

Support de cours

Cours:

UNIL-123 Physique Expérimentale II

Vidéo:

Lesson8-UNIL-123 Physique expérimentale II

Concepts (extraits des sous-titres générés automatiquement) :

Niveau de la pression. Température absolue. Énergie de ce système. Diagramme pression. Petit problème. Mesures de température. Température de l'eau. Plein d'autres systèmes. Échelle de température. Pression nul. Petit cercle. Échelles de température. Pression atmosphérique normale. Système de thermodynamique. Mesure de température.



[vers la recherche de séquences vidéo](#)
(dans UNIL-123 Physique Expérimentale II.)



[vers la vidéo](#)

Center for Digital Education. Plus de matériel de soutien pédagogique ici :

<https://www.epfl.ch/education/educational-initiatives/cede/educational-technologies-gallery/boocs-en/>



...

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

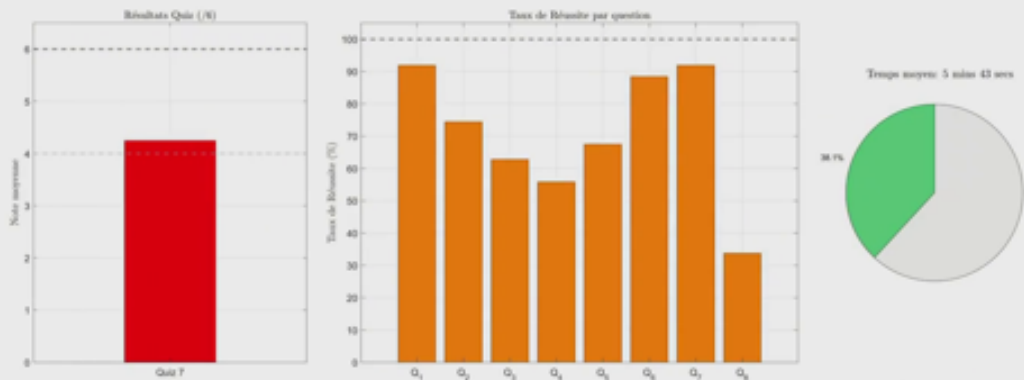
.....

.....

0m 0s



Résultat du quizz



Fürbringer - Vittorangeli - Dubuisson

Feedback 7^{ème} semaine

8 avril 2025

2 / 9

Ces sous-titres ont été générés automatiquement Ah, donc soyez les bienvenus. À la fin de cette journée que je sais qu'il y a assez longues pour vous. Aujourd'hui, on va... Il y a une partie assez mathématique qui peut être un petit peu abscont. Donc j'ai aussi amené des expériences pour un peu nous divertir à certains moments pour un petit peu... Alléger. Mais c'est vrai que c'est un cours assez important aujourd'hui. Il y a beaucoup de choses... Est-ce que vous allez tout comprendre ? C'est pas que je doute de votre capacité de comprendre. Je vous sais absolument extraordinaire. Mais voilà, c'est un petit peu complexe parfois. Il y a des choses qui vont prendre du temps à comprendre. Donc donnez-moi crédit. Soyez sûr que c'est une certaine importance. Différentes choses que je vais vous expliquer aujourd'hui. Vous allez voir autour du semestre, elles vont prendre un petit peu d'importance. Mais je vais commencer par... J'ai pas encore eu mon écran parce que j'ai mon style qui charge. Mais vous présentez une expérience qui était le dernier slide qu'on a eu la semaine dernière. Donc je vous ai parlé de la température absolue. Donc pendant longtemps, on avait des mesures de température qui avaient été développées par des gens comme Fahrenheit ou comme Celsius, mais il y a eu d'autres. Réaumur, vous avez eu un petit problème avec un Français qui était en Russie. J'ai déjà oublié son nom. De Lille. Oui, monsieur de Lille. Et au quasiment 18^e siècle, chaque personne qui étudiait un problème de physique développait une échelle de température qui lui était propre. Et donc toutes ces échelles de température, on dit chaque fois, c'est des degrés. Des degrés de Lille, des degrés Celsius, des degrés Fahrenheit. Parce qu'au fond, ce petit cercle qu'on

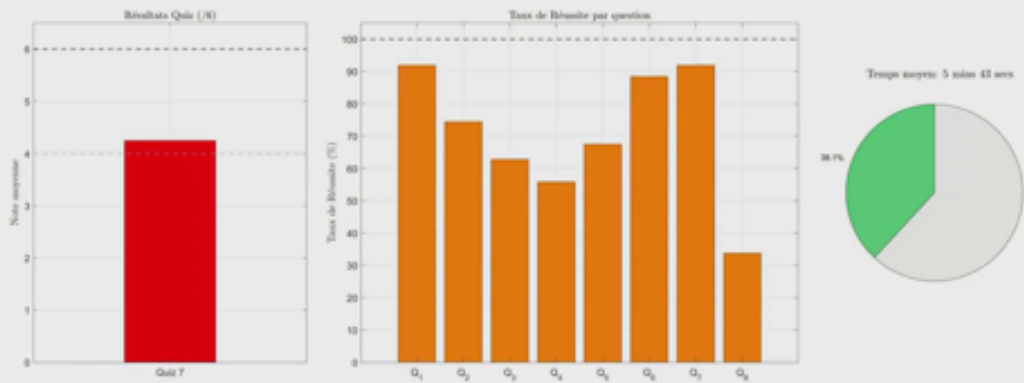
notes

résumé

0m 1s



Résultat du quizz



Fürbringer - Vittorangeli - Dubuisson

Feedback 7^{ème} semaine

8 avril 2025

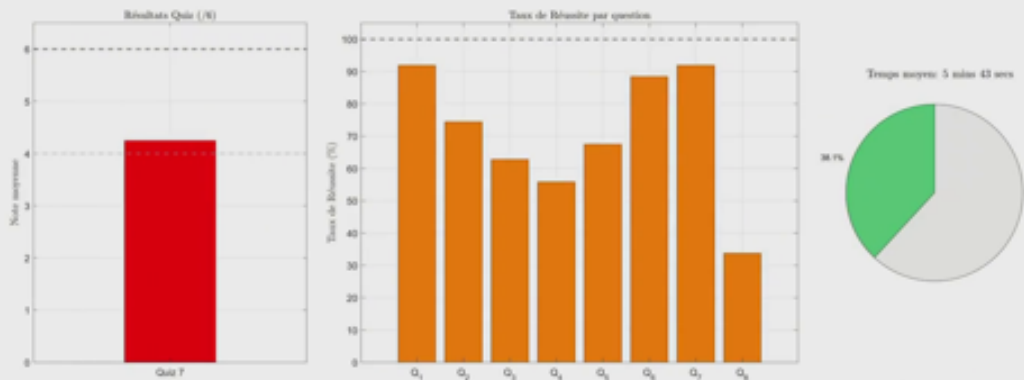
2 / 9

met pour dire degrés, puis on peut donc mettre un C ou on met un F pour dire Fahrenheit, un R pour dire réaumur, c'est pour dire que c'est pas une mesure absolue, c'est une mesure proportionnelle. C'est ça que calaçance du mot de degré, c'est pour dire que c'est comme les degrés d'alcool dans l'abricotine valaisanne. C'est pas pour dire que l'abricotine n'est pas parfaite, c'était pas ça que je voulais dire, mais enfin c'est pour dire qu'on mesure quelque chose par rapport à une référence. C'est un petit peu, je voulais un peu comme des pousans, des choses comme ça. Alors, on s'est intéressé à développer une mesure de température qui soit absolue. Alors c'est ce qu'on va faire avec une expérience, avec l'aide de Pierre que vous connaissez maintenant. Donc on a dans une enceinte fermée, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de gaz qui puisse s'en échapper, on va changer la température et on va voir ce qui se passe au niveau de la pression. Donc on est dans un diagramme pression en fonction de la température. Et on va voir que, en descendant la pression, on va avoir, on peut arriver, on peut déterminer pour quelle température la pression serait nulle. Ça veut dire pour quelle température on ne pourrait plus du tout extraire de l'énergie de ce système. Donc là, on fait une rampe de température et puis on aligne les points, on voit qu'on a une droite qui se forme. Donc là, ça c'est un zoom de cette partie-là. Et on va attendre un petit moment. Là on a déjà chauffé de une dizaine de degrés. Après, on va faire une régression pour voir où c'est que la pression nul, ça va intercepter l'ordonnée. Une quantité de gaz enfermée, on va changer sa température.

notes

résumé

Résultat du quizz



Fürbringer - Vittorangeli - Dubuisson

Feedback 7^{ème} semaine

8 avril 2025

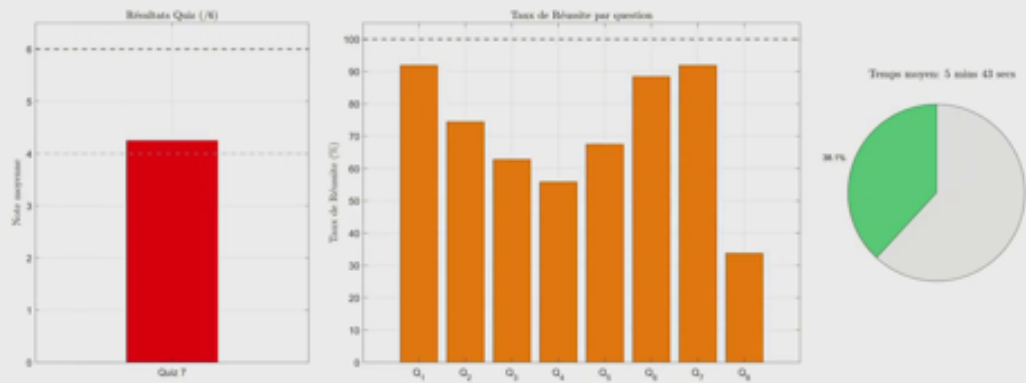
2 / 9

Quand on change sa température, ça va changer sa pression. Le volume dans lequel on est fixe, on aura l'occasion de revenir sur la loi des gaz parfaits, mais peut-être que vous avez encore quelques souvenirs du gymnase si vous avez vu ça. Ce qui est intéressant, là on va le faire avec un système, mais on pourrait le faire finalement avec plein d'autres systèmes. On pourrait reprendre un autre système qui au départ a une autre température, a une autre quantité de gaz à l'intérieur, et on arrivera toujours à la même température, c'est toujours à la même température que le système a évacué toute son énergie. On ne va pas réussir à descendre cette température-là. Si vous avez vu les slides que j'ai passés rapidement la dernière fois, c'est moins 273,15 degrés Celsius. C'est impossible d'y aller, on y est arrivé très près, mais dans la réalité on n'arrive jamais à y aller. Pendant que ça se passe, encore vous racontez une ou deux choses. Je peux déjà faire la régression. Si on continue la droite, on vient couper ici à moins, alors ce n'est pas tout à fait juste, mais il dit moins 287 degrés. Mais bon, il y a beaucoup de... Sur une si faible plage, il y a une grande variation. Je ne sais pas si pour vous, régresse son linéaire, c'est clair. On a regardé un certain nombre de points. La trace rouge, c'est tout un ensemble de points. On a réchauffé ou refroidi notre gaz et il y a une certaine pente, une certaine relation entre la température et la pression. Après, la régresse sonilaire, on a regardé pour quelle valeur, quelle est la valeur de la température lorsque la pression serait égale à 0. Donc on a une relation linéaire et c'est

notes

résumé

Résultat du quizz



ça qui définit le 0 absolu. Donc il est absolu parce qu'on aurait pu prendre n'importe quel système. Ce n'est pas lié à la quantité de gaz qu'on a mis. Ce n'est pas lié à la température à laquelle on dénamarrait. Ce n'est pas lié non plus à la plage de température qu'on a balayée en chauffant le système ou en le refroidissant. C'est simplement une loi, on va dire universelle, dans notre système de thermodynamique, qui pointe vers une seule température qu'on appelle la température absolue. Là on peut faire l'expérience avec n'importe quelle pression de départ et puis on aura toujours des droites qui auront une pente différente mais qui viendront toujours intercepter le point ici, la température du 0 absolu. Voilà. Voilà la décide. Vous pouvez laisser ça comme ça ? Oui, oui, tu peux laisser ça comme ça. Merci Pierre. Un applaudissement pour Pierre. Avant qu'on reprenne le cours normal du cours de physique, quelques feedbacks comme j'ai fait chaque fois sur la semaine passée et le quiz de la semaine passée.

notes

résumé

La question 4

Quelle est la température absolue de zéro en Kelvin ?

Veuillez choisir une réponse.

- ☐ a. 0 °C
- ☐ b. -273.15 °C
- ☐ c. $-\infty$ K
- ☐ d. 273.15 K
- ☐ e. 0 K

Fürbringer - Vittorangeli - Dubuisson

Feedback 7^{ème} semaine

8 avril 2025

3 / 9

Donc en moyenne on était en dessous de quatre, c'est un signe plutôt positif si ça vaut quelque chose. Il y avait quelques questions en plus de succès, quelques questions ont eu moins de succès. Il y avait quelques questions qui étaient un petit peu en avance sur le cours, j'utilise aussi pour voir ce que vous avez déjà. Donc vous ne formalisez pas trop non plus là-dessus.

notes

résumé

7m 26s



La question 8

De l'eau dans un pot ouvert bout sur un réchaud à gaz. On augmente le feu. Que se passe-t-il?

- ☐ a. Aucune de ces réponses
- ☐ b. Le taux d'évaporation et la température de l'eau augmentent
- ☐ c. La température de l'eau augmente substantiellement
- ☐ d. Le taux d'ébullition augmente
- ☐ e. Le taux d'évaporation diminue

Fürbringer - Vittorangeli - Dubuisson

Feedback 7^{ème} semaine

8 avril 2025

4 / 9

Donc il y avait une question qui concerne ce qu'on vient de voir, c'était quelle est la température absolue du 0 en Kelvin ? C'était un jeu de mots, j'ai joué avec les mots, je suis quand même attentif. De nouveau, aux examens je ne vais pas faire des questions spécifiquement où je joue avec les mots, ce n'est pas votre compréhension du français ou de la logique du langage que je teste. Mais lisez bien les questions et des fois la réponse peut être beaucoup plus simple que ce que vous auriez imaginé. Donc dans ce cas-là, c'est clair que la température absolue en Kelvin, c'est 0 Kelvin, celle qu'on vient de mesurer.

notes

résumé

8m 2s



La question 8

De l'eau dans un pot ouvert bout sur un réchaud à gaz. On augmente le feu. Que se passe-t-il?

- ☒ a. Aucune de ces réponses
- ☐ b. Le taux d'évaporation et la température de l'eau augmentent
- ☐ c. La température de l'eau augmente substantiellement
- ☐ d. Le taux d'ébullition augmente
- ☐ e. Le taux d'évaporation diminue

Fürbringer - Vittorangeli - Dubuisson

Feedback 7^{ème} semaine

8 avril 2025

4 / 9

Et puis il y avait une autre question, là il était en avance sur le cours, pas mal en avance d'une manière de tester un petit peu ce que vous souvenez ou de ce que vous avez perçu dans la vie de tous les jours. Donc on a de l'eau qui est déjà sur le feu, on va préparer la soupe, je ne sais pas ce que vous êtes en train de faire, et puis elle est déjà en train de bouillir. Et puis là vous augmentez la plaque, elle était sur 5, puis vous la mettez sur 7. Vous augmentez la puissance avec laquelle on chauffe. Qu'est-ce qui se passe ? Donc vous ne pouvez dire que aucune réponse n'était proposée. Vous pourriez dire que le taux d'évaporation et la température de l'eau augmentent. Vous pouvez dire que la température de l'eau augmente substantiellement. Le taux d'ébullition augmente et le taux d'évaporation diminuent. Alors bon, par élimination, j'espère que c'est clair pour vous que si vous augmentez la puissance que vous amenez, ce n'est pas diminuer le taux d'évaporation. Donc celle-là on peut l'éliminer par la logique. Après, vous n'avez en fait aucune réponse. On verra si on y arrive. Donc après vous avez 3 possibilités qui pourraient avoir un certain sens. Donc le taux d'évaporation et la température de l'eau augmentent. La température de l'eau augmente. Mais alors ça vous dirait dire que l'évaporation ne change pas. Et puis vous avez le taux d'ébullition. Alors bon, c'est un petit peu... L'ébullition d'évaporation dans ce cas-là, ils sont quasiment synonymes. Donc c'est vrai que des fois ça peut être aussi le piège. Désolé pour ceux qui ne sont pas francophones. On utilise des fois un mot pour un autre. Il y a des synonymes, des synonymes proches. C'est peut-être

notes

résumé

8m 53s



La question 8

De l'eau dans un pot ouvert bout sur un réchaud à gaz. On augmente le feu. Que se passe-t-il?

