



**ECOLE D'APPLICATION DE  
SECURITE CIVILE**

Version 2020



# **Le matériel de plongée Chaine de l'air (Blocs, détendeurs, compresseurs)**

**Plongée**



# Plan du cours

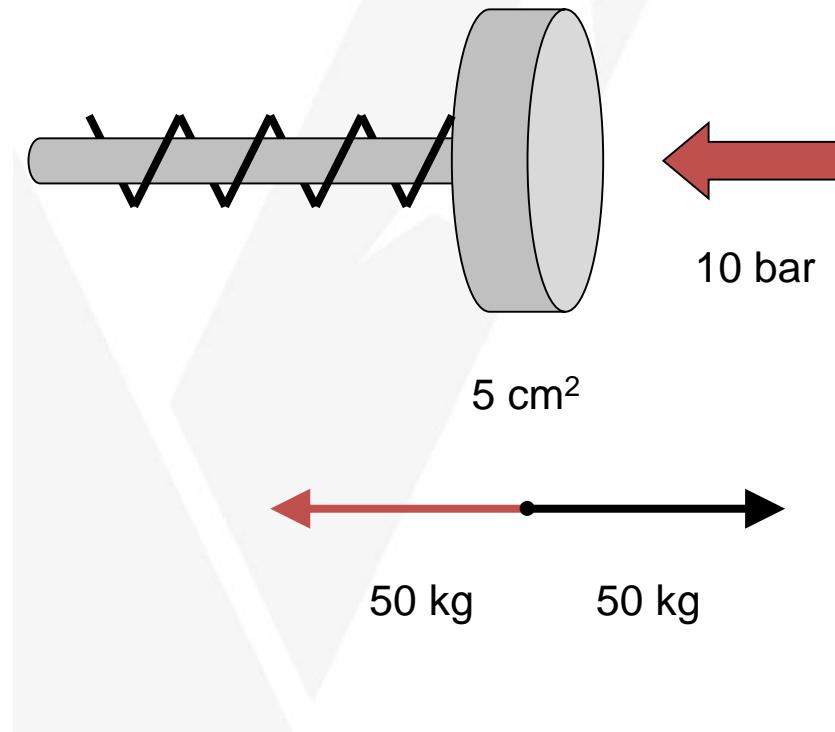
- Généralités
  - Rappels de physique : force, pression
  - Étanchéité
- Le compresseur
- Le gonflage
- Le stockage
- La mesure
- Les détendeurs



# Rappels de physique

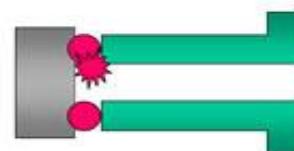
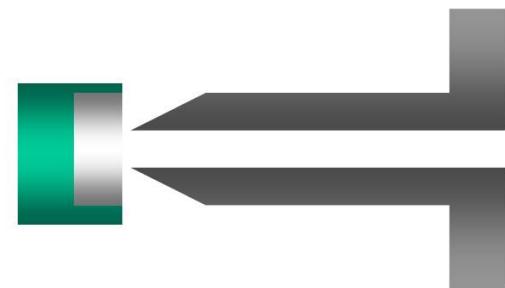
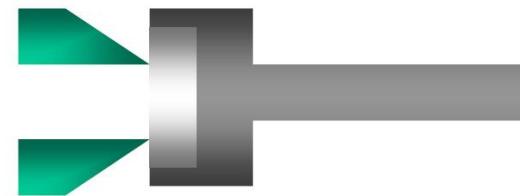
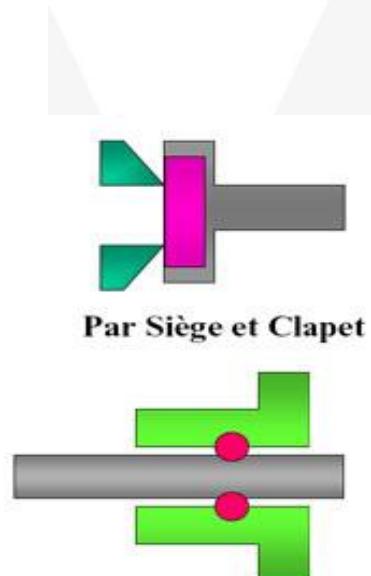
$$P = F / S \Leftrightarrow F = P \times S$$

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

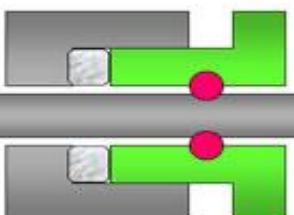


# Etanchéité

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

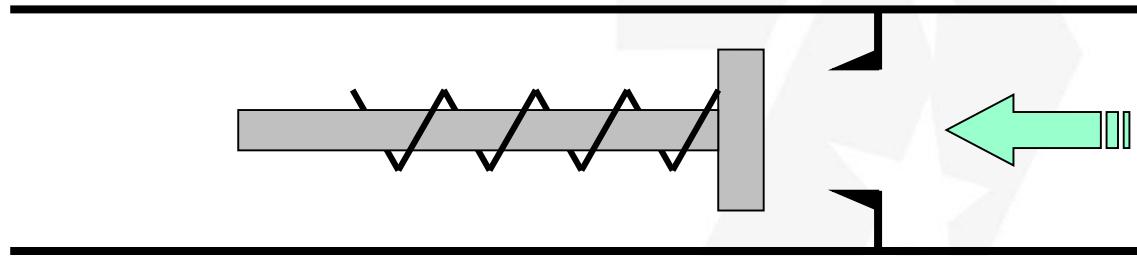


**Par Joint Extrudeur**

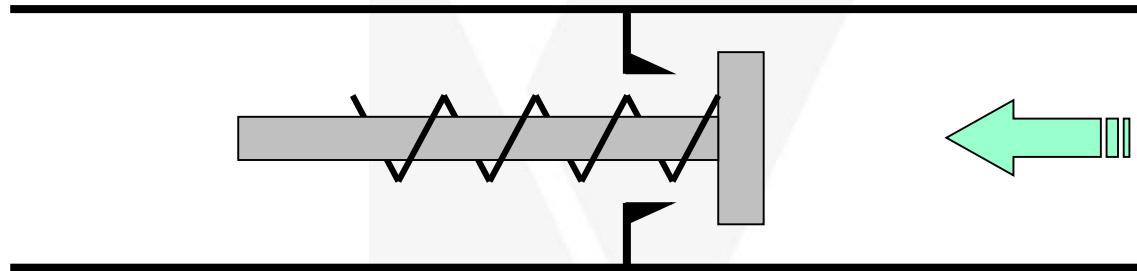


**Par Joint Plat et Joint Torique**

# Clapets amont / aval



clapet aval : 2<sup>ème</sup> étage, purge rapide gilet, soupage d'expiration

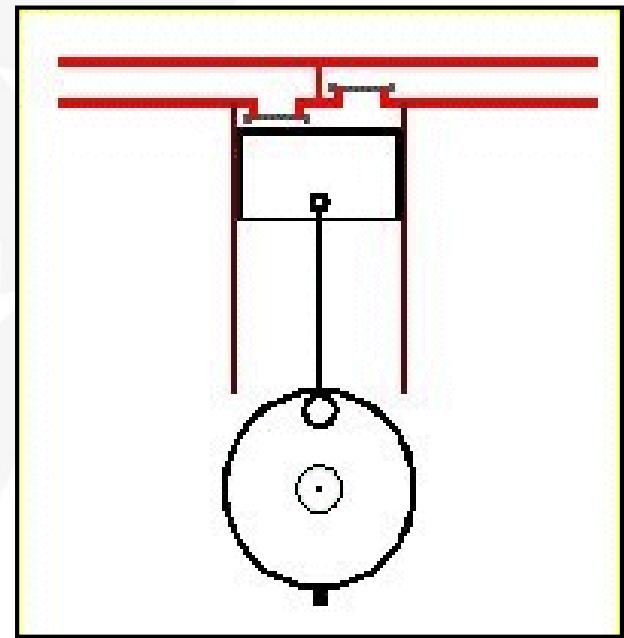
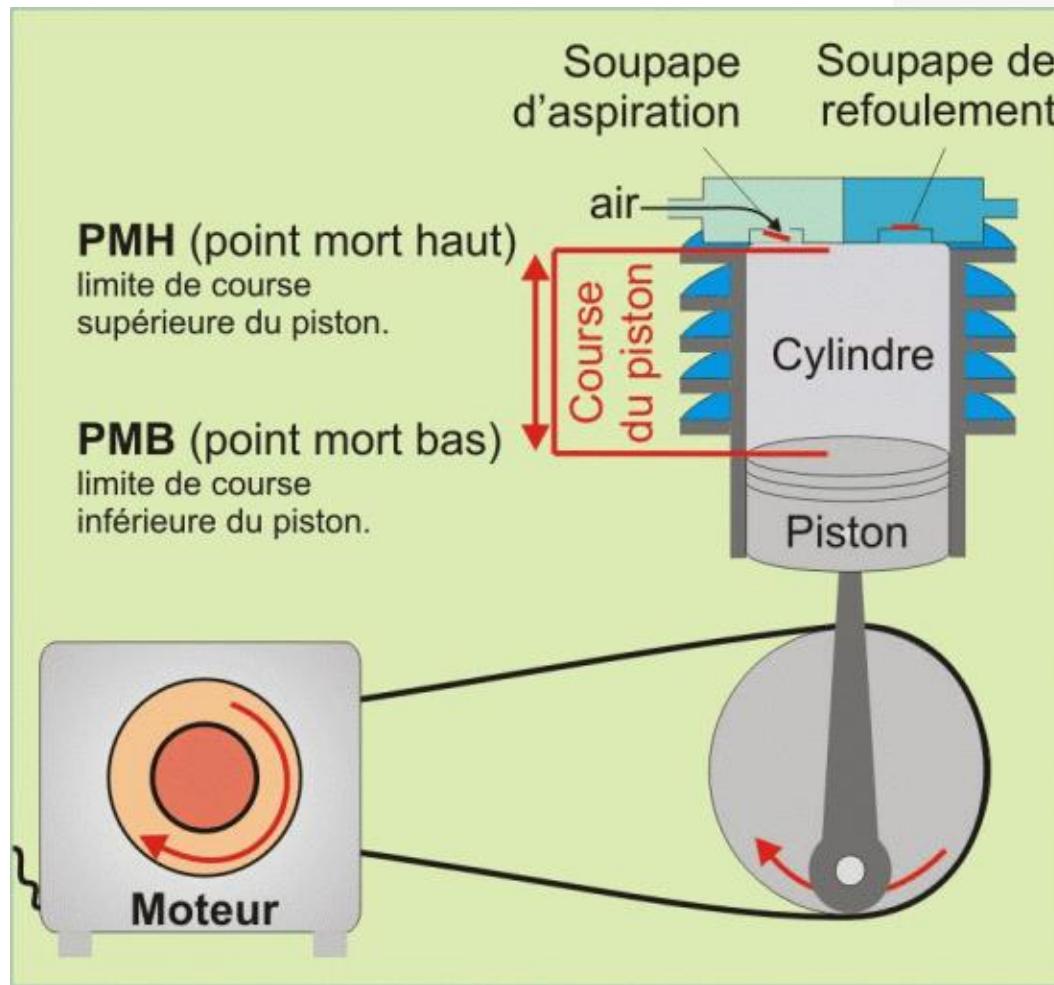


