الفصل الأول: مراجعة مبادئ الديناميك الحرارية
Rappel des principes de la thermodynamique

I مقدمة:

La thermodynamique, dont le nom associe les 2 mots grecs « thermon" et " dynamis" (chaleur et puissance), est née au XIX siècle du désir - et de la nécessité technique - d'analyser « la puissance motrice du feux»: il s'agissait de rechercher les conditions optimales dans lesquelles la chaleur fournie par une chaudière peut être transformée en travail mécanique par une «machine thermique" telle qu'une machine à vapeur.

الترموديناميك (الديناميك الحرارية) هي "علم الحرارة" و درجة الحرارة.

La Thermodynamique est la «science de la chaleur» et de la température. Elle a pour objet tous les phénomènes ayant un lien avec les notions de «chaud» et de «froid».

إختراع الآلة البخارية (Machine à vapeur) James Watt 1770
أدى في بداية القرن 19 إلى الدراسة العميقة لطبيعة العلاقة بين الظواهر الحرارية و الميكانيكية (on est amené à préciser les conditions de transformation de la chaleur en travail)

من هذه الدراسات تم إنشاء علم جديد هو ما يسمى علم:
الديناميك الحرارية (الترموديناميك) Thermodynamique

وبصفة عامة هدف الديناميك الحرارية هو دراسة العلاقة الموجودة بين الظواهر الحرارية و الظواهر الأخرى مثل: الميكانيك، الكهروفيزيائية، الكيميائية، إلخ ...

La thermodynamique a donc pour objet principal l'étude des relations entre la mécanique et la chaleur.

مثلا: في الظواهر الكهربائية تظهر الحرارة على شكل ما يسمى
مفعول جول l'effet Joule الضوء يتحول إلى حرارة
(lorsqu'elle est absorbée par un écran)
والعكس صحيح: الحرارة ← الضوء
جسم جد ساخن ← يصبح مشع
1 corps très chaud devient incandescent, il ~~est~~ émet de la chaleur. متوهج

في بعض التفاعلات الكيميائية تكون مصحوبة بتوليد وامتصاص حراري Thermochimie وهي قسم من الديناميك الحرارية وهي تدرس كل الظواهر الفيزيائية والكيميائية أين تظهر الحرارة..

Survol historique نبذة تاريخية:

الديناميك الحرارية تطورت خلال القرن 19 وفق طريقين:
التقريب الماكروسكوبي (Approche macroscopique) الأول ثم
التقريب الإحصائي Approche statistique.

① Approche macroscopique: الديناميك الحرارية الكلاسيكية.

- الديناميك الحرارية تاريخيا مرتبطة باختراع
(Denis Papin [1647 - 1714])
وتطوير [James Watt (1736-1819)] الآلات البخارية
les machines à vapeur.

La thermodynamique est donc, au départ, l'étude des machines thermiques; c'est à dire l'étude des relations entre phénomènes mécaniques (Travail) et phénomènes thermiques (chaleur). ②

- Sadi Carnot [1796-1832] : 1824 يضع أول نظريات الديناميكا الحرارية بكتابه بتصوراته حول القوة المحركة للنار.

Signe l'acte de naissance de la première théorie thermodynamique en écrivant Réflexions sur la puissance motrice du feu sur les machines.

ولكن كتاباته بقيت مجهولة حتى اكتشفت من جديد من طرف
Émile Clapeyron (1799-1864) ✓ 1834

- 1843 : بيّن الكاهرو James Joule [1818-1889] montre l'équivalence entre le travail et la chaleur. بين العمل و الحرارة

- 1845 Robert Von Mayer [1814-1878] ذكر لأول مرة بين الكاهرو بين العمل و الحرارة ويعطي ينص المبدأ الأول للديناميكا الحرارية.

énonce le premier principe.

- 1850/1854 : William Thomson = Lord Kelvin (1824-1907) et Rudolf Clausius (1822-1888) يعلنان بصفة مستقلة المبدأ الثاني

énoncent indépendamment le deuxième Principe.

