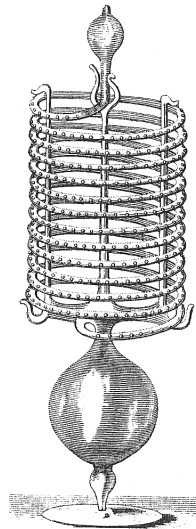


Thermodynamique de l'ingénieur
Olivier Cleynen – Janvier 2014

Cours 1
Notions fondamentales



~ nota bene ~

- Ces diapositives servent de support en classe ; elles n'ont pas vocation de remplacer un polycopié (ou un bon livre!)
- Certaines diapositives paraîtront inévitablement ambiguës ; attention à ne pas les interpréter sans l'aide des documents de cours.

Vos retours d'opinion sont les bienvenus :

olivier.cleynen@ariadacapo.net

Ces documents de cours sont téléchargeables
à l'adresse

<http://thermo.ariadacapo.net/>

Ce document est publié
sous licence Creative Commons.



Certains documents sont le fruit du travail des auteurs indiqués
au bas des diapositives, et publiés sous licence compatible.

Le reste est ©2009-2014 CC by-sa Olivier Cleynen

Vous êtes invité/es à copier, modifier, et ré-utiliser ce
document sous quelques conditions simples :

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.fr>

1.1 Énergie et puissance

1.1.1 L'énergie

????????

Capacité d'un corps

à mettre un autre corps en mouvement

(soit de façon cohérente,
soit de façon désordonnée)

Mesurée en Joules

Ne peut être ni détruite, ni créée

E (J)

Q

W

E_c

E_p

U

H

Quelques formes d'énergie

- Cinétique
- Potentielle
- Chimique
- Électrique
- Masse
- Travail et chaleur !

1.1.2 La puissance

300 000 000 kJ & 0W



Rolls-Royce Trent 900 (~ 25khp)



CHARGE MAXI 350 KG
3 PERSONNES MAXI

CMU CHARIOT / BERCEAU / MOTEUR 14000 KG
MASSE BERCEAU 2800 KG

ERME

CMU TROLLEY / CRADLE / ENGINE 14000 KG
WEIGHT CRADLE 2800 KG

MAXIMAL LOAD 350 KG
3 PERSONNS MAXIMUM

BERCEAU MOTEUR RR T900
ENGINE CRADLE RR T900
PPHN 01 L70C R0001 000 007

PPTR 01 L70C R0001 000 008

WEIGHT T900 14000 KG
MASSE BERCEAU MOTEUR 14000 KG
MASSE BASE MONTANTE 2800 KG

Débit d'énergie dans le temps

$$1 \text{ Watt} \equiv 1 \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\dot{E} \quad (W)$$

le kWh

(n'est pas une puissance)

Le cheval-vapeur

$$1 \text{ ch} = 735 \text{ W}$$

Une voiture de 100 ch

- Puissance mécanique *maximale que le moteur est capable de fournir* : 100 ch
- Puissance maxi reçue par le moteur : 300 ch
- Puissance de freinage : 600 ch
- Puissance moyenne en pratique : 20 ch

exercice 1.2

Une voiture a un moteur de 195ch.

- Quelle est la vitesse maximale théorique ?
- Cela rend-il le/la propriétaire plus heureux/se ?

1.1.3 Valeurs spécifiques

Comment comparer deux cycles moteur ?

Énergie spécifique = énergie par kilo
(d'air, de vapeur, de fluide)

$$e \equiv \frac{E}{m} \quad (\text{J/kg})$$

(1/3)

Combustion à 300 kJ/kg

→ 150 kJ lorsque $m=0,5\text{kg}$

→ 300 kJ lorsque $m=1\text{kg}$

Puissance spécifique

= énergie spécifique par seconde

= puissance par (kilo par seconde)

$$e \equiv \frac{\dot{E}}{\dot{m}}$$

$$e \equiv \frac{\dot{E}}{\dot{m}} \quad (\text{J/kg})$$

Combustion à 300 kJ/kg

→ 600 kW lorsque $\dot{m} = 2$ kg/s

→ 150 kW lorsque $\dot{m} = 0,5$ kg/s

Énergie spécifique

Puissance spécifique

Volume spécifique

Enthalpie spécifique

Entropie spécifique

ooooouh

spécifique

=

indépendamment de la masse

1.2 Énergie mécanique

$$E_c = \frac{1}{2} m C^2$$

(1/5)

$$e_c = \frac{1}{2} C^2$$

(1/6)



