

OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

**Office de la Formation Professionnelle
et de la Promotion du Travail
DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION**

FROID ET GÉNIE THERMIQUE

**RÉSUMÉ THÉORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

Module n° : **PHYSIQUE APPLIQUEE**

Spécialité : **MAINTENANCE HOTELIERE**

Niveau : **TECHNICIEN**

JUILLET 2005

PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : www.marocetude.com

Pour cela visiter notre site www.marocetude.com et choisissez la rubrique :

[MODULES ISTA](#)



The screenshot shows the website's navigation bar with the following menu items: HOME, LIVRES, **MODULES ISTA**, ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, SE CONNECTER. The main header features the logo 'Maroc Etude.Com' and the tagline 'Connaissance - Métier - Technique'. Below the header are links for 'Annonces Google', 'Emploi Maroc', 'Messagerie', 'Telecharger Un Jeu', and 'Maroc Annonces'. A search bar is located on the right. The main content area includes a sidebar with 'Nous avons 14 invités en ligne' and a list of links: 'Annonces Google', 'Annonces Emploi Maroc', 'Jeux Telecharger Gratuit', and 'Jeux PC En Ligne'. The central banner advertises 'MacKeeper' with a '-20%' discount and a coupon code. The right sidebar contains 'Annonces Google' and a list of links: 'Jeu De Jeux', 'Jeux Sur Internet', 'Ecole Ingénieur', 'Dépanner et configurer votre réseau à domicile', '(Outil de Diagnostic)', 'Wi-Fi / Ethernet', 'Console de jeu', 'Imprimante', and 'Messagerie'. At the bottom, a quote reads: '"On ne jouit bien que de ce qu'on partage"' [Madame de Genlis].

REMERCIEMENTS

La DRIF remercie les personnes qui ont participé ou permis l'élaboration de ce Module de formation.

Pour la supervision :

M. GHRAIRI Rachid

Directeur du CDC Froid et Génie Thermique

M. BOUJNANE Mohamed

Chef du pôle Froid et Génie Thermique

Pour l'élaboration

Mr Ben Yaacoub Younesss Formateur à Lista fes

Pour la validation :

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.

**M. SAID SLAOUI
DRIF**

SOMMAIRE

CONTENUS	PAGE
I. Présentation générale de la physique et des unités	5
1 La physique et les mathématiques.....	Erreur ! Signet non défini.
2 Les premières études de physique	Erreur ! Signet non défini.
3 Les unités	Erreur ! Signet non défini.
4 Les multiples et sous multiples d'unités	Erreur ! Signet non défini.
5 Conventions d'écriture	8
6 Les grandeurs physiques fondamentales	10
7 Coupe du monde des unités	11
II. Le volume - La masse - La masse volumique.....	12
1 Les volumes.....	12
2 Le volume des cylindres	18
3 Formulaire récapitulatif sur les cylindres.....	22
4 Les masses.....	23
5 Les masses volumiques.....	24
6 La densité	26
III. La température - La dilatation des corps	28
1 Température et changement d'état.....	28
2 Mesure des températures	29
3 Dilatation de tuyauteries	30
4 Dilatation et rétractation de l'eau.....	31
5 Dilatation de l'air	32
IV. Les débits volumiques et massiques.....	34
1 Les débits volumiques	34
2 Relation entre vitesse et section de passage.....	35
3 Relation entre débit, vitesse et section de passage.....	36
4 Les taux de brassage.....	38
5 Conservation des « débits de voiture ».....	39
6 Conservation des « débits d'eau ».....	40
7 Les débits massiques	42
V. Le poids - La pression	44

1 Le poids	44
2 Les pressions.....	45
3 Les pressions d'eau.....	46
4 Les unités de pressions	47
5 La mesure des pressions.....	48
6 Pressions sur un plan horizontal.....	50
7 Pressions sur un plan vertical.....	51
8 Pressions dans les installations de chauffage et de climatisation.....	52
VI. La chaleur.....	54
1 L'énergie	54
2 La chaleur.....	55
3) Quantité d'énergie	56
4 Chaleur massique	57
5 Calcul des quantités de chaleur sans changement d'état physique.....	58
6 Utilisation de la formule $Q = M C_m \Delta T$	59
7 Exemples de chaleurs massiques.....	61
VII. La puissance	61
1 La puissance.....	61
2 Unité de puissance et fourniture d'énergie.....	62
3 Le kilowattheure.....	63
4 Etude de la relation puissance / énergie.....	64
5 Calculs à partir des formules $Q = M C \Delta T$ et $P = Q/t$	65

I. PRESENTATION GENERALE DE LA THERMODYNAMIQUE ET DES UNITES**Exercices**

Nous allons nous entraîner à convertir en unité de base :

Convertir en unité de base	
1 centimètre = 0,01 [m] mètre	1 mégajoule = [J] Joule
1 mégawatt = [W] Watt	1 kilopascal = [Pa] Pascal
1 décamètre = [m] mètre	1 millivolt = [V] Volt
1 décibel = [B] Bel	1 centigramme = [g] gramme

Réponses

1 centimètre = $1/100 = 0,01$ [m] mètre	1 mégajoule = $1\ 000\ 000 = 10^6$ [J] Joule
1 mégawatt = $1\ 000\ 000 = 10^6$ [W] Watt	1 kilopascal = $1\ 000 = 10^3$ [Pa] Pascal
1 décamètre = 10 [m] mètre	1 millivolt = $1/1000 = 0,001$ [V] Volt
1 décibel = $1/10 = 0,1$ [B] Bel	1 centigramme = $1/100 = 0,01$ [g] gramme

Exercices

Convertir en unité de base	
1 kilojoule = 1000 [J] Joule	1 décilitre = [l] litre
1 centilitre = [l] litre	1 décapascal = [Pa] Pascal
1 mégatonne = [t] tonne	1 kilovolt = [V] Volt
1 milligramme = [g] gramme	1 millimètre = [m] mètre

Réponses

1 kilojoule = 1000 ou 10^3 [J] Joule	1 décilitre = $1/10 = 0,1$ [l] litre
1 centilitre = $1/100 = 0,01$ [l] litre	1 décapascal = 10 [Pa] Pascal
1 mégatonne = $1000.000 = 10^6$ [t] tonne	1 kilovolt = 1000 [V] Volt
1 milligramme = $1/1000 = 0.001$ [g] gramme	1 millimètre = $0,001$ [m] mètre

Exercices

Convertir en unité de base	
10 centimètres = 0,1 [m]	0,1 mégajoule = [J]
10 mégawatts = [W]	10 kilopascals = [Pa]
10 décapascals = [Pa]	100 millivolts = [V]
10 millimètres = [m]	0,1 centigramme = [g]

Réponses

10 centimètres = $10 \times 1/100$ mètre = 0,1 [m]	0,1 mégajoule = $1\ 000\ 000 \times 0,1 =$ 100 000 [J]
10 mégawatts = $10\ 000\ 000\ W = 10^7$ [W]	10 kilopascals = 10.000 [Pa]
10 décapascals = 10×10 pascal = 100 [Pa]	100 millivolts = $100 \times 0,001 =$ 0,1 [V]
10 millimètres = $10 \times 1/1000$ mètre = 0,01 [m]	0,1 centigramme = $0,01 \times 0,1 =$ 0,001 [g]

Exercices

<i>Convertir en unité de base</i>	
100 centilitres =[l]	0,01 kilojoule = [J]
0,1 décilitre =[l]	100 décamètres = [m]
0,01 kilovolt =[V]	10 mégatonnes = [t]
10 millimètres =[m]	0,1 centigramme = [g]

Réponses

100 centilitre = 0,01 [l]	0,01 kilojoule = 10 [J]
0,1 décilitre = 0,01 [l]	100 décamètre = 1000 [m]
0,01 kilovolt = 10 [V]	10 mégatonne = 10 000 000 ou 10^7 [t]
10 millimètres = 0,01 [m]	0,1 centigramme = 0,001 [g]

5 CONVENTIONS D'ECRITURE

Il est important de savoir reconnaître et utiliser les abréviations des multiples et sous-multiples. Ceci va jusqu'à respecter l'écriture en majuscule lorsque c'est l'usage. Ainsi, le mégawatt a pour abréviation [MW] et non [mw]. Ce sera très important de s'y habituer pour éviter de nombreuses erreurs. Nous verrons dans les dossiers de physique, que lorsque l'unité provient du nom d'un savant tel que Celsius, Pascal, Newton, l'unité s'écrira avec une majuscule : °C et non °c, Pa et non pa, N et non n etc.

Nous allons nous y entraîner.

Exercices

<i>Ecrire en abrégé</i>			
mégawatt =	[MW]	millimètre =	[...m]
kilowatt =	[...W]	kilopascal =	[...Pa]
décamètre =	[...m]	mégatonne =	[...t]

Réponses

mégawatt =	[MW]	millimètre =	[mm]
kilowatt =	[kW]	kilopascal =	[kPa]
décamètre =	[dam]	mégatonne =	[Mt]

Exercices

<i>Ecrire en abrégé</i>			
décibel =	[dB]	centigramme =	[...g]
décapascal =	[...Pa]	décilitre =	[...l]
milligramme =	[...g]	Mégajoule =	[...J]

Réponses

décibel =	[dB]	centigramme =	[cg]
décapascal =	[daPa]	décilitre =	[dl]
milligramme =	[mg]	Mégajoule =	[MJ]

Nous allons nous entraîner à reconnaître les abrégés.

Exercices

<i>Écrire littéralement</i>			
[MW] =	<u>mégawatt</u>	[mm] =	____mètre
[kW] =	____watt	[kPa] =	____pascal
[dam] =	____mètre	[cl] =	____litre

Réponses

[MW] =	<u>mégawatt</u>	[mm] =	<u>millimètre</u>
[kW] =	<u>kilowatt</u>	[kPa] =	<u>kilopascal</u>
[dam] =	<u>décamètre</u>	[cl] =	<u>centilitre</u>

Exercices

<i>Écrire littéralement</i>			
[dB] =	<u>décibel</u>	[cg] =	____gramme
[daPa] =	____pascal	[dl] =	____litre
[mg] =	____gramme	[MJ] =	____joule

Réponses

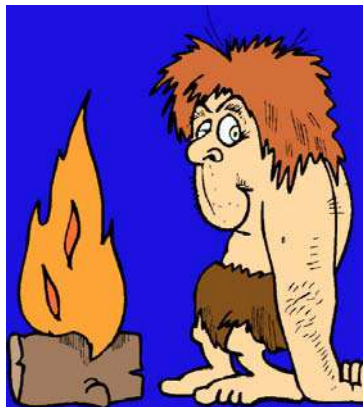
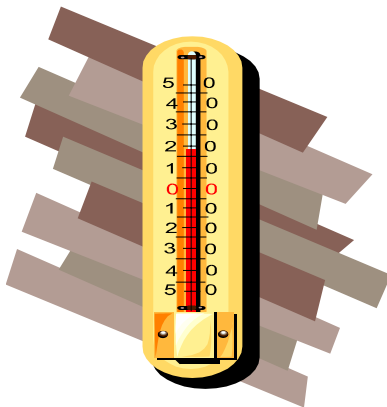
[dB] =	<u>décibel</u>	[cg] =	<u>centigramme</u>
[daPa] =	<u>décapascal</u>	[dl] =	<u>décilitre</u>
[mg] =	<u>milligramme</u>	[MJ] =	<u>mégajoule</u>

6 LES GRANDEURS PHYSIQUES FONDAMENTALES

Nous avons vu que nos ancêtres préhistoriques se sont certainement intéressés à 3 grandeurs physiques essentielles : le temps, les longueurs et les masses.

En fait, il ne manquait que l'étude de 2 autres grandeurs pour couvrir la plupart des grandeurs constitutives de l'univers (et en tout cas celles de notre branche professionnelle) :

- La température : T
- L'intensité électrique : I



Nous verrons que les autres grandeurs physiques dont nous aurons besoin (débit, pression, énergie, puissance, tension etc.) découleront de ces 5 grandeurs fondamentales (temps, longueur, masse ; température, intensité électrique). Toutes les autres grandeurs seront des grandeurs composées à partir des 5 fondamentales.

Ainsi :

- La surface est une grandeur composée à partir de la longueur.
- La vitesse est une grandeur composée à partir de la longueur et du temps.
- L'énergie est une grandeur composée à partir de la longueur et du temps et de la masse
- Etc.

Les 5 grandeurs fondamentales pourront s'écrire en abrégé :

- t** = temps
- L** = Longueur
- M** = Masse
- T** = Température
- I** = Intensité électrique


Ces 5 lettres (t, L, M, T, I) ne sont pas de nouvelles unités mais l'appellation simplifiée des 5 grandeurs fondamentales.

7 COUPE DU MONDE DES UNITES


En 1960, les unités internationales actuelles furent définies et nommées. Lors de cette compétition internationale, la France et l'Angleterre l'emportèrent...

Dans la suite de notre formation nous étudierons en détail :


➤ **Le temps**

Les unités internationales actuelles nous viennent des Babyloniens  (plusieurs millénaires avant Jésus Christ).


➤ **Les longueurs, les surfaces et les volumes**

Les unités internationales actuelles découlent du mètre [m] défini en France  à la fin du 18^{ème} siècle.

➤ **La masse, la masse volumique**


Les unités internationales actuelles découlent du kilogramme [kg] défini en France  à la fin du 18^{ème} siècle.

➤ **La température :**


L'unité internationale actuelle est le kelvin [K] du nom du physicien anglais  William KELVIN (19^{ème} siècle).

Mais en Angleterre le degré Fahrenheit [°F] et en France le degré Celsius [°C] restent solidement ancrés.


➤ **Les vitesses, le débit**

Les unités internationales actuelles découlent du mètre [m] défini en France  à la fin du 18^{ème} siècle.


➤ **Les forces (poids)**

L'unité internationale est le newton [N] (Isaac NEWTON , 17^{ème} siècle)


➤ **Les pressions**

L'unité internationale est le pascal [Pa] (Blaise PASCAL , 17^{ème} siècle)


➤ **L'énergie**

L'unité internationale est le joule [J] (James JOULE , 19^{ème} siècle)

➤ **La puissance**

L'unité internationale est le watt [W] (James WATT , 18^{ème} siècle)


➤ **L'intensité électrique**

L'unité internationale est l'ampère [A] (André AMPERE , 19^{ème} siècle)

➤ **La tension électrique**

L'unité internationale est le volt [V] (Allesandro VOLTA , 18^{ème} siècle)

➤ **La résistance électrique**

L'unité internationale est l'ohm [Ω] (Georg OHM , 19^{ème} siècle)

Pour les unités qui nous intéressent, la France mène donc devant l'Angleterre 5 buts à 4 et devant l'Italie, l'Allemagne et l'Irak... par 5 buts à 1.



II. LE VOLUME - LA MASSE - LA MASSE VOLUMIQUE

1 LES VOLUMES

Le volume est l'espace occupé par un corps. C'est une grandeur composée à partir de la multiplication de 3 longueurs.

La lettre symbole représentant le volume est **V**.

