

Aide-mémoire de
PNEUMATIQUE INDUSTRIELLE

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



ÉDITEUR DE SAVOIRS

José Roldan Vloria

Aide-mémoire de **PNEUMATIQUE INDUSTRIELLE**

Traduit de l'espagnol par Stéphanie Lemière

DUNOD

Traduction autorisée de l'ouvrage publié
en langue espagnole sous le titre :
Prontuario de neumática industrial. Electricidad aplicada
© 2001 International Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A.

photo de couverture :
© Scruggelgreen - fotolia.com

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>	<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	---



Nouvelle présentation, 2013, 2015, 2018

© Dunod, 2002, 2006

11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff

978-2-10-079074-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	1
1 • Physique des fluides	3
1.1 Unités et données utiles	3
1.2 Concepts physiques	5
1.3 L'air, fluide pneumatique	6
1.4 Lois physiques appliquées à la pneumatique	8
1.5 Utilisation de l'air comprimé	12
1.6 Pression, température et pH	15
1.7 Compresseur d'air	19
2 • Composants et symboles pneumatiques	23
2.1 Directives et normes	23
2.2 Distributeurs	27
2.3 Contrôle de débit	37
2.4 Contrôle de pression	40
2.5 Autres symboles pneumatiques	41
3 • Matériels pneumatiques	49
3.1 Appareils et accessoires	49
3.2 Tubes pour circuits pneumatiques	62
3.3 Armoires pneumatiques	62
3.4 Vérins pneumatiques	66
3.5 Divers appareils pneumatiques	67

4 • Vérins pneumatiques	69
4.1 Introduction aux vérins pneumatiques	70
4.2 Calcul des valeurs	72
4.3 Valeurs types	74
4.4 Vérins tandem	82
4.5 Représentations des vérins	85
4.6 Ancrage et fixation des vérins	87
4.7 Exemples d'application des vérins pneumatiques	88
4.8 Calcul des vérins pneumatiques	88
5 • Circuits pneumatiques	93
5.1 Compresseur à un étage	93
5.2 Production et distribution d'air comprimé	94
5.3 Démarrage d'installation pneumatique	96
5.4 Purge ou vidange de circuits pneumatiques	100
5.5 Implantation de lubrificateur dans le circuit	101
5.6 Réservoirs pour air pneumatique	103
5.7 Vérins à simple effet – Régulation de débit	104
5.8 Applications de vérins à simple effet	105
5.9 Armoires pneumatiques	113
5.10 Représentation graphique de la manœuvre d'un vérin pneumatique	113
5.11 Vérins à double effet	115
5.12 Applications avec deux cylindres	176
5.13 Autres actionneurs pneumatiques	181
5.14 Applications oléopneumatiques	188
5.15 Pneumatique électronique et logique	201
5.16 Applications du vide pneumatique	206
5.17 Autres applications de l'air comprimé	209
6 • Applications pratiques	211
6.1 Étude n° 1	211

6.2	Étude n° 2	213
6.3	Étude n° 3	215
6.4	Étude n° 4	217
6.5	Étude n° 5	220
6.6	Étude n° 6	223
6.7	Étude n° 7	227
6.8	Étude n° 8	230
6.9	Étude n° 9	232
7	• Électropneumatique	235
7.1	Électro-aimants	237
7.2	Automates programmables	246
7.3	Concepts physiques appliqués à l'électricité	247
7.4	Armoires électriques et pneumatiques	252
7.5	Degrés de protection	254
7.6	Principales valeurs de calcul pour les moteurs triphasés (4 pôles)	263
	Tableau récapitulatif des aires et volumes géométriques	267
	Index	269

AVANT-PROPOS

La pneumatique joue un rôle important dans l'automatisation d'un grand nombre de machines et de procédés industriels. Elle est complémentaire d'autres formes d'énergie telles que l'électricité, la mécanique et l'hydraulique.

