

Cours : LES ECOULEMENTS EN CHARGE

Chapitre 1 : Rappels

Quelles sont les caractéristiques d'un fluide ?

Les **fluides** affichent des propriétés telles que: Ne pas résister la déformation, ou lui résister légèrement (la viscosité), L'aptitude à l'écoulement (également décrit comme la capacité de prendre la forme du récipient).

Propriétés des fluides

- La viscosité
- La masse volumique
- La poussée
- La pression

Avant de commencer l'étude du comportement fluide, sa dynamique et statique, nous devrions avoir un bref aperçu des **propriétés de base des fluides** et aussi une connaissance de base des **termes et des quantités définies pour les fluides**. Dans ce cours nous allons aborder ces aspects de base d'introduction des fluides.

En disant «étude des fluides", nous entendons un large domaine d'étude y compris les **liquides et les gaz** et aussi une étude généralisée, y compris **différents types de liquides et de gaz**. **En hydraulique seulement les liquides sont considérés, l'eau est le sujet principal de l'étude**. Les ingénieurs civils doivent **concevoir le système d'approvisionnement en eau, système de drainage, les canaux d'irrigation et les barrages**. Pour faire la conception et l'analyse, l'ingénieur civil doit avoir une compréhension rationnelle des **propriétés de base des fluides**.

Qu'est-ce qu'un fluide?

Se dit d'un corps dont les molécules ont peu d'adhésion et peuvent glisser librement les unes sur les autres (liquides) ou se déplacer indépendamment les unes des autres (gaz), de façon **que** le corps prenne la forme du vase qui le contient. Un fluide est donc un corps non solide, qui se déforme sous l'action de forces, même très faibles.

Masse volumique (Volumic mass):

La masse volumique est une grandeur intensive définie localement (*Les grandeurs extensives et intensives sont des catégories de grandeurs physiques d'un système physique :une propriété est « intensive » si sa valeur ne dépend pas de la taille du système (en particulier, si sa valeur est la même en tout point d'un système homogène) : par exemple, la température ou la pression; une propriété est*

« extensive » si elle est proportionnelle à une quantité caractéristique du système : par exemple, la masse ou le volume.), en tout point M d'une substance:

$$\rho(M) = \frac{\Delta m}{\Delta V}$$

où Δm est la masse infinitésimale de la substance occupant le volume ΔV infinitésimal qui entoure M .

Quand une substance n'est pas homogène, on peut définir sa masse volumique moyenne :

$$\bar{\rho} = \frac{m}{V}$$

où m est la masse de la substance et V le volume qu'elle occupe. On peut aussi l'obtenir par intégration :

$$\bar{\rho} = \frac{\iiint \rho(M) dV}{\iiint dV}$$

où les deux intégrales triples sont étendues à tout l'espace occupé par la substance.

L'unité de mesure de la masse volumique dans le Système international est le kilogramme par mètre cube (kg/m³).

Poids spécifique (specific weight):

Le poids spécifique ou poids volumique est le poids par unité de volume d'un matériau. Le symbole du poids spécifique est γ .

Le poids spécifique de l'eau à la surface de la Terre à 5 °C est de 9 807 N/m³.

$$\gamma = \rho g$$

Où γ est le poids spécifique de l'eau (N/m³)

ρ est la masse volumique de l'eau (kg/m³)

g est l'accélération de la gravité (m/s²)

Il existe la même relation entre le poids spécifique et la masse volumique, qu'entre le poids et la masse.

Volume spécifique (Specific volume):

est le volume occupé par l'unité de masse du fluide. Son unité est le mètre cube par kg. Le volume spécifique est une variable intensive, alors que le volume est une variable extensive. L'unité standard pour le volume spécifique dans le système SI est le mètre cube par kilogramme (m³ / kg).

La densité ou densité d'un corps ou densité relative d'un corps (relative density of a body) : est le rapport de sa masse volumique à la masse volumique d'un corps pris comme référence.

Pour les liquides et les solides, le corps de référence est l'eau pure à 4 °C.

Dans le cas de gaz ou de vapeur, le corps de référence gazeux est l'air, à la même température et sous la même pression.

La densité est une grandeur sans dimension et sa valeur s'exprime sans unité de mesure.

La densité, notée d , s'exprime de la sorte :

$$d = \frac{\rho_{corps}}{\rho_{eff}}$$

où ρ_{corps} est la masse volumique du corps considéré, et ρ_{eff} est la masse volumique du corps de référence.

S'agissant d'un rapport entre deux mesures de même unité, la densité s'exprime par un ratio et donc n'a pas d'unité.

Viscosité (Viscosity):

La viscosité est la propriété du fluide qui définit l'interaction entre les particules en mouvement du fluide. Elle est la mesure de **la résistance** à l'écoulement des fluides. La force de viscosité est due à des forces intermoléculaires agissant dans le fluide. Le débit ou la vitesse de déformation des fluides sous contrainte de cisaillement est différente pour différents fluides en raison de la différence de viscosité. Les fluides à viscosité élevée se déforment lentement.

