

Guide de dimensionnement

La production d'énergie pneumatique

PHILIPPE TAILLARD¹

L'automatisation, grande utilisatrice de technologie pneumatique pour la partie puissance essentiellement, provoque une forte évolution en croissance de la consommation d'énergie pneumatique. Toutes les industries manufacturières utilisent l'air comprimé très adapté dans les process discontinus pour l'obtention simple de mouvements sur les

machines électro-pneumatiques. La connaissance du mode de production de cette énergie et du dimensionnement des appareils de fonctionnement présents sur chaque machine est devenue indispensable.

MOTS-CLÉS énergie, pneumatique, automatisme, machine

air comprimé est l'une des formes les plus anciennes de l'énergie que l'homme sut domestiquer pour organiser différents travaux et ajouter à ses forces les avantages issus de sa production.

Il y a plus de deux mille ans, un Grec, Ktésibios, développe un canon pneumatique pour augmenter la portée du tir.

En 1857, l'air comprimé sert au percement du tunnel de Mont-Cenis ; en 1880, Westinghouse invente les freins à air comprimé.

En 1888, près de 200 kilomètres de tuyaux sont installés dans les égouts de Paris pour créer la poste pneumatique qui permet, jusqu'en 1984, aux bureaux de poste d'échanger des courriers.

Désormais, toute entreprise industrielle est équipée d'un système central de production d'air comprimé et d'un réseau de distribution, afin de disposer dans tous ses ateliers de l'énergie pneumatique tout comme de l'électricité.

L'automatisation est, bien sûr, une activité industrielle grande consommatrice d'énergie pneumatique pour la partie puissance et quelquefois la partie commande.

PROPRIÉTÉS DE L'ÉNERGIE PNEUMATIQUE

Cette énergie est obtenue par compression de l'air ambiant à pression atmosphérique. Cet air, constitué à 78 % d'azote, 21 % d'oxygène et 1 % d'hydrogène, de gaz carbonique et de gaz rares, est un fluide élastique qui se comporte comme un gaz parfait.

Néanmoins, l'air puisé ainsi à l'atmosphère contient deux constituants nuisibles : les poussières et la vapeur d'eau. On verra un peu plus tard les moyens à mettre en œuvre pour les éliminer.

La pression

La pression constitue la première grandeur fondamentale de la pneumatique.

La mesure de la pression des fluides se fait souvent en relatif, c'est-à-dire en donnant la différence entre la pression du fluide et la pression atmosphérique. Elle est appelée pression relative ou manométrique ; si l'on admet que la pression atmosphérique de référence est de 1 bar en absolu, alors on a la relation suivante :

$$\begin{aligned} P_{\text{absolue}} &= P_{\text{relative}} + P_{\text{atmosphérique}} \\ P_{\text{absolue}} &= P_{\text{relative}} + 1 \end{aligned}$$

avec P en bars.

Rappelons que l'unité SI de P est le pascal, mais que usuellement nous parlons en bars :

$$1 \text{ bar} = \frac{1 \text{ daN}}{1 \text{ cm}^2} = 10^5 \text{ Pa.}$$

Le tableau de la figure 1 donne les conversions pour toutes les autres unités usitées. Cela signifie que lorsque nous lisons 6 bars sur un manomètre, il faut comprendre que c'est une valeur de pression relative. En pression absolue, sa valeur est $6 + 1 = 7$ bars.

Le volume

Les gaz étant compressibles, donner le volume d'une quantité d'air n'a aucun sens si l'on ne précise pas la pression et la température de ce volume. Afin d'unifier cette valeur, on définit des conditions normales, à savoir une température de + 20 °C et une pression atmosphérique.

Le volume se note alors Nm³ ou Nl et se lit « normal mètre cube » ou « normal

¹. Professeur agrégé de génie mécanique au lycée Gustave-Eiffel de Cachan.

Figure 1. Tableau de conversion des unités de pression

bar	kg/cm ²	Atm	m d'eau	cm de mercure	PSI *
1	1,019	0,987	10,19	75	14,5
0,981	1	0,968	10	73,6	14,2
1,013	10,33	1	10,33	76	14,7
0,0981	0,10	0,0968	1	7,36	1,42
0,0133	0,0136	0,00132	0,136	1	0,193
0,0689	0,0703	0,0681	0,703	5,18	1
6,89	7,03	6,81	70,3	518	100

1 torr = 1,33 mbar

* Utilisée aux États-Unis: Pound per Square Inch

litre ». On peut aussi trouver l'indication ANR qui signifie : « aux conditions de l'atmosphère normale de référence ». Exemple: $V (\text{ANR}) = 5 \text{ m}^3 (\text{ANR})$.