- 1876 : Williams Gibbs (1839-1903) établit ce qui deviendra les bases de la physico-chimie (Thermodynamique chimique). Hermann Von Helmoltz (1821-1894) et Pierre Duhem (1861-1916) contribueront à des compléments importants.

② Approche microscopique : Thermodynamique Statistique
التقريب الميكروسكوبي الديناميك الحرارية الإحصائية

هدف الديناميك الحرارية الإحصائية هو إيجاد الخواص الماكروسكوبية لأي جسام (لأي نظمة) وهذا انطلاقا من دراسة إحصائية لسلوك مكوناتها الأساسية (الذرات، الجزيئات، الشوارد)

But : retrouver les propriétés macroscopiques des corps à partir d'une analyse statistique du comportement de leurs constituants fondamentaux (atomes, molécules, ions, —).

1860 - 1870 : description quantitative du chaos moléculaire par R. Clausius et James Clerk Maxwell (1831 - 1879) et ce, avant la preuve de l'existence des atomes ou des molécules !

1875 et après : Ludwing Boltzmann (1844-1906) introduit la notion d'entropie statistique
مفهوم القصور الإحصائي.

تحليل (تبرير) التقريب الإحصائي l'approche statistique

الأنظمة التي سوف ندرسها في الديناميك الحرارية تحتوي على عدد كبير من مكونات العنصرية (N).
مثلا $1\,mm^3$ من الهواء تحتوي على $N = 10^{20}$ جزيئة
واذا اعتبرنا كل جزيئة كنقطة مادية تملك درجة حرية 6 وسيط (6 parametres) 3 للموضعة + 3 للسرعة ←
$6N$ وسيط لا يمكن التعامل معها وهذا مستحيل ←

⇐ ضرورة استعمال دارة تحليلية احصائية للوصف الميكروسكوبي للمادة.

→ il y a donc nécessité d'utiliser une analyse statistique pour une ~~description~~ description microscopique de la matière.

وإذن لكي نستخلص الخواص الماكروسكوبية للظواهر الفيزيائية
⇐ يكفي ان ندرس الخصائص الميكروسكوبية للظاهرة.
في الحقيقة توجد حدود بين الفيزياء الميكروسكوبية والماكروسكوبية
الحدود يكون عموما بواسطة عدد Avogadro.

$$N_A = 6,02 . 10^{23}$$

هذا العدد الهائل هو السبب في صعوبة إكتشاف التكوين الميكروسكوبي للمادة لأن المقادير الماكروسكوبية تحتوي على عدد N_A من المقادير الميكروسكوبية.

- Phénomènes et grandeurs macroscopiques:

pour lesquels les unités adaptés sont MKSM

* mètre, centimètre, mm pour les longueurs
* Joule → pour les énergies
et mJ.

- // // microscopiques

$1 eV = 1,6 . 10^{-19} J$ pour les énergies
$1 A^\circ = 10^{-10} m$ " les longueurs

(se situant au niveau des atomes et molécules)

Et la physique microscopique est la base pour l'explication des phénomènes macroscopiques.

وأن كل القوانين الماكروسكوبية نستطيع ان نحصل عليها بواسطة تفسيرات ميكروسكوبية ← الفيزياء الإحصائية
physique statistique

مثال: القوة المؤثرة بين e^- والبروتون e^+ على مستوى الذرة الهيدروجينية هي نفسها التي اكتشفت من طرف اسحاق نيوتن على المستوى الماكروسكوبي.

* المفردات المستعملة في الديناميك الحرارية:

* الجملة (النظام): système

هي كل جسم أو مجموعة أجسام ذات كتلة (طاقة) ومحدودة في الفضاء، كل ما هو خارج الجملة ⇐ الوسط الخارجي
Milieu extérieur

الحاجز (الجانب) الجدار Paroi الذي يفصل الجملة والوسط الخارجي يكون أحيانا خياليا أو حاجز حقيقي ⇐
إذا كانت للجملة كتلة ثابتة وتركيبة كيميائية صامدة
⇐ نقول أن الجوانب غير نافذة للمادة
les parois sont imperméables ⇐ جملة مغلقة
système fermé

في حالة العكس système ouvert
جملة مفتوحة.