Ce rapport est appelé viscosité cinématique

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Ce rapport est appelé viscosité cinématique, unité SI : m²/s

Classification des fluides

Quels sont les différents fluides ?

Ils ne sont d'ailleurs pas exclusifs l'un de l'autre, un fluide peut présenter plusieurs des propriétés présentes ci-dessous.

- **Fluide** rhéofluidifiant ou pseudoplastique.
- **Fluide** rhéoépaississant ou dilatant.
- **Fluide** à seuil ou viscoplastique.
- **Fluide** thixotrope.
- **Fluide** antithixotrope.

- **Fluide** viscoélastique.
- De nombreux matériaux ont un comportement intermédiaire entre solide et liquide. Pour la plupart des solides, la relation entre contrainte et déformation est indépendante du temps. La déformation est quasi instantanée à l'application de la force. Quelque soit le temps d'application de celle-ci, à l'instant où elle cesse d'agir, le retour est immédiat et complet. Ceci est un comportement élastique.

Un corps visqueux présente le comportement d'un liquide car il présente une déformation permanente sous contrainte. L'énergie du système est dissipée. On le caractérise à l'aide d'un rhéomètre.

Un corps élastique est un solide, il se déforme proportionnellement à la contrainte qui lui est appliqué. La déformation élastique est instantanée et récupérable. L'énergie du système est conservée. On le caractérise par ses propriétés mécaniques en traction, compression....

La viscoélasticité est une combinaison des deux phénomènes et peut être expliquée simplement par deux modèles :

Le modèle de Maxwell, ressort et amortisseur en série, représente le comportement d'un matériau viscoélastique liquide. Il possède un comportement totalement élastique sous un effort brutal (un choc par exemple) et présente une déformation résiduelle permanente après arrêt de la contrainte.)

On peut classer les fluides en différentes catégories en fonction de leur comportement face à une contrainte, c'est à dire en fonction de la relation qu'entretiennent leurs contraintes et taux de cisaillement.

la classification des fluides a évolué, différentes catégories sont apparues, faisant de la rhéologie une science en perpétuel mouvement.

Newton a énoncé la loi suivante pour caractériser les fluides:

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

Autrement dit:

- le taux de cisaillement $\dot{\gamma}$, ($\dot{\gamma} = \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)$, est proportionnel à la contrainte de cisaillement τ
- la viscosité η (que l'on appelle ici viscosité dynamique) est constante et obtenue par: $\eta = \tau / \dot{\gamma}$
- la viscosité est indépendante du temps et des forces qui s'appliquent sur le liquide

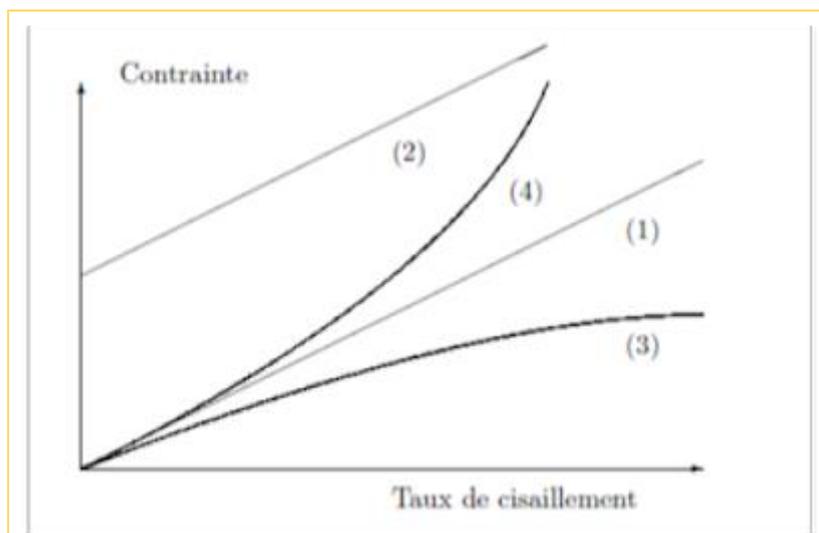
- elle peut néanmoins varier avec la température et la pression
- Les travaux ayant été effectués ultérieurement par Poiseuille et Couette ont permis de vérifier expérimentalement l'intuition de Newton en la démontrent partiellement: si la plupart des fluides lui obéissent (eau, air...), et sont alors appelés fluides Newtoniens, de nombreux autres y échappent et entrent dans la catégorie des fluides non-newtoniens.

