



Newsletter N°56 : Les variations de température

Introduction aux phénomènes de dilatation / retrait.

Après avoir abordé la fragilisation des matériaux métalliques associés aux basses températures et les risques industriels liés au fluage et aux phénomènes d'oxydations catastrophiques caractéristiques des hautes températures, d'autres effets thermiques doivent être pris en compte dans la conception de produits industriels lorsque la température de travail varie durant leur fonctionnement. On devra prendre en compte pour ces cas industriels les phénomènes de dilatation et retrait sans oublier les problèmes liés à la fatigue thermique des composants métalliques.

Cet article qui s'inscrit dans notre saga sur les risques industriels associés aux conditions extrêmes a pour objectif de dresser un état des lieux de ces problématiques par le biais de plusieurs cas industriels pour lesquels des astuces techniques (compensateur de dilatation dans le génie civil, vase d'expansion dans les chaudières, bilame dans l'horlogerie ...) ont été trouvées pour remédier aux difficultés rencontrées sur des produits en service. Ces thématiques seront présentés dès le mois de mars. D'ici là, place à la théorie...

I. Introduction aux phénomènes de dilatation / retrait.

Avant d'aborder les phénomènes de dilatation / retrait, il est important de se rappeler que la température peut être assimilée à une énergie d'activation des particules du système étudié.

La dilatation est un phénomène qui concerne les trois états de la matière mais elle est plus sensible pour les gaz que pour les solides ou les liquides. En effet, si on chauffe 1 litre d'air afin d'augmenter sa température de 0 à 100°C, le volume de l'air augmentera pour atteindre une valeur proche de 1,36L, soit un accroissement de 36%. Ainsi, l'air chaud occupe plus d'espace que l'air froid. Sa masse volumique est alors plus faible, ce qui est, entre autres, à l'origine des courants de convection atmosphériques et permet d'expliquer le fonctionnement d'une montgolfière (Cf. figure 1)



Figure 1 : Dilatation de l'air : cas de la montgolfière.



«Gestion des risques industriels »

NEWS 56 - Janv 2022

Dans le cas d'un système clos, le gaz étant compressible, son volume ne peut augmenter lors d'une élévation de température. C'est alors sa pression qui augmente et la température du système croît. Le risque ultime est une explosion du système ; comme on peut le rencontrer lorsqu'un pneu éclate sous de fortes températures. C'est dans cette optique sécuritaire, qu'un pot de détente est présent sur les lignes d'échappement des véhicules automobiles à combustion (Cf. figure 2), il sert entre-autre à détendre les gaz d'échappement afin d'abaisser la température du milieu.

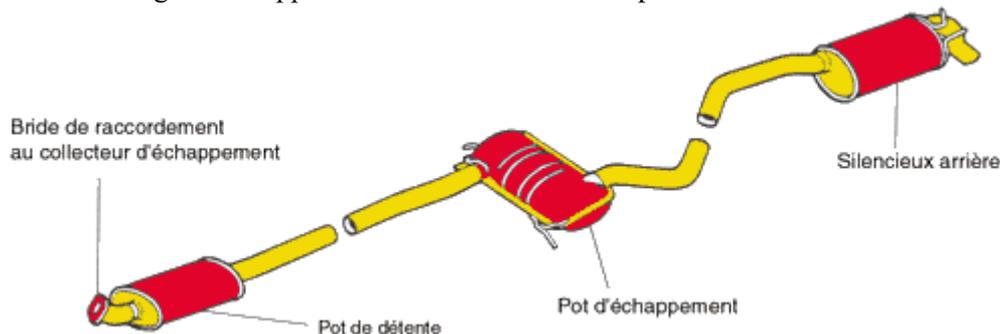


Figure 2 : Composants d'une ligne d'échappement. (<http://greg.saunier.free.fr/Echappement.htm>)

Pour les liquides, l'application la plus connue est sans conteste le thermomètre. Mais pour bien comprendre l'impact de l'élévation de température sur un liquide, prenons comme exemple un chauffe-eau avec son vase d'expansion. Lorsque l'eau chauffe dans le circuit de chauffage, elle se dilate. Cette dilatation thermique a pour effet d'augmenter le volume de l'eau, ce qui provoque un surplus de pression : entre 10°C et 90°C, 1 m³ d'eau se dilate d'environ 40 litres soit 4%. Le rôle du vase d'expansion est de recueillir cet excédent de volume d'eau et d'empêcher une dépression dans l'installation lorsque l'eau sera refroidie.

Le vase d'expansion se décompose en 2 parties : la première est remplie par l'excès de volume d'eau du circuit, la seconde par de l'air comprimé ou un autre gaz (N₂). Lorsque l'eau arrive dans le vase, elle pousse sur la partie remplie d'air qui se comprime et absorbe le surplus de pression. On rencontre des installations similaires dans un moteur de refroidissement d'une automobile.

