

MECA 2755

Pneumatique

1: Air comprimé et Composants

Année académique 2005 - 2006, Q1

1

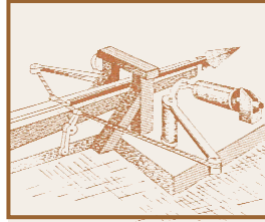
Contenu du cours

- ✍ **Introduction - Historique**
- ✍ **Air comprimé**
- ✍ **Installation: composants**
- ✍ **Cylindres pneumatiques**
- ✍ **Distributeurs**
- ✍ **Capteurs**
- ✍ **Montage installation**

2

Historique et Enjeux

- Il y a 2000 ans, Ktesibios comprime l'air pour accroître la portée d'un « canon pneumatique »
- ...
- 1857 : Creusement du tunnel sous le mont Cénis (Alpes)
 - foreuses pneumatiques, avance: 2m/jour au lieu de 60cm/jour
- 1890 : Victor Popp : réseau sous-terrain d'air comprimé sous Paris (6 bar)
 - ... 1000 km de tuyauteries
- 1960 : Premières cellules logiques pneumatiques (algèbre Booléenne)
- 2000
 - commande: électro-pneumatique, automates, bus de terrain
 - puissance: vérins sans tige, compacts (course 10 mm), rotatifs, ...



puissance

commande

puissance

Introduction

Fournisseurs - Utilisateurs

• Fournisseurs:

Compresseurs:

Atlas Copco, Bauer, Boge, Gardner-Denver, Technofluid...

Vérins, distributeurs, accessoires:

Norgren, Festo, Bosch, SMC, Air Logic, Technofluid...

Pompes, moteurs, ... :

Atlas Copco, Enerfluid, Gas, Unicum, ...

• Utilisation:

- Manutention, Conditionnement
(soulever, indexer, bloquer, ...)

- Mise en forme matériaux
(usinage, découpe, soudage, ...)

- Robots de translation



Cadence !!!
Robustesse !!!
Fiabilité !!!

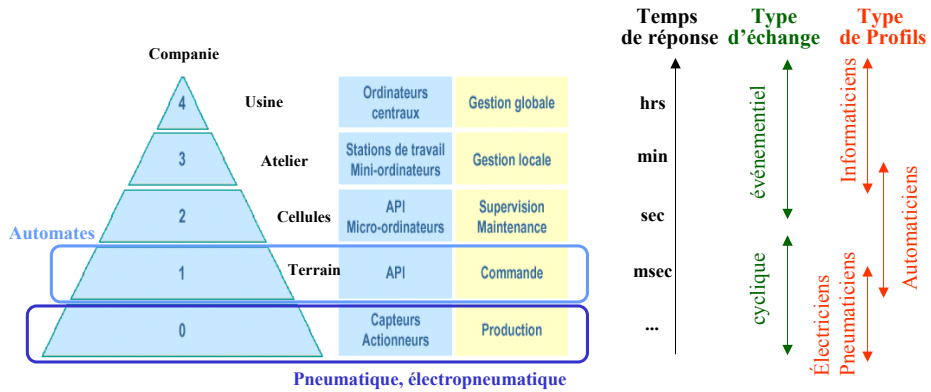
• Secteurs:

- Automobile
- Emballage
- Bois
- Papeterie
- Verre
- Agro-Alimentaire
- Textile
- etc...
- etc...

4

Introduction

Pneumatique et Systèmes Automatisés



5

Introduction

Contenu du cours

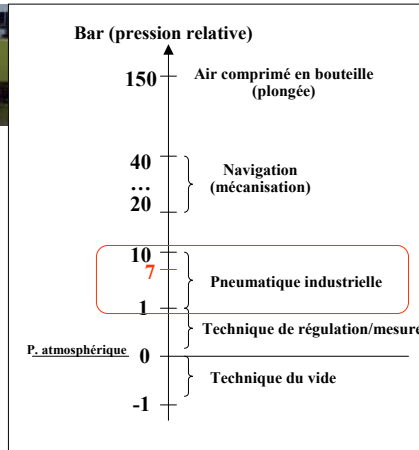
- ✍ **Introduction - Historique**
- ✍ **Air comprimé**
- ✍ **Installation: composants**
- ✍ **Cylindres pneumatiques**
- ✍ **Distributeurs**
- ✍ **Capteurs**
- ✍ **Montage installation**

6

Air comprimé, source d'énergie



Pression relative
=
Pression manométrique



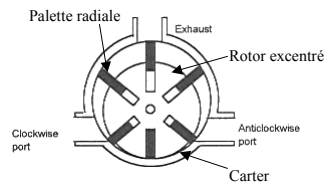
7

Air comprimé

Air comprimé: applications (1)

- Moteurs rotatifs (« à palettes »)

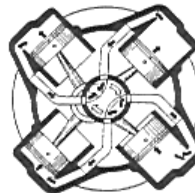
$P : 1 \dots 10 \text{ kW}$
 $V_{max} : 30\,000 \text{ t/min}$



Atlas Copco

- Moteurs à piston
(disposition radiale autour du vilebrequin)

$P : 3 \dots 30 \text{ kW}$
 $V_{max} : 5\,000 \text{ t/min}$



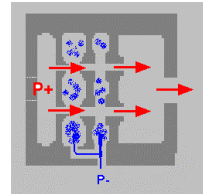
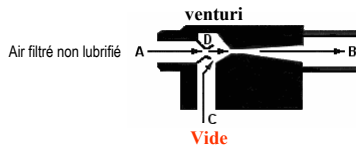
- Outillage



Air comprimé

Air comprimé: applications (2)

• Vide



Multi-éjecteurs



Venturis (Convum)

• Travail linéaire mécanisé



- construction simple/robuste
- réglage simple de la vitesse
- pas de surcharge possible
- pas de surpuissance possible

9

Air comprimé

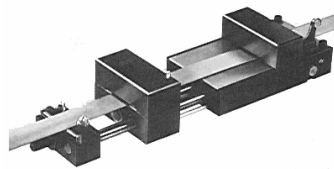
Air comprimé: applications (3)

Dispositifs complets



Palan

Combinaison
moteur + frein

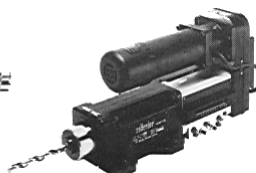


Avance-bande

Combinaison
avances + serrage



Unité de forage



Combinaison
avance, rotation, percussion



Robot pneumatique

10

Air comprimé

Pneumatique >< Hydraulique

Hydraulique :

$p : \dots 300 \text{ bar}$

- Force supérieure à 50 000 N
- Positionnement intermédiaire des vérins (et précis)
- Vitesses d'avance régulière (huile incompressible)

Pneumatique :

$p : \dots 10 \text{ bar}$

- Force inférieure à 50 000 N
pneumatique : alésage $\varnothing 350 \text{ mm}$, $p = 6 \text{ bar}$
- Installation peu coûteuse (production air comp. centralisée)
- Transport du fluide plus simple et bcp plus rapide:
hydraulique : $V_{max} : \dots 3 \text{ m/sec}$
pneumatique: $V_{max} : 15 \dots 50 \text{ m/sec}$

11

Air comprimé

Pneumatique >< Electrique

Quand on est face à l'alternative ..., l'actionnement pneumatique est préféré:

Technique

- si les temps de réponse ne sont pas critiques (10...20 msec : OK)
- pour des machines séquentielles simples

Environnement

- dans les milieux « hostiles »
 - haute température
 - déflagrants
 - humides
 - ...

... plus fréquent qu'on ne le pense...

