Physics Compendium

Recueil de formules utilisées en physique.

Les thématiques traitées sont évoquées dans le cursus des études suivantes:

- Études Supérieures en Suisse

Table des matières

Mouvement rectiligne

Relation de base

Il est nécessaire de prendre le temps le plus petit possible pour déterminer les valeurs instantanées. Ainsi, ces deux équations sont valables pour le MRU et le MRUA.

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)$$

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)$$

v = Vitesse instantanée [m·s⁻¹]

x = Distance [m]

t = Temps [s]

a = Accélération instantanée [m·s⁻²]

Uniforme (MRU)

Le mouvement rectiligne uniforme possède une vitesse constante.

$$\begin{cases} a = 0 \\ v = const \\ x(t) = x_0 + v \cdot t \end{cases}$$

v = Vitesse (constante) [m·s⁻¹]

$x(t)$ = Distance parcourue en fonction de t [m]

x_0 = Distance initiale [m]

t = Temps [s]

Uniformément accéléré (MRUA)

Le mouvement rectiligne uniformément accéléré possède une accélération constante.

$$\begin{cases} a = const \\ v(t) = v_0 + a \cdot t \\ x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \end{cases}$$

a = Accélération (constante) [m·s⁻²]

$v(t)$ = Vitesse atteinte en fonction de t [m·s⁻¹]

v_0 = Vitesse initiale [m·s⁻¹]

Synchronisation de mouvements

Lors de la synchronisation de mouvements dont ces derniers ne démarrent pas au même moment, il est nécessaire de baser le référentiel de temps sur le dernier mouvement et d'ajouter un délai pour les autres. Voici l'application des formules du MRUA pour une synchronisation de deux mouvements.

$$\begin{cases} a = const \\ v(t) = v_0 + a \cdot (t + t') \\ x(t) = x_0 + v_0 \cdot (t + t') + \dfrac{1}{2} \cdot a \cdot (t + t')^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} a = const \\ v(t) = v_0 + a \cdot t \\ x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \dfrac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \end{cases}$$

Dans cet exemple, le **premier** ensemble de formule représente un mouvement en **avance** de t' seconde(s) sur le second mouvement.

Balistique

Équation du mouvement

Équation de l'abscisse (axe x).

$$\begin{cases} a_x = 0 \\ v_x(t) = v_0 \cdot \cos\alpha \\ x(t) = x_0 + v_0 \cdot \cos\alpha \cdot t \end{cases}$$

Équation de l'ordonnée (axe y).

$$\begin{cases} a_y = -g \\ v_y(t) = v_0 \cdot \sin\alpha + a_y \cdot t \\ y(t) = y_0 + v_0 \cdot \sin\alpha \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a_y \cdot t^2 \end{cases}$$

α = Accélération [m·s^{-2}]
v = Vitesse [m·s^{-1}]
v_0 = Vitesse initiale [m·s^{-1}]
x = Distance parcourue sur l'abscisse [m]
x_0 = Distance de l'abscisse initiale [m]
y = Distance parcourue sur l'ordonnée [m]
y_0 = Distance de l'ordonnée initiale [m]
g = Gravité [m·s^{-2}]
t = Temps [s]

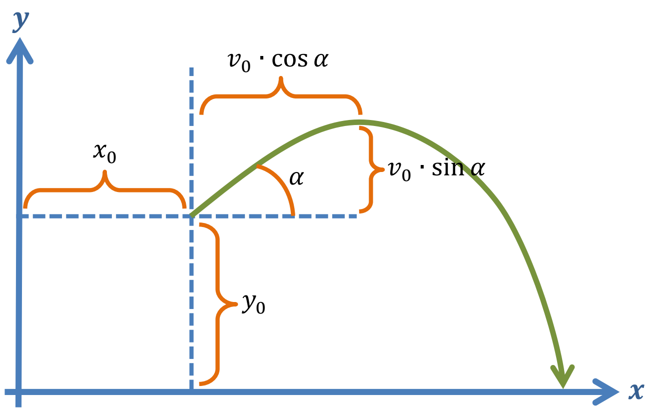
Vitesse résultante

$v_r(t) = \sqrt{v_y(t)^2 + v_x(t)^2}$

v = Vitesse résultante [m·s^{-1}]

Schéma de principe

Ce schéma représente la trajectoire d'un projectile lancé à un angle α.