- ☒ a. Aucune de ces réponses
- ☐ b. Le taux d'évaporation et la température de l'eau augmentent
- ☐ c. La température de l'eau augmente substantiellement
- ☐ d. Le taux d'ébullition augmente
- ☐ e. Le taux d'évaporation diminue

Fürbringer - Vittorangeli - Dubuisson

Feedback 7^{ème} semaine

8 avril 2025

4 / 9

que j'essaie d'éviter mais ça peut arriver. Donc l'enjeu c'est de savoir est-ce que la température change. Et en fait quand on étudie ces phénomènes-là, pendant qu'on change de phase,

notes

résumé

et bout sur un réchaud à gaz. On augmente le feu. Que se

l'augmentation de la température de l'eau augmentent.
l'eau augmente substantiellement
l'augmentation de la température de l'eau diminue

Dubuisson

Feedback 7^{ème} semaine

8 avril 2025

4 / 9

Fürbringer - Vittorangel

ça veut dire qu'on a du gaz, la vapeur d'eau c'est du gaz, et puis l'eau c'est du liquide. Quand on change de phase, les températures n'évoluent pas. C'est quelque chose qu'on verra plus tard dans le cours. Mais c'était ça la règle de base. Donc ça veut dire que le taux d'évaporation et la température de l'augmentation, c'est pas possible. Si vous avez de l'eau à 100 degrés, puis vous la chauffez, elle va rester à 100 degrés jusqu'à ce qu'elle soit totalement évaporée. Elle va pas se mettre à 100 degrés, 100 degrés, 100 degrés, 100 degrés, 100 degrés, 100 degrés, 100 degrés. Elle va rester à 100 degrés. Et puis quand on fait de l'eau, à part dans des situations très particulières, ça marche avec la glace. Les loups on peut avoir de l'eau beaucoup plus froide que zéro. Mais à ma connaissance, au niveau des gaz, c'est vraiment impossible. Si vous avez de l'eau, elle peut pas avoir plus que 100 degrés. Par contre la vapeur après, je peux augmenter la température de la vapeur, je peux avoir de la vapeur à 100 degrés, je peux avoir de la vapeur à... On parle à pression... Oui, je ne sais pas, c'est qu'on parle à pression, c'est à pression atmosphérique normale. On n'est pas dans des situations, on n'est pas à la passe, où l'eau boue, je ne sais pas, à 80 degrés, où dans une situation avec une très haute pression, où l'eau pourrait bouir beaucoup plus rapidement, là on était, tout est votre poste sur le feu, on était à la pression atmosphérique constante. Donc la bonne réponse, c'était le taux d'ébullition augmente. Et donc le taux d'évaporation aussi augmente. Alors,

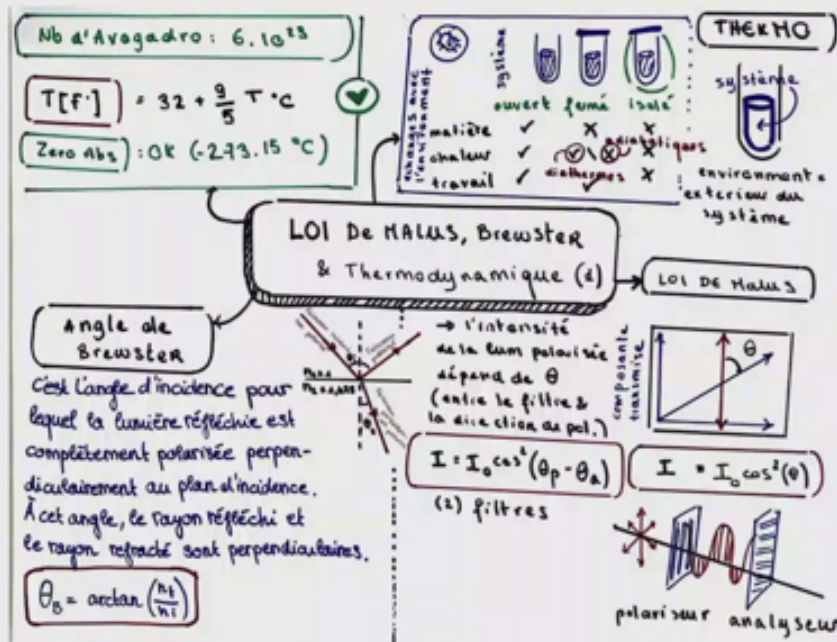
notes

résumé

11m 13s



Mind map



Fürbringer - Vittorangeli - Dubuisson

Feedback 7^{ème} semaine

8 avril 2025

7/9

comment dire ça ? Ma marrote pour les... les cartes conceptuelles. Donc là, l'idée, j'ai vu que c'était le cas pour tout ce qu'on fait, sauf une de ces exceptions, parce que c'était faire une carte générale sur toute l'optique, puisqu'on a quitté le chapitre de l'optique, je pensais que c'était intéressant. Donc je pense que c'est précieux, ces cartes sont précieuses, mais c'est important d'avoir les cartes... C'est Trump qui avait dit ça d'ailleurs, à un moment donné, je crois, d'avoir les cartes en main. Non mais c'est pas seulement ça, mais les faire vous-même, c'est important, j'insiste, je redoute, je vous raconte toutes les semaines la même chose, mais c'est important d'avoir une visualisation de ce qui se passe, mais c'est surtout important que vous le fassiez, c'est peut-être pas tant la carte elle-même qui est essentielle, c'est ce que vous faites, le fait de la faire qui soit important. Donc là, quelques cartes qu'on a trouvées intéressantes, je me souviens plus, c'est toutes les cartes, ou si je les ai reçues, non, je crois que je les ai reçues peut-être quelques-unes de plus. Je les ai mis en ligne. Donc ça c'est plutôt une, si je me souviens qu'elle restait sur les dernières choses qu'on a fait.

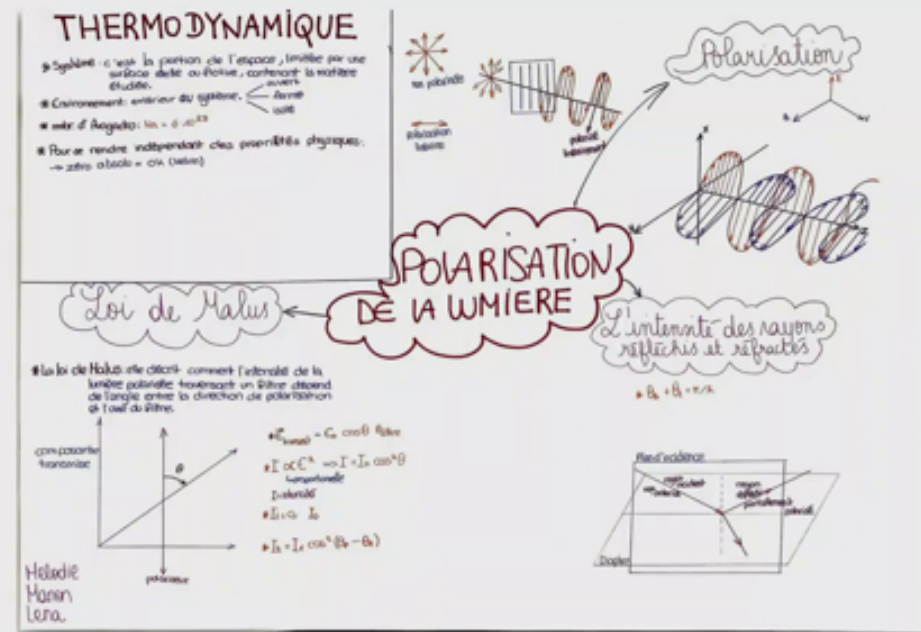
notes

résumé

12m 59s



Mind map



Fürbringer - Vittorangeli - Dubuisson

Feedback 7^{ème} semaine

8 avril 2025

9 / 9

Là, c'est resté sur la dernière chose qu'on a fait, et puis voilà, une qui a fait plutôt sur optique ondulatoire et thermodynamique. Donc en regardant ça, je me dis que

notes

résumé

14m 10s



Exemple 2 $U(N,T) = \frac{3}{2} N k_B T$

$$U(dN, dT) = d^2 U(N,T)$$

la carte de l'ensemble de l'optique n'est pas encore vraiment faite, donc ça vaut la peine que vous y mettiez. Tout ce qui me dit, oui, oui, je suis à la maison, faites-le. Et vraiment je vous encourage de vous faire un peu plus qu'une table de matière, un ensemble des concepts qu'on a vus et les liens qu'ils ont entre eux. Des fois, les liens, ils étaient dans la même leçon. Des fois, il y a des liens qui sont revenus dans une leçon suivante. Vraiment je vous encourage à faire ce travail d'analyse. Alors, maintenant, il faut que j'aille chercher voilà, le cours de Thermon.

notes

résumé

14m 21s



3.1.15 Notion de transformation d'un système

Transformation: Toute évolution du système d'un état initial vers un état final et ce sous l'influence d'une modification du milieu extérieur.

Cycle: (transformation cyclique) transformation dans laquelle l'état final, obtenu après des *états intermédiaires*, correspond à l'état initial.

- Transformation irréversible
- Transformation quasi statique
- Transformation réversible

Excusez-moi, je cherche. Slide. Donc on avait commencé

notes

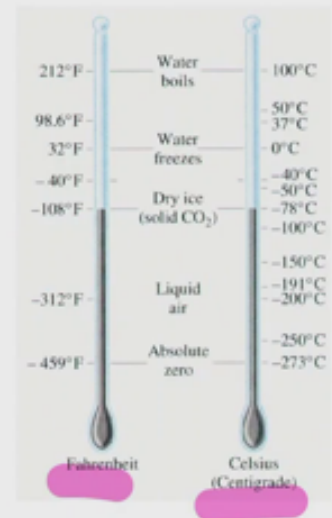
résumé

15m 8s



3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**: détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



la thermodynamique en présentant les différents types de systèmes et on avait commencé à parler de la température. Donc ça c'était le dernier slide fait correctement. Et puis si je me souviens, je vous avais juste parlé de ça en 2 minutes. Donc reprenons, reprenons sur les différents types de température. Donc vous voyez un petit peu qu'en sait qu'on a stabilisé les mesures de température. C'est au cours du 18e siècle. Donc je vais raconter la dernière fois un certain monsieur Celsius Suédois fait une mesure qui simplifie un peu la vie. C'était de diviser l'échelle en 100 parties. C'est pour ça qu'on appelle ça le « lecentigrade » et de prendre comme référence pour le début et la fin de l'échelle quelque chose que tous les laboratoires peuvent tester peuvent vérifier. Donc ça veut dire l'eau qui gèle, la température à laquelle l'eau gèle et la température à laquelle l'eau bout pour une pression atmosphérique standard. Parce qu'avant on avait Mr. Fahrenheit. Vous avez vu une échelle assez intéressante qu'on gardait d'ailleurs les américains. Mais les références étaient un petit peu compliquées. Aujourd'hui dans un laboratoire, ce serait un petit peu compliqué. Alors la première, c'est ce qu'on appelle j'ai oublié mon échappe.

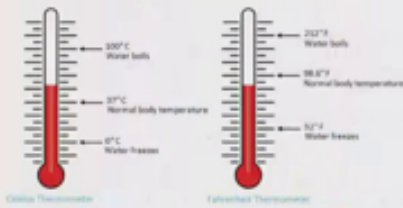
notes

résumé

15m 16s

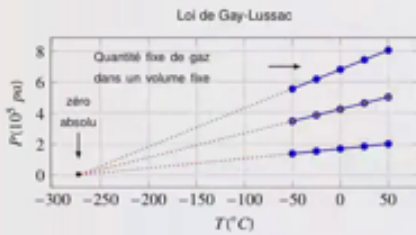


3.1.6 Échelles de température (°F, °C et K)



En 1742, Anders Celsius divise l'intervalle de température entre congélation et ébullition de l'eau en 100 parties égales. C'est le °C.

$$T_{[°F]} = 32 + \frac{9}{5} T_{[°C]} \quad (3.1)$$



En 1848, William Thomson propose une échelle de température basée sur le **Zéro absolu**, température à laquelle plus aucune chaleur ne peut être tirée du corps

K	°C	°F
0	-273.15	-459.67

C'est la glace sur laquelle on met du sel, donc la saumure. Donc lorsque vous mettez du sel sur de la glace, ça fait baisser la température du sel. Ça va faire en fait évaporer une partie de l'eau et l'énergie qui avait dans cette partie va faire baisser la température de la glace. Et ça provoque une température

notes

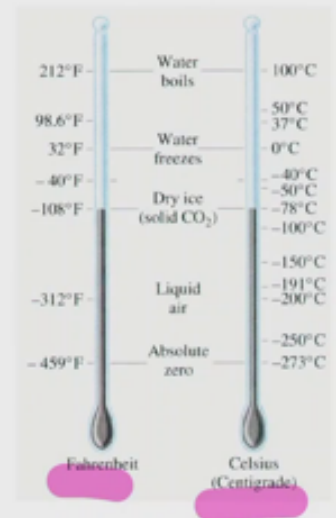
résumé

16m 58s



3.1.5 La Température

- Initialement basé sur nos **sensations physiologiques**.
- Difficile à quantifier : chaud, tiède, froid.
- Se baser sur une grandeur mesurable : volume d'un liquide, force électromotrice,...
- On a commencé par fixer l'échelle *linéaire* par deux points fixes, par exemple fusion de la glace et évaporation de l'eau (à la pression atmosphérique).
- Quelques problèmes: l'alcool ne se dilate pas exactement comme le mercure (par exemple).
- Pour se rendre **indépendant des propriétés physiques**:
détermination d'une échelle absolue à partir du **zéro absolu**: **0K** (Kelvin).



de, c'est juste, moins 32. Et puis

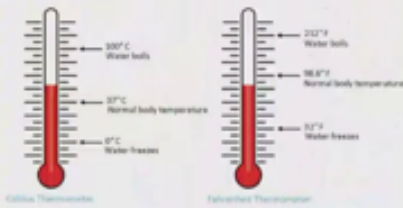
notes

résumé

17m 22s

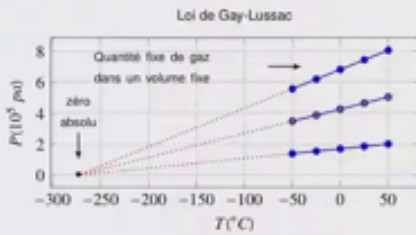


3.1.6 Échelles de température (°F, °C et K)



En 1742, Anders Celsius divise l'intervalle de température entre congélation et ébullition de l'eau en 100 parties égales. C'est le °C.

$$T_{[°F]} = 32 + \frac{9}{5} T_{[°C]} \quad (3.1)$$



En 1848, William Thomson propose une échelle de température basée sur le **Zéro absolu**, température à laquelle plus aucune chaleur ne peut être tirée du corps