Différentes catégories de fluides sont apparues au fur et à mesure des travaux qui leur ont succédé. Parmi ces fluides, on cite :

Les fluides dont la viscosité dépend du taux de cisaillement

- **fluides rhéofluidifiants**: leur viscosité diminue avec le taux de cisaillement (plus la contrainte est forte, plus leur résistance à l'écoulement est faible) ex: ketchup
- **fluides rhéoépaississants**: leur viscosité augmente avec le taux de cisaillement (plus la contrainte est forte, plus la résistance est forte) ex: sables mouvants
- **fluides newtoniens**: la viscosité est constante ex: eau, miel
- **fluides à seuil** : ils ne s'écoulent que quand la contrainte qui leur est appliquée dépasse un certain seuil, leur viscosité est infinie avant ce seuil, si elle est constante au-delà de celui-ci, on parle de fluide de Bingham. ex: dentifrice

Remarque: les fluides de Bingham peuvent être modélisés ainsi: $\tau = \eta\dot{\gamma} + b$



- (1) = Fluide Newtonien (3) = Fluide Rhéofluidifiant
(2) = Fluide de Bingham (4) = Fluide Rhéoépaississant

Les fluides dont la viscosité dépend aussi du temps

- **fluides thixotropes**: leur viscosité face à une contrainte constante diminue avec le temps
- **fluides antithixotropes**: leur viscosité face à une contrainte constante augmente avec le temps.

Ces fluides sont l'inverse des fluides **thixotropes**, et sont souvent apparentés aux fluides **rhéoépaississants**. Sous la contrainte, le fluide va réagir comme le fluide **rhéoépaississant**, c'est-à-dire qu'il va devenir plus solide avec la durée. Comme le fluide **thixotrope**, il faut que la contrainte soit maintenue pendant un certain temps pour que le fluide devienne solide. Pareillement, lorsque l'on enlève la force, le fluide reprend sa forme initiale sur la durée.

Le modèle d'Ostwald (Loi de puissance) :

Le modèle de loi de puissance permet de caractériser les fluides ayant un comportement rhéoépaississant et rhéofluidifiant.

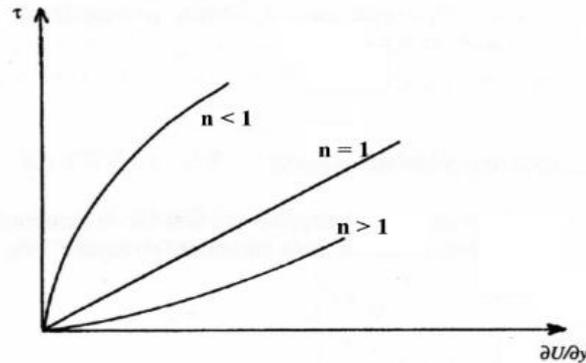
$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n$$

Où le paramètre K est appelé consistance du fluide, et l'exposant n indice de structure (ou bien indice d'écoulement). Cependant il est important de remarquer que le paramètre K n'a pas de réelle correspondance physique car sa dimension est directement liée à la valeur de l'exposant n .

Pour cela on introduit parfois une viscosité effective donc l'expression est détaillée ci-dessous afin d'avoir une unité plus concrète. Toutefois, cette valeur n'a toujours pas de réelle signification physique et bien souvent on s'intéresse à une "viscosité infinie" qui est la viscosité du fluide lorsque le cisaillement tend vers l'infini, car cette valeur est une réelle propriété du fluide et pour des grands cisaillements, le comportement tend vers la linéarité.

$$\eta_{eff} = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^{n-1}$$

On peut également ajouter à cette loi de puissance une dépendance avec la température afin de prendre en compte la modification des propriétés physique du fluide par l'évolution de la température du milieu considéré, car la consistance K est en général fortement thermodépendante.



Le graphique ci-dessus représente le comportement des fluides pour des valeurs de l'exposant n particulières. On remarque que pour :

- si $n > 1$, c'est un fluide rhéoépaississant
- si $n < 1$, c'est un fluide rhéofluidifiant
- si $n = 1$, c'est un fluide newtonien ($\eta = K$)

Il convient de préciser que ce modèle ne convient que pour les fluides newtoniens, rhéoépaississants et rhéofluidifiants. En revanche, pour les fluides à seuil et les fluides dont la viscosité dépend du temps, il est incompatible.

Débit

Le débit volumique (volume flow rate) d'un fluide désigne le volume d'un fluide qui traverse une section donnée par unité de temps. Il s'exprime en m^3/s .

$$dDv = \vec{v} \cdot \vec{ds} \quad (m \ s^{-1})$$

Le débit massique (Mass flow) : Le débit massique est la grandeur physique qui caractérise la masse qui traverse une surface S donnée par unité de temps. Son unité dans le Système international d'unités est le kilogramme par seconde (kg/s).

$$dDm = \rho \vec{v} \cdot \vec{ds} \quad (kg \ m^{-2} \ s^{-1})$$

Plus généralement, le débit peut désigner le flux des autres flux des grandeurs déplacées par le fluide : débit de quantité de mouvement ou encore débit d'énergie. Le courant électrique est parfois considéré comme un débit de charges.

Le débit d'énergie et de quantité de mouvement (energy flow and momentum)

$$\begin{aligned} d\vec{D}_p &= \rho \vec{v} (\vec{v} \cdot \vec{ds}) \\ &= (\rho \vec{v} \otimes \vec{v}) * \vec{ds} \quad (\text{Unité : } kg \ m \ s^{-2}) \end{aligned}$$

$$dD_e = \rho e \vec{v} \cdot \vec{ds} \quad (\text{Unité : } J \ s^{-2})$$

Ces deux débits sont utilisés en mécanique des fluides afin d'exprimer des bilans d'énergie ou des bilans de quantité de mouvement. Ils sont calculés à partir de la thermodynamique.