Le débit volumique

La définition adoptée pour le volume normal s'étend aux débits. Le débit est un volume d'air traversant une section par unité de temps. On notera usuellement Nm^3/h ou bien alors NI/min .

Exemple: $Q_v = 1\,300 \text{ NI}/\text{min}$ (1 300 normaux litres par minute).

Propriété physique

L'air considéré comme gaz parfait répond aux lois régissant ces gaz: lois de Boyle-Mariotte, de Gay-Lussac et de Laplace. Dans l'usage courant qui en est fait industriellement, seule la Loi de Boyle-Mariotte doit être rappelée.

Soit une masse m d'air industriel occupant un volume V_1 à une pression absolue P_1 , sous une température t ; si on modifie la pression ou le volume sans en changer la température, l'air va se comprimer ou de dilater et avoir les conditions P_2, V_2 telles que :

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = C^{\text{te}}$$

Exemple: 2 litres d'air à 6 bars relatifs donnera 14 litres à la P_{atm} :

$$2 \cdot (6 + 1) = V_2 \cdot 1 \text{ d'où } V_2 = 14 \text{ litres.}$$

Remarque: si l'on compare la pneumatique à l'hydraulique, deux questions peuvent venir à l'esprit :

— Pourquoi la pneumatique utilise-t-elle des pressions de 6 à 8 bars et pas 50 à 250 bars comme en hydraulique ?

Le travail de compression de l'air pour obtenir une pression significative entraîne un dégagement de chaleur qui constitue

une perte d'énergie et altère le rendement de la production de cette énergie. 8 bars est donc un seuil où le rendement est économiquement acceptable.

— Pourquoi la pneumatique peut être une énergie distribuée alors qu'en hydraulique elle est produite au pied de la machine ?

Cette différence est due aux pertes de charge du fluide dans les canalisations qui dépendent de la tuyauterie, du carré de la vitesse et de la masse spécifique du fluide. Ainsi, tous facteurs égaux par ailleurs, les pertes de charge hydrauliques sont 100 fois supérieures à celles de la pneumatique.

PRODUCTION DE L'ÉNERGIE PNEUMATIQUE

La production d'air comprimé est relativement aisée et nécessite principalement un compresseur, un filtre d'aspiration, un refroidisseur, un sécheur, un accumulateur, des purges et une armoire de contrôle pour réguler la production. La figure 2 donne la constitution classique d'une centrale d'air comprimé.

Compresseur

Rôle

Augmenter la pression de l'air.

Technologie

Deux principes sont utilisés industriellement.

Compresseurs volumétriques

Une quantité d'air à pression P_1 est enfermée dans une enceinte à volume variable, on diminue le volume de l'enceinte: la pression augmente jusqu'à P_2 , cet air est alors dirigé vers le point d'utilisation.

Turbocompresseurs

Une vitesse élevée est communiquée à l'air basse pression. L'air acquiert une énergie cinétique, il est alors canalisé vers le point d'utilisation, son énergie cinétique se transformant en augmentation de pression.

Choix d'un compresseur

Aspects techniques

Le compresseur doit pourvoir fournir une pression supérieure à la pression maxi d'utilisation. Son débit doit être supérieur à la somme des consommations des appareils susceptibles de fonctionner simultanément. Il est souhaitable de prévoir les appareils qui seront installés ultérieurement. Afin d'éviter une usure prémature du compresseur, il faut lui ménager des temps d'arrêt permettant le refroidissement des pièces et de l'huile.

Aspects économiques

Le prix du compresseur est lié à sa pression et à son débit, il est donc souhaitable de choisir un compresseur juste suffisant pour l'installation considérée. Ceci est en contradiction avec l'aspect technique et le choix sera compromis.

À titre documentaire, on peut proposer :

- pression compresseur = $1,2 \times$ pression maxi d'utilisation ;
- débit compresseur = $k \times \Sigma$ consommations simultanées avec $k = 1,5$ si l'installation est bien connue ou si son évolution est bien prévisible. $K = 2 \text{ à } 3$ si l'évolution est mal connue.

