

Titre : Second principe de la thermodynamique

Présentée par : Xavier Dumoulin

Rapport écrit par : Rémy Bonnemort

Correcteur : Erwan Allys

Date : 04/06/2020

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Tout-en-un physique PCSI	B.Salamito	Dunod	2013
https://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/claude_saintblanquet/synophys/42tropi/42tropi.htm			

Plan détaillé

Niveau : CPGE

Prérequis : Premier Principe, Gaz parfait, Transformation réversible/irréversible

Plan :

I/ Second principe et entropie

1. Enoncé du second principe

2. Interprétation physique de l'entropie

II/ Bilan d'entropie : Détente de Joule-Gay Lussac

III/ Vers les machines thermiques : machine monotherme

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Prérequis : Premier principe, Gaz parfait, Transformation réversible/irréversible

Intro : Vu auparavant : leçon sur le premier principe (conservation de l'énergie).

Pb : ne permet pas d'expliquer certains phénomènes physiques que l'on observe : exemple freinage d'une voiture qui crée du transfert thermique mais la réciproque n'est pas observé.

Nécessité d'un second principe de la thermodynamique.

I.1) Enoncé du second principe

Enoncé : a tout système Σ fermé, on peut associer une fonction d'état extensive appelée *entropie* notée S . Lorsque le système subit une transformation thermodynamique d'un état initial E_i à un état final E_f , la variation de l'entropie est :

$$\Delta S = S_{ech} + S_{créées} = \frac{Q}{T_s} + S_{créées}$$

T_s est la température de la surface parcourue par le transfert thermique Q .

$S_{créées}$ est nulle pour une transformation réversible et strictement positive pour une transformation irréversible.

Slide : Second principe pour un système en contact avec différentes sources de chaleurs.

L'entropie est extensive et additive.

Par analyse dimensionnelle (avec l'expression de l'entropie d'échange) S s'exprime en J/K.

L'entropie d'un système isolé ne peut qu'augmenter car $Q = 0$, donc $\Delta S = S_{créées} \geq 0$

L'état d'équilibre d'un système isolé est celui dans lequel l'entropie est maximale.

Transition : Pour l'instant on a dit avec ce principe que S n'était qu'une fonction d'état. Cela ne permet pas de comprendre ce que représente physiquement l'entropie (notamment à l'échelle microscopique).

I.2) Interprétation physique de l'entropie

En 1877, Boltzmann fait un lien entre l'entropie et le nombre de configurations

Système : une cuve séparée en deux contenant quatre particules de gaz.

- Si les quatre particules sont dans la même moitié de la cuve alors on a une unique configuration donc le nombre de configuration vaut 1
- Si on regarde le cas où il y a 3 particules d'un côté et 1 dans l'autre alors on a 4 configurations possibles (On a d'un côté soit : 123, 124, 134, 234)
- Si on regarde le cas où il y a 2 particules dans chaque moitié alors il y a 6 configurations possibles (12,13,14,23,24,34).

La dernière configuration représente la configuration où on a le moins d'informations.

Slide : Entropie de Boltzmann

L'entropie croît avec le nombre de configurations possibles : l'entropie représente le désordre moléculaire.

En vrai, il faudrait considérer beaucoup plus de 4 particules

Transition : retour sur la thermodynamique macroscopique en appliquant le second principe. On a dit que ce principe allait permettre de prédire l'évolution d'un système. Comment l'appliquer ?

II/ Bilan d'entropie

Vidéo : détente de Joule-Gay-Lussac <https://www.youtube.com/watch?v=nN6ndchGdvM>

Il paraît peu probable que le gaz une fois contenu dans toute l'enceinte repasse uniquement dans une unique moitié de l'enceinte.

Slide : Détente de Joule-Gay-Lussac : hypothèses et notation

Système : gaz parfait contenu dans l'enceinte

Transformation entre le moment où le gaz est contenu uniquement dans la moitié gauche (instant initial) et état final (gaz dans toute l'enceinte).