Ils s'expriment comme suit :

$$D_e = \int \int_S \rho e \vec{v} \cdot d\vec{S}$$

Pression (Pressure) :

Dans un fluide, les particules sont en **mouvement désordonné**. À chaque instant, certaines d'entre elles vont entrer en collision et rebondir sur les parois du récipient contenant le fluide. La force exercée par le fluide sur la paroi, perpendiculairement à celle-ci, est appelée **force de pression**. Cette **force de pression est proportionnelle à la surface considérée**. On définit donc une grandeur appelée **pression**, qui correspond à la **force par unité de surface**, exprimée en Pascal (1 Pa = 1 N/m²).

Compressibilité (Compressibility en anglais) :

Lorsqu'on exerce une contrainte sur un fluide, celui-ci va **se déformer** plus ou moins, en fonction de sa nature. La **compressibilité d'un fluide** traduit la diminution relative de son volume sous l'effet de la **pression**. Elle est élevée pour les gaz et beaucoup plus faible pour les liquides. Autrement dit, il est généralement facile de compresser un gaz, alors que c'est beaucoup moins facile pour un liquide. Cette propriété d'un fluide est appelé compressibilité.

Le coefficient de compressibilité isotherme de l'eau est :

$$\chi_T = -\frac{1}{V} \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T = 4,4 \times 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$$

ou encore, en fonction de la masse volumique :

$$\chi_T = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_T$$

avec : **P** la pression ; **T** la température ; **V** le volume ; **ρ** la masse volumique.

Elasticité (Elasticity):

Lorsque la force de la génération de la pression sur le fluide, est relâchée, il revient à son volume initial. Cette propriété d'un fluide est appelée élasticité du fluide.

Le module d'élasticité cubique est le rapport de la variation de pression à la variation relative de volume de fluide qui en résulte.

Module d'élasticité cubique (Cubic modulus of elasticity)

$$dP = -E \left(\frac{dV}{V} \right)$$

dP – variation de pression en pascal(Pa)

E – module d'élasticité cubique en (Pa)

dV – variation de volume

V - volume

Ce module traduit donc le comportement volumique d'un fluide mettant en relation sa déformation volumique au regard de la contrainte normale subie.

Il traduit en quelque sorte la raideur volumique du fluide vis-à-vis de sollicitations normales à ses frontières

Pression de vapeur (symbole Pv) ou tension de vapeur (Vapor pressure (symbol Pv) ou vapor pressure):

La pression de vapeur saturante est la pression à laquelle un fluide passe de l'état gazeux à l'état liquide (ou de l'état liquide à gazeux) pour une température donnée.

Si la température du fluide augmente, la pression à laquelle le fluide passe de l'état liquide à gazeux (pression de vapeur saturante) augmente. C'est ainsi qu'un liquide comme l'eau peut se transformer en vapeur à pression ambiante par apport de chaleur, mais il est possible de faire cette transformation sans varier la température en abaissant la pression ambiante au-dessous de la pression de vapeur saturante.

Calcul de la pression de vapeur saturante

Le calcul approximatif de la pression de vapeur saturante peut se faire à l'aide d'une formule issue de l'équation de Clapeyron, en prenant comme hypothèses — entre autres — que la vapeur se comporte comme un gaz parfait et que l'enthalpie (*l'enthalpie est une grandeur thermodynamique égale à la somme de l'énergie interne et du produit de la pression par le volume. Elle est souvent utilisée pour calculer l'énergie échangée lors d'un changement d'état ou d'une réaction chimique. Exprimée en Joules par kilogrammes (J/kg)*) de vaporisation ne varie pas avec la température dans la plage considérée.

$$\ln \frac{P_{sat}}{P_0} = \frac{M \cdot L_v}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)$$

avec :

- T₀ : température d'ébullition de la substance à une pression P₀ donnée, en K
- P_{sat} : pression de vapeur saturante, dans la même unité que P₀
- M : masse molaire de la substance, en kg/mol
- L_v : chaleur latente de vaporisation de la substance, en J/kg

- R : constante des gaz parfaits, égale à 8,31447 J/K/mol
- T : température de la vapeur, en K
- Pour l'eau, par exemple :
- M = 0,018 kg/mol
- $L_v = 2,26 \times 10^6$ J/kg
- $P_0 = 1013$ mbar
- $T_0 = 373$ K

Tension superficielle (Surface tension):

La tension superficielle est donc la force de traction par unité de longueur agissant sur un élément de surface, situé dans un plan tangent à la surface et qui s'oppose à la dilatation de celle-ci. Elle est due à l'attraction entre les molécules et elle mesure la résistance à l'augmentation de surface.