K	°C	°F
0	-273.15	-459.67

l'autre température, elle est plus rigolose, c'était la température d'un cheval du sang, d'un cheval saint. Donc il fallait avoir dans le laboratoire, avoir un cheval, être sûr qu'il soit saint, il fallait avoir un vétérinaire pour vous dire qu'il n'était pas malade. Et c'était ça la référence. Ça c'était le haut de l'échelle de température. Après on a tout petit peu simplifié, on s'est dit que finalement on pouvait utiliser la température humaine, donc ils ont adapté sur l'échelle et ils ont pris de références. Donc la

notes

résumé

17m 30s



3.1.7 Exemple de calcul ($^{\circ}\text{F}$, $^{\circ}\text{C}$ et K)

Calculer en degré Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) et en Kelvin (K) la température correspondant à 37 degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

30 $^{\circ}\text{F}$ \longrightarrow ? $^{\circ}\text{C}$

invention ou le travail fait par Celsius simplifié quand même, c'est quand même plus facile d'avoir une situation où vous avez la glace, voire la quelle température la glace se forme, ou la glace fond, c'est la même chose. Et puis d'avoir aussi la température à laquelle l'eau bouille comment se s'évaporer. Et c'est d'autant plus facile de faire une mesure là que c'est des changements de phase. Donc comme je vous ai expliqué par rapport à cette question du quiz, quand on a un changement de phase, les températures sont constantes, donc il suffit d'avoir de l'eau qui commence à s'évaporer et pendant jusqu'à tant que vous avez de l'eau, vous avez un 100 degré, donc c'est plus facile de faire une mesure. Et la même chose, il suffit d'avoir de l'eau qui est en train de geler. Et tant que vous avez un mélange d'eau et de glace, vous avez un bain à 0 degré. Donc c'était à pression atmosphérique constant. Donc c'était beaucoup plus facile. Et si vous cherchez à passer de l'un à l'autre, parce que vous avez un correspondant en Amérique qui vous parle de la température ou de sa propre température ou qui parle de la température extérieure, il va parler en degré Fahrenheit. Et si vous voulez passer des degrés Fahrenheit au degré celsius, vous voyez que vous avez une différence de 32. Et puis vous avez aussi un facteur. Donc le degré Fahrenheit n'a pas la même largeur, la même épaisseur que le degré celsius. Il y a un rapport de 9 cinquième, donc quasiment la moitié. Un degré Fahrenheit est environ 2 fois plus grand qu'un degré celsius. Et puis, finalement ça c'était ce que j'ai dit je crois dans les moments, les dernières, dernières minutes du cours la

notes

résumé

18m 1s



3.1.7 Exemple de calcul ($^{\circ}\text{F}$, $^{\circ}\text{C}$ et K)

Calculer en degré Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) et en Kelvin (K) la température correspondant à 37 degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

30 $^{\circ}\text{F}$ \longrightarrow ? $^{\circ}\text{C}$

dernière fois. Un certain M. Thompson qui s'appelait aussi Lord Kelvin son nom de, je ne sais pas comment dire, de noblesse ou je ne sais pas quoi, enfin M. Thompson mais Lord Kelvin un personnage assez important au cours du 19^{ème} siècle a fait des expériences comme celles qu'on vient faire devant vous et a appris donc plusieurs quantités de gaz et regardé qu'est-ce qui se passait quand on variait sa température et puis se rendent compte que quand on variait différentes quantités de gaz qui avaient peut-être une température différente au départ si on baissait la température on arrivait tout le temps au même point qui est la définition de la température absolue du 0 absolu et ça, ça se passe à moins 273.15 alors quand on fait des calculs dans un problème à moins qu'on le précise on peut oublier le .15 alors quand vous êtes à 0 le .15 il a souvent beaucoup d'importance mais quand vous êtes à une température standard ici qui est environ 273 à 300 Kelvin, le .15 vous pouvez l'oublier il n'est pas si important ça et puis il y a aussi ce que je vous ai mentionné avant de vous dire voilà donc quand on parle de Fahrenheit et de Celsius on parle de degrés parce que c'est des mesures de température relative et quand on parle de Kelvin on devrait pas dire degré Kelvin, vous allez trouver des bouquins de physique de gens bien plus calés que moi qui soit c'était pas standard avant soit on pas vu l'enjeu mais normalement on doit pas dire degré Kelvin on doit dire en Kelvin parce que c'est une mesure, c'est une vraie mesure physique ce n'est pas une mesure relative à quelque chose donc si on veut passer de l'un à

notes

résumé

3.1.7 Exemple de calcul ($^{\circ}\text{F}$, $^{\circ}\text{C}$ et K)

Calculer en degré Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) et en Kelvin (K) la température correspondant à 37 degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

50 $^{\circ}\text{F}$ \longrightarrow ? $^{\circ}\text{C}$

l'autre il faut utiliser donc si on dit que j'ai je sais pas pardon si je dis j'ai 50 degrés Fahrenheit et j'aimerais savoir combien ça fait pour le c'est un peu plus important et j'aimerais savoir combien ça fait

notes

résumé

3.1.8 La pression

- La pression correspond au rapport entre une force et une surface. Son unité SI est le pascal

$$[p] = N \cdot m^{-2} = pa$$

- Dans un système de fluide, la force exercée par le fluide sur la surface du système est

$$d\vec{F} = P dS \vec{n}_{ex}$$

avec dS un élément de surface et \vec{n}_{ex} le vecteur unitaire perpendiculaire à la surface.

- Dans un liquide immobile la pression dépend de la hauteur du liquide. On parle de pression hydrostatique:

$$P = \rho gh$$

avec ρ la masse volumique du liquide, g l'accélération de la pesanteur et h la hauteur de la colonne de liquide.

en degré celsius faut utiliser la loi qui est ici donc vous avez la température donc on a qui va être égal à 32 plus de ma température en degré celsius c'est ma propre notation ça elle en vaut elle en vaut une autre mais c'est clair quand vous avez une température il faut faire la différence entre la température comme la situation physique, l'état physique de notre système et puis la température le nombre qui représente cet état donc quand vous parlez de la température comme ça quelque part vous n'avez même pas besoin de dire si c'est des degrés Fahrenheit vous voyez la température vous avez besoin de préciser quand vous dites est-ce qu'il fait chaud ou froid vous dites pas est-ce qu'il fait chaud en Fahrenheit ou est-ce qu'il fait chaud en celsius il fait chaud c'est égal par contre quand vous avez un nombre il y a des unités et puis là il faut vraiment être clair sur comment vous faites les choses donc ça va être moins 32 qui va être égal à 9 5ème de t en celsius donc ça veut dire 5 9ème puis vous avez votre température pour le calculer je vais avancer

notes

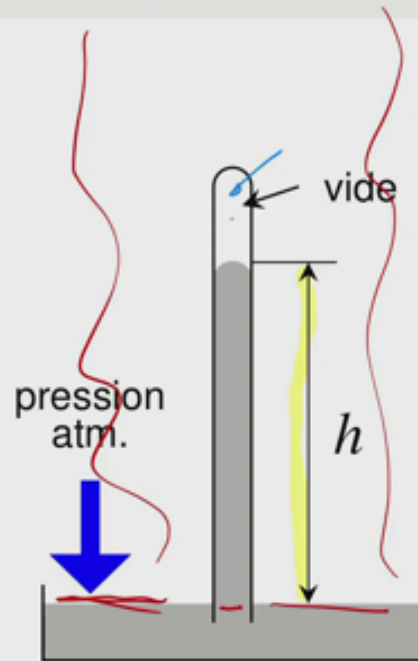
résumé

22m 37s



3.1.9 La pression atmosphérique

- Pression exercée à la surface de la terre par la colonne d'air correspondant à l'atmosphère.
- Dans les données météorologiques cette valeur est standardisée par rapport au niveau de la mer
- Unités alternatives:
 - $1 \text{ atm} = 101'325 \text{ pa} \approx 760 \text{ mmHg}$
 - $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ pa} \approx 1 \text{ atm}$
 - $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.81 \text{ pa} \approx 10 \text{ pa}$



une autre je vais parler de température parce que si vous souvenez au tout début on disait les systèmes ils sont assez facilement décrits des systèmes thermodynamiques par le volume, la pression et la température donc je voulais parler un petit peu de ces variables là donc la pression c'est quelque chose que vous pouvez ramener à votre super premier semestre de physique c'est lié aux forces donc la pression c'est une force par rapport à une surface si vous appuyez avec une certaine force et puis que vous arrivez à répartir toute la force sur une certaine surface ça ça représente la pression donc c'est des newton par mètre carré une unité standard si on appelle ça des Pascal en référence à Pascal, un physicien français du fin du 16ème début début 17ème non, plutôt fin 17ème 18ème donc quand on a un système il y a des choses assez particuliers avec la pression si vous avez un système fluide un gaz, un liquide une pression bien sûr qu'on a défini par rapport à une force qu'a toujours une direction puis on l'a répartie par rapport à on l'a répartie par rapport à une surface mais la pression a priori elle a pas une direction c'est la force qui a une direction la force est la signe de vecteur quand on l'écrit la pression on lui met pas un signe de vecteur parce qu'en fait elle va s'exercer dans un fluide, dans un liquide dans toutes les directions d'ailleurs si vous prenez un ballon que vous remplissez d'eau il faudrait pour que le ballon ait un plastique assez résistant, si vous faites un petit trou vous allez voir que l'eau elle va toujours jaillir perpendiculaire à la surface que le trou soit en bas en haut sur les

notes

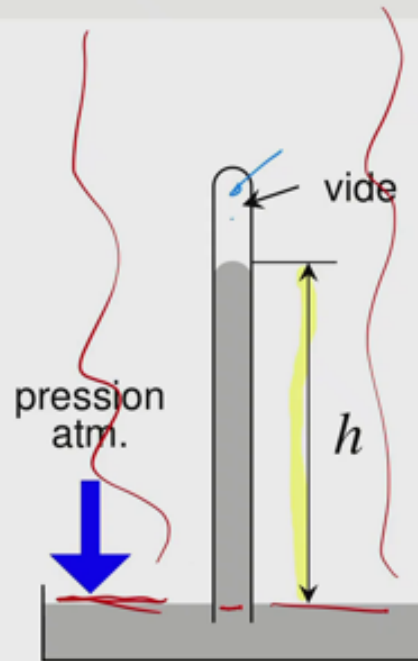
résumé

24m 28s



3.1.9 La pression atmosphérique

- Pression exercée à la surface de la terre par la colonne d'air correspondant à l'atmosphère.
- Dans les données météorologiques cette valeur est standardisée par rapport au niveau de la mer
- Unités alternatives:
 - $1 \text{ atm} = 101'325 \text{ pa} = 760 \text{ mmHg}$
 - $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ pa} \approx 1 \text{ atm}$
 - $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.81 \text{ pa} \approx 10 \text{ pa}$



Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

March 31, 2025

18 / 1

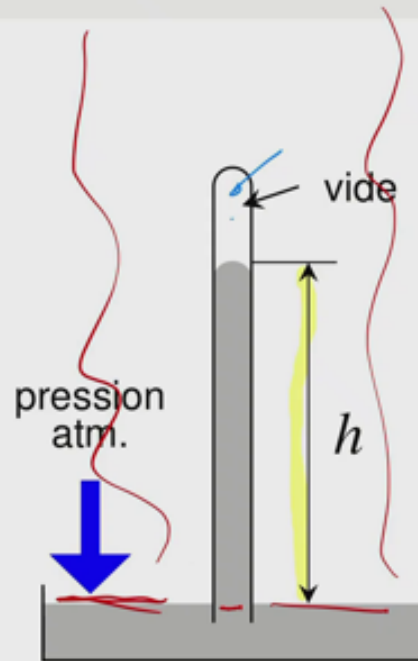
côtés l'est ou est le nord le sud, elle va toujours, la pression va toujours s'exercer dans une certaine direction enfin elle va s'exister dans toutes les directions mais au moment où vous faites le trou elle va sortir dans une direction donc c'est ce que j'ai représenté ici la relation entre la force la pression c'est lié à la surface que vous considérez donc ça va je sais pas si vous arrivez, si pour vous c'est facile à lire ça, le déses ça représente le petit élément de la surface qu'on considère et puis on a un vecteur N qui est le vecteur qui est perpendiculaire à la surface ça ressemble un petit peu de 3 trucs qu'on a fait en optique quand on regardait l'angle par rapport à la perpendiculaire ça arrive assez souvent au physique que pour éviter de définir l'angle d'une surface qui est assez compliqué à définir, on préfère définir l'angle de la perpendiculaire et puis quelque chose qui est intéressant à se souvenir ça peut apparaître ici ou là dans un problème, il y a ce qu'on appelle la pression hydrostatique donc ça veut dire si on a un fluide qui est stable, en verre d'eau il n'y a pas de mouvement, vous n'avez pas bougé votre eau avec une cuillère ou quoi que ce soit donc on a une situation statique alors la pression à l'intérieur de ce fluide en gaz, en liquide elle est liée à la densité de la densité du fluide, le rôle elle est liée à la gravitation ce n'est pas la même chose si vous êtes sur mars, sur la lune ou sur la terre et puis elle va être liée à la hauteur, donc plus la hauteur du liquide que vous considérez est importante éventuellement il y

notes

résumé

3.1.9 La pression atmosphérique

- Pression exercée à la surface de la terre par la colonne d'air correspondant à l'atmosphère.
- Dans les données météorologiques cette valeur est standardisée par rapport au niveau de la mer
- Unités alternatives:
 - $1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ pa} = 760 \text{ mmHg}$
 - $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ pa} \approx 1 \text{ atm}$
 - $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.81 \text{ pa} \approx 10 \text{ pa}$



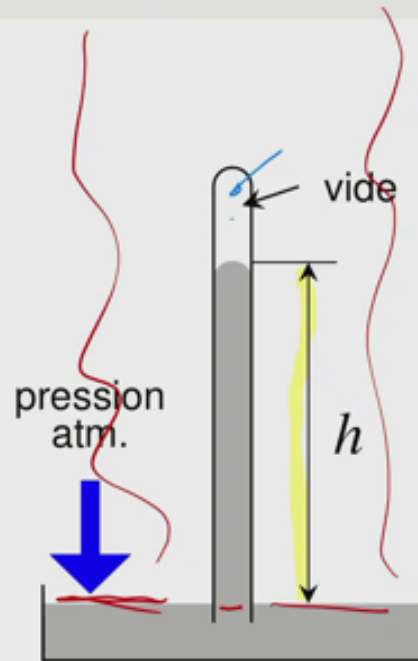
a la pression atmosphérique mais donc typiquement quand vous descendez dans un fond marin, plus la pression, plus la profondeur augmente, plus la pression va augmenter, c'est ce qu'on appelle la pression hydrostatique, parce que par contre s'il y a des mouvements dans le fluide alors vous pouvez avoir des pressions qui sont plus importantes ou des pressions qui sont moins importantes, c'est ce qu'on montre dans cette petite expérience où on a une soufflante un ventilateur qui fait qui souffle de l'air donc il a une forme, on appelle ça un venturi, parce qu'on veut obtenir une grande vitesse à la fin, donc on a une grande entrée il a l'air rentrer ici et puis sortir ici, comme l'entrée ici est plus importante, alors à la sortie il va avoir des vitesses plus importantes et puis je peux mesurer la pression vous voyez sur la caméra, je peux mesurer la pression donc ce s'appelle un tube pito, j'ai un trou juste en face qui va prendre la pression que provoque le fluide quand il arrive sur mon instrument de mesure puis j'ai des petits trous sur le côté ça va représenter la pression dans le liquide et en fait la différence des deux pressions c'est utilisé dans les avions par exemple pour mesurer la vitesse de l'avion par rapport au fluide dans lequel il est il faut que j'arrête donc c'est un commentaire, vous vous dire alors il y a la pression hydrostatique quand on est pas en train, le fluide n'est pas en train de se déplacer, dès qu'on a des mouvements ils vont se passer des choses un petit peu différentes mais c'est pas au c'est intéressant mais c'est pas au programme de cette année donc je vais pas aller plus loin dans cette explication alors la

notes

résumé

3.1.9 La pression atmosphérique

- Pression exercée à la surface de la terre par la colonne d'air correspondant à l'atmosphère.
- Dans les données météorologiques cette valeur est standardisée par rapport au niveau de la mer
- Unités alternatives:
 - $1 \text{ atm} = 101'325 \text{ pa} = 760 \text{ mmHg}$
 - $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ pa} \approx 1 \text{ atm}$
 - $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.81 \text{ pa} \approx 10 \text{ pa}$