Points remarquables.

Calcul de la hauteur maximum du projectile :

$v_y(t) = 0$

Calcul de la distance d'impact :

$y(t) = 0$

Calcul de l'angle sous condition

L'angle α que forme le mouvement d'un projectile avec l'axe horizontal doit parfois être calculé dans une tranche de valeurs définies. La situation la plus courante est de calculer un mouvement entre 0° et 90°.

$$\text{solve}\left(\begin{cases} y(t) = 0 \\ x(t) = \cdots \end{cases}, \alpha\right) \mid 0 \le \alpha \le 90$$

Ce calcul détermine l'angle d'un projectile pour arriver au sol, en spécifiant une limite de l'angle attendu.

Newton

Lois de Newton

[à compléter]

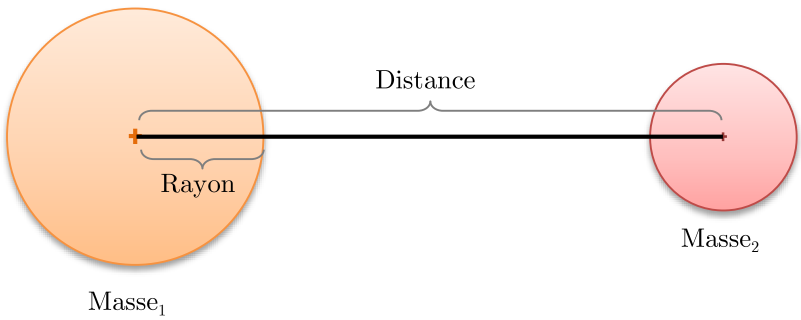
Gravitation universelle

La gravitation est le phénomène d'interaction physique qui cause l'attraction réciproque des corps massifs entre eux, sous l'effet de leur masse.

La *constante universelle de gravitation* (aussi appelée *constante gravitationnelle*) G est une constante de proportionnalité de la force de gravitation. Cette valeur correspond à la force entre deux masses d'un kilogramme chacune, distante d'un mètre.

$G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ [$N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$]

La force d'attraction entre deux corps massifs est proportionnelle au produit de leur masse et inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare leur centre de masse respectif.



$$F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

F_G = Force de gravitation [N]
G = Constante gravitationnelle [$N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$]
m_i = Masse [kg]
d = Distance entre deux masses [m]

Champ de pesanteur (gravité)

Le *champ de pesanteur* (aussi appelé *pesanteur*) est le champ attractif qui s'exerce sur tout corps matériel (donc doté d'une masse) au voisinage d'une planète. Dérivé de la formule présente ci-dessus, la gravité d'une planète peut être déterminée ainsi.

$$\begin{cases} g = G \cdot \frac{M}{r^2} \\ F_P = F_G = m \cdot g \end{cases}$$

g = Gravité [$m \cdot s^{-2}$]
M = Masse de la planète [kg]
m = Masse d'un corps [kg]
r = Rayon de la planète [m]
F_P = Force de pesanteur [N]

C'est avec cette formule que la gravité à la surface de la Terre est déterminée approximativement à 9.81.

Attention à ne pas confondre : gravité = pesanteur =champ de pesanteur ≠ gravitation = force de pesanteur ! La gravitation est une force et la pesanteur en est sa résultante.

Mouvement circulaire

Uniforme

Le mouvement circulaire uniforme caractérise le déplacement d'un corps dont la trajectoire dans le référentiel considéré est un cercle et dont la vitesse est constante.

$$\begin{cases} \ddot{\theta} = 0 \\ \omega = const \\ \theta = w_0 \cdot t + \theta_0 \end{cases}$$

α = Accélération *nulle* [m·s^{-2}]

ω = Vitesse angulaire [rad·s^{-1}]

θ = Angle [rad]

θ_0 = Angle initial [rad]

t = Temps [s]

Uniformément accéléré

Le mouvement circulaire uniforme caractérise le déplacement d'un corps dont la trajectoire dans le référentiel considéré est un cercle et dont la vitesse varie linéairement avec le temps.