On peut écrire, en utilisant les lettres symboles des surfaces et des longueurs :

$$V = L \times L \times L$$

(Volume = Longueur \times Longueur \times Longueur)

Si on utilise la lettre symbole de la surface :

$$V = S \times L$$

(Volume = Surface \times Longueur)

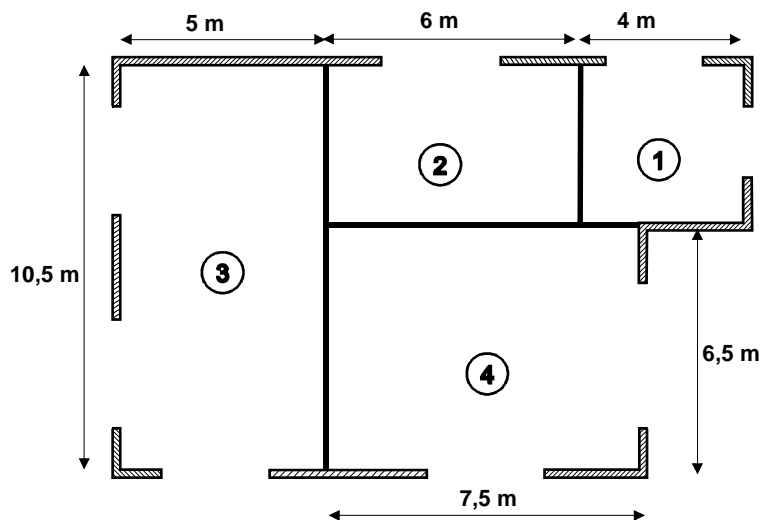
L'unité internationale de la longueur étant le [m], l'unité internationale de volume est donc le [m³] (mètre cube) : $[m^3] = [m] \times [m] \times [m]$

Remarques

- Les longueurs peuvent aussi bien être des largeurs, des hauteurs, des diamètres etc. que des longueurs au sens général du terme.
- Le volume d'un cube se calcule par la multiplication de ses 3 côtés (d'égales longueurs).
- Le volume d'une « boîte rectangulaire » (parallélépipède rectangle) se calcule par la multiplication dans un ordre indifférent de sa longueur, par sa largeur, par la hauteur.
- Le calcul d'un volume doit impérativement s'effectuer par la multiplication de 3 longueurs exprimées dans la même unité. Ainsi, 3 longueurs exprimées en [m] permettront le calcul d'une surface en [m²], 3 longueurs exprimées en [dm] permettront le calcul d'une surface en [dm²], 3 longueurs exprimées en [cm] permettront le calcul d'une surface en [cm²].

Exercice :

La hauteur sous plafond (h.s.p.) des pièces du logement défini ci-dessous est de 2,5 [m]. En négligeant l'épaisseur des parois, calculez en [m³] les volumes des pièces 3 et 4.



Remarque : la cotation de cette figure est volontairement mal réalisée.

Réponse

Volume de la pièce n°3 : 131,25 [m³]

Volume de la pièce n°4 : 121,87 [m³]

Explication

Le volume de la pièce n° 3 est égal à : $10,5 \text{ [m]} \times 5 \text{ [m]} \times 2,5 \text{ [m]} = 131,25 \text{ [m}^3\text{]}$

On peut bien évidemment commencer par calculer la surface de la pièce et ensuite multiplier par la hauteur :

soit $S = 10,5 \text{ [m]} \times 5 \text{ [m]} = 52,5 \text{ [m}^2\text{]}$ et $V = 52,5 \text{ [m}^2\text{]} \times 2,5 \text{ [m]} = 131,25 \text{ [m}^3\text{]}$

Nb : Ce résultat est arrondi à 2 décimales.

Le volume de la pièce n° 4 est égal à : $7,5 \text{ [m]} \times 6,5 \text{ [m]} \times 2,5 \text{ [m]} = 121,87 \text{ [m}^3\text{]}$

Nb : Ce résultat est arrondi à 2 décimales.

Exercice :

En négligeant l'épaisseur des parois, calculez en $[\text{m}^3]$ les volumes des pièces 1 et 2.

Réponse

Le volume de la pièce n°1 est égal à $40 \text{ [m}^3\text{]}$

Le volume de la pièce n°2 est égal à $60 \text{ [m}^3\text{]}$

Explications

La dimension manquante pour calculer le volume de la pièce N° 1 est égale à la largeur totale du logement diminuée de la largeur de la pièce N° 4, donc $10,5 \text{ [m]} - 6,5 \text{ [m]} = 4 \text{ [m]}$

Le volume de la pièce n°1 est égal à $= 4 \text{ [m]} \times 4 \text{ [m]} \times 2,5 \text{ [m]} = 40 \text{ [m}^3\text{]}$

Le volume de la pièce n° 2 est égal à $= 6 \text{ [m]} \times 4 \text{ [m]} \times 2,5 \text{ [m]} = 60 \text{ [m}^3\text{]}$

Exercice :

Déterminez en $[\text{m}^3]$ le volume total du logement.

Réponse

Le volume total du logement est égal à $353,12 \text{ [m}^3\text{]}$

Explication

Le volume total du logement est égal à la somme des volumes des 4 pièces qui le composent, volumes que nous avons calculés précédemment.

- Volume de la pièce 1 = $40 \text{ [m}^3\text{]}$
- Volume de la pièce 2 = $60 \text{ [m}^3\text{]}$

- Volume de la pièce 3 = 131,25 [m³]
- Volume de la pièce 4 = 121,87 [m³]

Volume total du logement = 353,12 [m³]

Nb : Ce résultat est arrondi à 2 décimales.

On peut bien sûr calculer des volumes en utilisant des sous-multiples du [m³] tels que le dm³ (décimètre cube) :

$$[dm^3] = [dm] \times [dm] \times [dm] = 1 \text{ litre}$$

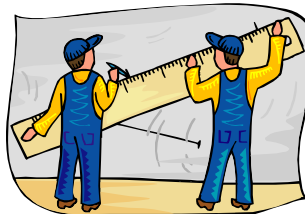
Le dm est égal à 0,1 [m] (1/10m) ; donc : [dm³] = [dm] × [dm] × [dm] = 0,1 [m] × 0,1 [m] × 0,1 [m] = 0,001 [m³]

Le [dm³] (le litre) est donc égal à 1/1000 de [m³]

Attention

- Nous avons appris que le décimètre équivalait à 1/10^{ème} de mètre, et que le [dm²] était égal à 1/100^{ème} du [m²]. Le [dm³] (le litre) est lui, égal à 1/1000 de [m³]
- Notez que l'appellation litre n'est pas spécifique aux liquides et à l'eau. Un bloc d'un litre de sable a le même volume qu'un litre d'eau.

En règle générale, les volumes seront calculés en [m³]. Il sera prudent quelles que soient les unités indiquées pour les longueurs **de les transformer d'abord en mètres** avant de calculer le volume qui sera alors obtenu directement en [m³].



Exercice : Après avoir transformé les longueurs en [m], calculez en [m³] le volume d'un parallélépipède rectangle de 85 [cm] × 6,5 [dm] × 832 [mm]. Convertissez ce volume en [dm³].

Réponse : Le volume est de 0,45968 [m³] soit 459,68 [dm³]

Explication

Convertissons les longueurs en [m] :

$$85 [cm] = 0,85 [m]$$

$$6,5 [dm] = 0,65 [m]$$

$$832 [mm] = 0,832 [m]$$

$$\text{Volume} = 0,85 [m] \times 0,65 [m] \times 0,832 [m] = 0,45968 [m^3] = 459,68 [dm^3]$$

Nb : Ce résultat est arrondi à 2 décimales.

Pour mémoire $1 \text{ [dm}^3\text{]} = 1 \text{ litre}$

Exercice : Après avoir transformé les longueurs en [m], calculez en $[\text{m}^3]$ le volume d'un espace de $1,5 \text{ [dm]} \times 53 \text{ [cm]} \times 3,7 \text{ [m]}$. Convertissez ce volume en litres.

Réponse

Le volume 294,15 litres

Explications

$$1,5 \text{ [dm]} = 0,15 \text{ [m]}$$

$$53 \text{ [cm]} = 0,53 \text{ [m]}$$

$$3,7 \text{ [m]} = 3,7 \text{ [m]}$$

$$\text{Volume} = 0,15 \text{ [m]} \times 0,53 \text{ [m]} \times 3,7 \text{ [m]} = 0,29415 \text{ [m}^3\text{]}$$

Nous savons que 1 litre est égal à $1 \text{ [dm}^3\text{]}$

Convertissons notre volume en $[\text{dm}^3]$: $0,29415 \text{ [m}^3\text{]} = 294,15 \text{ [dm}^3\text{]} = 294,15 \text{ litres}$

Remarque : Le volume se calcule par la multiplication de 3 longueurs. Ceci revient à multiplier une surface par une longueur :

$$V = L \times L \times L = S \times L$$

En conséquence, si l'on connaît un volume et sa section, on peut en déduire sa longueur ou sa hauteur :

$$V = L \times L \times L = S \times L$$

$$L = \frac{V}{S}$$

Exercice : Un local présente un volume de $80 \text{ [m}^3\text{]}$. Sa surface au sol est $32 \text{ [m}^2\text{]}$. Quelle est la hauteur de ce local ?

Réponse

La hauteur est égale à : $80 \text{ [m}^3\text{]} / 32 \text{ [m}^2\text{]} = 2,5 \text{ [m]}$

Exercice : Un « carton rectangulaire » présente un fond de $0,65 \text{ [m}^2\text{]}$. Son volume est de 293 litres. Quelle est sa profondeur en [m] ?

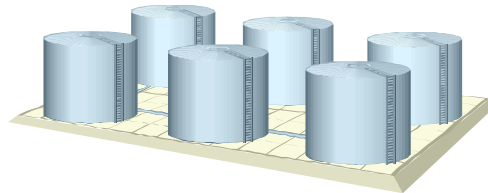
Réponse

La profondeur est égale à $0,45 \text{ [m]}$

Explication

293 litres représentent 293 [dm³] soit 0,293 [m³]

Profondeur = 0,293 [m³] / 0,65 [m²] = 0,45 [m]

2 LE VOLUME DES CYLINDRES

Le volume d'un cylindre s'obtient en multipliant sa section par sa longueur ou sa hauteur :

$$V = \left(\frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times L$$

Avec : V en [m³]

d : diamètre du cylindre en [m]

L : longueur ou hauteur en [m]

π : Coefficient « pi » = 3,14

Remarque

Si le diamètre et la longueur sont indiqués en [dm], le volume du cylindre sera calculé en [dm³] (litre) ; si le diamètre et la longueur sont indiqués en [cm], le volume sera calculé en [cm³] etc.

Exercice

Quel est en [m³] et en litres le volume d'un cylindre de diamètre 1,75 [m] et de 1,2 [m] de hauteur ?

Réponse : Le volume du cylindre est égal à 2,885 [m³] soit 2 885 litres

Explication

Le volume du cylindre est égal à la surface du cercle multipliée par la hauteur du cylindre.

Calculons la surface : $S = \frac{\pi \times d^2}{4} = (1,75^2 \times 3,14) / 4 = 2,404 \text{ [m}^2\text{]}$

Le volume est égal à 2,404 [m²] × 1,2 [m] = 2,885 [m³]

2,885 [m³] = 2 885 [dm³] donc 2 885 litres

Exercice

Quel est en [m³] le volume d'un conduit de DN 200 [mm] et de 75 [m] de longueur ?

Réponse : Le volume du conduit est de 2,355 [m³]

Explication

200 [mm] = 0,2 [m]

Volume du conduit : $(0,2^2 \times 3,14) / 4 \times 75 = 2,355$ [m³]

Exercice

Quel est en litre le volume intérieur d'un tube de DN 25 mm et de 120 [m] de long ?

Réponse : le volume intérieur du tube est de 58,875 litres

Explication

Diamètre = 25 [mm] = 0,025 [m]

Volume = $(0,025^2 \times 3,14) / 4 \times 120 = 0,058875$ [m³] soit 58,875 litres

Si l'on connaît le volume d'un cylindre et sa longueur (ou hauteur) on peut en déduire son diamètre :

$$d = \sqrt{\frac{4 \times V}{\pi \times L}}$$

Avec : d : diamètre du cercle en [m]

V en [m³]

L : longueur ou hauteur en [m]

π : Coefficient « pi » = 3,14

Remarque : il ne s'agit pas ici d'une nouvelle formule mais de celle indiquée plus haut pour le calcul des volumes, et mise en forme pour le calcul du diamètre à partir du volume. On peut également la mettre en forme pour calculer la longueur ou la hauteur du cylindre, le volume et le diamètre étant connus :

$$L = \frac{V}{\left(\frac{\pi \times d^2}{4} \right)}$$

C'est à dire le volume divisé par la surface

Avec : d : diamètre du cercle en [m]

V en [m³]

L : longueur ou hauteur en [m]

π : Coefficient « pi » = 3,14

Exercice : Le volume d'un réservoir cylindrique est de 65 [m³]. Son diamètre est de 5 [m].
Quelle est sa hauteur en [m] ?

Réponse : La hauteur du réservoir est de 3,31 [m]

Explication

En divisant le volume par la surface, nous obtenons la hauteur.

La hauteur est donc égale à :

$$h = \frac{65}{\left(\frac{3,14 \times 5^2}{4}\right)} = 3,31 [m]$$

Nb : Ce résultat est arrondi à 2 décimales.

Exercice : Le volume d'un conduit de DN 250 est de 0,45 [m³]. Quelle est sa longueur en [m] ?

Réponse : La longueur du conduit est de 9,17 [m]

Explication

La longueur est égale à : $L = \frac{0,45}{\left(\frac{3,14 \times 0,25^2}{4}\right)} = 9,17 [m]$

Nb : Ce résultat est arrondi à 2 décimales.

Exercice : Le volume d'un tube de DN 125 est de 95 litres. Quelle est sa longueur en [m] ?

Réponse : La longueur du tube est de 7,745 [m]

Explication

95 litres = 95 [dm³] = 0,095 [m³]

125 [mm] = 0,125 [m]

$$\text{Longueur} = \frac{0,095}{\left(\frac{3,14 \times 0,125^2}{4} \right)} = 7,745 \text{ [m]}$$

Nb : Ce résultat est arrondi à 3 décimales.

Exercice : Le volume d'un réservoir cylindrique est de 65 [m³]. Sa hauteur est de 3 [m]. Quel est son diamètre en [m] ?

Réponse : Le diamètre est égal à 5,25 [m]

Explication

$$\text{Le diamètre est : } d = \sqrt{\frac{4 \times 65}{3,14 \times 3}} = 5,25 \text{ [m]}$$

Nb : Ce résultat est arrondi à 2 décimales.

Exercice : Le volume d'un réservoir cylindrique est de 200 litres. Sa longueur est de 0,8 [m]. Quel est son diamètre en [m] ?

Réponse : Le diamètre est égal à 0,564 [m]

Explication

Nous savons que 1 [m³] est égal à 1 000 litres, donc 200 litres valent 200 / 1 000 = 0,2 [m³]

$$\text{Calculons le diamètre : } d = \sqrt{\frac{4 \times 0,2}{3,14 \times 0,8}} = 0,564 \text{ [m]}$$

Nb : Ce résultat est arrondi à 3 décimales.

3 FORMULAIRE RECAPITULATIF SUR LES CYLINDRES

FORMULAIRE

Circonférence :

$$C = \pi \times d$$

Avec C : Circonférence en [m]
 π : Coefficient = 3,14
 d : diamètre en [m]

Surface latérale des cylindres :

$$S = \pi \times d \times L$$

Avec S : Surface en [m²]
 π : Coefficient = 3,14
 d : diamètre en [m]
 L : longueur ou hauteur en [m]

Surface d'un cercle :

$$S = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

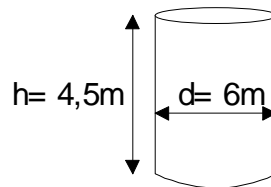
Avec S : Surface en [m²]
 π : Coefficient = 3,14
 d : diamètre en [m]

Volume des cylindres :

$$V = \left(\frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times L$$

Avec V : Volume en [m³]
 π : Coefficient = 3,14
 d : diamètre en [m]
 L : longueur ou hauteur en [m]

Exercice :



En négligeant l'épaisseur des parois, calculez :

- La circonférence de ce réservoir
- La surface extérieure totale (haut, bas, côté)
- Le volume du réservoir

Réponses

La circonférence du réservoir est égale à 18,84 [m²]
 La surface extérieure totale du réservoir est de 141,30 [m²]
 Le volume est de 127,17 [m³]

Explications

La circonférence du réservoir est égale à : $6 \times 3,14 = 18,84$ [m²]

La surface latérale du cylindre est : $S = \pi \times d \times L$

C'est à dire Circonférence \times Hauteur : $18,84 \text{ [m]} \times 4,5 \text{ [m]} = 84,78 \text{ [m}^2\text{]}$

Pour obtenir la surface totale du cylindre, nous devons ajouter 2 fois la surface du cercle, donc la surface totale est :

$$84,78 \text{ [m}^2\text{]} + 2 (3,14 \times 6^2 / 4) = 84,78 \text{ [m}^2\text{]} + 56,52 \text{ [m}^2\text{]} = 141,30 \text{ [m}^2\text{]}$$

Le volume est :

$$V = \left(\frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times L \quad V = (3,14 \times 6^2 / 4) \times 4,5 = 127,17 \text{ [m}^3\text{]}$$

4 LES MASSES



La masse d'un corps indique la quantité de matière qu'il contient. Cette quantité de matière correspond au nombre de molécules qui le constituent. Quel que soit l'état physique de ce corps (solide, liquide, gazeux), ce nombre de molécule ne variera pas. Ainsi, selon la température et la pression auquel on le soumet, un corps pourra se trouver à l'état solide liquide ou gazeux et présenter des formes et des volumes très différents. Sa masse restera néanmoins parfaitement constante.