Cet ouvrage aborde le sujet de façon très pratique, sans négliger la partie théorique qui lui est complémentaire. La connaissance du vaste champ des applications pneumatiques permettra au spécialiste d'obtenir une meilleure compréhension du domaine, d'utiliser et de trouver des applications pour les nombreux appareils pneumatiques, de plus en plus précis et sophistiqués, qui sont disponibles sur le marché.

Cet ouvrage se veut un document de référence pour le spécialiste, tant au cours de sa formation professionnelle, quel que soit son niveau, que durant l'acquisition de nouvelles compétences techniques, pour l'ingénieur en activité de plus en plus sollicité par des techniciens hautement qualifiés.

Cet ouvrage est complété par un chapitre qui traite de l'application de l'électricité à la pneumatique. L'introduction de l'électronique dans le contrôle et la régulation des appareils pneumatiques se manifeste un peu plus chaque jour. Les automates programmables représentent l'un des moyens qui facilitent l'animation des appareils pneumatiques ainsi que leur fonctionnement.

En conclusion, cet ouvrage comporte une partie théorique et une partie très pratique. Ces deux approches sont nécessaires au technicien qui souhaite acquérir une bonne compétence professionnelle dans cette branche concrète de la technologie pneumatique qui fait partie de l'industrie et de son automatisation.

1 • PHYSIQUE DES FLUIDES

Le premier chapitre de ce livre est un rappel des concepts chimiques, physiques et mathématiques utiles pour le calcul et l'utilisation des installations pneumatiques.

L'air comprimé constitue un réservoir d'énergie, qui peut développer un travail lorsqu'il est appliqué de façon appropriée aux appareils récepteurs tels que les cylindres, les moteurs, les clapets et d'autres applications.

Les connaissances physiques et mathématiques aideront le technicien à effectuer des calculs précis et à utiliser correctement les éléments de commande et de manœuvre, en fonction des besoins et de l'application concernée.

Les concepts les plus utilisés dans cet ouvrage sont notamment les suivants : pression, section, force, couple exercé, vitesse et temps.

1.1 Unités et données utiles

1.1.1 Équivalences des unités de pression

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 10 \text{ N/cm}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0,987 \text{ atm}$$

$$1 \text{ bar} = 750,1 \text{ mm Hg à } 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$1 \text{ bar} = 1,02 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi}$$

$$1 \text{ atm} = 1,01325 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg à } 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$1 \text{ atm} = 1,033 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ mm Hg} = 1,33 \times 10^{-3} \text{ bar}$$

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 0,981 \text{ bar}$$

$$1 \text{ psi} = 6 895 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ psi} = 0,0703 \text{ kgf/cm}^2$$

Tableau 1.1 – Équivalences des unités de pression.

	atm	mm Hg	bar	millibar
atm	1	760	1,01325	1 013,25
mm Hg*	$1,32 \times 10^{-3}$	1	$1,33 \times 10^{-3}$	1,33
bar	0,987	750	1	10^3
millibar	$0,987 \times 10^{-3}$	0,75	10^{-3}	1

* mm Hg (Torricelli) : pression exercée par une colonne de mercure de 1 mm de haut, à 0 °C.

1.1.2 Données utiles sur quelques gaz

Tableau 1.2 – Constantes critiques.

Gaz	Température critique (°C)	Pression critique (MPa)
Vapeur d'eau	374	21,8
Éthanol	243	6,30
Chlore	146	7,69
Dioxyde de carbone	31	7,36
Méthane	82	4,62
Oxygène	- 118	5,06
Azote	- 146	3,39
Hydrogène	- 240	1,29
Hélium	- 268	0,23

Tableau 1.3 – Poids des gaz et vapeurs industrielles
à 0 °C et 760 mm Hg (Torricelli).