$$\begin{cases} a_{ang} = const \\ \omega = \omega_0 + a_{ang} \cdot t \\ \theta = \theta_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a_{ang} \cdot t^2 \end{cases}$$

a_{ang} = Accélération angulaire *constante* [m·s^{-2}]

ω_0 = Vitesse angulaire initiale [rad·s^{-1}]

Équations générales

Équations générales applicables dans le domaine du mouvement circulaire.

$$\begin{cases} v = \omega \cdot r \\ \alpha_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r \\ F_c = \alpha_c \cdot m \end{cases}$$

v = Vitesse tangentielle [m·s^{-1}]

m = Masse [kg]

r = Rayon de courbure [m]

α_c = Accélération centripète [m·s^{-2}]

F_c = Force centripète [N]

Force centripète sur virage surélevé

Équations applicables lors du calcul du dévers d'un virage.

$$\begin{cases} F_R = m \cdot \sqrt{g^2 + \frac{v^4}{r^2}} \\ \tan \alpha = \frac{v^2}{g \cdot r} = \frac{\omega^2 \cdot r}{g} \end{cases}$$

α = Angle du dévers [deg]

g = Gravité (champ de pesanteur) [m·s^{-2}]

F_R = Force de réaction [N]

$$F_R = m \cdot \sqrt{g^2 + \frac{v^4}{r^2}} = m \cdot \sqrt{g^2 + \frac{(w \cdot r)^4}{r^2}}$$

$$\tan \alpha = \frac{F_C}{P} = \frac{mv^2}{mgr} = \frac{v^2}{g \cdot r} = \frac{w^2 \cdot r}{g}$$

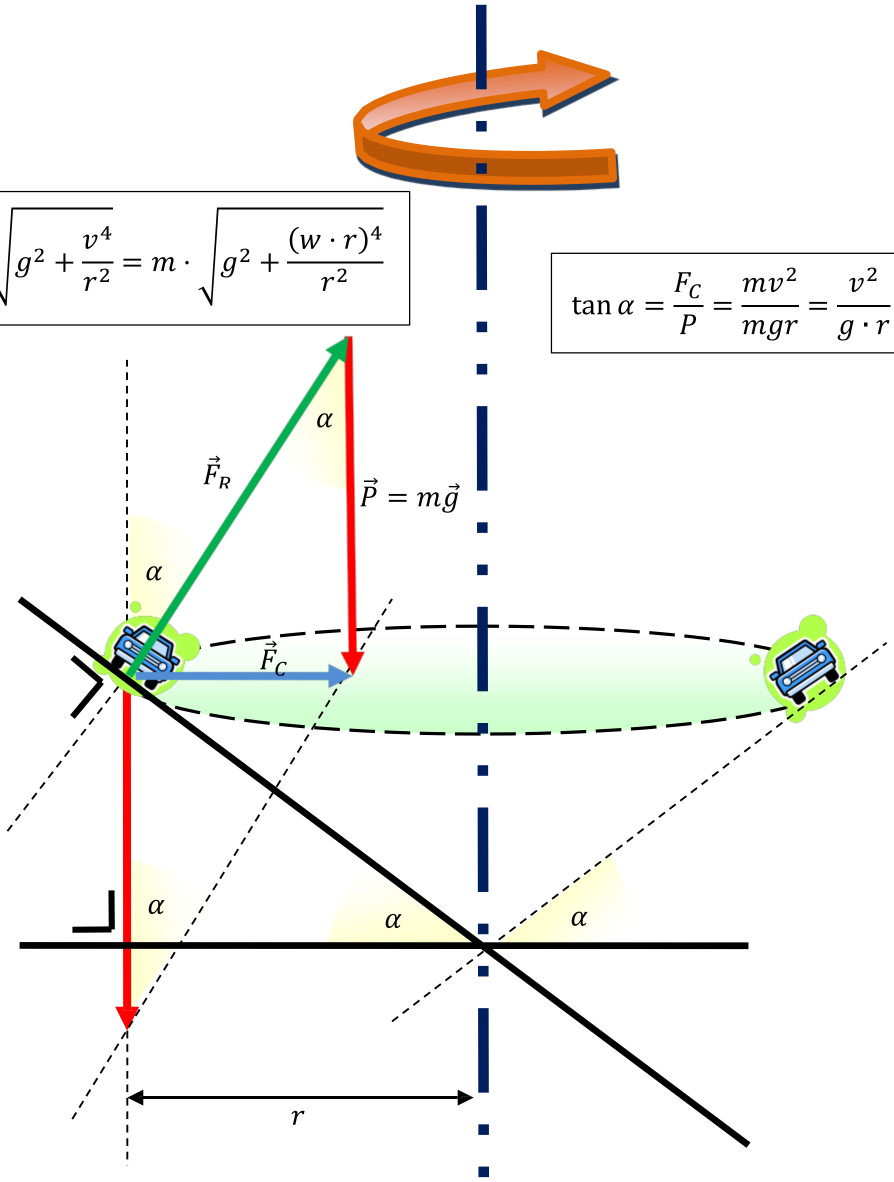
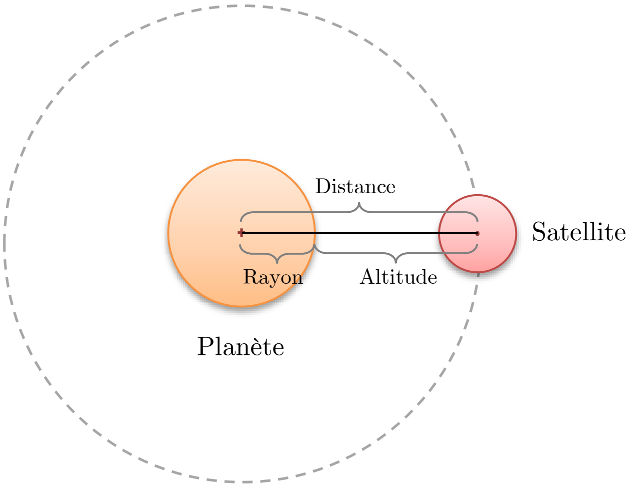


