

Leçon finale (leçon d'honneur) du principe à la loi

Gilbert Morand
physicien

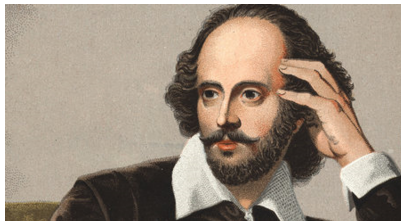
20 avril 2023

Une leçon d'honneur, pour parler de quoi ?

- de physique (compréhension des phénomènes)
 - Caractère universel, absolu (divin)
 - Pourquoi, Comment, Quand et Combien
 - Dans le cursus de formation d'ingénieurs ? (séquence Quiz)
- d'énergie, de travail, de chaleur et de température (principes de thermodynamique)
 - Réversibilité, d'ordre et de désordre
 - Guide pour la vie de tous les jours (séquence Quiz)
- apéritif

Discuter pourquoi le jour est le jour et la nuit la nuit et le temps le temps, ce serait perdre le jour et la nuit et le temps.

[Hamlet acte 2, scène 2]



Shakespeare (1564-1616)

- Perdre son temps, pour gagner sa vie ! Cela doit être un beau métier !
 - $\approx$ 100 ans après William Shakespeare, Isaac Newton révolutionne la physique.
- « Platon est mon ami, Aristote est mon ami, mais ma meilleure amie est la vérité. »
- → Simple et universelle.

Jean Baptiste Joseph
Fourier
(1768-1830)



Thermodynamique

$$P \propto (T_1 - T_2)$$

Flux $\propto$ différence de potentiel



Georg
Ohms
(1789- 1854)

Electrodynamique

$$U = R \cdot I$$

$$I = \frac{1}{R} \cdot U \propto (V_1 - V_2)$$

Flux $\propto$ différence de potentiel



Jean-Léonard-Marie
Poiseuille
(1797-1869)

Dynamique des fluides

$$D \propto (p_1 - p_2)$$

Flux $\propto$ différence de potentiel

potentiel $\Rightarrow$ *flux*

cause $\Rightarrow$ *effet*

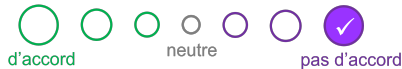
potentiel $\Rightarrow$ *flux*

- Signature divine ! Caractère absolu !
- Le modèle (la représentation que l'on en fait, pour comprendre le phénomène) est similaire.
- Applicable à d'autres domaines ?

Si ce n'est pas simple, c'est faux !

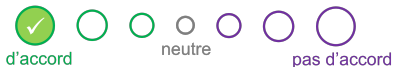
On doit enseigner à un ingénieur,
juste et exactement ce dont il a besoin et surtout pas d'avantage.
L'enseignement doit être chirurgical.

- Non !
- Peut-on être efficient dans la formation ?





- Si c'est trop concentré, cela n'est pas assimilable.
- Travailler sur la méthode (attitude pour une meilleure transmission)
 - transmettre le plaisir de comprendre
 - encourager la créativité
 - favoriser l'esprit critique



Transmission du Savoir (télécom : ajuster les impédances)

Apprivoiser les choses (Petit Prince de Saint Exupéry)



On ne connaît que les choses que l'on apprivoise, dit le renard

- Apprivoiser les thèmes d'étude (répondre au pourquoi)
- Favoriser l'échange (questions, réponses)
- Apprivoiser la classe

→ expérience pratique



Question : **formation**

Plus un bâtiment est *haut*,
plus les fondations sont *importantes* !



Complexité du monde •

Plus la formation est *bonne*,
plus les bases sont *solides* !