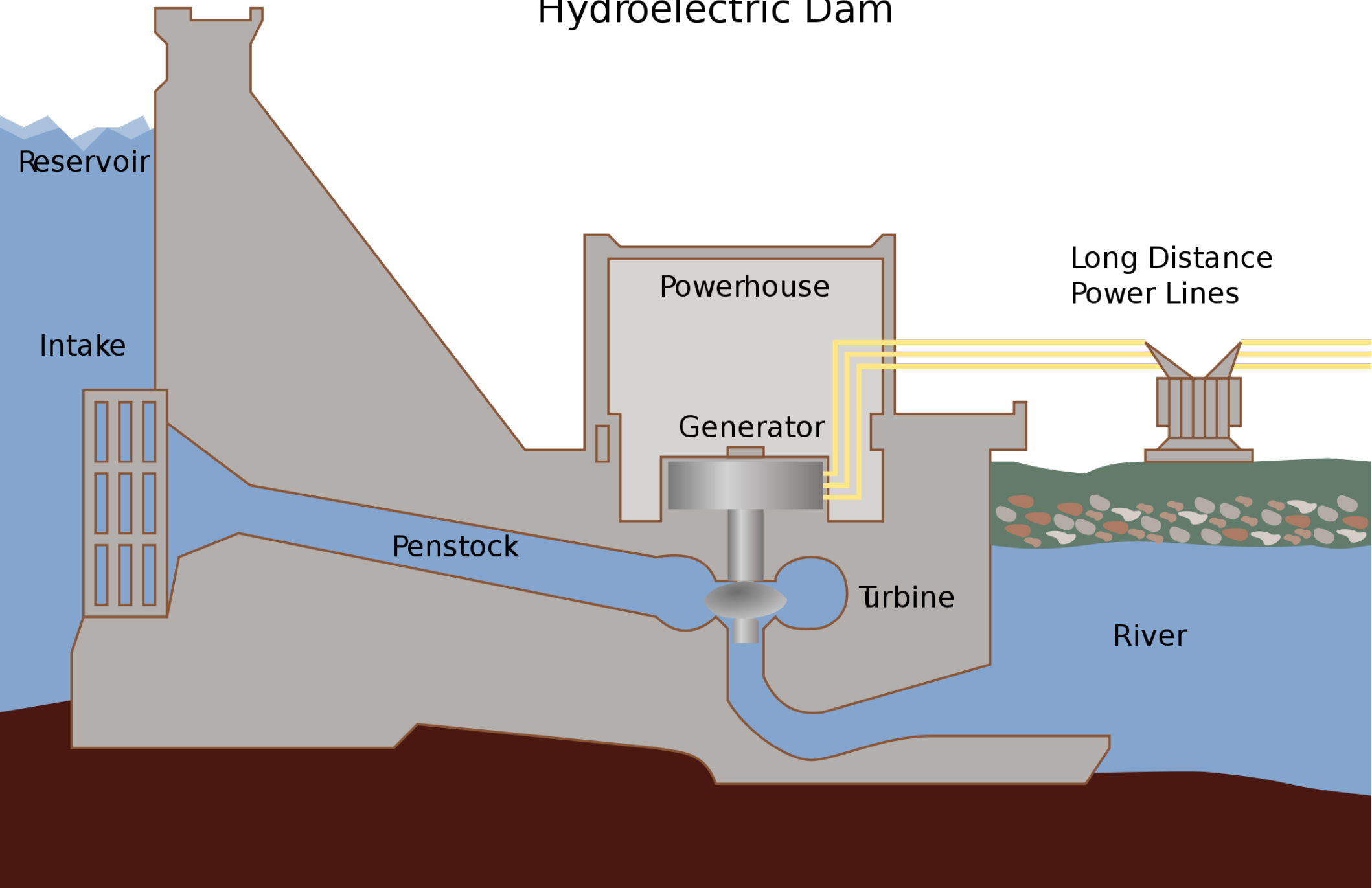
$$E_p = m g z$$

(1/7)

$$e_p = g z$$

(1/8)