Illustration réalisée par Olivier Pittet

Orbite géostationnaire

L'orbite géostationnaire s'inscrivant dans le plan équatorial d'une planète fait qu'un corps se trouvant sur cette orbite possède une période de révolution très exactement égale à la période de rotation de cette planète sur elle-même.



Voici les équations générales afin de mettre un objet en orbite géostationnaire.

$$\begin{cases} \omega_{pla} = \omega_{sat} \\ \omega = \frac{angle}{t} \\ d = r + alt \\ G \cdot M = \omega^2 \cdot d^3 \end{cases}$$

$angle$	= Angle parcouru autour de la planète [rad]
t	= Temps du parcours de l'angle [s]
ω	= Vitesse angulaire des deux masses [$rad \cdot s^{-1}$]
r	= Rayon de la planète [m]
alt	= Altitude du satellite [m]
d	= Distance séparant le centre des deux masses [m]
G	= Constante gravitationnelle [$N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$]
M	= Masse de la planète [kg]

Dans le cas où le référentiel considéré est un point sur la planète, le nombre de passages au-dessus de ce point varie selon le sens dans laquelle le satellite en orbite se déplace.

$$\omega = \frac{2\pi \cdot (n \pm 1)}{t}$$

ω	= Vitesse angulaire des deux masses [$rad \cdot s^{-1}$]
n	= Nombre de passage du satellite
t	= Temps afin de faire un tour complet [s]

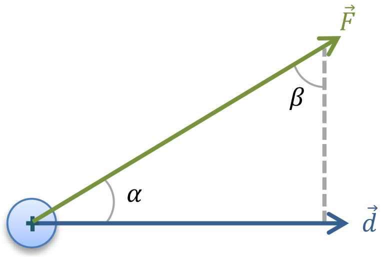
Le signe de l'équation est déterminé ainsi :

- Si le sens dans lequel la planète tourne est <u>identique</u> au sens du satellite, le signe est <u>positif</u>
- Si le sens dans lequel la planète tourne est <u>contraire</u> au sens du satellite, le signe est <u>négatif</u>

Énergie et Puissance

Travail d'une force

Le travail d'une force est l'énergie fournie par cette force lorsque son point d'application se déplace. Il est responsable de la variation de l'énergie cinétique du système qui subit cette force. Si par exemple on pousse une voiture, le travail de la poussée est l'énergie produite par cette poussée.