clapet amont : direct-system, inflater

# Le compresseur



# Cylindre de compresseur

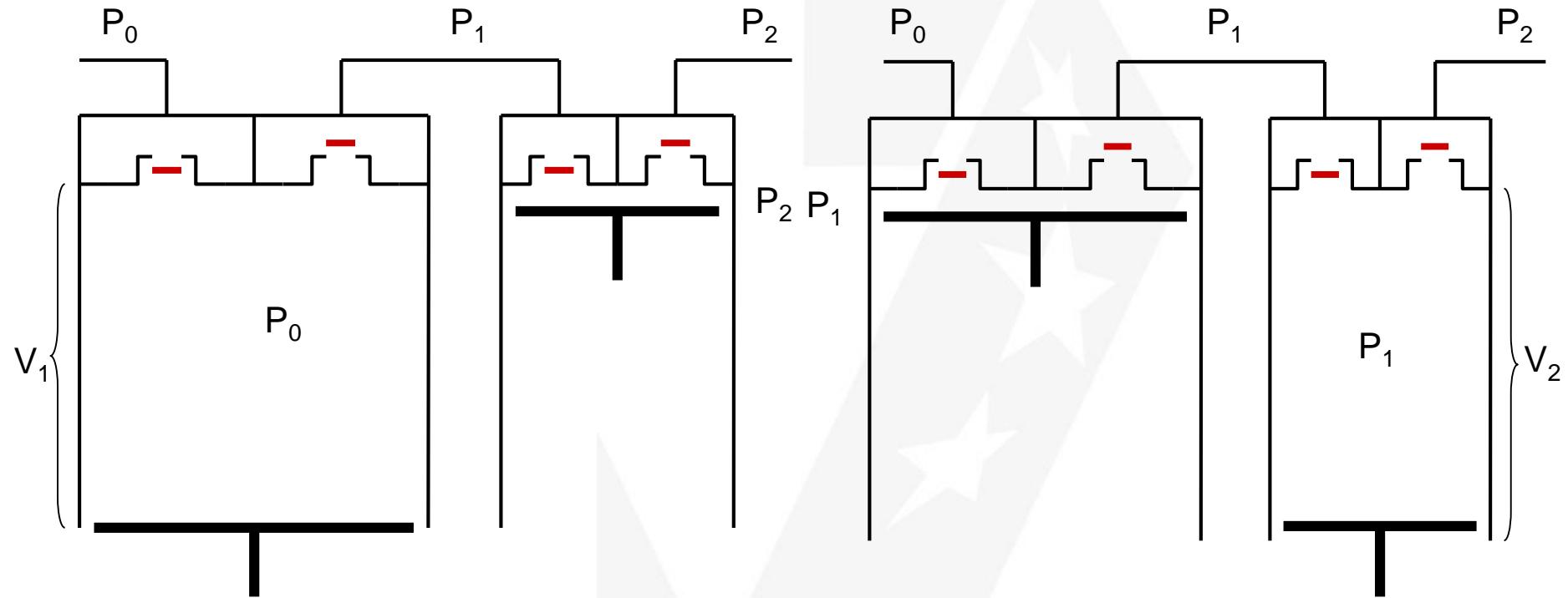


# Contraintes liées à la compression

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



# La compression



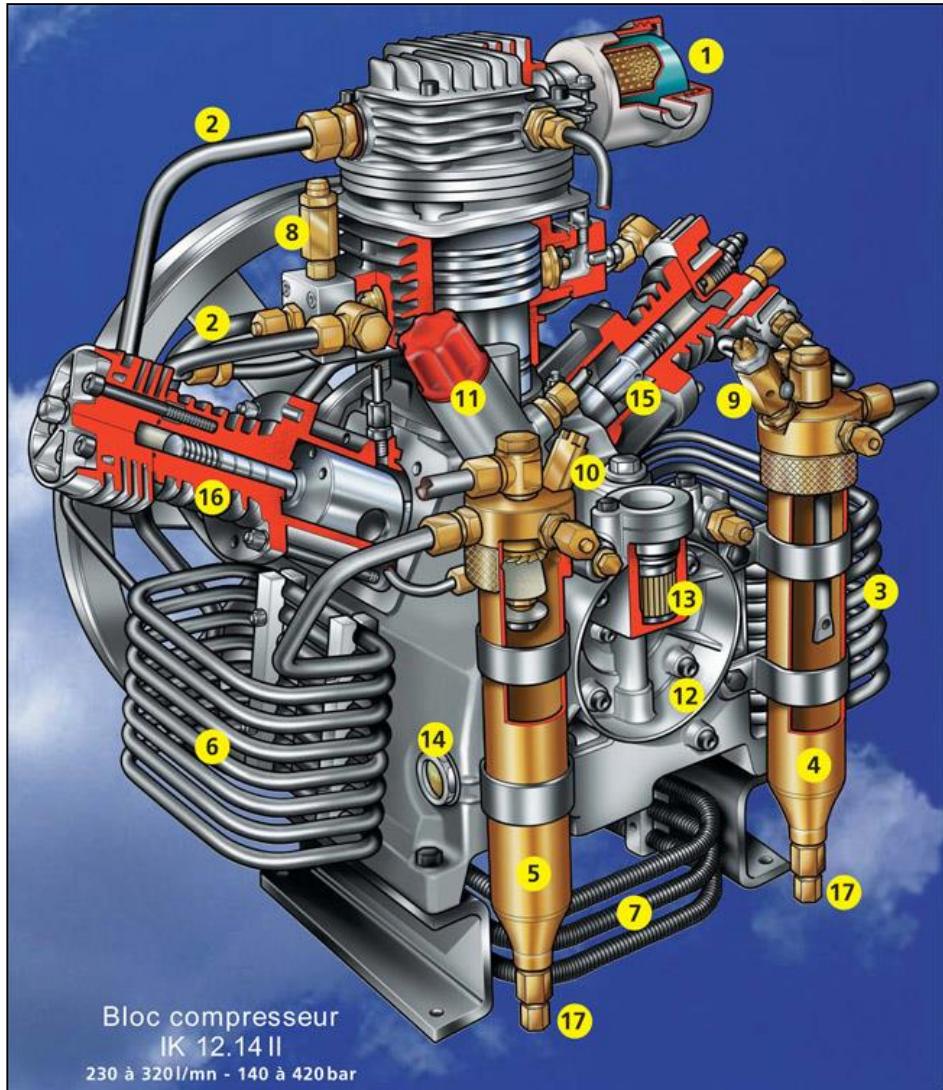
$$P_0 \times V_1 + P_2 \times 0 = P_1 \times 0 + P_1 \times V_2$$

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

$$P_1 / P_0 = V_1 / V_2$$

= 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

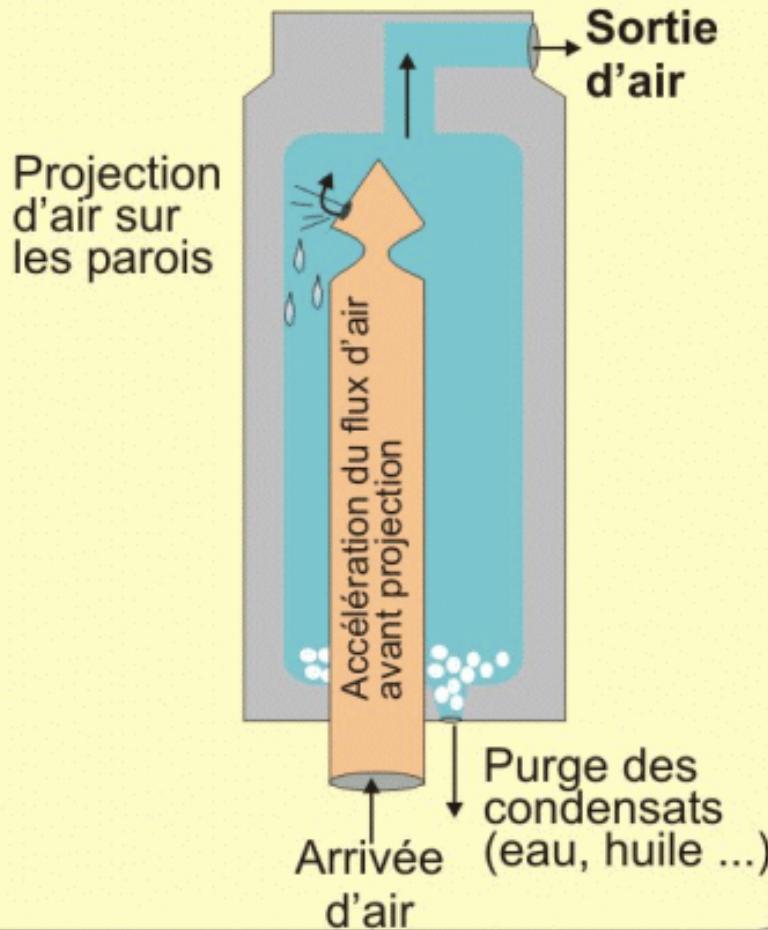
# Pourquoi éliminer l'eau ?