Hydroelectric Dam

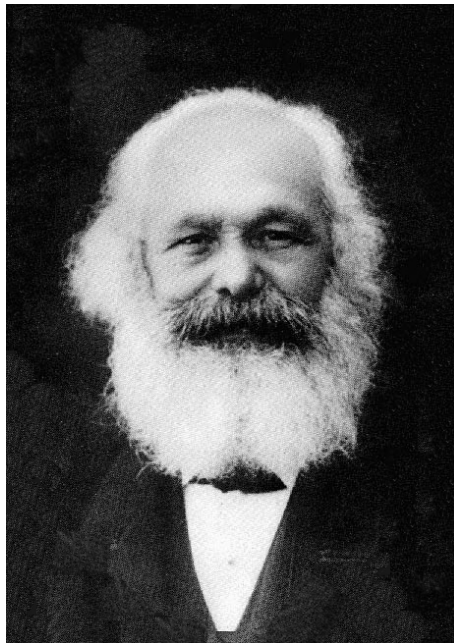


$$e_m \equiv e_c + e_p$$

1.3 Le travail

~ c'est la santé ~

Qu'est-ce qu'un travail (en mécanique) ?



Le travail :

Une force exercée sur une distance



$$W \equiv \vec{F} \cdot \vec{l}$$

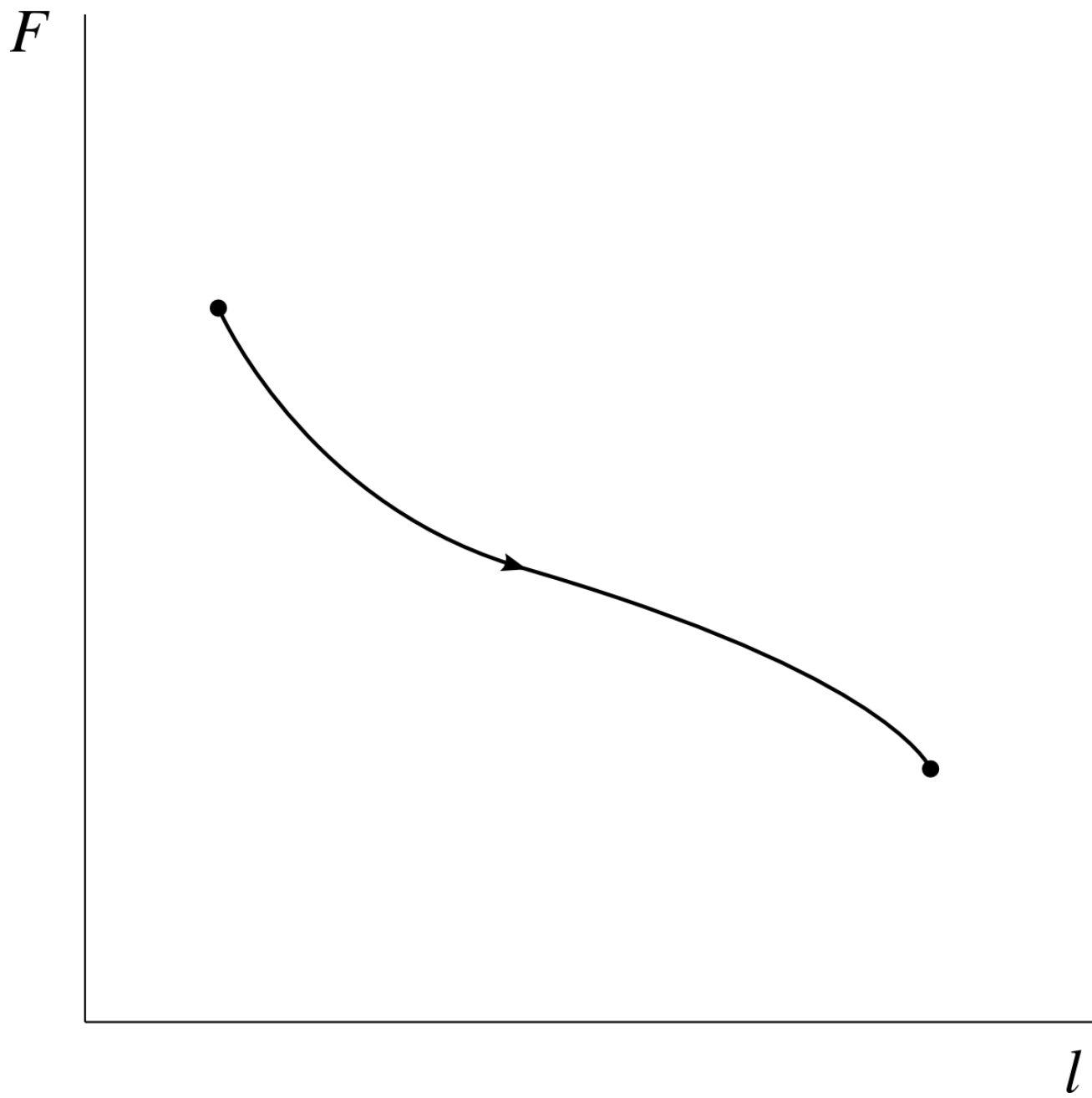
- 1) On mesure le déplacement avec la longueur de l'objet qui fournit le travail
- 2) On ne s'intéresse qu'aux cas où les vecteurs F et l sont colinéaires
- 3) On tient compte de variations de F en fonction de l

