

## **Chapitre 1 : Le Froid**

### **1.1 INTRODUCTION**

Le froid trouve de nombreuses applications dans des domaines très variées (industries agroalimentaires, médecine, confort thermique, pétrochimie...) et c'est dans le domaine alimentaire que le froid occupe une place prépondérante car il permet de limiter les gaspillages (pertes après récolte...) et de prolonger la durée de conservation des produits ce qui permet un élargissement des échanges.

On a pu estimer que dans certaines régions du monde, 50% des denrées alimentaires disponibles se perdent entre la période qui s'écoule entre le moment de la production et celui de la consommation. Ainsi, dans le domaine alimentaire, l'objectif du froid est de maintenir la qualité originale des produits en limitant (ou en supprimant) les altérations liées au développement des microorganismes, altérations très rapides dans les pays chauds à cause des conditions climatiques (température, humidité relative) qui sont favorables à la prolifération des bactéries, levures et moisissures.

Pour les produits fabriqués par l'industrie agroalimentaire (lait, fromage...), le froid permet d'améliorer leur qualité en favorisant la maîtrise des conditions de fabrication par une optimisation des paramètres climatiques influençant le comportement des microorganismes.

Le froid permet aussi l'augmentation du volume de production agricole par la modification du cycle végétatif des plantes améliorant ainsi leur rendement (printanisation des céréales...).

En production animale, le froid permet la conservation longue durée du sperme destiné à l'insémination artificielle ou encore la conservation des sérums et des vaccins destinés à enrayer les épidémies frappant les animaux.

L'avancée technologique de nos jours qui autorise un contrôle plus précis de la température et de l'humidité permet d'améliorer la production du froid.

Dans les pays chauds et humides, une température de l'ordre de +10°C permet une bonne conservation du poisson fumé, du lait concentré ou en poudre, des conserves de viandes... ce qui montre une bonne complémentarité entre le froid et les autres techniques de conservations (séchage...).

Il faut retenir que l'alimentation d'une population mondiale sans cesse croissante exige que des efforts réalisés pour accroître les productions alimentaires soient accompagnés d'initiatives destinées à réduire sinon à éliminer les pertes qui autrement resteraient considérables à toutes les étapes de la distribution et de la transformation des aliments.

9

### **1.2 MODES DE PRODUCTION DU FROID ET APPLICATIONS**

La production du froid qui consiste à absorber la chaleur contenue dans un milieu peut être obtenue suivant plusieurs modes. De même, les applications du froid sont très variées.

Parmi les différents modes de production du froid, il faut retenir :

la sublimation d'un solide (cas du CO<sub>2</sub>)

la détente d'un gaz comprimé

la fusion d'un corps solide

le refroidissement thermoélectrique

la dissolution de certains sels

la désaimantation adiabatique

la vaporisation d'un liquide en circuit fermé

La sublimation d'un solide consiste à le faire passer de l'état solide à l'état vapeur par absorption de chaleur, le cas le plus courant est celui du CO<sub>2</sub> qui à la pression atmosphérique a une température de sublimation de  $-78.9^{\circ}\text{C}$ .

La détente d'un gaz comprimé repose sur le principe de l'abaissement de la température d'un fluide lors de sa détente (avec ou sans travail extérieur). Cependant, cet abaissement est plus important lors de la détente sans travail extérieur (détente Joule -Thomson : étranglement à travers une vanne) mais il ne faut pas perdre de vue que le refroidissement du gaz détendu aura lieu seulement dans le cas où sa température avant la détente serait inférieure à la température d'inversion de l'effet Joule - Thomson.

La fusion d'un corps solide se fait à température constante par absorption de la chaleur latente de fusion du corps considéré, ce procédé discontinu bien que simple présente l'inconvénient de nécessiter une congélation préalable à moins que cet état ne soit disponible à l'état naturel.

Le refroidissement thermoélectrique (effet Peltier) est utilisé pour produire de très petites quantités de froid. Il consiste à faire passer un courant continu dans un thermocouple constitué de conducteurs de natures différentes reliés alternativement par des ponts de cuivre.

La dissolution d'un sel dans l'eau provoque un abaissement de la température de la solution. Ce n'est pas un phénomène très utilisé dans l'industrie frigorifique à cause de la nécessité de vaporisation ultérieure de l'eau (récupération du sel). Par exemple, le mélange de neige (4 parties) et de potasse (3 parties) fait baisser la température de la solution de  $0^{\circ}\text{C}$  à  $40^{\circ}\text{C}$ .