• Invariance des bases



d'accord

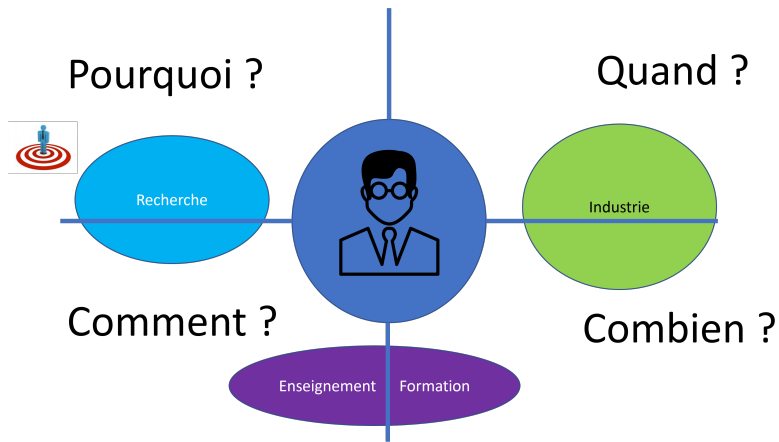


neutre



pas d'accord

Pourquoi, Comment, Quand, Combien ?



τ constante de temps

S'intéresser qu'au Pourquoi ! (Savoir)



John Ellis, dans son bureau du CERN

S'intéresser qu'au Comment, sans connaître le Pourquoi !

- Le Pourquoi, c'est le Savoir ?
- Le Comment c'est le Savoir-faire ?
- Le Comment sans le Pourquoi. Il reste que le Faire !

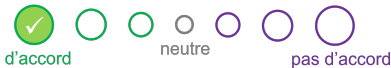


S'intéresser qu'au Quand et au Combien ?

- Le banquier ? le financier ?
- La voyante extralucide, la diseuse de bonne aventure !



Question : « Être guidé uniquement par le quand et le combien »
est une mauvaise idée.



Température, chaleur, énergie et travail

deux principes de thermodynamique

Pré-requis

(principe de raison suffisante)

- L'énergie cinétique (joule, kWh)
- Le travail d'une force (joule, kWh)

$$1kWh = 1000W \cdot 3600s = 3'600'000 \text{ J}$$

Application pratique : une voiture électrique (Tesla).

Energie d'une voiture Tesla à 108 km/h (soit 30 m/s)

Energie cinétique

$$E_{cinétique} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \vec{v}^2$$

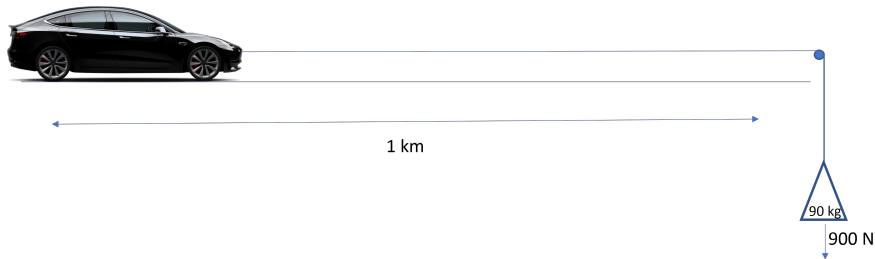


$$E_{cinétique} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 2000 \cdot 30^2 = 900'000 J = \frac{1}{4} kWh$$

Energie consommée par une voiture Tesla sur 1 km

Travail d'une force

$$A = \vec{F} \cdot \vec{d} = F \cdot d$$



$$\text{Energie} = \text{Travail} = 900 \text{ N} \cdot 1000 \text{ m} = 900'000 \text{ J} = \frac{1}{4} \text{ kWh}$$

Point de comparaison

Deux batteries de vélo électrique
contiennent 1 *kWh*



Un fourneau à raclette (1 heure)
100 km en vélo électrique
4 km en voiture électrique

30 cts

Création d'une vague (Alaia Bay)
équivalent à 1 *kWh* d'énergie

source : www.alaiabay.ch

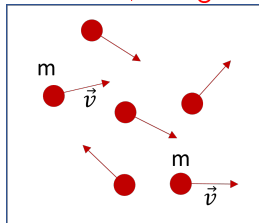


300 à 1000 vagues par heure

(on change de monde!)

Chaleur, énergie, travail, et température?

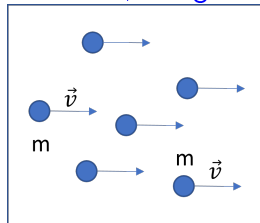
Chaleur, énergie



$$\text{Energie} = \sum_{\text{particules}} \frac{1}{2} \cdot m \cdot \vec{v}^2$$

désordre !