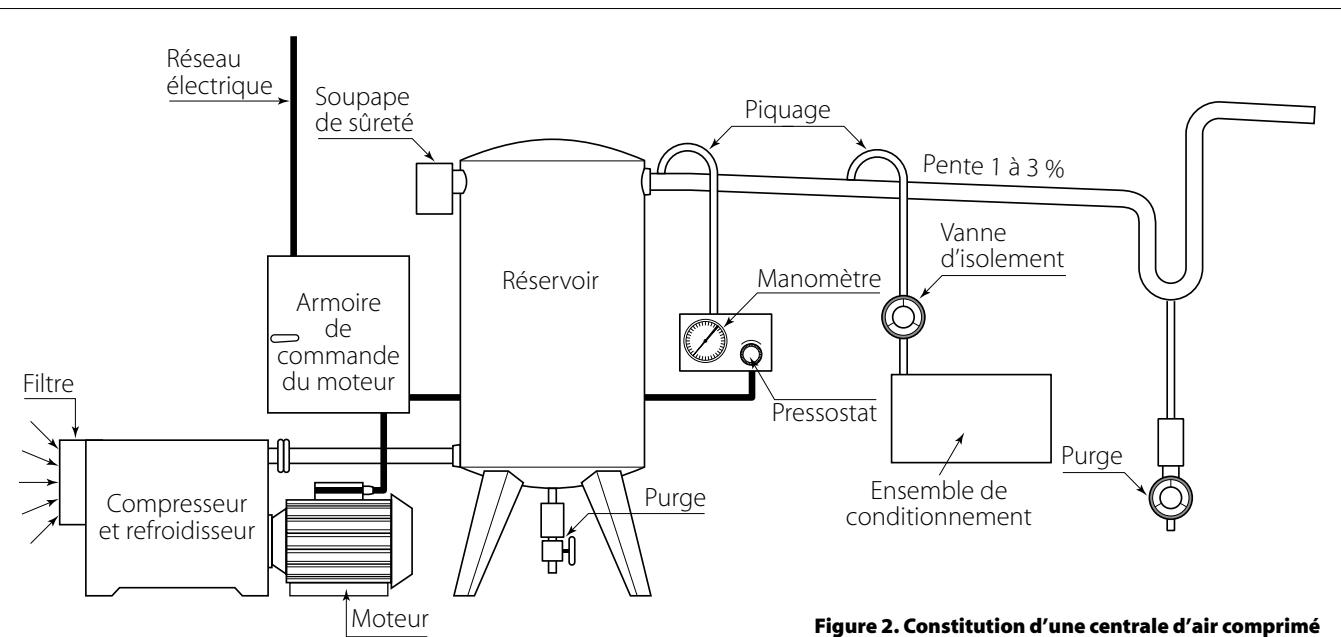


Figure 2. Constitution d'une centrale d'air comprimé

Filtre d'aspiration du compresseur

Rôle

Arrêter les poussières en suspension dans l'air aspiré par le compresseur.

Technologie

Les filtres d'aspiration sont fréquemment incorporés au compresseur, il sont constitués de couches de toile, feutre, matières synthétiques... ou par des systèmes de chicanes en tôle huilée.

Choix d'un filtre

Ce choix est généralement fait par le constructeur du compresseur. Le filtre ne doit pas provoquer de résistance importante à l'aspiration.

Refroidisseur

Rôle

L'élévation de pression de l'air dans le compresseur s'accompagne d'une élévation assez importante de température. Cet air chaud peut être préjudiciable à la bonne tenue de certaines pièces (joints). Si l'air se refroidit dans la ligne de distribution, il se produira des condensations de la vapeur d'eau qu'il contient et des baisses de pression (lois de Gay-Lussac). Il est donc nécessaire de refroidir l'air en sortie du compresseur.

Technologie

L'air sortant du compresseur traverse des tubes à ailettes facilitant l'échange de température, si nécessaire une ventilation forcée augmente les échanges de chaleur.

Choix d'un refroidisseur

Le constructeur du compresseur fournit ou préconise le refroidisseur convenant bien au compresseur choisi.

Réservoir

Rôle

Le compresseur a souvent un débit pulsé, la pression d'air est donc variable. Un réservoir permet d'atténuer ces variations de pression jusqu'à les rendre négligeables. Le réservoir permet également de ménager des temps d'arrêt dans le fonctionnement du compresseur.

Technologie

Les réservoirs sont réalisés en tôle d'acier soudée. Ils sont cylindriques à fonds bombés. Ils doivent résister à deux fois la pression maxi de service.

Choix du réservoir

Le constructeur du compresseur préconise un réservoir adapté.