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



# Principe d'un décanteur

## SEPARATEUR (ou 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

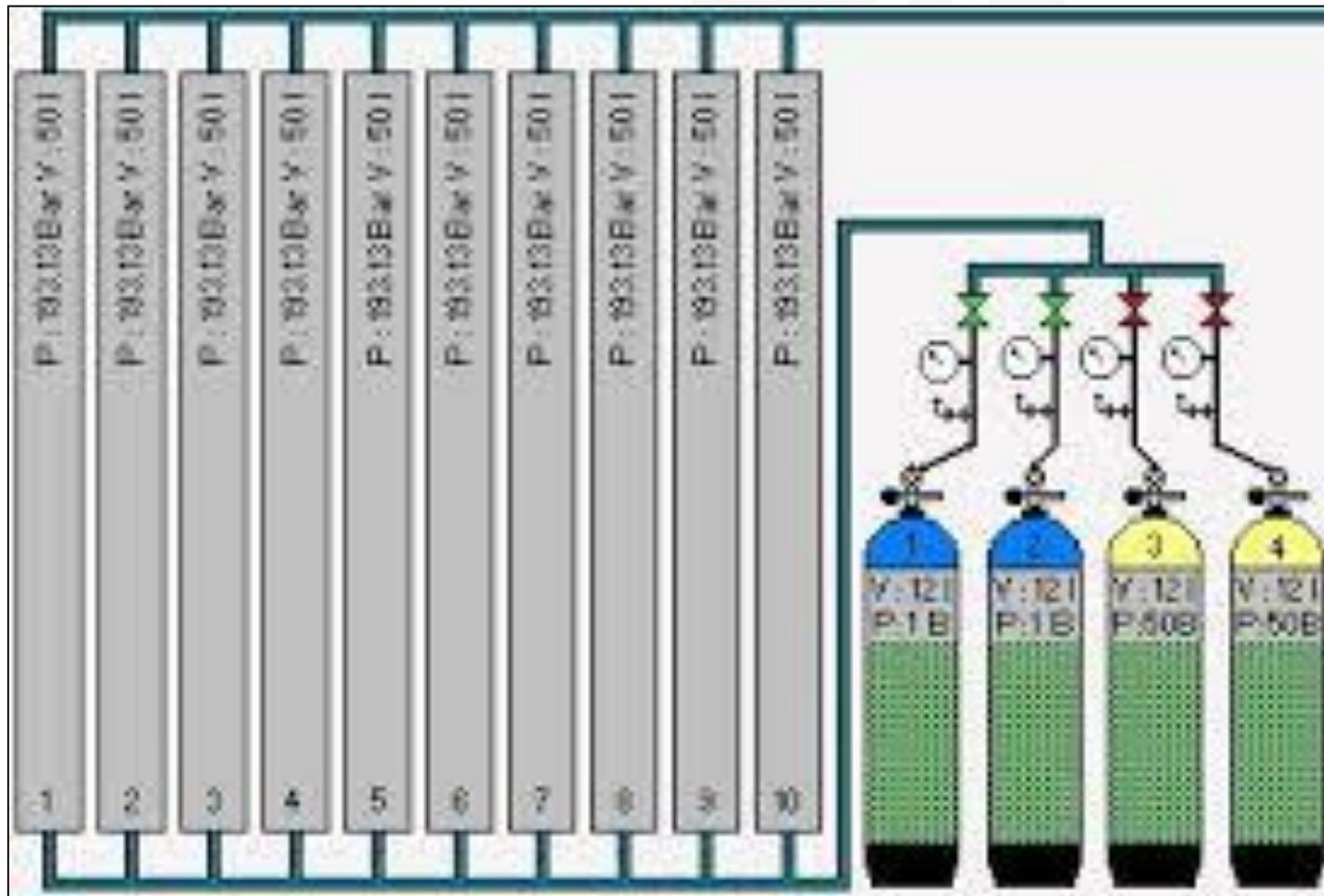
(arrêté du 15/3/2000), Arrêté du 31 mars 2015 portant habilitation d'un organe d'inspection des utilisateurs pour l'application du décret n° 99-1046 du 13 décembre 1999 modifié relatif aux équipements sous pression (CEIDRE)

- 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

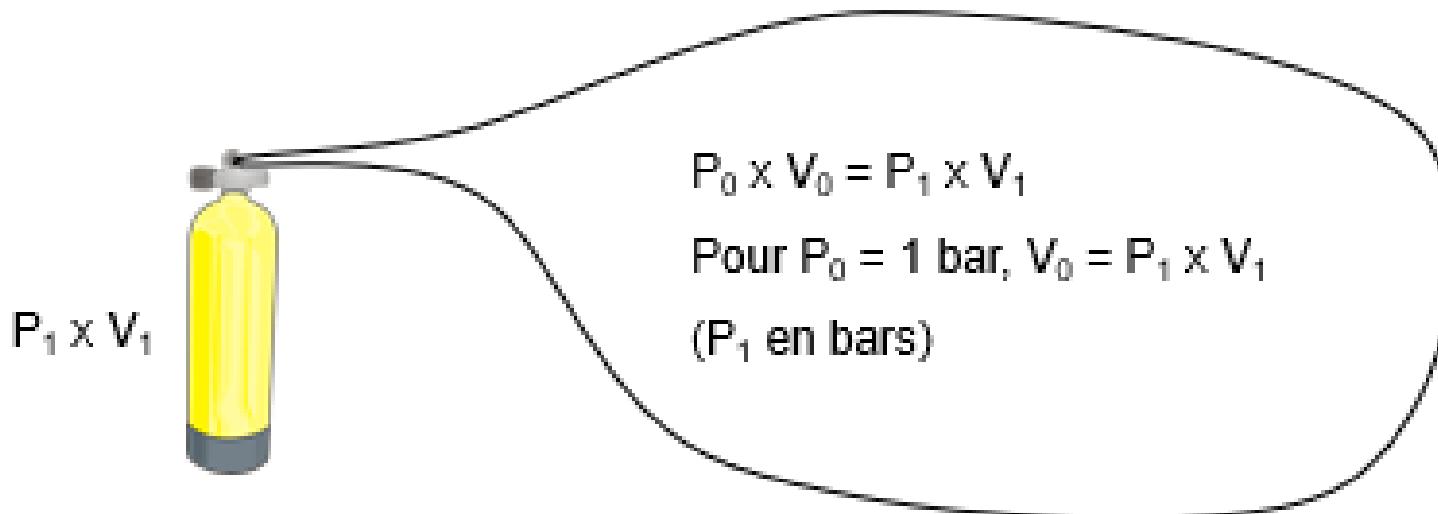
- Affichage :
  - Liste des personnes habilitées (Exploitant)
  - Consignes d'utilisation du compresseur (fabricant)
  - Consignes de chargement (exploitant)
  - Consignes d'entretien (installateur + exploitant)
  - Consignes particulières (exploitant)
- Documents à tenir à disposition :
  - Manuel du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

# Le gonflage



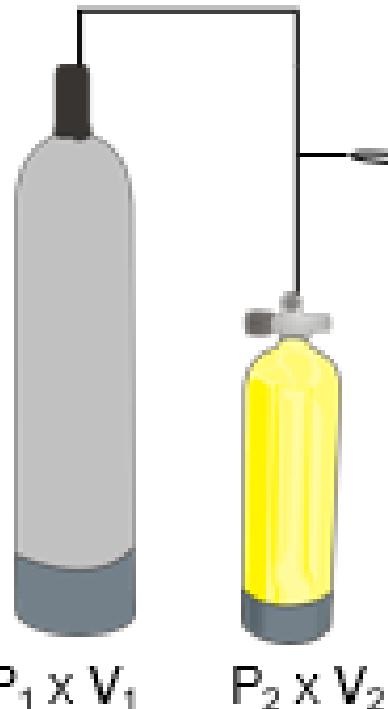
# Compressibilité : Boyle - Mariotte

- $P \times V = C^{\text{te}}$
- Valide si  $P < 250$  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  $P_0 = 1$  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

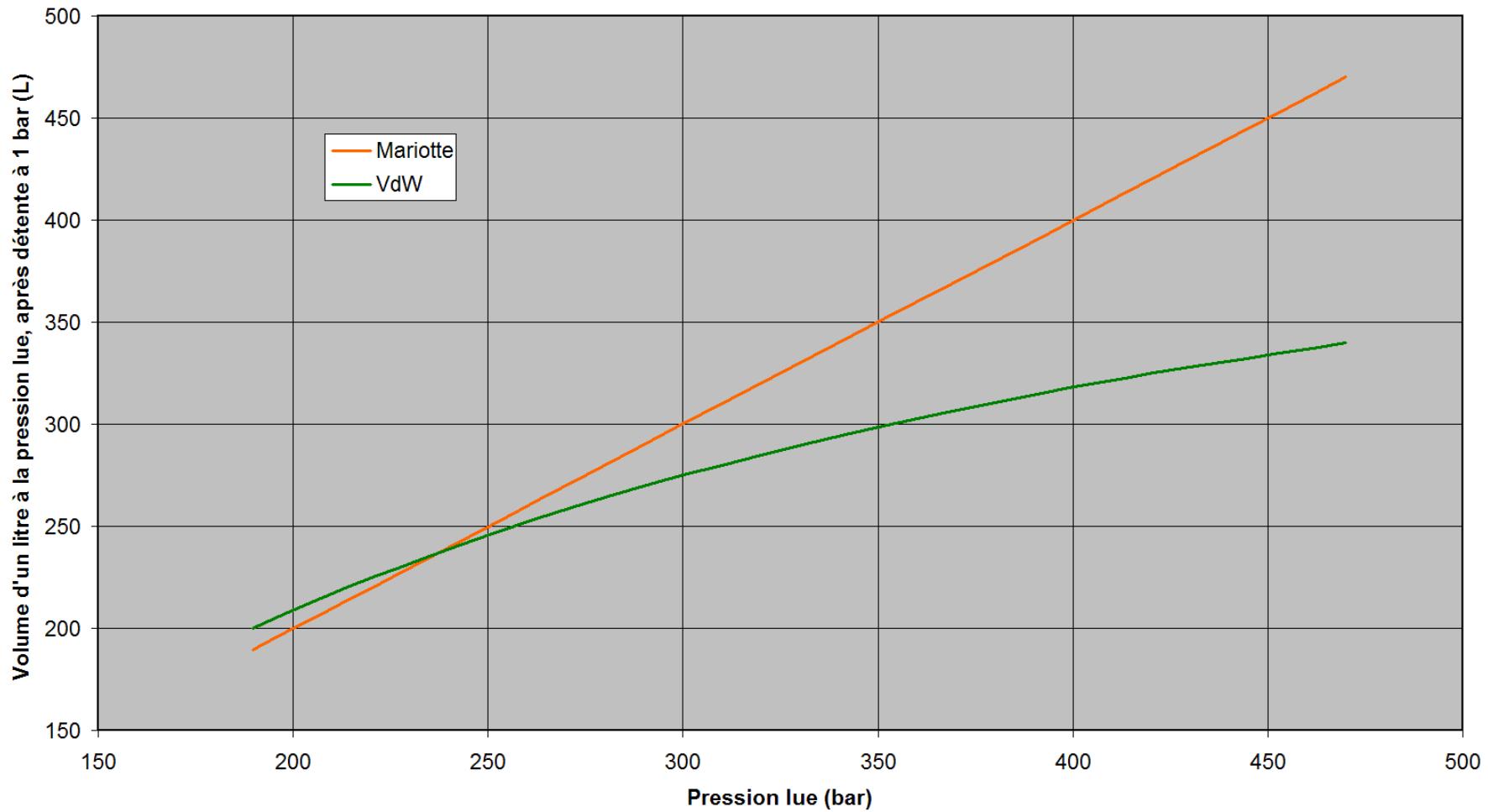
- Vous devez gonfler 5 blocs de 12L à 230b. 4 de ces blocs sont à 50b et le 5<sup>ème</sup> à 75b.
- Vous disposez de deux séries indépendantes de 4 tampons de 50L à 250b et d'une rampe de gonflage à 5 sorties permettant de gonfler les 5 blocs en même temps.
- P° résultante dans les tampons ?