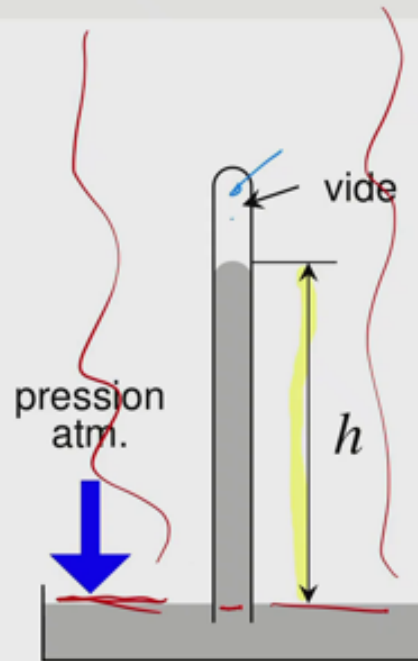
pression qui va souvent être importante en thermodynamique en plus la pression quand on est dans un milieu qui peut être fermé, dans un milieu ouvert va être la pression atmosphérique donc en certains, Monsieur Toricelli qui était un étudiant de Galilé a eu l'idée de se dire, mais tiens quelle est la pression générale de l'air, donc il a pris un tube, j'ai aucune idée la grandeur qu'il avait en réalité, j' imagine pas si grand que ça à l'intérieur de ce tube il a mis du mercure et puis il a monté la construction comme ça donc au début ici on avait le mercure était plein avant de renverser son tube de mercure il n'y avait pas du tout de bulles d'air, ni quoi que ce soit au fond de son tube, il l'a renversé il l'a mis sur un lac de mercure et il s'est créé ici un vide et donc la pression qui va s'exercer sur le lac sur cette zone qui est ici sur le lac de mercure, ça va être la même qui va s'exercer à cette hauteur là, donc ça veut dire que la pression de toute la colonne d'air qui est ici va être égale à la colonne de mercure qui est ici et il a mesuré une hauteur d'environ 76 cm environ 760 mm de mercure et c'est actuellement la manière qu'on a de mesurer la pression atmosphérique on peut faire cette mesure là et on va vous dire la pression atmosphérique aujourd'hui c'est 761, 759, 770 ça représente la pression exercée par l'atmosphère ensuite il y a un petit abus de langage parce que je vous ai dit c'est la pression hydrostatique donc il faudrait arrêter tous les vents, donc il ne faut pas mesurer à martini si possible ceux qui

notes

résumé

3.1.9 La pression atmosphérique

- Pression exercée à la surface de la terre par la colonne d'air correspondant à l'atmosphère.
- Dans les données météorologiques cette valeur est standardisée par rapport au niveau de la mer
- Unités alternatives:
 - $1 \text{ atm} = 101'325 \text{ pa} = 760 \text{ mmHg}$
 - $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ pa} \approx 1 \text{ atm}$
 - $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.81 \text{ pa} \approx 10 \text{ pa}$



connaissent la ville ça ne faut pas, je parle de ça parce que c'est une ville qui a énormément de vent mais donc quand on mesure la pression c'est la pression atmosphérique donc elle va s'exercer la pression hydrostatique de la colonne d'air qui est en-dessus et puis éventuellement les effets des vents à différentes altitudes que vous avez et puis alors il y a plusieurs unités de pression ça dépend de ce qu'on fait donc si on se dit qu'on veut absolument respecter le système international d'unité alors on peut calculer que étant donné la hauteur que représente 760 mm de mercure étant donné la densité du mercure et puis la gravitation

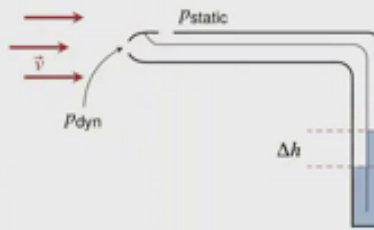
notes

résumé

3.1.10 Pression relative ou absolue

Dans la vie courante, lorsqu'on parle de pression

- si la mesure est par rapport au vide, alors il s'agit de pression absolue
- si la mesure est par rapport à une pression non nulle, par exemple la pression atmosphérique, alors il s'agit de pression relative



Pression absolue vs relative

La pression absolue ne peut être que positive!

- 1 Pression atmosphérique à Sion hier soir 1018.3 hpa → relatif/abs?
- 2 Pression artérielle idéale 90-120 mmHg → relatif/abs?
- 3 Pression de 1 mole H_2O dans 1 m^3 à 20 °C: 2400 pa → relatif/abs?
- 4 Pression du laboratoire de confinement L3: -25 pa → relatif/abs?

qui est sur la terre donc on peut réutiliser la formule que je vous ai présentée ici et puis on va pouvoir calculer la pression système international que ça représente et donc si vous faites ça vous arrivez au résultat de 101.325 pascals je crois que pendant toutes mes études de fixe être un des nombres que j'ai mémorisé je sais pas pourquoi il y avait d'autres plus importants mais j'avais mémorisé celui-là 101.300, 101.325 on n'est pas toujours à précision donc ça c'est la valeur de la pression atmosphérique de 760 mm donc on a aussi donné un autre nom on appelle ça un atmosphère ça a donné le nom donc vous voyez il y a toujours des unités de base du système international dans ce cas-là c'est donc le pascal qui est l'unité de base puis après on utilise des unités utiles dans lesquelles on est donc les météorologues ils mesurent ça avec des colonnes de mercure donc au lieu de parler de pascal ils vont parler de millimètres de mercure et puis on a dit voilà standard qu'on a de 760 mm de mercure et puis c'est un peu embêtant parce que 101.325 c'est pas très arrondi les ingénieurs ils aiment bien avoir des chiffres ronds donc ils ont inventé quelque chose qui s'appelle le bar qui lui est arrondi ça vaut 100.000 pascals et pas 101.300 donc c'est presque la même chose un shouya et puis donc on peut dire qu'un bar c'est presque un atmosphère avec 1.325 pascals de différence suivant les calculs que vous faites vous pouvez prendre l'un pour l'autre c'est le cas de dire tard pour bar c'est pas un grand problème puis quand vous faites les calculs précis alors il faudra plutôt utiliser les mesures précises il existe encore une autre

notes

résumé

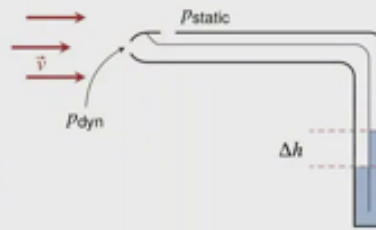
33m 49s



3.1.10 Pression relative ou absolue

Dans la vie courante, lorsqu'on parle de pression

- si la mesure est par rapport au vide, alors il s'agit de pression absolue
- si la mesure est par rapport à une pression non nulle, par exemple la pression atmosphérique, alors il s'agit de pression relative



Pression absolue vs relative

La pression absolue ne peut être que positive!

- 1 Pression atmosphérique à Sion hier soir 1018.3 hpa → relatif/abs?
- 2 Pression artérielle idéale 90-120 mmHg → relatif/abs?
- 3 Pression de 1 mole H_2O dans 1 m^3 à 20 °C: 2400 pa → relatif/abs?
- 4 Pression du laboratoire de confinement L3: -25 pa → relatif/abs?

mesure on utilise par exemple en construction pour la résistance des toitures et des choses comme ça donc c'est au fond de savoir la pression qu'on a combien de millimètres d'eau ça pourrait correspondre c'est aussi facile parce que du mercure on en a pas toujours à disposition de l'eau c'est un liquide tellement tellement commun qu'on pourrait faire des expériences soi-même sans problème donc si vous multipliez par 10 ça fait environ 10 pascals donc si on vous dit qu'une toiture résiste à je sais pas 15 millimètres d'eau ça veut dire qu'elle est capable de résister à une pression d'environ 650 pascals en plus de la pression atmosphérique il s'entend dans ce cas-là comment

notes

résumé

3.1.11 Caractère intensif ou extensif d'une variable

- On travaille avec des systèmes qui n'ont pas de mémoire. Le système est défini par le niveau actuel des variables qui le décrivent: *Si le système considéré est à 200K, peut importe qu'il soit arrivé à cette température en se réchauffant ou en se refroidissant*
- Les **variables intensives** ne dépendent pas de la taille du système, de la quantité de matière comme la pression et la température.
- Il est possible de mesurer les valeurs intensives localement.
- Les **variables extensive** dépendent de la taille du système, de la quantité de matière, comme le volume.
- Ces variables n'ont pas de valeur locale.

comment est-ce qu'on la mesure alors je vous ai déjà montré l'histoire du pitot donc vous avez ici un dessin qui représente la petite expérience que je vous ai faite en fait une manière de mesurer la pression je ne sais pas si vous en parlez c'est de faire une colonne une colonne d'eau, une colonne d'alcool une colonne de quelque chose si vous faites une colonne ça vous donne la différence de pression entre une référence et ce que vous êtes en train de mesurer et dans le cadre du pitot c'est ce qu'on fait on va faire un tube en u et puis on va mettre un liquide dont on doit connaître la densité absolument et puis comme ça la différence de colonne va nous permettre de calculer la différence de pression que je vais avoir dans ce cas-là avec la pression que j'ai sur le côté et la pression que j'ai en face et cette différence de pression par exemple va nous permettre dans le cas d'un avion de mesurer la pression donc comme l'avion est en train de se déplacer en général on ne met pas ça au nez de l'avion on met ça à un endroit un petit peu discret sous les ailes de l'avion un endroit où on peut faire cette mesure puis là vous avez une autre mesure de pression typique qu'on a dans nos systèmes de chauffage dans le réseau de chauffage pour être sûr que vous n'êtes pas en train de faire exploser dans votre radiateur là c'est plutôt une mesure qui est faite avec une espèce de lune métallique que la pression va déformer et puis on va mesurer la pression de cette manière alors quand on parle de pression ça a une certaine importance d'être capable de faire la

notes

résumé

36m 56s



3.1.11 Caractère intensif ou extensif d'une variable

- On travaille avec des systèmes qui n'ont pas de mémoire. Le système est défini par le niveau actuel des variables qui le décrivent: *Si le système considéré est à 200K, peut importe qu'il soit arrivé à cette température en se réchauffant ou en se refroidissant*
- Les **variables intensives** ne dépendent pas de la taille du système, de la quantité de matière comme la pression et la température.
- Il est possible de mesurer les valeurs intensives localement.
- Les **variables extensive** dépendent de la taille du système, de la quantité de matière, comme le volume.
- Ces variables n'ont pas de valeur locale.

différence dans ce qu'on appelle la pression absolue et la pression relative et ça va être nécessaire dans plusieurs des formules thermodynamiques et on va être clair sur cette différence donc quand on parle de pression absolue ça veut dire que c'est une pression qui est donnée en Pascal sans dépendre d'une autre mesure c'est la mesure même qu'on fait donc quand on dit relative ça veut dire qu'on est en relation avec quelque chose, en général c'est la pression atmosphérique si vous parlez de la résistance à la pression sur une toiture qui est de 100 Pascal c'est seulement que c'est en plus de la pression atmosphérique parce que la pression atmosphérique il y a déjà 100 à 1325 Pascal donc si ça résistait que 100 Pascal ça ferait longtemps que votre toiture serait par terre donc ça veut dire que là on parle d'une pression différentielle d'une pression en plus ou en moins de la pression atmosphérique donc là il y a quelques petits exemples pour vous rendre attentif à ça donc si je dis que la mesure en quelques années j'ai pas été vérifier hier la pression, mais enfin si je disais que hier la pression à Sion était de 118.3 hectopascals donc ça veut dire 100 à 1830 Pascal le H c'est pour la valeur est-ce que c'est une mesure relative ou une mesure absolue ? mais oui vous avez raison parce que je fais référence à rien d'autre c'est la mesure que j'ai fait maintenant quand je dis que ma pression artérielle je sais pas si c'est vrai je ne m'en connais pas mais la pression artérielle idéale est entre 90 et 120 millimètres de mercure est-ce que là vous pensez qu'on parle de la pression relative ou d'une pression absolue ? donc vous devez

notes

résumé

3.1.11 Caractère intensif ou extensif d'une variable

- On travaille avec des systèmes qui n'ont pas de mémoire. Le système est défini par le niveau actuel des variables qui le décrivent: *Si le système considéré est à 200K, peut importe qu'il soit arrivé à cette température en se réchauffant ou en se refroidissant*
- Les **variables intensives** ne dépendent pas de la taille du système, de la quantité de matière comme la pression et la température.
- Il est possible de mesurer les valeurs intensives localement.
- Les **variables extensive** dépendent de la taille du système, de la quantité de matière, comme le volume.
- Ces variables n'ont pas de valeur locale.

réfléchir au fait que je suis un corps mou et que je subis de toute manière la pression atmosphérique donc ça veut dire que mon corps il est en tout cas à la pression atmosphérique je suis pas dans un scaphandre qui me protège de la pression atmosphérique donc la pression atmosphérique elle est d'environ 700 millimètres de mercure donc c'est pas possible d'avoir une pression absolue de mon sang qui soit seulement de 20 et de 120 millimètres donc c'est une pression relative dans ce cas c'est par rapport à la pression, c'est en plus de la pression atmosphérique qui fait que si vous vous faites un trou dans une veine ou une artère le sang va gérer à l'extérieur alors que si la pression était inférieure à la pression atmosphérique dès que vous feriez un trou, il y a l'air qui rentrerait à l'intérieur de vos veines si je dis que une moule d'eau dans un médicum à 20 degrés elle fait 2400 pascals de pression est-ce que là je suis en train de parler absolue ou je parle d'une pression relative qui est-ce que vous pensez qui prend le risque absolue c'est celle que je vais utiliser dans mes lois des gaz parfaits dans mes lois thermodynamiques et quand je dis la pression dans un laboratoire de confinement L3 ça sent un peu la période du Covid et de moins 25 pascals est-ce que je parle d'une pression absolue ou d'une pression relative relative c'est parce que ce que je vais être sûr c'est que si j'ai une pression relative relative relative c'est parce que ce que je vais être sûr c'est que si j'ai une petite interstice par les fenêtres etc. les rentre et que mon coronavirus ne puisse pas partir je sais pas où qui

notes

résumé

3.1.11 Caractère intensif ou extensif d'une variable

- On travaille avec des systèmes qui n'ont pas de mémoire. Le système est défini par le niveau actuel des variables qui le décrivent: *Si le système considéré est à 200K, peut importe qu'il soit arrivé à cette température en se réchauffant ou en se refroidissant*
- Les **variables intensives** ne dépendent pas de la taille du système, de la quantité de matière comme la pression et la température.
- Il est possible de mesurer les valeurs intensives localement.
- Les **variables extensive** dépendent de la taille du système, de la quantité de matière, comme le volume.
- Ces variables n'ont pas de valeur locale.