Gaz et vapeurs	g/dm ³	Gaz et vapeurs	g/dm ³
Acétylène	1,1709	Éthanol	2,0430
Acide chlorhydrique	1,6391	Éthylène	1,2605
Air sec	1,2928	Fluor	1,6950
Ammoniac	0,7714	Fréon R12 (dichlorodifluorométhane)	5,11
Argon	1,7839	Gaz d'éclairage	0,56
Azote	1,2505	Hélium	0,1785
Butane-n	2,7030	Hydrogène	0,0899
Chlore	3,2140	Méthane	0,7168
Chloroforme	5,2830	Monoxyde de carbone	1,2500
Chlorure méthylique	2,3070	Oxygène	1,4289
Dioxyde de carbone	1,9768	Ozone	2,1440
Dioxyde de soufre	2,9263	Propane	2,0037
Éthane	1,3560	Vapeur d'eau	0,7680

1.2 Concepts physiques

1.2.1 Force

La force F est égale au produit de la masse m par l'accélération a :

$$F = ma$$

avec F en N, m en kg et a en m/s² (1 N = 1 kg · m/s²).

1.2.2 Poids (force)

Le poids d'un corps est la force qui, appliquée à la masse de celui-ci, transmet à ce dernier une accélération en chute libre égale à la gravité ($\approx 9,81 \text{ m/s}^2$).

$$P = mg$$

Le poids s'exprime en N, la masse en kg.

1.2.3 Puissance

Pour un corps en translation :

$$P = Fv$$

avec P la puissance (en W), F la force (en N) et v la vitesse (en m/s).

Pour un corps en rotation :

$$P = M\omega$$

avec M le moment de la force (en Nm) et ω la vitesse angulaire (en rad/s).

1.2.4 Moment de torsion d'une force

$$M = Fr$$

avec r le bras de levier de la force (en m).

1.3 L'air, fluide pneumatique

1.3.1 Nature et propriétés

L'air est le gaz qui compose l'atmosphère terrestre. Il est constitué d'un mélange de gaz, certains très prédominants par rapport aux autres, comme l'indiquent les valeurs suivantes :

– Azote	78,03 % en volume	75,46 % en poids
– Oxygène	20,99 % en volume	23,20 % en poids
– Argon	0,94 % en volume	1,28 % en poids
– Gaz rares et autres	0,04 % en volume	0,06 % en poids

Les gaz rares et les autres gaz sont : le néon (Ne), 1 pour 65 000; l'hélium (He), 1 pour 200 000; le krypton (Kr), 1 pour 1 000 000; le xénon (Xe), 1 pour 11 000 000; l'eau (H₂O) et le dioxyde de carbone (CO₂), en proportions variables.

L'air est un gaz incolore, inodore et insipide, indispensable à la vie sur Terre et nécessaire à la combustion. Les gaz qui composent l'air peuvent être séparés par des moyens physiques comme la distillation fractionnée.

1.3.2 L'air pneumatique

L'air comprimé est le fluide de base utilisé dans les circuits pneumatiques. Il est constitué d'air atmosphérique soumis à une pression supérieure à celle de l'atmosphère, que l'on appelle pression relative ou manométrique.

L'air pneumatique doit être le plus sec possible et dépourvu de tout agent agressif et de polluant. Quand il est comprimé, l'air génère de l'eau de condensation, et ce d'autant plus que les températures sont basses. De plus, l'air doit être propre, c'est-à-dire filtré. La pression de l'air comprimé utilisé en pneumatique n'excède pas les 10 bar (145 psi) et se situe en général entre 6 et 8 bar (87 et 116 psi). L'air doit être sec, dépourvu d'humidité. On installe pour cela des séparateurs d'eau ou des sècheurs d'air dans le réseau de distribution.

L'air s'utilise sec ou lubrifié. Certains appareils comme les appareils d'instrumentation, nécessitent de l'air sec. D'autres, comme les cylindres, les distributeurs, les régulateurs et d'autres appareils courants sont alimentés avec de l'air lubrifié. Cet air remplit deux fonctions : il empêche l'oxydation induite par l'humidité contenue dans l'air et lubrifie les éléments mobiles des appareils pneumatiques. Les huiles utilisées comme lubrifiants sont minérales et leur degré de viscosité varie entre 22 et 37 centistokes. Les huiles contenues dans l'air pneumatique ne doivent pas attaquer les joints ni les autres éléments des appareils pneumatiques.

