

Le réfrigérateur

Conserver les aliments grâce au froid n'est pas une idée neuve : on dit ainsi que les Romains enveloppaient de glace les poissons du Rhin pour les transporter jusqu'à la capitale de l'Empire. Ils utilisaient également des caves pour conserver la glace qu'ils avaient accumulé l'hiver, boire frais étant très apprécié pendant la saison chaude. Sénèque, dans les Lettres à Lucilius, déplore ainsi qu'on interdise aux malades les boissons « rafraîchies avec de la glace pilée » !

Au milieu du XIX^{ème} siècle, il existait déjà des armoires isolées thermiquement que l'on remplissait de blocs de glace pour conserver les aliments. Puis, au début du XX^{ème} siècle est apparu le premier réfrigérateur. Même si le principe fondamental n'a que peu évolué depuis, les performances se sont beaucoup améliorées, notamment en matière d'encombrement.

Pourquoi conserver les aliments au frais ? La dégradation de la matière organique est due à l'action de bactéries, toujours présentes dans les aliments, et dont l'activité est réduite à basse température. Au froid, les aliments se conservent plus longtemps, rendant la salaison d'antan inutile. Le principe est identique pour la congélation ou la conservation dans l'azote liquide (à -196°C). Un réfrigérateur maintient quant à lui les aliments à quelques degrés au-dessus de 0°C , grâce à un fluide réfrigérant. On fait subir à ce fluide (liquide ou gaz) une succession de changements d'état qui abaisse la température de l'intérieur du réfrigérateur.

Certains peuples du désert l'ont bien compris : les Egyptiens utilisaient déjà des « frigos du désert » (pots en argile poreuse ou linges humides autour des récipients)...

Les changements d'état

Depuis les progrès de la thermodynamique au milieu du XIX^{ème} siècle, on sait que la chaleur est une forme d'énergie. La température est une mesure de l'agitation thermique, c'est-à-dire de l'énergie cinétique (proportionnelle au carré de leur vitesse) des atomes ou molécules constituant un objet. Un transfert d'énergie permet donc de faire évoluer la température d'un corps ; c'est ce qu'on appelle un échange de chaleur. Sous l'influence de ces échanges de chaleur, la matière peut changer d'état et passer d'un des états communs de la matière (solide, liquide ou gazeux) à un autre.

Les changements d'état sont des transformations qui requièrent ou fournissent de l'énergie selon que l'on passe d'un état plus ordonné (solide) vers un état moins ordonné (liquide), ou l'inverse. Ramenée à l'unité de masse, cette quantité d'énergie est appelée chaleur latente ou enthalpie de changement d'état. Voici deux exemples.

Plaçons une casserole d'eau sur une plaque électrique en fonctionnement : la température de l'eau va progressivement augmenter. A 100°C - si l'on est au niveau de la mer -, l'eau se met à bouillir, c'est-à-dire qu'elle commence à se vaporiser, passant de l'état liquide à l'état gazeux. La chaleur apportée par la plaque électrique à partir de cet instant sert uniquement à assurer le changement d'état. En effet, la température de l'eau reste à la valeur de 100°C . L'énergie dépensée pour faire passer un litre d'eau, chauffée à 100°C , à l'état de vapeur correspond à cette chaleur latente de vaporisation.

Lorsqu'on fait du sport, la transpiration, c'est-à-dire l'excrétion de sueur par notre organisme, sert à nous refroidir. En effet, notre corps cède au liquide la chaleur nécessaire à sa vaporisation. L'eau est ensuite perdue dans l'atmosphère, évacuant ainsi la chaleur qu'elle a absorbée. Là encore, c'est un exemple de l'existence de la chaleur latente de vaporisation.

Le transfert de chaleur

Dans un réfrigérateur, on transfère de la chaleur, c'est-à-dire que l'on prend de l'énergie à un système pour la céder à un autre système. Un réfrigérateur doit donc assurer un flux de chaleur de ses compartiments internes, dont la température diminue, vers l'extérieur dont la température augmente.

Le transfert de chaleur s'effectue grâce à un fluide circulant en circuit fermé. Ce fluide réfrigérant subit un cycle de deux changements d'état. Lors d'un premier changement d'état, le fluide transfère de la chaleur à l'extérieur ; puis lors d'un second changement d'état, ce même fluide absorbe de la chaleur à l'intérieur du réfrigérateur.

Le refroidissement peut être très efficace si les chaleurs latentes correspondantes sont élevées.

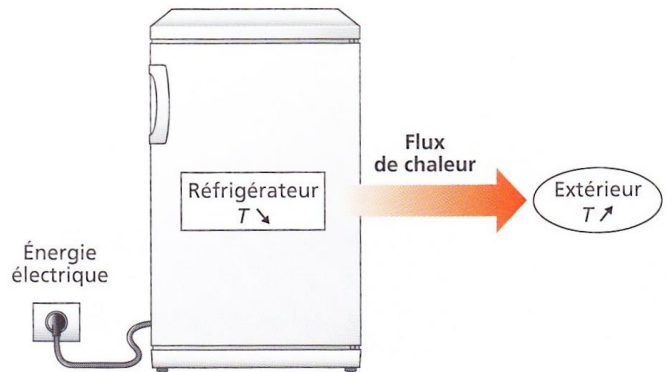
Le réfrigérateur à compresseur

C'est le type le plus courant : si votre réfrigérateur fait du bruit de temps en temps, c'est justement à cause du compresseur.