Les unités de masses furent très nombreuses dans les siècles passés (l'once, le quintal, la livre etc.). Le kilogramme apparut à la fin du 18^{ème} siècle après que le mètre (et donc le décimètre) ait été défini. En effet, le kilogramme est la masse d'un dm³ (1 litre) d'eau froide. Il fut adopté comme unité de masse universelle en 1960.

Dans notre branche professionnelle, on utilisera aussi la tonne (t), correspondant à 1000 [kg].

La lettre symbole de la masse est **M**.

5 LES MASSES VOLUMIQUES

On peut définir l'importance d'un objet, en indiquant sa taille (volume) ou sa masse. Bien sûr comme on parle du même corps, il doit exister une relation entre ces 2 façons de décrire un même objet.

Pour cela, il faut connaître le nombre de [kg] contenus dans chacun des [m³] de ce corps : c'est sa masse volumique indiquée en [kg/m³].

Ainsi, la masse d'un litre d'eau froide étant de 1 [kg], 1[m³] d'eau (1 000 l) à une masse de 1 000 [kg].

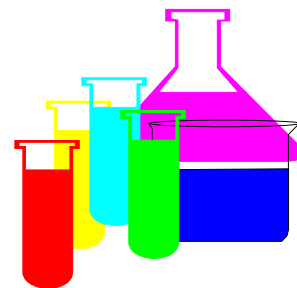
La masse volumique de l'eau froide est donc de 1 000 [kg/m³].

La lettre symbole représentant la masse volumique est une ancienne lettre grecque : ρ (que l'on prononce rhô).

$$\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Pour une température, une pression et un état physique donnés (solide, liquide ou gazeux), chaque corps présent dans l'univers possède une masse volumique précise. On pourra retenir quelques ordres de grandeur utiles à notre profession :

Matière	Masse volumique ρ
Eau froide	1 000 [kg/m ³]
Fuel domestique	840 [kg/m ³]
Acier	8 000 [kg/m ³]
Air à 20 °C	1,2 [kg/m ³]



Il n'est pas nécessaire de connaître une formule pour transformer une masse en volume et inversement. Il suffit de faire preuve de bon sens.

Exercice : Transformez les masses en volume ou les volumes en masse

Matière	Masse ou volume	Masse volumique	Masse ou volume
Eau	15 [m ³]	1 000 [kg/m ³]	[kg]
Eau	2 500 [kg]	1 000 [kg/m ³]	[m ³]
Air à 20 °C	75 [m ³]	1,2 [kg/m ³]	[kg]
Fioul	4 000 litres	840 [kg/m ³]	[kg]

Réponse

<i>Matière</i>	<i>Masse ou volume</i>	<i>Masse volumique</i>	<i>Masse ou volume</i>
Eau	15 [m ³]	1 000 [kg/m ³]	15 000 [kg]
Eau	2 500 [kg]	1 000 [kg/m ³]	2,5 [m ³]
Air à 20 °C	75 [m ³]	1,2 [kg/m ³]	90 [kg]
Fioul	4 000 litres	840 [kg/m ³]	3 360 [kg]

Exercice : Transformez les masses en volume ou les volumes en masse

<i>Matière</i>	<i>Masse ou volume</i>	<i>Masse volumique</i>	<i>Masse ou volume</i>
Acier	30 000 [kg]	8 000 [kg/m ³]	[m ³]
Béton	20 [m ³]	3 000 [kg/m ³]	[kg]
Acide sulfurique	5 000 [kg]	1 800 [kg/m ³]	[m ³]
Acide sulfurique	20 000 litres	1 800 [kg/m ³]	[kg]

Réponse

<i>Matière</i>	<i>Masse ou volume</i>	<i>Masse volumique</i>	<i>Masse ou volume</i>
Acier	30 000 [kg]	8 000 [kg/m ³]	3,75 [m ³]
Béton	20 [m ³]	3 000 [kg/m ³]	60 000 [kg]
Acide sulfurique	5 000 [kg]	1 800 [kg/m ³]	2,77 [m ³]
Acide sulfurique	20 000 litres	1 800 [kg/m ³]	36 000 [kg]

Exercice : Calculez la masse d'air à 20 °C présente dans un local de 15 [m] × 8 [m] × 2,5 [m] (voir masse volumique de l'air à 20 °C ci-dessus).

Réponse : La masse d'air est de 360 [kg]

Explication

Le volume du local est égal à : $15 \text{ [m]} \times 8 \text{ [m]} \times 2,5 \text{ [m]} = 300 \text{ [m}^3\text{]}$

Nous savons que la masse volumique de l'air à 20 °C est égale à $1,2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

La masse d'air présente dans le local représente donc : $1,2 \text{ [kg]} \times 300 = 360 \text{ [kg]}$

Exercice : Calculez la masse présente dans un réservoir cylindrique vertical de diamètre 0,8 [m] et 1,5 [m] de hauteur, le réservoir étant rempli de fuel.

Réponse : La masse de fuel est de 633 [kg]

Explication

Volume du réservoir : $(0,8^2 \times 3,14 / 4) \times 1,5 = 0,7536 \text{ [m}^3\text{]}$

La masse volumique du fuel est de $840 \text{ [kg /m}^3\text{]}$ (voir plus haut)

La masse de fuel contenue dans ce réservoir est de : $840 \text{ [kg]} \times 0,7536 = 633 \text{ [kg]}$

6 LA DENSITE

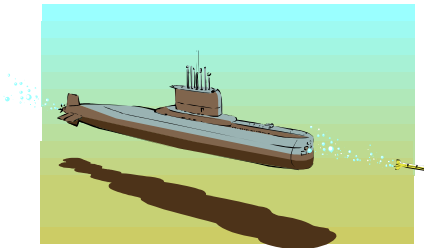
La densité est un ancien mode de comparaison des corps entre eux, permettant les mêmes analyses que la masse volumique. La densité consiste à comparer les liquides et les solides à l'eau froide, et les gaz à l'air (dans les mêmes conditions de température et de pression).

Ainsi, un liquide ou un solide qui présente une densité de 2, est un corps 2 fois plus lourd que l'eau froide. Un gaz qui présente une densité de 0,5, est un gaz 2 fois plus léger que l'air.

Corps	Densité	Masse volumique en [kg/m³]	Masse volumique eau froide ou air en [kg/m³]
Eau froide	1	1000	1000
Fuel domestique	0,84	840	1000
Acier	8	8000	1000
Air à 20°C	1	1,2	1,2
Gaz naturel	≈ 0,6	≈ 0,7	1,2
Butane	≈ 2	≈ 2,4	1,2
Propane	≈ 1,5	≈ 1,8	1,2

Conséquences des diverses densités :**Liquides, solides :**

- Les liquides et solides dont les masses volumiques sont plus élevées que celle de l'eau (densité > 1) coulent.
- Les liquides et solides dont les masses volumiques sont identiques à celle de l'eau (densité $= 1$) se mélangent à l'eau ou y restent en position stable (café au lait).
- Les liquides et solides dont les masses volumiques sont inférieures à celle de l'eau (densité < 1) flottent (nappe de fuel sur la mer).

**Gaz :**

- Les gaz dont les masses volumiques sont plus élevées que celle de l'air (densité > 1), s'accumulent au sol du local technique en cas de fuite.
- Les gaz dont les masses volumiques sont identiques à celle de l'air (densité $= 1$) se mélangent à l'air du local technique en cas de fuite.
- Les gaz dont les masses volumiques sont plus faibles que celle de l'air (densité < 1), se concentrent au plafond du local technique en cas de fuite.

Ces propriétés conditionnent pour les gaz l'implantation des grilles d'aération et des capteurs de détection de fuite :

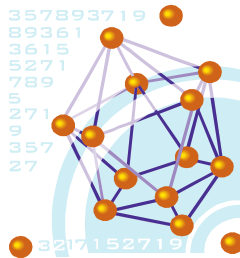
- Une fuite de gaz naturel se détectera prioritairement au plafond.
- Une fuite de gaz propane se détectera prioritairement au sol.



III. LA TEMPERATURE - LA DILATATION DES CORPS

1 TEMPERATURE ET CHANGEMENT D'ETAT

La température caractérise le niveau d'agitation moléculaire d'un corps. Un corps est constitué de molécules que l'on peut imaginer comme autant de petites billes plus ou moins agitées. Si l'on apporte de la chaleur à un objet, cela se traduira toujours par une agitation plus grande de ses molécules. Cette agitation se traduira soit par une montée en température, soit par une modification de l'assemblage des molécules entre elles, correspondant aux passages de l'état solide à l'état liquide puis à l'état gazeux.



Dans les solides, l'état moléculaire est très structuré et les molécules sont fortement liées les une aux autres. Si l'on chauffe un solide (par exemple un bloc de glace à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), les molécules s'agiteront d'abord de plus en plus, et le bloc montera en température. Puis, les molécules finiront par atteindre une telle agitation qu'elles réussiront à briser leur cohésion solide et se mettront à rouler les une sur les autres comme autant de billes ; Ce sera le passage à l'état liquide. La température reste fixe pendant cet effondrement.

Ainsi, lorsque le bloc de glace initialement à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ aura atteint $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, il se transformera en eau liquide à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

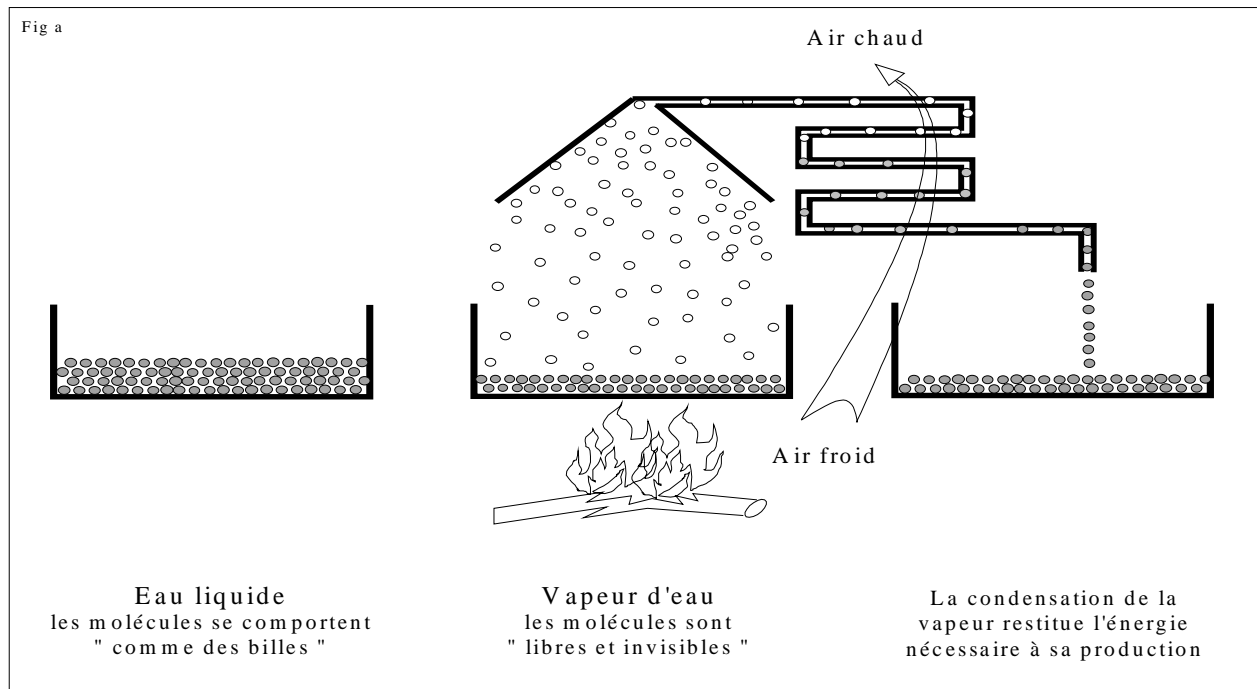
Notons que le nombre de molécules contenues dans le bloc de glace puis dans le volume d'eau sera exactement le même. La masse sera donc identique, que l'ensemble soit solide ou liquide. Par contre, les volumes occupés dans ces 2 états pourront être différents.

Si l'on continue à apporter de la chaleur au volume de liquide obtenu, les molécules s'agiteront à nouveau de plus en plus. On peut imaginer les petites billes du liquide roulant de plus en plus vite les unes sur les autres. Ces mouvements de plus en plus désordonnés correspondront à une nouvelle montée en température. A nouveau l'agitation pourra devenir telle que les molécules perdront leur cohésion « liquide » et finiront par « s'envoler » ce qui correspondra au passage à l'état gazeux. Ce dernier phénomène est appelé **vaporisation**.

Le passage de l'eau à la vapeur s'effectue à température constante pour une pression donnée (à $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dans notre cuisine, sous la pression atmosphérique). Il nécessite un apport de chaleur.



Ces 2 changements d'état sont réversibles. Si l'on refroidit un gaz on pourra le retransformer en liquide. Le refroidissement permettra de « calmer » l'agitation de ses molécules, jusqu'à ce qu'elles se regroupent et repassent à l'état liquide. C'est ainsi que se forme la pluie en altitude ou la buée (c'est de l'eau) au-dessus de notre casserole. Ce passage de l'état gazeux à l'état liquide est appelé condensation. Lors de la condensation, le gaz restitue toute la chaleur qu'il avait reçue lors de sa vaporisation. Cette chaleur sera recueillie par le milieu qui aura permis son refroidissement.



2 MESURE DES TEMPERATURES

Au 18^{ème} siècle, différentes échelles de température furent définies.

Le Suédois Anders Celsius décida :

- de définir le 0° C au point de passage de l'eau à la glace ;
- de définir le 100 °C au point de passage de l'eau à la vapeur.

En conséquence, le « °C » fut défini comme 1/100^{ème} de l'écart de température entre la formation de la glace et l'évaporation de l'eau (à l'air libre, sous la pression atmosphérique).



Evidemment, les savants du 18^{ème} siècle savaient que le 0 de l'échelle Celsius était mal placé puisque que les températures pouvaient descendre bien en dessous de ce 0 °C. Mais ils ne savaient pas jusqu'à combien.

C'est au 19^{ème} siècle que l'anglais William Kelvin démontra que l'on pouvait au maximum descendre à -273 °C. Il proposa donc de déplacer le 0 de Celsius pour le positionner à cette température. En conséquence, lorsque Celsius indique **-273 °C**, Kelvin indique de **0 K** (Kelvin).

