



**ÉCOLE D'APPLICATION DE
SÉCURITÉ CIVILE**

Version 2020

Le matériel de plongée

Chaine de l'air

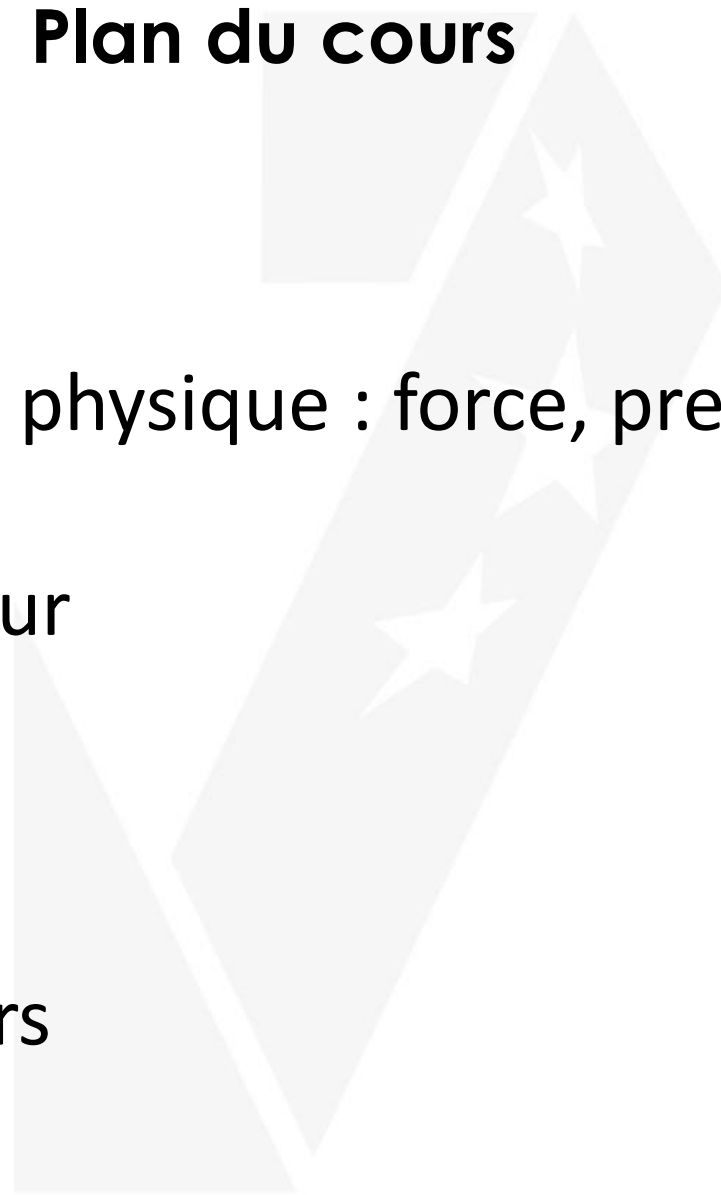
(Blocs, détendeurs, compresseurs)

Plongée



Plan du cours

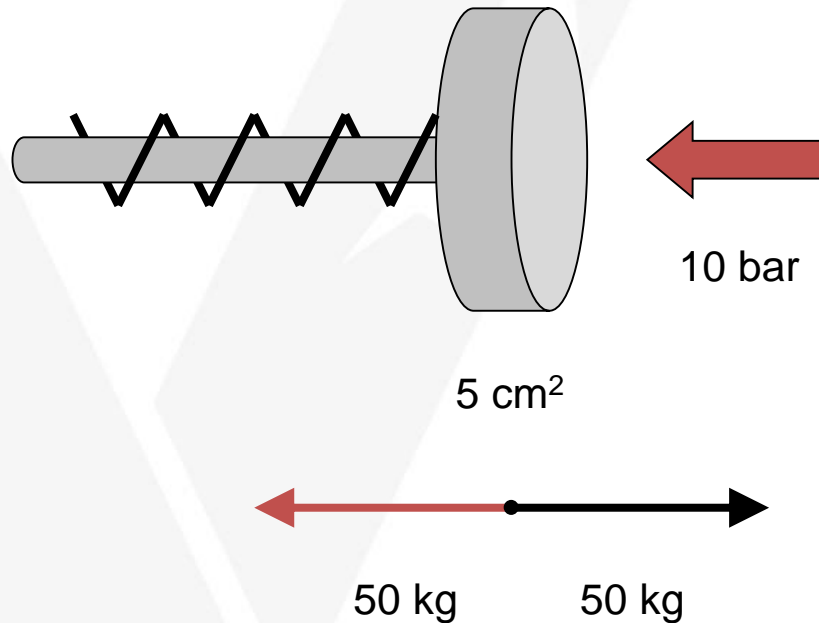
- Généralités
 - Rappels de physique : force, pression
 - Étanchéité
- Le compresseur
- Le gonflage
- Le stockage
- La mesure
- Les détendeurs



Rappels de physique

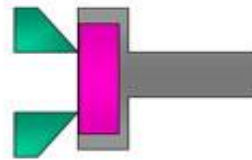
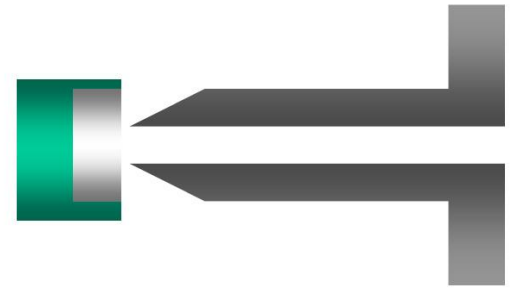
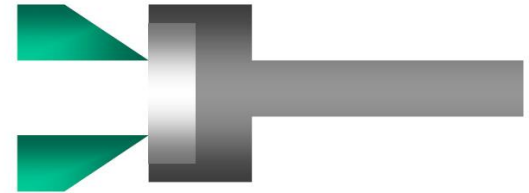
$$P = F / S \Leftrightarrow F = P \times S$$

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

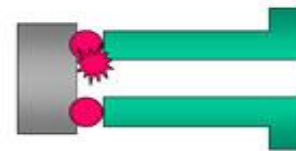


Etanchéité

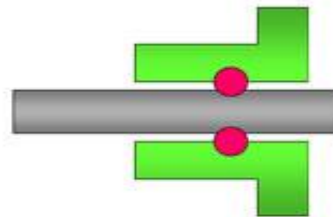
- Siège (fixe) - clapet (mobile)
- Matériau dur / matériau tendre
- Joints :
 - Plats
 - Toriques
 - Lubrification



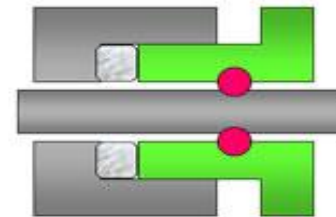
Par Siège et Clapet



Par Joint Extrudeur

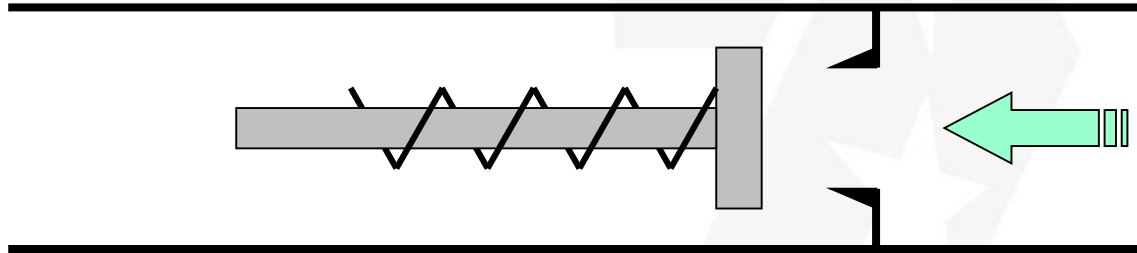


Par Joint Torique

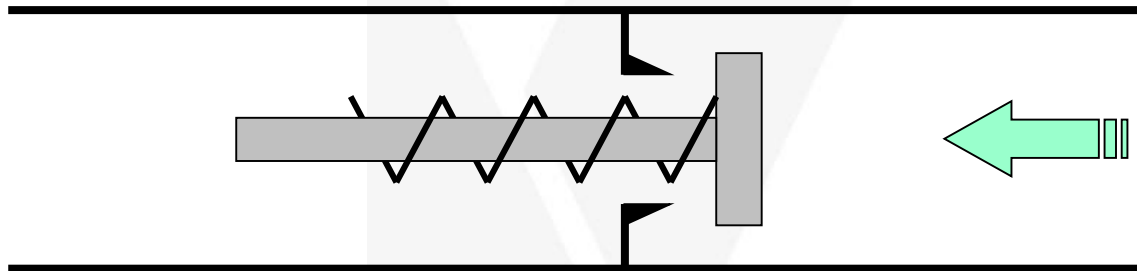


Par Joint Plat et Joint Torique

Clapets amont / aval



clapet aval : 2^{ème} étage, purge rapide gilet, soupape d'expiration

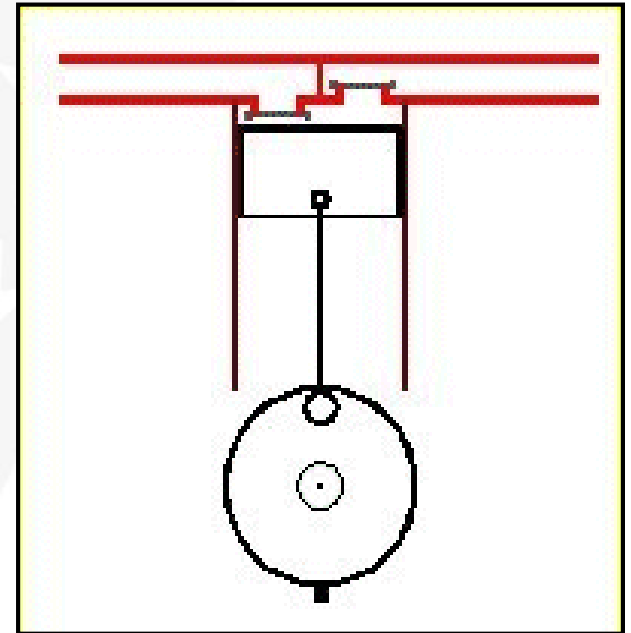
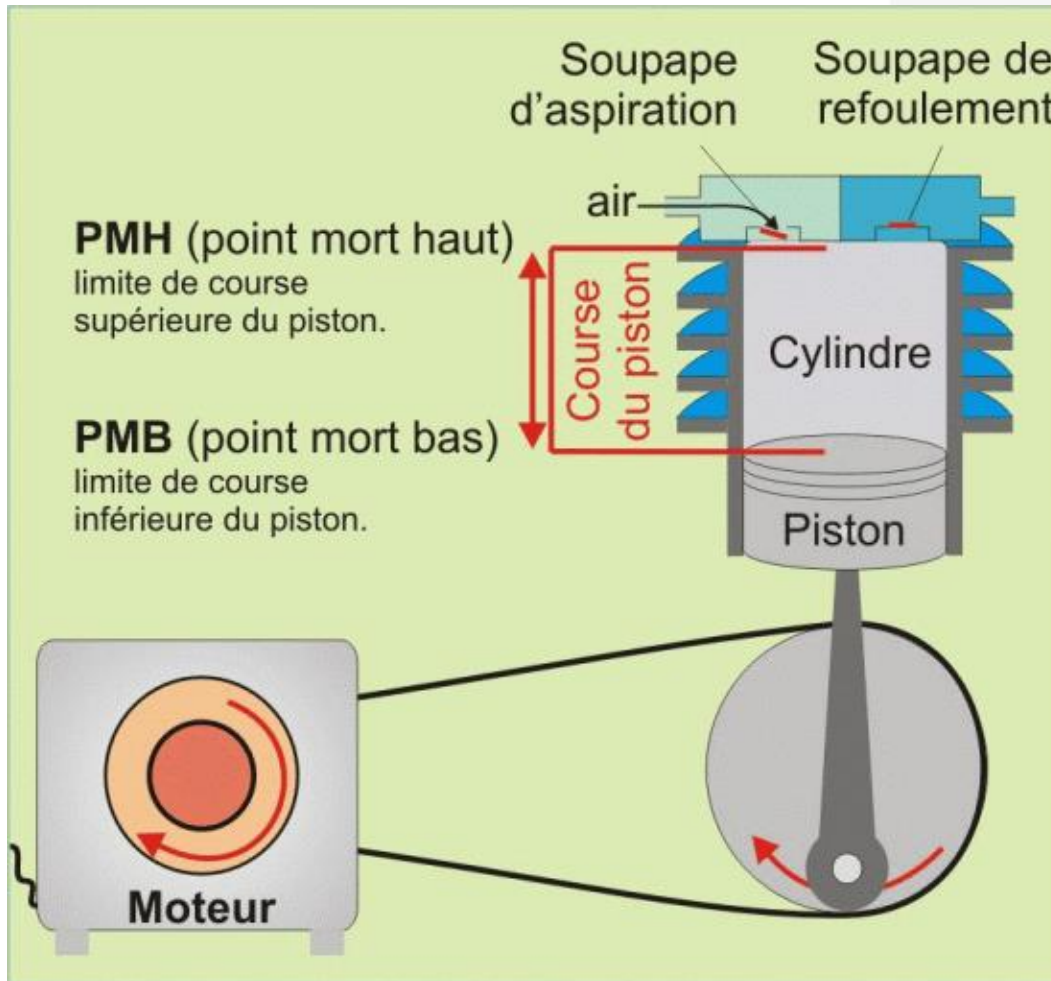