Une fois qu'il a rempli ses fonctions, l'air pneumatique doit être refoulé dans l'environnement où l'installation est située. Si le nombre d'appareils pneumatiques est important, l'air refoulé peut représenter un grand volume. Associé aux huiles de lubrification, il peut contaminer l'envi-

ronnement où travaillent certaines personnes. La pollution et les dangers qu'elle représente doivent être fortement contrôlés et, afin d'écartier tout risque pour les personnes, l'air doit être refoulé en dehors des milieux fermés.

1.3.3 Caractéristiques, avantages et inconvénients de l'air comprimé

L'air est un fluide élastique. Il s'adapte aux formes du récipient dans lequel il se trouve et exerce une pression dans toutes les directions. Sa pression et son volume peuvent varier par réfrigération ou apport de chaleur.

Il est facile à transporter et à stocker, à contrôler et à réguler. Il se déplace à grande vitesse (10 fois plus vite qu'un fluide hydraulique) et génère des mouvements rapides. Le réseau de distribution est très simple (une tuyauterie) et ne nécessite pas de retour, puisque l'air est refoulé vers l'atmosphère; l'air refoulé est relativement propre. Les appareils de manœuvre sont relativement sensibles. Il n'y a pas de consommation d'énergie lorsque l'air n'est pas utilisé. L'utilisation de ce fluide est sûre et il ne présente aucun danger d'explosion.

Il présente l'inconvénient des fuites (étanchéité). Son usage n'est pas adapté aux pressions élevées car le rendement du moteur compresseur diminue. La pression d'utilisation est comprise entre 0 et 10 bar. Sa régulation est difficile en raison de la compressibilité de l'air et des forces d'inertie des organes en mouvement. Pour un même effort à réaliser, les éléments pneumatiques nécessitent 10 à 30 fois plus de volume que les éléments hydrauliques.

1.4 Lois physiques appliquées à la pneumatique

Les gaz n'ont pas de forme ni de volume propres. Ils occupent le volume du récipient dans lequel ils se trouvent.

1.4.1 Loi de Boyle-Mariotte

À température constante, le produit de la pression d'un gaz par son volume est constant (figure 1.1) :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = P_3 V_3 \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \text{etc.}$$

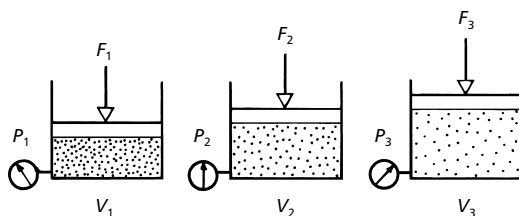


Figure 1.1 – Loi de Boyle-Mariotte.

1.4.2 Lois de Gay-Lussac

■ Coefficient de dilatation

Le coefficient de dilatation isobare a la même valeur pour tous les gaz parfaits, soit :

$$\alpha = \frac{1}{273} = 0,00366 \text{ K}^{-1}$$

Le volume occupé par un gaz à 0 K serait égal à 0.

■ Première formulation de la loi

À pression constante, le volume d'un gaz parfait varie proportionnellement à sa température absolue :

$$\frac{V}{V'} = \frac{T}{T'}$$

avec V le volume (en m^3) et T la température (en K).

■ Deuxième formulation de la loi

À volume constant, la pression d'un gaz parfait varie proportionnellement à sa température absolue :

$$\frac{P}{P'} = \frac{T}{T'}$$

avec P la pression (en Pa) et T la température (en K).

1.4.3 Dilatation des gaz

Lorsqu'un gaz est chauffé, son volume augmente si la pression reste constante, ou sa pression augmente si le volume ne varie pas.