الجملة يمكن أن تكون ذات مكون واحد أو عدة مكونات
(1 seul constituant, 1 seul espèce chimique)
ou à plusieurs constituants

نقول عن جملة (نظام) أنها متجانسة أو مكونة من طور واحد
(homogène ou une seule phase)
إذا كانت كل نقاط الجملة لها نفس التركيبة الكيميائية والخواص الفيزيائية
(solution de sucre, mélange homogène de plusieurs gaz, ...)

* حالة التوازن: Etat d'équilibre

إذا لم يقع أي تغيير داخل الجملة (النظام) مع مرور الزمن، نقول أنها في حالة توازن Etat d'équilibre

L'équilibre thermique au sein d'un système exige que toutes les parties soient à la même température, à moins que différentes parties du système ne soient séparées par des parois parfaitement adiabatiques.

- التحويلات الديناميكية الحرارية
les transformations thermodynamiques

لما التوازن يصبح غير محقق نقول أن الجملة تخضع لتحويلة (Transformation) مع مرور الزمن، مثلا في حالة عدم التوازن الميكانيكي

$(\sum \vec{F} \neq \vec{0}) \Leftarrow$ حركة $\Leftarrow$ نتكلم عن تبادل العمل

Echange de travail

بين الجملة (النظام) و الوسط الخارجي

Un échange de travail entre le système et le milieu extérieur.

في حالة عدم التوازن الحراري $\Leftarrow$ يكون هناك تبادل حراري بين الجملة و الوسط الخارجي.

Echange de chaleur

بعض التحويلات:

① التحويلة المكظومة

Transformation adiabatique

$Q = 0$ تك

خلالها لا يكون تبادل للحرارة مع الوسط الخارجي.

② التحويلة ذات حجم ثابت

Transformation isochore

$V = cte$ تك

الجوانب تبقى كما هي، لا تتمدد و لا تتقلص، أي لا يوجد تبادل عمل ولكن ممكن ان يكون هناك تبادل حراري.

③ التحويلة متشاورة الضغط

Transformation isobare

الضغط يبقى ثابت

- التحويلة متساوية درجة الحرارة Transformation isotherme
خلالها تبقى درجة الحرارة ثابتة.

- التحويلات العكوسة والغير عكوسة Transformation réversible et irréversible

نقول عن تحويلة انها عكوسة (انفكاسية) اذا كان خلال التحويلة في كل نقطة من نقاطها نستطيع ان نصف الجملة (النظام) بحالة (Etat) تتقارب تماما مع حالة توازن Etat d'équilibre
إن التحويلة هي عبارة عن متتالية من حالات توازن متقاربة وتطورها عموما يكون ببطء.

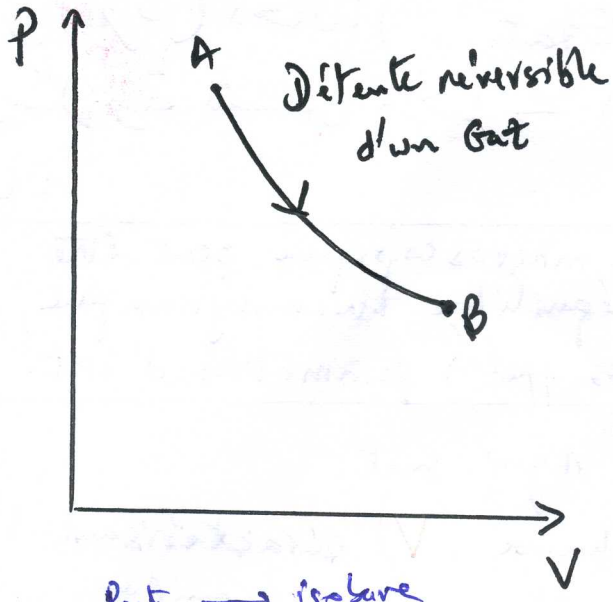
T. réversible c'est une transformation qui se fait par une succession d'états d'équilibres infiniment voisins.

