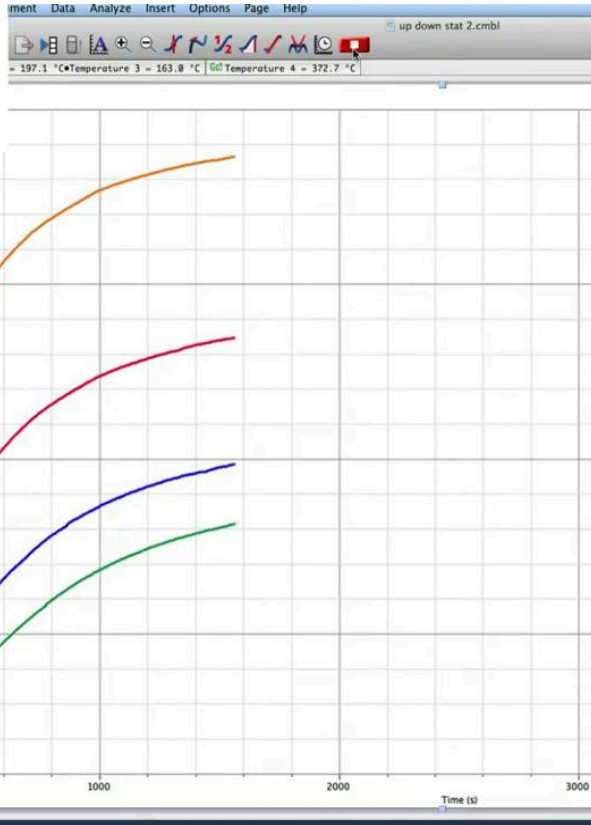
Grosso modo, j'ai une perte d'à peu près 15 % entre deux thermomètres. Bien sûr, la perte est continue le long du barreau. Ici, je cherche simplement à estimer ce coefficient h . Donc chercher un ordre de grandeur. Alors je me simplifie les choses en supposant qu'il y a une perte, juste un endroit par segment. Le Delta t . Comme je disais tout à l'heure, je ne suis pas sûr de sa valeur. Je vais prendre 25, Kelvin. Je vais chercher dans une table la conductivité thermique du cuivre. J'ai de l'eau bouillante à nonante huit degrés. Et puis la longueur du barreau est à peu près 35 cm. Ça me donne le gradient de température. Donc je peux en déduire la puissance thermique. P_Q . Je connais le diamètre du tube. Enfin du barreau du cuivre. La distance entre deux thermomètres, c'est cinq cm. Et donc j'en déduis une perte de 64 watts par mètre carré et par Kelvin. C'est peut être un peu beaucoup par rapport aux valeurs tabulaires, mais au moins on a un ordre de grandeur.

Notes

Summary



4m 03s



Je passe maintenant une autre expérience qui que vous pourrez analyser, qui vous permettra de mieux quantifier cette perte thermique à la surface d'un métal. On va considérer un barreau de cuivre, encore une fois avec quatre thermomètres et cette fois ci, on va observer. L'évolution de la température. Aux quatre points de mesure. Donc la température en fonction du temps, avec ou sans un ventilateur qui souffle sur le barreau. Commençons avec le cas statique. Voyez ici, vous avez pu apercevoir le bec Bunsen qui chauffe l'extrémité du barreau et vous avez ici maintenant, en fonction du temps, la température des quatre thermocouples. Et on voit qu'on approche. Un état stationnaire.