## Corrigé :

- 1<sup>er</sup> tampon (équilibrage) :  
$$(4 \times 50L \times 250b) + (4 \times 12L \times 50b) + (12L \times 75b) = P \times [(4 \times 50L) + (5 \times 12L)]$$
$$P = 205b$$
- 2<sup>ème</sup> tampon (transvasement) :  
$$(4 \times 50L \times 250b) - (5 \times 12L \times 25b) = P \times (4 \times 50L)$$
$$P = 242,5b$$

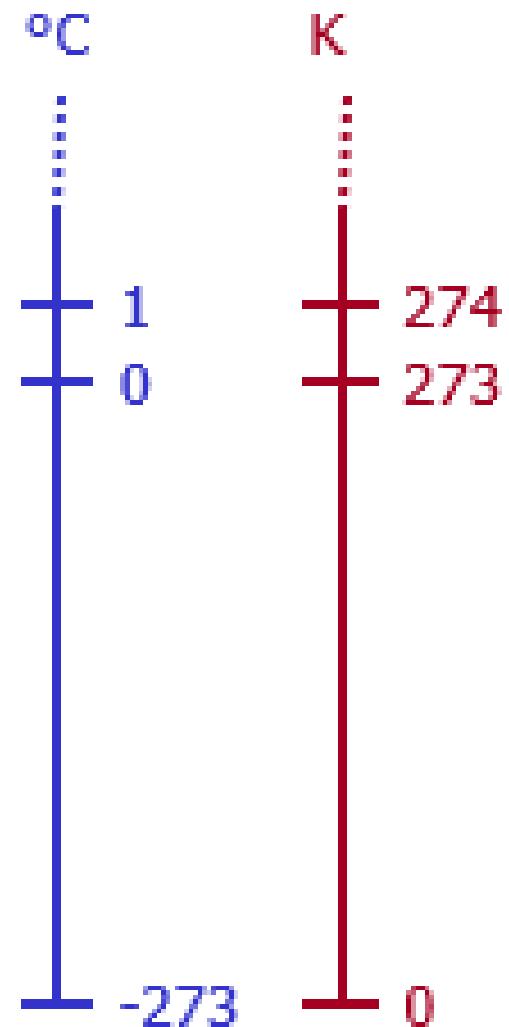
# Pression utile : les gaz réels

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

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



# VALABRE

ÉCOLE D'APPLICATION DE SÉCURITÉ CIVILE



## Le stockage

# Réglementation des bouteilles

## Inspection et requalification

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

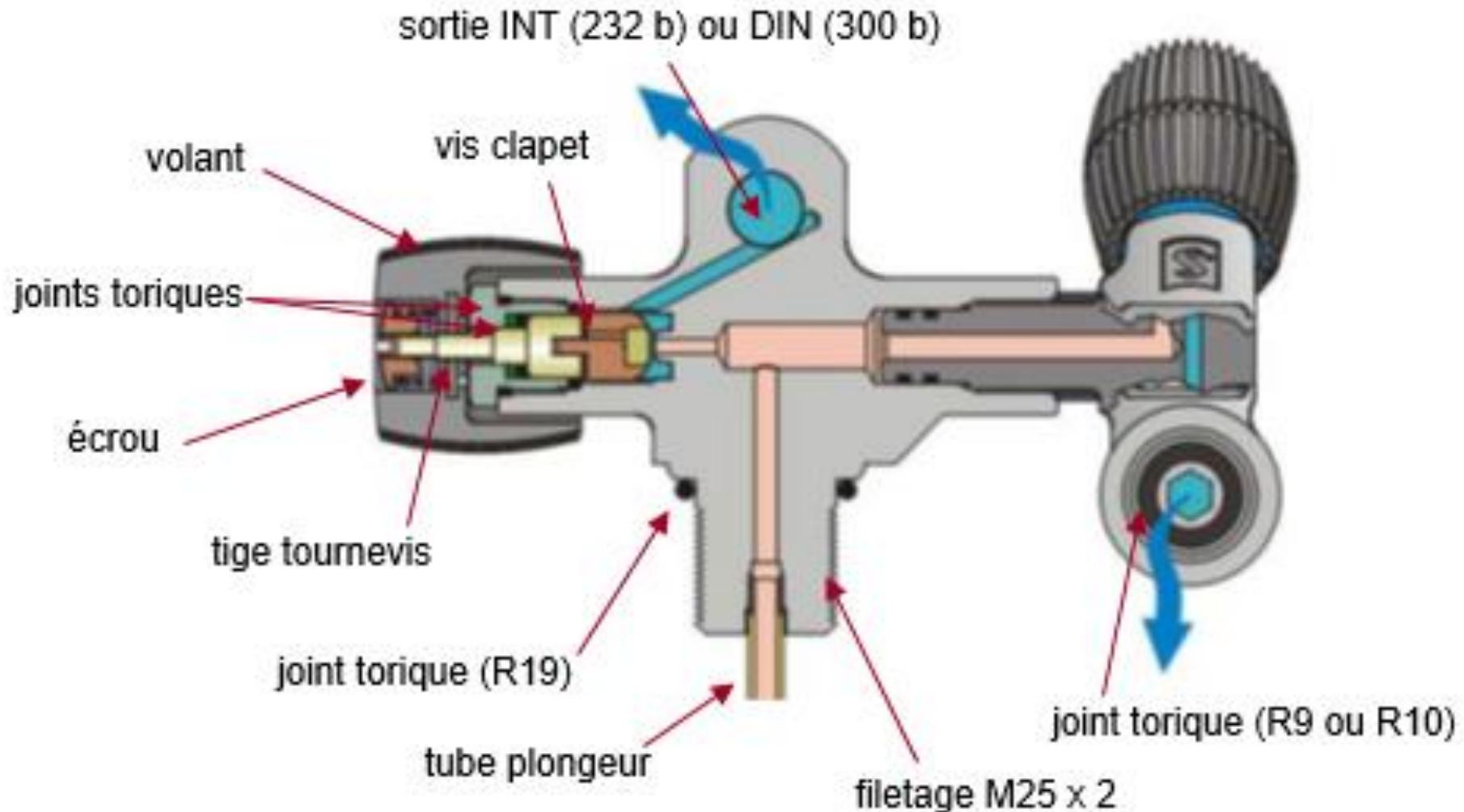
- TIV nitrox : qualif. nitrox confirmé, nettoyage et intervention interdits
- Inspection : traçabilité (compétence, PV d'inspection)
- Requalification : présenter la bouteille avec sa robinetterie

# 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



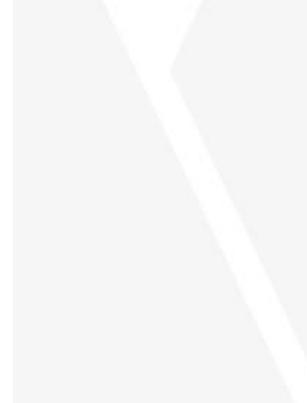


**VALABRE**

ÉCOLE D'APPLICATION DE SÉCURITÉ CIVILE



# Les détendeurs



# Notion de perte de charge



Pas de débit :

$$P_1 = P_2$$

*fonctionnement statique*



Débit de  $P_1$  vers  $P_2$  :

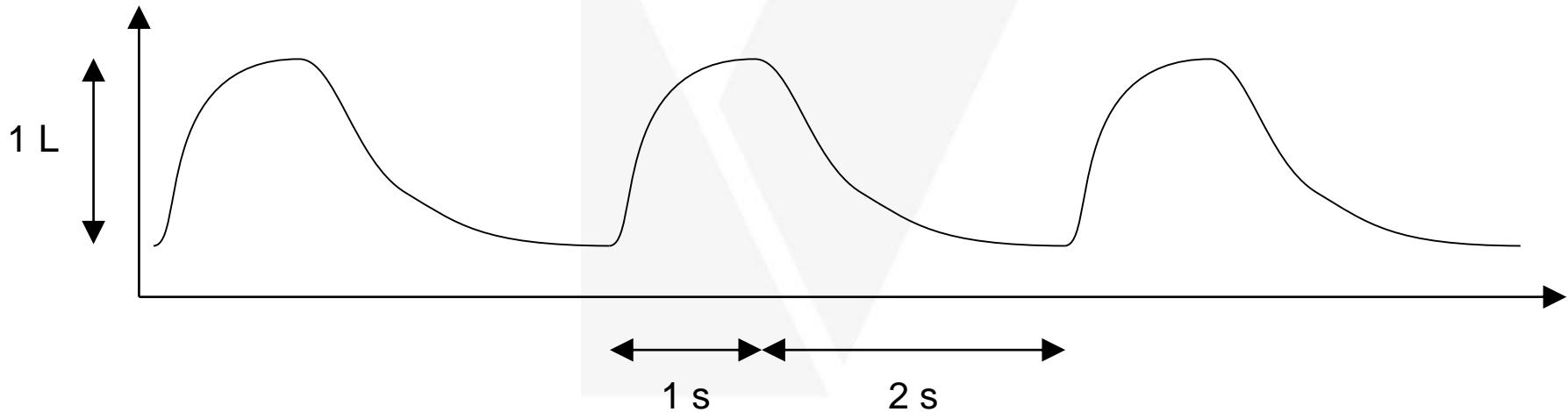
$$P_1 > P_2$$

*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
- $20 \text{ L/min} = \text{débit moyen}$ 
  - 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
- ↘ MP à l'inspiration
- Réactivité (matériau)
- Stabilité