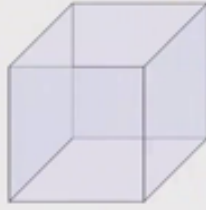
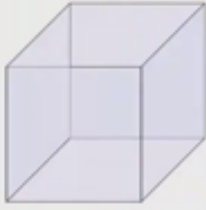
passé à travers un filtre que j'ai prévu donc j'ai un ventilateur et puis j'aspire à l'intérieur de mon laboratoire et puis je vais analyser tout ce qui va tout ce qui va en sortir et donc je vais avoir une pression qui est à l'intérieur qui est plus basse que la pression atmosphérique pour être sûr que si j'ai un petit trou quelque part l'air va rentrer et ne va pas sortir voilà ben la reste le 3.1.11 ce sera pour après la pause après la pause cette 2e partie je vais commencer à rentrer en certain nombre de concepts vous allez voir qu'ils ont des implications mathématiques donc quand on a un système thermodynamique donc ça veut dire par exemple une capsule avec du gaz à l'intérieur l'atmosphère une réaction chimique on va pas beaucoup s'intéresser de réaction chimique parce que je suis un physicien et que je serai incapable de vous emmener sur ce terrain-là mais en fait un système thermodynamique et ben on a un certain nombre de variables et ces variables ce qui est important alors des variables d'état pas forcément mais en fait ce qui est important c'est qu'elle il y a 2 propriétés qui est importante distinguer dans ces variables et c'est toujours l'idée qu'est-ce qui se passe est-ce que mon système changeait de taille si au lieu de prendre une fois ce système là je prenais deux fois ce système là est-ce que la variable dont on a en tête est en train de changer donc quand on a une variable qu'on dit intensive donc ça veut dire qu'on peut la mesurer localement

notes

résumé

3.1.11 Caractère intensif ou extensif d'une variable

$$(p_1, v_1, T_1) + (p_1, v_1, T_1) = (p_1, 2 \times v_1, T_1)$$



- **variables intensives**

- Si on double le système, pression et température reste les mêmes.

- **variables extensive**

- Si on double le système, le volume double.

et ça veut dire que si vous multipliez par deux le système vous avez votre système vous la grandissez avec un système et vous les mettez ensemble est-ce que cette variable va changer donc si vous prenez 1 kg de glace donc à 0° puis vous multipliez par deux vous avez 2 kg de glace la température sera toujours 0° vous n'allez pas changer la température donc ça c'est une variable qui est intensive si vous avez un ballon avec une certaine pression et vous avez un air à l'intérieur c'est deux atmosphères et vous dites maintenant je vais faire un système avec deux ballons la même chose je double la pression va rester la même donc c'est intensif donc ça veut dire que c'est une variable intensive quand vous doublez le système vous n'allez pas doubler la valeur de cette variable là et puis ça veut aussi dire que la température est localement donc la température c'est toujours la température d'un endroit après on peut définir la température tout en volume parce qu'on veut dire qu'elle est la même ou en moyenne elle est la même mais en fait la température vous la mesurez à un endroit la pression vous la mesurez à un endroit par contre une valeur qui est extensive elle va varier avec la taille du système si vous prenez 2 ballons et vous étiez ensemble ça va faire 2 litres donc c'est une variable extensive elle va grandir avec le système si vous avez un ballon rempli d'eau c'est plus facile que remplir mais il y a un kilo il y a un litre d'eau il y a un kilo d'eau à l'intérieur vous le doublez mais il y aura un système final la même pression mais par contre la variable elle va doubler donc

notes

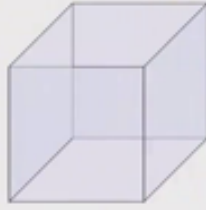
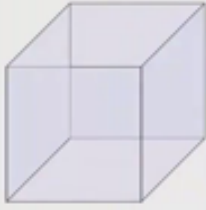
résumé

45m 13s



3.1.11 Caractère intensif ou extensif d'une variable

$$(p_1, v_1, T_1) + (p_1, v_1, T_1) = (p_1, 2 \times v_1, T_1)$$



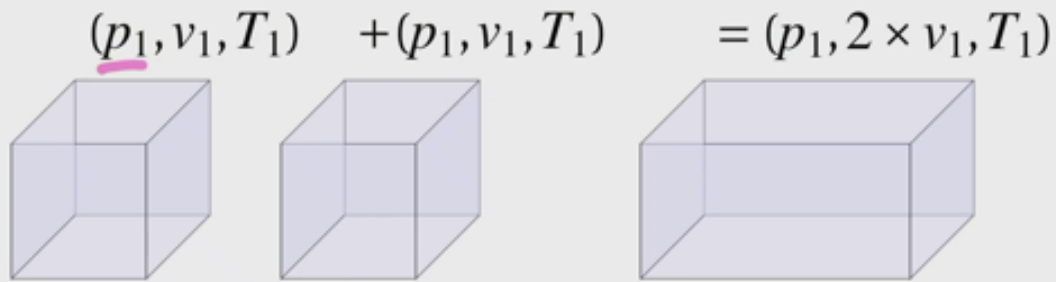
- **variables intensives**
- Si on double le système, pression et température reste les mêmes.
- **variables extensive**
- Si on double le système, le volume double.

ça c'est une variable extensive donc les variables intensives elles se mesurent localement et elles ne vont pas changer si je fais une homothécie au système si vous me permettez un terme mathématique si je double le système tandis que les variables extensives d'où le mot étendre elles vont varier proportionnellement à la taille du système si vous doublez la taille du système elles vont doubler le volume, la masse le nombre de molécules qu'il y a à l'intérieur et ça va avoir une certaine importance c'est ça qu'on aimerait quand même savoir on veut faire des lois de physique qui soient universel donc on doit absolument comprendre faire la différence entre les variables qui vont changer quand on va changer la taille du système donc c'est pour ça qu'on a besoin de faire cette distinction entre des variables intensives et des variables extensives et on va voir dans nos systèmes dans nos équations que les unes et les autres ont des propriétés mathématiques un peu différentes

notes

résumé

3.1.11 Caractère intensif ou extensif d'une variable



- **variables intensives**

- Si on double le système, pression et température restent les mêmes.

- **variables extensives**

- Si on double le système, le volume double.

donc voilà une illustration que j'aurais pu mettre ce slide pendant que je parlais donc la bonne manière pour comprendre ce qui se passe dans un système qui est décrit par un certain nombre de variables là on dit le premier système il est décrit avec une variable je cherche mon crayon il est là donc le premier système il est décrit par une variable

notes

résumé

48m 33s



3.1.12 Homogénéité et hétérogénéité d'un système

Phase: Une phase est une région de l'espace dans laquelle toutes les grandeurs physiques intensives sont des fonctions continues des coordonnées de l'espace.

Homogène: Un système est dit homogène quand la matière dont il est constitué se présente sous la forme d'une phase unique.

Hétérogène: Un système hétérogène est constitué de plusieurs phases. N.B. Une phase peut se présenter sous forme dispersée.

- 1 m^3 d'air
- 1 m^3 de nuage
- 1 litre de vinaigrette
- 1 litre de mayonnaise

p v et puis t et puis je mets à côté de lui un autre système qui est la même chose que lui le résultat ça va être la même pression, la même température par contre le volume aura doublé donc là on voit quelles sont les variables qui sont intensives la température et la pression et les variables qui sont extensives dans ce cas là c'est le volume on aurait pu mettre la masse

notes

résumé

48m 59s



3.1.13 État d'équilibre - définition

La thermodynamique s'intéresse aux échanges d'énergie entre un système et son environnement lors de son évolution entre différents états d'équilibre.

État de repos: Il n'y a pas d'échange d'énergie ni avec le milieu extérieur, ni entre les différentes parties du système

État d'équilibre:

- ① Il n'y a pas d'échange d'énergie ni avec le milieu extérieur, ni entre les différentes parties du système
- ② le système est stable par rapport à des perturbations extérieures. C-à-d que si le système évolue de (a) à (b) sous l'influence d'une perturbation extérieure, alors le système reviendra en (a) lorsque la perturbation cesse.

là un petit peu de vocabulaire quelque chose qu'on appelle une phase un système thermodynamique donc une phase est une région de l'espace dans laquelle toutes les grandeurs physiques intensives sont des fonctions continues des coordonnées de l'espace donc ça c'est la définition un peu théorique donc un exemple si vous avez de l'eau dans lequel vous avez des glaçons là vous avez deux phases parce qu'une phase c'est à l'intérieur de l'eau vous avez des variables intensives donc par exemple la température de l'eau va être continue à l'intérieur vous n'arrive pas tout d'un coup dans l'eau ici ça fait 10 degrés puis ici ça fait 20 degrés ça va être les choses elles vont toujours varier de manière continue à l'intérieur de la phase alors je vous ai dit avant si vous avez de l'eau et des glaçons ils seront les deux à la même température vous avez mis un glaçon qui était à moins je sais pas à moins 10 degrés dans de l'eau dans un petit moment à l'intérieur l'eau elle sera 0 degrés ou petit à petit il va arriver à 0 degrés moi c'est des fois l'eau pas à l'intérieur du glaçon la température qui va changer petit à petit jusqu'à ce que toute le glaçon se met à 0 degrés et puis comment ça fonde mais c'est continue à l'intérieur des glaçons, je pourrais d'un point à l'autre, j'ai des différences seulement infinitésimales entre des points et puis alors on parle de système homogène ou de système hétérogène un système homogène c'est un système qui n'y a qu'une phase donc c'est de l'eau c'est de la glace, c'est de la vapeur d'eau c'est un morceau d'acier il ne se dépend quelle taille on le regarde C'est une certaine taille qu'on va leur garder,

notes

résumé

49m 28s



3.1.13 État d'équilibre - définition

La thermodynamique s'intéresse aux échanges d'énergie entre un système et son environnement lors de son évolution entre différents états d'équilibre.

État de repos: Il n'y a pas d'échange d'énergie ni avec le milieu extérieur, ni entre les différentes parties du système

État d'équilibre:

- ① Il n'y a pas d'échange d'énergie ni avec le milieu extérieur, ni entre les différentes parties du système
- ② le système est stable par rapport à des perturbations extérieures. C-à-d que si le système évolue de (a) à (b) sous l'influence d'une perturbation extérieure, alors le système reviendra en (a) lorsque la perturbation cesse.

on va considérer que c'est homogène, la densité va être continue. Et puis, hétérogène, ça veut dire que vous avez, si vous avez des bulles de vapeur d'eau quand vous êtes en train de faire bouillir votre eau pour faire votre souffle, il y a des endroits où vous avez des bulles de vapeur d'eau, puis vous avez des endroits où vous avez des bulles, vous avez juste l'eau. Par exemple, la densité varie linéairement à l'intérieur de la bulle de vapeur d'eau. Elle va varier linéairement dans l'eau, mais par contre, entre l'eau et la vapeur d'eau, vous n'en avez pas la même densité. Donc là, quelques exemples. Donc, un mètre cube d'air, normalement, ça devrait être une seule phase, donc ça devrait être quelque chose d'homogène. Bien sûr que l'air, il y a une certaine pression. On peut imaginer que la pression est un peu supérieure par rapport à en dessous, mais c'est continuellement que les choses vont évoluer. Alors, un mètre cube de nuage, vous pensez que c'est homogène ou c'est pas homogène ? Argumenter ? C'est juste, c'est juste. La vinaigrette, on commence à avoir faim. C'est hétérogène parce que là-dedans vous avez des petites parties, des petites bulles d'huile et des petites bulles d'eau vinaigre avec l'eau. Et puis, l'huile est immiscible dans la mayonnaise, et la raison que c'est la même chose, vous avez en plus un gaz, etc.

notes

résumé

l'équilibre - définition

amique s'intéresse aux échanges d'énergie entre un système et son
t lors de son évolution entre différents états d'équilibre.

repos: Il n'y a pas d'échange d'énergie ni avec le milieu extérieur, ni
entre les différentes parties du système

équilibre:

- 1 Il n'y a pas d'échange d'énergie ni avec le milieu extérieur, ni entre les différentes parties du système
- 2 le système est stable par rapport à des perturbations extérieures. C-à-d que si le système évolue de (a) à (b) sous l'influence d'une perturbation extérieure, alors le système reviendra en (a) lorsque la perturbation cesse.

3.1.14 État d

On néglige l'i

- Équilibre th
- Équilibre m
- Équilibre ch
temps.

Après, il y a l'idée d'avoir ce qu'on appelle des états d'équilibre. Et puis là, on a deux termes. On a un état de repos, lorsqu'il n'y a pas d'échange d'énergie, ni avec le milieu extérieur, ni entre les différentes parties du système. C'est au repos. Donc quelque chose qui ne serait pas au repos, des glaçons, dans un verre, même si le verre est scellé et fermé, parce que vous allez avoir des échanges d'énergie qui vont se passer entre la glace et l'eau, donc ce n'est pas un système au repos. Par contre, il pourrait être à l'équilibre. Ça veut dire qu'il n'y a pas d'échange d'énergie, ni avec le milieu extérieur, ni entre les différentes parties du système. Le système est stable par rapport à des perturbations extérieures, c'est-à-dire que si le système évolue de A à B sous l'influence d'une perturbation extérieure, alors le système reviendra en A lorsqu'il est perturbé. Donc je n'ai pas un exemple de thermodynamique, mais si vous avez un balancier, en fait, à la longue, il va toujours remettre à la position la plus basse. Voilà un système qui va trouver son état d'équilibre.

notes

résumé

53m 25s



3.1.14 État d'équilibre d'un système thermomécanique

On néglige l'influence de la pesanteur :

- Équilibre thermique si la température T est la même dans tout le système;
- Équilibre mécanique si la pression du système ne varie pas dans le temps;
- Équilibre chimique s'il n'y a pas de variation de composition du système dans le temps.

Donc en général, dans les systèmes, quand on va parler de système thermomécanique, maintenant, les systèmes, c'était très général.

notes

résumé

54m 49s



3.1.15 Notion de transformation d'un système

Transformation: Toute évolution du système d'un état initial vers un état final et ce sous l'influence d'une modification du milieu extérieur.

Cycle: (transformation cyclique) transformation dans laquelle l'état final, obtenu après des *états intermédiaires*, correspond à l'état initial.