Lorsque Celsius indique 0 °C, Kelvin indique +273 K. Lorsque Celsius indique +20 °C, Kelvin indique +293 K. Le passage du degré Celsius au Kelvin consiste à rajouter +273. Lorsque l'on indique la température en K, on parle de **température absolue**.

En 1960, le kelvin [K] fut adopté comme unité internationale de température.

Pour notre branche professionnelle, nous continuerons à parler en °C, car nous y sommes très habitué.

La lettre symbole représentant la température est : **T**.

Exercice : transformez les température du °C au K (ou inversement)

<i>Température</i>	<i>Température</i>
0 °C	+ 273 K
- 25 °C	K
+ 20 °C	K
318 K	°C

3 DILATATION DE TUYAUTERIES

Lorsque qu'un corps monte en température, ses molécules s'agitent de plus en plus. En règle générale, cette agitation conduira le corps à occuper de plus en plus de place ; c'est la dilatation.

Pour les liquides et les solides, elle est faible, de quelques %, mais pour les gaz elle sera importante.



Nous serons particulièrement concernés par la dilatation de nos tuyauteries lors de la mise en température des circuits de chauffage. Rien ne pourra l'empêcher, les tuyauteries s'allongeront même si elles devaient pour cela se déformer. Lorsque la dilatation est contrariée, il se provoque sur nos circuits des claquements secs correspondant au déplacement brusque des tuyauteries.

Matériaux	Ordre de grandeur de la dilatation
Acier	0,01 mm / (m.°C)
Cuivre	0,012 mm / (m.°C)
Plastique	0,14 mm / (m.°C)

Exercice : Une canalisation de cuivre de 15 m de longueur est portée de 0 °C à 90 °C. De quelle longueur se dilatera-t-elle ?

Exercice : Une canalisation de PVC de 15 m de longueur est portée de 0 °C à 50 °C. De quelle longueur se dilatera-t-elle ?

4 DILATATION ET RETRACTATION DE L'EAU

Si l'on chauffe ou refroidit de l'eau, son volume varie. Ainsi dans les installations de chauffage à eau chaude, l'eau est emprisonnée dans la chaudière, les tuyauteries et les radiateurs. L'augmentation du volume de l'eau doit être prévue car sinon, l'installation pourrait se déformer, voire exploser.

La dilatation de l'eau est indiquée en % :

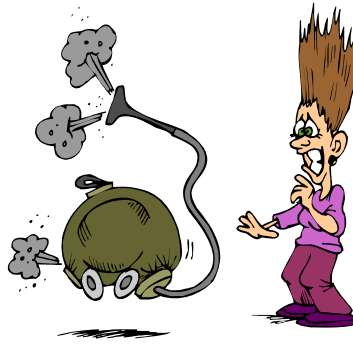
Variation de température (à partir de 0°C)	Variation du volume d'eau en %	Variation de température (à partir de 0°C)	Variation du volume d'eau en %
+30°C	≈ +0,05 %	+80°C	≈ +3 %
+50°C	≈ +1,2 %	+90°C	≈ +3,6 %
+70°C	≈ +2,3 %	+100°C	≈ +4,3 %

Remarque : nous admettrons que les % de dilatation et de rétractation à partir de 0 °C sont identiques, ce qui est mathématiquement légèrement incorrect mais sans conséquence pour nos problèmes.

Exercice : Le chauffage à eau chaude d'un pavillon contient 250 litres d'eau à quelle température ? De combien de litres le volume d'eau augmentera-t-il lorsque l'on portera l'installation à 80 °C ?

Exercice : Une installation de climatisation à l'arrêt comporte 7,5 m³ d'eau à 30 °C. De quel volume (en litres) cette eau se rétractera lorsqu'elle sera refroidie aux alentours de 0 °C ?

5 DILATATION DE L'AIR



Le volume de l'air varie beaucoup avec sa température. Autrement dit, pour une masse donnée (un nombre de molécules donné), le volume occupé augmentera avec la température.

Pour calculer ces variations de volume, on utilise une grandeur appelée « volume massique ».

Nous connaissons la « **masse volumique** » ρ (voir paragraphe : volumes, masses, masses volumiques). Elle indique en kg/m^3 le nombre de kg présents dans un m^3 de matière.

Le **volume massique** est l'inverse de la masse volumique. Il indique en m^3/kg le volume, en m^3 , occupé par un 1 kg de matière.

Exercice : Etudiez et complétez le tableau ci-dessous

Température de l'air (Humidité moyenne)	Masse volumique kg/m^3	Volume massique m^3/kg
0°C	1,3	0,77
10°C	1,25	0,80
20°C	1,2	?
30°C	1,14	?
40°C	?	0,92

Exercice : Quel volume sera occupé par 15 kg d'air à 10°C, 20°C, 30°C (humidité moyenne)?

Exercice : Dans un local de $5 \times 6 \times 2,5$ m, quelle est la masse d'air (humidité moyenne) s'il est chauffé à 10 °C, s'il est chauffé à 30°C

Exercice : On chauffe un volume de 20 m^3 d'air à $10 \text{ }^\circ\text{C}$ (humidité moyenne), jusqu'à $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Quel sera le nouveau volume ?



Exercice : À l'entrée d'une centrale de réchauffage d'air, on mesure un débit de $5\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ (humidité moyenne) à $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Quel sera le débit soufflé à $30 \text{ }^\circ\text{C}$ en sortie de cette centrale ?

Exercice : En sortie d'une centrale de réchauffage d'air, on mesure un débit de $3\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ (humidité moyenne) à $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Quel est à $10 \text{ }^\circ\text{C}$, le débit d'entrée de cette centrale, en m^3/h ?



Centrale de traitement d'air (doc. CIAT)

En génie climatique, pour éviter ce type de calcul, tous les débits d'air à véhiculer sont déterminés sous forme de débits massiques (invariables avec la température). Sur les plans, on indique les débits en m^3/h sur la base d'une masse volumique de $1,2 \text{ kg/m}^3$, quelle que soit la température réelle de l'air distribué. Une masse volumique de $1,2 \text{ kg/m}^3$ est celle de l'air à $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Nos plans indiquent donc les débits qui seraient en circulation si l'air était en tout point véhiculé à $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Exercice : Une centrale doit souffler 5 kg/s d'air à $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Quel est le débit en m^3/h qui sera indiqué sur le plan ?

Exercice : Le plan indique que la centrale de traitement d'air doit véhiculer un débit $12\,000 \text{ m}^3/\text{h}$. Quel est en kg/s le débit massique correspondant ?

Exercice : Il est indiqué sur le plan que la centrale de traitement d'air a un débit de $15\,000 \text{ m}^3/\text{h}$. Quel devrait être en m^3/h le débit réel correspondant soufflé à $40 \text{ }^\circ\text{C}$?

Exercice : Il est indiqué sur le plan que la centrale de traitement d'air a un débit de $8\,500 \text{ m}^3/\text{h}$. Quel devrait être en m^3/h le débit réel correspondant soufflé à $+10 \text{ }^\circ\text{C}$?

Exercice récapitulatif

À l'entrée d'une centrale de réchauffage d'air, de section $0,8 \times 1,2$ m, on mesure une vitesse de 3 m/s et une température de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Quel est en m^3/h et en kg/h le débit réel à l'entrée de la centrale ? Si ce débit est correct quel débit correspondant est indiqué sur le plan ?

En sortie de la centrale, l'air est soufflé à $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Quel est le débit réel soufflé en m^3/h et en kg/h ? Quelle sera la vitesse dans la section de sortie de même dimension que la section d'entrée) ? Si ce débit est correct quel débit correspondant est indiqué sur le plan ?

IV. LES DEBITS VOLUMIQUES ET MASSIQUES

1 LES DEBITS VOLUMIQUES

Le débit volumique caractérise le déplacement d'un volume donné par unité de temps. L'unité internationale de débit volumique est le m^3/s .

Dans notre branche professionnelle en une seconde il se passe peu de chose. Nous indiquerons souvent les débits par heures et parfois par minutes :

Unités en usage dans le génie climatique : m^3/s , l/s (litre par seconde), m^3/h , l/h, l/min.

La lettre symbole représentant le débit en général est : **q**

Le symbole représentant le débit volumique est : **q_v**

En première étape, il n'est pas nécessaire de disposer de formules pour étudier cette grandeur physique. En utilisant simplement votre bon sens, résolvez les exercices suivants :

Exercice : Le débit moyen d'un robinet de baignoire est de 0,2 l/s. Transformez ce débit en l/min, en l/h, en m^3/h

Exercice : Un ballon de 200 l se vide de son eau chaude en 15 min. Quel est le débit du robinet de puisage en l/s ?



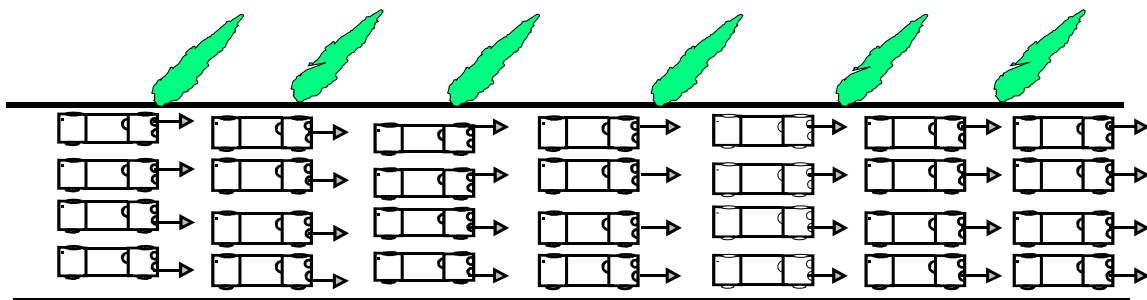
Exercice : Le fabricant d'une chaudière indique une capacité de production d'eau chaude sanitaire de 12 l/min. Cette chaudière alimente un ballon de stockage de 300 l. En combien de temps ce ballon pourra-t-il être rempli d'eau chaude ?

Exercice : On remplit un récipient de 0,75 d m³ en 8 s. Quel est le débit de remplissage en l/min ?

Exercice : La fuite d'une chasse d'eau est d'environ 0,001 l/s. Quelle quantité d'eau sera perdue chaque année si on ne la répare pas ? Quel sera le coût annuel de cette fuite sur la base d'un prix 2004 de 3 Euros le m³ d'eau.

2 RELATION ENTRE VITESSE ET SECTION DE PASSAGE

Un fluide est constitué de molécules que l'on peut imaginer comme autant de billes. Si le fluide est en circulation dans un conduit, ces billes se déplacent comme le font des voitures sur une route. Si la section du conduit ne varie pas, la vitesse de circulation reste constante. De même, sur une autoroute très chargée, si le nombre de voie de circulation reste constant, la vitesse des véhicules est stable.



Pour comprendre ce qui se passe dans un conduit qui change de section, il nous faut penser à une autoroute presque saturée. Dans la canalisation d'eau en mouvement, les molécules se suivent pressées cote à cote et personne ne double...

Que se passe-t-il sur une autoroute engorgée si le nombre de voies diminue ?

Notons tout d'abord que sur le schéma ci-dessous que le nombre de voiture passant par heure **sera exactement le même** quel que soit le nombre de voies (en A, B, C).

Si l'on doute que le nombre de voiture passant par heure est identique en A, B, C, il nous faut penser à trois « gendarmes » situés en A, B, C et chargés de compter les voitures. Evidemment, le gendarme situé en B verra passer les mêmes voitures que celui disposé en A. Il en est de même pour le gendarme situé en C. La quantité de voiture passant en A est bien identique à celle passant en B et C.

Dans ces conditions, si le nombre de voiture circulant par heure en B sur 2 voies est identique à celui circulant en A et C sur 4 voies, c'est évidemment que la vitesse de circulation en B **est plus grande** qu'en A et C.

Conclusion

Si une canalisation ou une gaine présente un rétrécissement, la vitesse du fluide y augmente.

Inversement, si une canalisation ou une gaine présente un rélargissement, la vitesse du fluide y diminue.

Dans une conduite, la vitesse du fluide en mouvement dépend de la section. Plus le tube sera de petit diamètre, plus l'eau circulera vite, mais plus bruyant sera la circulation (et inversement).

3 RELATION ENTRE DEBIT, VITESSE ET SECTION DE PASSAGE

Pour une section donnée, plus la vitesse de passage est grande, plus le débit d'écoulement sera important :

$$q_v = v \times S$$

Avec q_v : débit volumique en m^3/s

v : vitesse du fluide en m/s

S : section de passage en m^2

Cette formule peut donner lieu à une « **équation aux dimensions** » permettant d'en vérifier la justesse. Ce type d'équation consiste à remplacer chaque grandeur par ses unités et vérifier la validité de l'égalité :

$$\frac{m^3}{s} = \frac{m}{s} \times m^2$$

La formule « $q_v = v \times S$ » est donc cohérente.

Cette formule « $q_v = v \times S$ » est très importante car elle nous permettra de déterminer le débit dans un conduit de section connue, si l'on arrive à y mesurer la vitesse de circulation du fluide en mouvement.

Particulièrement dans le cas des gaines de distribution d'air, la vitesse de l'air en mouvement se mesurera grâce à un **anémomètre**.



Anémomètre à moulinet (doc. KIMO)

Exercice : On mesure dans une gaine rectangulaire de 600× 800 mm une vitesse de circulation d'air de 6 m/s. Quel est le débit en circulation en m³/s et en m³/h?

Exercice : On mesure dans une gaine rectangulaire circulaire de DN 750 (diamètre 750 mm), une vitesse de circulation d'air de 4 m/s. Quel est le débit en circulation en m³/s et en m³/h?

Exercice : On mesure dans une canalisation de DN 250 (diamètre 250 mm), une vitesse de circulation d'eau de 2 m/s. Quel est le débit en circulation en m³/s et en m³/h?

La formule « $q_v = v \times S$ » peut se mettre en forme pour calculer la vitesse de circulation d'un débit connu q_v , dans une gaine de section S .

$$v = \frac{q_v}{S}$$

Exercice : Quelle est en m/s la vitesse de circulation d'un débit d'air de 4 500 m³/h dans une gaine rectangulaire de 500 mm × 600 mm ?

Exercice : Quelle est en m/s la vitesse de circulation d'un débit d'air de 4 000 m³/h dans une gaine de DN 500 ?

Exercice : Quelle est en m/s la vitesse de circulation d'un débit d'eau de 350 m³/h dans une canalisation de DN 250 ?



La formule « $q_v = v \times S$ » peut se mettre en forme pour calculer la section d'un conduit permettant de véhiculer un débit connu, à une vitesse donnée :

$$S = \frac{q_v}{v}$$

Exercice : On souhaite véhiculer 15 000 m³/h d'air à 6 m/s dans une gaine rectangulaire. Quelle sera en m², la section de la gaine ? Sachant que sa hauteur sera de 700 mm, quelle sera en m la largeur de la gaine.

Exercice : On souhaite véhiculer 2 800 m³/h d'air à 4 m/s dans une gaine circulaire. Quelle sera en m², la section de la gaine ? Quel sera en m le diamètre de la gaine ?

Exercice : On souhaite véhiculer 9 500 m³/h d'air à 6 m/s dans une gaine circulaire. Quelle sera en m², la section de la gaine ? Quel sera en m le diamètre de la gaine ?

4 LES TAUX DE BRASSAGE

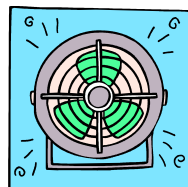
Un taux de brassage est l'indication du nombre de fois où le volume d'air d'un local est remplacé pour des raisons d'aération, de chauffage ou de refroidissement. Ainsi, si un local de 250 m³ est l'objet d'un taux de brassage de 3, cela veut dire qu'on y renouvelle le volume d'air 3 fois par heure. En conséquence, le débit qui y est soufflé est de $3 \times 250 = 750$ m³/h.