Purge de réservoir

Rôle

L'air introduit dans le réservoir est de l'air atmosphérique dont on a augmenté la pression. Cet air contient donc de la vapeur d'eau. Une enceinte de volume déterminé ne peut contenir qu'une masse limitée d'eau sous forme de vapeur, si on ajoute de l'eau ou de la vapeur, il y a

immédiatement condensation. La masse maxi de vapeur que peut contenir une enceinte varie en fonction de la température.

Technologie

On utilise parfois des purges manuelles, c'est-à-dire un simple robinet placé au fond du réservoir (point le plus bas). Le plus souvent, on utilise des purgeurs automatiques. Dès que le niveau de l'eau de condensation est assez élevé, le flotteur se soulève et permet l'évacuation.

Choix d'une purge

Elle ne représente aucune difficulté, doit être adaptée à la capacité du réservoir et surtout être placée au point le plus bas.

Asservissement du compresseur

Ces compresseurs sont entraînés par des moteurs électriques. Une prise de pression existe sur le réservoir, un manostat ouvre le circuit électrique d'alimentation du moteur dès que la pression dans le réservoir atteint une valeur maximale réglée à l'avance. Le manostat rétablit l'alimentation du moteur quand la pression dans le réservoir atteint un seuil inférieur.

DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE PNEUMATIQUE

L'air comprimé produit par la centrale doit être amené à pied d'œuvre au moyen d'un réseau de distribution judicieusement établi.

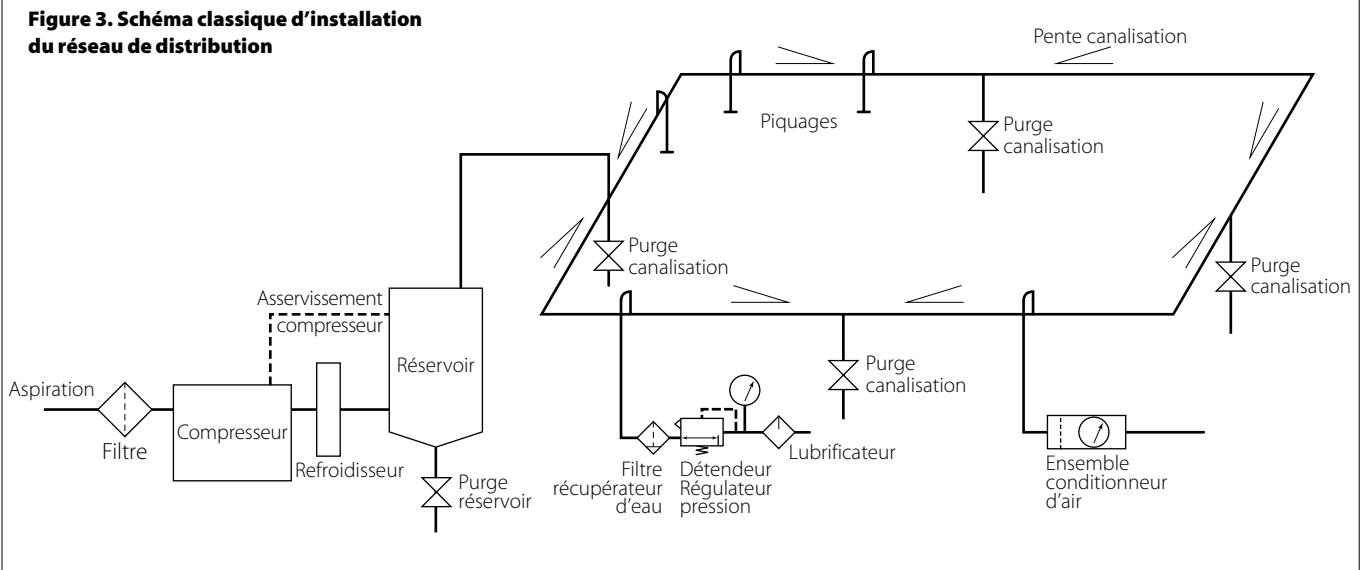
Rappelons, à ce sujet, quelques principes généraux à prendre en compte lors de l'étude d'une installation :