Economique

- pour son faible coût d'entretien
- qualification minimales requises

12

Air comprimé

Coût de l'air comprimé

1. Définition : volume, débit d'air (ex. 1 m³, 3 litres/sec ...)

Toujours => volume d'air libre càd : $t^{\circ} = 0^{\circ} \text{ C}$, $p = p_{atm}$

2. Coût de l'air comprimé:

- Très petite installation (< 30 m³/h) : 5 ... 6 cents / m³
... 250 Euros/mois
 - Grande installation : 3 ... 5 cents / m³
- + coût séchage : +10 % (réfrigération simple)
+15...30 % (absorption/adsorption)

3. Puissance électrique requise (compresseur) :

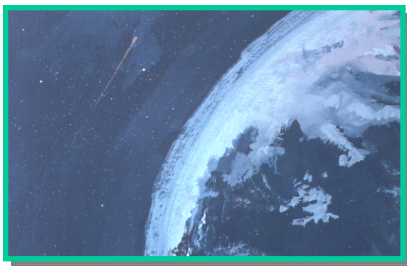
10 CV = 7.36 kW pour $Q = 1 \text{ m}^3 / \text{minute}$

(7.36 * 17 cent/kWh)/60 = 2.1 cent/m³)

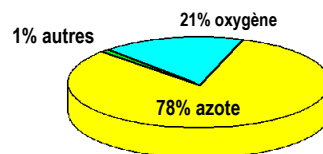
13

Air comprimé

L'air



à 1 bar (= 0.1 Mpa = 10⁵ N/m²),
Densité : 1.293 kg/m³



Hypothèses « gaz parfait »

Pour une masse d'air donnée:

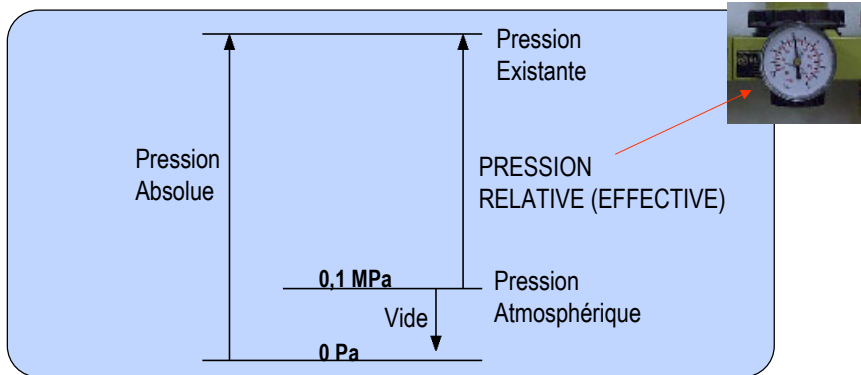
- Boyle-Mariotte : $p \cdot V = cste$, évolution isothermique
- Gay-Lussac : $\frac{V}{T} = cste$, évolution isobare (T : Kelvin)
- Charles : $\frac{P}{T} = cste$, évolution isochore (T : Kelvin)

$$\longrightarrow (p \cdot V) / T = cste$$

14

Air comprimé

L'air: pression absolue/relative



- Sur le terrain : Pression Relative, manométrique
- Dans les formules !! : Pression Absolue (ex.: $p \cdot V = cste$)

15

Air comprimé

Humidité

(cfr. MECA 2345)

$$\text{Humidité relative} = \frac{\text{quantité effective de vapeur d'eau contenue dans l'air}}{\text{quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir (voir tableau)}} \times 100$$

Point de rosée = température à laquelle un volume d'air est saturé en vapeur d'eau:

Au moindre refroidissement ... condensation

Quantité max. de vapeur d'eau dans 1 m³ d'air en fct de la température:

°C	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
gr/m ³	2.14	4.84	9.4	17.3	30.3	51	83	130	198	293	424

Quantité indépendante de la pression !

16

Air comprimé

Humidité: exemple

°C	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
gr/m ³	2.14	4.84	9.4	17.3	30.3	51	83	130	198	293	424

Soit un Compresseur : $Q = 300 \text{ m}^3/\text{h}$, air à 20°C , $H.R. = 75 \%$
 L'air est comprimé à 9 bar effectifs.
 La température dans le réservoir = 40°C .

Question : Quantité d'eau condensée?

A 20°C , 1 m^3 peut contenir 17.3 gr d'eau.

Le compresseur aspire donc :

$$0.75 \times 17.3 \text{ gr} \times 300 = 3892.5 \text{ gr d'eau/h}$$

Gaz parfait: $(pV)/T = cste$: $V_2 = 32 \text{ m}^3$. L'air dans le réservoir peut contenir:

$$51 \text{ gr d'eau/m}^3 \times 32 \text{ m}^3 = 1632 \text{ gr de vapeur d'eau.}$$

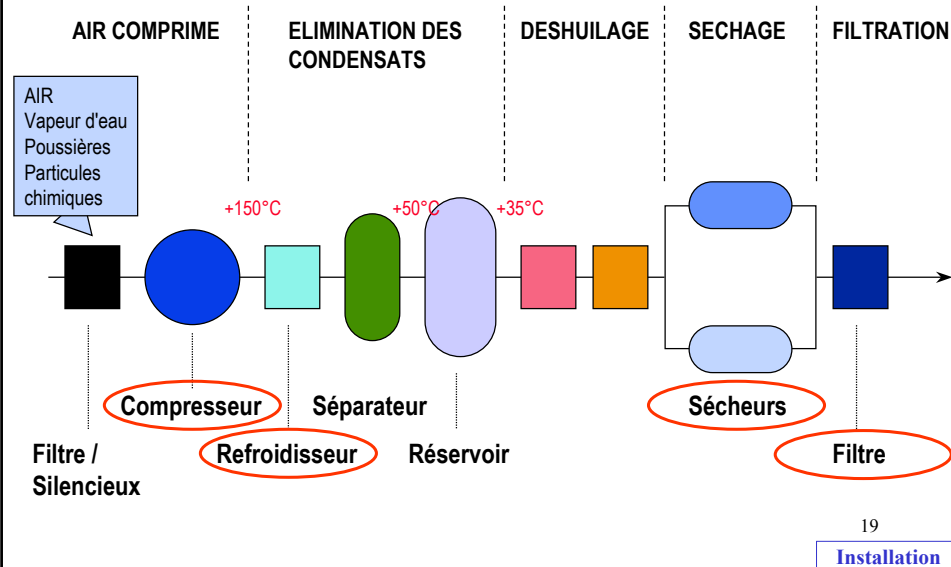
Il y aura donc condensation de : $3892.5 - 1632 = 2260.5 \text{ gr d'eau/h} > 2 \text{ litres/h}!$

Air comprimé

Contenu du cours

- ✍ Introduction - Historique
- ✍ Air comprimé
- ✍ **Installation: composants**
- ✍ Cylindres pneumatiques
- ✍ Distributeurs
- ✍ Capteurs
- ✍ Montage installation

Installation pneumatique



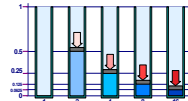
Compresseurs (1)

Choix :

sur base de la pression de travail max. et du débit max. requis.