Si l'air apporté dans le local n'a qu'un but d'aération, on parlera de « taux d'aération » ou de « taux de renouvellement d'air ».

La lettre symbole représentant le taux de brassage est une ancienne lettre grecque : τ (TAU)

Exercice : Un local de $4 \times 10 \times 3$ m, est l'objet d'un taux de brassage est de 3 V/h. Quel est le débit d'air introduit en m³/h ?

Exercice : Dans un local de $6 \times 12 \times 2,5$ m, on introduit un débit d'air de 300 m³/h. Quel est le taux de brassage du local ?



Les taux de brassage sont divers selon que l'air assure une fonction seulement d'aération, de chauffage ou de climatisation :

	Ordre de grandeur des taux de brassage
Aération des logements et bureaux	$\tau = 0,5$ à 2 V/h
Chauffage à air chaud	$\tau = 2$ à 5 V/h
Climatisation	$\tau = 5$ V/h à 10 V/h

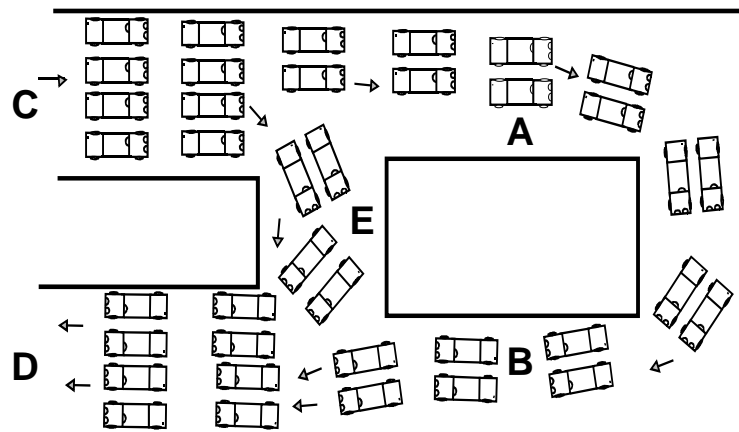
Exercice : Dans un local de $6 \times 12 \times 2,5$ m, où travaillent 6 personnes, on introduit un débit d'aération de $20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{p}$ (20 m^3 par heure et par personne). Quel est le taux de renouvellement d'air ?

Exercice : Par la grille d'aération d'une cuisine d'une surface de 8×12 cm, l'air rentre à une vitesse de $1,5$ m/s. Le volume de la cuisine est de 20 m^3 . Quel est le taux de brassage ?

Exercice : Par la grille d'aération d'un local technique, d'une surface de 3×5 dm, l'air rentre à une vitesse de 2 m/s. Le volume du local technique est de 400 m^3 . Quel est le taux de brassage du local.

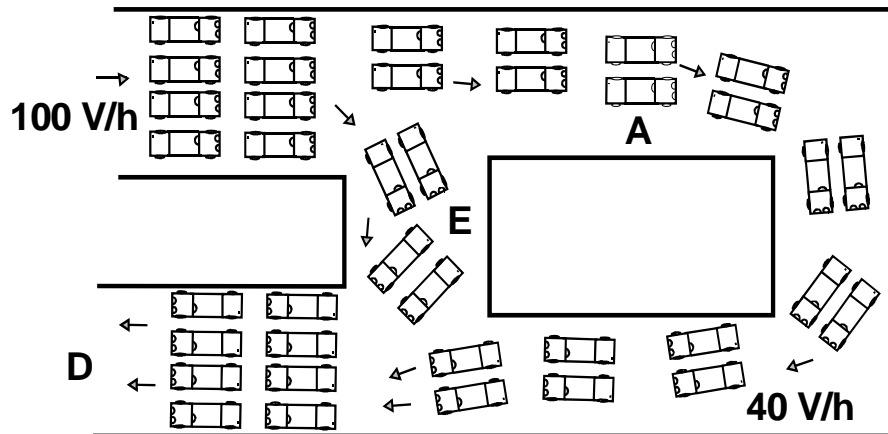
5 CONSERVATION DES « DÉBITS DE VOITURE »

Étudions les « débits de voiture » circulant ci-dessous. Aucune voiture ne pouvant quitter la circulation en cours, on pourra étudier la conservation des « débits ».



- Comme il n'y a pas d'autres possibilités, toutes les voitures qui arrivent en C repartent par D. Le débit de voiture en C est le même qu'en D $q_{VC} = q_{VD}$
- Toutes les voitures qui arrivent en C se séparent entre les voies A et E. Donc, le débit en C = débit en A + débit en E : $(q_{VC} = q_{VA} + q_{VE})$.
- Toutes les voitures qui arrivent en A repassent par B, donc $q_{VA} = q_{VB}$.
- Toutes les voitures qui repartent par D viennent des voies E et B, donc $q_{VD} = q_{VE} + q_{VB}$.

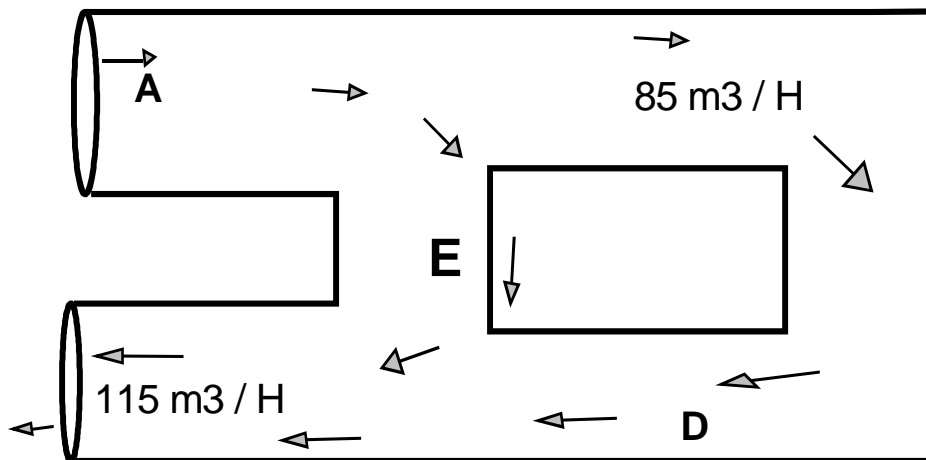
Exercice : déterminez les « débits de voiture (V/h) » en A,E,D.



6 CONSERVATION DES « DEBITS D'EAU »

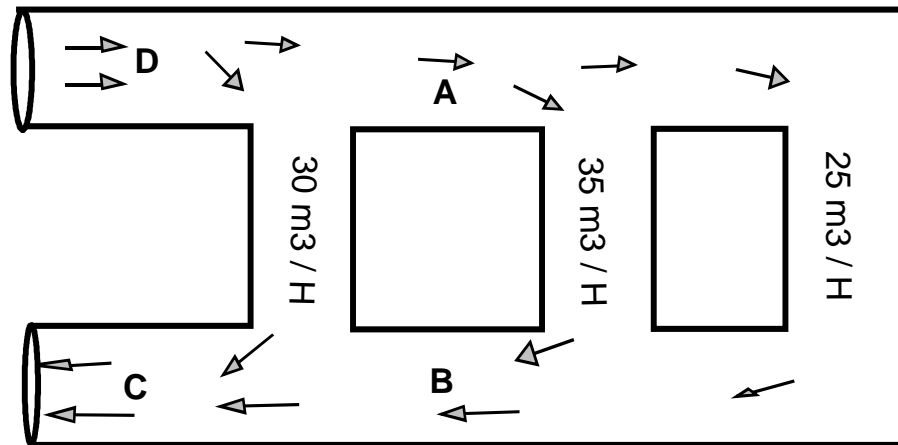
L'eau est constituée de molécules qui se déplacent dans les conduits comme les voitures circulent sur les routes.

Exercice : déterminez en m^3/h les débits en circulation en A, D, E.



Si vous avez bien compris cet exercice, vous pourrez traiter le suivant..

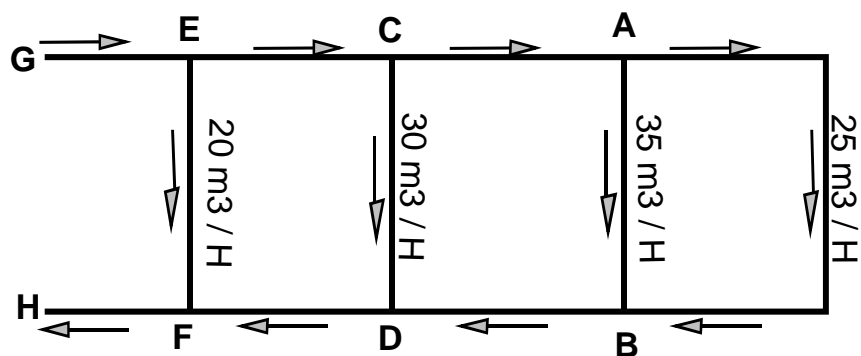
Exercice : déterminez en m^3/h les débits en circulation en A et B, puis C et D.



En fait, les conduits sont dessinés d'un seul trait comme ci-dessous.

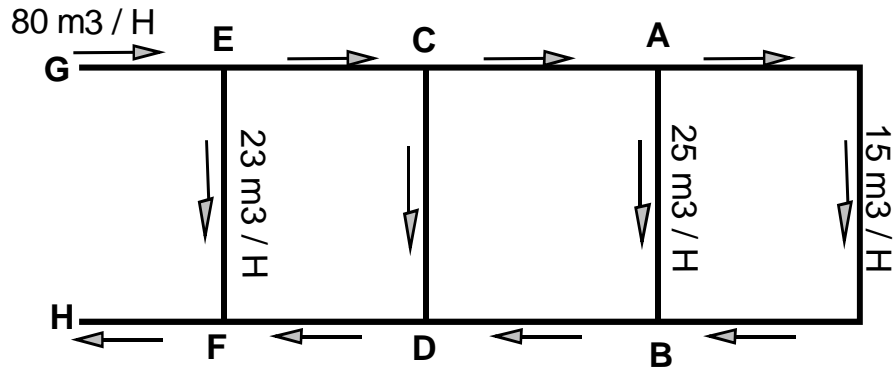
Exercice : déterminez en m^3/h les débits en circulation dans :

- le conduit CA (retour BD) : l'ensemble constitue le tronçon CA-BD
- le conduit EC (retour DF) : l'ensemble constitue le tronçon EC-DF
- le conduit GE (retour FH) : l'ensemble constitue le tronçon GE-FH



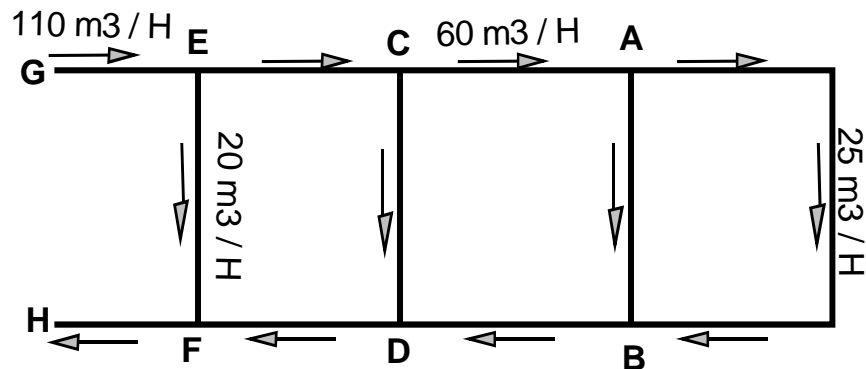
Exercice : déterminez en m^3/h les débits en circulation dans :

- le tronçon CA-BD
- le tronçon CD
- le tronçon EC-DF



Exercice : déterminez en m³/h les débits en circulation dans :

- le tronçon AB
- le tronçon CD
- le tronçon EC-DF



7 LES DEBITS MASSIQUES

Un débit massique caractérise le déplacement d'une masse donnée par unité de temps. L'unité internationale de débit massique est le **kg/s**.

Dans notre branche professionnelle en une seconde il se passe peu de chose. Nous indiquerons souvent les débits par heures et parfois par minutes.

Unités en usage dans le génie climatique : kg/s, t/s (tonne par seconde), kg/h, t/h, kg/min.

La lettre symbole représentant le débit en général est : **q**

Le symbole représentant le débit massique est : **q_m**

On peut donc définir un écoulement en exprimant soit le volume déplacé (qv), soit la masse déplacée (qm). Bien sûr comme on parle du même écoulement, il existe une relation entre ces 2 façons de décrire un même phénomène. La masse volumique (ou la densité) permettra de passer d'un mode d'expression à l'autre.

Il n'est pas nécessaire de connaître une formule pour transformer un débit massique en débit volumique et inversement. Il suffit de faire preuve de bon sens.



Exercice : Transformez de débit volumique à débit massique (ou inversement)

<i>Matière</i>	q_v ou q_m	<i>Masse volumique</i> ρ	q_v ou q_m
Eau	2 m ³ /h	1000 kg/ m ³	2000 kg/h
Eau	5000 kg/h	1000 kg/ m ³	m ³ /h
Eau	54 m ³ /h	1000 kg/ m ³	kg/s
Eau	12 t / h	1000 kg/ m ³	m ³ /h

Exercice : Transformez de débit volumique à débit massique ou inversement

<i>Matière</i>	q_v ou q_m	<i>Masse volumique</i> ρ	q_v ou q_m
Eau	12 l/min	1000 kg/ m ³	kg/h
Eau	37,5 m ³ /h	1000 kg/ m ³	t/h
Eau	5000 l/h	1000 kg/ m ³	kg/s
Eau	3 kg/s	1000 kg/ m ³	m ³ /h

Exercice : Transformez de débit volumique à débit massique ou inversement

<i>Matière</i>	q_v ou q_m	<i>Masse volumique</i> ρ	q_v ou q_m
Air	15 000 m ³ /h	1,2 kg/m ³	kg/s
Air	7 kg/s	1,2 kg/ m ³	m ³ /h
Fuel	0,5 kg/s	840 kg/ m ³	l/h
Fuel	2 l/s	840 kg/ m ³	kg/h

Exercice : Transformez de débit volumique à débit massique ou inversement

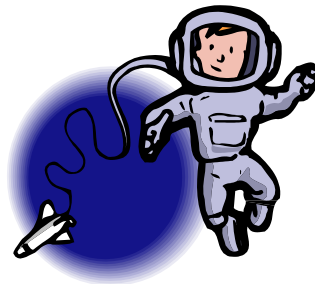
<i>Matière</i>	<i>q_v ou q_m</i>	<i>Masse volumique</i> <i>ρ</i>	<i>q_v ou q_m</i>
Air	13000 m ³ /h	1,2 kg/m ³	kg/h
Eau	12 l/min	1 000 kg/m ³	kg/h
Fuel	2 kg/s	840 kg/m ³	l/h
Eau	2 kg/s	1 000 kg/m ³	m ³ /h

V. LE POIDS - LA PRESSION

1 LE POIDS

En langage courant, on confond le poids et la masse. Il est usuel de dire que « le poids d'un objet est par exemple de 50 kg ». En réalité il s'agit de sa masse (le poids ne s'exprime pas en kg, mais en newton [N]).

- La masse est en proportion du nombre de molécule que comporte le corps étudié. Elle est invariable quelle que soit la position de ce corps dans l'univers.
- Le poids correspond à la force par laquelle la masse est attirée par la terre. Elle dépend de l'attraction terrestre.



Le poids est dû à l'attraction qu'exercent les objets les uns sur les autres, les plus lourds attirant les plus légers. Tous les « objets » à la surface de la terre sont attirés par celle-ci, car sa masse est considérable. C'est la gravité terrestre.

Si l'on s'éloigne de la terre, son « attraction » sera de plus en plus faible. Notre masse ne variera pas avec l'éloignement, mais l'on aura de moins en moins de poids.