- Transformation irréversible
- Transformation quasi statique
- Transformation réversible

Les systèmes qui vont nous intéresser, c'est thermomécanique. Parfois, c'est quasiment toujours ce qu'on fait dans un premier cours de thermodynamique. C'est assez rare qu'on voit ce terme. C'est assez français, c'est une approche assez française. Quand je dis ce terme, mes collègues, ils me regardent un peu, ils font des sourcils comme ça. Mais moi, j'aime bien, je trouve ça d'écrivain. Pourquoi ? Parce que ça veut dire qu'on aura un système qui va être à un équilibre thermique, si la température est la même dans tout le système, qui va être en équilibre mécanique, si la pression ne varie pas dans le temps, et puis les équilibres chimiques, s'il n'y a pas de variation de composition du système dans le temps. Donc ça veut dire que ça permet de définir une fois qu'on aura négligé le fait de l'absenteur, ce qui est un système thermomécanique. C'est une définition. Gardez-la, prenez par coeur, mais souvenez-vous qu'il y a une définition d'un système, puis au moment, éventuellement, retournez à la définition pour l'utiliser. Donc pourquoi il a besoin de définir ça ? Parce que maintenant, on va s'intéresser à des transformations. On va prendre un système, par exemple, ici vous avez, je peux mettre le 12,

notes

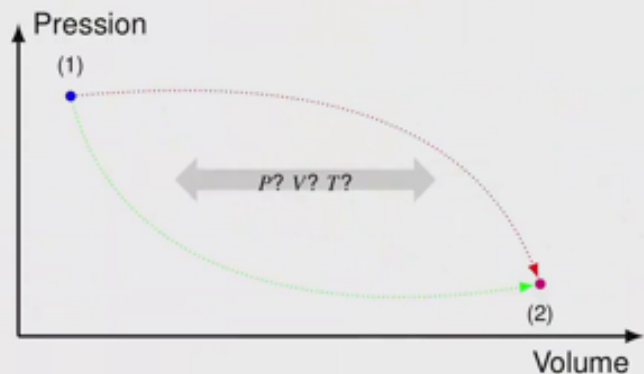
résumé

54m 50s



3.1.16 Transformation irréversible

- Induite par une modification brusque de l'environnement
- Évolution plus ou moins rapide de (1) à (2)
- Seuls les états (1) et (2) sont bien définis
- Si les conditions extérieures reviennent à leurs valeurs initiales, le système revient à son état initial, mais pas forcément en passant par les mêmes états intermédiaires



dans un piston ici, j'ai une quantité d'air qui est emprisonnée, et puis je peux lui faire subir un certain nombre d'effets, et puis il va se passer quelque chose, par exemple, je peux lui faire subir une pression, et puis voilà, la pression, elle change en passant dessus. Vous voyez qu'il est à l'équilibre parce que quand peu de chose près, quand j'appuie, il va revenir à son état supérieur. Mais je peux aussi... ça c'est chaud, ça c'est froid. Je peux le réchauffer, je trempe, c'est de l'eau chaude. Et vous pouvez voir que le piston est en train de monter. Je peux le refroidir, et là vous voyez que le piston est en train. Et puis là, la pression reste quasiment la même parce qu'il a la possibilité de s'équilibrer, mais je peux le bloquer, je peux bloquer le piston, voilà. Et puis maintenant, alors ça va faire augmenter. Vous voyez que la pression augmente quand j'augmente la température, et puis quand je vais me tremper dans l'eau froide, la pression va diminuer. Donc ça veut dire qu'à mon volume de gaz, je peux lui faire des transformations, je peux l'influencer, et puis là on va définir un petit peu du vocabulaire. Donc qu'est-ce qu'on appelle une transformation ? C'est un mot que vous avez rencontré assez souvent dans les semaines qui viennent. Tout évolution d'un système d'un état initial vers un état final. Donc il y avait la pression, le volume et la température, et puis ça c'était avant que je trempe ma sonde dans l'eau froide ou dans l'eau chaude, et puis après je le trempe peut-être dans l'eau chaude, et puis il va évoluer. C'est ça, c'est une transformation, c'est une évolution du système. Donc ça veut dire que pendant cette évolution, ces variables

notes

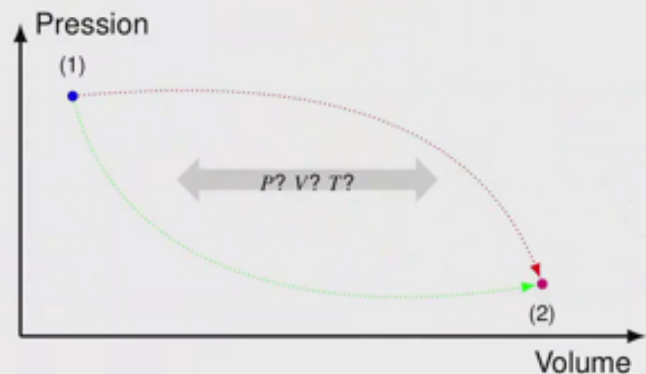
résumé

56m 25s



3.1.16 Transformation irréversible

- Induite par une modification brusque de l'environnement
- Évolution plus ou moins rapide de (1) à (2)
- Seuls les états (1) et (2) sont bien définis
- Si les conditions extérieures reviennent à leurs valeurs initiales, le système revient à son état initial, mais pas forcément en passant par les mêmes états intermédiaires

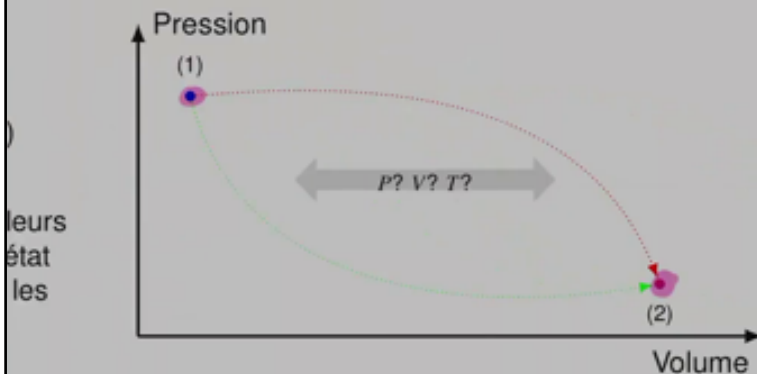


température, volume, pression vont changer, puis un départ, puis un arrivée. Puis ce qu'on appelle un cycle, c'est si à la fin de ma transformation je me retrouve à la situation que j'étais au départ. Ça veut pas forcément dire que c'est rond, ça veut pas forcément dire que j'ai fait varier les trucs comme si c'était un cercle, c'est un cycle, c'est pas un cercle. Mais simplement ça veut dire que la situation de départ c'est la même que la situation d'arrivée et puis j'ai passé par différents états en faisant varier le volume, la température, la pression, un seul de cela, les trois de cela dans un certain ordre. Ça s'appelle un cycle. Et puis maintenant il faut que je vous parle des transformations, là il y a un vocabulaire mais très très important. Ça c'est vraiment un concept essentiel. Les transformations, elles peuvent être irréversibles. Vous comprenez le sens en français, ça veut dire que je peux pas revenir en arrière sans avoir perdu quelque chose. Quasi-statiques ou réversibles ?

notes

résumé

irréversible



3.1.17 Transformation quas

- Induite par une modification progressive de l'environnement suffisamment lente pour permettre au système de se stabiliser à chaque étape
- Si les conditions extérieures reviennent à leurs valeurs initiales, le système revient à son état initial en passant par les mêmes états intermédiaires
- Difficile de définir l'état du système entre états intermédiaires

Non, commençons parce qu'elles plus courantes c'est une transformation irréversible. J'ai un point de départ, j'ai un point d'arrivée mais en fait je sais pas exactement comment ça se passe entre les deux. C'est la situation la plus courante. Finalement la nature, j'ai le suivant degré de liberté, j'ai le volume qui peut changer, j'ai la pression qui peut changer, j'ai la température qui peut changer. Il peut se passer différentes choses. La seule chose que je sais c'est le départ et l'arrivée. Elle enjoc. Bien sûr que je pourrais arriver au même résultat par un autre chemin et je pourrais revenir à ma situation de départ mais je sais pas par quel chemin et je sais pas ce que j'ai gagné et ce que j'ai perdu. Donc ça s'appelle irréversible. C'est en fait ce qui est le plus courant. C'est une situation, une transformation où je contrôle très peu de choses parce que très rapidement en général ça arrive surtout quand j'ai des changements brut. Rapidement je trempe une partie du système dans un bac avec de la glace. Tout d'un coup il y a une grande différence de température et puis le système va s'adapter comme il peut.

notes

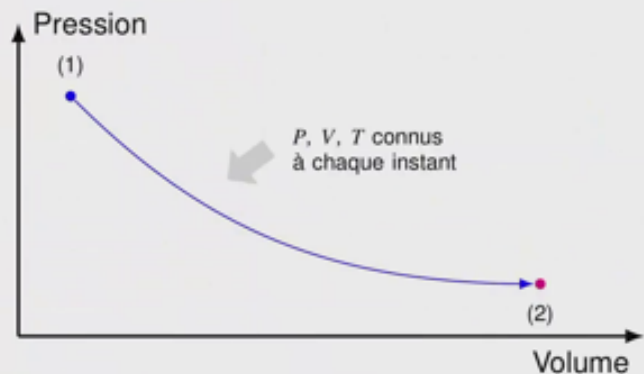
résumé

59m 56s



3.1.18 Transformation réversible

- Induite par une succession d'états d'équilibre infiniment voisins
- Cas limite de la transformation quasi statique
- Transformation extrêmement progressive
- On connaît à chaque instant les valeurs des paramètres du système
- On peut revenir en arrière à chaque instant
- c'est un modèle: ça n'existe pas dans la réalité



J'ai des situations qui sont quasi statiques. Je vais m'arranger pour faire des petites transformations. Je veux aller de 1 jusqu'à 2 mais simplement en imposant la situation de... Quand Gimel, le système se débrouille pour trouver des choses, je vais faire passer le système par une certaine situation intermédiaire que je connais. Et puis je vais faire le plus petit possible les étapes entre les différentes. Ce qui fait que bien que ce soit d'une étape à l'autre, ce soit irréversible, en fait c'est suffisamment proche pour que je puisse revenir en arrière sans avoir perdu grand chose. On va faire tout petit peu la pression et puis éventuellement si ça marche pas ou j'en sais rien, j'ai changé d'avis, je peux revenir un tout petit peu et j'aurais pas eu le temps d'échanger de l'énergie avec mon environnement et je vais pouvoir revenir en arrière. On parle de tout de suite, on parle vraiment de déplacer. Et ça donc on dit c'est quasi statique. Ça c'est les situations les plus importantes. Ça veut dire qu'au lieu de me mettre dans un bain chaud et un bain froid, je vais avoir toute une série de bains et puis je sais pas en ayant seulement un demi degré ou un quart de degré en chacun de mes bains, puis petit à petit je vais amener mon système à la température plus haute ou la température plus basse. Alors je peux toujours pas définir bien les systèmes entre deux points intermédiaires mais j'ai des points très précis, j'ai pas mal de points très précis entre les deux extrêmes. Et donc il y a l'idée qu'en tout cas d'une étape à l'autre je peux revenir d'une étape à l'autre assez facilement.

notes

résumé

61m 25s



3.1.19 Transformations classiques

Isotherme: La température du système est constante et égale à la température de l'extérieur.

Isotempérature: Au cours de la transformation, la température du système peut évoluer mais sa valeur est égale à la température constante de l'extérieur, uniquement à l'état initial et à l'état final.

Isobare: La pression du système est constante et égale à la pression extérieure.

Isopression: Au cours de la transformation, la pression du système peut évoluer mais sa valeur est égale à la pression constante de l'extérieur, uniquement à l'état initial et à l'état final.

Isochore: Le volume du système reste constant tout le long de la transformation.

Isovolume: Au cours de la transformation, le volume du système peut varier mais sa valeur est la même à l'état initial et à l'état final.

Adiabatique: Il n'y a pas d'échange de chaleur entre le système et l'extérieur.

Et puis il y a un idéal qu'on n'atteint jamais, c'est ça le propre des idéaux, ça veut dire qu'il y a des situations qu'on dit réversibles, donc ça veut dire une situation où réellement je pourrais à chaque moment décider de revenir en arrière et le système suivrait exactement le chemin que j'ai voulu. Donc ce système n'existe pas mais on aime bien les considérer parce qu'on arrive, c'est ça le problème, c'est toujours le problème, vous savez l'histoire de chercher ces clés sous le lampadère alors qu'on les a pas perdu là mais pas sous le lampadère il y a de la lumière, c'est un petit peu ça. Si ce n'est que on s'arrange pour avoir des lampadaires un petit peu partout pour pouvoir chercher nos clés un petit peu partout. Donc voilà trois mots de vocabulaire qui permettent de décrire. Donc là ce qui est important c'est de connaître ces trois concepts et puis d'être capable dans une situation donnée de comprendre ce que ça implique. Si vous êtes dans une situation qu'on dit réversible, c'est une vision de l'état, c'est pas l'état de veau, c'est une vision idéale de la physique et puis on va pouvoir utiliser les lois physiques en général, aller dans un sens et dans l'autre, quasi statiques, on va considérer que c'est comme si on était dans une situation réversible, bien qu'on sache que ça ne représente pas exactement toute la réalité, puis quand c'est irréversible, on ne peut pas savoir ce qui se passe et ce qu'on va faire, on va essayer de passer par d'autres calculs pour savoir ce qui se passe parce qu'on ne peut pas vraiment suivre ce qui s'est passé, on ne sait pas exactement par quel chemin le système a évolué. Alors dans les transformations, il

notes

résumé

63m 32s



3.1.19 Transformations classiques

Isotherme: La température du système est constante et égale à la température de l'extérieur.

Isotempérature: Au cours de la transformation, la température du système peut évoluer mais sa valeur est égale à la température constante de l'extérieur, uniquement à l'état initial et à l'état final.

Isobare: La pression du système est constante et égale à la pression extérieure.

Isopression: Au cours de la transformation, la pression du système peut évoluer mais sa valeur est égale à la pression constante de l'extérieur, uniquement à l'état initial et à l'état final.

Isochore: Le volume du système reste constant tout le long de la transformation.

Isovolume: Au cours de la transformation, le volume du système peut varier mais sa valeur est la même à l'état initial et à l'état final.

Adiabatique: Il n'y a pas d'échange de chaleur entre le système et l'extérieur.

y a aussi du vocabulaire important de le connaître et puis à chaque fois, alors le dernier, il y a chaque fois deux mots. Donc on a des transformations qu'on dit isothermes. On va faire des choses au système, on va le compresser, on va lui changer son volume, on va, mais sa température va rester toujours exactement la même et uniforme dans tout le système. Je ne sais pas si vous voyez à quel point c'est quasiment impossible à faire. Tout d'un coup, vous allumez, vous ne savez pas, vous changez le volume, vous baissez un petit peu le piston, juste autour du piston, les molécules vont aller un petit peu plus vite et dans ce zone-là, en réalité, ce sera un peu plus chaud. Mais on va dire qu'on fait ça tellement lentement que le système va avoir le temps de garder sa température. On va le mettre dans un bain, une certaine température pour que la température évolue pas, mais il va retrouver chaque fois l'équilibre. Donc ça, c'est un système isotherme. Puis on a l'équivalent qui est dans la réalité ou de l'idéal du physicien, on appelle ça un système isotempérature. Donc on a la température du début et la température de la fin qui est la même. Mais entre deux, on n'est pas tout à fait sûr de ce qui s'est passé. Peut-être qu'à un moment, la température est élevée. Alors elle n'est pas montée à 200 000 degrés puis revenue à zéro, c'est pas ça. Mais peut-être qu'à un moment, la température a augmenté, je n'étais pas chaque fois exactement à la même température, je ne sais pas, 30 degrés, on veut tout faire. Isobar, le bar, c'est une unité de pression. Donc isobar, c'est la même chose. Je vais faire une transformation, mais

notes

résumé

3.1.19 Transformations classiques

Isotherme: La température du système est constante et égale à la température de l'extérieur.

Isotempérature: Au cours de la transformation, la température du système peut évoluer mais sa valeur est égale à la température constante de l'extérieur, uniquement à l'état initial et à l'état final.

Isobare: La pression du système est constante et égale à la pression extérieure.

Isopression: Au cours de la transformation, la pression du système peut évoluer mais sa valeur est égale à la pression constante de l'extérieur, uniquement à l'état initial et à l'état final.

Isochore: Le volume du système reste constant tout le long de la transformation.

Isovolume: Au cours de la transformation, le volume du système peut varier mais sa valeur est la même à l'état initial et à l'état final.

Adiabatique: Il n'y a pas d'échange de chaleur entre le système et l'extérieur.

là je m'assure que la pression, pendant toute ma transformation, je vais changer la température, je vais changer le volume, mais je vais m'arranger pour que la pression soit exactement toujours la même. Et puis isopression, au début et à la fin, j'ai la même pression, puis peut-être qu'il s'est passé des choses entre deux que je n'ai pas absolument contrôlé. Isocor, ça représente le volume, ça veut dire que je n'ai vraiment jamais changé le volume. Donc là, dans le système qu'on vous a présenté au tout début, j'ai une cellule et puis elle est suffisamment solide dans un métal qui se dilate pas trop, que le volume n'a pas changé. Mais probablement que les systèmes, des fois, ils peuvent se passer deux, trois petits trucs et c'est isovolume.

notes

résumé

3.2.1 Fonction d'état

Description de l'état du système

- En référence au slide de la page 12, il faut comprendre ce qu'est un état
- Par rapport à la vie courante, on pourrait faire des comparaisons avec la fortune d'une entreprise ou l'état de santé d'une personne.
- Une **variable d'état** est donc une variable qui permet de décrire l'état du système tel que pour nos exemples la somme présente dans les comptes bancaires de l'entreprise ou le montant de ses dettes. Pour l'état de santé, les variables pourraient être sa température, son taux d'oxygène ou de fer.
- Donc une **fonction d'état** est une relation mathématique entre certaines des variables d'état qui permet de calculer l'état du système: par exemple si la somme algébrique des liquidités d'une entreprise, de ses dettes et de son stock (pour faire simple) est positive, alors l'entreprise est solvable.