La désaimantation adiabatique consiste en une réorganisation du cortège électronique d'un corps, ce qui permet l'obtention de très basses températures ( $10^{-2}$  à  $10^{-6}$  K).

La vaporisation d'un liquide permet de produire du froid par l'absorption de la chaleur à travers un échangeur (évaporateur), la vapeur produite étant ultérieurement liquéfiée dans un autre échangeur (condenseur), le fluide décrit ainsi un cycle au sein d'une machine fonctionnant de manière continue.

Les machines utilisant ce principe peuvent être regroupées en deux grandes familles que sont les machines à compression mécanique et les machines à absorption.

La vaporisation d'un liquide en circuit fermé reste la méthode la plus utilisée pour la production du froid.

La production de froid pour les besoins domestiques, commerciaux et industriels nécessitent l'utilisation d'un dispositif capable d'extraire de la chaleur dans le milieu à refroidir pour la rejeter dans un milieu dit extérieur, ce dispositif qui obéit nécessairement au second principe de la thermodynamique est appelé « machine frigorifique ».

La conception, la réalisation et l'exploitation et/ou le suivi d'une telle machine nécessitent de bonnes connaissances en thermodynamique, en mécanique des fluides, en transfert thermique et en électrotechnique.

Ces connaissances théoriques devront être complétées par une bonne familiarisation à la technologie des composants ainsi qu'à l'élaboration et à la lecture de schémas électriques ou de régulation.

Dans le cadre de ce cours, il sera étudié les machines utilisant la vaporisation d'un fluide en circuit fermé.

Le froid peut être produit directement ou indirectement.

On parle de refroidissement direct lorsque la substance à refroidir (par exemple l'air) est en contact avec le fluide circulant en circuit fermé dans la machine (par l'intermédiaire de l'échangeur).

Le refroidissement est dit indirect lorsqu'on utilise un fluide intermédiaire (par exemple l'eau)

entre la substance à refroidir (l'air) et le fluide circulant en circuit fermé dans la machine. Le fluide intermédiaire est appelé fluide frigoporteur.

### **1.3 ELEMENTS DE PHYSIQUE**

#### **1.3.1 La température**

Le chaud et le froid sont appréciés par des sensations d'où une évaluation irrationnelle de ces grandeurs.

Aussi, il a été défini la température qui permet une objectivité des mesures. La température caractérise le niveau auquel la chaleur se trouve dans un corps permettant ainsi de dire qu'un corps est plus ou moins chaud qu'un autre.

Les températures dans le S.I. sont exprimées en °C (degrés Celsius) mais dans la littérature, on rencontre les degrés Fahrenheit (°F) et les degrés Kelvin (°K)

Conversion entre les différentes unités de températures :

$$^{\circ}\text{C} = 5/9(^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = 9/5^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

#### **1.3.2 La chaleur**

La chaleur est une forme d'énergie (énergie de mouvement des molécules) qui va d'un point chaud (température plus élevée) vers un point froid (température moins élevée).

C'est la sensation perçue par nos organes de sens lorsque nous sommes placés devant un corps incandescent par exemple.

L'unité légale est le Joule (J) mais la kCal (kiloCalorie) est également utilisée.

Une kCal est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à un kG d'eau pour augmenter sa température de 1°C.

Conversion d'unités :

$$1 \text{ kCal} = 4,185 \text{ kJ} = -1 \text{ Fg (frigorie)}$$

$$1 \text{ thermie (Th)} = 1000 \text{ kCal} = 4,185 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ BTU} = 1,053 \text{ kJ} \text{ (BTU : British Thermal Unit)}$$

#### **1.3.3 La puissance**

La puissance est le rapport de l'énergie fournie ou absorbée sur l'unité de temps.

L'unité légale est le Watt (W).

Conversion d'unités :

$$1 \text{ kW} = 860 \text{ kCal/h}$$

$$1 \text{ kCal/h} = -1 \text{ Fg/h} = 1,163 \text{ W}$$

$$1 \text{ cv (cheval)} = 736 \text{ W}$$

#### **1.3.4 La pression**

L'unité légale de la pression est le Pascal (Pa) qui est égal à la pression uniforme exercée par une force de 1 N (Newton) sur une surface de 1 m<sup>2</sup>.