Le coefficient de dilatation isobare α décrit le changement relatif de volume d'un gaz en fonction de la température :

$$V = V_0(1 + \alpha T)$$

1.4.4 Équation des gaz parfaits

Un gaz parfait est un gaz dont les particules peuvent être traitées comme des points matériels sans interactions entre eux. Les gaz parfaits obéissent aux lois de Boyle-Mariotte et de Gay-Lussac :

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0V_0}{T_0} = \frac{NkPV}{T}$$

avec P la pression (en Pa), V le volume (en m^3), T la température (en K), N le nombre de particules et k la constante de Boltzmann ($k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K).

On peut aussi écrire :

$$PV = NkT = nRT$$

avec n la quantité de matière (en mol) et R la constante des gaz parfaits ($R = 8,314$ J/mol·K).

1.4.5 Formule de Bernoulli pour les gaz

Vitesse de sortie du gaz d'un récipient :

$$v = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

avec v la vitesse (en m/s), p_1 la pression du récipient (en Pa), p_2 la pression extérieure et ρ la densité du gaz (en kg/m³).

1.4.6 Humidité absolue

Elle correspond à la masse de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air.

1.4.7 Humidité relative

C'est le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau présente dans l'air humide et la pression de vapeur saturante de l'eau dans les mêmes conditions de température. L'humidité s'exprime en pourcentage (%).

$$\text{Humidité relative} = 100 \times \frac{\text{Pression partielle de la vapeur d'eau}}{\text{Pression de la vapeur à la même température}}$$

Tableau 1.4 – Masse de vapeur d'eau contenue dans 1 m³
d'air saturé d'humidité sous conditions de pression atmosphérique.

Température de l'air (°C)	Poids (g)	Température de l'air (°C)	Poids (g)
0	4,8	17	14,5
5	6,8	20	17,3
10	9,4	25	23,0
15	12,8	30	30,0

1.4.8 Température critique

C'est la température au-dessus de laquelle un gaz ne peut être liquéfié, quelle que soit la pression à laquelle il est soumis (voir tableau 1.2).

1.4.9 Pression critique

C'est la pression limite au-dessus de laquelle on n'observe plus de discontinuité entre phase gazeuse et phase liquide, quelle que soit la température.

1.4.10 Pression atmosphérique

C'est la pression moyenne de l'air à la surface de la Terre, à l'altitude zéro, pour une température de 0 °C :

$$1 \text{ atm} = 1,033 \text{ kgf/cm}^2 = 101\,325 \text{ Pa}$$

1.5 Utilisation de l'air comprimé

1.5.1 Avantages et inconvénients de l'utilisation d'air comprimé

Avantages	Inconvénients
Rapidité des mouvements générés	Limité pour les puissances élevées
Simplicité des circuits	Difficile à réguler de façon précise en raison de sa forte compressibilité
Sécurité au niveau du contrôle et des manœuvres	Nécessite des éléments de commande et de contrôle de plus grand volume comparé à un système hydraulique
Économie de manœuvres	

1.5.2 Débit de l'air dans un circuit

Le débit de l'air dans un circuit correspond au volume déplacé par unité de temps :

$$Q = \frac{V}{t}$$

Le volume d'air qui circule dans un circuit est donc :

$$V = Qt = \nu St$$

avec ν la vitesse de l'air et S la section d'écoulement.

Exemples

1. Calculer le volume d'air qui circule dans une tuyauterie de diamètre 200 mm, à une vitesse de 600 m/min, pendant 15 min.