Travail, énergie



$$\text{Energie} = \sum_{\text{particules}} \frac{1}{2} \cdot m \cdot \vec{v}^2$$

ordre !

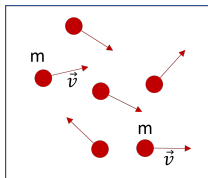


Question Quiz : Gestion d'entreprise

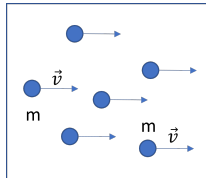
Peu importe la stratégie choisie
Il est seulement nécessaire
d'en avoir une.

La stratégie doit être comprise
par tous, et pas uniquement
par la direction.

Chaleur, énergie



Travail, énergie



peu noble

noble



d'accord



neutre



pas d'accord

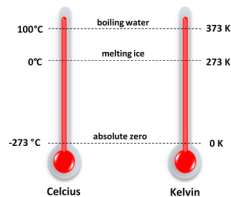
La température : c'est quoi ?

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot \vec{v}_*^2 = \frac{i}{2} \cdot k \cdot T_0 \propto T_0$$

$$\sum \vec{v}_* \approx \vec{0}$$

k : constante de Boltzmann

i degré de liberté

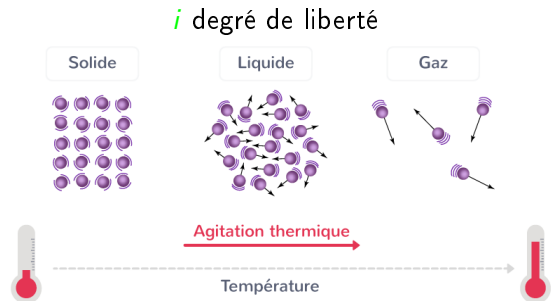


- La température (Kelvin) est proportionnelle à l'énergie cinétique d'une particule
- La température est positive (Kelvin)
- La chaleur égale à la somme de l'énergie cinétique de toutes les particules

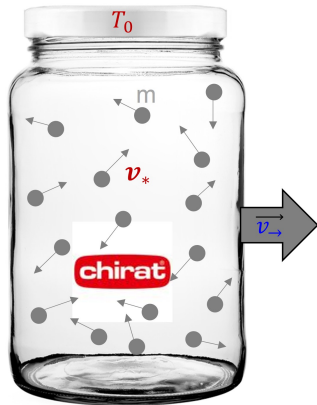
La chaleur est la somme de l'énergie cinétique de toutes les particules

$$U = \sum_{\text{particules}} \frac{1}{2} \cdot m \cdot \vec{v}_*^2$$

Energie liée à
l'agitation thermique (U)
de toutes des particules
(joules, kWh)



Expérience de pensée : du bocal vide à la première loi



$$Q = E_{\text{cinétique}} = \sum_{\text{particules}} \frac{1}{2} \cdot m \cdot (\vec{v}_* + \vec{v})^2$$

$$Q = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left[\sum \vec{v}_*^2 + 2 \cdot \vec{v} \cdot \sum \vec{v}_* + \sum \vec{v}^2 \right]$$

$$Q = U + A$$

Energie
totale

Agitation
thermique

Travail

Le premier principe (loi) de thermodynamique

L'énergie est conservée.

Quelle bonne nouvelle !

$$Q = U + A$$

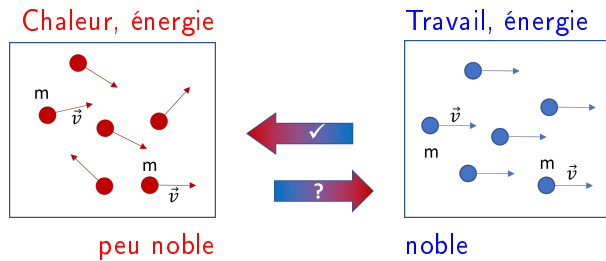
*Energie
totale*

*Agitation
thermique*

Travail

Alors le problème, c'est quoi ? C'est la qualité !