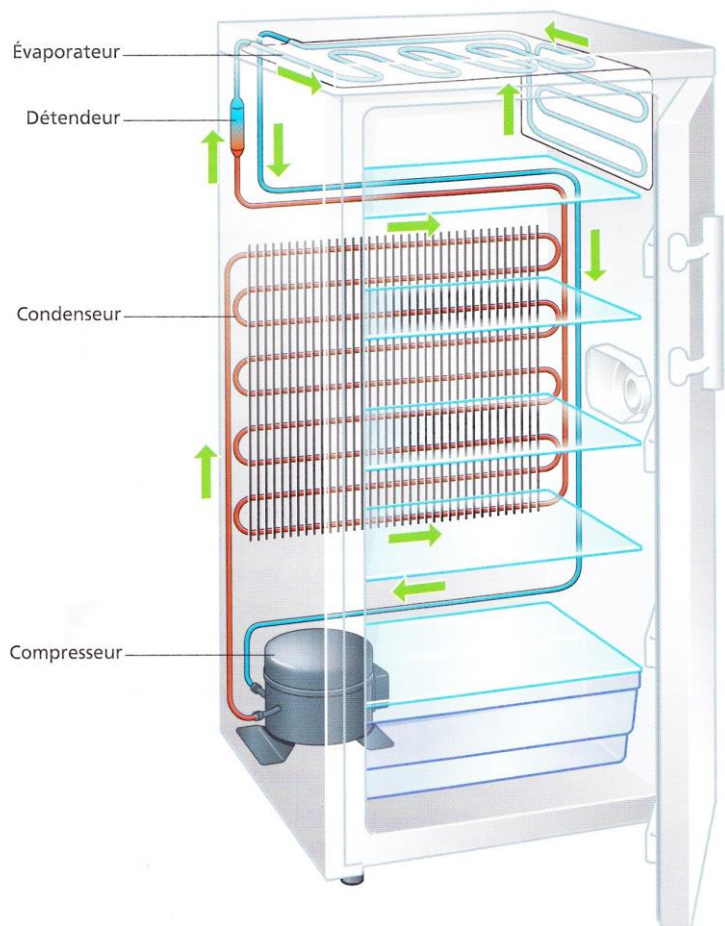
Le cycle du fluide réfrigérant

Le compresseur comprime le fluide réfrigérant, alors froid et sous forme gazeuse, ce qui augmente sa température et sa pression. A la sortie du compresseur, le fluide est donc chaud et à haute pression (en rouge sur le schéma). Le compresseur fonctionne à l'aide d'un moteur - et consomme donc de l'énergie sous forme électrique.

Ce gaz chaud et à haute pression circule ensuite à travers le condenseur, où il cède de la chaleur par diffusion vers l'extérieur et subit un changement d'état : le gaz se transforme en un liquide chaud sous haute pression.



4 Le principe du réfrigérateur est simple : il assure un transfert de chaleur depuis ses compartiments internes, qui se refroidissent, vers la pièce où il se trouve, qui se réchauffe. Ce transfert consomme de l'énergie électrique.



5 Circuit du fluide réfrigérant dans un réfrigérateur à compression. Le fluide est ici coloré selon sa température : en rouge lorsqu'il est chaud (+45 °C en début de cycle) et sous haute pression, et en bleu lorsqu'il est froid (-30 °C après le détendeur) et sous basse pression.

La condensation (ou plus précisément la liquéfaction) peut se produire à température élevée car la pression est importante. Lorsque la pression augmente, en effet, la température de liquéfaction croît et devient supérieure à la température ambiante. C'est pour cette même raison qu'en montagne, où la pression atmosphérique est plus faible qu'au niveau de la mer, la température d'ébullition (ou vaporisation) de l'eau est inférieure à 100°C : il faut ainsi plus de temps pour obtenir des œufs durs en altitude car l'eau, bien qu'en ébullition, est moins chaude qu'habituellement.

En poursuivant son chemin dans le circuit frigorifique, le liquide passe ensuite à travers un détendeur qui abaisse sa pression et sa température. On obtient un mélange liquide-gaz à l'équilibre (en bleu sur le schéma).

Après cette chute de pression, le mélange liquide-gaz froid traverse l'évaporateur où il absorbe la chaleur de l'intérieur du réfrigérateur pour subir un second changement d'état : le liquide se met à bouillir, c'est-à-dire qu'il se vaporise. On obtient alors un gaz froid et à basse pression, qui repart alors dans le compresseur pour un nouveau cycle.