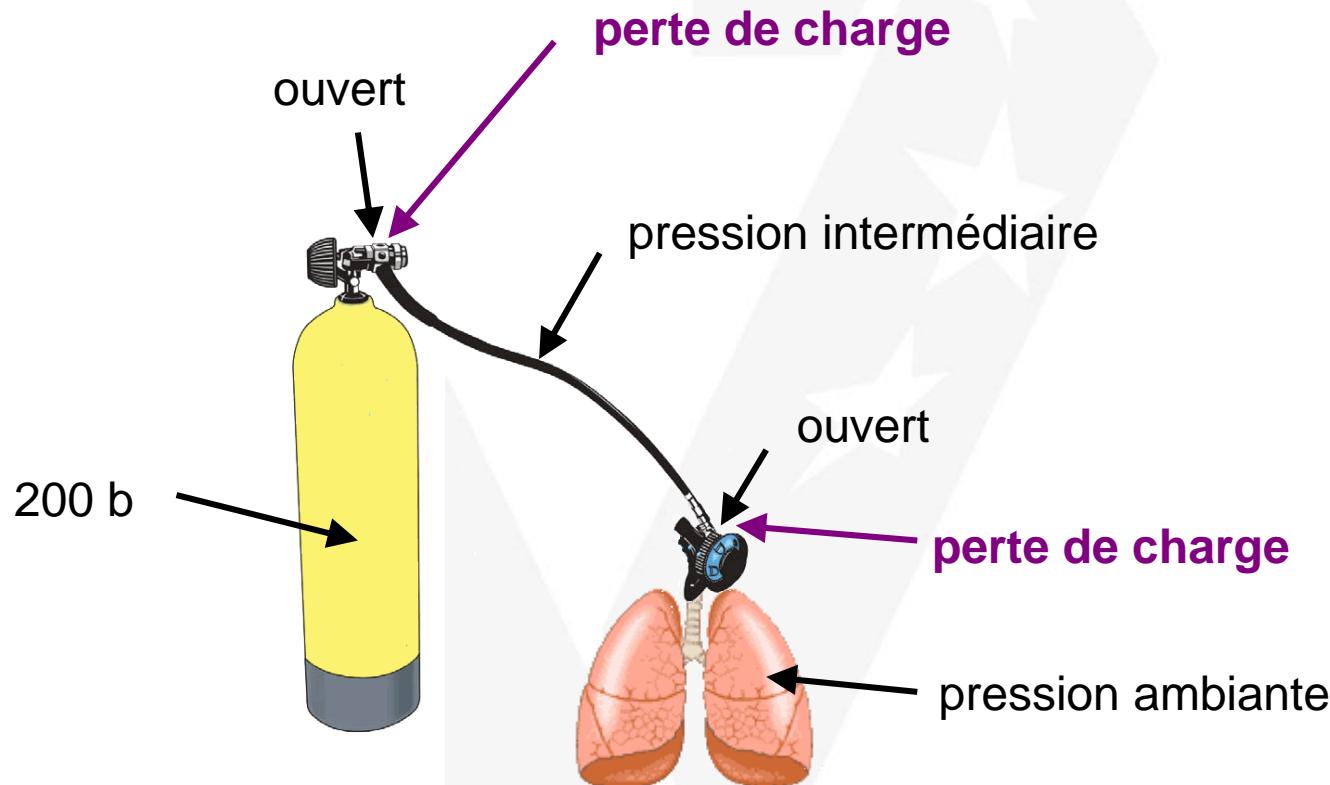
# Principes de base

- Position au repos des clapets des 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> étages ?

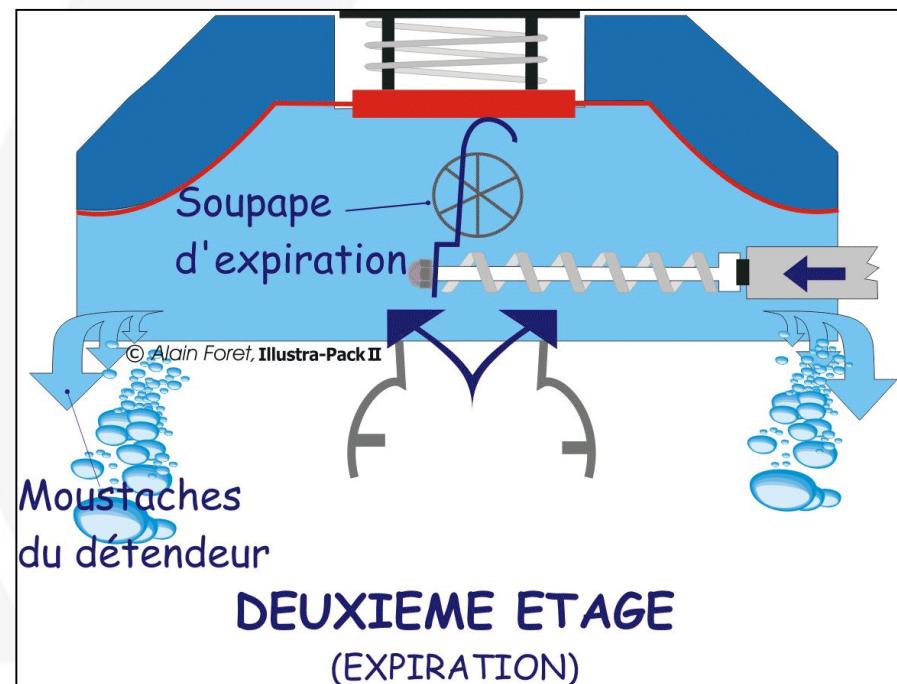
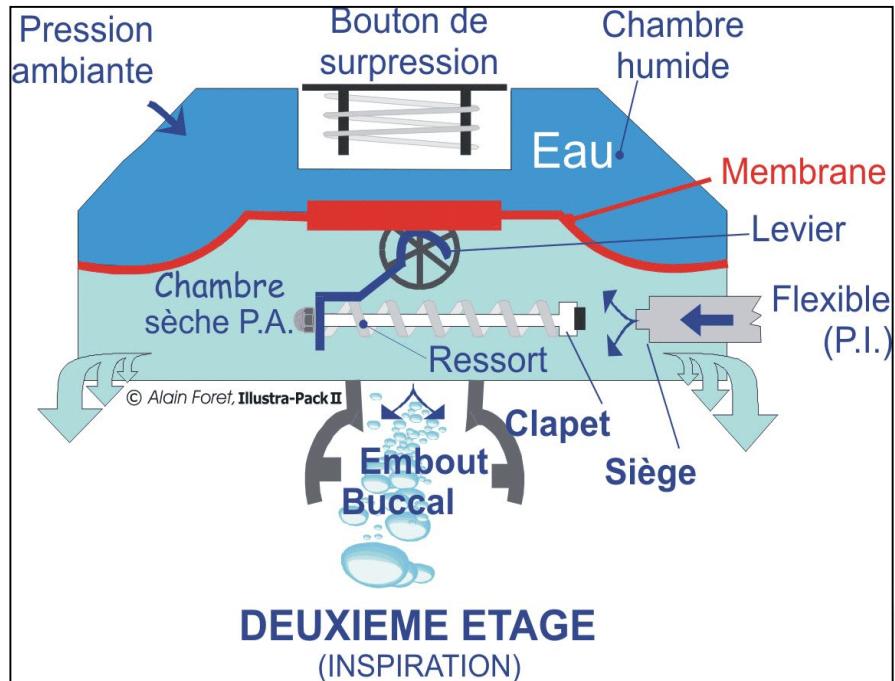
1 <sup>er</sup> étage	2 <sup>ème</sup> étage	
F	F	Débit continu retardé
F	O	Débit continu retardé
O	F	Équilibre
O	O	Débit continu immédiat

- Et quand on inspire ?