clapet amont : direct-system, inflateur

Le compresseur



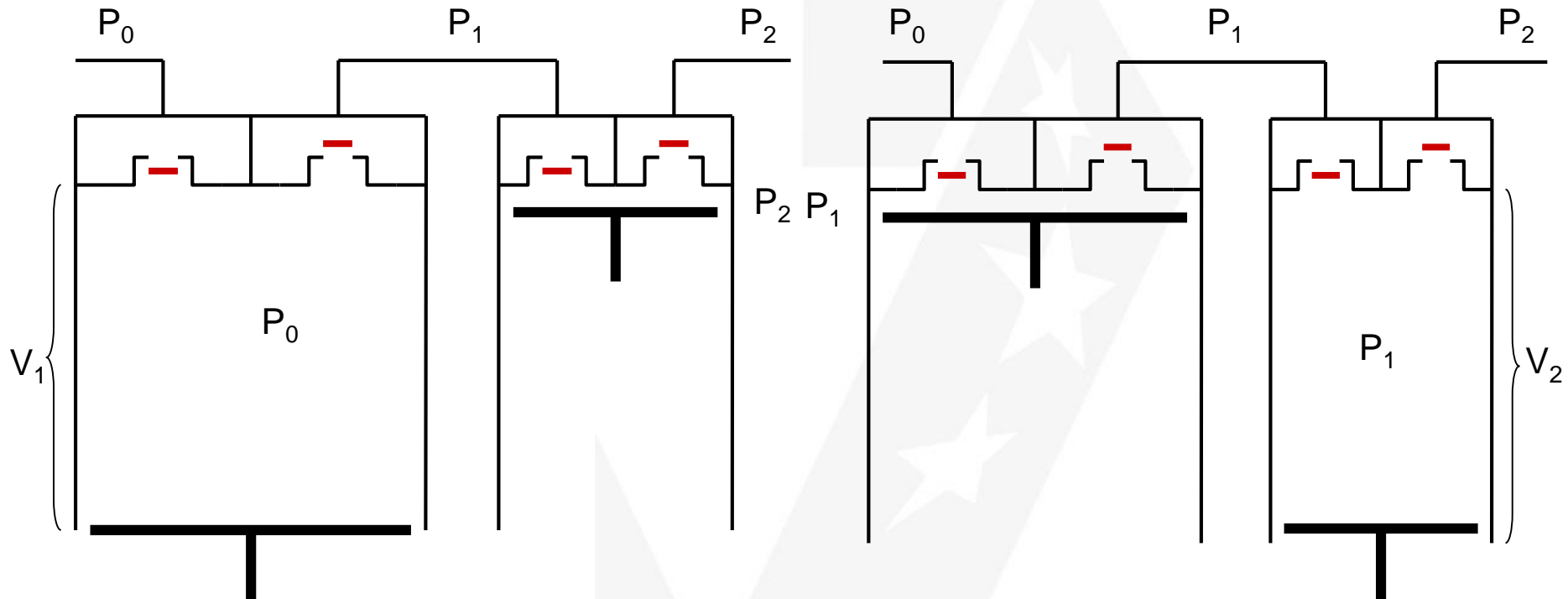
Cylindre de compresseur



Contraintes liées à la compression

- Compression \Rightarrow échauffement
- Pour l'air, $P : 1\text{b} \nearrow 200\text{b} \Rightarrow T : 20^\circ\text{C} \nearrow 1100^\circ\text{C} !!!!!$
 \Rightarrow Compression étagée + refroidissement inter-étages
- 4 étages de $K = 4 : 1\text{b} \nearrow 256\text{b}$, $T \nearrow$ env. 150°C
 \Rightarrow Huile : caractéristiques alimentaires, T° de craquage élevée
- Refroidissement inter-étages \Rightarrow condensation
 \Rightarrow Purge des condensats après chaque réfrigérant
 \Rightarrow Air sec !!!

La compression

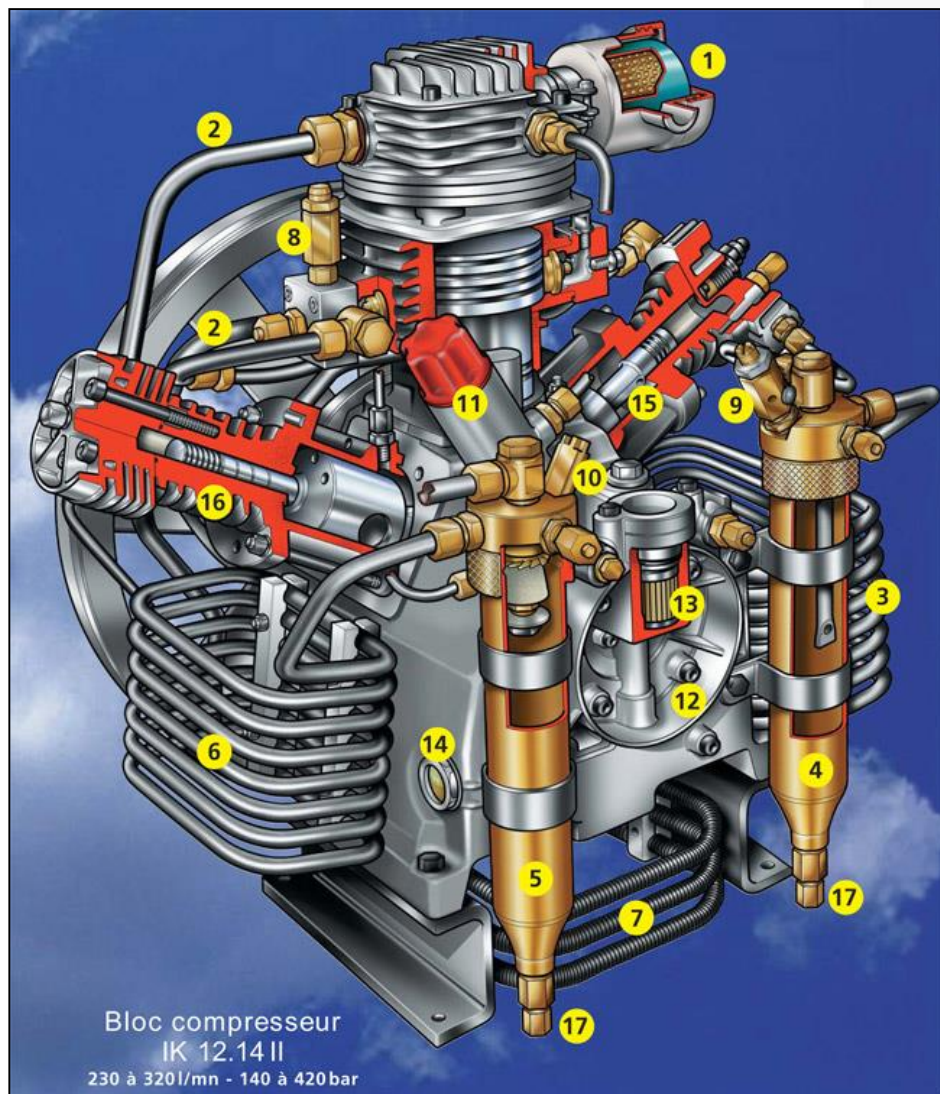


$$P_0 \times V_1 + P_2 \times 0 = P_1 \times 0 + P_1 \times V_2$$

$$P_0 \times V_1 = P_1 \times V_2$$

$$P_1 / P_0 = V_1 / V_2 \quad = \text{taux de compression}$$

Schéma général du compresseur

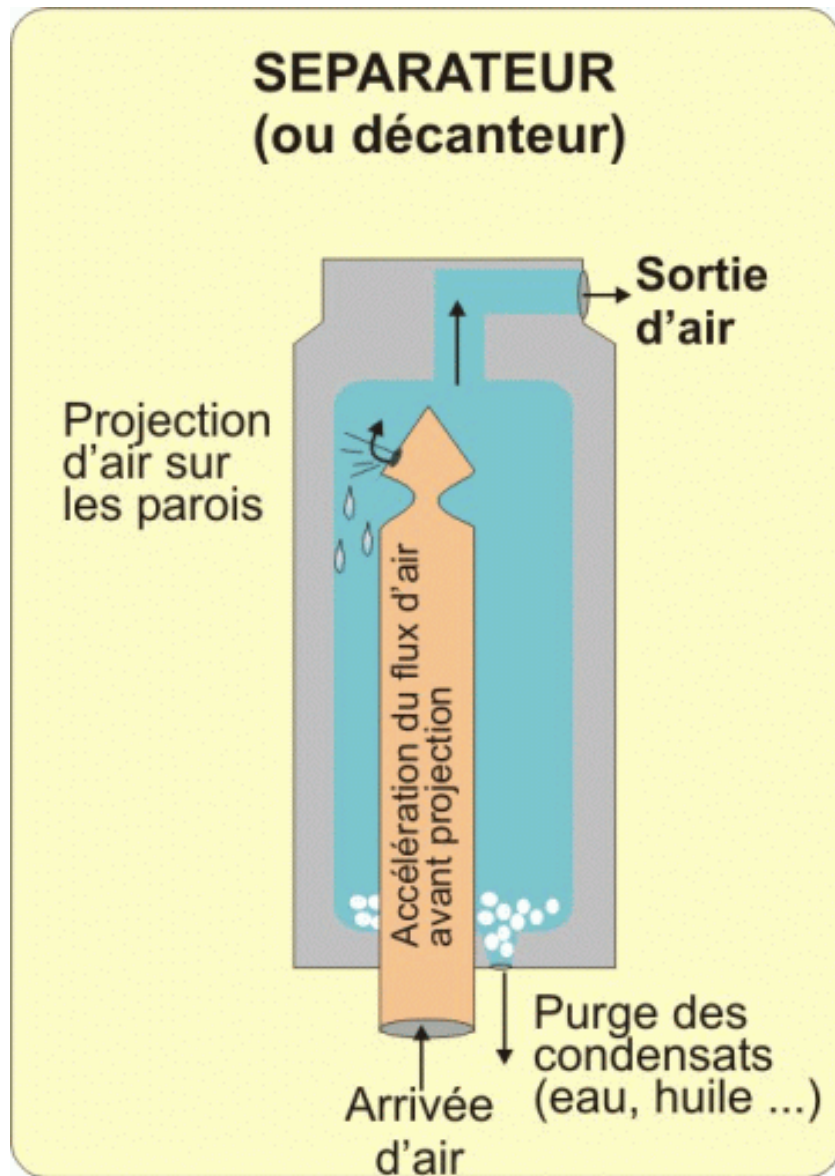


- 1 filtre d'aspiration
- 2 refroidisseur intermédiaire 1.-2. étage
- 3 refroidisseur intermédiaire 2.-3. étage
- 4 séparateur intermédiaire 2. étage
- 5 séparateur intermédiaire 3. étage
- 6 refroidisseur intermédiaire 3.-4. étage
- 7 refroidisseur final
- 8 soupape de sûreté 1. étage
- 9 soupape de sûreté 2. étage
- 10 soupape de sûreté 3. étage
- 11 conduite de remplissage d'huile
- 12 pompe à huile
- 13 filtre à huile
- 14 regard d'huile
- 15 culasse avec piston 3. étage
- 16 culasse 4. étage avec piston libre
- 17 sortie des condensats

Pourquoi éliminer l'eau ?

- Dégâts mécaniques sur les pistons
- Corrosion : tuyauteries, bouteilles
- Pertes de charges
- Givrage : la détente dans le clapet du 1^{er} étage peut atteindre -130°C

Principe d'un décanteur



- Purges manuelles
- Purges automatiques
 - Programmées
 - À détection de seuil
- Récupération des condensats (huileux)

Autres éléments

- Soupape de sécurité : clapet aval + ressort taré
- Réfrigérants :
 - Ventilateur \Rightarrow circulation d'air sur des tubes à ailettes
 - Radiateur à circulation d'eau
- Cartouche filtrante :
 - Adsorption : fixation superficielle d'un fluide dans un solide poreux et perméable (\nearrow surface de fixation)
 - Tamis moléculaire (silicate d'alumine) : humidité résiduelle
 - Charbon actif : molécules légères (odeurs, goût)
 - L'huile résiduelle inhibe l'adsorption (saturation)

Les stations de gonflage

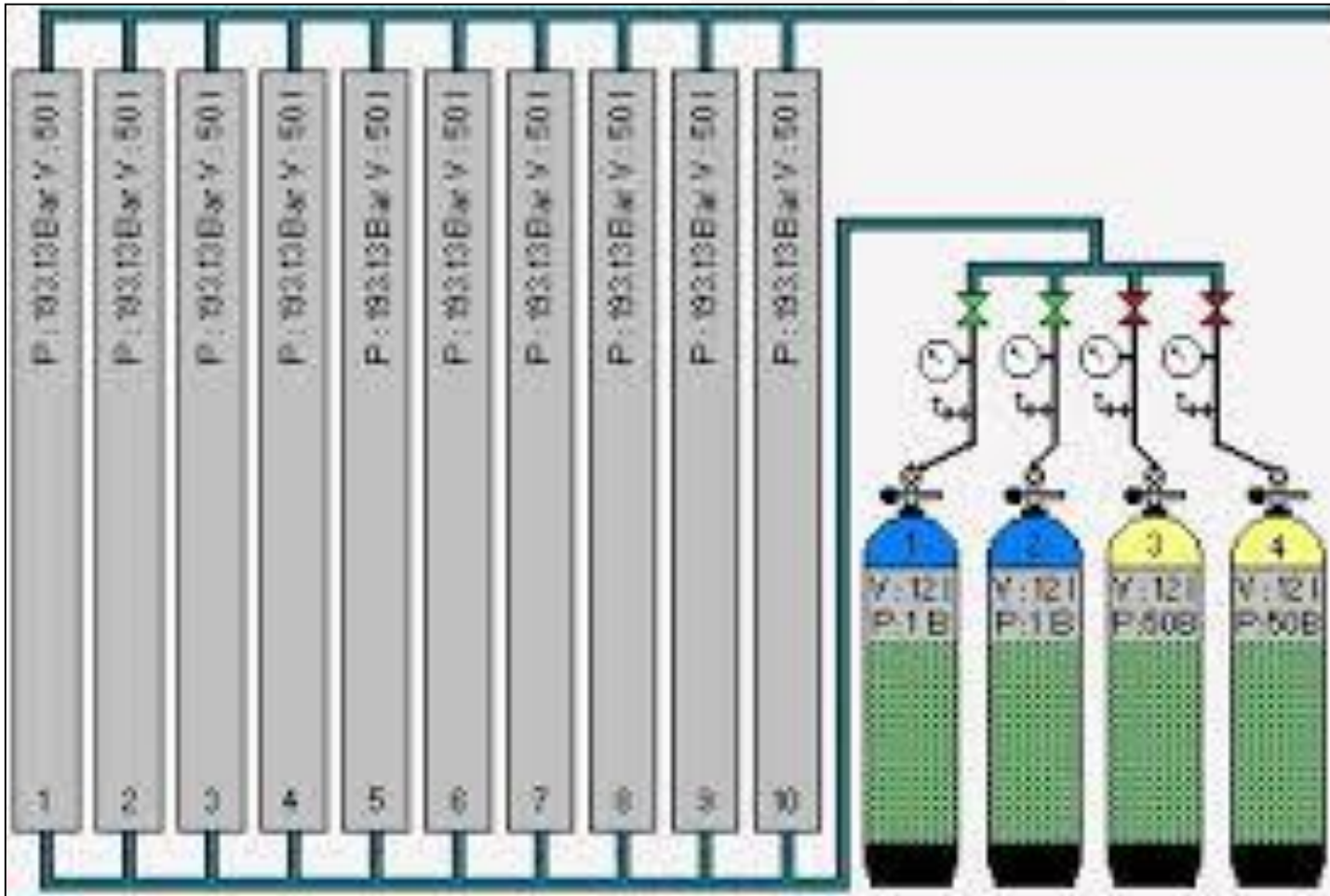
(arrêté du 15/3/2000), Arrêté du 31 mars 2015 portant habilitation d'un organe d'inspection des utilisateurs pour l'application du décret n° 99-1046 du 13 décembre 1999 modifié relatif aux équipements sous pression (CEIDRE)

- L'exploitant doit disposer du personnel nécessaire à l'exploitation, à la surveillance et à la maintenance des équipements sous pression. Il doit fournir à ce personnel tous les documents utiles à l'accomplissement de ces tâches.
- Le personnel chargé de la conduite d'équipements sous pression doit être informé et compétent pour surveiller et prendre toute initiative nécessaire à leur exploitation sans danger.
- Les récipients sous pression de gaz, de vapeur d'eau surchauffée dont la pression maximale admissible (PS) est supérieure à 4 bar et dont le produit pression maximale admissible par le volume est supérieur à 10000 bar x litres (tampons) sont soumis à la déclaration de mise en service et le personnel doit être formellement reconnu apte à cette conduite par leur exploitant et périodiquement confirmé dans cette fonction.