– Section de la tuyauterie :

$$s = \pi d^2/4 = 3,14 \text{ dm}^2$$

– Volume d'air en 15 min :

$$V = s \cdot \nu \cdot t = 3,14 \times 6\,000 \times 15 = 282\,600 \text{ dm}^3 = 282,6 \text{ m}^3$$

2. Calculer le débit horaire d'air qui circule dans une tuyauterie de diamètre 200 mm, à une vitesse de 20 m/s.

– Section de la tuyauterie :

$$s = \pi d^2/4 = 3,14 \text{ dm}^2 = 0,0314 \text{ m}^2$$

– Vitesse de l'air :

$$\nu = 20 \text{ m/s} = 20 \times 3\,600 = 72\,000 \text{ m/h}$$

– Débit :

$$Q = s \cdot \nu = 0,0314 \times 72\,000 = 2\,261 \text{ m}^3/\text{h}$$

1.5.3 Caractéristiques de l'air comprimé

1. Il doit être filtré.
2. La pression doit être la plus régulière possible, sans oscillations importantes. En général, les variations de pression se répercutent sur la réponse des appareils.
3. Il doit avoir une faible teneur en eau. L'eau oxyde les tuyauteries et les éléments en acier. L'eau entrave le bon fonctionnement des éléments mobiles (tiroirs et cylindres).
4. Pour un appareil d'instrumentation, l'air doit être sec.

5. L'air doit être lubrifié lorsque l'application recherchée le nécessite. Dans ce cas, l'huile de graissage ou de lubrification doit être minérale. La viscosité normalisée de l'huile doit être comprise entre 20 et 40 centistokes.
6. La pression maximale d'utilisation de l'air pneumatique ne doit pas excéder 10 bar. La pression normale d'utilisation de l'air pneumatique doit être comprise entre 6 et 8 bar (87 et 116 psi).
7. La température de l'air comprimé doit être de 20 °C environ.

Tableau 1.5 – Unités de pression utilisées dans les applications de l'air comprimé.

	atm	bar	Pa
Atmosphère (atm)	1	1,013	101 325
Bar (bar)	0,987	1	10 ⁵
Pascal (Pa)	9,869 × 10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	1
Kilogramme-force par cm ² (kgf/cm ²)	0,678	0,981	98 066
Livre-force par inch carré (lbf/in ² , psi)	6,805 × 10 ⁻²	6,895 × 10 ⁻²	6 895
Millimètre de mercure (mm Hg, torr)	1,316 × 10 ⁻³	1,333 × 10 ⁻³	133,3

1.5.4 Qualité de l'air comprimé selon la norme Pneurop 6611/1984

La qualité de l'air comprimé fait référence à sa pureté, c'est-à-dire à l'absence :

- de solides (impuretés recueillies par l'air lorsqu'il est aspiré pour être comprimé);
- d'huile, provenant du graissage;
- d'eau, provenant du point de rosée.

Tableau 1.6 – Qualité de l'air comprimé.

Classe	Dimension des particules (mm)	Densité maximale des particules (mg/m ³)	Teneur maximale en huile (mg/m ³)	Point de rosée (valeurs maximales, en °C)
1	0,1	0,1	0,001	- 40
2	1	1	0,1	- 20
3	5	5	1	2
4	40	Non spécifié	5	10
5			25	Non spécifié
	Les données en m ³ font référence à l'air atmosphérique. ISO 554/1976.		L'air destiné à l'instrumentation ne doit pas contenir plus de 1 ppm d'huile ou de particules d'hydrocarbures.	Il est recommandé de définir le point de rosée à une température inférieure de 10 °C par rapport à la température ambiante.

D'autre part, les normes ISO 8573 spécifient les classes de qualité de l'air comprimé concernant la présence de particules, d'eau ou d'huile, quel que soit le mode de génération de l'air comprimé.

1.6 Pression, température et pH

1.6.1 Pression

La pression est la grandeur fondamentale de la technologie pneumatique et correspond à la force qui s'applique par unité de surface. Sa valeur est calculée selon la formule suivante :

$$P = \frac{F}{S}$$

avec P la pression (en Pa), F la force (en N) et S la section (en m^2).

■ Pression atmosphérique

Air qui nous entoure exerce une pression sur les éléments, qui varie en fonction de l'altitude à laquelle on se trouve au-dessus du niveau de la mer.

■ Pression absolue et pression relative

La pression absolue est la pression établie par rapport au zéro absolu des pressions.