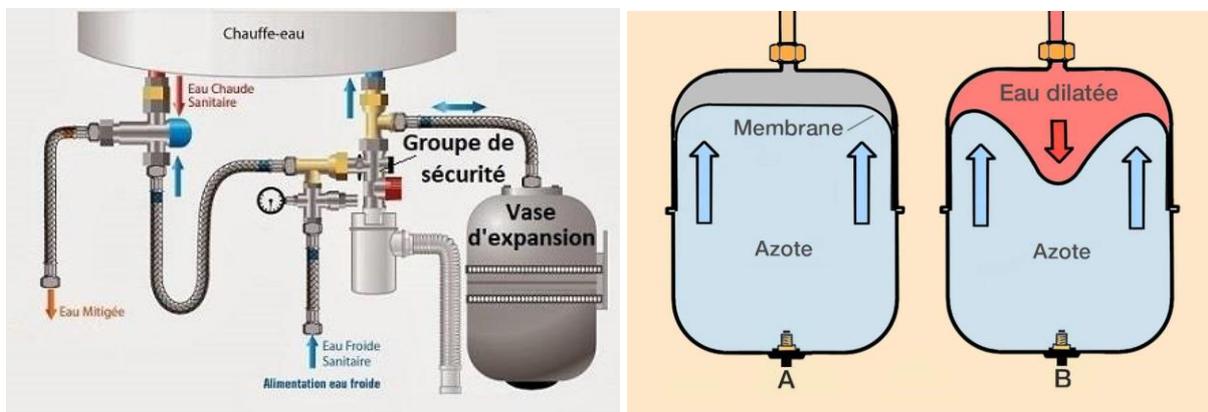


Figure 3 : La vase d'expansion et son principe de fonctionnement. <https://formation.xpair.com>



«Gestion des risques industriels »

NEWS 56 - Janv 2022

Pour les solides (matériaux métalliques, béton, ...), la dilatation thermique est de petite amplitude ; cependant elle développe une contrainte élevée, qu'il est nécessaire de prendre en compte dans les constructions et la conception de pièces mécaniques. Ce point sera illustré dans le reste de cet article, mais avant cela, il est important de définir ce que l'on appelle le coefficient de dilatation.

II. Calcul du coefficient de dilatation

Le phénomène de dilatation thermique est caractérisé par le coefficient de dilatation thermique linéaire qui exprime l'allongement d'un solide dans une seule dimension face à une élévation de température. Il permet de calculer l'allongement (Δl) en fonction d'une élévation de température (ΔT) : $\Delta l / L_0 = \alpha (\Delta T)$

où : ΔT = variation de température ($T_2 - T_0$)
 L_0 = dimension de la pièce à la température de référence (T_0)
 α = coefficient de dilatation thermique de la pièce (unité K^{-1})

D'une façon générale, α varie en sens inverse de la température absolue de fusion T_f (en K) :

$$\alpha \sim \gamma_G / 100 T_f$$

où, γ_G est la constante de Grüneisen qui varie entre 1 et 2 pour les matériaux métalliques.

La physique du solide fournit une autre relation qui associe le coefficient de dilatation linéaire à la masse volumique (ρ), la chaleur massique (C) et le module d'Young (E) :

$$\alpha \sim \gamma_G \cdot \rho \cdot C / 3E$$

Le tableau 1 nous indique quelques valeurs indicatives de coefficient de dilatation thermique pour différents alliages. Pour plus de précision, nous vous conseillons la norme NF EN 10-100.

Tableau 1 : valeurs indicatives de coefficient de dilatation thermique pour différents alliages.

MATERIAUX METALLIQUES	α ($10^{-5} \cdot K^{-1}$)
Aciers de construction	1 à 1,25
Aciers inoxydables CC	1,05
Aciers inoxydables CFC	1,5 à 1,6
Alliages d'aluminium	2,2 à 2,4
Bronzes	1,75 à 1,9
Fontes grises	1,0 à 1,25
Cuivre	1,66
Laitons	1,8 à 2,1
Maillechorts	1,6 à 1,9
Alliages de titane	0,85 à 0,95

Dans le cas d'une canalisation de 3 m de long véhiculant de l'eau de chauffage portée de 20°C à 80°C, celle-ci verra sa longueur croître de 3 mm pour un tube en cuivre et de 27 mm pour un flexible en polypropylène dont le coefficient de dilatation thermique est de $15 \cdot 10^{-5} K^{-1}$. Cet exemple permet de

Contact : alexandre.fleurentin@metallocorner.fr - 07.81.47.10.07 - www.metallocorner.com



«Gestion des risques industriels »

NEWS 56 - Janv 2022

comprendre qu'il est peu conseillé de mélanger des matériaux métalliques avec des plastiques dans une même installation sujette à des variations de chaleur.

La dilatation thermique se traduit également par un accroissement du diamètre de tube qui n'a pas de conséquence majeure, dans le cas du cuivre, parce que l'augmentation du diamètre est faible et que la dilatation du tube en cuivre est voisine de celle du collier en acier.