Application du premier principe : variation de l'énergie interne est nulle car transformation adiabatique (donc transfert thermique nul) et système isolé

$$\Delta U = 0$$

Application des lois de Joule : températures initiale et finale sont égales.

$$C_p \Delta T = 0 \Rightarrow T_f = T_i$$

Application du second principe : transformation adiabatique donc la variation d'entropie vaut l'entropie créée.

$$\Delta S = S_{\text{créée}} \geq 0$$

On admet l'expression de l'entropie pour un gaz parfait.

$$S = \frac{nR}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + nR \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) + S_0$$

Développement du calcul de la variation d'entropie (voir le développement du calcul dans le Dunod)

$$\Delta S = nR \ln\left(1 + \frac{V_1}{V_0}\right) > 0$$

Entropie créée non nulle donc la détente de Joule-Gay-Lussac est bien une transformation irréversible ce qui permet d'expliquer que le gaz ne peut pas revenir dans une unique moitié de l'enceinte.

Transition : Historiquement le second principe a connu son essor lors de la révolution industrielle et donc application aux machines thermiques.

III/ Machine monotherme

Slide : définition de machine thermique avec représentation schématique (Cf Dunod PCSI).

Système : machine thermique (même si en fait c'est le fluide caloporteur)

On regarde une transformation sur un cycle, donc les variations d'énergie interne et d'entropie sont nulles car ce sont des fonctions d'état.

Application du premier principe : $0 = W + Q$, donc $W = -Q$

Application du second principe : $\frac{Q}{T_0} + S_c = 0$

Or, $S_c \geq 0$, donc $\frac{Q}{T_0} = -S_c$, donc $Q = -T_0 S_c \leq 0$

Ainsi, $W \geq 0$ et $Q \leq 0$ pour une machine thermique monotherme.

Ainsi, la machine thermique reçoit du travail et fournit du transfert thermique.

Fonctionnement d'un radiateur.

On peut le voir sous forme : une machine monotherme ne peut pas être un moteur (pour lequel la machine doit fournir du travail). C'est l'énoncé historique du second principe

Conclusion :

On a vu la nécessité de développer la notion de second principe car on ne peut pas tout expliquer grâce au premier principe.

On pourrait aller plus loin dans cette leçon en étudiant les machines thermiques dithermes par l'analyse des réfrigérateurs et des pompes à chaleur.

Questions posées par l'enseignant

Exemple d'un système qui peut s'expliquer uniquement par le premier principe et sans le second.

Exemple du freinage de la voiture

Conservation de l'énergie thermique ?

Non, conservation de l'énergie totale

Si un élève dit « transfert thermique = agitation moléculaire donc on aurait conservation de l'énergie cinétique » ?

Est-ce que l'énergie thermique est que de l'agitation moléculaire ou est-ce que ça peut être autre chose ?

Non il y a une histoire de niveaux

Qu'appelle-t-on E_c en général ?

Energie cinétique macroscopique

Attention : l'agitation thermique n'est pas nécessairement de l'énergie cinétique microscopique.

Oui pour l'énoncé donné

Il n'est pas nécessaire de considérer un système fermé, il faut considérer un flux d'entropie.

Peut-on donner un énoncé pour un système ouvert ?

On peut le réécrire en considérant de base un système fermé.

Ajout d'un qualificatif pour le terme de fonction d'état ? C'est quoi au fait une fonction d'état ?

Fonction qui permet de définir les paramètres du système.

C'est quoi les paramètres du système ?

Pression, température...

Réponse attendue : fonction d'état à l'équilibre afin que pression et température soient bien définies.

Quel est l'intérêt de la première slide (avec plein de transferts thermiques) ?

Pour mettre en évidence la notion de la température de surface

Pourquoi cette notion de température de surface est importante (et pas celle du thermostat...) ?

On considère T_s à cause d'éventuels problèmes d'équilibre ; la température du système n'est peut être pas bien définie.

Grandeur Ω ?

Nombre configuration à l'échelle microscopique

Qu'est-ce qui varie dans l'exemple donnée ?

On regarde quelles particules sont dans quelle moitié de l'enceinte

À quoi correspondent ces différents Ω et comment les définir ?