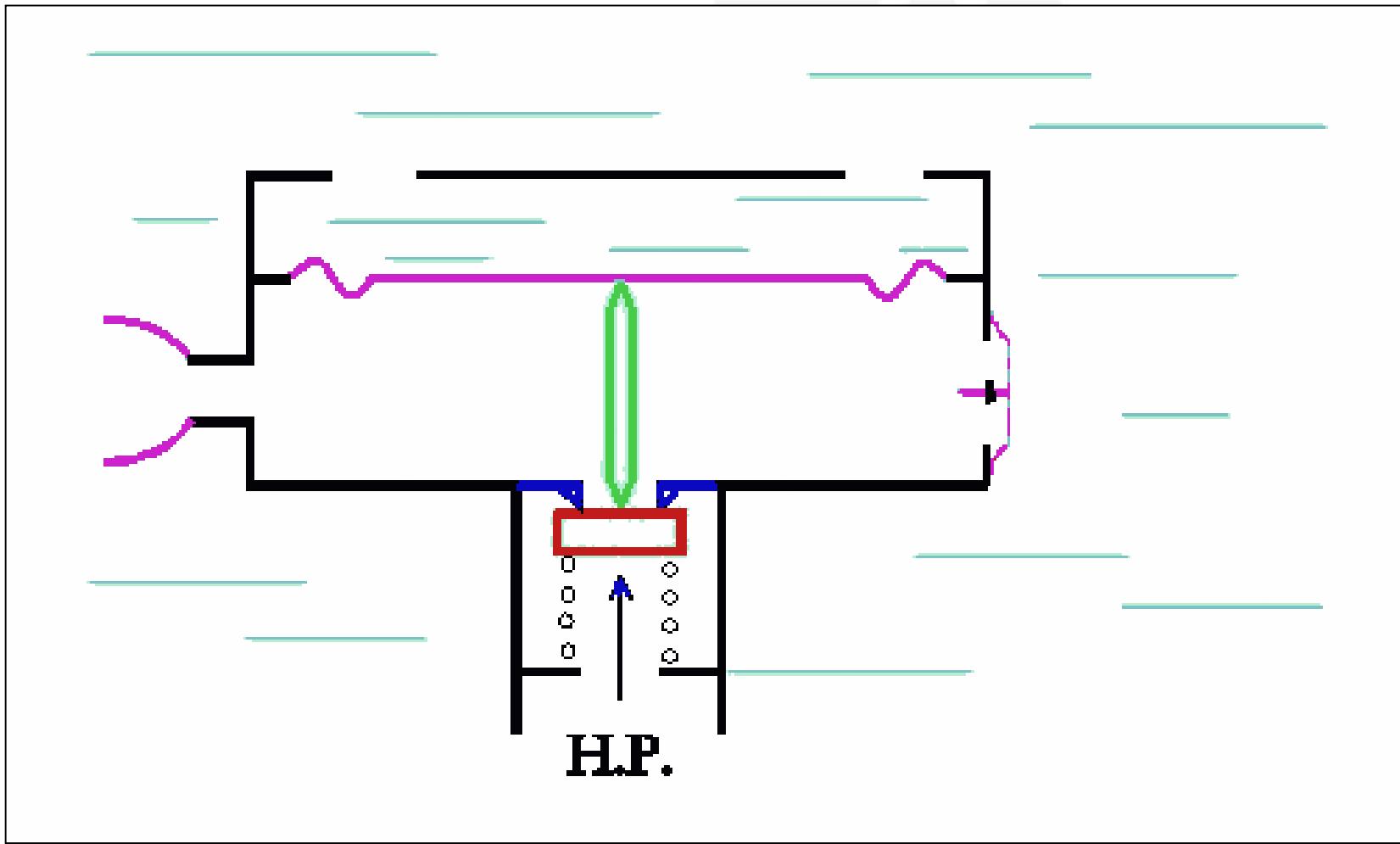
# Inspiration



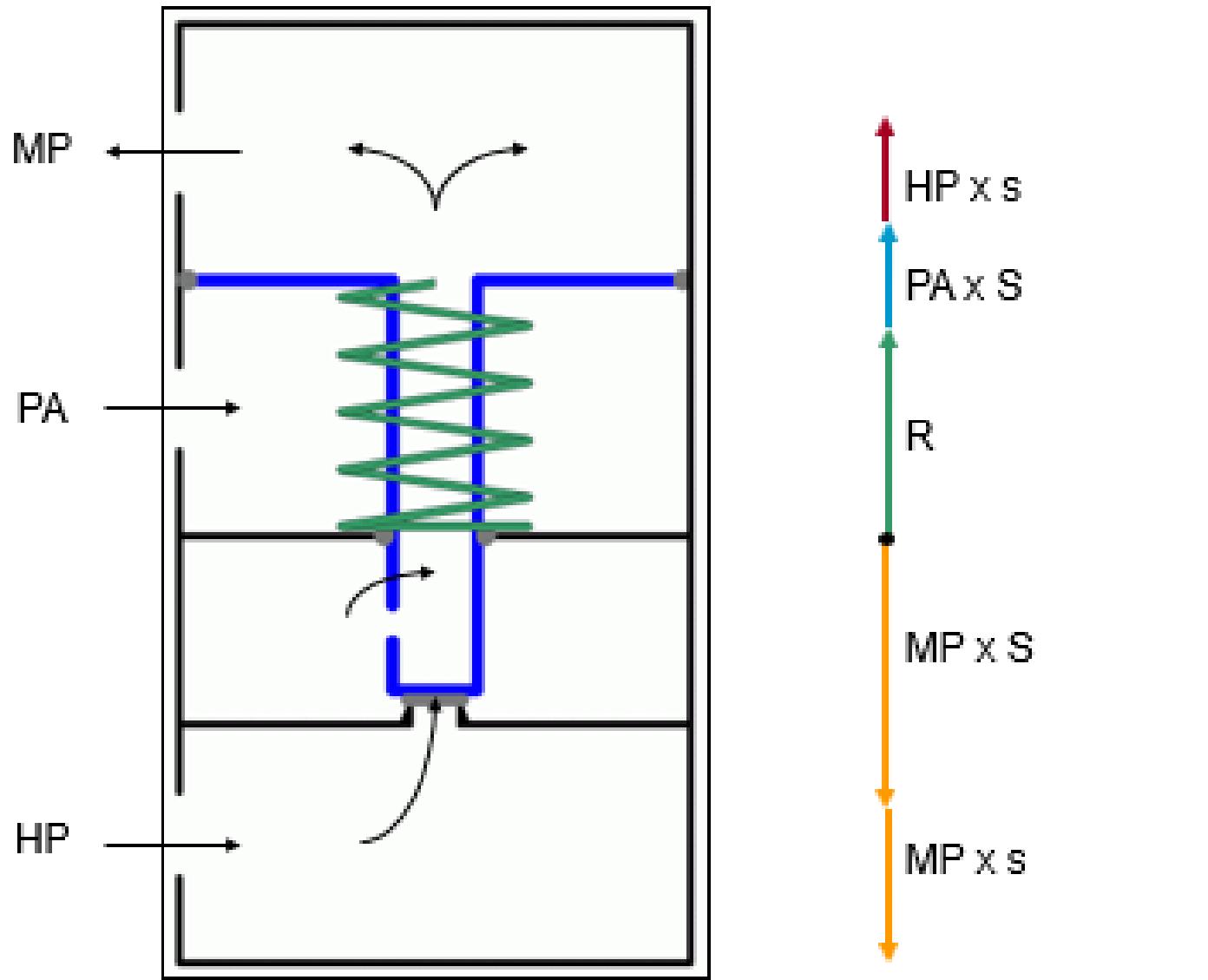
# 2ème étage



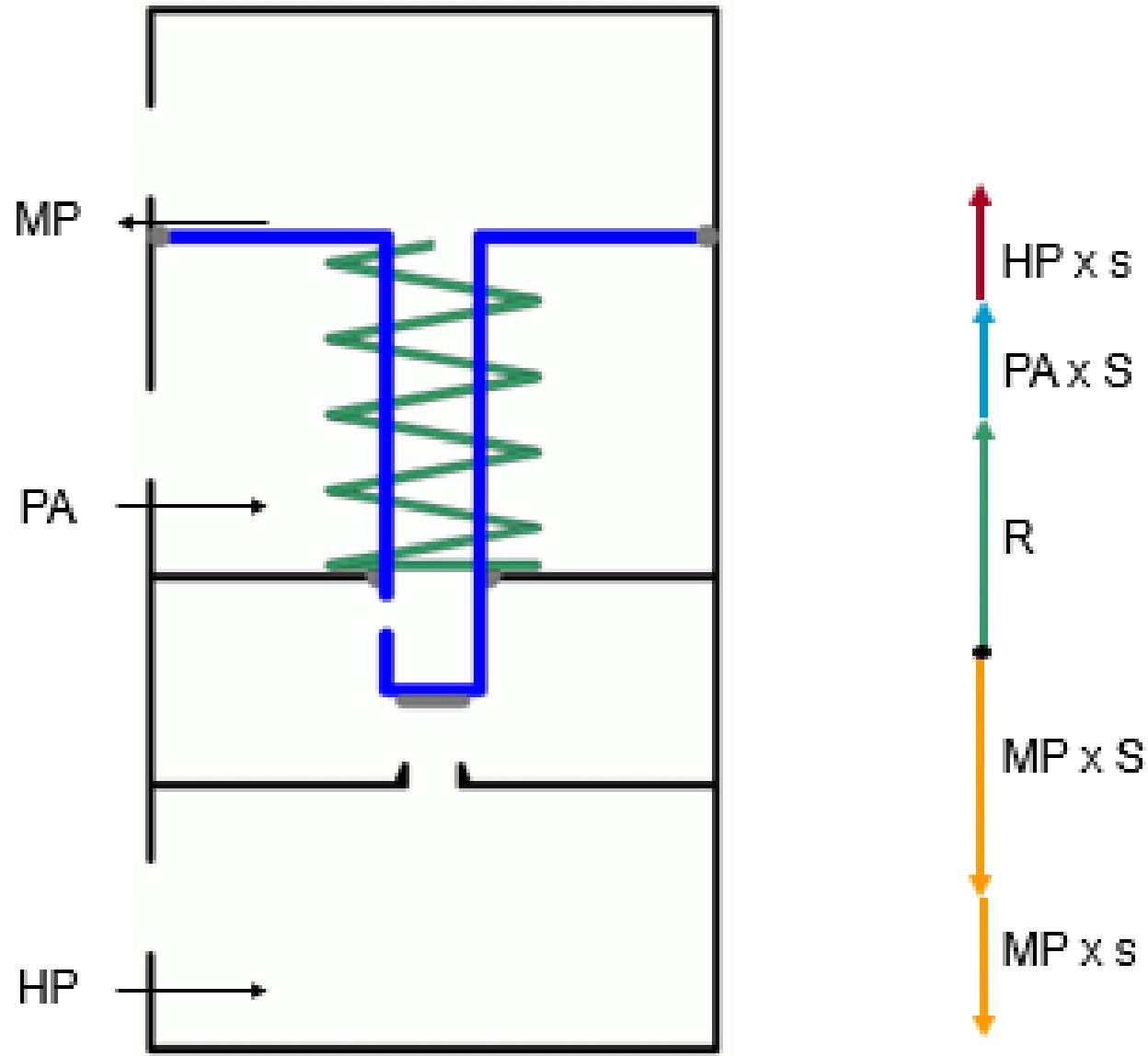
## 2<sup>ème</sup> étage : animation



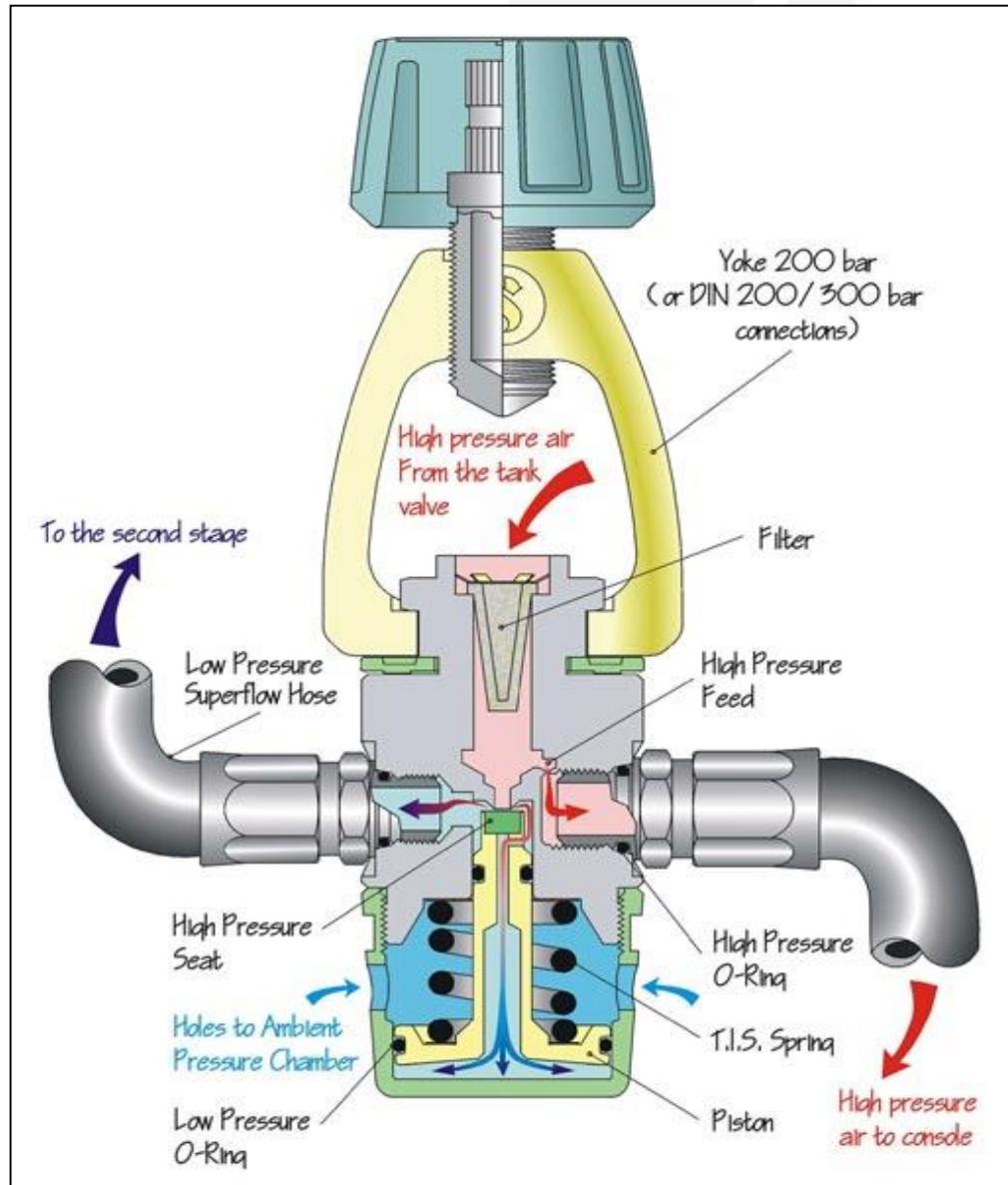
# Détendeurs à piston simple



# Détendeurs à piston simple : inspiration



# Exemple du détendeur Scubapro MK2

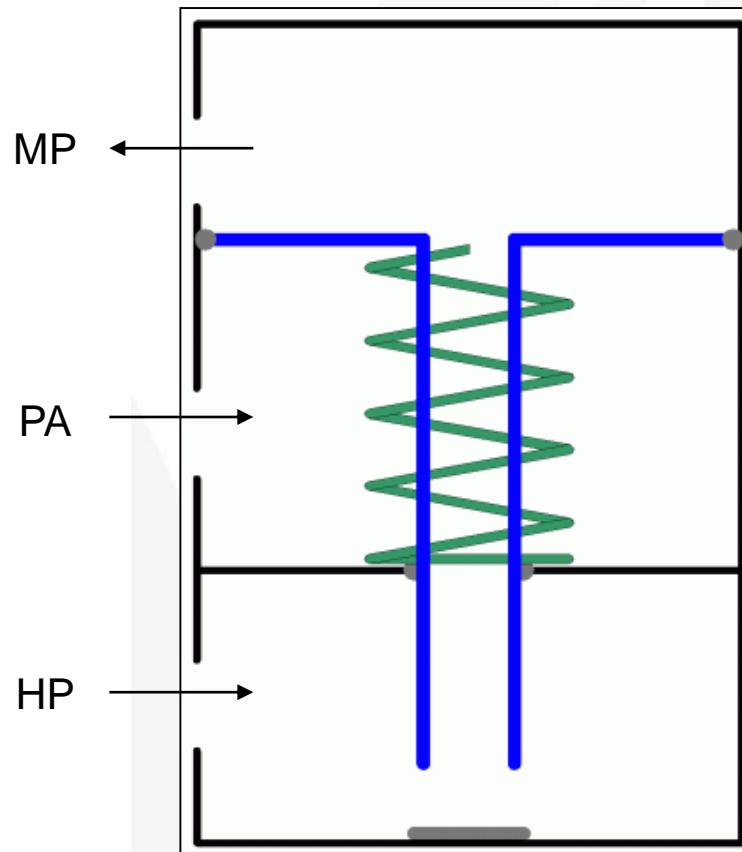