L'unité de pression couramment utilisée par les frigoristes est le Bar et il faut distinguer :

Les appareils de mesure des pressions (appelés manomètres) sur les systèmes frigorifiques qui sont gradués généralement en pression relative (par rapport à la pression atmosphérique)

les appareils de mesures du vide (appelés vacuomètres) sur les systèmes frigorifiques qui sont gradués en pression absolue (par rapport au vide absolu).

Conversion d'unités

$$1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1.02 \text{ kG/m}^2 = 0.986 \text{ atm} = 750 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ Bar} = 14.54 \text{ PSI} = 10.2 \text{ mCE (mètre de colonnes d'eau)}$$

PSI : Pound per Square Inch (Livre par Pouce carré)

### 1.3.5 Le changement d'état

La maîtrise des deux états de la matière que sont la phase liquide et la phase vapeur est primordiale en froid.

Le changement d'état se définit comme la phase de transformation d'une phase vers une autre phase.

La figure 1.1 donne les différents changements d'état possibles de la matière.

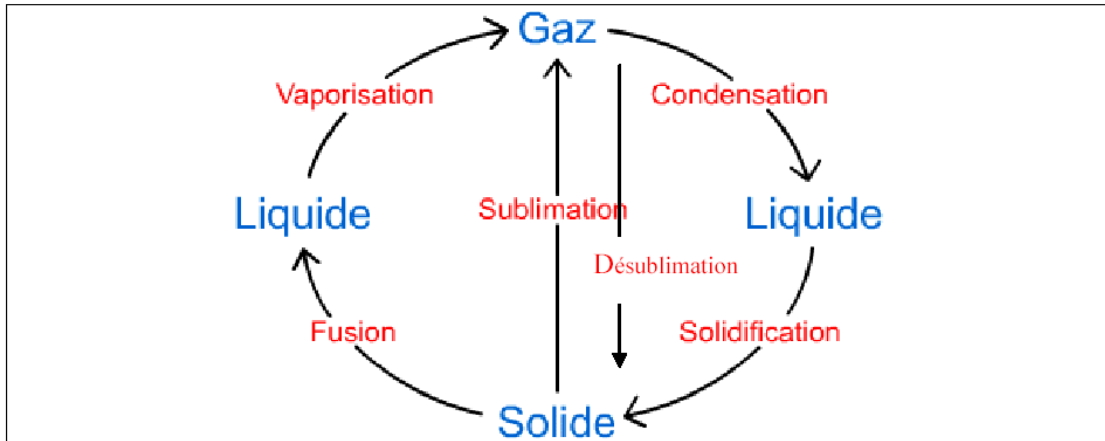


Figure 1.0 – Changements d'états de la matière.

Ces changements sont les suivants :

le passage de l'état solide (glace) à l'état liquide, appelé la fusion

le passage de l'état liquide à l'état solide (glace), appelé la congélation (ou solidification)

le passage de l'état liquide à l'état liquide à l'état vapeur, appelé la vaporisation (ou l'ébullition ou encore l'évaporation)

le passage de l'état vapeur à l'état liquide, appelé la liquéfaction (ou condensation)

Ainsi sont définis les termes suivants :

la chaleur latente de congélation ou chaleur latente de fusion suivant qu'on passe de la phase liquide vers la phase solide ou vice versa ; pour l'eau cette chaleur latente est de 334.8 kJ/kg (80 kcal/kg) à la pression atmosphérique, la température de congélation étant de 0°C à cette pression

la chaleur latente de vaporisation ou de condensation suivant qu'on passe de la phase liquide à la phase vapeur ou vice versa ; pour l'eau cette chaleur latente est de 2254.7 kJ/kg (539 kcal/kg) à la pression atmosphérique, la température d'évaporation étant de 100°C à cette pression

Comme autres changements d'état, il faut citer :

la sublimation (passage de l'état solide à l'état vapeur)

la désublimation (passage de l'état vapeur à l'état solide)

En rappel, il existe pour tout corps pur, une relation pression température si et seulement si la vapeur est contact avec le liquide qui lui a donné naissance.

A chaque corps correspond une courbe de changement d'état représenté dans le diagramme thermodynamique pression (Log P) – enthalpie (h) appelé diagramme enthalpique ou diagramme de Mollier des frigoristes.

Ce diagramme est utilisé pour l'étude des cycles de réfrigération.