2 types :

- Compresseurs Dynamiques: air propulsé (én. cinétique)
mis sous pression (én. potentielle)
- Compresseurs Volumétriques: Boyle-Mariotte



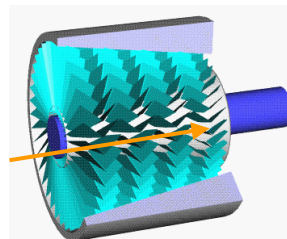
1. Dynamiques

Radial:



Pression constante
pour grande plage de débit

Axial:



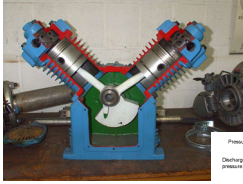
Débit constant face aux
grandes variations de pression

20

Compresseurs (2)

2. Volumétriques

à pistons:

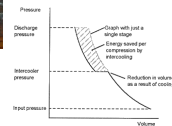


multi-étagés:

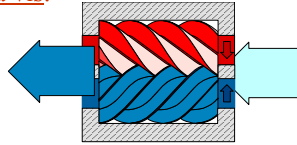
- Utilisation: petites industries
- Pression : jusque 150 bar
- Débit: max. 500 m³/min

inconv.:

- faible débit => gros réservoir
- maintenance coûteuse



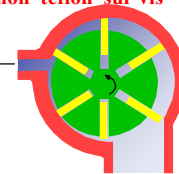
à vis:



- Utilisation: < 600 kW
- Pression : 4 ... 13 bar
- Débit: max. 80 m³/min

lubrifié – sinon teflon sur vis

à palettes:



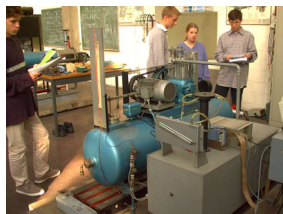
- Utilisation: < 100 kW
- Pression : 0.2 ... 10 bar
- Débit: max. 30 m³/min

21

Compresseurs

Compresseurs (3)

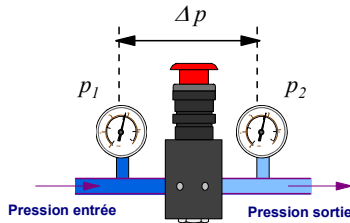
Chez nous ...



22

Compresseurs

Débit d'une installation



Eau: $V_n = K_v \sqrt{\Delta p}$ [m^3/h]

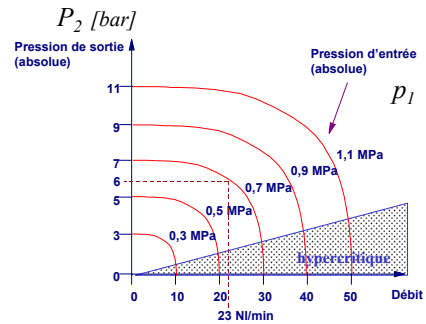


!!! V_n [m^3/h] ; p : [Bar] !!!

Air: $V_n = 25.89 K_v \sqrt{p_2 \Delta p}$ (cas sous-critique)

Coefficient de débit K_v d'un élément:

➔ K_v : établi avec $p_1 = 6$ bar et $p_2 = 5$ bar (V_n mesuré)



23

Installation

Débit d'une installation

K_v : Ordres de grandeur (...):

distributeur avec orifice de section $\frac{1}{8}$ " : $K_v = 0.15...0.3$

distributeur avec orifice de section $\frac{1}{2}$ " : $K_v = 3...3.2$

distributeur avec orifice de section 1" : $K_v = 6...10$

Exemple:

Quel est le débit d'air qui passe dans un distributeur ayant un $K_v = 0,9$ et pouvant subir une chute de pression de 0.6 bar, la pression en amont étant de 6 bar ?

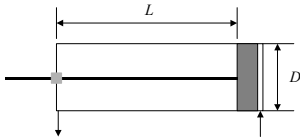
$$V_n = 25.89 K_v \sqrt{p_2 \Delta p}$$

$$V_n = 25.89 \times 0,9 \sqrt{6.4 \times 0,6} = 45.66 m^3/h.$$

24

Installation

Consommation d'air comprimé



Volume d'air pour le remplissage:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times L \times p$$

Exemple:

- 3 aller-retour/cycle pneumatique
- $t_{\text{cycle}} = 6 \text{ sec}$

Débit:

$$Q_A = 3 \times 2 \times V \times 10 \text{ m}^3 / \text{min}.$$

Dans la pratique :
tableaux de consommation

Tube mm	Type mm	consommation à 6 bar		consommation à 7 bar	
		lps en dm ³ /min	lps en dm ³ /min	lps en dm ³ /min	lps en dm ³ /min
10	4	0,00054	0,00046	0,00100	
12	6	0,00079	0,00065	0,00144	
16	8	0,00141	0,00121	0,00267	
20	8	0,00220	0,00185	0,00400	
25	10	0,00344	0,00289	0,00600	
32	12	0,00593	0,00484	0,01047	
40	16	0,00892	0,00728	0,01518	
50	20	0,01374	0,01155	0,02262	
63	20	0,02086	0,01662	0,04144	
80	25	0,03219	0,02175	0,06094	
100	25	0,05469	0,04154	0,10632	
125	32	0,08030	0,06027	0,16617	
160	40	0,14274	0,10186	0,27269	
200	40	0,21361	0,15122	0,43193	
250	50	0,34361	0,22867	0,67348	

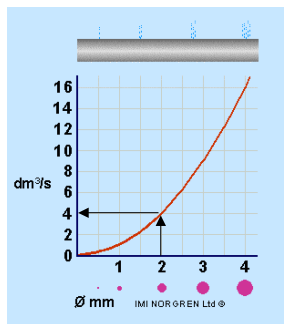
**On effectue le calcul pour
l'installation complète
+ 25 ... 50 % à cause des fuites !**

25

Installation

Consommation d'air comprimé

Fuites !!!!!



Exemple:

Canalisation de diamètre = 20 mm
Fissure semi-circulaire de 0.1 mm = orifice de 2 mm de diamètre

à $p = 6 \text{ bar} \Rightarrow 240 \text{ l/min d'air libre}$

à $\sim 2 \text{ FB/m}^3 \Rightarrow 20 \dots 30 \text{ FB/h.} \Rightarrow 100\,000 \text{ FB/an !!!}$

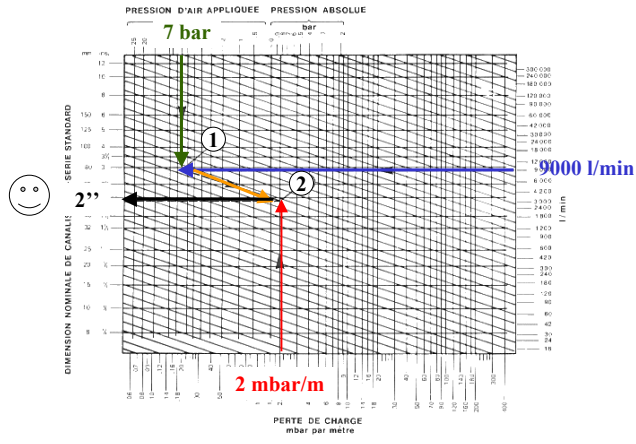
26

Installation

Choix des canalisations



Quel diamètre de canalisation faut-il envisager pour un besoin d'air de 9000 litres/min sous pression de 7 bar, avec une perte de charge admise de 0.1 bar par 50 m ?