Début, je les contrôlais, à la fin je les contrôlais, puis peut-être contre deux, il s'est passé à cinq ans de choses. Et puis il y a un autre mot très important, adiabatique. Adiabatique, c'est un mot, si vous ne le connaissez pas, aujourd'hui il faut vraiment l'apprendre. C'est un système qui ne va pas échanger d'énergie avec son environnement. Il peut se passer des choses, il y a de la glace qui peut devenir haut, il y a de l'eau qui peut devenir glace, il peut se passer des choses et un cycle, mais en tout cas, toute l'énergie qu'il y a dans le système, elle ne va pas partir à l'extérieur. C'est de nouveau un idéal, dans la réalité il va toujours avoir des petites pertes, mais je vais par exemple tellement isoler le système que la quantité d'énergie que je vais perdre va être toute petite, ou que la réaction, je l'ai dit, est tellement rapide que mon système n'a pas le temps d'échanger. Entre autres, je ne sais pas si vous avez déjà prononcé ce mot par rapport à la vitesse du son. Je ne sais pas si vous avez parlé de ça. Pendant plusieurs années, on avait toujours une erreur entre la mesure et la théorie, parce que Newton avait fait un calcul, etc. Et puis tout d'un coup, la place a compris qu'il était un phénomène adiabatique, que le phénomène était suffisamment rapide, que la pression de l'air qui va de ma bouche jusqu'à vos oreilles est beaucoup plus rapide, ça ne permet pas au phénomène de se thermaliser trop. Et puis donc il fallait utiliser cet aspect. Donc ça c'est des mots de vocabulaire, certains sont assez faciles, les autres il faut les apprendre. Je pense que dès qu'ils sont un peu plus

notes

résumé

67m 49s



3.2.1 Fonction d'état

Description de l'état du système

- En référence au slide de la page 12, il faut comprendre ce qu'est un état
- Par rapport à la vie courante, on pourrait faire des comparaisons avec la fortune d'une entreprise ou l'état de santé d'une personne.
- Une **variable d'état** est donc une variable qui permet de décrire l'état du système tel que pour nos exemples la somme présente dans les comptes bancaires de l'entreprise ou le montant de ses dettes. Pour l'état de santé, les variables pourraient être sa température, son taux d'oxygène ou de fer.
- Donc une **fonction d'état** est une relation mathématique entre certaines des variables d'état qui permet de calculer l'état du système: par exemple si la somme algébrique des liquidités d'une entreprise, de ses dettes et de son stock (pour faire simple) est positive, alors l'entreprise est solvable.

difficiles, c'est adiabatique et puis isocor. Ce sont peut-être les deux mots de vocabulaire qui sont un petit peu plus difficiles à comprendre, autrement isothermes, isobar. C'est des mots bar et terme, on rappelle tout de suite la température.

notes

résumé

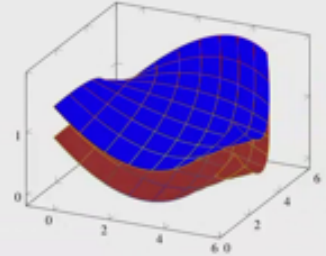
3.2.1 Fonction d'état (2)

Regardons maintenant les aspects mathématiques de ces concepts

- Comme on a une équation avec plusieurs variables, il y a *a priori* plusieurs possibilités d'être dans un état donné:

$$Z = f(x_1, x_2, \dots)$$

- Pour le cas de l'entreprise, si les dettes sont plus grandes, mais que les avoirs sont aussi proportionnellement plus grands, l'état de fortune va être similaire.
- Il est possible d'avoir la même valeur de Z , donc le même état avec des valeurs x_i différentes et si la fonction d'état est continue, alors $f(x_1, x_2, \dots) = Z_0$ est une surface (isosurface) dans l'espace des variables d'état.
- Les surfaces de différents états forment ainsi une sorte de mille-feuille plus ou moins courbé.



Alors voilà, attaquons le vif du sujet. Donc il y a un slide, le slide 12 dans lequel je parlais la description de l'état du système. Donc maintenant je viens un petit peu rentrer dans les implications mathématiques de la description de l'état du système. C'est important de connaître l'état du système parce que ça nous présente la situation. Donc là j'ai pris des comparaisons un peu faciles. La situation d'une entreprise on aimerait savoir c'est des solvables, pas solvables, c'est l'état de l'entreprise. On peut faire plein de choses, il peut être grand, il peut être petit, mais on veut juste savoir est-ce qu'elle a suffisamment de fortune pour pouvoir continuer à fonctionner ou pas. L'état de santé d'une personne, on n'a pas tous la même température, on n'a pas tous la même pression etc. Mais c'est quoi l'état ? Est-ce qu'on est en bonne santé ou est-ce qu'on est malade ? Donc on a des variables d'état et des fonctions d'état. Donc une variable d'état c'est une variable qui permet de décrire l'état du système tel que pour nos exemples, la somme présente dans les comptes bancaires de l'entreprise ou le montant de cédette pour l'état de santé, les variables pour être sa température et le taux d'oxygène. Donc on a besoin de décrire un système thermodynamique avec un certain nombre de valeurs. En général, ce qui va bien pour la plupart des systèmes, température, volume, pression, nombre de molécules ou nombre de mots, etc. Ça va permettre de savoir dans quel état est mon système. Donc une fonction d'état est une relation mathématique entre certaines variables d'état qui permet de calculer l'état du système. Par exemple, si la somme algébrique des liquidités d'une entreprise et ses dettes et son stock est positive, on sait que l'entreprise est

notes

résumé

69m 52s



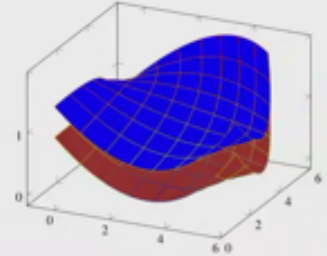
3.2.1 Fonction d'état (2)

Regardons maintenant les aspects mathématiques de ces concepts

- Comme on a une équation avec plusieurs variables, il y a *a priori* plusieurs possibilités d'être dans un état donné:

$$Z = f(x_1, x_2, \dots)$$

- Pour le cas de l'entreprise, si les dettes sont plus grandes, mais que les avoirs sont aussi proportionnellement plus grands, l'état de fortune va être similaire.
- Il est possible d'avoir la même valeur de Z , donc le même état avec des valeurs x_i différentes et si la fonction d'état est continue, alors $f(x_1, x_2, \dots) = Z_0$ est une surface (isosurface) dans l'espace des variables d'état.
- Les surfaces de différents états forment ainsi une sorte de mille-feuille plus ou moins courbé.



dans tel état. Donc ça veut dire qu'on va à une fonction d'état. C'est une fonction qui va réunir les variables d'état et qui va me permettre de me dire dans quel état est-ce que je suis.

notes

résumé

3.2.2 Fonction d'état (3)

Exploitions cette notion de surface pour calculer une différence entre deux états A et B (ça pourrait être l'altitude dans une carte topographique):

- 1 La variation entre deux états A et B est indépendante du chemin suivi, donc :

$$\int_A^B dZ = Z(B) - Z(A), \forall s$$

- 2 Son intégrale sur un contour fermé est nulle (si je reviens à la même place, l'état est le même):

$$\oint dZ = 0$$

Donc quand je vais avoir une fonction d'état, par exemple, Z est égal à la fonction et puis j'ai des variables, donc c'est une vision très générale. Je suis désolé, ce n'est pas un exemple précis. C'est une fonction mathématique, une fonction d'état. Si j'ai quelque chose comme ça, si vous voulez faire une image, c'est le chemin qui est à côté qui vous permet de faire une image. Ça va décrire quelque chose dans l'espace. Alors pour faire cette surface, vous devez imaginer qu'il y a seulement deux variables d'état. Autrement, vous devez imaginer quelque chose en trois dimensions. Donc c'est l'histoire du millefeuille. L'état va vous dire, ok, donc je suis sur le millefeuille, sur la couche de sucre. Peut-être que mon millefeuille, il a une forme un peu particulière, mais je vais rester dans ma couche de sucre. Ou alors je vais rester dans ma couche de crème, ou alors dans ma pâte. C'est ça l'idée de l'état. Bien sûr que les variables vont peut-être changer, la température, la pression, le volume vont peut-être évoluer, mais je vais rester toujours dans le même état parce que les relations que j'ai entre ces variables vont toujours correspondre à une surface, à une fonction qui va représenter une surface. Donc je vais avoir la même valeur de ma fonction, le même état pour différentes valeurs de mes variables d'état. Je pense que je vous ai dit les choses, éléments que je voulais vous raconter sur celle-là.

notes

résumé

72m 3s



3.2.3 Différentielle et forme différentielle

- La thermodynamique est théorisée grâce à ces fonctions d'état qui ont plusieurs variables indépendantes : $Z = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$
- La fonction Z est continue: on peut la dériver par rapport à une variable d'état. On parle de dérivée partielle

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial x_i} \right)_{x_{j \neq i}}$$

- On peut alors écrire la variation de Z à partir des dérivées partielles

$$dZ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Z}{\partial x_i} \right)_{x_{j \neq i}} dx_i \quad (3.2)$$

Alors, puisque c'est une fonction d'état, il faut bien comprendre le sens qu'à derrière cette fonction d'état, quand je vais passer d'un état à un autre, le chemin que je vais prendre doit pas avoir d'importance. Je peux passer par plusieurs chemins, mais simplement je suis parti de la couche de crème, puis j'arrive dans la couche de sucre dans mon millefeuille. C'est ça que j'ai fait. Que j'ai passé par un chemin ou à un autre, ça doit pas changer. Donc ce qui veut dire que si quand j'ai un chemin, je vais sommer des choses, je vais sommer ensemble de choses, c'est le départ et l'arrivée qui vont être important. Donc je sais pas, vous avez déjà fait des intervalles curvilignes, je vais... Oui, non, oui, non. Oui, en tout cas certains ont déjà fait, je vais passer entre deux états, mais je dois définir par quel chemin je vais passer. Et puis je fais mon intégral. Ma camp de c'est une fonction d'état, le chemin que je vais choisir, je vais d'abord tout droit, puis je monte, je vais monter d'abord, puis après je vais aller en pente, je vais monter, puis je vais pas faire autre chose que monter, va me donner la même variation, parce que ce qui est important c'est l'état de départ et l'état d'arrivée. Et puis donc l'intégral va juste me dire, ah ben voilà, la couche qu'il y a entre la crème et le sucre sur mon millefeuille, elle est de 1 cm et que je fasse ma mesure de n'importe quelle manière, en fait, j'aurais... Ah, j'aimerais bien un millefeuille assez épais quoi. Et puis ça veut aussi dire que si je suis parti d'un état et que je reviens, alors mon intégral doit être nul. Parce que si vous

notes

résumé

73m 59s



3.2.3 Différentielle et forme différentielle

- La thermodynamique est théorisée grâce à ces fonctions d'état qui ont plusieurs variables indépendantes : $Z = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$
- La fonction Z est continue: on peut la dériver par rapport à une variable d'état. On parle de dérivée partielle

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i}$$

- On peut alors écrire la variation de Z à partir des dérivées partielles

$$dZ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Z}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i} dx_i \quad (3.2)$$

imaginez que c'est la hauteur, c'est le plus facile à imaginer, vous allez en balade, vous partez de la place de la Pallu, vous descendez à Aushi, vous allez en courant jusqu'à Puy, vous remonte par, je sais pas, une route ou un bus, ou je sais pas quoi, vous remonte jusqu'à la Pallu, la Pallu n'a pas changé d'altitude. Vous allez vous retrouver à la Pallu dans la même altitude. Donc ce qui veut dire que quand vous avez sommé les différences de hauteur, vous perdez de la hauteur, en temps vous en gagnez, vous passez sur un trottoir, vous passez dans un passage sous voie, ça va rien changer que quand vous êtes à la Pallu, vous êtes, je sais pas, à 400 mètres d'altitude, quand vous êtes parti, puis quand vous êtes revenu, même que la Terre tourne et que les rondes, vous êtes toujours à 400 mètres d'altitude. Donc ça, ça a deux conséquences qui vont être utilisées parfois pour calculer des situations. Si z est une fonction d'état, alors l'intégrale de A à B, ça va être juste la différence entre l'état A et l'état B, et puis si j'ai tourné en rond, eh ben ça va valoir zéro. Et c'est ça le sens de l'état, ça décrit l'état dans lequel je suis, donc comme je suis en train d'intégrer une fonction d'état, voilà, c'est zéro. C'est quoi la différence d'altitude que j'ai entre quand je suis parti de la Pallu et quand je suis arrivé à la Pallu, zéro. Et puis si vous allez de la Pallu jusqu'au signal, que vous passiez par n'importe quel chemin, l'altitude du signal, moins l'altitude de la Pallu va vous donner l'ascension. Alors bien sûr qu'il y a des chemins qui sont peut-être plus faciles que d'autres. Si

notes

résumé

3.2.3 Différentielle et forme différentielle

- La thermodynamique est théorisée grâce à ces fonctions d'état qui ont plusieurs variables indépendantes : $Z = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$
- La fonction Z est continue: on peut la dériver par rapport à une variable d'état. On parle de dérivée partielle

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i}$$

- On peut alors écrire la variation de Z à partir des dérivées partielles

$$dZ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Z}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i} dx_i \quad (3.2)$$

vous êtes monté descendu, vous avez fait plus d'efforts, si vous faites de la montagne, vous êtes familier de ça, donc c'est pour ça qu'on va intégrer la valeur absolue et pas la valeur de l'altitude, parce que si vous intégrer la valeur d'altitude, ça fait juste la différence de hauteur, ça ne donne pas votre effort. On a besoin pour faire ces calculs d'utiliser le calcul différentiel et intégral, ce qu'on appelle l'analyse vectorielle, donc il y a un certain nombre de choses à savoir ou se rappeler. Donc on dit que la thermodynamie est théorisée grâce à des fonctions d'état de plusieurs variables indépendantes, voilà, on a déjà vu. Donc ça veut dire que ces fonctions, on va éventuellement pouvoir les dériver. Comme il y a plusieurs variables, ça veut dire que les dériveils, elles vont pouvoir être faites sur différentes de ces variables.

notes

résumé

3.2.3 Différentielle et forme différentielle (2)

Cette structure de surfaces superposées implique une relation entre les dérivées partielles secondes:

$$\left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x_i \partial x_j} \right) = \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x_j \partial x_i} \right)$$

Si cette condition n'est pas vraie alors la fonction qu'on veut représenter un état et la notation de la variation élémentaire avec le symbole δ . On écrira donc dans ce cas

$$\delta Y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Y}{\partial x_i} \right)_{x_{j \neq i}} dx_i$$

Vous verrez que ce sera le cas au chapitre suivant pour des transformations comme la chaleur et le travail.