Si l'on va sur la lune, on retrouvera du poids du fait de son attraction. Mais, la lune étant plus petite que la terre, l'attraction sera plus faible et notre poids plus léger. Ceci nous permettra d'y faire des bonds extraordinaires, car nos muscles se sont construits sur la terre où notre poids est plus important.

Le poids est une force. L'unité de calcul des forces est le $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ à qui l'on a donné le nom de newton.

Le newton est le poids d'une masse d'environ 100 grammes.

Le poids d'une masse se calcule en multipliant cette masse par l'accélération terrestre ($9,81 \text{ m}/\text{s}^2$) :

$$\text{Poids} = 9,81 \times M \approx 10 \times M$$

Avec : Poids en Newton

M : masse en kg

Exercice : Quel est en newton, le poids d'un kg ?

2 LES PRESSIONS

La pression est la grandeur physique qui caractérise l'importance de l'appui d'une force (force qui peut être un poids) sur une surface de contact. La lettre symbole de représentation des pressions est **p**.

Plus la force d'application (qui peut être un poids) sera grande, plus forte sera la pression et inversement.

Plus la surface d'appui sera vaste, moins la pression sera forte car l'effort d'application sera mieux réparti (et inversement).

Ceci nous permet de comprendre la formule de calcul des pressions :

$$p = F / S$$

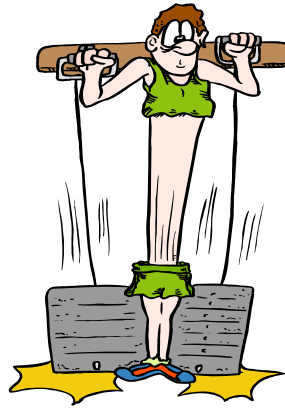
Avec p : pression en kg/ms^2 (ou pascal [Pa])

F: force en newton

S : surface d'application de la force en m^2

Le Pascal est l'unité internationale de calcul et de mesure des pressions. Il correspond à la pression qu'exerce 1 Newton appuyant sur une surface d'1 m^2 .

Nous avons vu que le Newton est le poids d'environ 100 grammes. Le Pascal est donc la pression qu'exerce sur le sol une flaque de 100 grammes, par exemple d'eau, répartis sur une surface de 1 m^2 (soit une flaque de 0,1 mm d'épaisseur). Le pascal correspond donc à une pression très faible, il est peu adapté à notre branche professionnelle. Nous utiliserons plutôt le **daPa = 10 pascal**, le **kPa = 1 000 Pa** et le **bar = 100 000 Pa**.

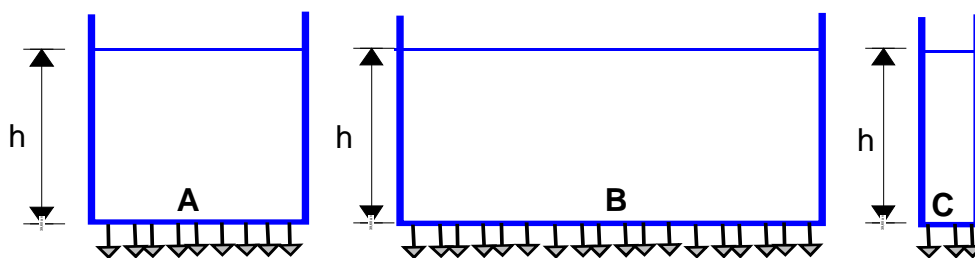


Exercice : Quel est le poids de 1 019,4 kg d'acier ? Quelle est la pression (en Pa, daPa, kPa, bar) exercée par cette masse si elle appuie sur une surface de 1 m² ?

Exercice : Quel est le poids de 1 019,4 kg d'eau ? Quelle est la pression (en Pa, daPa, kPa, bar) exercée par cette masse si elle appuie sur une surface de 2 m² ?

3 LES PRESSIONS D'EAU

Dans notre profession, les pressions auxquelles nous sommes confrontés sont souvent dues aux poids de liquides, particulièrement d'eau. Une propriété très simple en facilite l'étude : **dans les réservoirs à l'air libre, seule la hauteur de liquide au-dessus du point de mesure conditionne la pression.** Ainsi, les pressions exercées sur les fonds des trois réservoirs dessinés ci-dessous **sont identiques** car les hauteurs h de liquides qu'ils contiennent sont les mêmes : $p_A = p_B = p_C$



Il paraît surprenant qu'au fond du grand réservoir B la pression soit la même qu'au fond du petit réservoir C. Certes, le poids de liquide qui appuie sur le fond du réservoir B est plus grand que celui qui appuie sur le fond du réservoir C, mais les surfaces d'appui sont de proportions identiques (grand poids en B sur une grande surface, petit poids en C sur une petite surface). Au final, les pressions sont identiques dans les 3 réservoirs.

$$p = \frac{\text{Poids}_A}{S_A} = \frac{\text{Poids}_B}{S_B} = \frac{\text{Poids}_C}{S_C}$$

Ceci a permis aux professions utilisant des fluides de définir des unités de pression très « parlantes » exprimées en hauteurs de liquides.

Ainsi, dans notre profession on utilise parfois le « millimètre de colonne d'eau » [mmCE] et le « mètre de colonne d'eau » [mCE] correspondant aux pressions que créent de telles hauteurs d'eau.

$$1 \text{ mmCE} \approx 10 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mCE} \approx 10\,000 \text{ Pa} = 10 \text{ kPa}$$

Exercice : Sachant que le bar est égal à 100 000 Pa, à combien de mCE correspond-t-il ?

Un industriel qui travaille uniquement avec du fuel peut utiliser le « mètre de colonne de fuel » [mCF]. Le fuel étant plus léger que l'eau, 1 [mCF] ne vaut que $\approx 8 \text{ kPa}$.

Les météorologistes utilisaient le « millimètre de mercure » [mmHg], unité de pression correspondant à des hauteurs de mercure. Le mercure étant beaucoup plus lourd que l'eau, on ne sera pas surpris que 1 [mmHg] $\approx 133 \text{ Pa}$ (pour mémoire : 1 mmCE $\approx 10 \text{ Pa}$).

Evidemment, ces unités professionnelles ne sont pas celles du système international d'unités, et il nous faudra de plus en plus maîtriser le Pa, le daPa, le kPa et le bar.

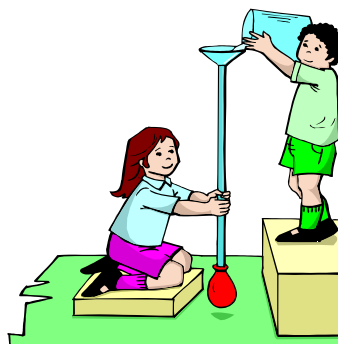
Néanmoins, savoir que le bar correspond à $\approx 10 \text{ mCE}$, nous aidera à visualiser ce que représente une pression de quelques bars dans une installation de chauffage.



Exercice : Ce nageur se trouve à 15 m de profondeur. A quelle pression est-il soumis ?

Exercice : Quelle est la pression au pied d'un château d'eau de 30 mètres de hauteur ?

4 LES UNITES DE PRESSIONS



Comme nous venons de le voir il nous faudra utiliser l'unité internationale et ses multiples ainsi les unités exprimées en hauteurs d'eau.

Nous retiendrons :

- 1 daPa = 10 Pa \approx 1 mmCE
- 1 kPa = 1000 Pa
- 1 bar = 100 000 Pa \approx 10 mCE

Tous nos autres besoins en découleront.

Exercice : transformez dans l'unité demandée

42 kPa =	bar	3 000 mmCE =	bar
4500 daPa =	bar	30 kPa =	bar
45 mCE =	bar	150 daPa =	bar

Exercice : transformez dans l'unité demandée

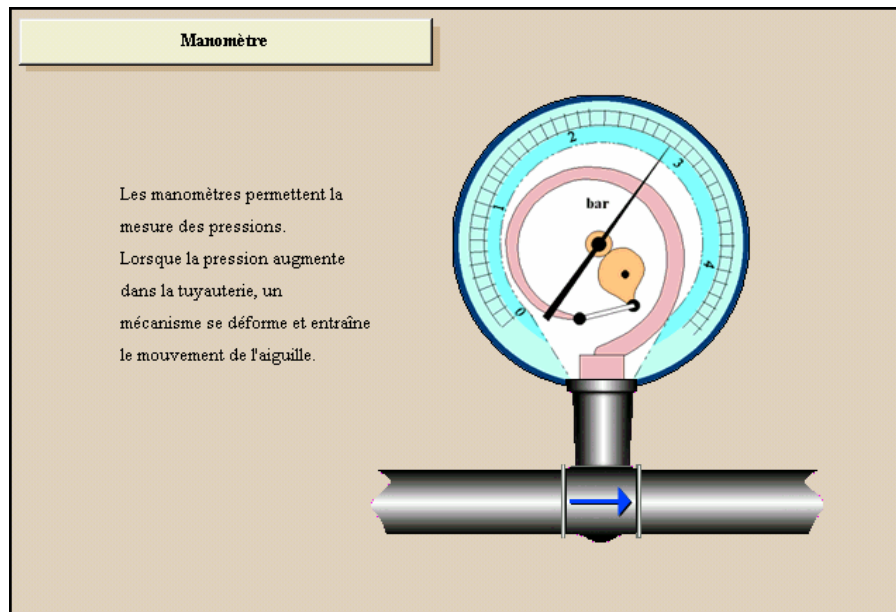
300 mmCE =	bar	27 kPa =	bar
7 mCE =	daPa	4 500 mmCE =	kPa
12 kPa =	mCE	200 daPa =	kPa

Exercice : transformez dans l'unité demandée

30 mmCE =	daPa	75 kPa =	mCE
75 mCE =	kPa	45 mmCE =	kPa
7,5 kPa =	bar	200 daPa =	bar

5 LA MESURE DES PRESSIONS

Dans notre secteur, les pressions sont mesurées grâce à des manomètres.



Source : CDRom « hydraulique des réseaux de chauffage » Editions Edipa ou Eyrolles.

Si le manomètre ci-dessus n'était pas raccordé à la tuyauterie, ou si celle-ci était vide d'eau, le manomètre indiquerait une pression nulle. En réalité, un manomètre non raccordé devrait indiquer une pression toujours présente : **la pression atmosphérique**.

Cette pression est due au poids de l'air qui appuie sur la surface de la terre. En basse altitude elle est d'environ **1 bar**.

On peut donc se demander pourquoi un manomètre non raccordé indique 0 bar, alors qu'il devrait indiquer 1 bar.

En fait ce qui nous intéresse est de savoir si les pressions qui règnent à l'intérieur de nos installations sont supérieures ou inférieures à la pression atmosphérique qui les entoure. Une pression supérieure à la pression atmosphérique (et donc indiquée > 0 par notre manomètre) nous indiquera que l'installation est « gonflée ». Si nous mesurons une pression inférieure ou égale à la pression atmosphérique (et donc indiquée ≈ 0 par notre manomètre), c'est que l'installation n'est « pas gonflée » (elle est seulement remplie d'air atmosphérique ou sera l'objet d'infiltrations d'air de l'extérieur vers l'intérieur)

Nos pressions sont en fait des **pressions relatives (ou effectives)**, par rapport à la pression atmosphérique.

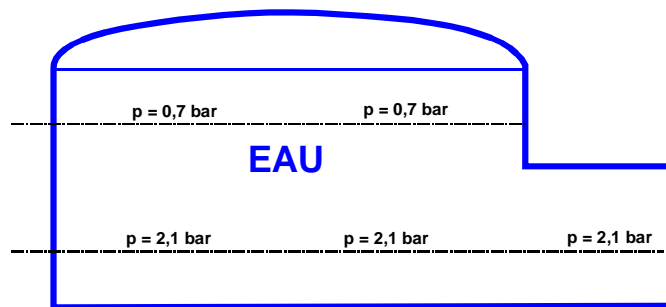
Si l'on rajoute à nos mesures par manomètre, la pression atmosphérique (soit 1 bar), on accède à la véritable pression que l'on appelle « **pression absolue** ». En règle générale, nous n'en aurons pas besoin.



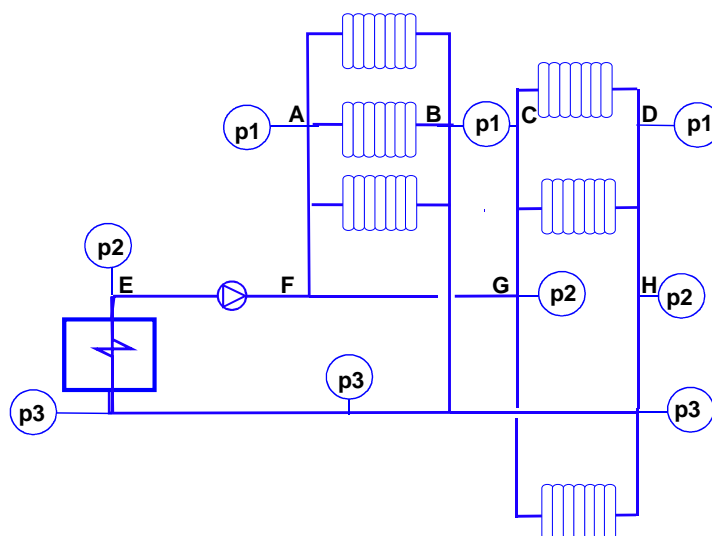
Evidemment un baromètre indique une pression absolue, puisqu'il mesure la pression atmosphérique. Dans la même situation, un manomètre indique 0 bar.

6 PRESSIONS SUR UN PLAN HORIZONTAL

A l'intérieur d'un même circuit ou d'un réservoir, sur un plan horizontal, les pressions sont identiques (mêmes si les points de mesure sont très éloignés).

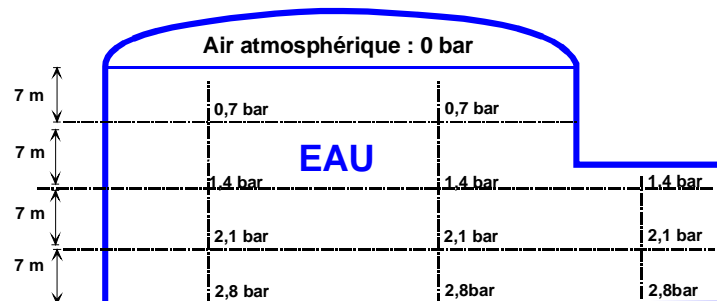


Sur le circuit de chauffage ci-dessous (pompes à l'arrêt), sur un même niveau, les pressions sont identiques. Ainsi, $p_A = p_B = p_C = p_D = p_1$, comme $p_E = p_F = p_G = p_H = p_2$.

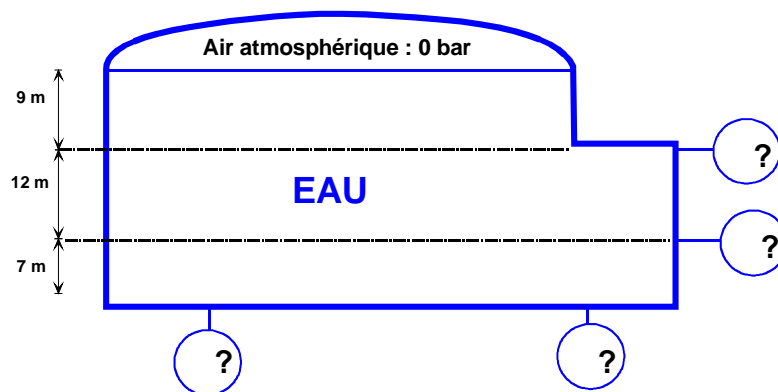


7 PRESSIONS SUR UN PLAN VERTICAL

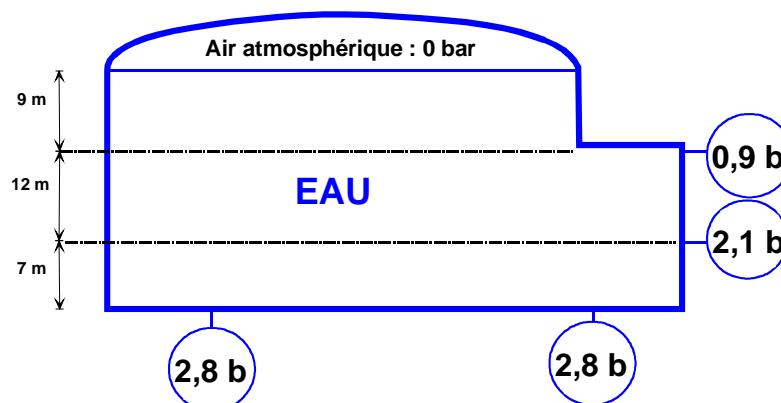
Dans les réservoirs à l'air libre, les pressions correspondent aux hauteurs de liquides au-dessus du point de mesure.