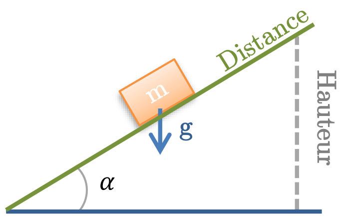


$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} = F \cdot d \cdot \cos\alpha = F \cdot d \cdot \sin\beta$$

W = Travail de force [J]
$\vec{F}$ = Force [N]
$\vec{d}$ = Distance [m]
α = Angle séparant la force du mouvement [deg]

Force conservative

Une force est dite conservative lorsque le travail produit par cette force est indépendant du chemin suivi par son point d'action. Un objet peut ensuite récupérer cette énergie sous une autre forme (potentiel, cinétique, etc.). Par exemple, un cycliste aura plus de facilité à descendre une montagne, car il aura généré du potentiel en la gravissant.



Travail d'une force sur une pente

$$W = \pm m \cdot g \cdot h$$
$$h = \sin\alpha \cdot d$$

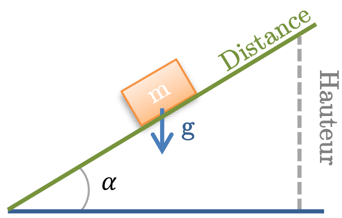
m = Masse [kg]
g = Gravité [$m \cdot s^{-2}$]
h = Hauteur (dénivelé) [m]

Le signe de la première équation est déterminé ainsi :

- Si le sens dans lequel la masse se déplace est identique au sens de la gravité, le signe est positif.
- Si le sens dans lequel la masse se déplace est contraire au sens de la gravité, le signe est négatif.

Force dissipative

Une force est dite dissipative lorsque le travail produit par cette force perd de l'énergie au cours du temps. Cette perte est principalement due aux frottements et l'énergie correspondante est alors dégradée en chaleur, une forme d'énergie qui ne pourra pas être intégralement retransformée en énergie mécanique. Par exemple, un cycliste montant une montagne avec un vélo ayant des freins appuyant légèrement sur ses roues (chaleur). Dans le cas d'une force dissipative, la force est dépendante du chemin suivi par son point d'action.



Travail d'une force sur une pente

$$W_{dissi} = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

W_{dissi} = Travail de force dissipatif [J]
$\vec{F}$ = Force [N]
$\vec{d}$ = Distance (parcouru par la masse) [m]

Énergie cinétique

Définition de l'énergie cinétique

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

E_{cin} = Énergie cinétique [J]
m = Masse [kg]
v = vitesse [m·s^{-1}]

Définition du théorème de l'énergie cinétique

$$\sum W_{AB} = E_{cin_B} - E_{cin_A}$$

$\sum W_{AB}$ = Somme des travaux de force [J]
E_{cin_x} = Énergie cinétique d'une masse au point x [J]

Énergie potentielle

$$E_{pot_G} = m_o \cdot g \cdot h$$
$$E_{pot_G} = -G \cdot m_p \cdot m_o \cdot \frac{1}{\Delta h}$$
$$\Delta E_{pot_{AB}} = E_{pot_B} - E_{pot_A}$$

E_{pot_G} = Énergie potentielle de gravitation [J]
m_o = Masse de l'objet [kg]
m_p = Masse de la planète [kg]
Δh = Différence d'altitude [m]

Puissance

Expression de l'énergie avec une notion de temps, connu sous l'unité Watt

$$P = \frac{E}{t} = \frac{F \cdot d}{t} = F \cdot v$$

P = Puissance [J·s^{-1}] ou [W]

E = Énergie [J]

t = Temps [s]

F = Force [N]

d = Distance [m]

v = Vitesse [m·s^{-1}]

Rendement et perte

Définition du rendement

$$\eta = \frac{E_{utile}}{E_{fournie}} = \frac{P_{utile}}{P_{fournie}}$$

η = Rendement

E = Énergie [J]

P = Puissance [W]

Définition de perte

$$\Delta_E = E_{fournie} - E_{utile}$$
$$\Delta_P = P_{fournie} - P_{utile}$$

E = Énergie [J]

P = Puissance [W]