Les stations de gonflage : affichage et documents

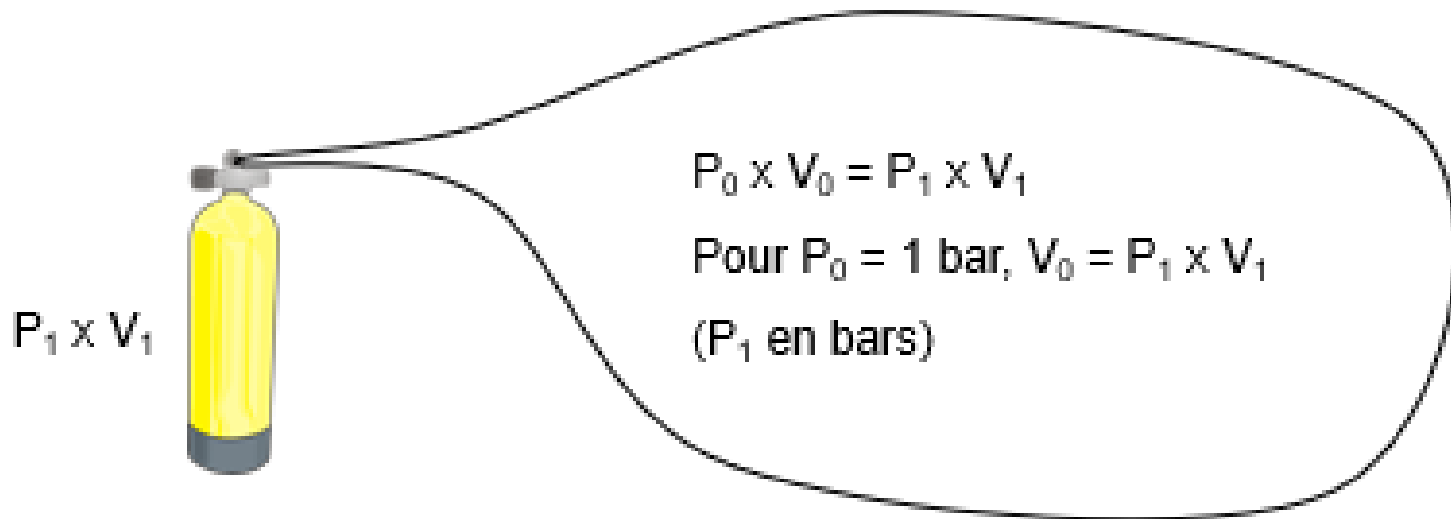
- **Affichage :**
 - Liste des personnes habilitées (Exploitant)
 - Consignes d'utilisation du compresseur (fabricant)
 - Consignes de chargement (exploitant)
 - Consignes d'entretien (installateur + exploitant)
 - Consignes particulières (exploitant)
- **Documents à tenir à disposition :**
 - Manuel du compresseur (fabricant)
 - Consignes d'utilisation du compresseur (fabricant)
 - Cahier d'entretien (installateur + exploitant)
 - Cahier d'intervention (exploitant)
 - Cahier de gonflage (exploitant + gonfleurs)

Le gonflage



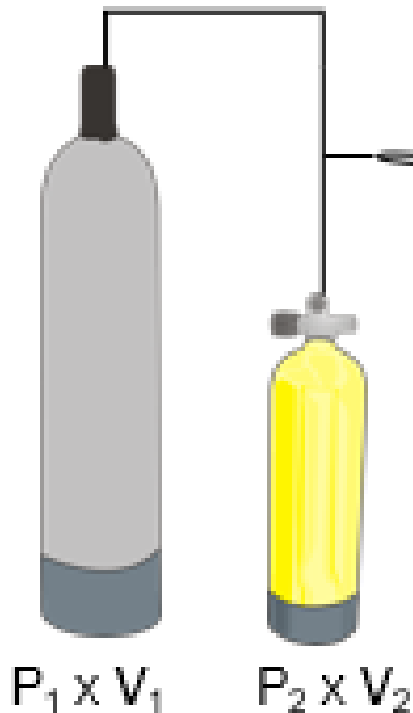
Compressibilité : Boyle - Mariotte

- $P \times V = C^{te}$
- Valide si $P < 250 \text{ bar}$ et $T < 220^\circ\text{C}$



- À température constante, $P \times V$ représente une quantité (masse, nombre de molécules) de gaz

Compressibilité : Boyle – Mariotte (suite)



Volume à $P_0 = 1 \text{ bar}$: $P_1 \times V_1 + P_2 \times V_2$

Pour $V = V_1 + V_2$: $P \times V = P_1 \times V_1 + P_2 \times V_2$

$P = (P_1 \times V_1 + P_2 \times V_2) / (V_1 + V_2)$

Application tampons

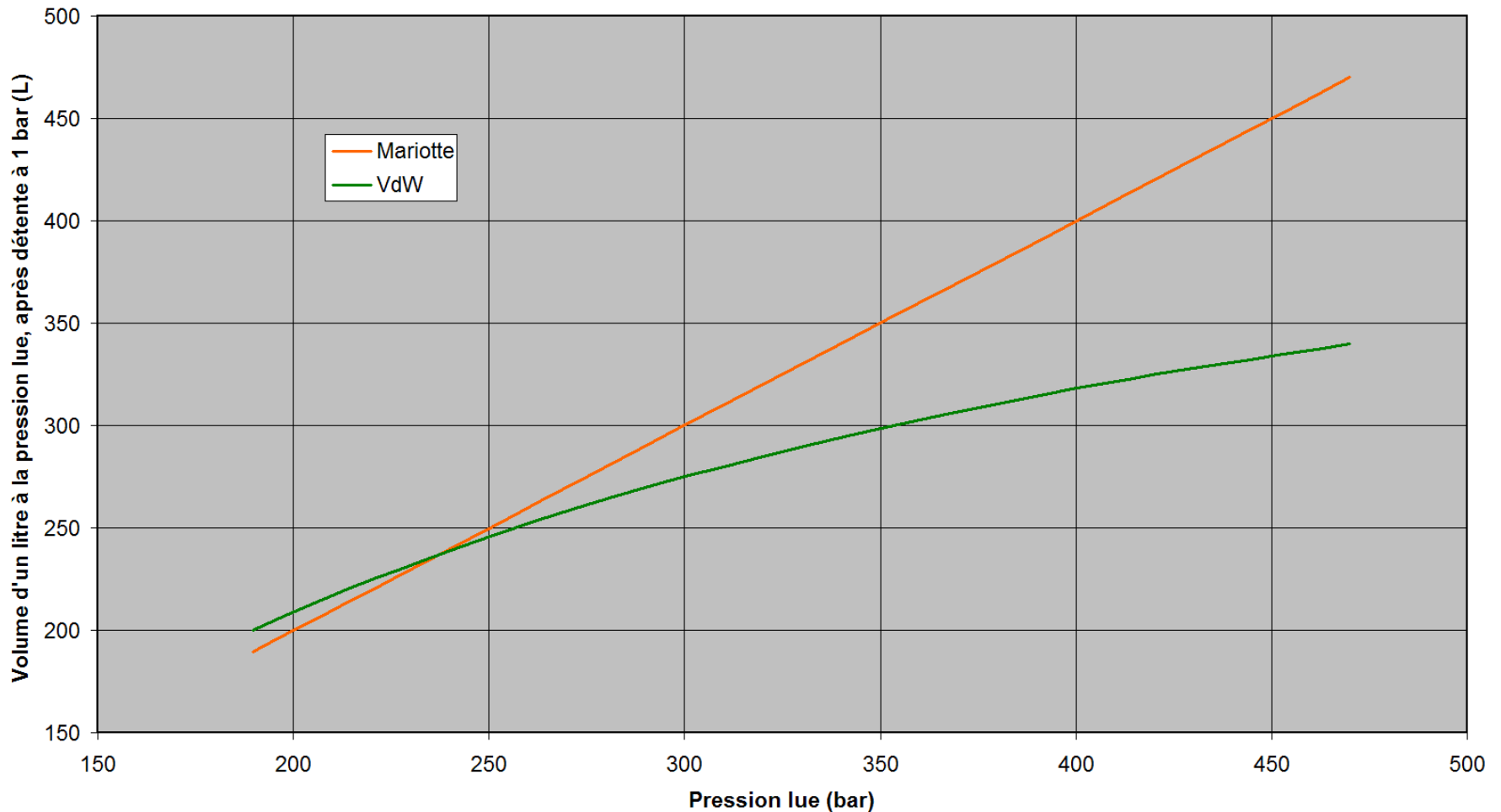
- Vous devez gonfler 5 blocs de 12L à 230b. 4 de ces blocs sont à 50b et le 5^{ème} à 75b.
- Vous disposez de deux séries indépendantes de 4 tampons de 50L à 250b et d'une rampe de gonflage à 5 sorties permettant de gonfler les 5 blocs en même temps.
- P° résultante dans les tampons ?

Corrigé :

- 1^{er} tampon (équilibre) :
$$(4 \times 50L \times 250b) + (4 \times 12L \times 50b) + (12L \times 75b) = P \times [(4 \times 50L) + (5 \times 12L)]$$
$$P = 205b$$
- 2^{ème} tampon (transvasement) :
$$(4 \times 50L \times 250b) - (5 \times 12L \times 25b) = P \times (4 \times 50L)$$
$$P = 242,5b$$

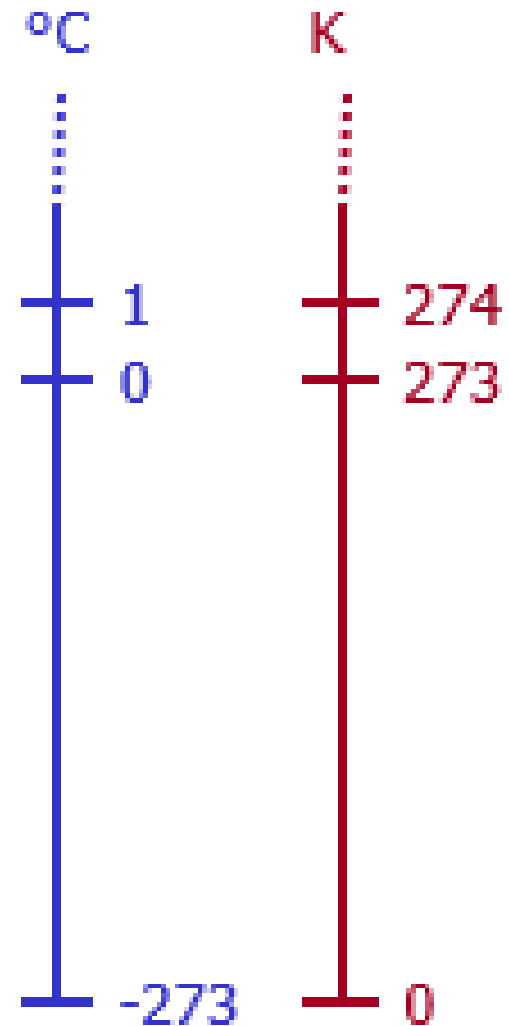
Pression utile : les gaz réels

Comportement réel de l'air comprimé



Compressibilité : Charles

- Influence de la température absolue
- La température absolue est exprimée en Kelvin (K)
- $T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$ (on arrondit à 273)
- A volume constant, P / T est constant
- $P_1 / T_1 = P_2 / T_2$
- Applications : variation de température des blocs gonflés

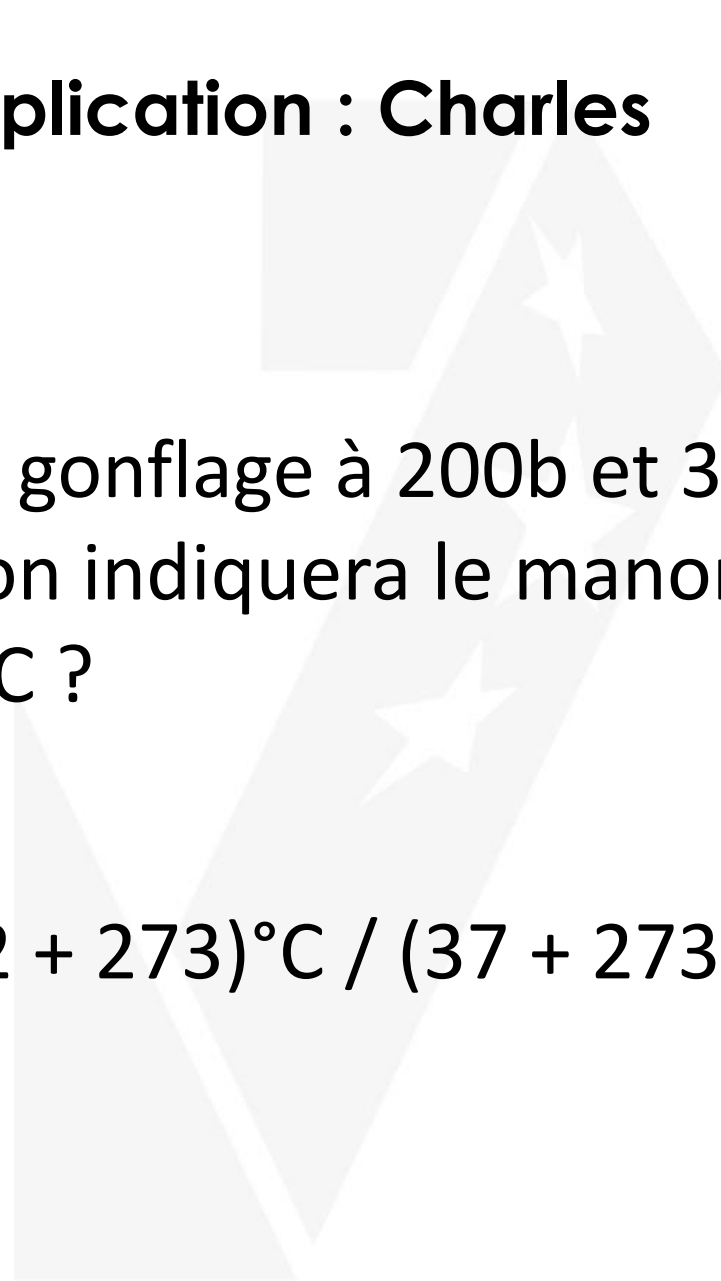


Application : Charles

- 1 bloc sort du gonflage à 200b et 37°C
- Quelle pression indiquera le manomètre dans de l'eau à 12°C ?