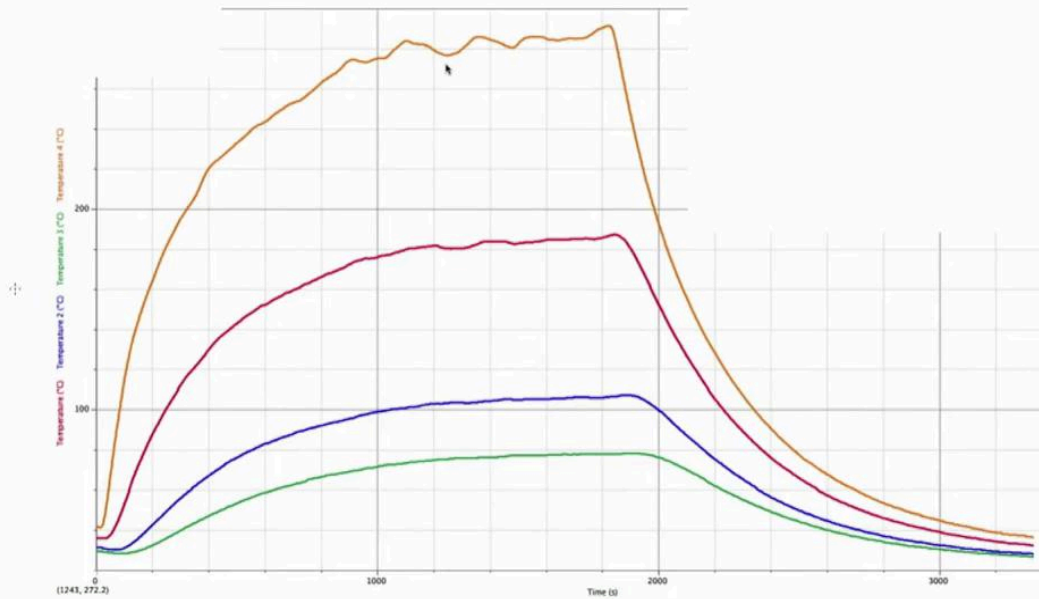
Notes

Summary



5m 20s

Refroidissement avec ventilation



Thermodynamique

Je vous montre ici. L'entier des mesures. Bien sûr, à mi chemin, on a arrêté la flamme. C'est pour ça que le baron se refroidit. Et je vous invite à utiliser l'équation de la chaleur pour rendre compte de ces données. J'aimerais maintenant voir comment ces données changent expérimentalement lorsque le ventilateur souffle sur le barreau. Vous voyez ici le ventilateur en fonction ? Et on mesure à nouveau la température en fonction du temps. On observe surtout, pour le premier thermomètre le plus proche de la flamme, des fluctuations qui viennent du fait que le ventilateur perturbe la flamme. Je vous montre maintenant l'ensemble des mesures pour ce même barreau. Mais avec le ventilateur allumé, vous observez tout de suite qu'on atteint un état stationnaire, mais les températures sont plus faibles et je vous invite à faire une analyse du graphique pour observer que la vitesse de refroidissement est également plus grande.