La pression relative est égale à la différence algébrique entre la pression absolue et la pression atmosphérique. C'est la valeur de pression lue sur un manomètre.

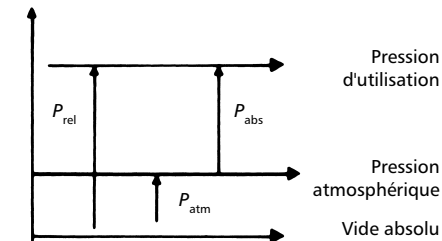


Figure 1.2 – Différentes définitions de la pression.

■ Vide

Une pression est considérée comme vide lorsque sa valeur se situe en dessous de la pression atmosphérique; elle peut alors être considérée comme une pression négative.

■ Air comprimé

L'air comprimé est utilisé dans l'industrie et en particulier dans les circuits pneumatiques. Il s'agit d'air atmosphérique dont la pression a été augmentée. Cette pression est appelée pression relative ou manométrique.

■ Force exercée par une pression

La force F exercée par une pression P sur une surface S est :

$$F = PS$$

1.6.2 Température

L'unité SI de température est le kelvin (K), mais elle peut s'exprimer en degrés centigrades ($^{\circ}\text{C}$), en degrés Fahrenheit (F) ou en degrés Rankine (R), avec les équivalences suivantes :

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

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

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$\text{R} = (^{\circ}\text{C} \times 9/5) + 491,67$$

1.6.3 Valeurs du pH

Le pH est un nombre caractérisant la concentration en ions hydrogène libres dans une solution. Cet indice sert à exprimer le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une solution.

L'eau pure et distillée à une température de 25°C a un pH de 7 ; plus la température augmente, plus la valeur du pH diminue (par exemple, à 100°C , $\text{pH} = 6,2$).

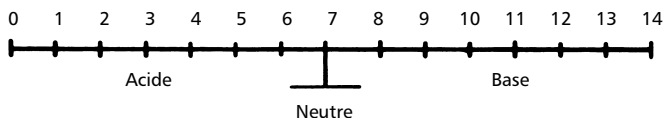


Figure 1.3 – Valeurs du pH : de 0 à 7 → acide; 7 → neutre; de 7 à 14 → basique.

Tableau 1.7 – Valeurs du pH pour différentes solutions à 20 °C.

Solution	Concentration (g/l)	pH	Solution	Concentration (g/l)	pH
Acide acétique	60	2,4	Eau de mer		8,3
Acide acétique	6	2,9	Eau pure		7,0
Acide acétique	0,6	3,4	Ammoniaque	17	11,6
Acide benzoïque	1,2	3,1	Ammoniaque	1,7	11,1
Acide borique	2,1	5,2	Ammoniaque	0,17	10,6
Acide carbonique sat.		3,8	Borax	10	9,2
Acide citrique	6,4	2,2	Bicarbonate de Na	8,4	8,4
Acide chlorhydrique	36,5	0,1	Biphosphate de Na	5,5	12,0
Acide chlorhydrique	3,7	1,1	Chaux saturée		12,4
Acide chlorhydrique	0,37	2,0	Carbonate de Ca		9,4
Acide méthanoïque	4,6	2,3	Carbonate de Na	5,3	12,0
Acide phosphorique	3,3	1,5	Cyanure de Ca	6,5	11,1
Acide lactique	9	2,4	Hydroxyde de Mg		10,5
Acide malique	6,7	2,2	Hydroxyde de K	66	14,0

Tableau 1.7 (suite) – Valeurs du pH pour différentes solutions à 20 °C.