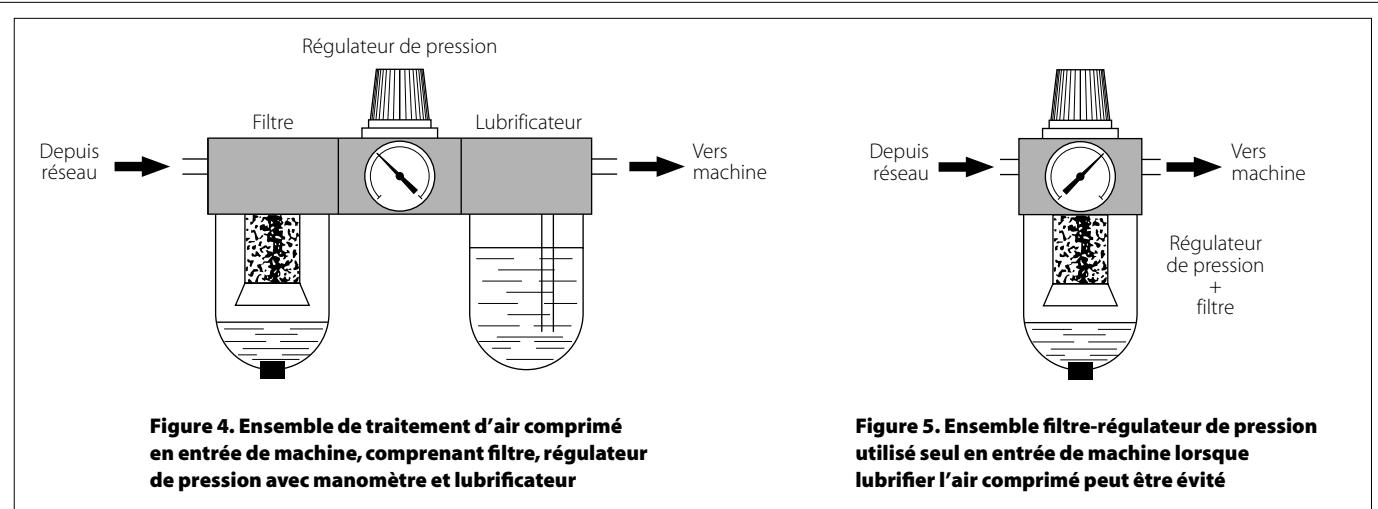
- concevoir un réseau évolutif capable d'extensions ou de branchements nouveaux et, de ce fait, prévoir pour le réseau

principal une canalisation largement dimensionnée ;

- adopter la conduite principale en boucle fermée, qui permet d'obtenir une égalité des pressions à l'utilisation ;
- réaliser des circuits fermés par types d'atelier ou par niveaux de pression ;
- éviter d'enterrer les canalisations (difficultés de surveillance et d'entretien) ;
- rechercher le nombre minimal de

Figure 3. Schéma classique d'installation du réseau de distribution





restrictions brusques (raccords, tés, coudes...), qui sont autant d'obstacles et de freins au débit du fluide. Elles génèrent des pertes de charges affaiblissant la pression d'utilisation;

- éviter la condensation de l'humidité de l'air dans le réseau en assurant une légère pente aux canalisations (notamment le collecteur principal), en plaçant à chaque point bas un réservoir équipé d'un purgeur et en prévoyant tous les piquages de prises d'air sur la génératrice supérieure des canalisations;
- utiliser une robinetterie et des outillages parfaitement étanches afin de réduire au minimum les risques de fuite et les pertes de puissance.

La figure 3 illustre un réseau classique de distribution.

TRAITEMENT DE L'AIR COMPRIMÉ

La sécurité et la longévité des machines dépendent pour beaucoup du conditionnement de l'air comprimé en entrée de chacune d'elles.

L'air contient toujours de la vapeur d'eau. Lorsqu'il est comprimé, il s'échauffe, il se refroidit ensuite dans le réseau de distribution, ce qui entraîne la condensation sous forme de brouillard d'une partie de la vapeur d'eau. Cette eau se mélange à l'huile émise par le compresseur et aux poussières de rouille des tuyauteries du réseau.

Malgré les précautions prises en amont, une partie de ces impuretés liquides et solides atteint les machines. Dans tous les cas, il y a donc lieu de filtrer l'air en entrée de machine et de retenir les impuretés liquides.

Le compresseur de l'installation travaille entre une pression minimale (mise en marche) et une pression maximale (arrêt).

Sur chaque machine, cette fluctuation de la pression du réseau peut être accentuée par les variations de la demande en air des machines voisines. Pour obtenir une constance de travail des machines, il est donc important de réguler cette pression et de l'ajuster à la valeur optimale pour chaque machine.

Enfin, il est recommandé de lubrifier l'air à l'entrée des machines : cela s'avère indispensable pour certains actionneurs tels les moteurs rotatifs pneumatiques. La lubrification est toutefois moins nécessaire pour les vérins : ces derniers évoluent vers un fonctionnement n'exigeant plus d'apport d'huile.