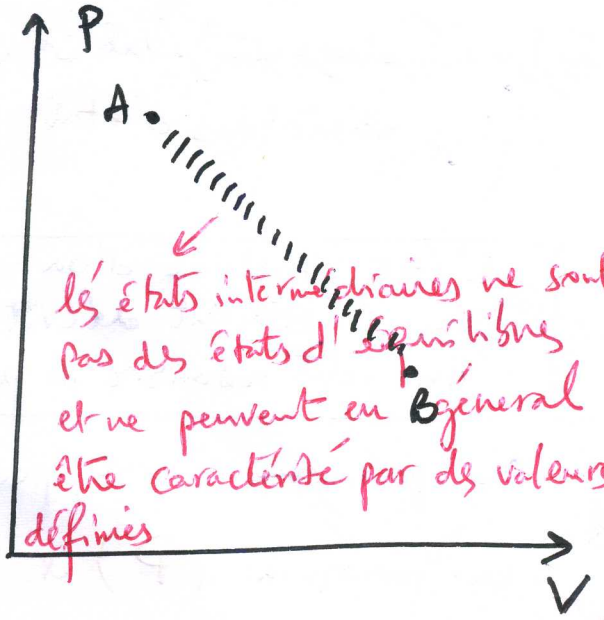
T irréversible dans le cas contraire.

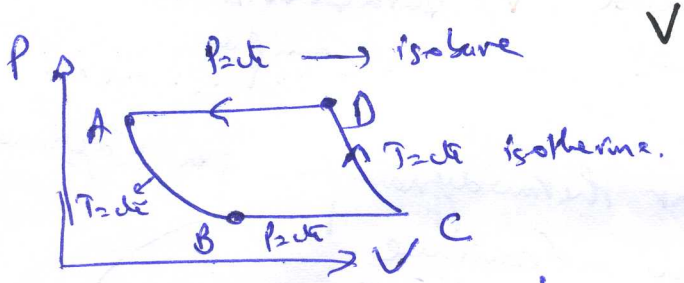
Quand 1 système évolue en fonction du temps, nous disons que la transformation qu'il subit est réversible lorsque, à chaque instant de son évolution, l'état momentané du système peut être défini par des valeurs bien déterminées des variables macroscopiques, ces valeurs restent infiniment voisines des valeurs qui correspondent à 1 état d'équilibre du système.

كل التحويلات الحقيقية تكون غير عكوسة

- التحويلات العكوسة لا توجد في الطبيعة ولكن التحويلات الحقيقية البطيئة والتي تحتوي على أفعال تبديدية (مبددة) للحرارة ضئيلة تؤول إلى تحويلات عكوسة
التحويلات الإنفكاسية هي متتالية لها أهمية كبيرة في دراسة الديناميك الحرارية.







الدورة : cycle

إذا بدأت جملة من حالة وحدت تأثير عدة تحويلات (transformations) ترجع إلى نفس الحالة الأولى بتتابع نقول أنه تمت دورة من التحويلات.
1 cycle de transformations.

منبع الحرارة : Source de chaleur

التبادل الحراري بين الجملة (النظام) والوسط الخارجي يكون ممكنا تحت شروط منها أن الجوانب الفاصلة للجملة تكون نافذة للحرارة وأن الحرارة النوعية للوسط الخارجي نعتبرها مهمة كبيرة جدا بالنسبة للنظام بحيث درجة الحرارة الوسط الخارجي لا تتغير T_0.
← نقول في هذه الحالة أن الوسط الخارجي هو منبع للحرارة
source de chaleur.

- حالة الجملة (النظام) ومتغيرات الحالة
L'état du système et variables d'états

تتميز حالة الجملة (النظام) بواسطة خواص ماكروسكوبية تخص الجملة ويكون قياسها ممكن تسمى المتغيرات الترموديناميكية variables thermodynamiques
اثبتت التجربة أن كل نظام ديناميكي حراري

يمتاز (يعرف) بحالة (Etat) تتكون من متغيرات ديناميكية حرارية ماكروسكوبية تسمى متغيرات الحالة les variables d'état منها:

> L'état physique d'un système macroscopique peut être complètement décrit, à l'équilibre thermodynamique, par un petit nombre de paramètres appelés paramètres d'état.

ces paramètres d'état, pour nous gaz sont:

- la pression (P) et le volume (V) caractérisant l'état mécanique
  الضغط — الحجم
- la température (T), grandeur thermodynamique qui n'apparaît pas en mécanique.
  درجة الحرارة — مقدار ديناميكا حراريا لا يظهر في الميكانيك.

