

Premier principe : bilans d'énergie

L'objectif de ce chapitre est de décrire les échanges d'énergie d'un système thermodynamique au cours d'une transformation, et, dans la mesure du possible, les relier aux variables d'état du système.

1 Transformations d'un système thermodynamique

1.1 Définition

On appelle **transformation** d'un système thermodynamique son passage d'un état d'équilibre initial I à un nouvel état d'équilibre final F. Au moins une des variables d'état du système varie lors d'une transformation.

En pratique, la transformation est initiée par une modification de l'extérieur du système (au sens défini au chapitre précédent) qui entraîne une modification d'une de ses variables d'état. Le système se trouve alors placé hors d'équilibre et il évolue spontanément vers un nouvel état d'équilibre.

1.2 Vocabulaire de description des transformations

L'état initial du système est toujours connu, et la première des choses à faire lorsque l'on étudie une transformation est généralement de déterminer son état final. Il est souvent utile pour cela de spécifier les caractéristiques de la transformation.

a) Caractéristiques relatives au système : les transformations « iso »

Le préfixe « iso » qualifie toujours une propriété *du système*, qui ne préjuge en rien de ce qu'il se passe à l'extérieur.

Une transformation est dite **iso-quelque chose** quand une grandeur d'état du système est constante tout au long de la transformation.
En particulier, on parle de transformation **isotherme** (température du système constante), **isobare** (pression dans le système constante) ou **isochore** (volume du système constant).

Dans la suite du cours, on parlera également de transformation isoénergétique (iso-énergie interne), isenthalpique (iso-enthalpie) ou encore isentropique (iso-entropie).

Exemple de transformation isochore :

Espace 1

Exemple de transformation isobare :

Espace 2

b) Caractéristiques relatives à l'extérieur : les transformations « mono »

Le préfixe « mono » qualifie toujours une propriété *de l'extérieur*, qui ne préjuge en rien de ce qu'il se passe dans le système.

Une transformation est dite **mono-quelque chose** quand un paramètre extérieur est constant tout au long de la transformation.

En particulier, on parle de transformation **monobare** (pression exercée par l'extérieur sur le système constante) ou **monotherme** (température extérieure constante).

Exemple de transformation monobare :

Espace 3

Comme le système est par hypothèse en équilibre avec l'extérieur à l'état initial et à l'état final de la transformation, alors

Espace 4

L'hypothèse sur les autres actions mécaniques est vérifiée dans la quasi-totalité des cas que nous rencontrerons.

Si la paroi du système permet les transferts thermiques,
alors une transformation isotherme est forcément monotherme.

Si la paroi du système peut se déformer, alors une transformation isobare est forcément monobare.

Attention, la réciproque n'a aucune raison d'être vraie.

c) Des transformations modèles

Pour des raisons que nous comprendrons par la suite, il est souvent très fructueux d'utiliser des transformations modèles, idéalisées mais permettant de calculer les grandeurs pertinentes de façon beaucoup plus simple qu'à partir de la transformation réelle.

Une transformation est dite **quasi-statique** lorsqu'elle est suffisamment lente pour que le système soit à tout moment en équilibre thermique et mécanique avec l'extérieur.

Une transformation quasi-statique est une transformation modèle, puisqu'en toute rigueur elle ne peut être qu'infiniment lente. Dans la pratique, il y a toujours des inhomogénéités au sein du système, qui n'est donc pas à l'équilibre. L'intérêt d'une telle modélisation est que toutes les variables d'état, non seulement extensives mais aussi intensives, sont définies et connues (ou au moins potentiellement connues) tout au long de la transformation, ce qui n'est pas le cas lorsque le système est hors d'équilibre. Modéliser une transformation réelle par une transformation quasi-statique est donc très intéressant du point de vue des calculs.

Une transformation est dite **infinitésimale** lorsque les états d'équilibre initial et final sont infiniment proches.

Il s'agit d'une modélisation que nous n'utiliserons pas beaucoup cette année mais dont l'intérêt apparaîtra dans le cours de thermodynamique de PT. Au contraire, une transformation qui n'est pas infinitésimale est qualifiée de **transformation finie** ou transformation macroscopique, même si ce dernier terme n'est pas le mieux choisi (le qualificatif se rapporte généralement au système).

Remarque : Les deux notions sont liées, puisqu'une transformation quasi-statique peut s'interpréter comme une succession de transformations infinitésimales.

1.3 Influence du choix du système

Une même transformation d'un même dispositif a des caractéristiques différentes selon le système considéré.

Ce n'est pas du tout contradictoire avec le fait que l'état initial et final du dispositif, imposés « par la physique », ne dépendent bien sûr pas du choix du système, qui est arbitraire et relève de la modélisation.

Pour bien le comprendre, considérons l'exemple de principe d'un gaz dans une enceinte fermée par un piston mobile, représenté figure 1. L'ensemble est placé dans l'atmosphère, qui évolue à température et pression constantes.

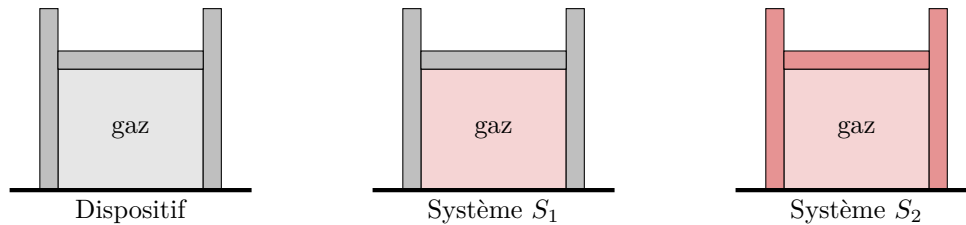


Figure 1 – Choix du système. Il est possible de choisir plusieurs systèmes pour un même dispositif : l'enceinte et le piston font partie du système S_2 , mais pas du système S_1 .

▷ Le système S_1 ne compte que le gaz ; l'extérieur est alors composé de l'enceinte, du piston et de l'atmosphère. Vu de ce système 1, la pression extérieure est celle exercée par l'enceinte et le piston.

→ est-elle connue ?

Espace 5

→ est-elle constante lors de la transformation ?

Espace 6

→ lorsque S_1 est à l'équilibre, on ne peut que dire qu'elle est égale à la pression du gaz (d'après le principe des actions réciproques), elle n'est égale à la pression atmosphérique *que si* le piston est mobile sans frottement ;

→ conclusion :

Espace 7

De même, la transformation n'a pas de caractéristique particulière du point de vue de la température de S_1 .

▷ Le système S_2 inclut le gaz, l'enceinte et le piston ; l'extérieur est alors l'atmosphère seule.

→ conséquence :

Espace 8

→ qu'en déduire pour le gaz ?

Espace 9