Solution	Concentration (g/l)	pH	Solution	Concentration (g/l)	pH
Acide oxalique	4,5	1,6	Hydroxyde de K	5,6	13,0
Acide prussique	2,7	5,1	Hydroxyde de K	0,56	12,0
Acide sulfhydrique	1,7	4,1	Hydroxyde de Na	40	14,0
Acide sulfurique	49	0,3	Hydroxyde de Na	4,6	13,0
Acide sulfurique	4,9	1,2	Hydroxyde de Na	0,4	12,0
Acide sulfurique	0,49	2,1	Lait		6,6-7,6
Acide sulfureux	4,1	1,5	Silicate de sodium	6,1	12,6
Acide tartrique	7,5	2,2	Vinaigre de vin		2,2-3,4

1.7 Compresseur d'air

1.7.1 Définition

Le compresseur est le générateur de fluide (air comprimé) qui alimente le réseau d'utilisation. La pression fournie doit être la plus uniforme possible et l'air d'excellente qualité. Les conditions suivantes doivent être réunies :

- air propre, filtré, dépourvu d'impuretés;
- humidité minimale, l'air devant être le plus sec possible;
- dimension appropriée du groupe compresseur afin d'éviter toute irrégularité au niveau des appareils d'utilisation;
- pureté de l'air quant à sa composition chimique.

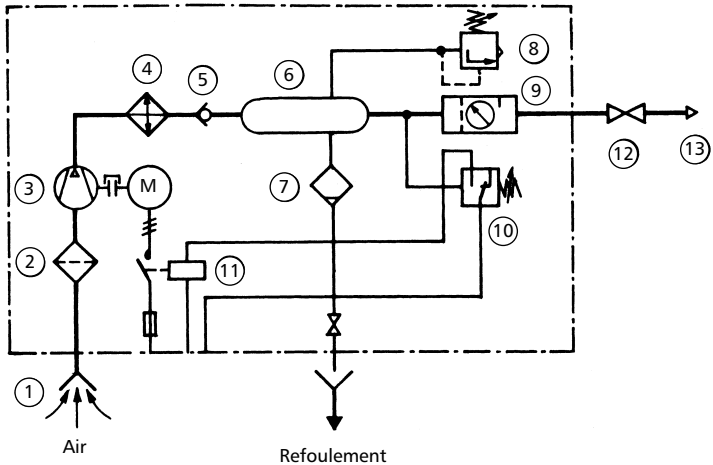


Figure 1.4 – Schéma d'un compresseur.

La figure 1.4 représente un équipement compresseur d'air, qui se compose généralement des éléments suivants.

1. Point de prise d'air.
2. Filtration de l'air aspiré.
3. Groupe motocompresseur.
4. Équipement réfrigérant.
5. Clapet anti-retour.
6. Récipient accumulateur d'air.
7. Purgeur manuel destiné à évacuer l'air condensé.
8. Vanne de sécurité régulatrice de pression.
9. Matériel de filtration, manomètre indicateur de pression, lubrificateur.
10. Pressostat (pression maximale et minimale). Lorsque le pressostat détecte une pression minimale, le moteur se met en marche et enclenche en même temps le compresseur. Lorsque la pression maximale est atteinte, le moteur s'arrête.

11. Vanne d'isolement.

12 et 13. Tuyauterie vers l'utilisation. L'air comprimé qui se dirige vers l'utilisation aura le degré d'humidité que peuvent supporter les appareils dans l'utilisation.

On obtiendra ainsi :

- soit un air normal, avec un degré d'humidité acceptable,
- soit un air chargé, le plus courant,
- soit un air frais, utilisé pour l'instrumentation.

1.7.2 Catégories de compresseurs

Il existe des compresseurs à piston, à palette, à vis, à membrane ou centrifuge. Parmi les compresseurs à piston, on trouve les compresseurs :

- à un étage : petits compresseurs à rendement régulier;
- à deux étages : grands compresseurs de rendement supérieur qui nécessitent une réfrigération.

1.7.3 Débits engendrés par les compresseurs en fonction de la puissance du moteur

Tableau 1.8 – Débits des compresseurs (valeurs indicatives).

Compresseur à un étage		Compresseur à deux étages	
Puissance moteur (kW)	Débit (NI/min)	Puissance moteur (kW)	Débit (NI/min)
2	475	2	540
3	610	3	860
5	1 020	5	1 530
9	1 530	9	1 840