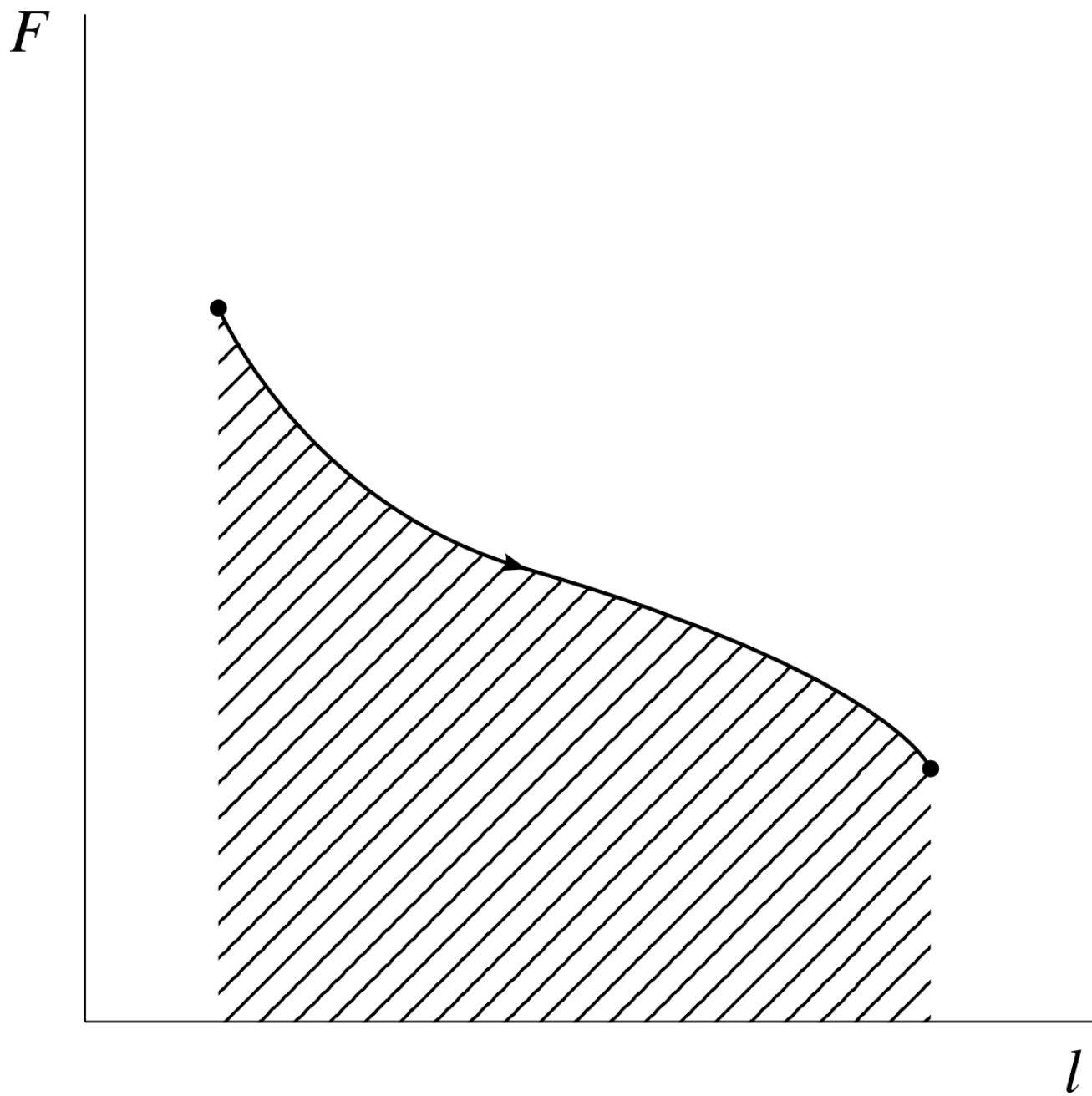
$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B dW$$