Ordre et désordre ; réversibilité et irréversibilité ; deuxième principe



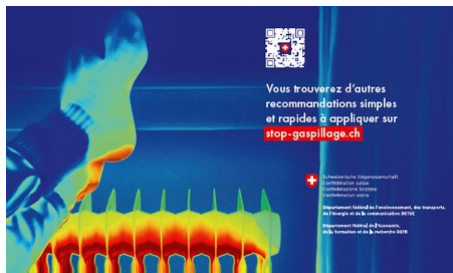
Machines thermiques

1. Je dispose d'énergie de qualité, puis-je générer de la chaleur ?
Oui, facile !
2. Je dispose d'énergie de qualité, puis-je générer du chaud et du froid ?
Oui, c'est un frigo et une pompe à chaleur.
3. Je dispose de beaucoup de chaleur à la même température, puis-je en tirer de l'énergie de qualité ?
Non.
4. Je dispose chaleur à deux niveaux de température (chaud et froid), puis-je échanger cela contre de l'énergie de qualité ?
Oui, c'est un moteur thermique.

1.

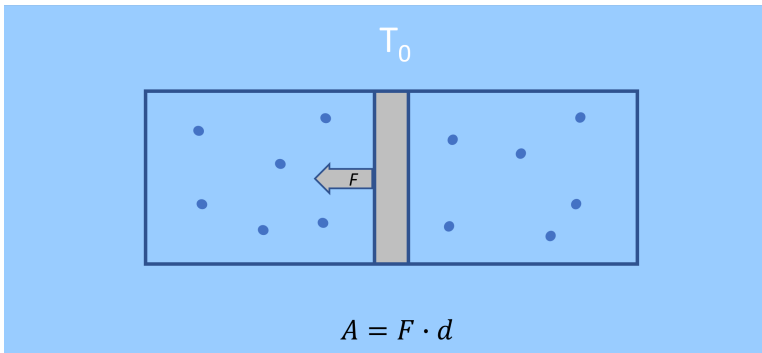
Je dispose d'énergie de qualité, puis-je générer de la chaleur ?

Oui, facile ! Mais quel gâchis !



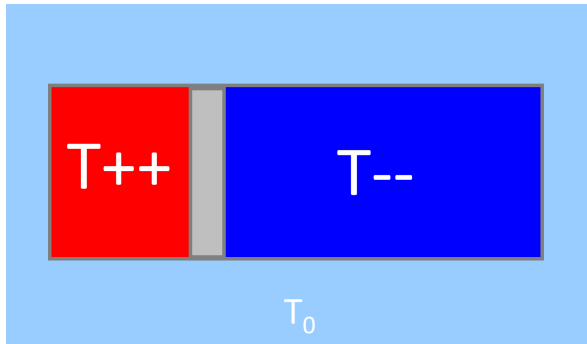
2. Je dispose d'énergie de qualité, puis-je générer du chaud et du froid ?

- Réfrigérateur : fournir du travail pour produire du froid.
- Pompe à chaleur : fournir du travail pour produire du chaud.

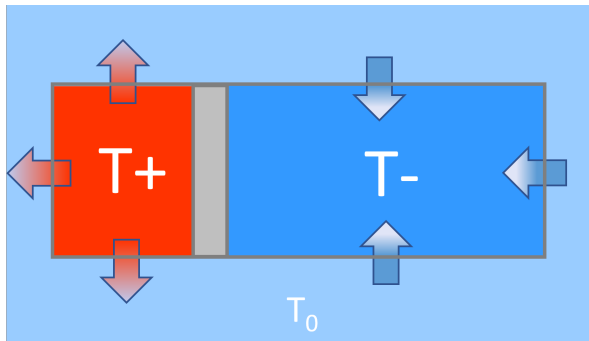


Déplacement de la paroi (piston)

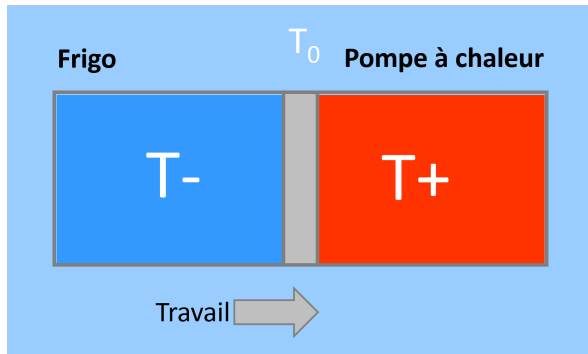
- Compression à gauche → Température gaz augmente → passe à T_{++}
- Détente à droite → Température gaz baisse → passe à T_{--}