(3.2)

March 31, 2025

34 / 1

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

J'espère que ce n'est pas la première fois que vous voyez cette notation, donc c'est ce qu'on appelle une dériveille partielle. La première fois, il faudra regarder un peu sur YouTube, ce soir, un peu comment fonctionne ces choses-là. On va dire que la dériveille calculée, c'est la même chose que les dériveils que vous avez normalement dû calculer au gymnase. Normalement, au gymnase, vous n'avez pas eu des dériveils partiels, c'est-à-dire que vous n'avez pas eu des dériveils total. Ça veut dire qu'il y avait une seule variable dans votre fonction qu'on dérivait, le temps, la position, etc. Mais quand on en a plusieurs, mais il y a quelque chose qu'on appelle la dériveille partielle, c'est simplement de dériver une des fonctions, la fonction que vous intéressez, z , par une de ces variables. Et puis pour garder en tête le fait que j'en ai plusieurs autres, alors je n'utilise pas le D habituel. Ça veut dire que je n'écris pas les choses comme ça, dZ sur dx_1 . J'utilise le D , mais c'est un D , on l'appelle ça le déron. C'est juste pour se souvenir qu'en fait il n'est pas seul, il a d'autres, il est lié à d'autres. Ça va avoir des implications parce qu'on a une géométrie particulière, comme on a une surface, il y a des choses, maintenant vous allez voir que je vais vous montrer que ça implique le fait que c'est une fonction, ça a des implications. Donc si je veux avoir le petit échelon parce que j'ai bougé un petit peu dans mon espace, alors ça va être important de savoir combien j'ai bougé dans la direction x_1 , combien j'ai bougé dans la direction x_2 , combien j'ai bougé dans la direction x_3 . Donc ça veut dire que la variation de ma fonction, dZ , la variation

notes

résumé

79m 1s



3.2.3 Différentielle et forme différentielle (2)

Cette structure de surfaces superposées implique une relation entre les dérivées partielles secondes:

$$\left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x_i \partial x_j} \right) = \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x_j \partial x_i} \right)$$

Si cette condition n'est pas vraie alors la fonction qu'on veut représenter n'est pas un état et la notation de la variation élémentaire avec le symbole δ . On écrira donc dans ce cas

$$\delta Y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Y}{\partial x_i} \right)_{x_{j \neq i}} dx_i$$

Vous verrez que ce sera le cas au chapitre suivant pour des transformations comme la chaleur et le travail.

March 31, 2025

34 / 1

Jean-Marie Fürbringer - EPFL

Physique Générale II

infinitésimale, ça va être la somme des variations dans chacune des directions. Donc ça, ça se note que ma variation dZ , là c'est un D droit parce que je veux vraiment avoir ma variation, elle va être la somme des variations dans chacune des directions, la pente que j'ai dans chacune des directions multipliée par de combien je me suis déplacé dans cette direction. Dans une des directions, j'ai pu me déplacer d'une unité ou d'un millième d'unité, c'est pour de quoi on parle si c'est très linéaire ou pas du tout, puis dans l'autre, j'ai pu me déplacer de la moitié de la même distance, et puis dans la troisième, j'ai pu me déplacer plutôt dans le sens négatif, etc. Donc c'est pour ça que pour savoir le petit élément dans lequel je me suis déplacé, peut-être qu'on peut représenter ça comme ça, je vais représenter ça comme ça, j'ai X_1 , X_2 , et puis je me suis déplacé, là j'avais, c'est ça qui est difficile à dessiner comme je n'ai pas préparé mon dessin, mais donc je me suis déplacé comme ça, donc ça veut dire que j'ai passé ici à ici, il faut que je comprenne ce qui s'est passé sur ce chemin-là et puis sur ce chemin-là. Mais c'est vrai que si j'avais fait comme ça, je serais arrivé au même résultat, je suis sur la surface de mon mine-foyer. Vous êtes gentil, vous souriez, c'est bien ?

notes

résumé

3.2.3 Différentielle et forme différentielle

- La thermodynamique est théorisée grâce à ces fonctions d'état qui ont plusieurs variables indépendantes : $Z = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$
- La fonction Z est continue: on peut la dériver par rapport à une variable d'état. On parle de dérivée partielle

$$\frac{dZ}{dx_i}$$

2

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i}$$

- On peut alors écrire la variation de Z à partir des dérivées partielles



$$dZ = \sum_{n=1}^n \left(\frac{\partial Z}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i} dx_i \quad (3.2)$$

Alors, comme je suis sur une surface, il y a des relations de ces différentes dérivées. Si j'étais n'importe où que j'avais pas une surface, je n'aurais pas forcément à ce qui se passe. Mais comme je suis sur une surface, alors mes dérivées et secondes, vous savez, si je dérive une première fois puis je dérive une deuxième fois, je dérive dans une direction, je dérive dans l'autre direction, c'est égal, laquelle, par laquelle je commence. Dans mon schéma, il faut que j'analyse de plus pour savoir si ce que je vous ai dessiné était plus ou moins juste,

notes

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

résumé

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

82m 52s



3.2.3 Différentielle et forme différentielle (2)

Cette structure de surfaces superposées implique une relation particulière entre les dérivées partielles secondes:

$$\left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x_i \partial x_j} \right) = \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x_j \partial x_i} \right) \quad (3.3)$$

Si cette condition n'est pas vraie alors la fonction qu'on dérive ne peut pas représenter un état et la notation de la variation élémentaire doit se faire avec le symbole δ . On écrira donc dans ce cas

$$\delta Y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Y}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i} dx_i$$

Vous verrez que ce sera le cas au chapitre suivant pour des valeurs de transformation comme la chaleur et le travail.

vous rendez bien compte que je passe d'abord par le nord et puis après par l'est, ou d'abord par l'est, après par le nord, je dois arriver au même endroit. Donc il doit y avoir une relation dans ce qui se passe.

notes

résumé

83m 31s



3.2.3 Différentielle et forme différentielle

- La thermodynamique est théorisée grâce à ces fonctions d'état qui ont plusieurs variables indépendantes : $Z = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$
- La fonction Z est continue: on peut la dériver par rapport à une variable d'état. On parle de dérivée partielle

$$\frac{dZ}{dx_i}$$

2

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i}$$

- On peut alors écrire la variation de Z à partir des dérivées partielles



$$dZ = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Z}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i} dx_i \quad (3.2)$$

Donc ça, c'est une relation qui est très, très importante. Le fait que les dérivés secondes doivent être égales quand j'intervertis deux dévariables. Je peux avoir plus que deux, je peux avoir trois, quatre. Mais quand je vais dériver d'abord par une première, puis après par une deuxième, je dois obtenir le même résultat si j'avais pris la deuxième d'abord et puis la première ensuite. Si c'est pas le cas,

notes

résumé

83m 46s



3.2.3 Différentielle et forme différentielle (2)

Cette structure de surfaces superposées implique une relation particulière entre les dérivées partielles secondes:

$$\left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x_i \partial x_j} \right) = \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x_j \partial x_i} \right) \quad (3.3)$$

Si cette condition n'est pas vraie alors la fonction qu'on dérive ne peut pas représenter un état et la notation de la variation élémentaire doit se faire avec le symbole δ . On écrira donc dans ce cas

$$\delta Y = \sum_{n=1}^n \left(\frac{\partial Y}{\partial x_i} \right)_{x_{j \neq i}} dx_i$$

Vous verrez que ce sera le cas au chapitre suivant pour des valeurs de transformation comme la chaleur et le travail.

eh bien j'aurais pas le droit d'utiliser cette notation-là. Ça veut dire que je suis pas sur une surface, je suis pas sur une fonction d'état. Je suis pas sur quelque chose où je me dis je suis là où je suis là et puis ça décrit bien ma situation.

notes

résumé

84m 19s



3.2.4 Notion de fonction homogène

On a introduit une distinction entre les variables extensives et intensives en référence à leur comportement lorsque le système change de taille.

Au niveau mathématique cette distinction correspond au degré d'homogénéité de la fonction:

Soit f une fonction continue et dérivable de n variables réelles à valeur dans \mathbb{R} . La fonction f est homogène de degré p si $\forall a \in \mathbb{R}$ on a:

$$f(ax_1, ax_2, \dots, ax_n) = a^p f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.4)$$

L'intérêt de ce concept est que selon l'identité d'Euler, si f est homogène de degré p alors

$$p f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i} x_i \quad (3.5)$$

Ce que je calcule, c'est pas mon état, je calcule quelque chose. Si vous prenez la valeur, typiquement, si vous prenez la valeur absolue des changements d'altitude que vous passez par en chemin ou par un autre, ça va pas être la même chose. Et donc ça veut dire que vous n'avez pas cette propriété 3.3, ça veut dire que la dérivée dans une direction ou après dans l'autre va pas donner du tout la même chose. Et à ce moment-là, alors on doit l'indiquer en utilisant encore un autre D, un delta. Vous allez voir que dans une deux semaines, on va utiliser ça. Typiquement quand on va parler des échanges de température entre les systèmes, les échanges de chaleur entre les systèmes ou les échanges de travail entre les systèmes, ça c'est pas l'état, parce que les choses peuvent être sous forme de l'une ou de l'autre, ça ne représente pas une surface. Et donc je vais utiliser ce petit D là. Donc ça m'indique tout de suite que j'ai pas une fonction d'état. Alors là, c'est encore 3 minutes avant qu'on termine. Je vous demande votre indulgence, c'est un truc assez compliqué. Et qui trouvera son sens éventuellement peut-être dans certains exercices, mais il est un petit peu comme ça, c'est une branche, je ne sais pas exactement où elle va, mais je trouve que c'est un concept suffisamment important pour vous en parler. En fait, quand on analyse ces fonctions, il peut avoir différentes propriétés mathématiques. L'intérêt, c'est que parfois on peut avancer avec la physique, mais des fois on peut avancer avec les mathématiques. C'est ça qui est intéressant, ça veut dire, il y a une compréhension géométrique de ce qui se passe qui va nous permettre de déterminer un certain nombre de choses. C'est

notes

résumé

84m 34s



3.2.4 Notion de fonction homogène

On a introduit une distinction entre les variables extensives et intensives en référence à leur comportement lorsque le système change de taille.

Au niveau mathématique cette distinction correspond au degré d'homogénéité de la fonction:

Soit f une fonction continue et dérivable de n variables réelles à valeur dans \mathbb{R} . La fonction f est homogène de degré p si $\forall a \in \mathbb{R}$ on a:

$$f(ax_1, ax_2, \dots, ax_n) = a^p f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.4)$$

L'intérêt de ce concept est que selon l'identité d'Euler, si f est homogène de degré p alors

$$p f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i} x_i \quad (3.5)$$

pour ça qu'on fait ça. C'est pour ça que je vous casse les pieds avec des aspects mathématiques alors que c'est un cours de physique. Donc il y a une définition, ce qu'est une fonction homogène, puisqu'il va être intéressant, c'est qu'il y a le théorème de l'air qui va nous dire si vous avez une fonction homogène, vous pouvez faire ça. Puis ça, ça va nous permettre parfois de passer par les mathématiques pour arriver à un endroit quand on n'arrive pas forcément à faire le raisonnement physique qui vient derrière. Donc une fonction homogène, c'est quelque chose finalement assez simple. C'est une fonction que si vous multipliez tous vos variables de votre fonction par une valeur alpha, une valeur arbitraire, une valeur réelle, par deux par exemple, vous multipliez tous vos paramètres, vous les doublez tous. Alors le résultat va être ce paramètre à la puissance P et c'est pour ça qu'on va parler, on va dire homogène de degré P fois la fonction pas augmentée. Donc je ne sais pas si vous voyez bien maintenant f de αx_1 , αx_2 , αx_3 , j'ai multiplié tous mes facteurs par un même coefficient, mettons deux pour donner une idée, eh bien ça va être égal à 2, à la puissance quelque chose, ça va être 2 au carré, 2 au cube, 2 à la puissance 4, de ma fonction $f(x_1, x_2, x_3)$. Vous voyez le jeu ? Ça veut dire que j'ai pu mettre en évidence les coefficients mais je dois mettre une puissance, ça peut être 1, ça peut être 0 aussi, donc ça veut dire que je vais augmenter, parce que A à la puissance 0 ça fait 1, donc ça va disparaître. Donc typiquement c'est ce qui se passe avec si vous avez, vous changez,

notes

résumé

3.2.4 Notion de fonction homogène

On a introduit une distinction entre les variables extensives et intensives en référence à leur comportement lorsque le système change de taille.

Au niveau mathématique cette distinction correspond au degré d'homogénéité de la fonction:

Soit f une fonction continue et dérivable de n variables réelles à valeur dans \mathbb{R} . La fonction f est homogène de degré p si $\forall a \in \mathbb{R}$ on a:

$$f(ax_1, ax_2, \dots, ax_n) = a^p f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.4)$$

L'intérêt de ce concept est que selon l'identité d'Euler, si f est homogène de degré p alors

$$p f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i} x_i \quad (3.5)$$

vous avez juste la température, vous augmentez la taille de votre système, ça va rien changer, donc j'ai une fonction qui est homogène, de fonction de degré 0 parce que ça va être la même chose. Et puis si vous avez le volume, des choses qui sont liées au volume, vous augmentez votre système, le volume va être, je vais sortir à alpha, mon volume à la puissance 1. Juste la dernière chose, et puis grâce à un mathématicien, Swiss Euler, lui il a réussi à démontrer que si vous avez une fonction qui est homogène de degré P , alors vous avez le droit d'écrire ça, puis vous allez dire moi ça me fait une belle jambe, c'est vachement intéressant de voir écrire ça. Donc ça veut dire que P c'était l'exposant que j'ai pu sortir de ma fonction, 0, 1, 2, 3, fois la fonction, c'est égal à la somme de toutes les dériveils de mes x , fois x . Donc ça veut dire que j'arrive à faire une relation entre ma fonction et mes dériveils. Et ça, ça peut être très intéressant. Si je vais conclure là-dessus, ça veut dire que j'ai des propriétés mathématiques qui vont me permettre de manipuler mon système physique sans que j'aie besoin de rentrer trop à ce qui se passe, ce qui se passe physiquement. C'est ce qu'on appelle le calcul. C'est ça l'intéressant du calcul, c'est ça l'intéressant des modèles physiques, c'est de pouvoir prédire ce qui va se passer sans devoir faire l'expérience, sans devoir aller regarder les choses de trop près. Voilà, merci pour votre patient. Je sais que c'est un cours un peu compliqué. On se retrouve à vendredi.

notes

résumé

3.2.4 Notion de fonction homogène

On a introduit une distinction entre les variables extensives et intensives en référence à leur comportement lorsque le système change de taille.

Au niveau mathématique cette distinction correspond au degré d'homogénéité de la fonction:

Soit f une fonction continue et dérivable de n variables réelles à valeur dans \mathbb{R} . La fonction f est homogène de degré p si $\forall a \in \mathbb{R}$ on a:

$$f(ax_1, ax_2, \dots, ax_n) = a^p f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.4)$$

L'intérêt de ce concept est que selon l'identité d'Euler, si f est homogène de degré p alors

$$p f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)_{x_j \neq i} x_i \quad (3.5)$$

va disparaître. Donc typiquement, c'est ce qui se passe avec, si vous avez, vous changez, vous avez juste la température, vous augmentez la taille de votre système, ça ne va rien changer. Donc j'ai une fonction qui est homogène, de fonction de degré 0, parce que ça va être la même chose. Et puis si vous avez le volume, des choses qui sont liées au volume, vous augmentez votre système, le volume, je vais sortir à alpha, mon volume à la puissance 1. Juste la dernière chose, et puis grâce à un mathématicien, Thuis Euler, lui, il a réussi à démontrer que si vous avez une fonction qui est homogène de degré P , alors vous avez le droit d'écrire ça, vous allez dire, ça me fait une belle jambe, c'est vachement intéressant de pouvoir écrire ça. Donc ça veut dire que P , P c'était l'exposant que j'ai pu sortir de ma fonction, 0, 1, 2, 3, fois la fonction, c'est égal à la somme de toutes les dériveilles de mes x , fois x . Donc ça veut dire que j'arrive à faire une relation entre ma fonction et puis mes dériveilles. Et ça, ça peut être très intéressant. Je vais conclure là-dessus, ça veut dire que j'ai des propriétés mathématiques qui vont me permettre de manipuler mon système physique sans que j'aie besoin de rentrer trop à ce qui se passe, à ce qui se passe physiquement. C'est ce qu'on appelle le calcul, c'est ça l'intéressant du calcul, c'est ça l'intéressant des modèles physiques, c'est de pouvoir prédire ce qui va se passer et faire l'expérience sans devoir aller regarder les choses de trop près. Voilà, merci pour votre patience, je sais que c'est un cours un peu compliqué, on se retrouve vendredi.

notes

résumé