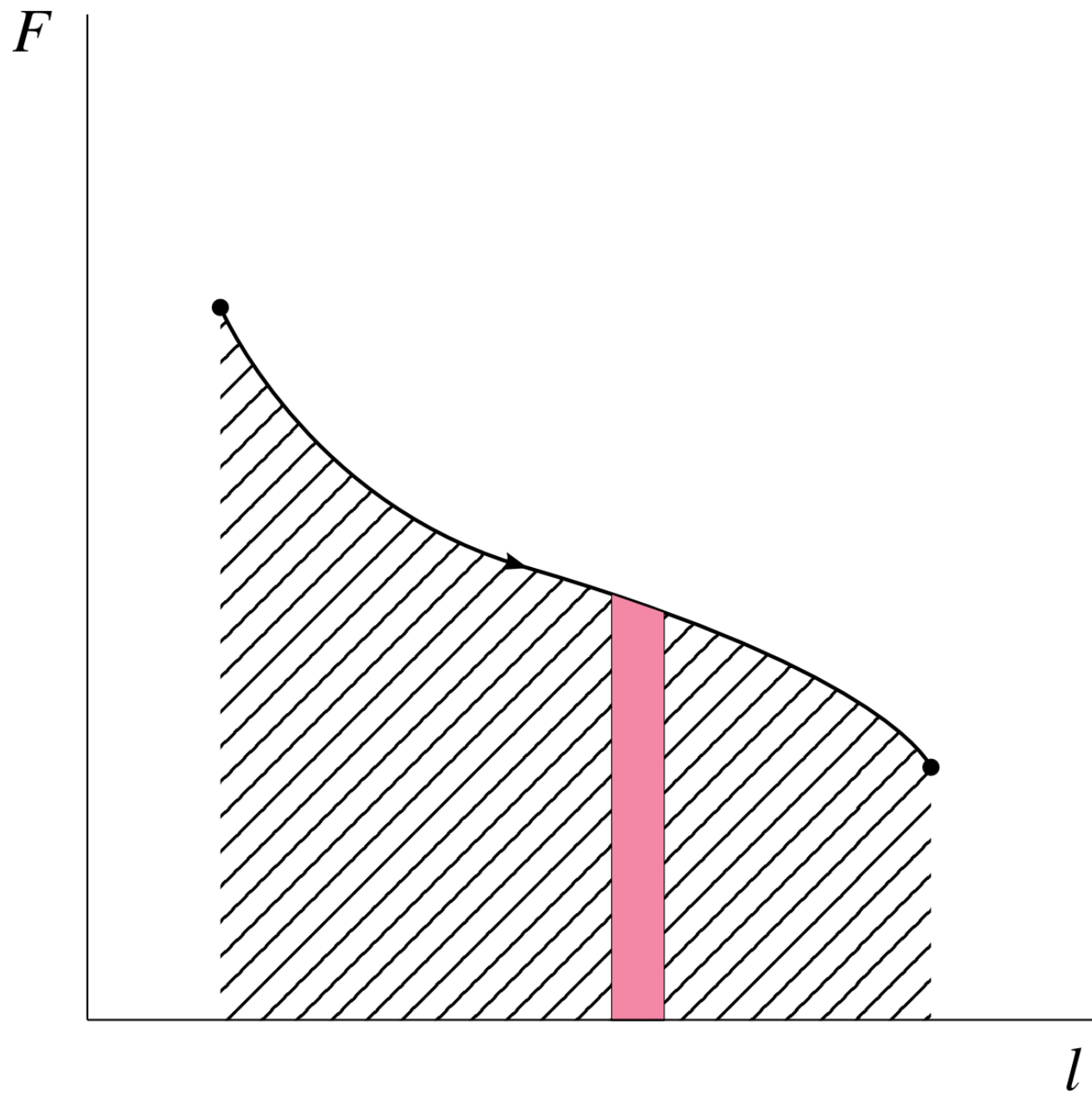
$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