Figure 6. Définition des classes de qualité selon Din Iso 8573-1

Classe	1. Particules solides		2. Teneur en eau	3. Teneur en huile
	Granulométrie max. des particules (µm)	Densité max. des particules (mg/m³)	Point de rosée max. de pression (°C)	Concentration max. d'huile (mg/m³)
1	0,1	0,1	- 70	0,01
2	1	1	- 40	0,1
3	5	5	- 20	1
4	15	8	+ 3	5
5	40	10	+ 7	25
6	—	—	+ 10	—
7	—	—	non défini	—

Figure 7. Définition des exigences de classes de qualité en fonction des applications

Utilisation	Particules solides		Point de rosée de l'eau		Teneur en huile max.	
	Classe	(µm)	Classe	(°C)	Classe	(mg/m³)
Industrie minière	5	40	7	-	5	25
Nettoyage	5	40	6	+ 10	4	5
Machines à souder	5	40	6	+ 10	5	25
Machines-outils	5	40	4	+ 3	5	25
Vérins à air comprimé	5	40	4	+ 3	5	25
Distributeurs d'air comprimé	3 à 5	5 à 40	4	+ 3	5	25
Emballages	5	40	4	+ 3	3	1
Régulateur de pression ultra-fins	3	5	4	+ 3	3	1
Air de mesure	2	1	4	+ 3	3	1
Jeu de coussinets	2	1	3	- 20	3	1
Technique sensorielle	2	1	2 à 3	- 40 à - 20	2	0,1
Denrées alimentaires	2	1	4	+ 3	1	0,01
Traitement photographique	1	0,01 à 0,1	2	- 40	1	0,01

Les figures 4 et 5 montrent les ensembles qui, en entrée de machine, assurent ce traitement : filtrations des impuretés solides et liquides, régulation de pression et, si besoin est, lubrification de l'air comprimé.

L'unité de conditionnement d'air (UCA) présente sur chaque machine est composée d'éléments modulaires remplissant chacun une fonction, associés entre eux pour former un combiné adapté aux besoins de la machine. Systématiquement, l'UCA comportera au minimum un filtre et un mano-détendeur. Leur dimensionnement se fait uniquement en fonction du débit instantané maximal consommé par la machine. Ce débit va conditionner la taille de chaque module. Donc le débit de l'UCA = $K \times \Sigma$ des débits simultanés avec $K = 1,5$.

Par approximation, sur une machine automatisée on peut choisir une taille juste au-dessus de celle du plus gros distributeur. La taille s'exprimant par le diamètre des orifices des composants (1/8, 1/4, 3/8,...).

Le deuxième point à prendre en considération, et conditionnant le choix du filtre, est la classe de qualité exigée par la machine. À titre indicatif, les tableaux des figures 6 et 7 définissent ces classes et le niveau d'exigence par catégorie de machines.

Rappelons que les filtres ont un degré de filtration variant entre 40 et 5 µm pour les standards, et compris entre 1 et 0,003 µm pour les fins.

Voir le rappel des symboles liés au traitement de l'air en figure 8.

CONCLUSION

Dans la pratique, le travail de dimensionnement relatif à une alimentation pneumatique ne concerne que l'unité de traitement de l'air placée en amont de chaque machine. Et ce dimensionnement est aisés. Notons malgré tout que l'unité de traitement peut intégrer d'autres modules liés aux fonctionnalités de la machine comme un sectionneur, un démarreur progressif, un pressostat, un régulateur de pression, un répartiteur, etc. ■

Figure 8. Symboles suivant la norme Din Iso 1219

Désignation	Explication	Symbole
Unité de conditionnement	Ensemble d'appareils constitué d'un filtre, d'un détendeur, d'un manomètre et d'un lubrificateur.	
Filtre	Appareil servant à séparer des particules d'impuretés.	
Séparateur de condensats	À commande manuelle.	
	À vidange automatique.	
Filtre avec séparateur de condensats	Cet appareil est une combinaison de filtre et de séparateur de condensats. À commande manuelle.	
	À vidange automatique.	
Sécheur d'air	Appareil dans lequel l'air est séché (par exemple au moyen de produits chimiques).	
Lubrificateur	Appareil dans lequel de l'air, qui le traverse, est additionné d'un faible courant d'huile, en vue de la lubrification d'appareils branchés à la suite.	
Manomètre		