# La compensation

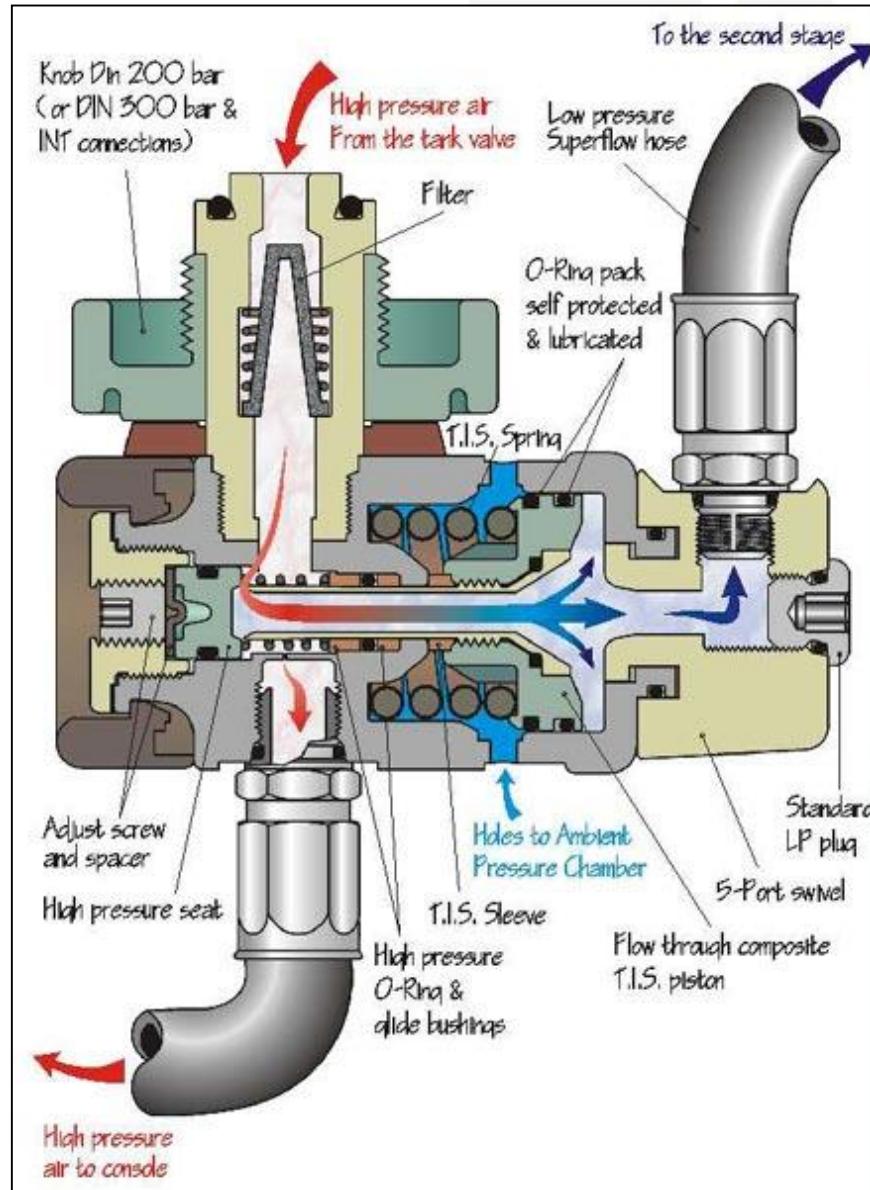
- Effet de la HP sur la MP (piston / membrane) ?
- 2 voies pour réduire l'effet de la HP :
  - Réduire  $s$  (surface du clapet)
  - Compenser
- Compensation = neutralisation de la HP dans le bilan des forces  
 $\Rightarrow$  HP radiale
- Permet d'augmenter  $s$  donc le débit maxi disponible !