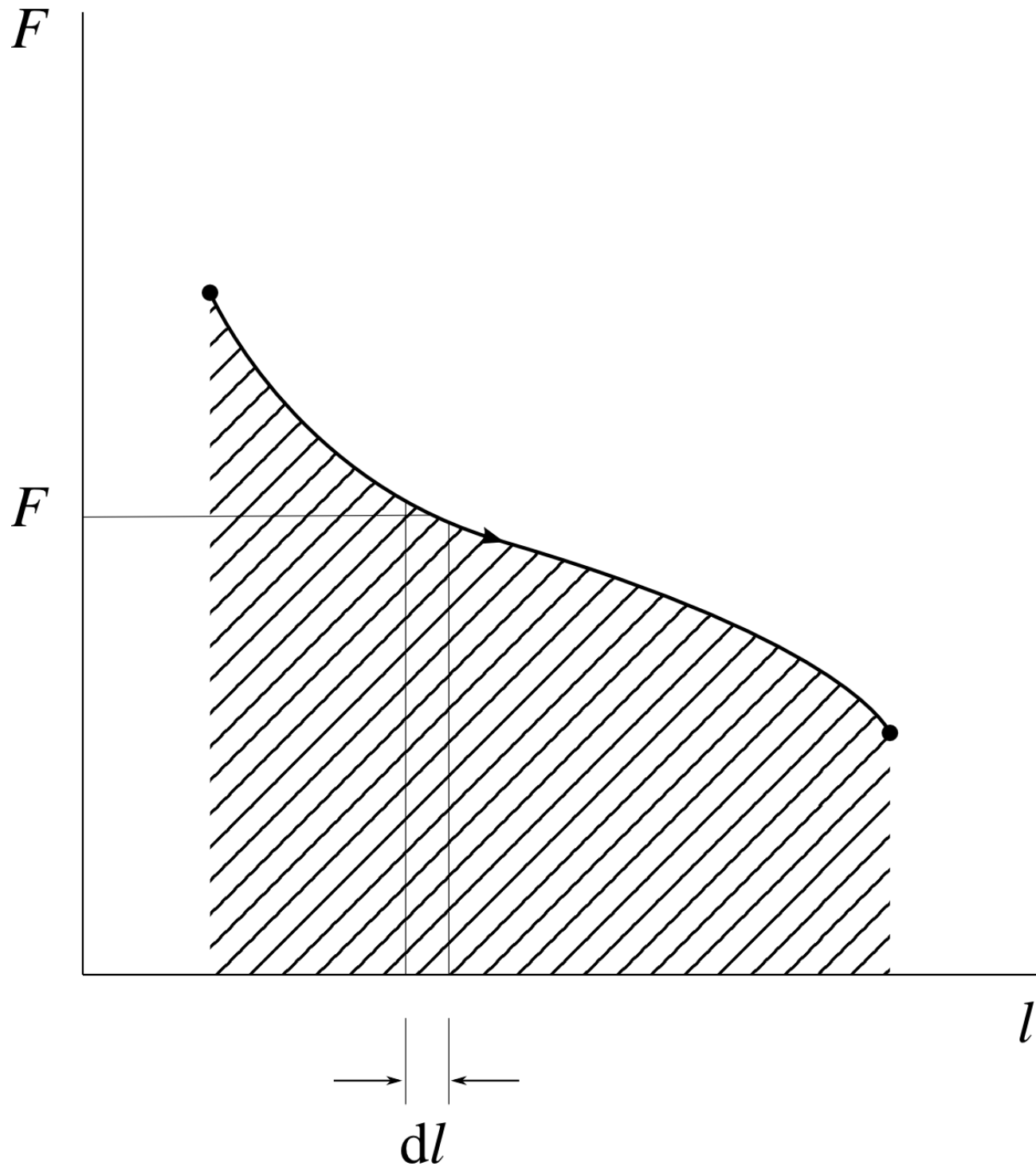
$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

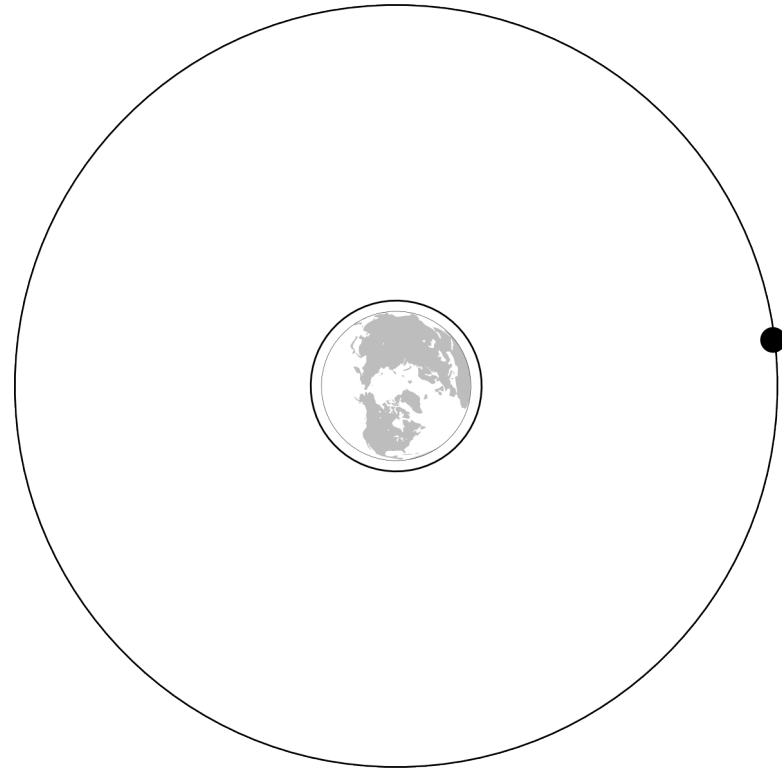
$$W_{A \rightarrow B} = - \int_A^B F dl$$