Notes

Summary





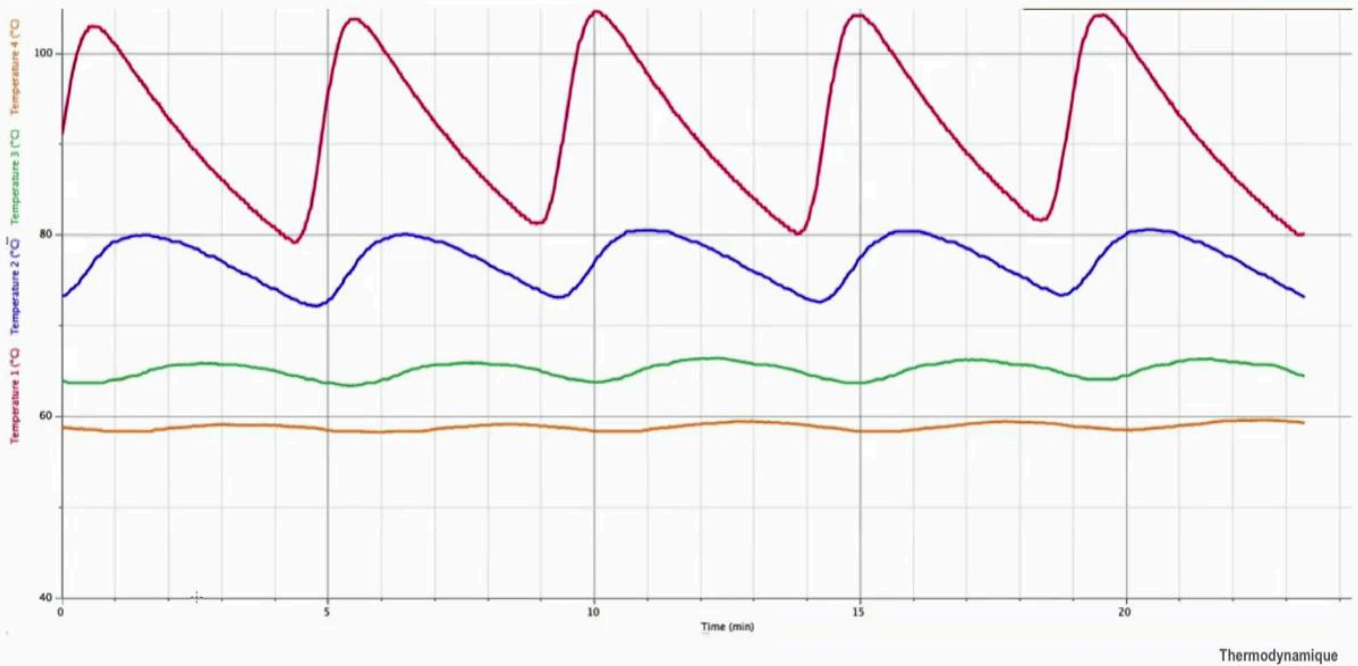
J'aimerais maintenant illustrer le concept de déphasage thermique. Pour ce faire, je me propose d'examiner encore une fois ce barreau de cuivres. Mais cette fois ci, le bec Bunsen est monté sur un bras. Qui aussi, ce qui fait qu'il passe périodiquement sous le barreau. Le bec Bunsen qui est loin du barreau et le voilà qui passe sous le barreau. Et qu'il s'éloigne à nouveau du barreau.

Notes

Summary



Déphasage thermique



Je vais vous montrer l'ensemble de la mesure que voici. Notez que l'enregistrement a été fait après plusieurs passages du de la flamme du bec Bunsen sous le barreau pour qu'on arrive à ce régime périodique. Ce que j'invite à remarquer, c'est que évidemment que la température la plus élevée, c'est celle du thermomètre qui est le plus proche de la source chaude. Et vous remarquez que plus on s'éloigne de ce point chaud, plus le maximum a lieu par eux mêmes. Sur la quatrième courbe, on arrive à peine à distinguer une oscillation. Mais si on prend le temps de regarder ça attentivement, on voit qu'il y a toujours ce déphasage qui est de plus en plus grand. Plus on s'éloigne de la source chaude.