Corrigé

- $P = 200b \times (12 + 273)^{\circ}C / (37 + 273)^{\circ}C = 184b$



Le stockage

Réglementation des bouteilles

Inspection et requalification

| Périodicité des contrôles | Bouteille régime normal | Bouteille régime dérogatoire TIV | Tampon, Filtres compr. |
|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Inspection | 12 mois | | 40 mois |
| Requalification | 2 ans | 5 ans | 10 ans |

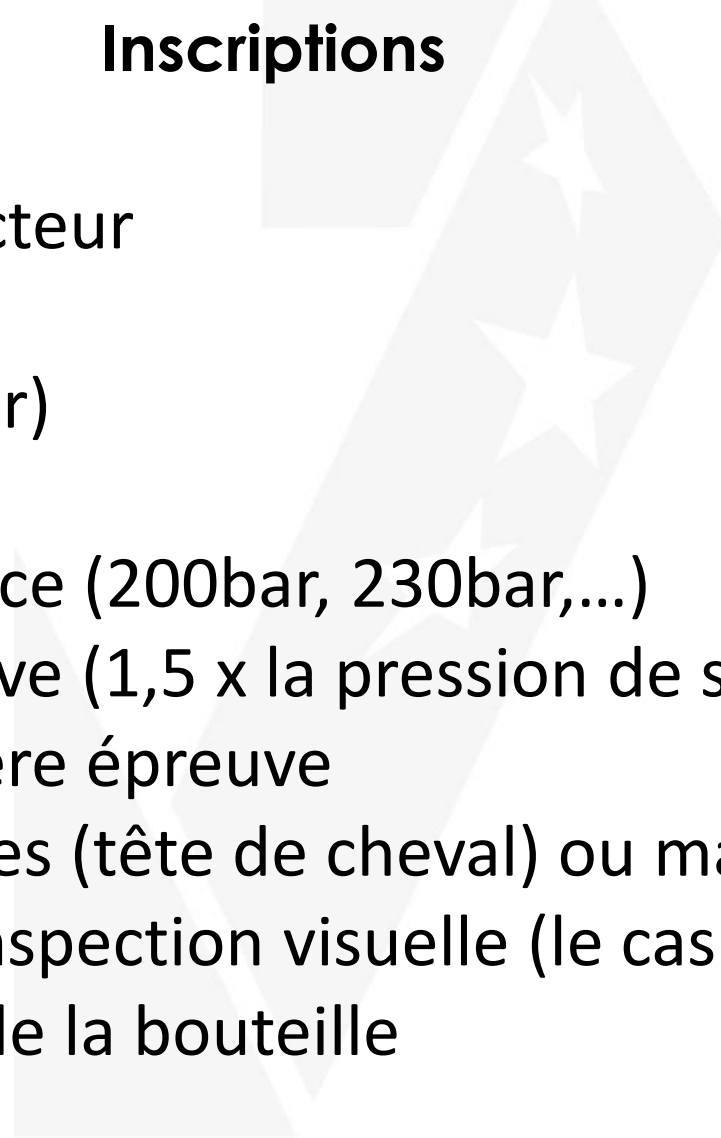
- TIV nitrox : qualif. nitrox confirmé, nettoyage et intervention interdits
- Inspection : traçabilité (compétence, PV d'inspection)
- Requalification : présenter la bouteille avec sa robinetterie



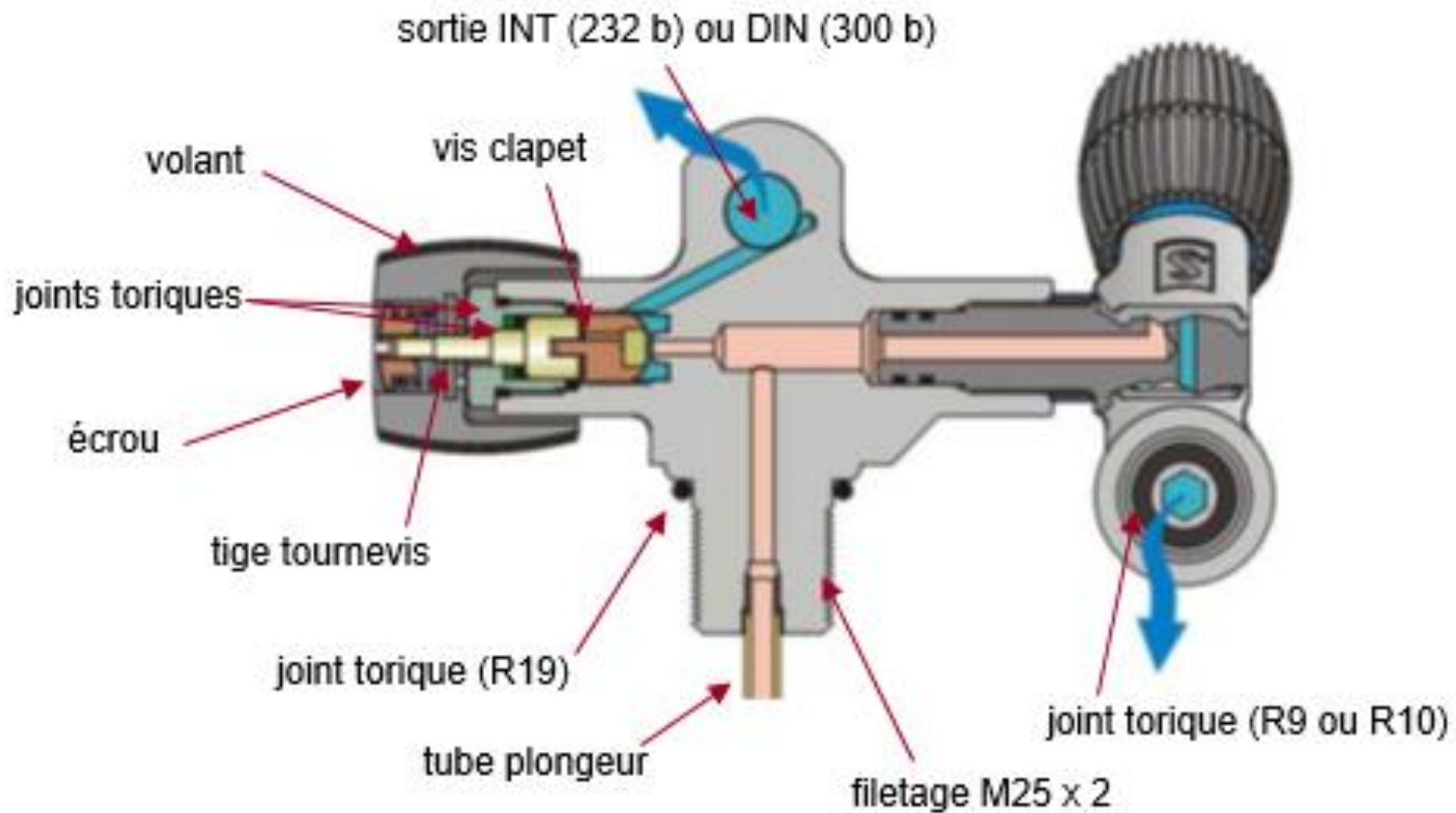
Réglementation des bouteilles

Inscriptions

- Nom du constructeur
- N° de fabrication
- Nature du gaz (air)
- Volume intérieur
- Pression de service (200bar, 230bar,...)
- Pression d'épreuve (1,5 x la pression de service)
- Date de la dernière épreuve
- Poinçon des mines (tête de cheval) ou marquage CE
- L'autocollant d'inspection visuelle (le cas échéant),
carte d'identité de la bouteille



Robinetterie de conservation



Les détenteurs

Notion de perte de charge



Pas de débit : $P_1 = P_2$ *fonctionnement statique*

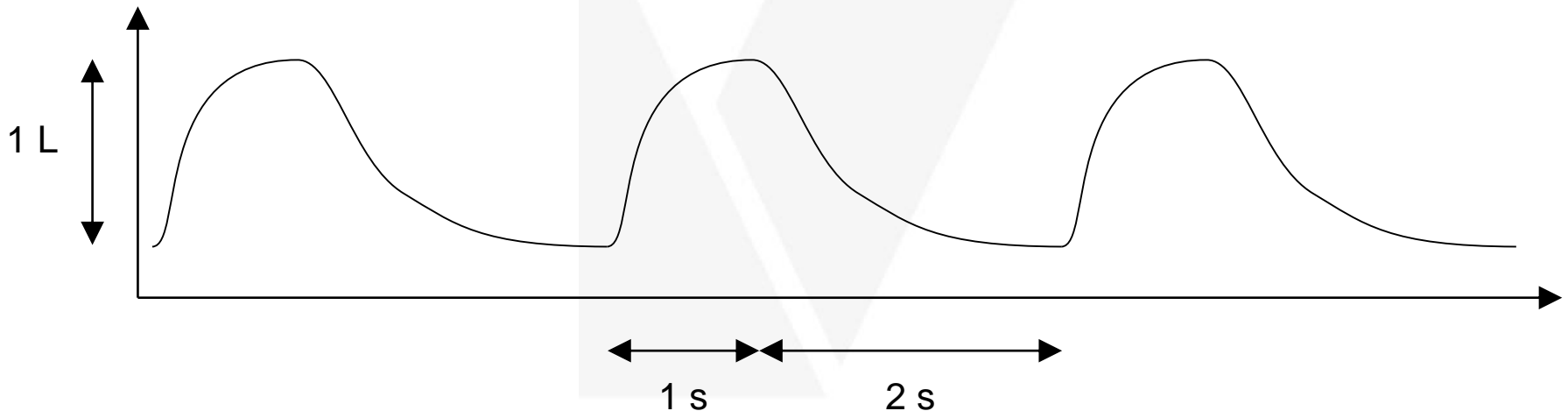


Débit de P_1 vers P_2 : $P_1 > P_2$ *fonctionnement dynamique*

- Le débit s'établit de la pression la plus élevée vers la pression la plus faible
- Tout débit engendre une chute de pression due aux frottements des molécules entre elles et contre la paroi
- La chute de pression est d'autant plus importante que le circuit oppose une résistance au débit → taille des tuyaux, encrassement,...

Les fonctions d'un détendeur

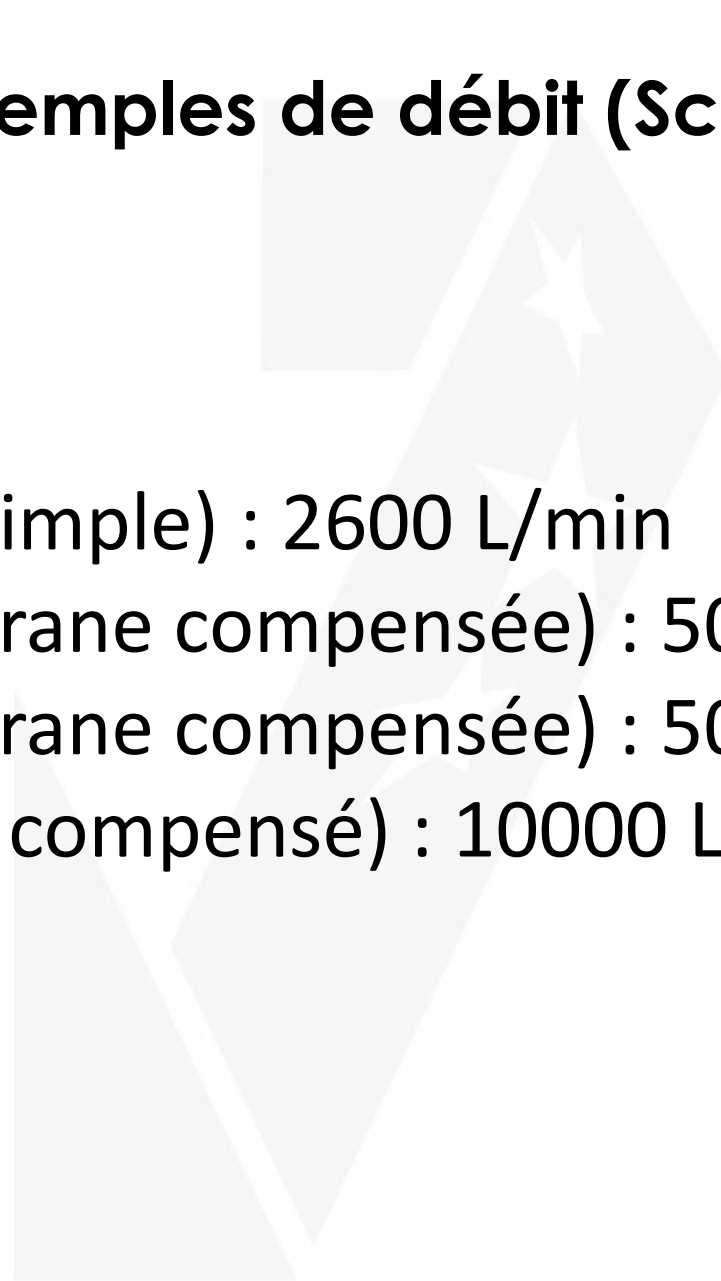
- Fonction statique : donner de l'air à la pression ambiante → Pression
- Fonction dynamique : donner de l'air à la demande → Débit
- 20 L/min = débit moyen
 - mais inspiration sur 1/3 et expiration sur 2/3
 - Débit instantané = 60 L/min (en surface, au calme !!!)