1.4 Chaleur et température

1.4.1 La température

température

=

capacité d'un corps

à fournir ou recevoir de la chaleur

« niveau d'agitation interne »

liée à l'énergie cinétique de translation
des particules

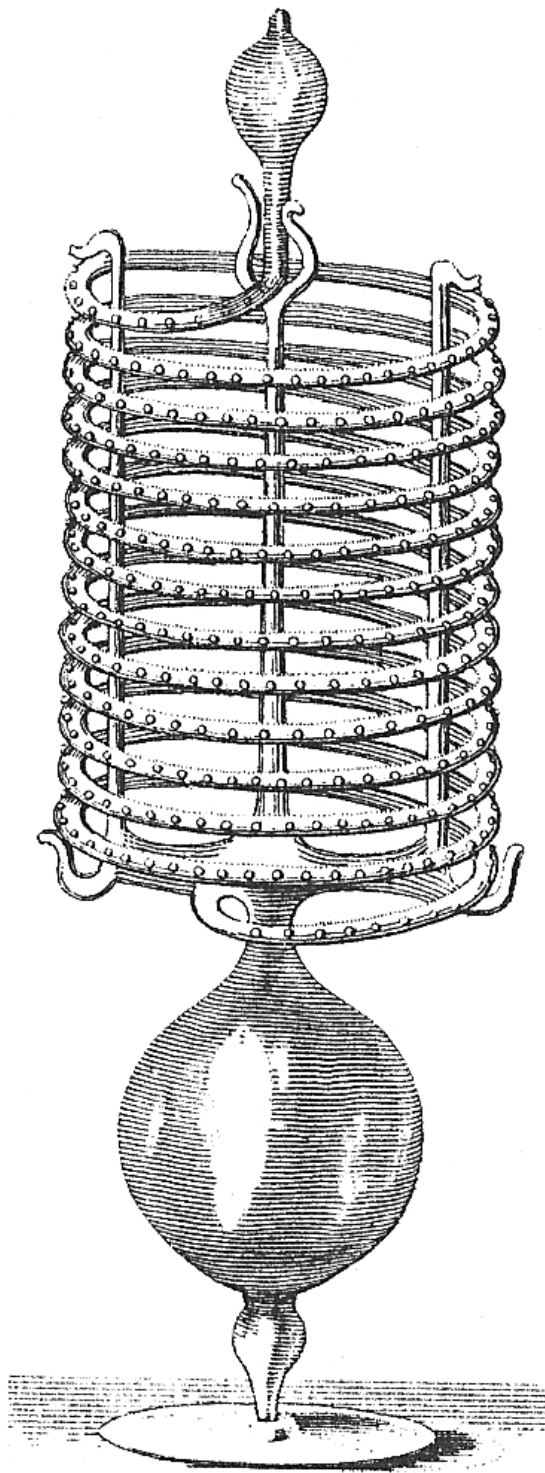
zéro mouvement relatif des particules

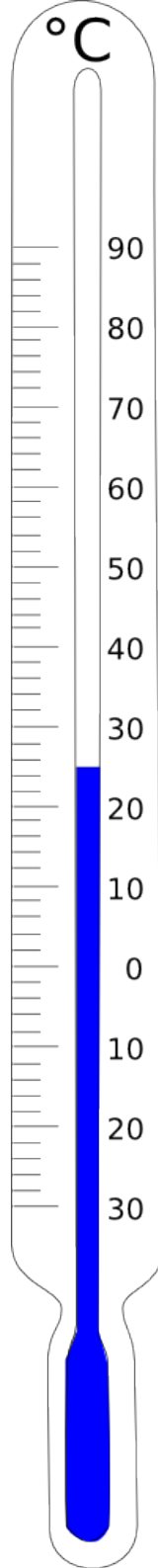
= zéro température ;

pas de température maxi.