Notes

Summary



8m 15s



Thermodynamique

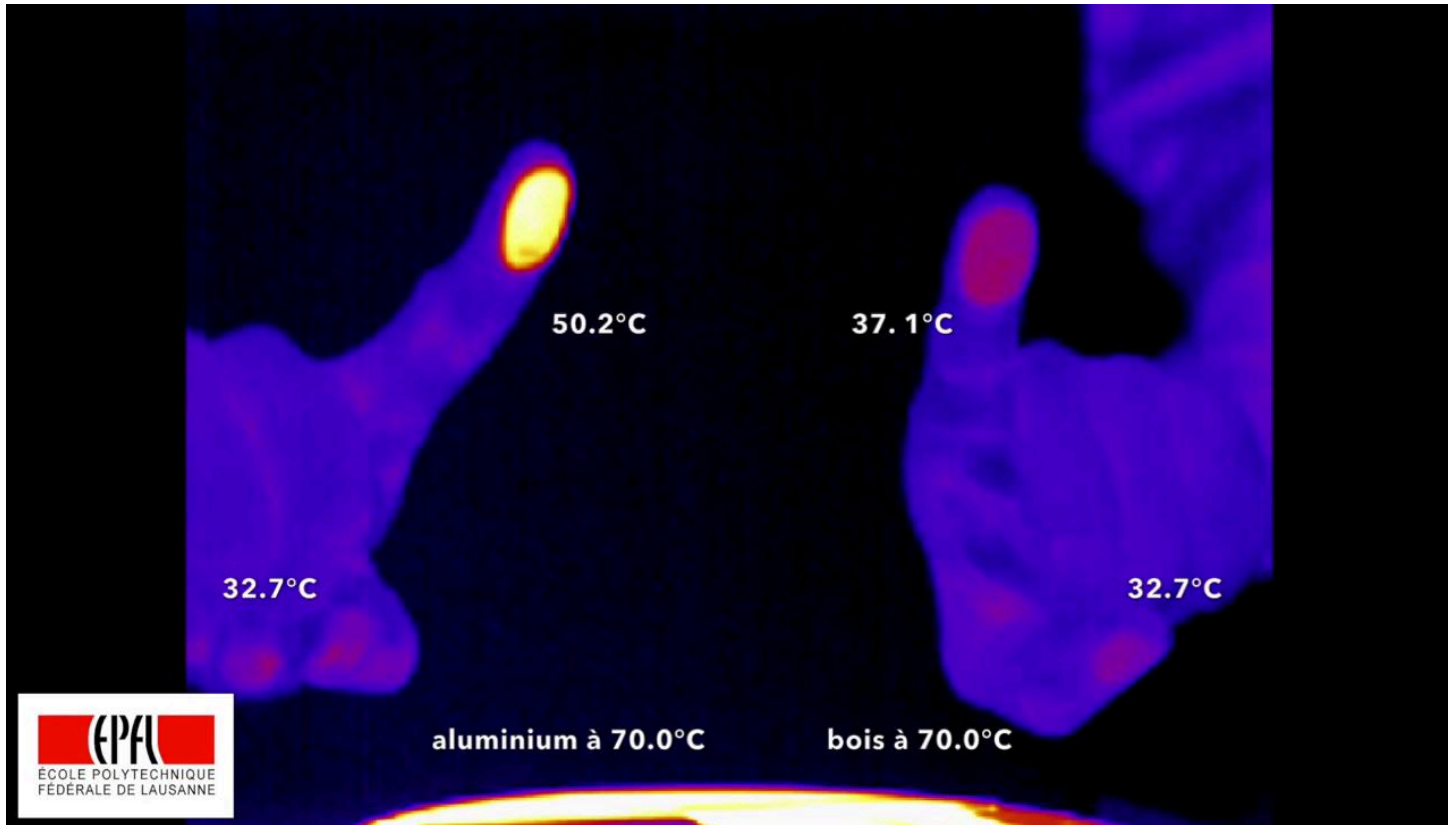
J'aimerais vous montrer maintenant une expérience pour laquelle la notion diffusivité intervient. Comme cette image. Cette image est une image d'une caméra infrarouge qui montre deux doigts. C'est deux doigts qui ont été pressés sur des surfaces de nature différentes mais qui sont à la même température.

Notes

Summary



9m 09s



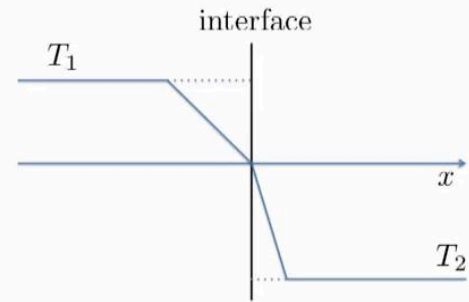
Je vous invite à regarder la vidéo. On voit ici un bloc qui est chauffé à septante degrés Celsius dessus. On a disposé pendant longtemps un carré de bois et un carré de métal. Le préparateur va appuyer ses doigts sur les deux matériaux. Et ensuite les présenter à la caméra infrarouge. Ici, on voit le détail. Vous remarquez que la température décroît, mais suffisamment lentement pour que la mesure initiale soit représentative de la température à l'interface entre le doigt et le métal ou le bois. Cette température là donc utilisée dans la calibration de la caméra. On voit que sur le bois, on a une température bien inférieure à ce qu'on obtient sur le métal.