Mais c'est la Thermodynamique statistique qui précise et définit les concepts thermodynamiques macroscopiques fondamentaux comme:

- la température (T)
- l'énergie interne (U) (forme d'énergie aussi qu'il faudra définir)
- la Chaleur (Q) ⟷ l'entropie (S).

De plus, seule la thermodynamique statistique prédit les capacités thermiques des gaz et des solides

Equation d'état: معادلة الحالة التي تجمع بينها من معادلة $PV = nRT$ أو $f(P,V,T,n) = 0$

(II) العمل والطاقة : Travail et Energie

في الفيزياء يوجد مقداريين جد مهمين هما الطاقة "l'énergie" و العمل Travail، ظهرت هذه المقادير لأول المرة في الميكانيك، العمل هو مقدار سلمي

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{x}$$

- الانتقال في نفس إتجاه القوة ← عمل موجب ← عمل محرك.
- " في عكس " " ← " سالب ← " مقاوم.

الجملة (النظام) التي تكون قادرة على العمل نقول عنها أنها تمتلك طاقة.

L'énergie : Capacité de travail, le mot énergie provient du mot Grec « energeia » qui veut dire « force en action ».

توجد هناك عدة أشكال للطاقة مثلا في الجمل الميكانيكية

الجسم المتحرك له طاقة حركية (Energie Cinétique) $E_c = \frac{1}{2} m v^2$

وسيستطيع أن يملك طاقة كامنة (Energie potentielle) تتعلق بوضعيته في الفضاء.

من بين القوانين المهمة في الميكانيك : مبدأ انحفاظ الطاقة الميكانيكية

Principe de Conservation de l'énergie mécanique

$$E_m = E_c + E_p = cte$$

E_m ← الطاقة الميكانيكية

E_c ← الطاقة الحركية

E_p ← الطاقة الكامنة

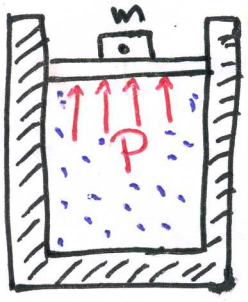
* Dans les phénomènes purement mécaniques (sans frottements, sans production ou dissipation de chaleur, l'énergie mécanique se conserve).

في الحقيقة هذا القانون لا يتحقق إلا في الحالات المثالية لأنه في الواقع الظواهر الميكانيكية تكون دوما مرفوقة بانتشار حراري، سوف نرى أن الديناميك الحرارية تعمم قانون إنحفاظ الطاقة إلى قانون يسمح لنا بتحويل الأشكال الميكانيكية إلى حرارة والعكس (المبدأ الأول للديناميك الحرارية)

Premier principe de la thermodynamique

: Travail des Forces de Pression عمل قوى الضغط

Nous aurons à évaluer fréquement un travail mécanique produit par des forces de pression qu'un Fluide exerce sur les parois mobiles qui le séparent du milieu extérieur.



ليكن لدينا غاز مغلق داخل إناء مغطى بمكبس (Piston) متحرك نضع فوقه كتلة m، فحالة توازن المكبس

القوى الخارجية المؤثرة على الغاز من طرف المكبس

[ثقل المكبس + الكتلة m + الضغط الجوي Pression atmosphérique

تعادلها القوة الضغطية التي يطبقها الغاز على الوجه الداخلي للمكبس
اذا كان S يمثل سطح المكبس، القوة الضغطية هي:

$F = PS$ ، P يمثل ضغط الغاز

اذا حدث انتقال نحو الأسفل للمكبس يقدر بـ dx

حجم الغاز يزداد بالمقدار: $dV = S\,dx$

والغاز يقوم بعمل ضد الوسط الخارجي يقدر:

$d\mathcal{E} = F\,dx.$

$= PS\,dx. \Rightarrow$ $\boxed{d\mathcal{E} = P\,dV}$

العمل الكلي للغاز من أجل انتقال منتظم من وضعية A إلى وضعية B هو

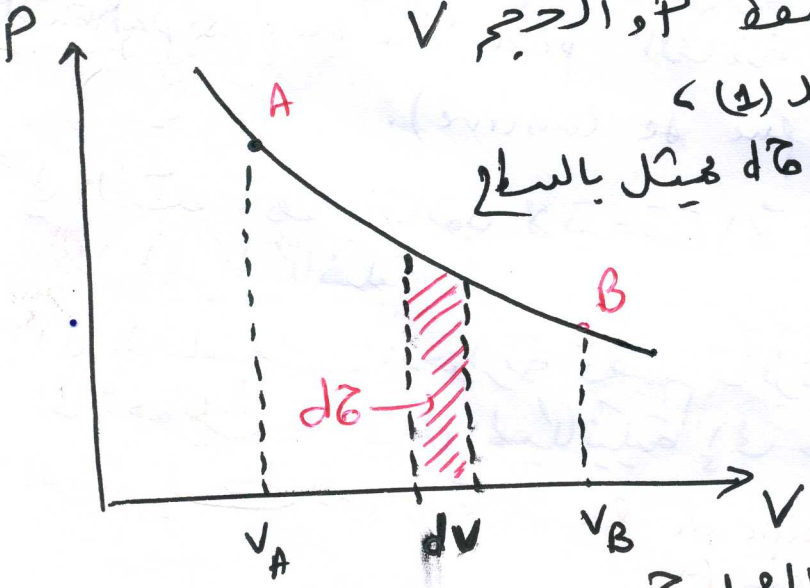
إذن $\mathcal{E} = \int d\mathcal{E} = \int PV$

التكامل محسوب من الحجم الإبتدائي إلى الحجم النهائي للغاز ويمكن حسابه
اذا علمت العلاقة بين الضغط P والحجم V

هذه العلاقة يمكن تمثيلها على الشكل (1)

في هذه الحالة العمل العنصري $d\mathcal{E}$ يمثل بالسطح
المؤشر عليه والعمل الكلي:

$$\mathcal{E} = \int_A^B P\,dV.$$



الشكل (1)

لما تكون حركة المكبس بطيئة جدا. يتحول العمل $\mathcal{E}$ إلى الطاقة الحركية، العمل
للقوى الضغطية للغاز ضد الوسط الخارجي يساوي ويعاكس العمل
W للقوى الخارجية المؤثرة على الغاز إذن:

$$W = -\mathcal{E} = -\int_A^B P\,dV$$

Rappel des notions fondamentales de la chaleur

بعض المفاهيم الأساسية للحرارة

إن دراسة الظواهر الحرارية أدت بالفيزيائيين إلى تدقيق مفهومين مهمين جدًا وأساسيين ومختلفين عن بعضهما البعض وهما:

Température et quantité de chaleur

درجة الحرارة وكمية الحرارة

(أ) Température : درجة الحرارة

La température "caractérise" l'état d'un corps. Elle a son origine dans nos sensations : un corps nous paraît, au toucher, froid, tiédi ou chaud.

درجة الحرارة تميز حالة الجسم، عند لمس الأجسام سنستطيع أن نميز الفرق بينها ونقول هذا الجسم ساخن والآخر بارد.

عند إلتماس جسم ساخن بآخر بارد فإننا نلاحظ أن الجسم الساخن يبرد قليلا والبارد يسخن قليلا وهذه التغيرات تتوقف بعد مدة زمنية ← نقول أن الجسمين قد توصلا إلى:

حالة توازن حراري Etat d'équilibre thermique

وأن الجسمين لهما نفس درجة الحرارة.

مبدأ التوازن الحراري: المبدأ رقم 0 (الصفري) للديناميك الحراري

Principe de l'équilibre thermique.