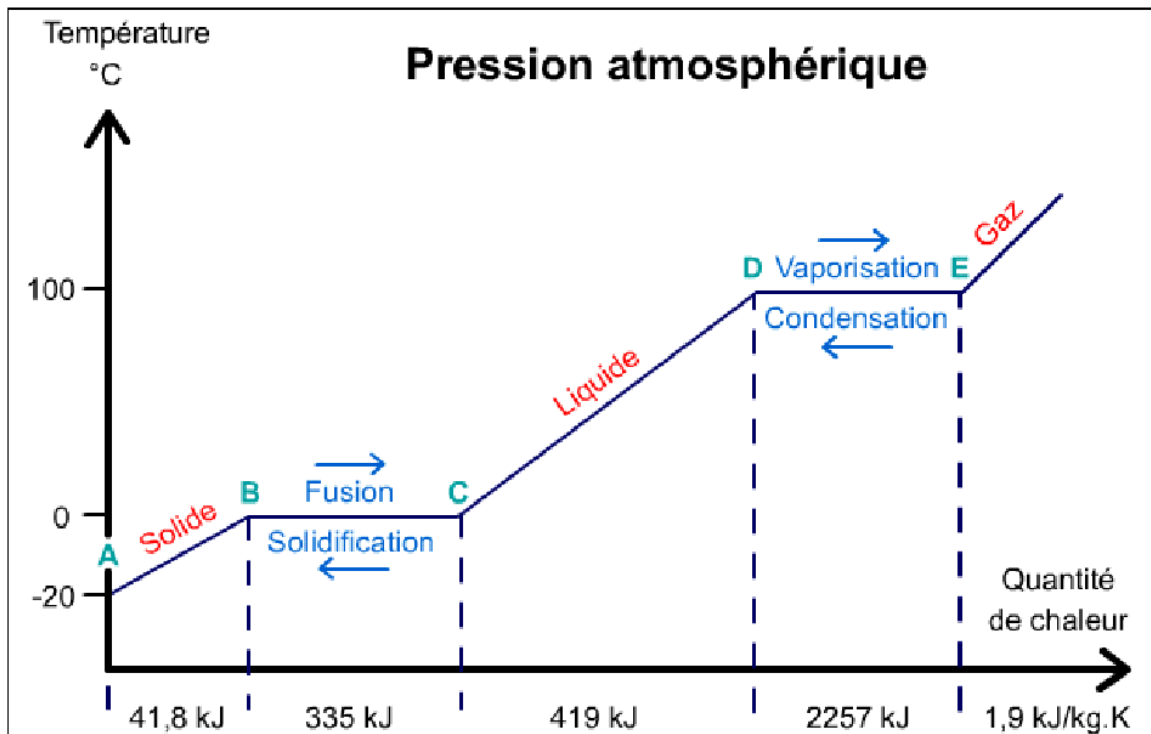


Figure 1.1 – Changement d'état de l'eau.

15

De A à B :

La température de la glace augmente régulièrement pour atteindre 0°C. La chaleur apportée et nécessaire à cette étape est de 41,8 kJ. C'est de la chaleur sensible (la température augmente).

En B :

On a un bloc de glace de 1kg à 0°C.

De B à C :

A 0°C, la 1ère goutte de liquide apparaît et la glace commence à fondre. Pendant toute la fonte de la glace, le mélange liquide/solide aura une température rigoureusement égale à 0°C. La chaleur apportée est de 335 kJ, c'est de la chaleur latente (la température reste constante).

En C :

On a 1kg d'eau entièrement liquide à 0°C.

De C à D :

La température de l'eau s'élève progressivement jusqu'à atteindre 100°C. Pour réaliser cette augmentation de température, nous devons apporter 419 kJ. C'est de la chaleur sensible.

En D :

On a 1kg d'eau entièrement liquide à 100°C, c'est du liquide saturé.

De D à E :

A 100°C, comme nous continuons à apporter de la chaleur, l'eau se met à bouillir et la première molécule de vapeur apparaît. C'est le début de l'évaporation. La température reste constante pendant tout le changement d'état. Quand la dernière goutte de liquide s'évapore, le changement d'état sera terminé, nous aurons apporté 2257 kJ de chaleur latente.

En E :

Nous avons 1kg de vapeur à 100°C, c'est de la vapeur saturée.

Après E :

Si on continue à chauffer la vapeur, la température continue d'augmenter nécessitant 1,9 kJ/kg.K.