On ne peut pas mesurer

« l'énergie cinétique moyenne des particules »





Échelle de température absolue
en Kelvins (K)

$$T(^{\circ}\text{C}) \equiv T(\text{K}) - 273,15$$

$$T(\text{K}) \approx T(^{\circ}\text{C}) + 273$$

Quelques températures

0 K	-273,15°C	Zéro absolu (par définition)
100 pK	-273.1499999999 °C	Température la plus basse jamais atteinte (quelques particules uniquement)
4,22 K	-268,93 °C	Ébullition de l'hélium à pression atmosphérique
44 K	-229 °C	Température moyenne de la surface de Pluton*
184 K	-89,4 °C	Température atmosphérique minimale enregistrée sur Terre*
273,15 K	0 °C	Fonte de l'eau à pression atmosphérique
327 K	54 °C	Température atmosphérique maximale enregistrée sur Terre*
373,15 K	100 °C	Ébullition de l'eau à pression atmosphérique
400 K	127 °C	Température du nez d'un Concorde en croisière*
483 K	200 °C	Four domestique usuel*

Quelques températures

485 K	210 °C	Auto-inflammation du carburant diesel*
753 K	480 °C	Température des bords d'attaque d'un SR-71 en croisière*
1100 K	830 °C	Feu de bois*
1900 K	1600 °C	Température du bouclier d'une navette spatiale en ré-entrée atmosphérique*
2500 K		Filament d'une lampe à incandescence
5000 K		Fonte du diamant (à 12GPa)
5800 K		Surface du soleil
16 MK		Centre du soleil
350 MK		Au sein de la déflagration d'une arme nucléaire
3 GK		Cœur d'une grosse étoile à son dernier jour
1 TK		Particules en collision au sein du RHIC
1.417×10^{32} K		L'univers $5,391 \times 10^{-44}$ s après le Big Bang

La température

- 200 ans de casse-tête
- Nous y reviendrons deux fois
 - Cours 4 (*le gaz parfait*)
 - Cours 7 (*le second principe*)
- Pour l'instant : « potentiel de chaleur »

1.4.2 La chaleur

Deux corps de température différente
en contact :

→ transfert d'énergie

Q (J)

q (J/kg)

Le calorique

- Sorte de fluide un peu magique
- Incolore, invisible, inodore, insipide
- Se disperse partout, imbibe les corps
- Son écoulement peut servir à « faire » du travail

La chaleur (en vrai) :

- C'est de l'énergie...
- Elle ne se conserve pas !
→ elle peut *disparaître*
- Un comportement ~~flippant~~ particulier...

La température

est un « potentiel de chaleur »

1.4.3 La capacité thermique

Combien faut-il chauffer

pour faire monter la température d'un degré ?

Quelle est la quantité d'énergie nécessaire
pour augmenter d'un Kelvin la température
d'un kilo de ce corps ?

$$c \equiv \frac{dq}{dT}$$

Capacité calorifique

- Acier : $475 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- Air :
 - Ça dépend (sacrément) du travail que l'on lui fait fournir
- Eau :
 - Liquide : $4180 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{kg})$
 - Liquide/vapeur : ça dépend complètement de son humeur

1.4.4 L'énergie interne

L'énergie interne :

- Énergie emmagasinée par le système
(le sujet de notre expérience)
- Voilà un concept bien vague !
(ok, ok...)
- C'est *presque* de la température

U (J)

u (J/kg)

<analogie>

\$ € £

</analogue>

1.4.5 Dans le langage courant

~ lexique du petit thermodynamicien ~

« Il fait chaud »

« un objet chaud »

→ Température...

« Le gaz se réchauffe /se refroidit »

« On chauffe / on refroidit le gaz »

→ apporter de la chaleur

vs.

augmenter la température

Le froid

Le feu

1.5 Le premier principe de la thermodynamique

~ ta-dam ta-dam ~

L'énergie est indestructible.

Lorsqu'un système fermé parcourt un cycle thermodynamique dans son entièreté,

la somme algébrique des transferts énergétiques est égale à zéro.

Et pourtant, tout ce qu'il suffisait de dire était :

L'énergie est indestructible.

L'énergie est indestructible !

L'énergie est indestructible !!!!!!!

L'énergie est indestructible !!!!!!!

u

q

w

e_m