Notes

Summary



9m 30s



$$T_i = \frac{E_1 T_1 + E_2 T_2}{E_1 + E_2}$$

$$E_1 = \sqrt{\kappa_1 c_1} \quad E_2 = \sqrt{\kappa_2 c_2}$$

$\kappa_i (i = 1, 2)$: conductivité thermique

$c_i (i = 1, 2)$: chaleur spécifique

Thermodynamique

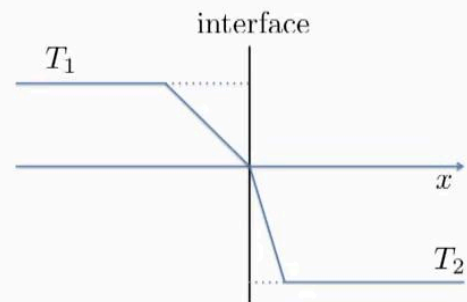
Comment ? Décrire le phénomène. Je vous propose la description suivante. Je représente ici l'interface entre les deux matériaux. Initialement, un matériau a une température T_1 , l'autre a une température T_2 , donc T_1 . C'est par exemple le bois et T_2 c'est le doit très rapidement. Lorsque ces deux matériaux sont en contact l'un avec l'autre, ils ne vont pas rester à des températures différentes par effet de conduction thermique, même sur une couche très mince autour de l'interface. L'interface va prendre une température. C'est ce que j'ai représenté sur le dessin. Il y aura bien sûr un gradient de température correspondant à un courant de chaleur entre les deux matériaux. Maintenant, les deux matériaux sont présumés avoir des conductivité thermique différente. On a une continuité du courant de chaleur à l'interface, donc on a des pentes différentes correspondant aux conductivité thermique différente. Si on fait l'analyse à partir de l'équation de la chaleur, on va voir que le paramètre qui intervient c'est les flux. Il est noté ici eux un indice un ou deux qui dépend de la conductivité du matériau et de la chaleur spécifique du matériau et une chaleur spécifique volumique.

Notes

Summary



10m 27s



$$T_i = \frac{E_1 T_1 + E_2 T_2}{E_1 + E_2}$$

$$E_1 = \sqrt{\kappa_1 c_1} \quad E_2 = \sqrt{\kappa_2 c_2}$$

$\kappa_i (i = 1, 2)$: conductivité thermique

$c_i (i = 1, 2)$: chaleur spécifique

Thermodynamique

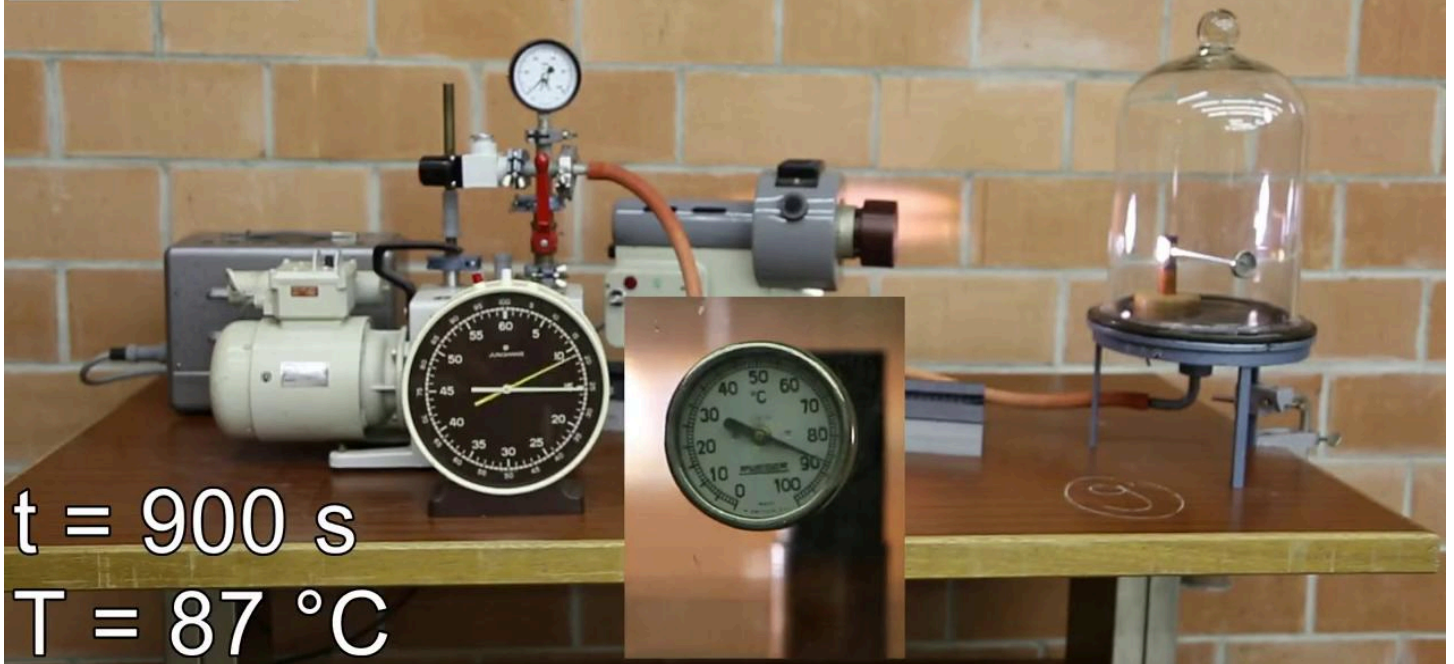
La formule qu'on obtient quand on fait l'analyse à temps court et à distance très petite par rapport à l'interface. C'est la formule que vous voyez en ce moment. Par conséquent, si un matériau a une influence, il est très petite parce qu'il a une petite chaleur spécifique et une petite conductivité thermique. Il peut être très chaud, mais donné à une température d'interface qui n'est pas très grande. À l'inverse, si le matériau a une très bonne conductivité thermique et une grande chaleur spécifique, alors la température de l'interface peut être très élevée, très voisine de la température du matériau lui même.