Quelques exemples de débit (Scubapro)

HP = 206 bar

- MK2 (piston simple) : 2600 L/min
- MK16 (membrane compensée) : 5000 L/min
- MK18 (membrane compensée) : 5000 L/min
- MK25 (piston compensé) : 10000 L/min



Caractéristiques d'un détendeur

- Débit maximum disponible
 - Section du clapet
 - Course du clapet
- Sensibilité (seuil inspiratoire)
- Travail ventilatoire
- \searrow MP à l'inspiration
- Réactivité (matériau)
- Stabilité

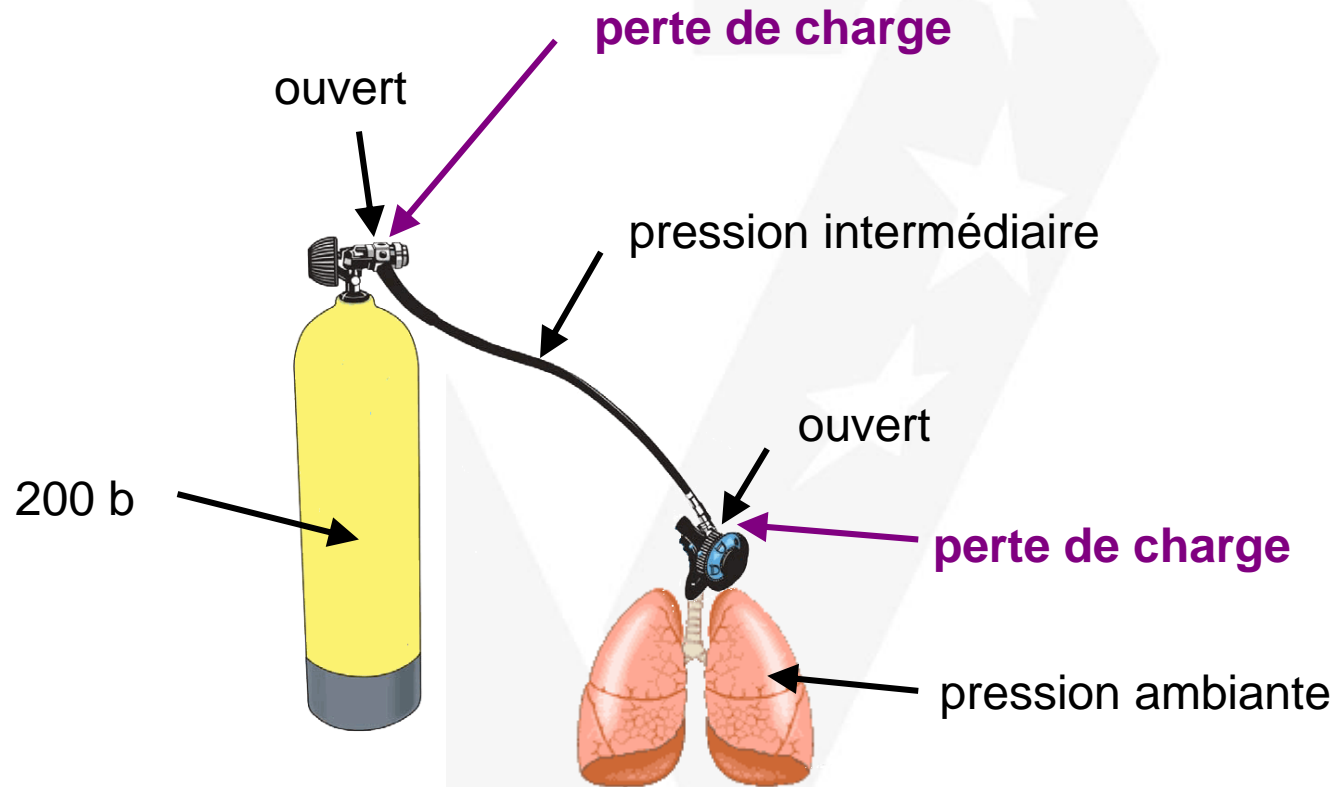
Principes de base

- Position au repos des clapets des 1^{er} et 2^{ème} étages ?

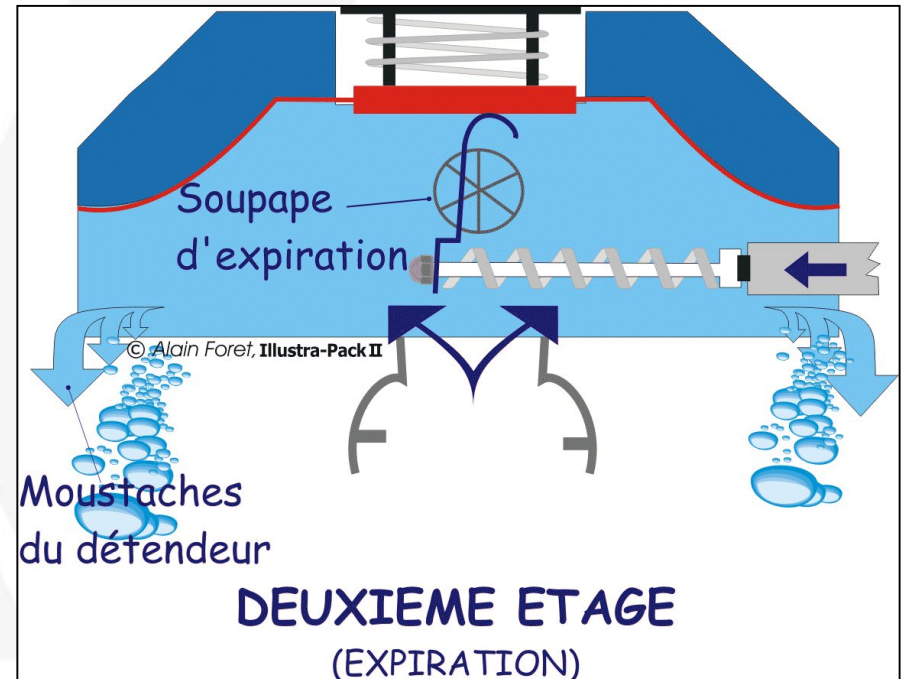
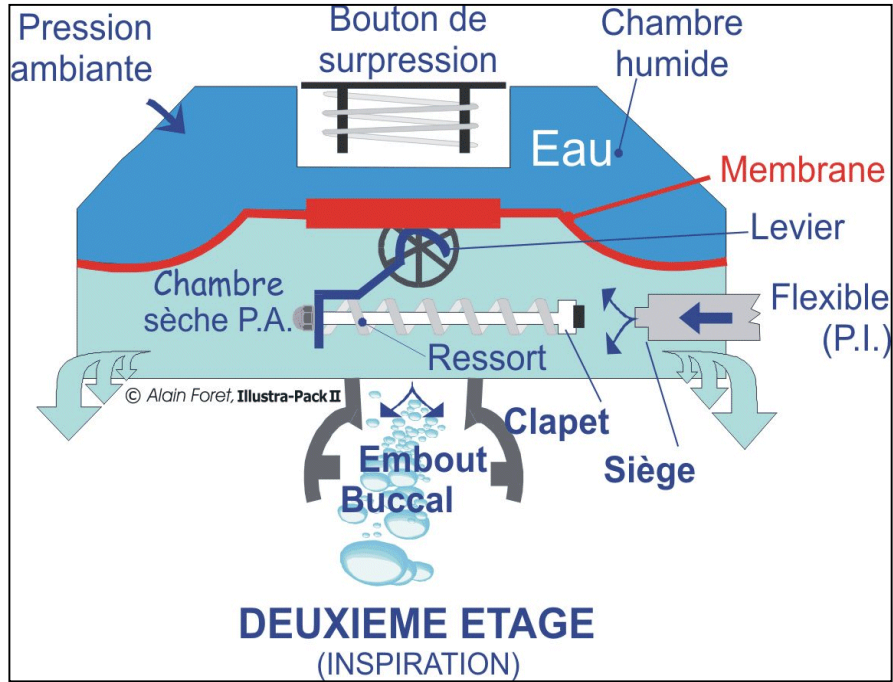
| 1 ^{er} étage | 2 ^{ème} étage | |
|-----------------------|------------------------|------------------------|
| F | F | Débit continu retardé |
| F | O | Débit continu retardé |
| O | F | Équilibre |
| O | O | Débit continu immédiat |

- Et quand on inspire ?