Echange thermique avec l'environnement

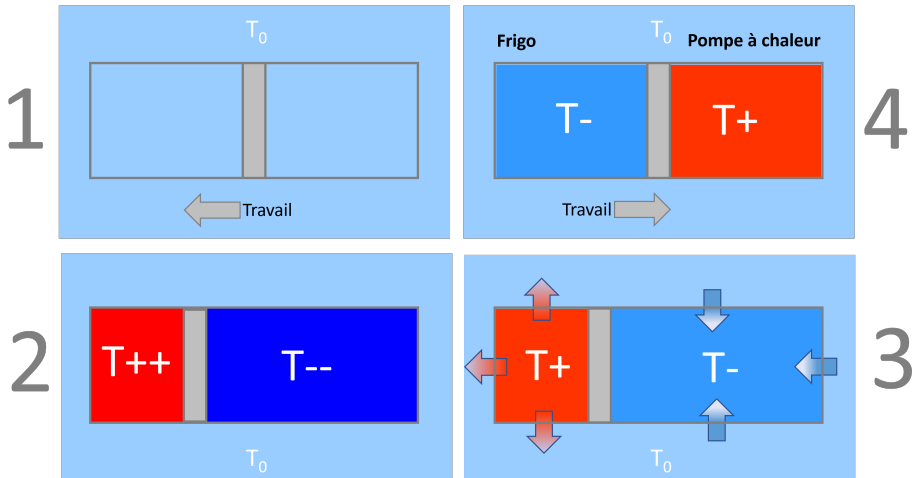


Retour de la paroi en position centrale



J'ouvre mon frigo, il fait encore plus chaud !

Résumé du principe



3. Je dispose de beaucoup de chaleur à la même température, puis-je en tirer de l'énergie de qualité ?

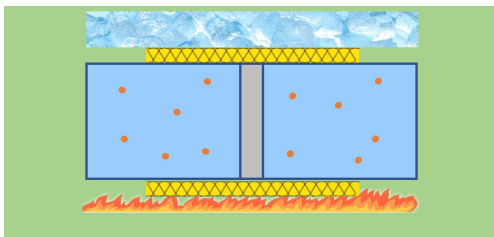
- Une démonstration économique !
 - En plein été, le chaud n'a pas de valeur.
 - En plein hiver, le froid n'a pas de valeur.

→ Une démonstration physique.

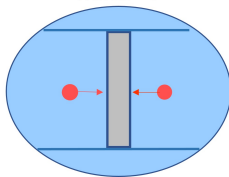
→ Une démonstration bestiale !

4. Je dispose chaleur à deux niveaux de température (chaude et froide), puis-je échanger cela contre de l'énergie de qualité ?

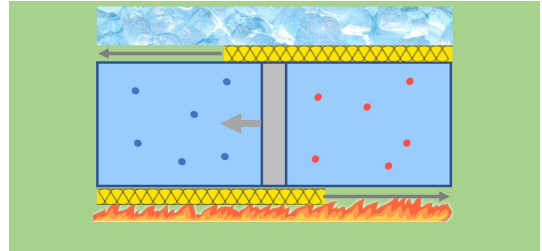
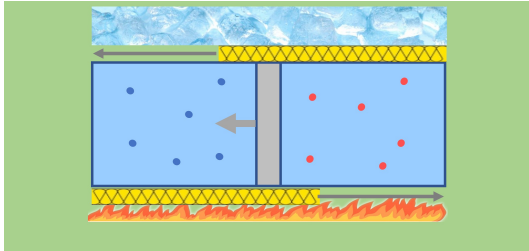
- Cylindre / paroi coulissante (gris) / gaz dans les 2 compartiments
- Source chaude (feu) / source froide (glace)
- Isolation jaune d'Isover