Notes

Summary



11m 59s



Je termine avec deux expériences en rapport avec le transfert thermique par rayonnement. Dans cette première expérience. On va mettre un thermomètre sous une cloche à vide. Et on va éclairer ce thermomètre. Comme il y a un vide autour du thermomètre et que le support, je vous demande de le croire, est un matériau qui conduit très mal la chaleur. On est bien obligé de réaliser que c'est par le rayonnement qu'on a un échauffement du thermomètre. Le préparateur enclenche la l'embarque, enclenche la pompe. Et. On commence avec un thermomètre à température ambiante. Petit à petit, on observe que la température du thermomètre augmente.

Notes

Summary





$$\lambda_{max} = \frac{2.9 \cdot 10^{-3} \text{ (m K)}}{T \text{ (K)}}$$

$$\lambda_{max} \approx 600 \text{ nm}$$

$$T \approx 4800 \text{ K}$$

Thermodynamique

On peut. Analyser ce que veut dire la position de ce maximum avec la loi de Wien que je rappelle ici. On a observé notamment un maximum à 600 nanomètres et avec la loi de Wien, cela veut dire que la température est de 4800 degrés. Il faut interpréter cette donnée de la manière suivante. Si on avait un four. Muni d'un petit trou pour qu'on puisse observer le rayonnement dans le four et ce four était chauffé à 4800 degrés. On observerait le même spectre que le spectre de cette lampe, dans la mesure où on peut admettre que le spectre de cette lampe a le spectre du rayonnement dit du corps noir.

Notes

Summary



15m 33s



- Conduction thermique
- Refroidissement avec/
sans ventilation
- Déphasage thermique
- Effusivité
- Rayonnement

Thermodynamique

Je résume. Nous avons vu quelques expériences concernant le transfert thermique. Nous avons vu un transfert thermique en régime stationnaire. Cela nous a amené à nous poser la question des pertes thermiques à la surface d'un métal avec ou sans air forcé. On a ensuite illustré le concept de déphasage thermique en mesurant la température en fonction du temps sur un barreau avec chauffé à une extrémité. Ensuite, j'ai montré une expérience de contact entre deux objets qu'on peut décrire avec la notion de diffusivité. Et finalement, on a observé. Un transfert thermique par rayonnement. Je vous remercie de votre attention.

Notes

Summary



16m 23s