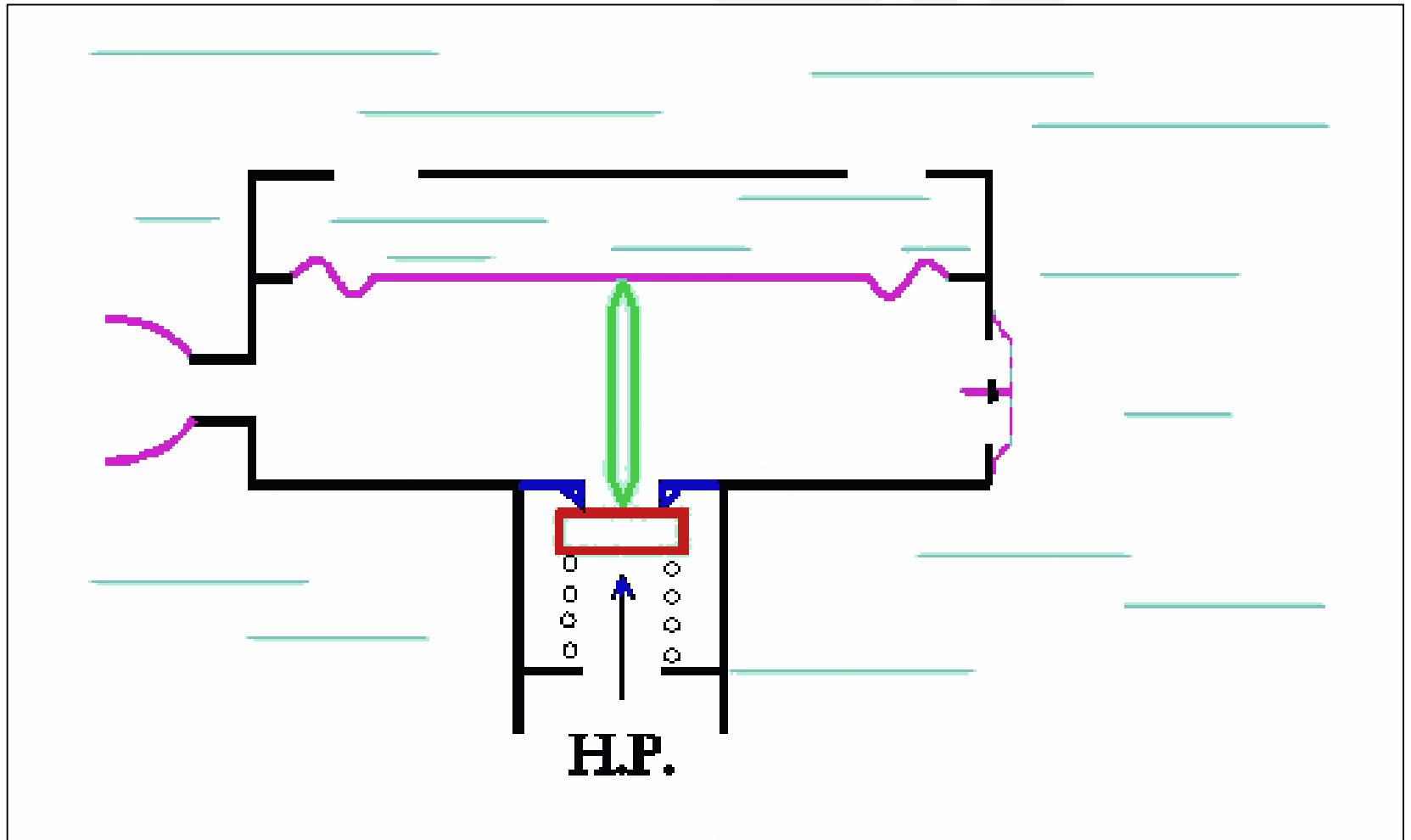
Inspiration



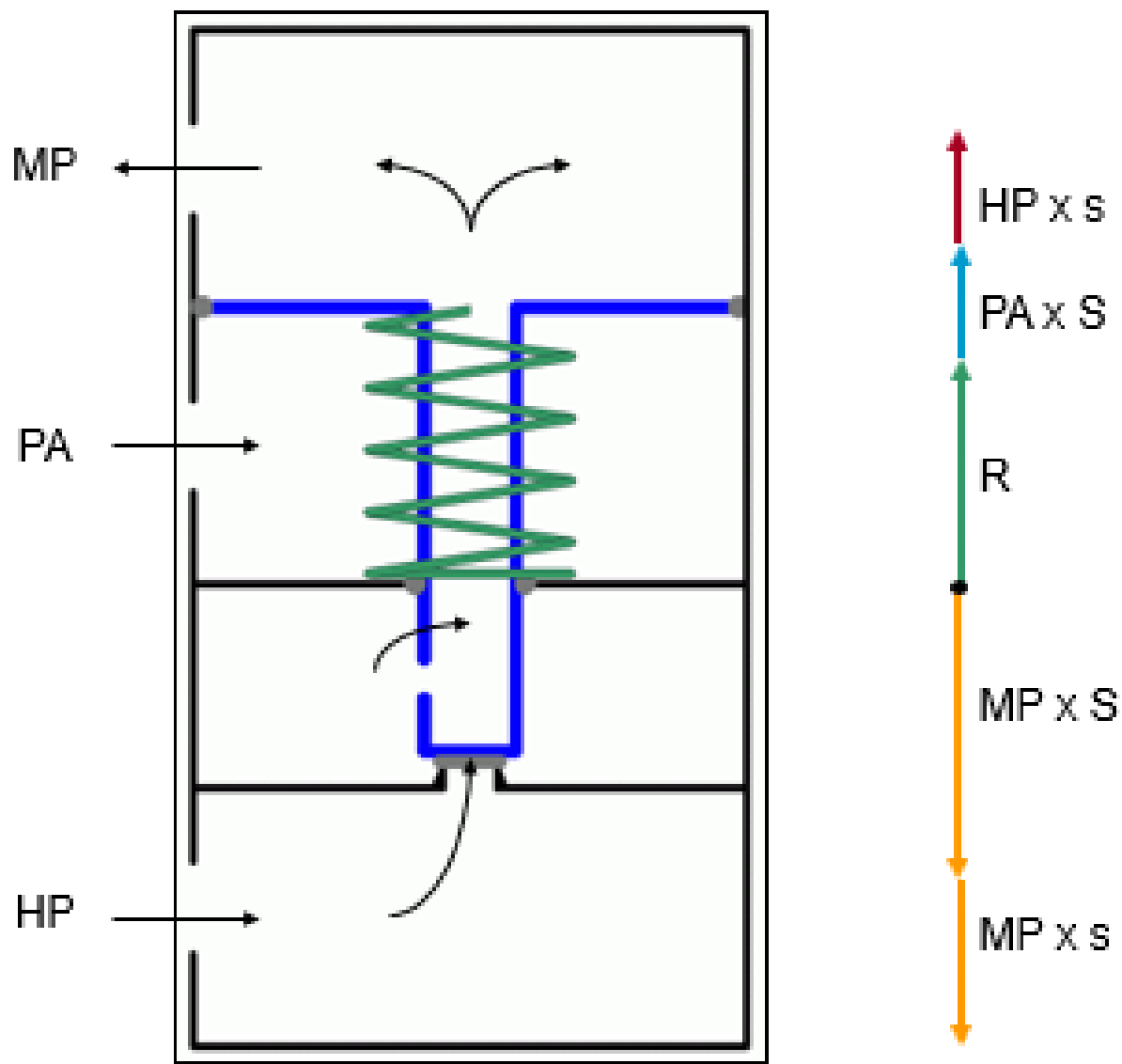
2ème étage



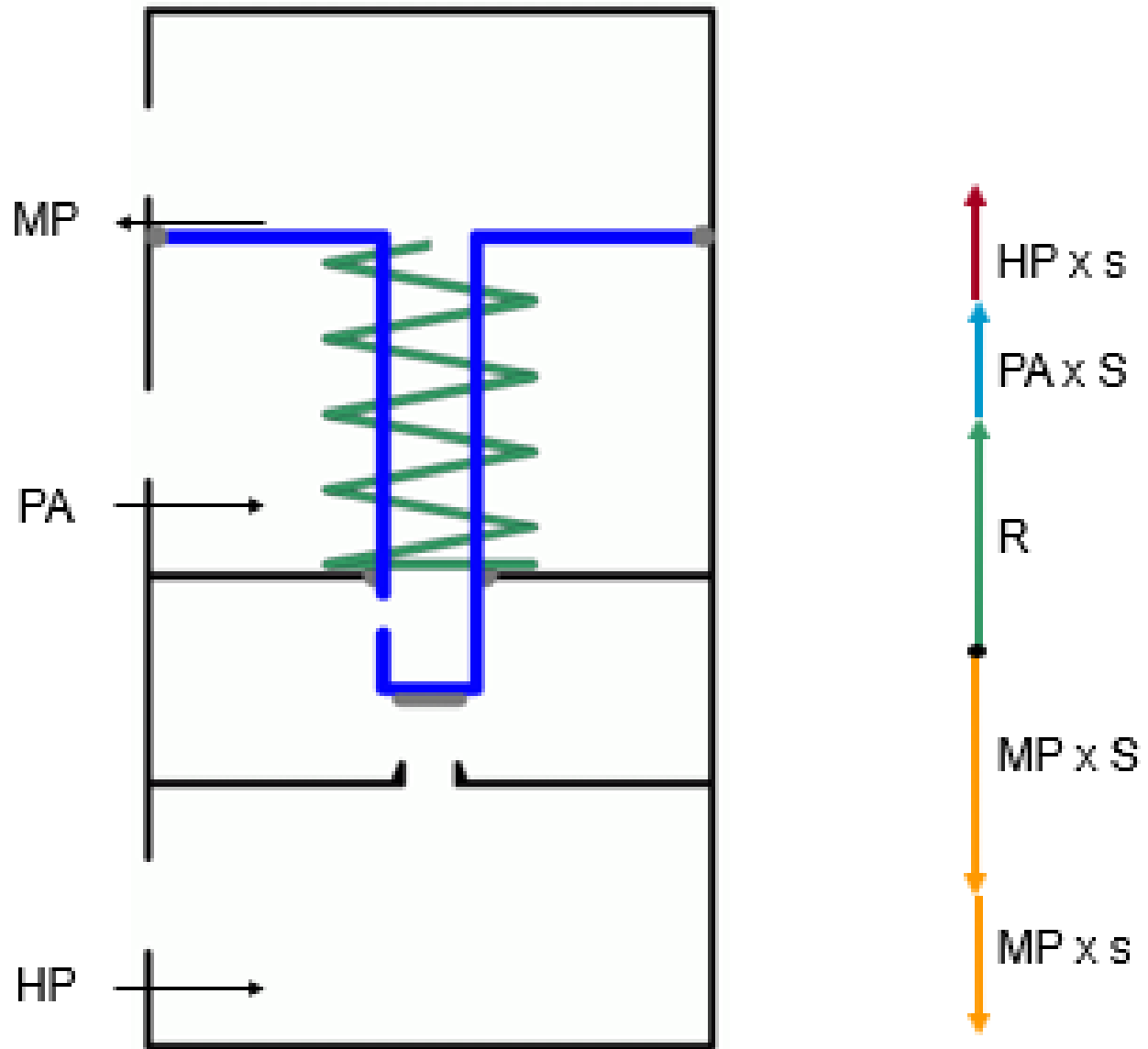
2^{ème} étage : animation



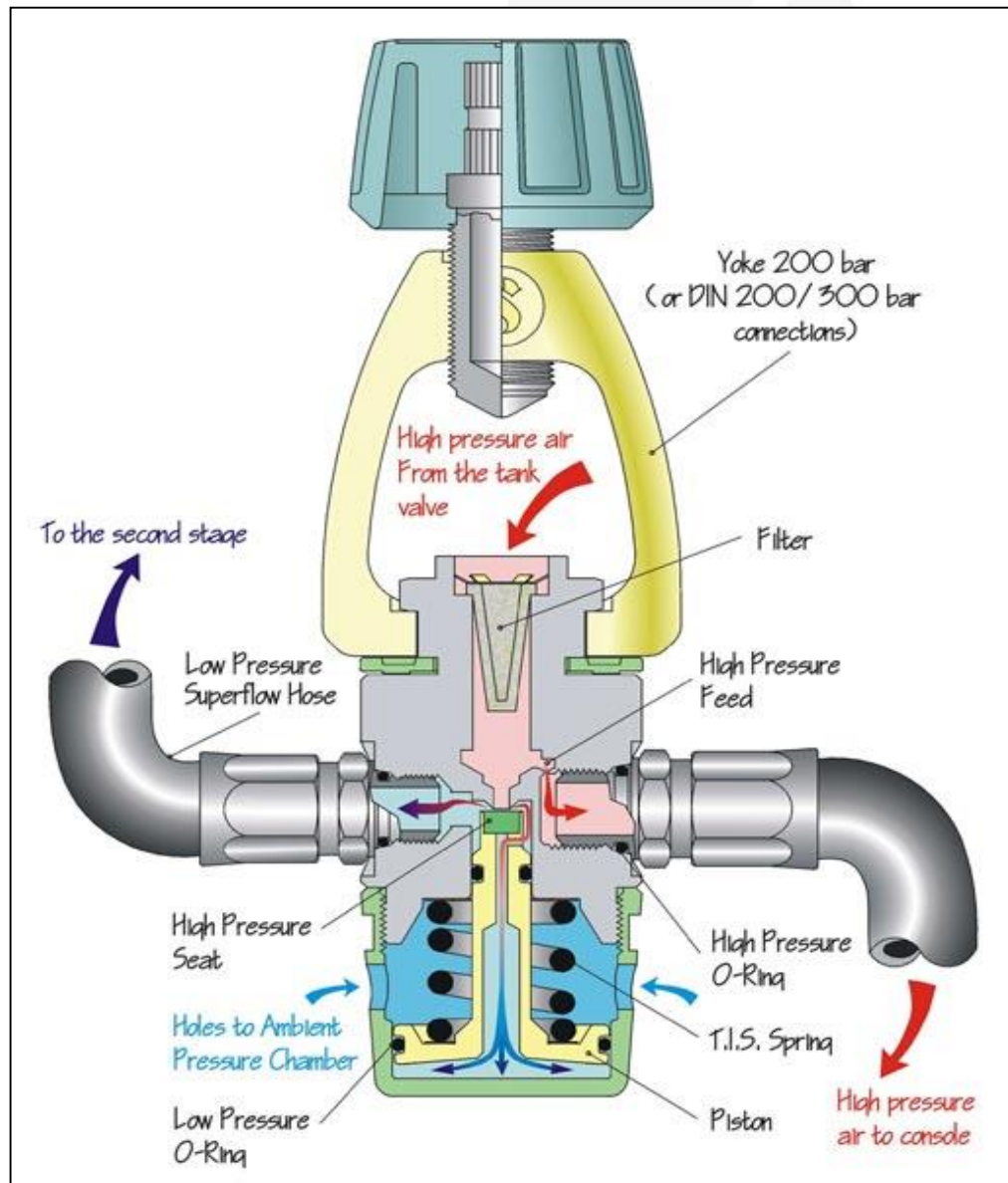
Détendeurs à piston simple



Détendeurs à piston simple : inspiration



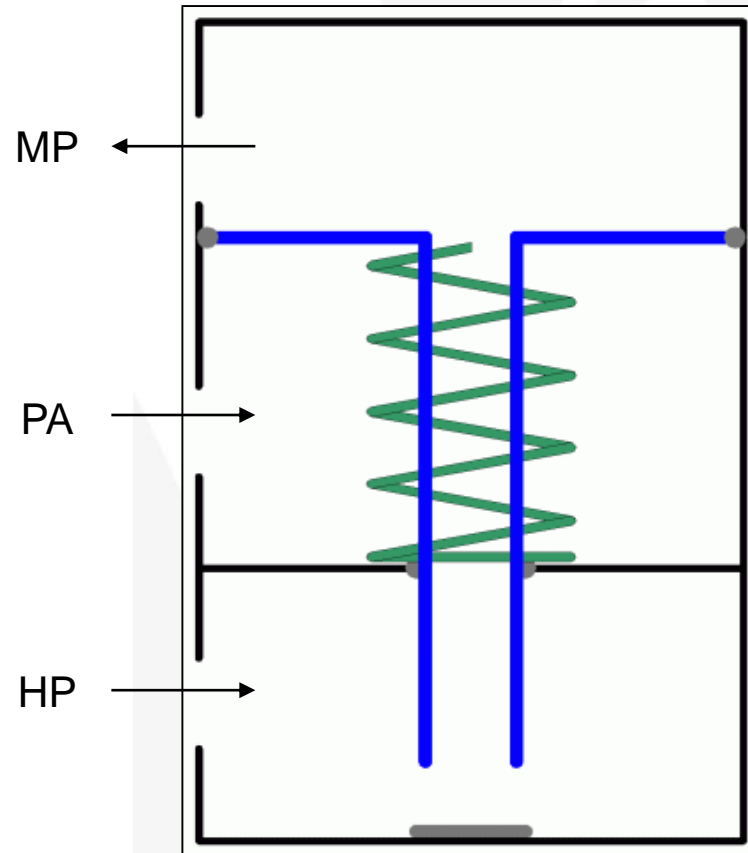
Exemple du détendeur Scubapro MK2



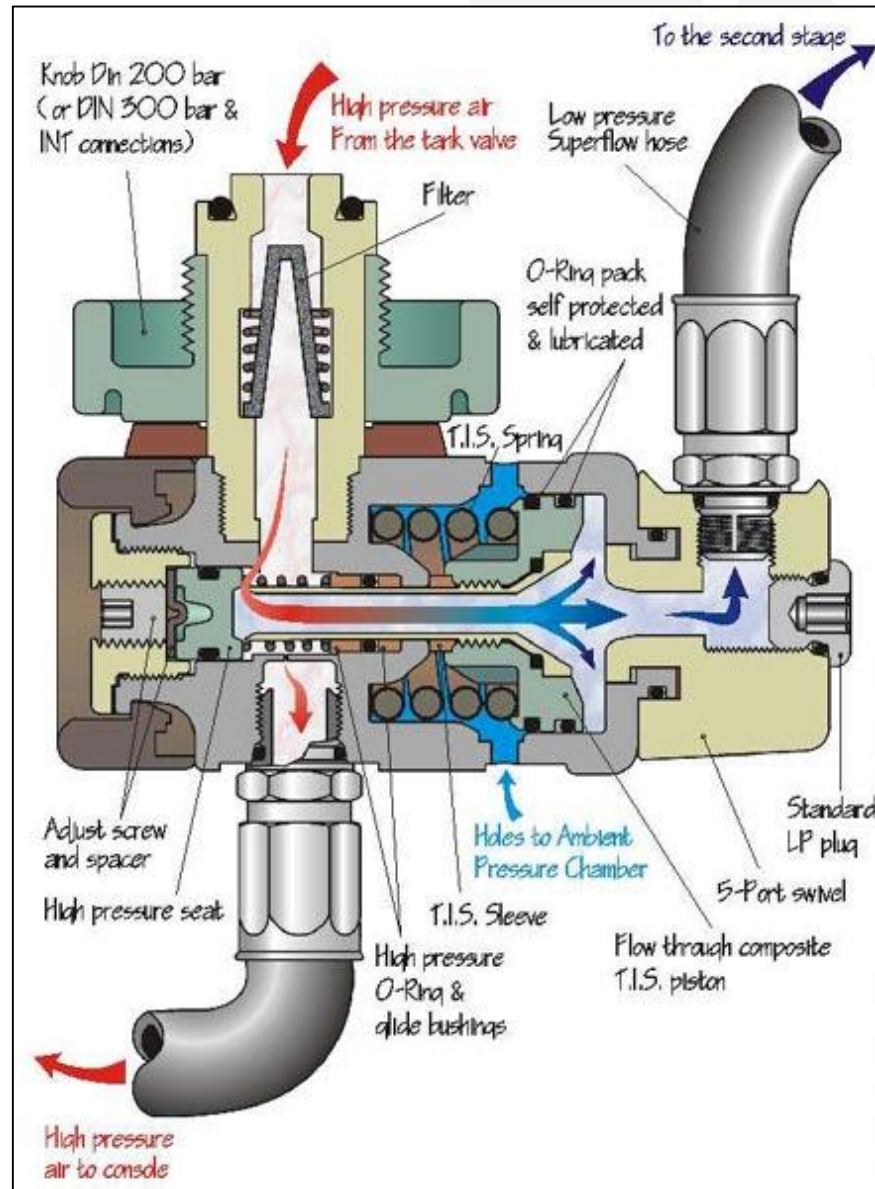
La compensation

- Effet de la HP sur la MP (piston / membrane) ?
- 2 voies pour réduire l'effet de la HP :
 - Réduire s (surface du clapet)
 - Compenser
- Compensation = neutralisation de la HP dans le bilan des forces
 \Rightarrow HP radiale
- Permet d'augmenter s donc le débit maxi disponible !