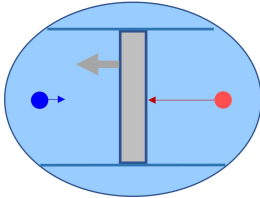
Travail = 0



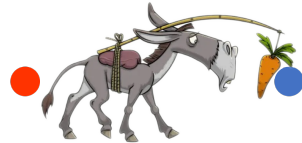
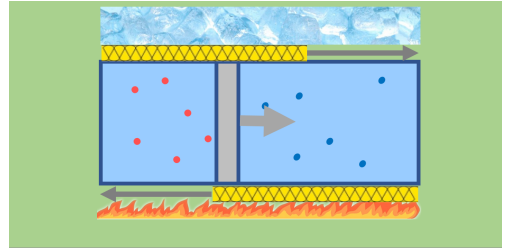
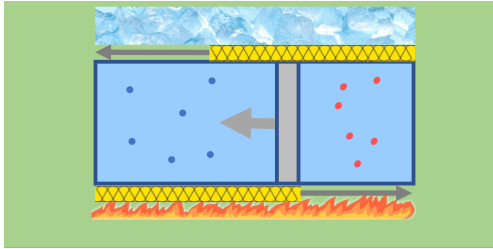
Le déséquilibre crée le mouvement



Travail



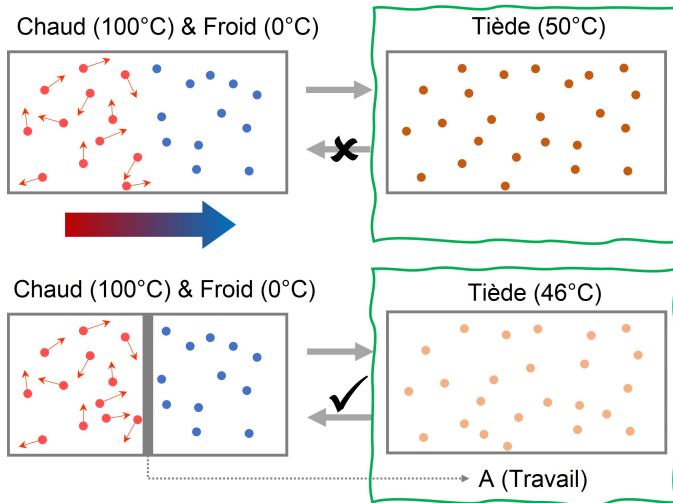
La carotte et le bâton



Si la carotte est aussi attirante que le bâton, alors je ne bouge pas.

(démonstration bestiale)

Réversibilité ou irréversibilité



Où réside la plus-value ?

- Dans la différence !
 - entre le bâton et la carotte
 - entre la température chaude et froide ($T_{chaud} - T_{froid}$)
- L'énergie thermique en jeu est proportionnelle à T_{chaud}



Sadi Carnot (1796-1832)

Le rendement de Carnot (η_{Carnot})

$$\eta_{Carnot} = \frac{T_{chaud} - T_{froid}}{T_{chaud}} = 1 - \frac{T_{froid}}{T_{chaud}}$$

Si $T_{chaud} = T_{froid}$

Alors $\eta_{Carnot} = 0 \Leftrightarrow$ le moteur ne tourne pas.

Exemple de calcul : la centrale nucléaire de Leibstadt

• Source chaude $T_{chaud} \approx 600\text{K}(330^\circ\text{C})$

• Source froide $T_{froid} \approx 300\text{K}(30^\circ\text{C})$

$$\eta_{Carnot} = \frac{T_{chaud} - T_{froid}}{T_{chaud}} = \frac{600 - 300}{600} = \frac{1}{2}$$

$$\eta_{R\acute{e}el} = \frac{1}{3}$$

- 1/3 de la chaleur est transformée en électricité
- 2/3 de la chaleur est transférée à l'environnement





Question Quiz : **Système thermique et société**

La plus-value réside dans la différence !
Et si cela était aussi vrai dans la société ?

- langue •
- culture •
- croyance •
- idées •
- types psychologiques • ...

- diminue le danger de la pensée unique
- nourrit le débat d'idées
- peut servir de piste pour les politiciens



d'accord



neutre



pas d'accord

- La nature nous montre certaines pistes (principes, lois).
- Soyons assez sages pour en tirer un enseignement.

C'est le temps que tu as perdu pour ta rose,
qui fait que ta rose est si importante.