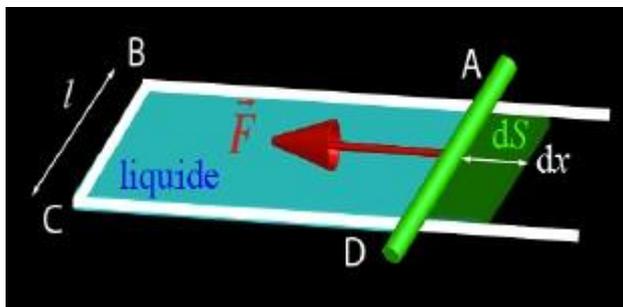
Pour augmenter d'une quantité élémentaire dS , l'aire de la surface libre d'un liquide, il faut lui apporter une énergie (travail), proportionnelle à dS , telle que :

$$dW = \gamma dS$$

énergie superficielle de l'élément de surface dS
→ énergie potentielle
tension superficielle
• dimension: MT^{-2}
• unité: $N.m^{-1}$ ou $J.m^{-2}$

La tension superficielle est l'énergie superficielle d'un liquide par unité d'aire de sa surface libre.

FORCES DE TENSION SUPERFICIELLES (FORCES CAPILLAIRES)



Soit un mince film liquide à l'intérieur d'un cadre rigide rectangulaire ayant un côté AD mobile. On appelle \vec{F} la résultante des forces de tension superficielles s'exerçant sur AD (action du liquide sur la barre mobile)
A l'équilibre, le système est immobile.

On écarte ensuite la partie mobile AD d'une quantité dx (opposé à \vec{F})

La surface du film augmente donc d'une quantité :

$$dS = 2l dx$$

La variation d'énergie superficielle engendrée est alors égale, en valeur absolue, au travail de la résultante des forces capillaires s'exerçant sur AD telle que :

$$|dW| = \gamma dS = 2\gamma l dx \quad (1)$$

Par définition, le travail d'une force (parallèle au déplacement) est de la forme :

$$|dW| = \|\vec{F}\| dx \quad (2)$$

D'après les relations 1 et 2, on obtient :

$$\|\vec{F}\| = 2\gamma l \quad \boxed{\|\vec{F}\| = \gamma L} \quad \text{avec: } L = 2l$$

force de tension superficielle
(ou force de surface, ou force capillaire)

La tension superficielle d'un liquide est égale à la norme de la force de tension superficielle (force tangentielle) par unité de longueur exercée par le liquide perpendiculairement au contour de sa surface libre.

Capillarité (Capillarity):

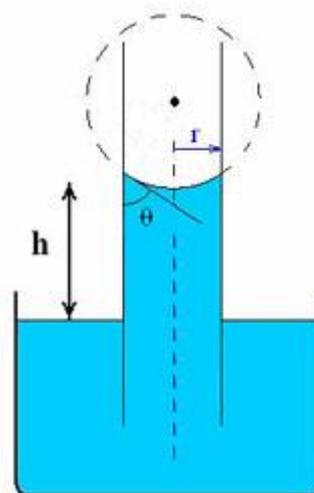
La capillarité est l'étude des interfaces entre deux liquides non miscibles, entre un liquide et l'air ou entre un liquide et une surface.

Le phénomène de la capillarité désigne ordinairement la capacité de l'eau et de certains liquides à monter naturellement malgré la force de gravité le long de tubes très fins plongés dans ces liquides.

La remontée est d'autant plus forte que le tube

La capillarité regroupe l'ensemble des qui ont lieu à la surface d'un liquide au contact solide, le liquide s'élève au dessus du niveau plupart des liquides, ou il descend en dessous Ceci dans des conditions atmosphériques

le phénomène de la capillarité est basé sur une loi : celle de Jurin.



est fin.

phénomènes d'une paroi de l'eau pour la pour d'autres normales. Tout

Explications

La hauteur à laquelle montera (ou descendra) le liquide peut être calculée grâce à la formule suivante :

$$h = \frac{2\gamma \cos(\theta)}{r \cdot \rho \cdot g}$$

h est la hauteur du liquide au dessus du niveau de l'eau en m ;

γ est la tension superficielle du liquide (Voir chapitre suivant) en N.m-1 ;

θ est l'angle de raccordement entre le liquide et la paroi du tube (Voir chapitre suivant) en ° ;

ρ est la masse volumique du liquide en g.cm-3 ;

r est le rayon du tube en mm;

g est l'accélération de la pesanteur, c'est une constante valant environ 9,81 m.s-2;

Cette loi est valable à température et pression ambiante uniquement.

Effet sur l'eau et le mercure

Exemple

Prenons l'exemple de l'eau à température ambiante :

sa tension superficielle est de $7,3 \cdot 10^{-2}$ N.m-1.

son angle de raccordement s'approche d'une valeur nulle (on prendra donc 0°).

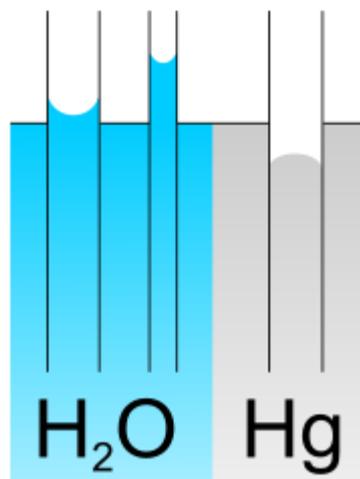
sa masse volumique vaut 1 g.cm³

L'accélération de la pesanteur vaut approximativement 9,81 m.s-2 à la surface de la Terre.