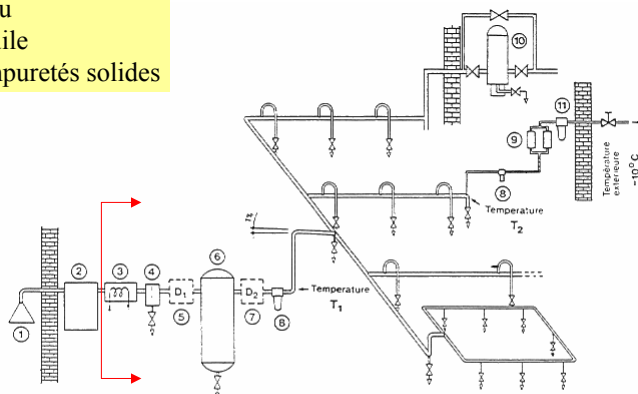


27

Installation

Installation pneumatique

- eau
- huile
- impuretés solides



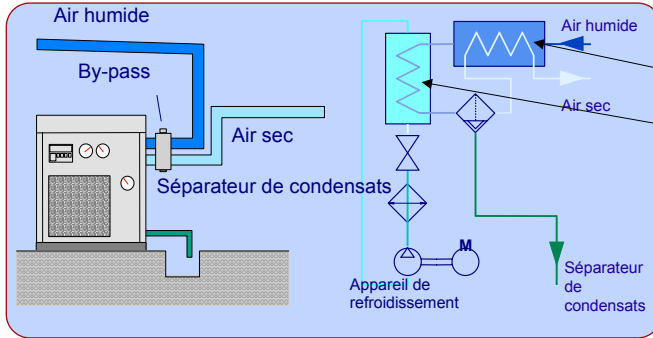
- (1) Filtre d'aspiration, air aussi froid que possible
- (2) Compresseur
- (3) Refroidisseur par eau ou air
- (4) Séparateur d'eau
- (5) ou (7) Emplacement d'un sécheur frigorifique et d'un préfiltre

- (6) Réservoir
- (8) Déshuileur
- (9) Sécheur pas absorption
- (10) Sécheur par absorption
- (11) Filtre fin 5µ

28

Installation

Sécheur frigorifique



Échangeur air/air
Échangeur air/fréon*
(« frigo »)



Technofluid

Performance - avantages

Point de rosée : 2 ... 4°C
entretien faible
faibles pertes de charge

Au labo:

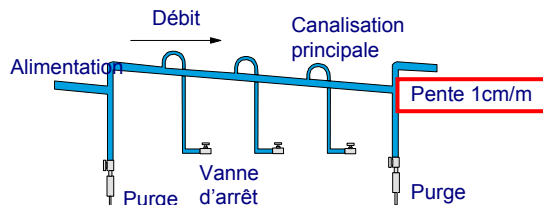
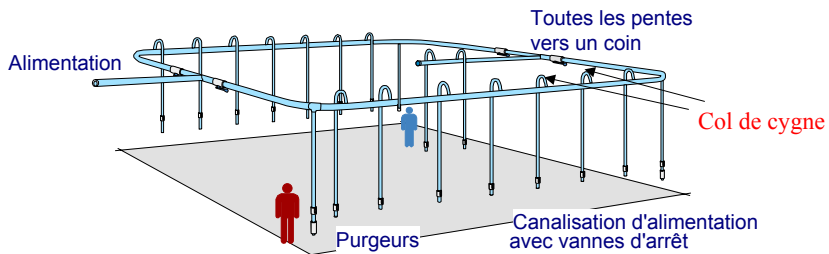


29

Installation

* : Fluide frigorigère : Dérivé chloré et fluoré du méthane

Canalisations vers cellules

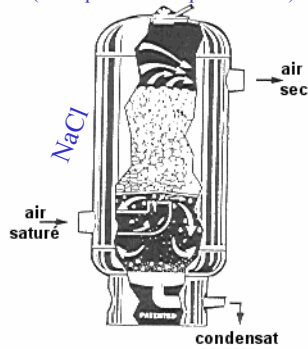


30

Installation

Sécheurs

Par absorption (produit hygroscopique)
(absorption chimique de l'eau)



Performance:

Point de rosée : $\Delta_{in/out}$: 5 à 10°C

Par adsorption (dessicant)
(pénétration superficielle d'un liq. dans un solide)



Performance:

Point de rosée : -40 à -70°C
Inconvénient : ... 14% d'air perdu

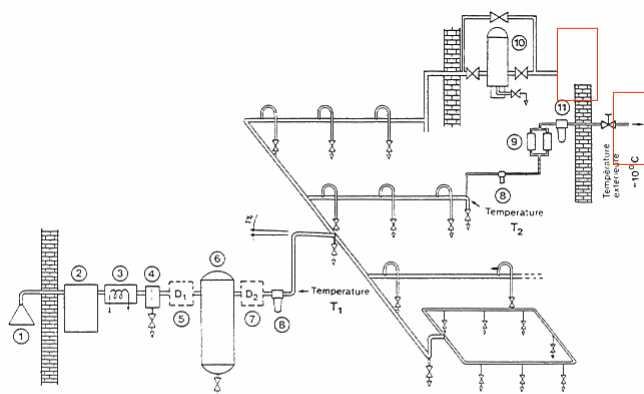


Technofluid

31

Installation

Unité de conditionnement (FRL)



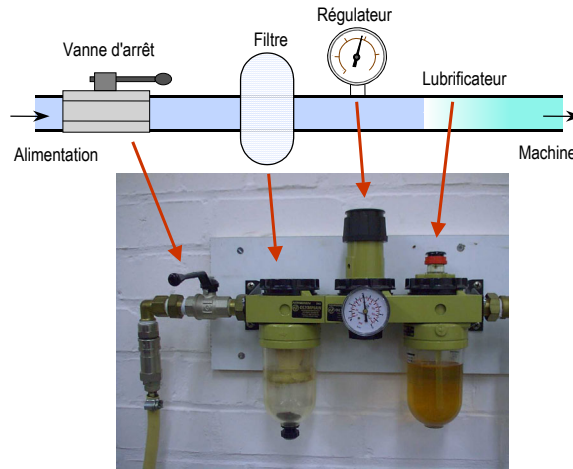
- (1) Filtre d'aspiration, air aussi froid que possible
- (2) Compresseur
- (3) Refroidisseur par eau ou air
- (4) Séparateur d'eau
- (5) ou (7) Emplacement d'un sécheur frigorifique et d'un préfiltre

- (6) Réservoir
- (8) Déshuileur
- (9) Sécheur pas absorption
- (10) Sécheur par absorption
- (11) Filtre fin 5µ

32

Installation

Unité de conditionnement (FRL)

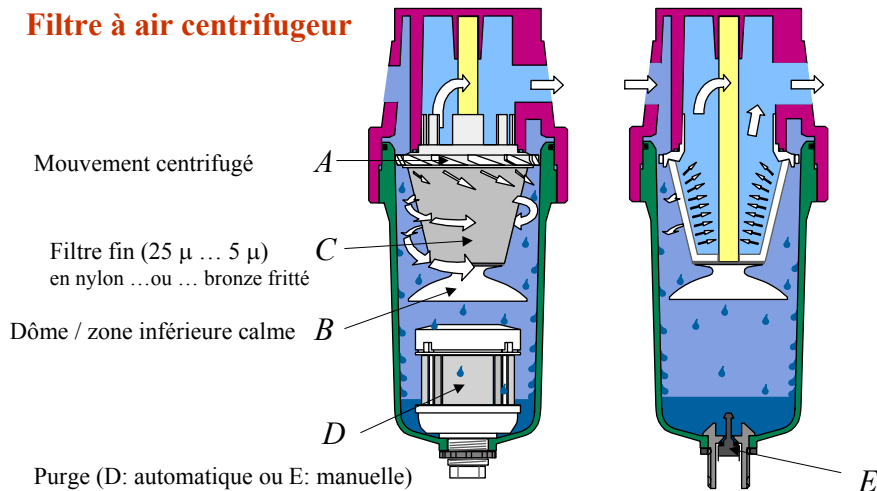


33

Installation

Unité de conditionnement (FRL)

Filtre à air centrifugeur



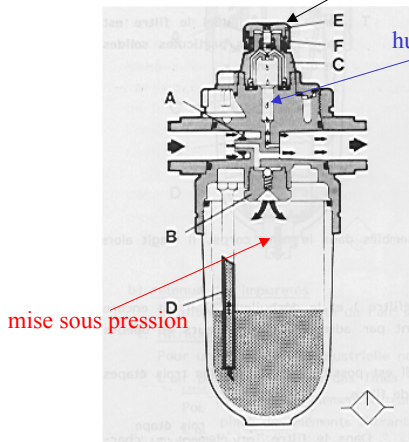
34

Installation

Unité de conditionnement (FRL)

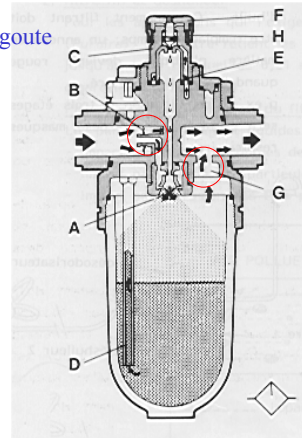
Filtere lubrificateur

réglage fin → en pratique : le coup du mouchoir !