Annexe : Justification de l'énergie potentielle

Formule de la gravitation universelle

$$F(h) = G \cdot \frac{m_p \cdot m_o}{h^2}$$

Intégrations

$$E_{pot_G} = \int F(h)\, dh$$

$$\Delta E_{pot_{AB}} = \int_A^B F(h)\, dh$$

Ondes sonores et réponses auditives

Intensité et décibel

L'intensité exprimée en [W·m^{-2}] est une unité dite extensive, il est dès lors possible d'additionner et multiplier plusieurs intensités entre elles. Au contraire, le décibel est une unité dite intensive, par conséquent, il n'est pas possible d'additionner ni de multiplier plusieurs valeurs de cette unité.

$$\beta = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{n \cdot I}{I_0}\right)$$

$$I = 10^{\frac{\beta}{10}} \cdot I_0$$

$$\Delta\beta = 10 \cdot \log_{10}(n)$$

β = Décibel des sources [db]

n = Nombre de source(s)

I = Intensité d'une source [W·m^{-2}]

I_0 = Seuil d'audition (10^{-12}) [W·m^{-2}]

Rapport des intensités

Le rapport des intensités exprime la différence de décibels entre deux sources.

$$\Delta\beta = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

$\Delta\beta$ = Différence entre les sources I_1 et I_2 [db]

I_n = Intensité d'une source [W·m^{-2}]

Relation avec la pression

$$I = \frac{\Delta p^2}{2 \cdot \rho \cdot v_{son\ milieu}}$$

Δp = Amplitude (différence) de pression [Pa]

ρ = Masse volumique du milieu [kg·m^{-3}]

v_{son} = Vitesse du son dans un milieu m [m·s^{-1}]

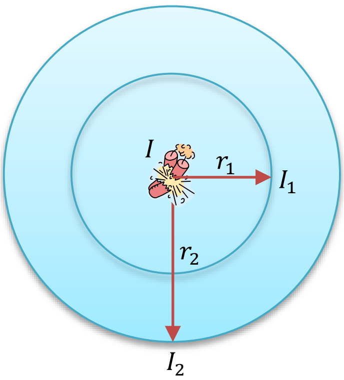
Principe de dispersion

Définition de la dispersion du son sans amortissement. Soit une source I est perceptible à la distance r_1 à l'intensité I_1 et est perceptible à la distance r_2 à l'intensité I_2.

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{{r_1}^2}{{r_2}^2}$$

I_n = Intensité de I perçue à r_n [W·m^{-2}]

r_n = Distance entre les sources I et I_n [m]



Transfert de chaleur

Température et chaleur

La chaleur est la quantité d'énergie contenue dans un corps, tandis que la température est l'agitation moléculaire à un point précis. La chaleur peut augmenter sans pour autant augmenter la température (un glaçon qui passe de l'état solide à liquide reste à 0°C mais demande beaucoup de chaleur, d'énergie). De même, une étincelle à plusieurs centaines de degrés Celsius (température) ne brûle pas la peau, car il s'agit d'une poussière extrêmement petite ne transportant que très peu d'énergie (chaleur).

Équilibre d'énergie

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

ΔQ = Différence de chaleur [J]
m = Masse [kg]
c = Capacité thermique massique [$J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$]
ΔT = Différence de température [°C]

Équilibre de puissance

$$P = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{t}$$

P = Puissance [$J \cdot s^{-1}$] ou [W]
t = Temps [s]

Équilibre de température

Cette formule suppose que les corps cédant et gagnant l'énergie peuvent physiquement s'unifier. Ainsi, leur température sera équivalente.

$$\sum \textit{énergie cédée} = \sum \textit{énergie gagnée}$$

Énergie [J]

Changement d'état

$$\Delta Q = m \cdot [c_{glace}(0 - T_1) + L_{fusion} + c_{eau}(T_2 - 0)]$$

T_1 = Température initiale [°C]
T_2 = Température finale [°C]

Conversion d'unités de volume en poids

Il est possible de convertir un volume en poids grâce à la masse volumique du composant.

$$l \cdot \rho = v \cdot \rho = m$$

l = Litre [l]
v = Volume [dm^{-3}]
ρ = Masse volumique [$kg \cdot dm^{-3}$]
m = Masse [kg]