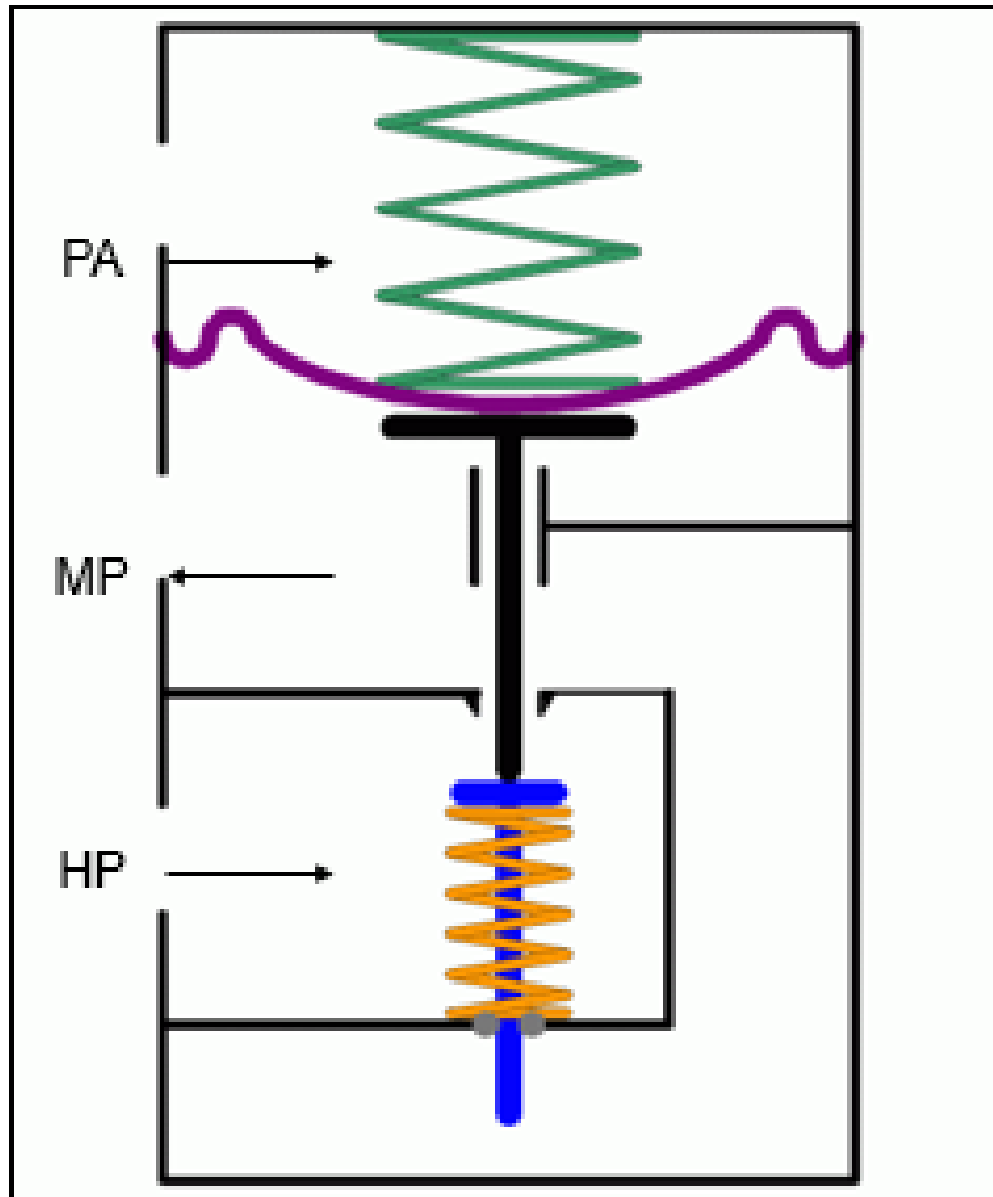
Détenteur à piston compensé



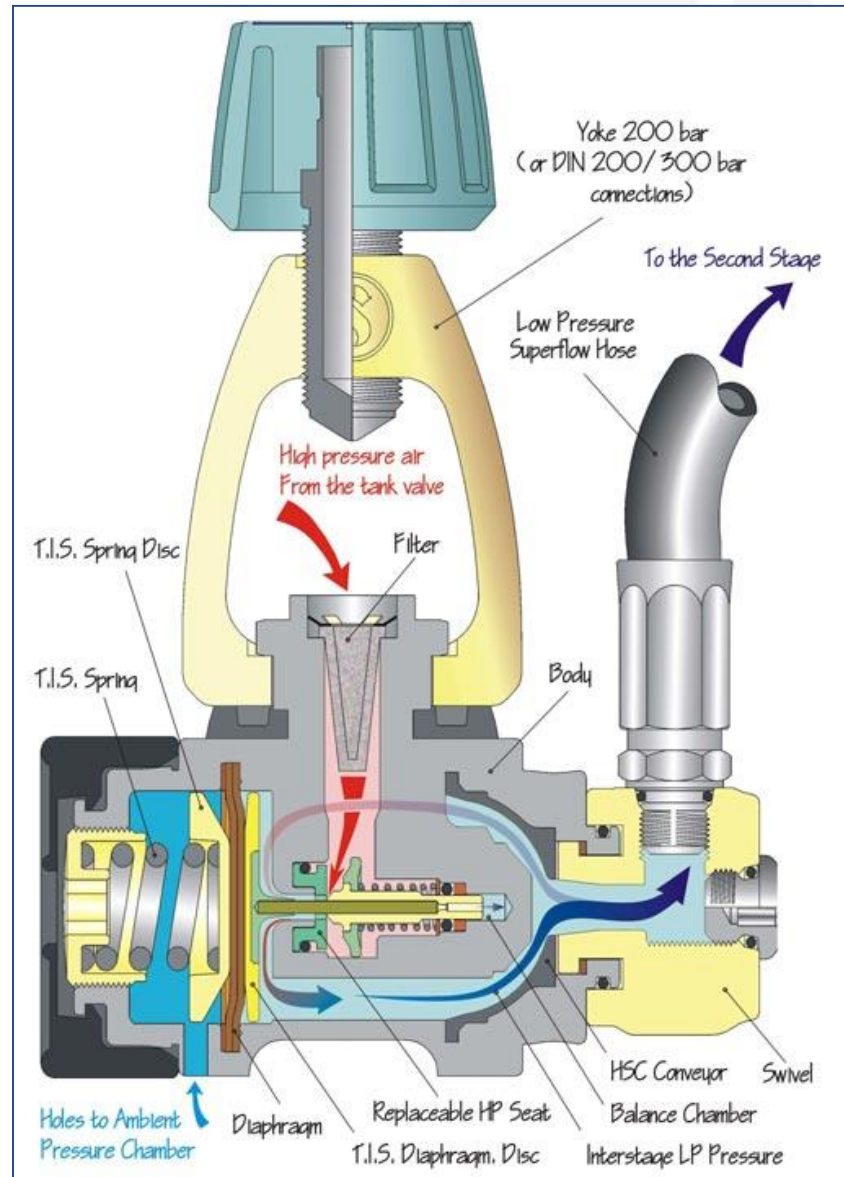
Exemple du détendeur Scubapro MK25



Détendeur à membrane compensée



Exemple du détendeur Scubapro MK18



Evolution de la MP avec la profondeur

- Équilibre des forces (détendeur compensé)

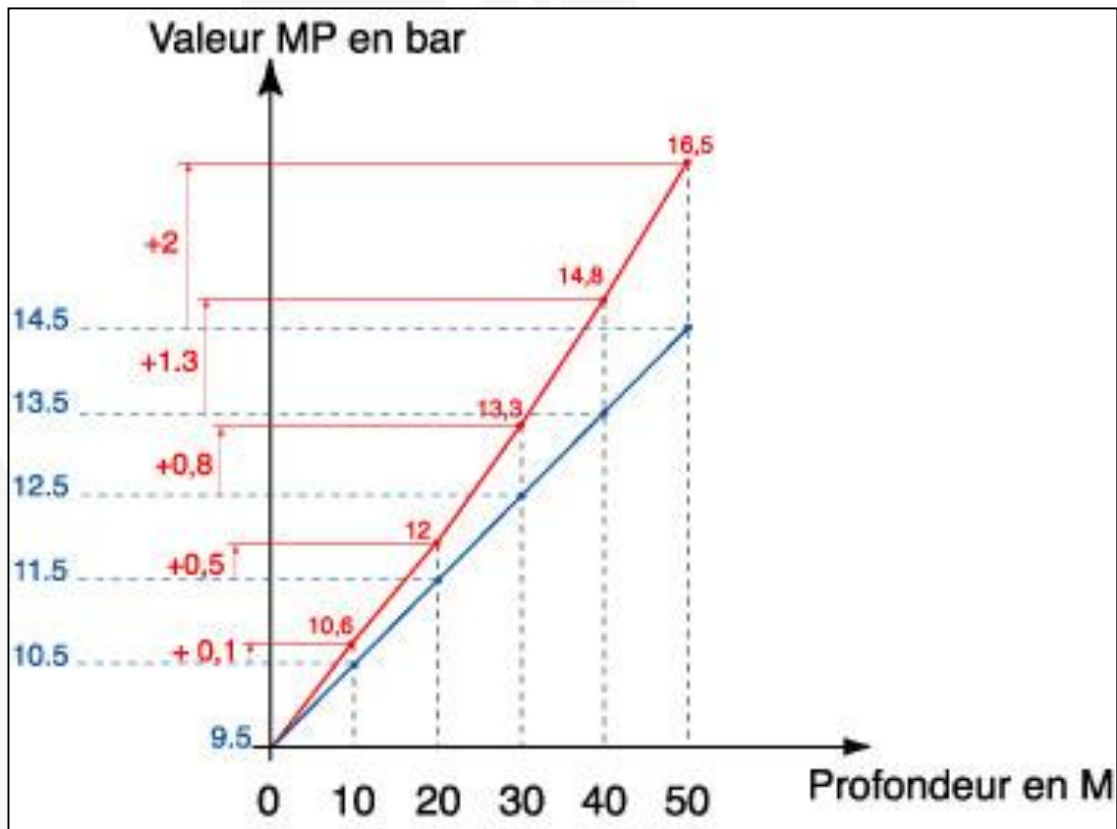
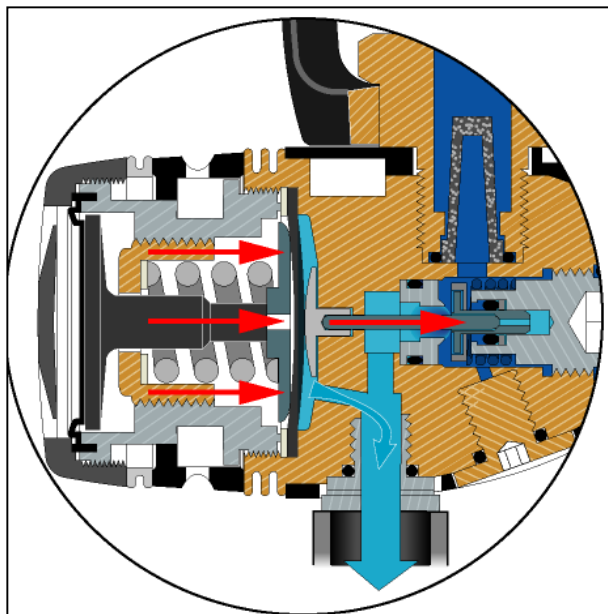


- $$MP \times S = PA \times S + R \Rightarrow MP = PA + R/S$$

$$\Rightarrow MP = PA + \text{Cte (fabrication, réglage)}$$

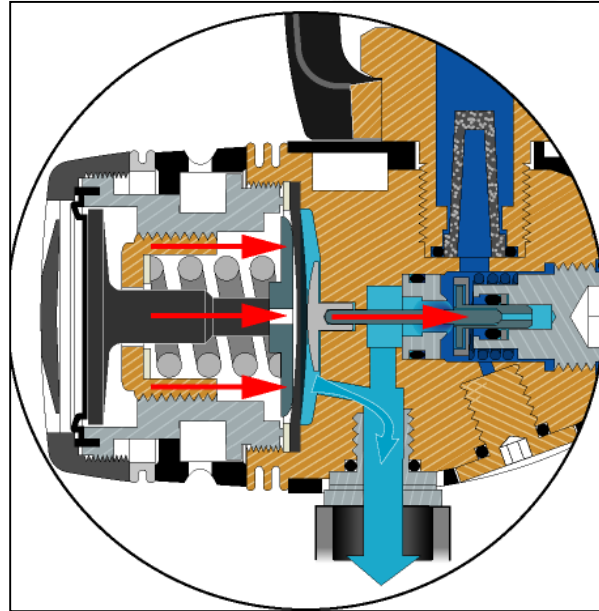
| | 0m | 10m | 20m | 30m | 40m |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PA | 1b | 2b | 3b | 4b | 5b |
| MP | 10b | 11b | 12b | 13b | 14b |

La surcompensation Aqualung (Legend)



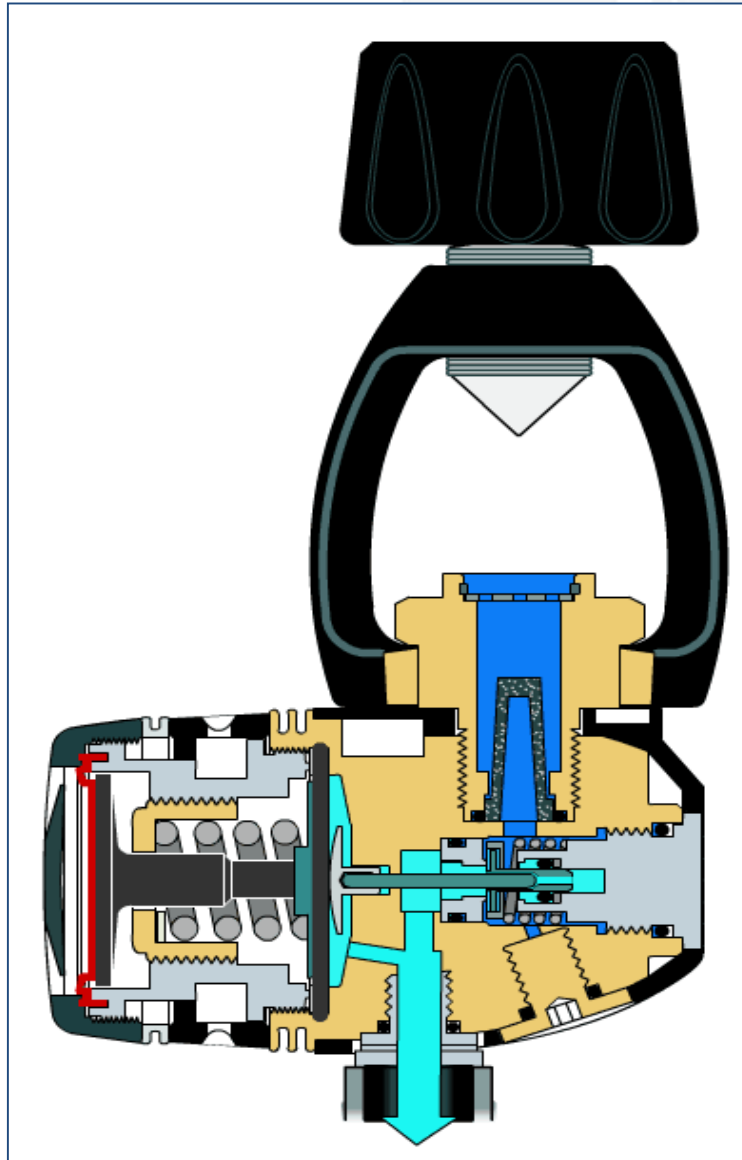
- La moyenne pression augmente plus vite que la pression hydrostatique
- En bleu : un détendeur normal
- En rouge : Le Legend

La surcompensation Aqualung (Legend)