à brouillard d'huile

huile goutte à goutte



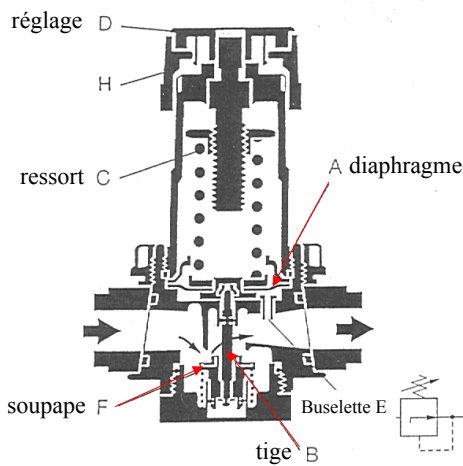
à micro-brouillard
(gouttes < 2 microns)

35
Installation

Unité de conditionnement (FRL)

Réducteur de pression

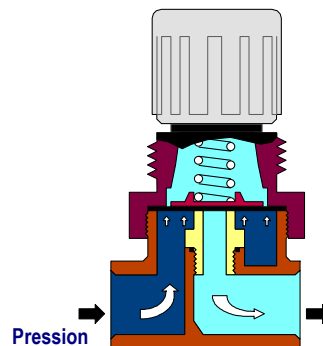
But : réguler la pression en aval



« équilibre » : ressort – pression secondaire

Soupe de sécurité

But : limiter la pression « en amont »



« casserole à pression »

36

Installation

Qualité de l'air : norme ISO 8573

La qualité de l'air comprimé pour les installations industrielles est définie dans la norme internationale ISO 8573.

La norme est divisée en 3 classes resp. pour :

- . La taille maximale et la concentration des particules solides
- . Le point de rosée min.
- . Le maximum de concentration d'huile

Classe	Particules solides (µm)	Eau (mg/m ³) (°C)	Huile (mg/m ³)
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	-	- n.s.	-

(n.s. signifie "non spécifié")

Ex. un filtre pour de l'air techniquement pur (chez Norgren) a, suivant ISO 8573, le code suivant: 1-7-2.

Un fournisseur d'équipement qui utilise de l'air comprimé indiquera le code qu'il exige pour son matériel (et surtout pour lequel il est garanti !)

37

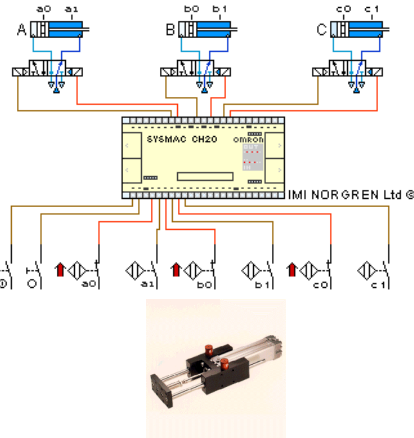
Installation

Contenu du cours

- ✍ **Introduction - Historique**
- ✍ **Air comprimé**
- ✍ **Installation: composants**
- ✍ **Cylindres pneumatiques**
- ✍ **Distributeurs**
- ✍ **Capteurs**
- ✍ **Montage installation**

38

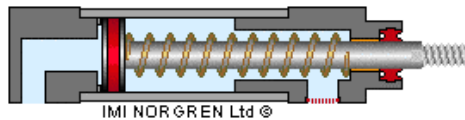
Cylindres pneumatiques



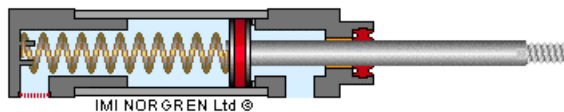
Cylindres

Cylindres : simple effet

Tige rentrée

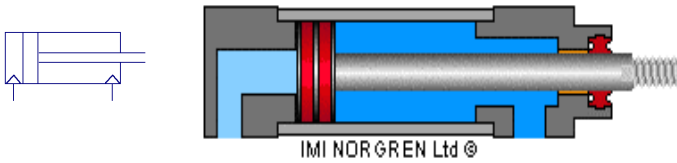


Tige Sortie

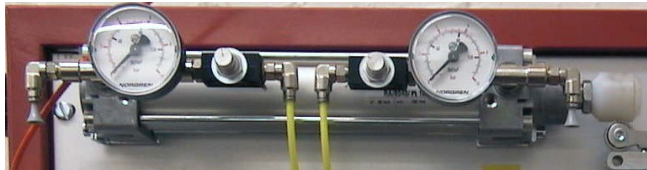


- Simplicité de raccordement
- En cas de coupure : retour instantané dans la position de repos

Cylindres : double effet



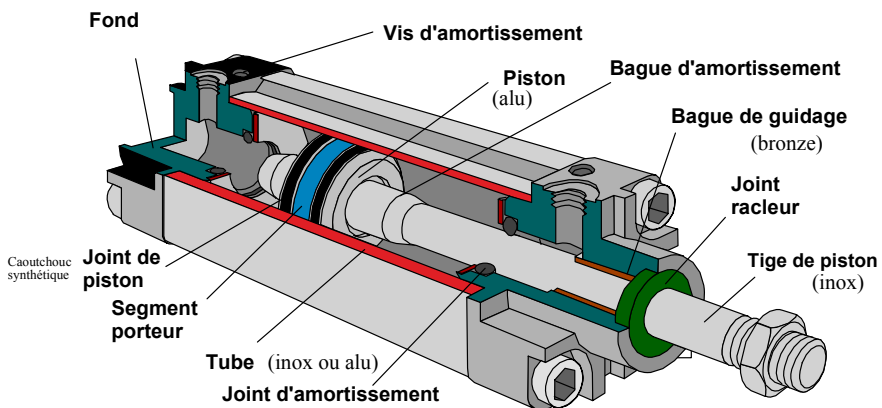
- Les plus répandus



41

Cylindres

Cylindres: construction

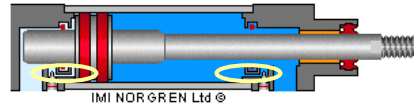
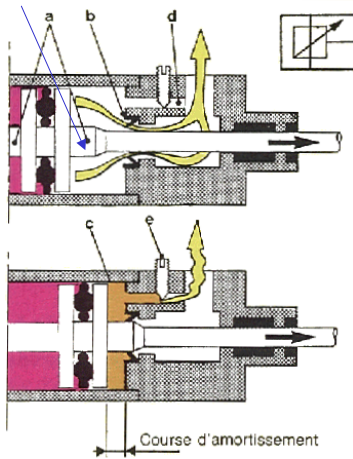