L'application numérique est donc :

$$\frac{2 \times 7,2 \cdot 10^{-3} \times \cos 0}{9,81 \times 0,5 \times 1} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{m} = 2,9 \text{cm}$$

On peut en déduire qu'en insérant un tube capillaire d'un rayon de 0.5mm, l'eau montera de 2,9cm dans le tube.



Loi des gaz parfaits

Quelle est la loi des gaz parfaits ?

Il existe une loi des gaz parfaits qui s'écrit sous la forme $PV = nRT$, où P est la pression d'un gaz (en pascals), V le volume occupé par le gaz (en m^3), n la quantité de matière (en moles), R la constante universelle des gaz parfaits (8,3144621 J/K/mol), et T est la température (en kelvins).

Quels sont les facteurs qui influencent le comportement des gaz ?

Afin de décrire le comportement des gaz, quatre variables sont nécessaires : la pression, la température, le volume et le nombre de moles de gaz.

Est-ce que l'air est un gaz parfait ?

Comportement de l'air (mélange de gaz)

Les expériences faites sur l'air montrent qu'il se comporte comme un gaz parfait aux faibles pressions. C'est-à-dire qu'aux faibles pressions (P inférieure à quelques atmosphères), les variables d'état de l'air sont liées par l'équation d'état des gaz parfaits.

Comment réagissent les gaz selon la situation ?

- Le gaz parfait
- le gaz réel
- Les gaz et la thermodynamique
- La pression d'un gaz
- La quantité de mouvement
- Le gaz peut servir d'isolant : le cas du double-vitrage

Le gaz parfait

Caractéristiques du gaz parfait

- Le gaz parfait est un modèle simplifié des gaz. Ce modèle est construit sur les deux hypothèses suivantes:
- Les molécules sont considérées comme des points matériels. C'est-à-dire que l'on néglige leur volume propre devant le volume occupé par le gaz.
- On néglige toutes les interactions entre les molécules à l'exception des interactions qui ont lieu lors des chocs entre ces molécules.

Équation d'état du gaz parfait

Les variables d'état, pression P , volume V , température T et quantité de matière n , d'un gaz parfait en équilibre et au repos sont liées par une relation appelée équation d'état des gaz parfaits:

$$P \times V = n \times R \times T$$

Avec :

- P est la pression d'un gaz (en pascals) ;
- V le volume occupé par le gaz (en m^3) ;
- n la quantité de matière (en moles) ;
- R la constante universelle des gaz parfaits (8,3144621 J/K/mol) ;
- Et T est la température (en kelvins).

Le gaz réel

Comportement de l'air (mélange de gaz)

Les expériences faites sur l'air montrent qu'il se comporte comme un gaz parfait aux faibles pressions. C'est-à-dire qu'aux faibles pressions (P inférieure à quelques atmosphères), les variables d'état de l'air sont liées par l'équation d'état des gaz parfaits.

Comportement des autres gaz

La plupart des gaz (et des mélanges de gaz) se comportent comme des gaz parfaits aux faibles pressions. Ce sera le cas de tous les gaz (et de tous les mélanges de gaz) que nous considérerons dans la suite de ce cours.

Ce comportement des gaz aux faibles pressions peut s'expliquer en considérant qu'à température constante, plus le volume occupé par une quantité de matière de gaz donnée augmente plus la pression de ce gaz diminue. Il s'ensuit deux conséquences. Aux faibles pressions:

Les distances entre les molécules du gaz devenant très grandes, les interactions entre ces molécules deviennent quasi négligeables.

Le volume de chaque molécule (volume propre des molécules) devient négligeable devant le volume occupé par le gaz. Les molécules peuvent alors être considérées comme quasi ponctuelles.

Il s'agit précisément des hypothèses faites pour construire le modèle du gaz parfait. En résumé, l'intérêt de définir un gaz parfait (qui n'existe pas) réside dans les faits que:

Son comportement est particulièrement simple à étudier à l'aide de l'équation d'état :
 $P.V=n.R.T,$

Les gaz réels se comportent comme des gaz parfaits dans les conditions usuelles. C'est-à-dire que leurs variables d'état vérifient l'équation d'état des gaz parfaits.

Les gaz et la thermodynamique

Ce qu'on appelle transfert thermique en sciences est plus couramment appelé chaleur dans la vie quotidienne. Un transfert thermique correspond à l'un des modes d'échange d'énergie thermique entre deux systèmes. Dans le cas du double vitrage, on parlera du système extérieur et du système intérieur (la maison). Cela correspond à une notion fondamentale de la thermodynamique et, contrairement au travail, les transferts thermiques correspondent à un bilan de transferts d'énergie dits microscopiques et désordonnés.