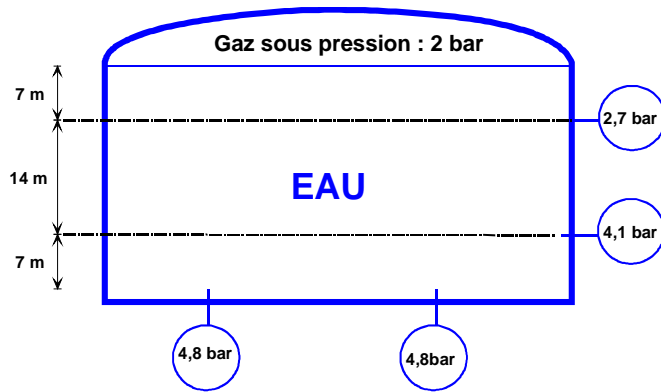
Exercice: Indiquez en bar les pressions dans le réservoir



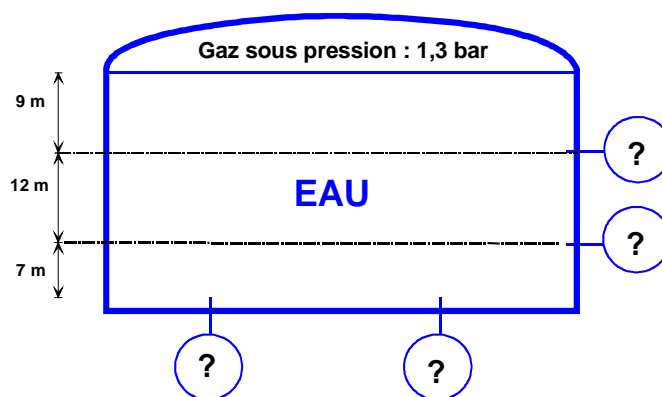
Réponse :



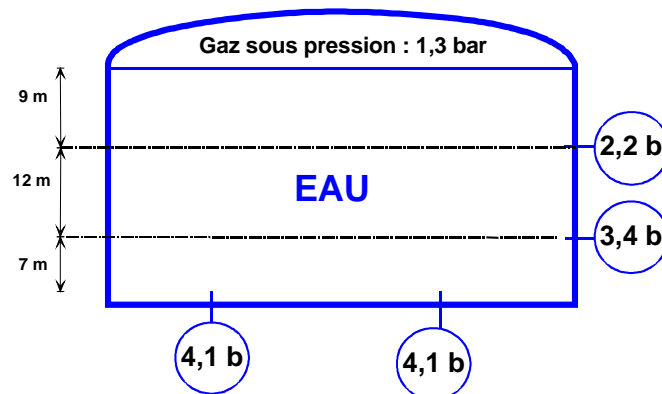
Dans les réservoirs **sous pression**, la pression au point haut se rajoute à celle du liquide.



Exercice: Indiquez en bar les pressions dans le réservoir

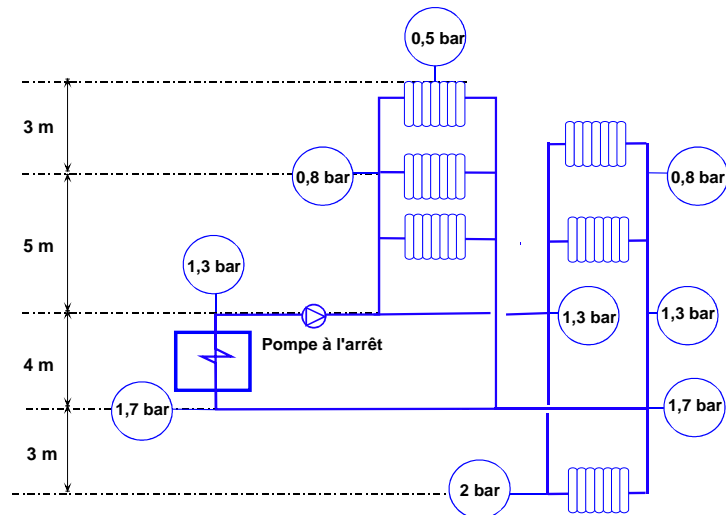


Réponse :



8 PRESSIONS DANS LES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE ET DE CLIMATISATION

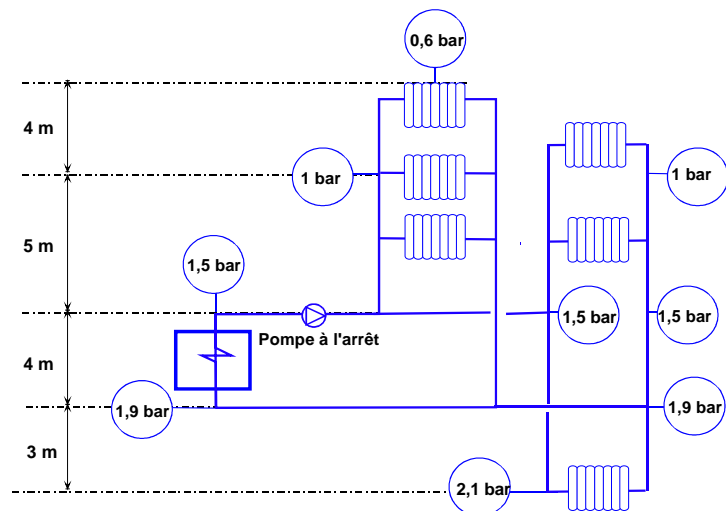
Dans les circuits de chauffage, le remplissage en eau consiste à monter l'eau jusqu'au point haut puis à en rajouter un peu pour « gonfler » l'installation. Ainsi on disposera d'un minimum de 0,5 bar sur les points hauts ce qui permettra d'y effectuer des purges. *En climatisation sur les circuits d'eau glacée, on prévoira 1,5 bar en fin de remplissage au point haut.*



Exercice: Indiquez les pressions dans l'installation de chauffage (pompe à l'arrêt)

La pression est connue en un point, les autres pressions pourront se déterminer par la prise en compte des hauteurs d'eau ($1 \text{ bar} \approx 10 \text{ mCE}$).

Réponse



Exercice : Pompe à l'arrêt, on mesure dans une chaufferie une pression de 3,5 bars. Au même moment, on mesure en un point du réseau de distribution une pression de 4,7 bars. Quelle est la dénivelée de ce point par rapport à la chaufferie ?

Exercice : La soupape de sécurité située en chaufferie s'ouvre si la pression devient excessive. Dans une chaufferie située en terrasse d'un immeuble elle est réglée (tarée) pour s'ouvrir à 2 bars. En négligeant l'influence de la pompe, à quelle pression maximum pourra monter un équipement situé à 8 m en dessous de la chaufferie ?

Exercice : La soupape de sécurité située dans une chaufferie est tarée à 4 bars. A quelle pression maximum pourra monter un équipement situé à 12 m en dessus de la chaufferie (en négligeant l'influence de la pompe) ?

Exercice : En fin de remplissage en eau, on mesure dans une chaufferie 1,8 bar et au sommet de l'installation de chauffage une pression de 0,3 bar. Chaudière en température, la dilatation de l'eau entraîne une montée de la pression et on mesure en chaufferie une pression de 2,7 bars. Quelle est à ce moment la pression en haut de l'installation (en négligeant l'influence de la pompe) ?

VI. LA CHALEUR

1 L'ENERGIE

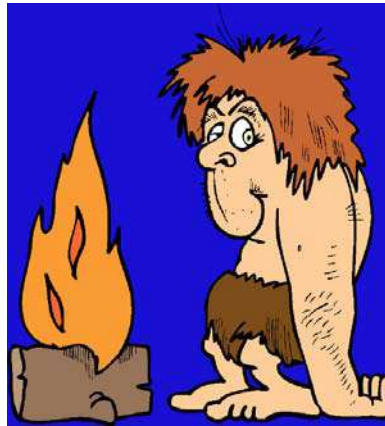
L'énergie est la grandeur **source des mouvements**. Ces mouvements peuvent être ceux des corps qui nous entourent (énergie mécanique) ou concerner des particules élémentaires (molécules, atomes, électrons, photons). Dans ce cas, selon la nature des particules concernées et le type des mouvements en jeu, on parlera d'énergie chimique, électrique, atomique, rayonnante ou thermique (chaleur).



Si l'on considère le déplacement des corps qui nous entourent (énergie mécanique) comme la présentation la plus performante de l'énergie, les autres formes le sont plus ou moins. Ainsi, avec seulement de la chaleur, il est difficile de déplacer quelque chose, tandis que l'énergie électrique le permettra facilement.

La chaleur est la forme la moins riche de l'énergie. Toutes les autres formes peuvent intégralement se transformer en chaleur et non l'inverse. Certains en déduiront qu'il est aberrant d'utiliser l'électricité pour se chauffer, puisque l'on utilise alors une énergie riche sous sa forme la plus pauvre.

Mais si la chaleur est la forme d'énergie la plus pauvre, c'est aussi pour l'homme la plus essentielle.



2 LA CHALEUR

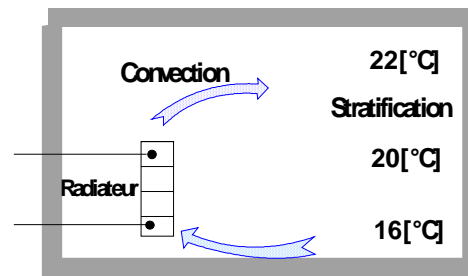
La chaleur est une forme d'énergie échangée entre deux corps dont les températures sont différentes. Ce transfert s'effectue sous forme d'énergie mécanique microscopique, correspondant au degré d'agitation des molécules. Ainsi, lorsqu'un corps reçoit de la chaleur, l'agitation de ses molécules a tendance à s'intensifier, ce qui se traduit la plupart du temps par une augmentation de sa température. Cependant, un apport de chaleur peut également provoquer un changement d'état : si on chauffe un glaçon, il fond progressivement tout en restant à 0 °C. Entre deux corps, **la chaleur se propage spontanément du corps le plus chaud vers le plus froid**, élevant donc généralement la température de ce dernier, tout en abaissant la température du premier. La chaleur ne peut se propager en sens inverse (d'un corps froid vers un corps chaud), qu'à condition de fournir une énergie complémentaire pour permettre ce transfert non naturel.



Si le corps chaud est en contact avec le corps froid, la chaleur se transmet de proche en proche par **conduction**. Les molécules en surface du corps chaud perdent une partie de leur agitation au profit des molécules situées en surface du corps froid. Il en découlera un déséquilibre d'agitation aussi bien du côté du corps froid que du corps chaud qui se transmettra de proche en proche aussi longtemps que les 2 corps n'auront pas atteint une même température moyenne.

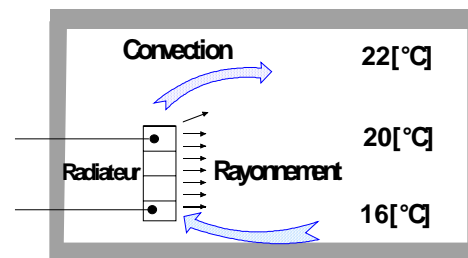
Si les corps en contact sont des fluides, les molécules « réchauffées » auront généralement tendance à monter du fait de leur dilatation, tandis que les molécules « refroidies » descendront. Ce type de conduction de chaleur sera appelé **convection**.

Ainsi, au-dessus du radiateur, on sent l'air chauffé monter du fait de la convection. Dans le local chauffé, l'air sera toujours plus chaud au plafond qu'au sol. Ce phénomène est appelé **stratification**.



Si le corps chaud n'est pas en contact avec le corps froid la transmission de chaleur s'effectuera par **rayonnement**. C'est par ce mode de transmission que le soleil chauffe notre planète. L'énergie est transmise sous forme de particules élémentaires sans masse, appelées photons. Lorsque ces photons frapperont la surface du corps froid, ils libéreront leur énergie sous forme de chaleur.

Dès qu'il y a un écart de température entre 2 corps, il y a échange par rayonnement. Le radiateur transmet donc sa chaleur par convection et par rayonnement. La proportion entre ces 2 modes d'échange est fonction de la forme du radiateur et de sa température.



3) QUANTITE D'ENERGIE

L'énergie permet le mouvement. L'unité internationale de l'énergie est le joule qui correspond à la levée d'un poids d'un newton (≈ 100 grammes), sur une hauteur de 1 m.

L'énergie, « déplacement d'un poids (force) sur une hauteur » est une grandeur physique composée de longueur, de masse et de temps.

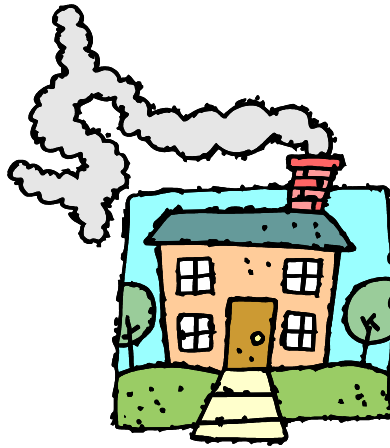
Le joule est le nom que l'on a donné à l'unité d'énergie : le $\text{kg m}^2 / \text{s}^2$

Toutes les énergies peuvent se transformer en chaleur. Si l'on soulève de 1 m un objet de 1 newton à l'intérieur d'une cuve d'eau isolée de 1 m^3 , lorsque tout sera revenu au repos, l'eau aura reçu 1 joule de chaleur, qui se sera traduit par une augmentation de température de $0,00000024 \text{ }^\circ\text{C}$...

Le joule peut être utilisé pour quantifier les quantités de chaleur, mais c'est une unité très petite. On utilisera plutôt :

- le kilojoule : $\text{kJ} = 1\ 000 \text{ J}$
- le mégajoule : $\text{MJ} = 1\ 000\ 000 \text{ J}$

La lettre symbole de représentation de la chaleur est : **Q**.



4 CHALEUR MASSIQUE

La chaleur massique est la quantité de chaleur qu'il faut apporter à 1 kg d'un corps pour en élever la température de 1 °C. Elle permettra de calculer les quantités de chaleur à apporter ou à enlever, pour réchauffer ou refroidir les corps, sans changement d'état physique (solide, liquide, gazeux).

Ainsi, pour élever la température de 1 kg d'eau de 1°C, il faut lui apporter une quantité de chaleur de 4 180 joules (4,18 kJ).

La lettre symbole représentant la chaleur massique est C_m .

$C_{m \text{ eau}} = 4,18 \text{ (kJ / kg.}^\circ\text{C)}$

La chaleur massique dépend de la situation moléculaire d'un corps. Aussi, elle diffère pour chaque matière, et pour une matière donnée, elle est différente selon l'état physique (solide, liquide, gazeux).