42

Cylindres

Cylindres: amortissement

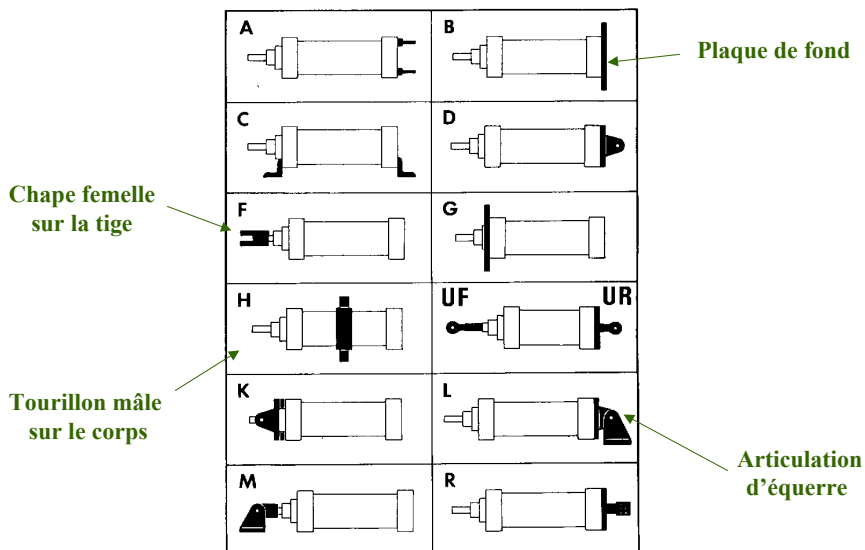
portée d'amortissement



43

Cylindres

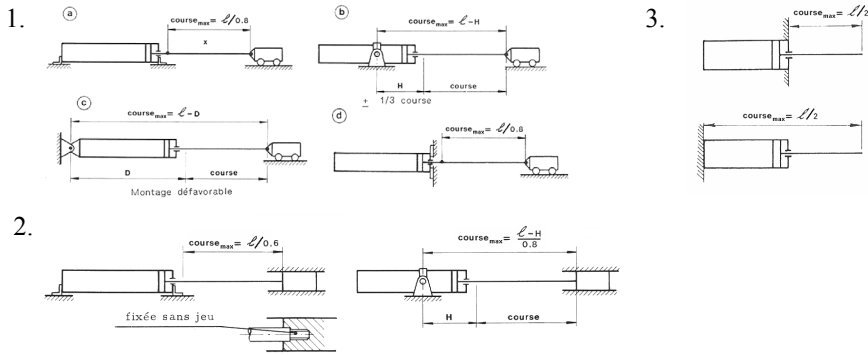
Cylindres : fixation



44

Cylindres

Flambage tige - course max.



Longueur de flambage = $\ell = 110 \times \text{rayon de la tige}$

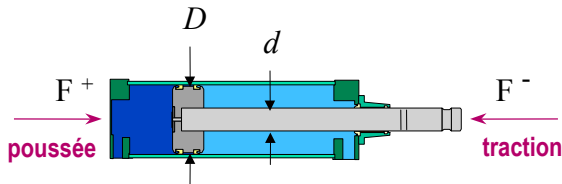
Exemple: fixation 1_a; diamètre 16 mm : course ?

$\ell = 110 \times 8 = 880 \text{ mm}$ $course_{max} = \frac{880}{0.8} = 1100 \text{ mm}$

Cylindres : Force / vitesse

Deux outputs utiles

1. Force



$F_{théo}^+ = p \times \frac{\pi D^2}{4}$ $F_{théo}^- = p \times \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$

En réalité:

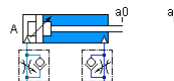
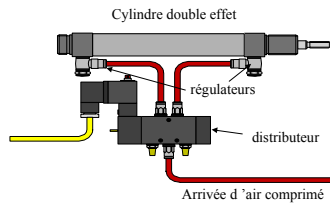
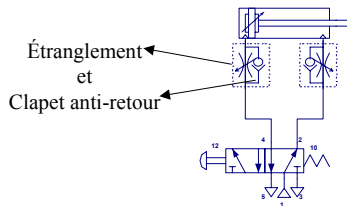
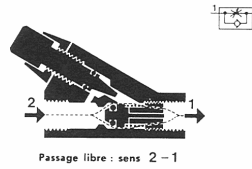
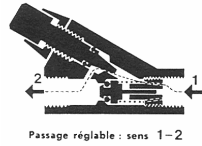
Force statique = ... 95% de $F_{théo}$

Force dynamique < 70 % de $F_{théo}$ → • Frottement et ...
 • Contre-pression

INDISPENSABLE!!!

Cylindres : Force / vitesse

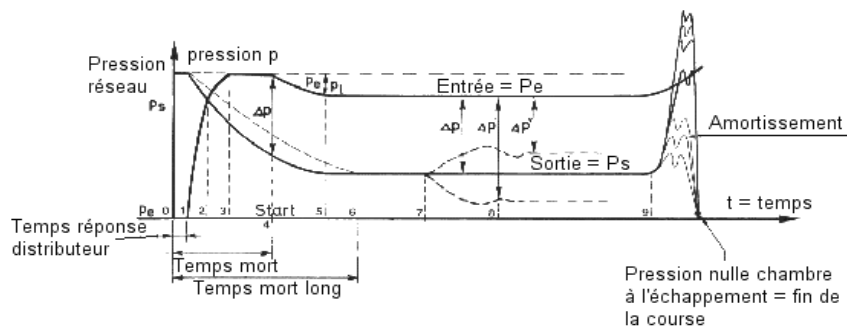
2. Vitesse



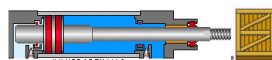
47

Cylindres

Cylindres : Evolution pression



- 0-1: temps inversion distributeur (5 ... 50 msec)
- 4: $\Delta p = W/A$... ça bouge ...
- 4-5 : $\Delta p > W/A$... on accélère. p_s s'infléchit vers le haut
- 5. $\Delta p = W/A$... vitesse stabilisée
- ...
- 9: entrée dans la zone d'amortissement : $p_s \uparrow \uparrow$

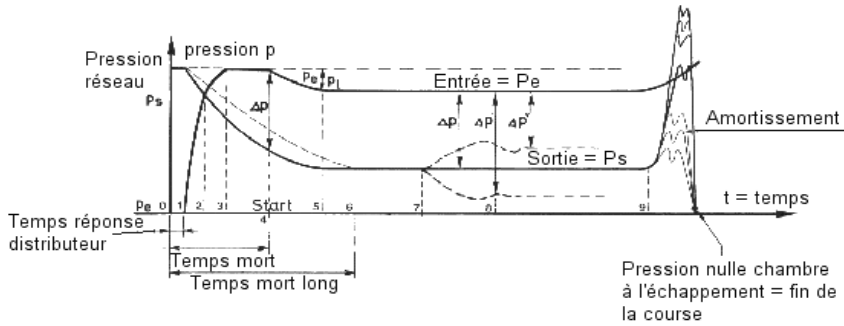


$$W = \mu \cdot mg$$

48

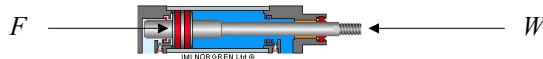
Cylindres

Cylindres : Evolution pression



$$m \ddot{x} + C \dot{x} = F - W$$

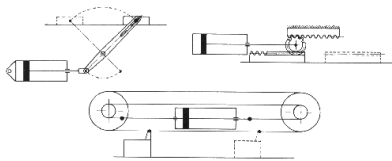
$$\text{Équilibre : } \ddot{x} = 0 \Rightarrow \dot{x} = (F - W) / C$$