Il est possible de distinguer trois types de transfert thermique, tous pouvant coexister :

La conduction correspond à la diffusion progressive de l'agitation thermique dans la matière: La conduction thermique, également appelée diffusion thermique, correspond à un mode de transfert thermique qui est provoqué par la présence d'un gradient de température entre deux régions qui composent un même milieu ou alors entre deux milieux qui sont en contact direct. Il va alors y avoir, contrairement à la convection, un transfert d'énergie thermique sans déplacement global de matière à l'échelle macroscopique. Il est alors possible d'interpréter ce mode de transfert thermique comme étant la transmission de proche en proche de l'agitation thermique. Autrement dit, un atome, voire une molécule, va céder une partie de son énergie cinétique à un atome, ou une molécule, qui est à son voisinage.

La convection correspond au transfert thermique qui accompagne des déplacements macroscopiques de la matière ;

Et le rayonnement qui correspond à la propagation de photons.

Ainsi, la quantité de chaleur, notée Q et exprimée en joule, correspond à la quantité d'énergie qui sera échangée par le moyen de ces trois différents type de transfert. Une convention indique alors que, lorsque $Q > 0$, on dit que le système reçoit de l'énergie. De plus, il peut être intéressant de retenir que la thermodynamique fait appel au concept de chaleur afin de mettre en place le premier mais aussi de deuxième principe de la thermodynamique.

Malgré tout cela, il reste de nombreuses ambiguïtés mais également de nombreuses confusions qui s'entretiennent. En effet, malgré le sens que l'on accorde à chaleur dans la vie quotidienne, le principe de chaleur au sens thermodynamique du mot n'a aucun lien avec la température. Cependant, il reste vrai que les transferts thermiques spontanés se font toujours du système le plus élevé en température vers le système le moins élevé en température même s'il reste possible de provoquer l'inverse grâce à une machine thermique comme un réfrigérateur.

Il est d'ailleurs intéressant de noter que, lorsqu'il y a un changement d'état, le corps pur ne changera pas de température bien qu'il échange de l'énergie sous forme de chaleur.

La thermodynamique

Il est important de noter que le premier et le deuxième principe de la thermodynamique sont les plus importants, mais il peut être tout de même intéressant de connaître les deux autres.

Le principe zéro de la thermodynamique

Ce principe concerne la notion d'équilibre thermique. Ainsi, il est à la base de la thermométrie et s'énonce ainsi : si deux systèmes sont en équilibre thermique avec un troisième, alors ils sont aussi ensemble en équilibre thermique.

Le premier principe de la thermodynamique

Egalement appelé principe de la conservation de l'énergie, ce principe affirme que l'énergie est toujours conservée. Formulé autrement, cela signifie que l'énergie totale d'un système isolé reste constante. Ainsi, les événements qui se produisent au sein du système isolé ne se traduisent donc que par des transformations de certaines formes d'énergie en d'autres formes d'énergie. Puisque l'énergie ne peut pas être produite en partant de rien, elle est présente en quantité invariable dans la nature. Elle ne peut donc que se transmettre d'un système à un autre : on ne crée par l'énergie, on la transforme.

Ce principe est également considéré comme étant une loi générale pour toutes les théories physiques, notamment en mécanique, électromagnétisme ou physique nucléaire puisqu'on ne lui a jamais trouvé la moindre exception même si des doutes peuvent subsister lorsque l'on étudie les désintégrations radioactives.

De puis le théorème de Noether, on sait que la conservation de l'énergie est intimement reliée à une uniformité de structure de l'espace-temps.

Le premier principe de la thermodynamique rejoint alors le célèbre principe popularisé par Lavoisier : "Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme."

Le deuxième principe de la thermodynamique

Egalement appelé principe d'évolution des systèmes, ce principe affirme la dégradation de l'énergie. En effet, l'énergie d'un système passe de façon nécessaire et spontanée de formes concentrées et potentielles à des formes diffuses et cinétiques telles que le frottement ou la chaleur.

Ce principe introduit donc également la notion d'irréversibilité d'une transformation et la notion d'entropie. En effet, d'après le deuxième principe de la thermodynamique, l'entropie d'un système isolé augmente ou reste constante. Souvent interprété comme une mesure du désordre et comme l'impossibilité du passage du désordre à l'ordre sans intervention extérieur.

L'interprétation de ce principe se base sur la théorie de l'information de Claude Shannon et la mesure de cette information, également appelée entropie de Shannon.

La principale différence de ce principe avec le premier principe de la thermodynamique est l'origine statique de ce deuxième principe. En effet, les lois microscopiques qui gouvernent la matière ne le contiennent qu'implicitement et de manière statique. Cependant, le deuxième principe de la thermodynamique reste relativement indépendant des caractéristique des lois précédemment citée puisqu'il apparaît même si l'on suppose des lois simplistes à petite échelle.

Le troisième principe de la thermodynamique

Ce principe, quant à lui, est associé à la descente vers un état quantique fondamental d'un système dont la température s'approche d'une limite qui définit la notion de zéro absolu. En effet, en thermodynamique classique, ce principe permet de calculer l'entropie molaire S d'un corps pur par intégration sur la température à partir de $S=0$ à 0 K dans le but d'établir des tables de données thermodynamiques.