Il s'agit de notions de microétats en physique statistique.

Qu'est-ce qui est fixé lorsque l'on compte le nombre de microétats ?

Nombre de particules fixées

C'est quoi un macroétat ?

L'état à l'échelle macroscopique : T, P, \dots

L'entropie est liée au désordre ? Pourriez-vous en dire plus ?

A un macroétat donné, cela correspond au manque d'informations sur les microétats.

En fait, on compte des microétats à un macroétat donné.

L'exemple des petites boules est compliqué à détailler sans les notions de microétats et macroétats.

Détente de Joule-Gay-Lussac avec gaz parfait, est-ce toujours le cas ?

Pour le programme, oui mais on peut aussi l'appliquer à d'autres types de gaz

Système considéré : gaz parfait. Est-ce trivial que $W = 0$? Le volume du gaz parfait évolue ?

Le gaz parfait a une pression donnée et il y a du dV , pourquoi il n'y a pas de travail ?

En fait, il faut considérer l'intégralité de l'enceinte : gaz + vide et utiliser l'additivité de l'énergie.

On peut aussi justifier en disant détente dans le vide.

Écriture de $dU = C_p dT = 0$?

Il fallait écrire C_v et pas C_p

C'est quoi la définition de C_v ?

Dérivée partielle de l'énergie interne par rapport à la température à volume constant.

C_v peut-il dépendre de T ? Dans l'équation écrite, est-ce qu'il en dépend ? Si $C_v(T)$ dépend de la température, est-ce que la variation est-elle toujours nulle ? C_v est positif ou négatif ?

Négatif, donc la conclusion n'est pas modifiée

C_v dépend de T pour les gaz parfait. Ainsi donné gaz parfait + $C_v(T)$ alors on caractérise totalement le gaz parfait.

Variation de l'entropie positive à l'aide d'une application numérique ?

Non, en fait c'est positif et on le voit sur la formule littérale.

La valeur de variation d'entropie de 5.76 J/K c'est beaucoup ?

Dans le programme CPGE, on ne demande pas de comparer. C'est difficile à comparer.

Machines thermiques : W et Q sont comptés algébriquement. Ca veut dire quoi si Q est positif ou négatif ?

Q positif alors le système reçoit du transfert thermique

Q négatif alors le système cède du transfert thermique

Pourquoi sur un cycle les variations d'énergie interne et d'entropie sont nulles ?

Energie interne et entropie sont des fonctions d'état à l'équilibre donc elles dépendent uniquement de l'état. Or ici états initial et final sont identiques.

Que pensez-vous d'avoir écrit source sur le schéma ?

Il aurait fallu écrire thermostat et pas source.

Commentaires donnés par l'enseignant

- Le plan peut convenir à la leçon
- C'est dangereux de ne pas se mettre dans le cadre du programme CPGE
- C'est un peu maladroit de dire que le second principe est nécessaire car on manque d'infos avec le premier principe. Le premier principe donne la conservation de l'énergie alors que le second principe donne la condition d'évolution.
- Introduire les notions de microétats et de macroétats (peut-être sans mettre les termes)
- Désordre = manque d'informations
- Il peut être intéressant de bien insister sur les fonctions d'état à l'équilibre (c'est quelque chose de très profond) -> à partir du moment où je considère une transformation entre deux états alors je peux faire un chemin réversible ou irréversible.
- Exemples : pression d'un coup et pression en ajoutant des petites billes avec les mêmes états initial et final.
- Il peut être élégant de montrer la force des transformations fictives sur une transformation qu'on ne peut pas décrire par une transformation réelle.
- Il faut éviter de développer trop les notions en lien avec l'entropie
- Ouverture sur les machines thermiques : faire une présentation générale des machines thermiques dithermes, c'est compliqué (attention à mettre les notions de cycle dans les prérequis dans ce cas)
- Machine monotherme peut être intéressante pour ouvrir sur les machines perpétuelles de première espèce et de seconde espèce.

Partie réservée au correcteur

Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.)

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

Bibliographie conseillée