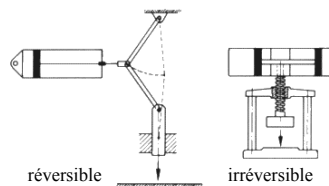
49

Cylindres : Dispositions

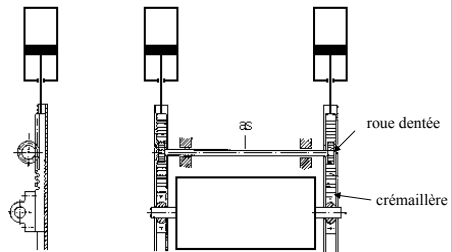
Accroissement course



Accroissement force



Synchronisation

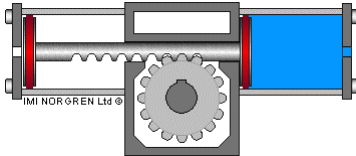


Synchronisation mécanique indispensable

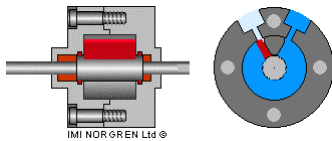
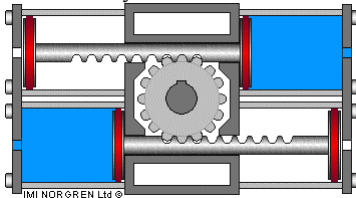
50

Cylindres spéciaux

Unités de couple



avec synchronisation :



Cylindres compact à soufflet



Cylindres sans tige (chariot guidé)



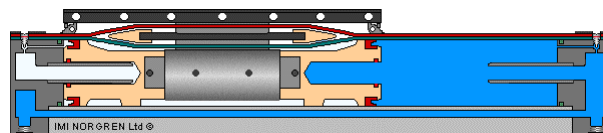
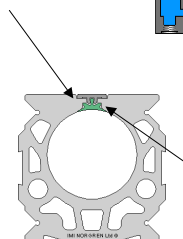
51

Cylindres

Cylindres spéciaux (2) : sans tige

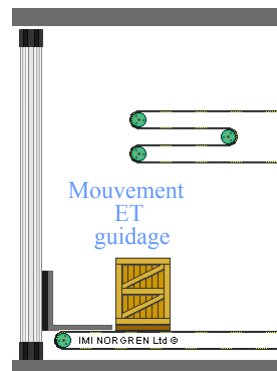
ex. : « Lintra » (Norgren/Martonair) : chariot guidé

Profilé fendu :



Application:

Joint d'étanchéité
type « tirette »



52

Cylindres

Contenu du cours

- ✍ Introduction - Historique
- ✍ Air comprimé
- ✍ Installation: composants
- ✍ Cylindres pneumatiques
- ✍ **Distributeurs**
- ✍ Capteurs
- ✍ Montage installation

53

Distributeurs (« pré-actionneurs »)



Nombre d'orifices

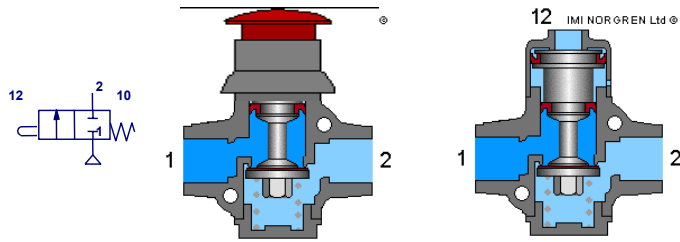
X / Y

Nombre de positions

1 : alimentation
2, 4 : vers actionneurs
3, 5 : échappement

54

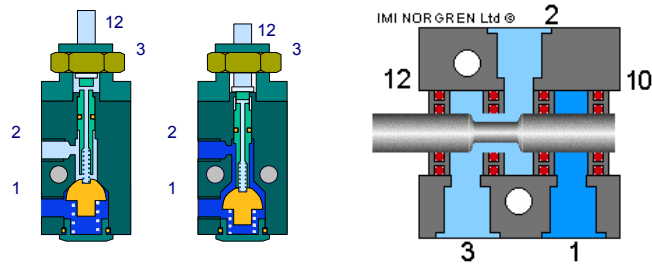
Distributeurs 2/2



55

Distributeurs

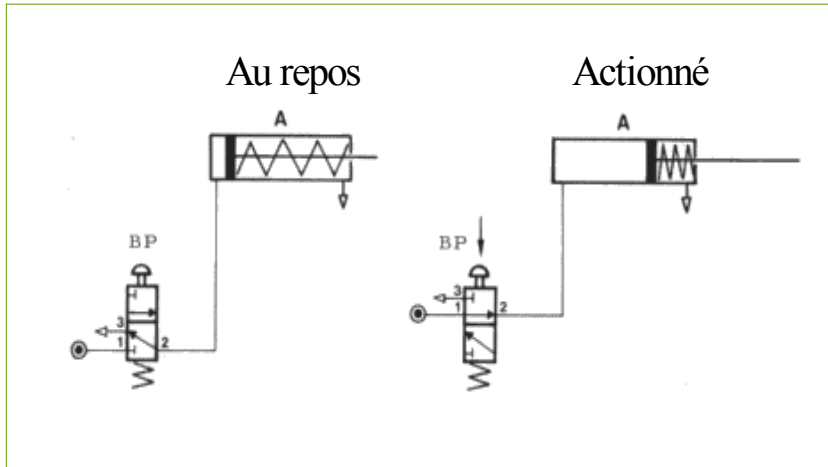
Distributeurs 3/2



56

Distributeurs

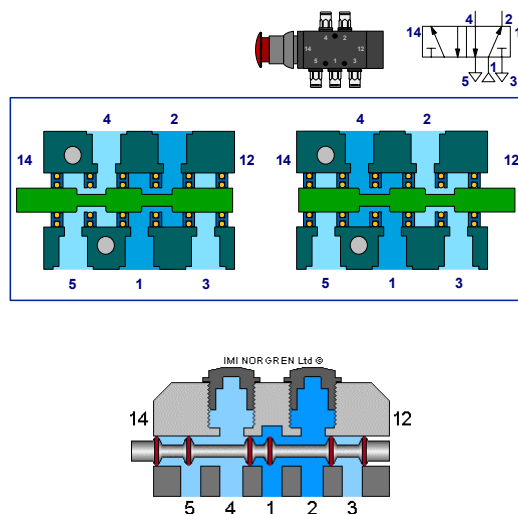
Distributeurs 3/2: en situation



57

Distributeurs

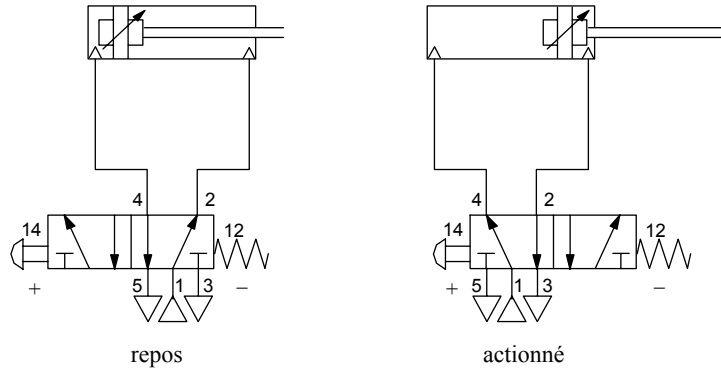
Distributeurs 5/2



58

Distributeurs

Distributeurs 5/2: en situation

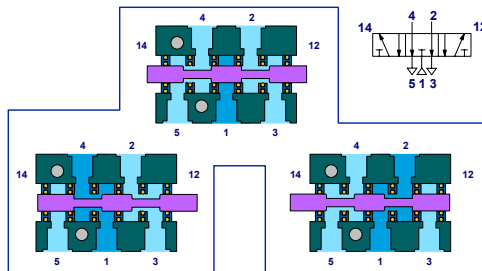


59

Distributeurs

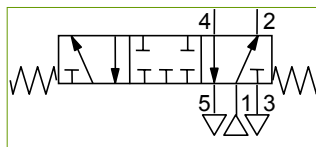
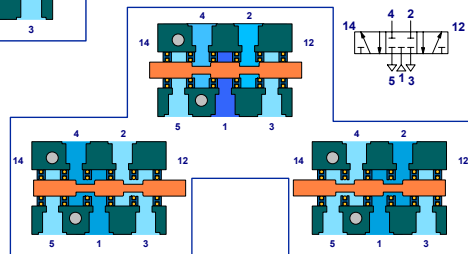
Distributeurs 5/3