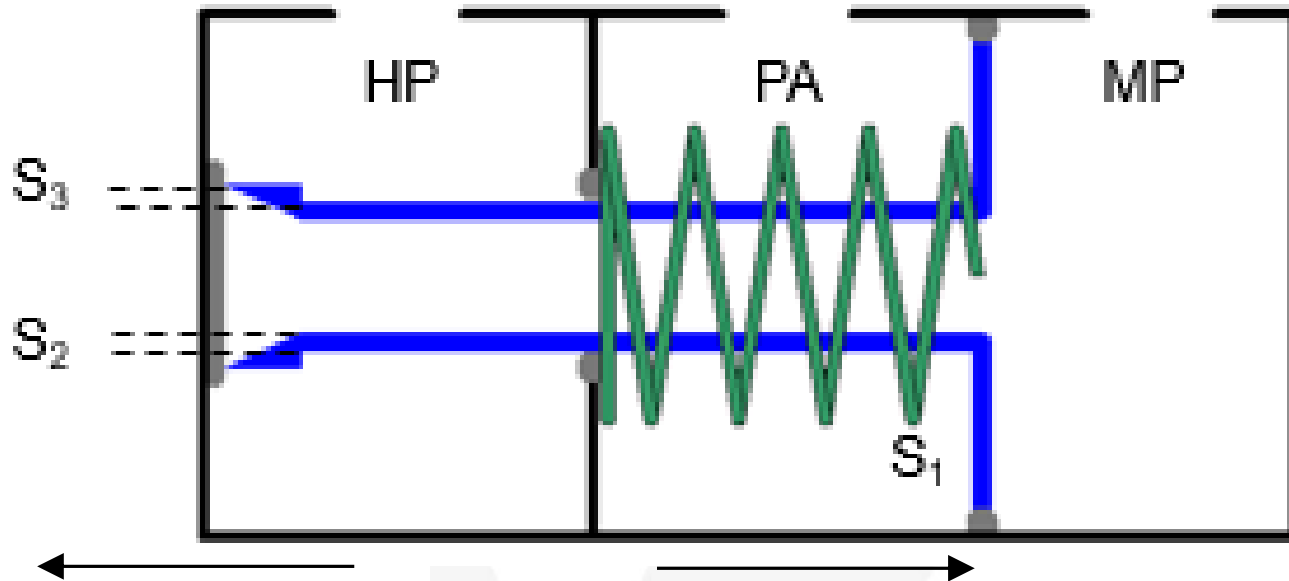


- Le piston de la chambre sèche transmet, à profondeur équivalente, une force supérieure qui fait augmenter la MP
- La MP augmente plus vite que la pression ambiante : système ADC (Asymmetric Dry Chamber)
- Profondeur ↗ → densité ↗ → MP – PA ↗ → effort inspiratoire stable

1^{er} étage surcompensé Legend



La surcompensation Scubapro (MK25)

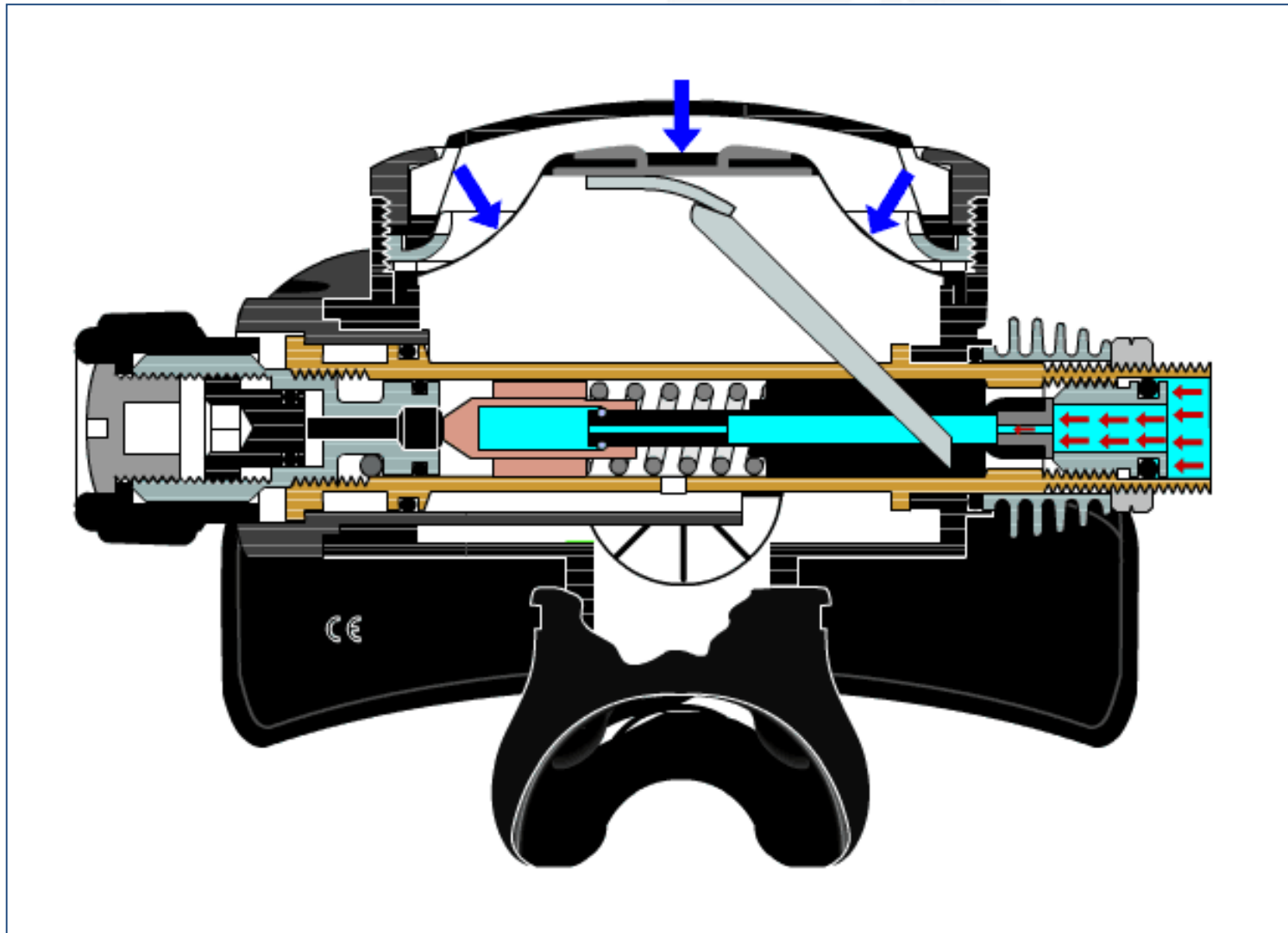


- $HP \times S_3 + MP \times (S_1 + S_2) = R + PA \times S_1 + MP \times (S_2 + S_3)$
- $k = S_1 / S_3$
- $MP = PA \times k / (k - 1) + K - HP / (k - 1)$
- Pour $k = 200 \rightarrow MP = PA \times 1,005 + K - HP \times 0,005 \rightarrow 1 \text{ b pour } 200 \text{ b}$
- ↗ MP en fin de plongée (HP ↘)
- En pratique, la queue de piston est évasée !

La compensation au 2^{ème} étage

- Augmente la sensibilité (clapet équilibré)
- Limite l'usure siège-clapet (clapet équilibré)
- Indispensable sur un 1^{er} étage surcompensé (MP ↗)

2^{ème} étage : animation



Incidents courants

- Débit continu immédiat
- Débit continu différé
- Interruption brutale du débit
- Débit insuffisant
- Fuites d'air au 1^{er} étage
- Eau dans le 2^{ème} étage
- Givrage : rapport de détente, débit
 - Favoriser l'échange MP – milieu : ailettes, position de la chambre MP
 - Chambre PA remplie de glycol

La normalisation des détendeurs

Objet normé : 1^{er} étage, tuyau MP, 2^{ème} étage

Conditions

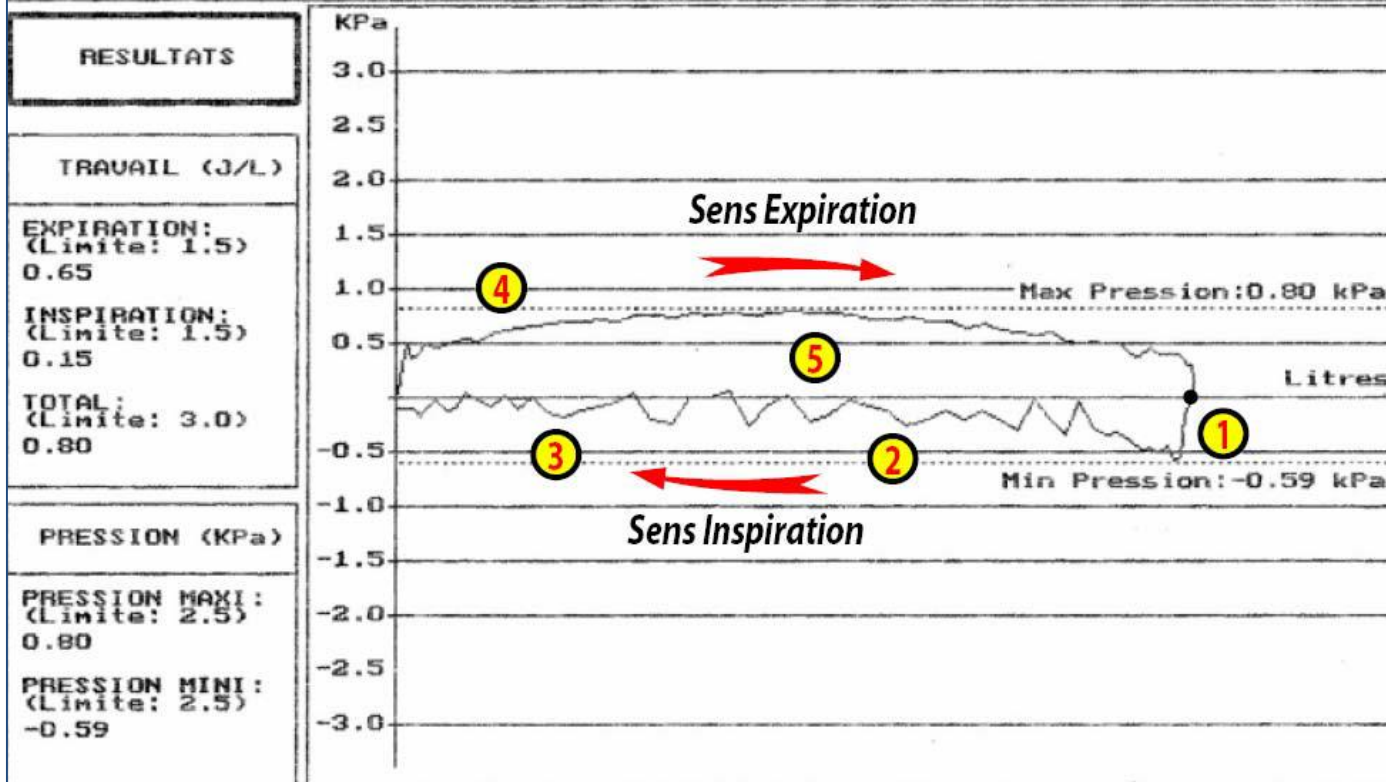
- 50 bar HP
- 50 m
- 25 cycles/min
- 2,5 L/cycle
- 10°C (4°C pour la mention eau froide)

Résultats

- Travail ventilatoire < 3,0 J/L
- Travail inspiratoire < 0,3 J/L
- Pression expi / inspi : +/- 25 mbar
- Pression inspiratoire positive : + 5 mbar maximum (effet venturi)


Test de normalisation

| | | | |
|--------------|--------------------|----------------|---------------|
| FICHER | : U90302 | TEMPERATURE | : 14.1 / 13.4 |
| DATE | : Mar 16 Mars 2004 | ALIMENTATION | : 190 B |
| DETENDEUR | : U200 proto 2 | RYTHME | : 25 c/mn |
| N° de serie | : 2em etage | VOLUME/MINUTE | : 62.5 l/mn |
| PROFONDEUR | : 50 METRES | VOLUME COURANT | : 2.5 litre |
| OBSERVATIONS | VENTURI+ SENS + | | |



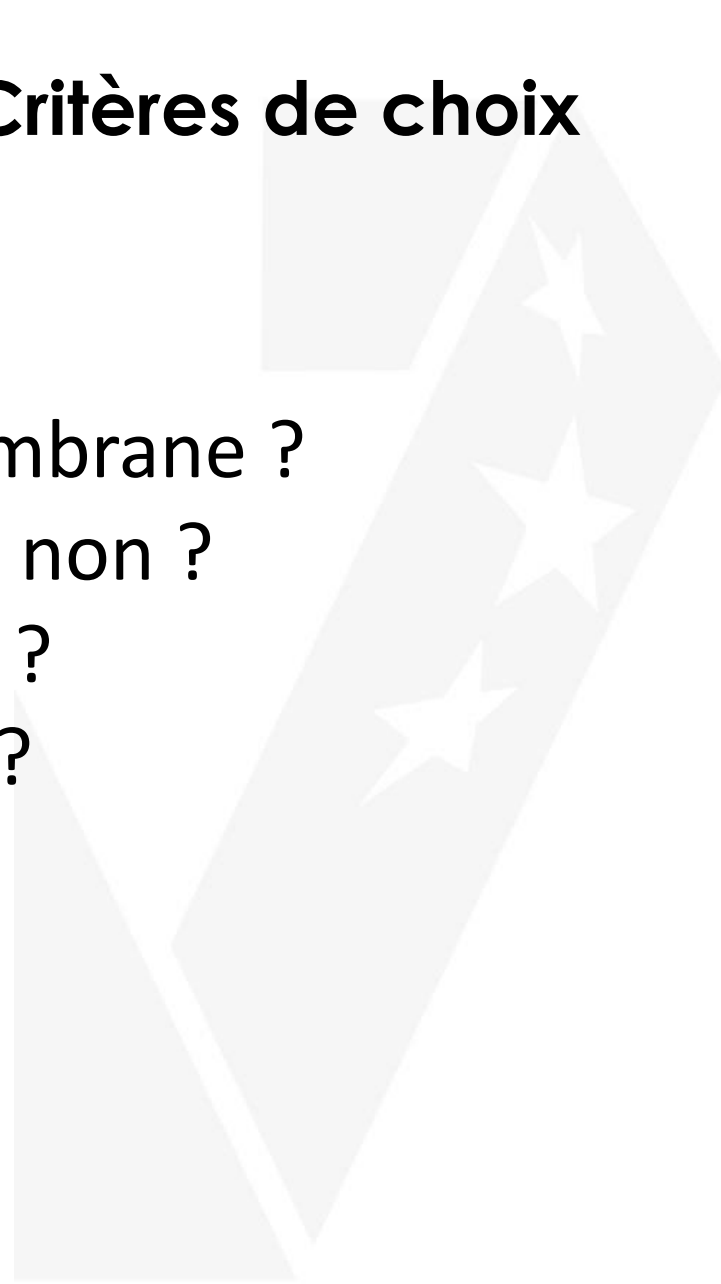
1. Point de décollage
2. Courbe d'expiration
3. Effet venturi
4. Courbe d'expiration
5. Travail ventilatoire

L'oxygène

- À l'ouverture du robinet : compression adiabatique dans la chambre HP
- ➔ forte augmentation de T°
- Carburant + comburant + énergie ➔ 
- Comburant : oxygène
- Énergie : compression adiabatique ➔ ouvrir doucement !
- Carburant :
 - Graisse : Triolub, Christo-lube
 - Joints : viton, nitrile
 - Poussières : filtration, éviter la contamination

Critères de choix

- Piston ou membrane ?
- Compensé ou non ?
- Surcompensé ?
- DIN ou étrier ?



Bibliographie

- Plongée plaisir niveau 4 – A. Foret, P. Torres – Gap (2002)
- <http://hlbmatos.free.fr/> – site perso H. Le Bris (IN)
- Effervescence – Ph. Martinod – Historic'one (1998)
- Sécurisez votre plongée JJ.Grenaud – M.Coulange Ellieps (2008)



ENTENTE-ECASC
ETABLISSEMENT PUBLIC
www.valabre.com