Le fluide réfrigérant

Ce fluide doit posséder des propriétés thermodynamiques spécifiques. En particulier, ses chaleurs latentes de changements d'état doivent être importantes, et les températures et pression de changements d'état raisonnables. La sécurité et la protection de l'environnement doivent également être prises en compte. De fait, les fluides réfrigérants des premiers réfrigérateurs étaient des substances potentiellement dangereuses pour la santé et à faible rendement ; au début du XX^{ème} siècle, les fluides réfrigérants étaient plus efficaces mais restaient dangereux (le chlorométhane, par exemple, très inflammable) et corrosifs, nécessitant un entretien régulier du réfrigérateur. Puis, en 1930, la société DuPont de Nemours commercialisa un groupe de fluorocarbures baptisés « fréon ». Le fréon fut employé jusque dans les années 1970-1980, lorsqu'on s'aperçut que le rejet dans l'atmosphère de ces gaz – en particulier les chlorofluorocarbures ou CFC – contribuait à détériorer la couche d'ozone qui nous protège des effets nocifs des rayons ultraviolets spatiaux. De nouvelles recherches ont conduit à des fluides réfrigérants inoffensifs pour la couche d'ozone (isobutane R600a, HC-12a, R-134a) qui remplacent le fréon, interdit depuis les conventions internationales du protocole de Montréal (1989).

Le compresseur

Élément central du système de réfrigération, c'est lui qui transforme le gaz basse pression en haute pression. Il se situe généralement en bas à l'arrière du réfrigérateur. Un thermostat mesure la température de l'intérieur du réfrigérateur et contrôle la mise en marche du compresseur. Le cycle de refroidissement débute dès que la température interne dépasse une valeur de consigne.

Le condenseur

C'est la série de longs et fins tubes noirs situés en général sur la face arrière de l'armoire. Lors d'un cycle, le liquide haute pression en provenance du compresseur traverse le condenseur : étant plus chaud que l'air ambiant, il lui cède de la chaleur et se liquéfie. Sa forme en serpentinite vise à maximiser la surface d'échange de chaleur avec l'air ambiant.

Le détendeur

Le détendeur permet de faire brutalement chuter la pression et la température du liquide provenant du condenseur : il est constitué d'un fin capillaire. La détente transforme le fluide en un mélange liquide-gaz à basse pression et à basse température.

L'évaporateur

L'évaporateur, constitué d'une série de tubes en serpentin, se trouve à l'intérieur du réfrigérateur puisque c'est lui qui assure le refroidissement à proprement parler. Dans les petits appareils, il est généralement situé dans le compartiment du freezer. Lorsque le mélange liquide-gaz basse pression entre dans l'évaporateur, il se transforme en gaz (par vaporisation) en absorbant de la chaleur dans le réfrigérateur. L'évaporateur est donc très froid, ce qui provoque la condensation (passage de l'état liquide à l'état solide) de la vapeur d'eau à l'intérieur du réfrigérateur et entraîne l'apparition de givre. Pour l'éviter, l'idéal est de mettre l'air en mouvement par un système de ventilateurs et de contrôler son humidité ; c'est le « froid ventilé » de certains modèles modernes. Enfin, le gaz à basse température et basse pression est aspiré par le compresseur pour subir un autre cycle dans les éléments du réfrigérateur.

Les autres types de réfrigérateurs

Les réfrigérateurs à absorption

Le principe à l'œuvre est assez proche de la distillation : un mélange d'eau et d'ammoniac est chauffé, puis l'ammoniac gazeux subit les mêmes étapes que le fluide réfrigérant dans un réfrigérateur à compression (condensation et évaporation). La principale différence tient à l'absence de compression, remplacée par un chauffage du mélange. Les sources de chauffage prennent différentes formes, électrique ou au gaz. Ces réfrigérateurs sont en général de plus petite taille et ne produisent quasiment aucun bruit car il n'y a ni compresseur ni pièces en mouvement, ce qui les rend aussi peu sujets aux pannes. Ces avantages qualifient ces appareils pour des utilisations spécifiques : caves à vin (absence de vibrations), réfrigérateurs nomades (cartouches de gaz)... Ils sont toutefois assez chers et nécessitent un apport d'air frais significatif.

Les réfrigérateurs à effet Peltier

Ces rafraîchisseurs sont fondés sur l'effet thermoélectrique inverse ou effet Peltier : lors du passage d'un courant à travers deux conducteurs de natures différentes, il se produit un échange de chaleur en fonction du sens du courant. Cet effet est en général masqué par l'effet Joule si les deux matériaux ne sont pas choisis avec soin. La simplicité du dispositif garantit un encombrement minimal, particulièrement adapté aux appareils nomades. Abordables, ces appareils ne peuvent en revanche pas servir de réfrigérateurs : ils n'intègrent pas de réglage de la température (ils ne peuvent pas faire des glaçons) et ne fonctionnent pas correctement au-delà d'une certaine température ambiante.