Position médiane ouverte



SECURITE

Position médiane fermée



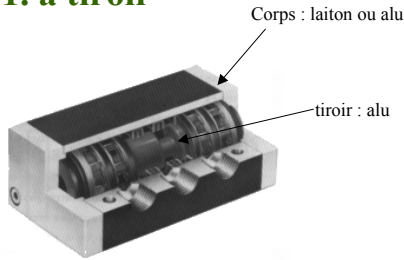
Centrage obtenu par ressorts de rappel
(gauche+droite)

60

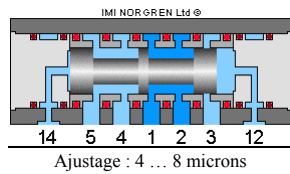
Distributeurs

Distributeurs : construction

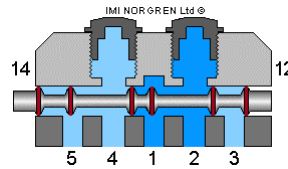
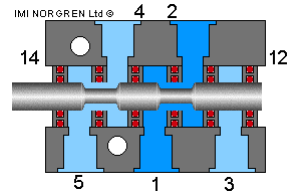
1. à tiroir



sans joints



avec joints

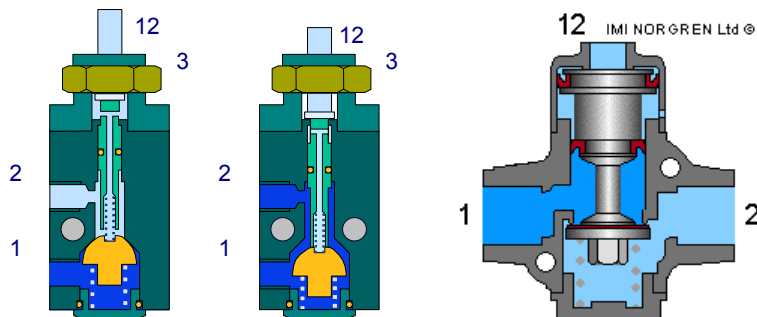


Impulsion min: 25 msec
Pression de commande : ... 2 bar
61

Distributeurs

Distributeurs : construction

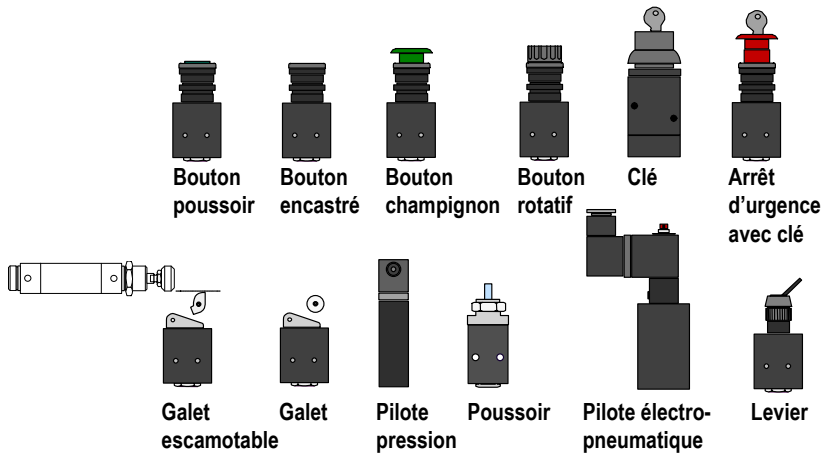
2. à clapet



- Faible course
- Utilisé avec des commandes purement mécanique (came, galet, ...)

Distributeurs : construction

Mécanismes de commande



63

Distributeurs

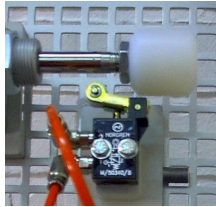
Contenu du cours

- ✍ **Introduction - Historique**
- ✍ **Air comprimé**
- ✍ **Installation: composants**
- ✍ **Cylindres pneumatiques**
- ✍ **Distributeurs**
- ✍ **Capteurs**
- ✍ **Montage installation**

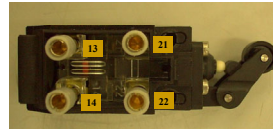
64

Capteurs de fin de course

Signal pneumatique/action mécanique



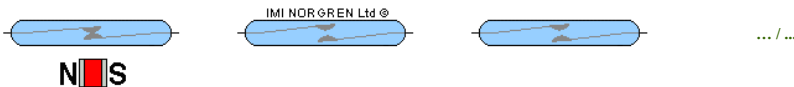
Signal électrique/action mécanique



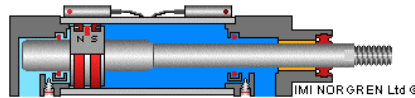
Signal pneumatique/action pneumatique

Signal électrique/action pneumatique

Signal électrique/action magnétique



« contact reed »



Champ magnétique créé par l'aimant sur le vérin => force qui ferme un contact

65

Capteurs

Contenu du cours

- ✍ **Introduction - Historique**
- ✍ **Air comprimé**
- ✍ **Installation: composants**
- ✍ **Cylindres pneumatiques**
- ✍ **Distributeurs**
- ✍ **Capteurs**
- ✍ **Montage installation**

66

Montage des circuits: cylindres

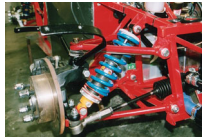
1. Choix des cylindres sur base du Cahier des Charges :

- Effort désiré (ex. force de forage)
- Simple/double effet
- Course désirée (profondeur de forage) →
- Fixations possibles
- Conditions de travail



2. Placement du cylindre :

- Attention à l'alignement si fixations sans rotule
- Pousse ou Tire mais en principe ne guide pas (sauf vérins sans tiges)
cfr. cours de conception mécanique
(=<= analogie : amortisseur de voiture)



67

Montage

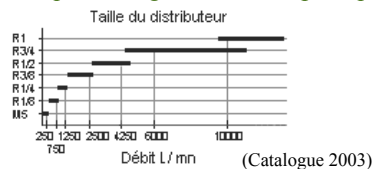
Montage des circuits: distributeurs

1. Type sur base du Cahier des Charges :

- bistable, monostable ... voir aspects sécurité.
- 5/2, 3/2, ...
- commandé électriquement, pneumatiquement, ...

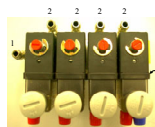
2. Taille (orifices) :

- ... en théorie : Calcul des débits sur base du Kv 5/2, 3/2, ...
- Sur le terrain : abaques et règles de bonne pratique



3. Montage :

- en « îlots »



même au labo!

68

Montage

Montage des circuits: canalisation

1. Section

... en fonction des orifices et K_v des distributeurs

Distrib.	Valeur K_v	Canalisation \varnothing int/ext. (pour canalisations de nylon) [mm]
M5	0,05 - 0,1	} \varnothing 2,5/4
1/8"	0,15 - 0,3	
1/4"	0,8 - 1,3	} \varnothing 4,5/6
1/2"	3 - 3,2	
3/4"	5,5 - 7	} \varnothing 6/8
1"	6 - 10	
		} \varnothing 8/10
		- \varnothing 17,6/22
		- \varnothing 20/25

2. Matériau

- Dans les livres : règles de bonne conduite
- En pratique : on voit de tout : au bon plaisir du client (galva, inox, nylon, cuivre, etc ...)

69

Montage

Armoires de commande

Un exemple simple ...



70

Montage