Ainsi, il faut :

- 2,1 kJ pour réchauffer 1 kg de glace de 1°C : $C_{m \text{ glace}} = 2,1 \text{ kJ / (kg.}^\circ\text{C)}$
- 4,18 kJ pour réchauffer 1 kg d'eau de 1°C : $C_{m \text{ eau}} = 4,18 \text{ kJ / (kg.}^\circ\text{C)}$
- 1,83 kJ pour réchauffer 1 kg de vapeur de 1°C : $C_{m \text{ vapeur}} = 1,83 \text{ kJ / (kg.}^\circ\text{C)}$

Et dans chacun des états physiques, ces chaleurs massiques varient avec la température...



Dans notre branche professionnelle, pour nos niveaux usuels de températures nous utiliserons pour l'eau et pour l'air :

$$C_{m \text{ eau}} = 4,18 \text{ (kJ / kg.}^\circ\text{C)}$$

$$C_{m \text{ air}} = 1 \text{ (kJ / kg.}^\circ\text{C)}$$

Si l'on doit chauffer ou refroidir d'autres matières, on trouvera sur le « net » toutes les chaleurs massiques et masses volumiques nécessaires.

5 CALCUL DES QUANTITES DE CHALEUR SANS CHANGEMENT D'ETAT PHYSIQUE

Un changement d'état physique correspond à une modification de la structure moléculaire telle que le passage de l'état solide à l'état liquide etc.

Lorsque la chaleur apportée ou retirée à de la matière n'entraîne qu'une **variation de la température**, sans changement d'état physique, on parle de **chaleur sensible**.

Lorsque la chaleur apportée ou retirée entraîne un **changement d'état physique** sans variation de la température on parle de **chaleur latente**.

Lorsque que la chaleur apportée ou retirée entraîne un **changement d'état physique et une variation de la température**, on parle de **chaleur totale**.

Nous allons apprendre à calculer les quantités de chaleur sensible.

Si l'on connaît la chaleur massique d'un corps, on sait combien il faudra lui apporter de chaleur pour en élever 1 kg de 1 °C. Si l'on travaille sur plusieurs kg, il suffira de multiplier par le nombre de kg, si l'on élève la température de plusieurs degrés, il suffira de multiplier par le nombre de degrés :

$$Q = M \times C_m \times \Delta T$$

Avec : Q : Quantité de chaleur en kJ

M : Masse chauffée ou refroidie en kg

C_m : Chaleur massique en kJ/(kg.°C)

ΔT : écart de température d'élévation (ou de refroidissement)

Remarque : « Δ » est une ancienne lettre grecque (prononcée delta) veut dire « écart de ».
« ΔT » est donc l'écart de température.

Exercice : Quelle quantité de chaleur faut-t-il en kJ, pour réchauffer 3 kg d'eau de 1 °C ?

Exercice : Quelle quantité de chaleur faut-t-il en kJ, pour réchauffer 1 kg d'eau de 85 °C ?



Exercice : Quelle quantité de chaleur faut-t-il (en kJ) pour réchauffer 3 kg d'eau de 10 à 35 °C ?

Exercice : Quelle quantité de chaleur (en kJ) faudra-t-il enlever à 3 500 kg d'eau pour les refroidir de 12 °C à 6 °C?

Exercice : Quelle quantité de chaleur (en kJ) faudra-t-il pour réchauffer 150 kg d'air de 5 à 25 °C ?

($C_{m \text{ air}} = 1 \text{ kJ / kg } ^\circ\text{C}$)

6 UTILISATION DE LA FORMULE $Q = M C_m \Delta T$

Cette formule a été étudiée pour calculer des quantités de chaleur Q . Mais, on peut la manipuler pour calculer des masses réchauffées ou des écarts de températures, les autres données étant connues :

$$M = \frac{Q}{C_m \times \Delta T}$$

$$\Delta T = \frac{Q}{M \times C_m}$$

Il ne s'agit pas de nouvelles formules mais de mises en forme selon ce que l'on connaît et ce que l'on recherche.

Les unités utilisées doivent évidemment être les mêmes quelle que soit la présentation de la formule soit :

- Q en kJ
- M : masse en kg
- C_m en kJ /kg°C
- ΔT en °C

Exercice : Quelle masse d'eau en kg pourra-t-on réchauffer de 40°C si l'on dispose de 162000 kJ ?

Exercice : De combien de °C pourra-t-on réchauffer de 3000 l d'eau si l'on dispose de 540000 kJ ?

Exercice : La chaleur massique de l'air étant de 1 kJ/(kg.°C), quelle masse d'air (en kg) pourra-t-on réchauffer de 10 à 35°C si l'on dispose de 15000 kJ ? Sachant que la masse volumique de l'air (atmosphérique) est de 1,2 kg/m³, quel volume pourra-t-on réchauffer.

Exercice : La chaleur massique du fuel domestique est de 2,1 kJ/(kg.°C). La masse volumique du fuel domestique est de 840 kg/m³.
Quelle quantité de chaleur faudra-t-il introduire dans une cuve de 25 m³ pour la réchauffer de 5 à 15°C ?



Exercice : La chaleur massique du fuel domestique est de 2,1 kJ/(kg.°C). Quelle masse de fuel domestique pourra-t-on réchauffer de 25°C, avec 864000 kJ ? Sachant que la masse volumique du fuel domestique est de 840 kg/m³, quel volume de fuel (en m³) pourra-t-on réchauffer ?

Exercice : La chaleur massique du fuel domestique est de 2,1 kJ/(kg.°C). La masse volumique du fuel domestique est de 840 kg/m³.
De combien de °C pourra-t-on réchauffer une cuve de 6 m³, si l'on dispose de 72000 kJ ?

Exercice : De combien de °C peut-on réchauffer 1 kg d'eau si l'on dispose de 1000 Joules ?

7 EXEMPLES DE CHALEURS MASSIQUES

<i>Matière</i>	<i>Chaleur massique à 20°C en kJ/(kg.°C)</i>
Aluminium	0,9
Or	0,13
Granite	0,8
Fer	0,45
Huile d'olive (liquide)	2
Argent	0,24
Acier inoxydable	0,51
Eau (liquide)	4,18
Bois	1,76
Air (gaz)	1,01
Méthane (gaz)	2,22
Fuel (liquide)	2,1
Éthanol (liquide)	2,45

VII. LA PUISSANCE

1 LA PUISSANCE

Au sens commun, la puissance est la grandeur qui permet **la production**.

Cette production peut être de toute nature, politique, architecturale, industrielle, énergétique etc.

C'est bien sûr cette dernière forme qui nous intéressera en génie climatique.



Disposer d'une grande puissance énergétique laisse entendre que l'on pourra fournir beaucoup d'énergie, donc de joules. Comme nous l'avons vu dans le dossier « énergie », les joules fournis seront plus ou moins performants selon que l'on disposera d'une puissance calorifique, électrique, atomique etc.

Ceci étant, la puissance ne sera utile que pour autant que l'on s'en serve...

Quelle que soit son importance, une puissance ne pourra fournir de l'énergie que si elle est utilisée **pendant un certain temps**. C'est donc le temps, grandeur physique n°1, qui relie la notion d'énergie (Q pour la chaleur) et de puissance (P).

$$Q = P \times t$$

L'énergie (Q pour la chaleur) correspond à l'utilisation d'une puissance P pendant un certain temps t



2 UNITE DE PUISSANCE ET FOURNITURE D'ENERGIE

L'énergie (Q pour la chaleur) correspond à l'utilisation d'une puissance P pendant un certain temps t.

$$Q = P \times t$$

La puissance quantifie la possibilité de fournir de l'énergie pendant une durée t

$$P = Q / t$$

Avec : Q : quantité de chaleur fournie en joule
t : durée d'utilisation de la puissance P en seconde

L'unité de calcul des puissances est donc le **joule/seconde**.

Malheureusement, on a donné un nom à cette unité ce qui n'en facilité pas la compréhension :

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ joule} / \text{seconde}.$$

Inversement, le joule est la quantité d'énergie fournie par une puissance de 1 Watt utilisée pendant 1 seconde.

Pour les puissances, on utilise les multiples kW = 1000 W et MW = 1000 000 W

Si l'on connaît en Watt une puissance et son temps d'utilisation en seconde, on pourra facilement calculer le nombre de joule fourni :

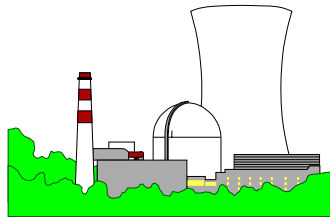
$$Q = P \times t$$

Avec : Q en joules
P en Watt
t en secondes

Ainsi, si l'on dispose d'un convecteur électrique de 2000 W utilisé 8 h par jour durant un hiver de 230 jours, il fournira :

$$Q = 2000 \times 230 \times 8 \times 3600 = 13\,248\,000\,000 \text{ joules !}$$

On perçoit donc que le joule est une toute petite quantité d'énergie. On imagine mal EDF indiquer sur une facture une fourniture (consommation) de 13 248 mégajoules pour un malheureux convecteur de 2 kW !



3 LE KILOWATTHEURE



Nous avons compris que le joule est la quantité d'énergie fournie par une puissance de 1 watt utilisée pendant 1 seconde. C'est une toute petite quantité d'énergie.

Dans notre branche professionnelle, on utilise plutôt le **kWh** correspondant à la fourniture d'énergie d'une puissance de 1 kW utilisée pendant 1 heure (3 600 secondes).

Le kWh correspond donc à 1000 Watts utilisés pendant 3600 secondes donc à :

$$Q = P \times t = 1\,000 \times 3\,600 = 3\,600\,000 \text{ joules.}$$

Nous retiendrons que $1 \text{ kWh} = 3\,600 \text{ kJ}$

Attention, il ne faudra pas confondre le **kW** unité de **puissance** (sans notion de durée d'utilisation) et le **kWh** unité utilisée pour calculer les **quantités d'énergie** fournies ou consommées.

$$Q = P \times t$$

Avec : Q en kWh
P en W
t en h

Reprenons notre convecteur électrique de 2 kW utilisé 8 h par jours durant 230 jours de chauffe, et dont la consommation était de 13 248 000 000 joules.

Calculée en kWh, sa consommation ne sera de : $Q = P \times t = 2 \times 230 \times 8 = 3\,680 \text{ kWh}$.

En Euros 2004, pour un ordre de grandeur de 0,1 Euro/kWh, le coût annuel de ce chauffage sera de 368 Euros.

Exercice : Un appartement dispose de 8 ampoules de 60 Watts. L'éclairage étant utilisé en moyenne 4 h/jour, calculez la consommation électrique d'éclairage en kWh.

Quelle aurait été cette consommation si on l'avait indiqué en kJ ?

Pour un ordre de grandeur de 0,1 Euro/kWh, quel est le coût annuel de l'éclairage de cet appartement ?

Exercice : Un appartement dispose de 5 convecteurs électriques de 1500 Watts. Ces convecteurs étant utilisés en moyenne 8h/jours durant les 230 jours de la saison de chauffe, calculez la consommation électrique de ce chauffage en kWh.

Pour un ordre de grandeur de 0,1 Euro/kWh, quel est le coût annuel du chauffage de cet appartement ?

Remarque : on utilise aussi parfois le wattheure (Wh) défini par l'utilisation d'une puissance de 1 watt pendant 1 heure. Bien sûr, $1 \text{ Wh} = 1/1\,000 \text{ kWh} = 3\,600 \text{ joules}$

Enfin, le MWh correspond à 1 000 kWh.

4 ETUDE DE LA RELATION PUISSANCE / ENERGIE



Nous avons compris que le temps (durée d'utilisation) réunissait ces 2 grandeurs. Ainsi :

- La connaissance d'une puissance et de son temps d'utilisation permettra de calculer la quantité d'énergie fournie (ou consommée) : $Q = P \times t$
- La connaissance de la quantité d'énergie à fournir et du temps disponible pour le faire permettra de calculer la puissance nécessaire : $P = Q / t$
- La connaissance la quantité d'énergie à fournir et de la puissance disponible pour le faire permettra de calculer la durée de l'opération. $t = Q/P$

Evidemment, il ne s'agit pas de 3 formules différentes, mais d'une même formule, mise en forme selon la grandeur recherchée. Les unités pourraient être respectivement : Q en joules, P en watts et t en secondes, mais dans notre branche professionnelle, on préférera :

- Q en kWh ou Wh
- P en kW ou W
- t en heures.

Exercice : Le réchauffage d'un réservoir nécessite la fourniture de 15 000 kWh. Le temps disponible pour réaliser la mise en température est de 6 h. Quelle puissance en kW sera-t-il nécessaire de mettre en œuvre ?

Exercice : Pour enlever à un réservoir une quantité de chaleur de 37 500 kWh, on dispose d'un refroidisseur d'une puissance frigorifique de 13 kW. Combien de temps sera nécessaire à cette opération ?

Exercice : La puissance de la chaudière d'un immeuble est de 250 kW. Pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, elle est utilisée 24 h / 24 en moyenne à 20 % de sa puissance maximale. Quelle quantité de chaleur est fournie chaque année en MWh ?

Exercice : Pour fournir à un réservoir une quantité de chaleur de 37 500 MJ, on dispose d'une chaudière d'une puissance de 250 kW. Combien de temps sera nécessaire à cette opération ?

5 CALCULS A PARTIR DES FORMULES $Q = M C \Delta T$ ET $P = Q/t$

Au dossier énergie, nous avons appris à calculer les quantités de chaleurs nécessaires pour réchauffer ou refroidir les masses de matière. Pour cela, nous avons utilisé la formule :

$$Q = M \times C_m \times \Delta T$$

Avec : Q : Quantité de chaleur en kJ

M : Masse traitée en m³

C_m : Chaleur massique en kJ/(kg.°C)

ΔT : écart de température d'élévation (ou de refroidissement)

En utilisant successivement les formules $Q = M \times C_m \times \Delta T$ et $P = Q/t$, nous allons résoudre différents problèmes de thermicien.

Nous vous conseillons de convertir les quantités de chaleur calculée en kWh avant d'utiliser la formule $P = Q/t$.

Exercice : Sachant que la chaleur massique de l'eau est de $4,18 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, déterminez en kWh la quantité de chaleur nécessaire pour réchauffer un ballon de 200 litres d'eau de 10 à 55 °C. Sachant que l'on souhaite que ce réchauffage s'effectue en 2,5 heures, quelle puissance sera nécessaire en kW.

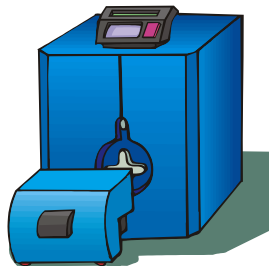
Exercice : Quelle puissance sera nécessaire pour réchauffer 200 litres d'eau de 10 à 55 °C en 4 h ?

Exercice : Quelle puissance sera nécessaire pour réchauffer en 24 h, 15 m^3 de fuel de masse volumique $950 \text{ kg}/\text{m}^3$ et chaleur massique $2,1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$.



Exercice : Un ballon d'eau chaude sanitaire de 200 l est équipé d'une résistance chauffante de 1 500 W. En combien de temps peut-il être remonté en température de 10 à 55 °C ?

Exercice : Nous devons refroidir un réservoir un réservoir de 2 000 litres d'eau de 40 °C à 15 °C. On dispose d'un refroidisseur d'une puissance frigorifique de 13 kW. Combien de temps sera nécessaire à cette opération ?



Exercice : On doit réchauffer une masse de 8 tonnes d'acier de 5 à 70 °C. Sachant que la chaleur massique de l'acier est d'environ $0,5 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ et que l'on dispose d'une puissance de chauffe de 25 kW, en combien de temps cette opération sera effectuée ?

Exercice : On doit refroidir une cuve de 60 m^3 d'éthanol de 55 à 25 °C. La masse volumique de l'éthanol est de $800 \text{ kg}/\text{m}^3$ et sa chaleur massique est de $2,45 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$. Cette opération doit être effectuée en 8 h. Quelle puissance frigorifique sera nécessaire ?