"Deux corps mis en contact prolongé se mettent en équilibre thermique"

«وضع جسمين في حالة تماس مستمر يؤدي إلى حدوث توازن حراري فيما بينهما»

(ب) كمية الحرارة : Quantité de chaleur

لوضع جسمين في حالة تماس حراري ← بعد مدة زمنية يحدث التوازن الحراري ← التجربة تبين أن

1	2
T_1	T_2

(13) درجة حرارة التوازن الحراري

تتعلق بـ :

- تركيبة أو جسام - الكتلة و الدرجة الحرارة الإبتدائية للجسمين

وجبت :

$$m_1 c_1 (T_f - T_1) + m_2 c_2 (T_F - T_2) = 0.$$

$$\sum_i m_i c_i (T_f - T_i) = 0$$

c_i : الحرارة النوعية للجسم i chaleur spécifique

* - الجسمين من نفس المادة و لهما نفس الكتلة :

$m_1 = m_2$ et $c_1 = c_2 \Rightarrow 2 T_f = T_1 + T_2$

$\Rightarrow T_F = \frac{T_1 + T_2}{2}$ on bien $\sum_i (T_F - T_i) = 0$

si les 02 corps sont de même nature et ont même masse, nous constatons que la température finale d'équilibre thermique est sensiblement égale à la moyenne arithétique des températures initiales.

* من نفس المادة و من كتلتين مختلفتين :

$c_1 = c_2 \Rightarrow m_1 (T_f - T_1) + m_2 (T_f - T_2) = 0.$

$\Rightarrow \frac{T_1 - T_f}{T_f - T_2} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow$

$$T_f = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2}$$

$$T_f = \frac{\sum_i m_i T_i}{\sum_i m_i}$$

elle ressemble à la relation permettant de calculer le centre de gravité d'un système de masses réparties sur une droite.

* من طبيعتين مختلفتين و لهما نفس الكتلة :

$m_1 = m_2 \Rightarrow c_1 (T_f - T_1) + c_2 (T_f - T_2) = 0$

$$\sum_i c_i (T_f - T_i) = 0$$

$$T_F = \frac{\sum_i c_i T_i}{\sum_i c_i}$$

c_i : الحرارة النوعية للجسم i

$$T_F = \frac{c_1 T_1 + c_2 T_2}{c_1 + c_2}$$

- الحالة العامة: n طبيعتين مختلفتين وكتلتين مختلفتين:

$$\frac{T_1 - T_F}{T_F - T_2} = \frac{m_2 c_2}{m_1 c_1} \Rightarrow T_F = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}$$

on bien $\boxed{T_F = \frac{\sum_i m_i c_i T_i}{\sum_i m_i c_i}}$

c_i : الحرارة النوعية — chaleur spécifique

$m_i c_i$: السعة الحرارية — Capacité calorifique

نسمي كمية الحرارة المتبادلة لجسم غير درجة حرارته من T_i إلى T_f المقدار:

$$\boxed{Q_i = m_i c_i (T_F - T_i)}$$

← la quantité de chaleur échangée par le corps i avec les autres corps en contact avec lui

* si $T_f > T_i$ ⇒ le corps de masse m_i s'est échauffé au contact des autres → il a reçu la quantité de chaleur $Q_i > 0$.

* si $T_f < T_i$ ⇒ le corps s'est refroidi au contact des autres → il a cédé la quantité de chaleur $- Q_i = |Q_i|$

$$\boxed{\sum_i Q_i = 0}$$

القانون السابق يكتب بالشكل
إنحفاظ لكميات الحرارة
خلال الظواهر الحرارية يوجد هناك المتبادلة بين الأجسام.

In the phénomènes d'échange de chaleur entre les corps, la quantité de chaleur totale se conserve.
Dans l'exemple des 02 corps, la quantité de chaleur cédée par le corps chaud est égale à la quantité de chaleur reçue par le corps froid.

لقد اعتبرنا أن الحرارة النوعية c_i لجسم هي ثابت فيزيائي، لكن في الحقيقة هي دالة لدرجة الحرارة $c_i(T_i)$

ولهذا نكتب كمية الحرارة Q_i على الشكل:

$$Q_i = m_i \int_{t_i}^{t_f} c_i(t)\, dt$$

avec $c_i(t) = \frac{1}{m_i} \frac{dQ_i}{dt}$.