La loi de Laplace en thermodynamique

En thermodynamique, cette loi correspond à une relation reliant la pression et le volume d'un gaz parfait qui subit une transformation dite isentropique ou une transformation dite adiabatique et réversible. Mais cette relation peut également être utilisée avec la température et le volume ainsi que la température et la pression.

La loi de Laplace suppose en effet des capacités thermiques constantes alors que les capacités thermiques d'un gaz parfait dépendent évidemment de la température, il suffit de regarder la loi des gaz parfait. En conséquence, cette loi ne peut être appliquée à des transformations où la variation de la température est peu importante. On peut alors considérer que les capacités thermiques sont constantes.

La pression d'un gaz

La pression correspond à une grandeur physique qui permet de traduire les échanges de quantité de mouvement au sein d'un système thermodynamique, notamment au sein d'un solide ou encore d'un fluide. On peut alors définir la pression comme correspondant à l'intensité de force que va exercer une fluide par unité de surface.

La pression est une grandeur scalaire, voire tensorielle, intensive.

Il faut être prudent lorsque l'on parle de la pression. En effet, nombreux sont ceux qui parlent de pression exercée par un fluide sur une paroi pour parler de la force pressante que le fluide va exercer par unité d'aire de la paroi. Cependant, la force correspond plutôt à une grandeur vectorielle que l'on définit localement alors que la pression correspond à une grandeur scalaire qui est définie en tout point du fluide concerné.

Les unités de pression

L'unité de pression est le Pascal noté (Pa), même si l'on parle parfois du Bar qui, lui, n'est pas une unité du Système International.

L'analyse dimensionnelle de la pression permet de montrer que celle-ci est homogène à une force surfacique ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$) comme à une énergie volumique ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ J/m}^3$).

Le volume molaire

Le volume molaire d'un gaz V_m est le volume occupé par 1 mole de ce gaz dans des conditions de température et de pression donnés. On peut déterminer ainsi le volume molaire par la formule suivante :

$$V_m = \frac{R \times T}{P}$$

En sachant que V_m s'exprime en L.mol^{-1}

Pour ce qui est des gaz, le volume V et la quantité de matière n sont liés par :

$$n = \frac{V}{V_m}$$

$$V = n \times V_m$$

La quantité de mouvement

En physique, on appelle la quantité de mouvement tout produit de la masse par le vecteur vitesse d'un corps matériel que l'on suppose ponctuel. Ainsi, la quantité de mouvement correspond à une grandeur vectorielle que l'on définit par

$$\vec{p} = m \times \vec{v}$$

qui dépendra du référentiel d'étude.

De plus, en utilisant l'additivité, on est capable de définir la quantité de mouvement d'un corps non ponctuel ou système matériel. De ce fait, il devient possible de démontrer que la quantité de matière est égale à la quantité de mouvement du centre d'inertie de l'objet étudié affecté de la masse totale du système. On a donc

$$\vec{P} = M \times \vec{v}_c$$

où C correspond au centre d'inertie. On utilise le kg.m.s^{-1} comme unité.

De façon logique et naturelle, la notion de quantité de mouvement s'introduit en dynamique. En effet, la relation fondamentale de la dynamique exprime le fait que l'action d'une force extérieure sur un système conduit à une variation de sa quantité de mouvement par l'expression suivante :

$$\vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d \vec{p}}{d t}$$

On peut également dire de la notion de quantité de mouvement qu'elle fait partie, de la même façon que l'énergie, des grandeurs qui se conservent dans un système isolé et donc un système qui n'est soumis à aucune action extérieure ou alors ces mêmes actions extérieures sont négligeables ou se compensent. On utilise d'ailleurs fréquemment cette propriété en théorie des collisions.

$$p_i = \frac{\delta L}{\delta q_i}$$

.Dans le cas d'un champ électromagnétique, on appelle la quantité de mouvement impulsion. Elle fait alors référence à la densité volumique d'impulsion du champ donné par la formule : se calcule comme la somme des densités volumiques d'énergies des champs électrique et magnétique

$$\vec{g} = \epsilon_0 \vec{E} * \vec{B} = \frac{1}{c^2} \vec{R}$$

E- champ électrique (unité: volt par mètre, V m-1) - champ vectoriel

B- champ magnétique (unité: Tesla) -champ vectoriel

On définit un tesla par un flux d'induction magnétique d'un weber par mètre carré : 1 T = 1 Wb m⁻² = 1 kg s⁻² A⁻¹ = 1 N A⁻¹ m⁻¹ = 1 kg s⁻¹ C⁻¹ .

ϵ_0 – Permittivité du vide (constante (di) électrique qui est une constante physique= 8,85418782 × 10⁻¹² m-3 kg-1 s⁴ A², c'est une propriété physique qui décrit la réponse d'un milieu donné à un champ électrique appliqué).

c- cte homogène à une vitesse (vitesse de la lumière dans le vide)

\vec{R} - flux par unité de surface