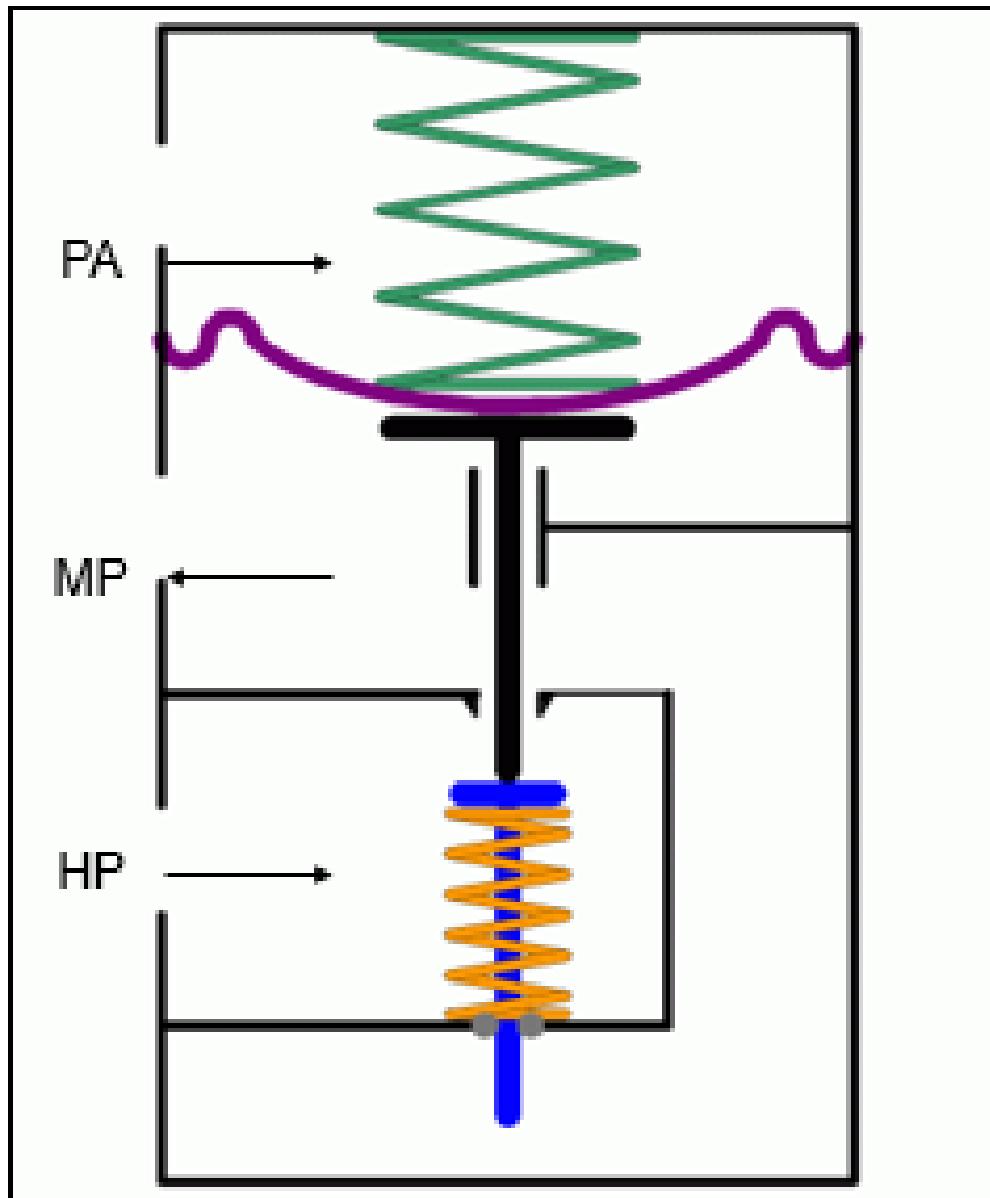
# Détendeur à piston compensé



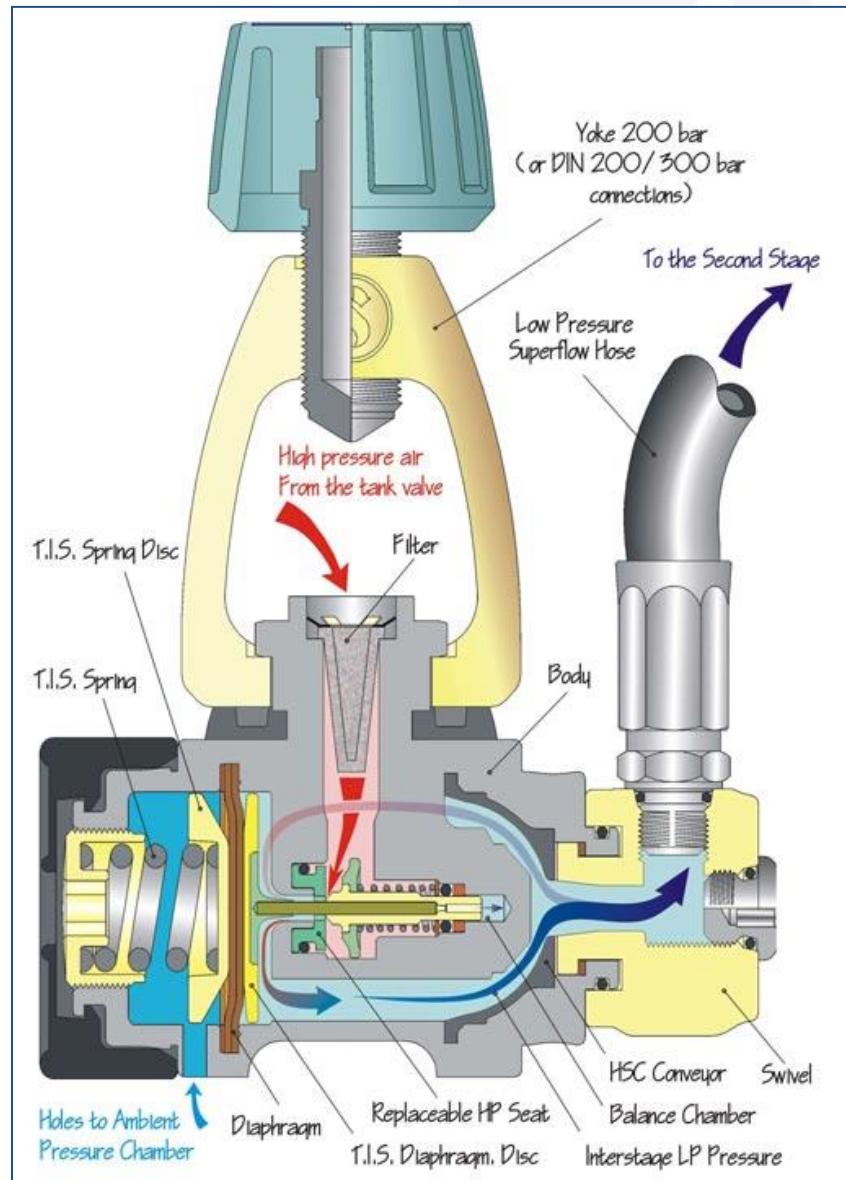
# Exemple du détendeur Scubapro MK25



# Détendeur à membrane compensée



# Exemple du détendeur Scubapro MK18



# Evolution de la MP avec la profondeur

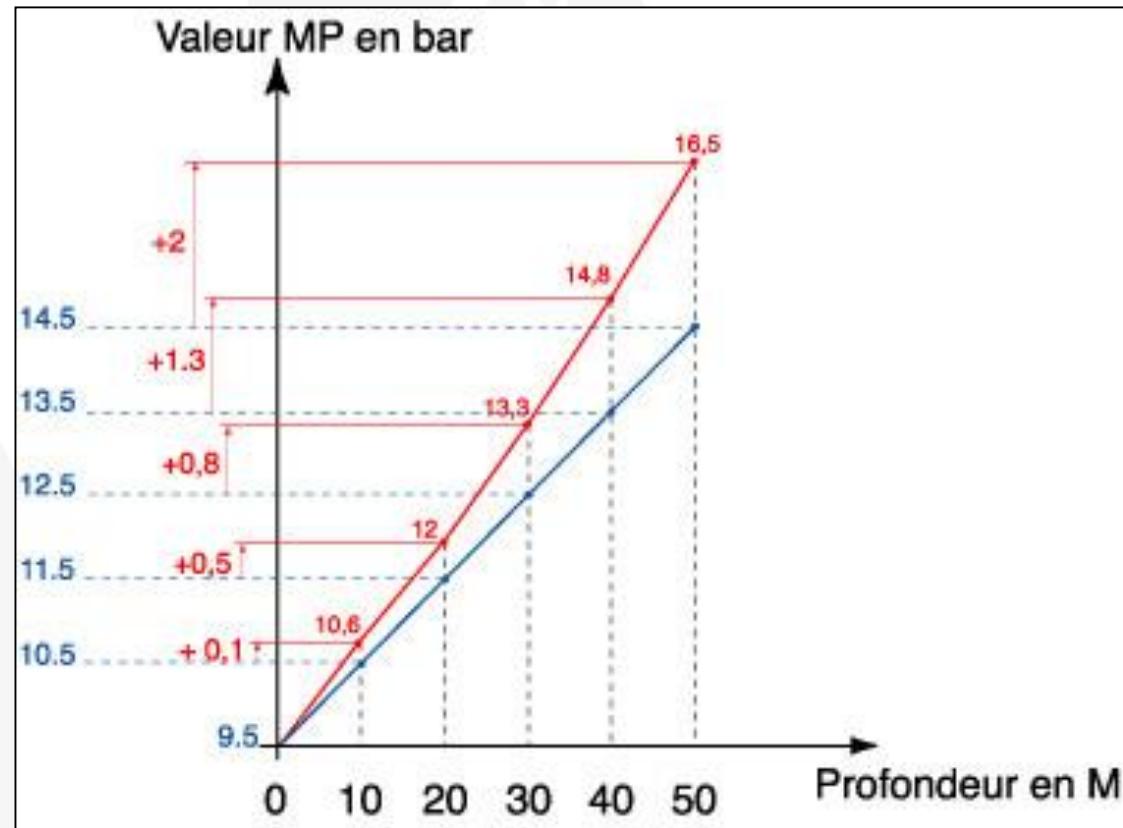
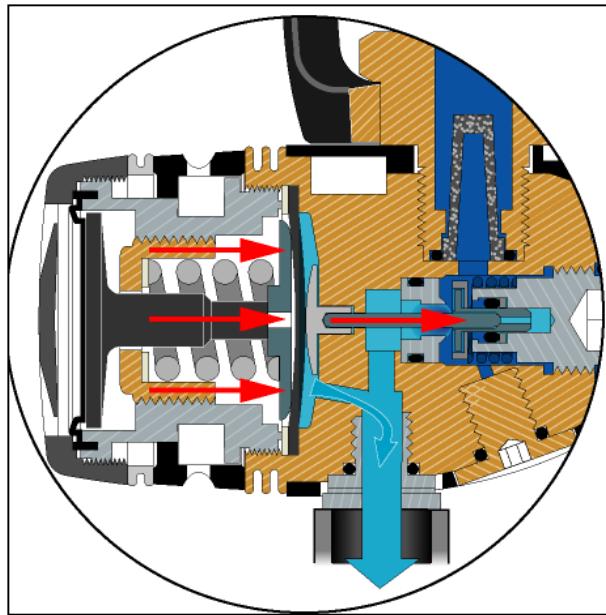
- Équilibre des forces (détendeur compensé)



- $MP \times S = PA \times S + R \Rightarrow MP = PA + R/S$   
 $\Rightarrow MP = PA + \text{Cte}$  (fabrication, réglage)

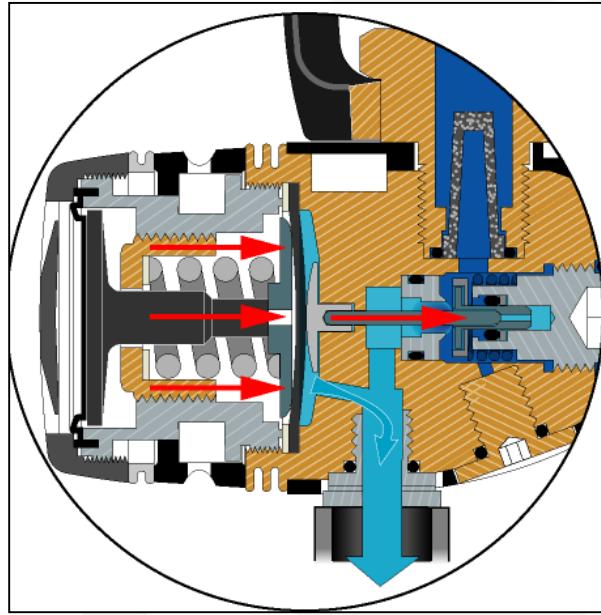
	0m	10m	20m	30m	40m
PA	1b	2b	3b	4b	5b
MP	10b	11b	12b	13b	14b

# La surcompensation Aqualung (Legend)



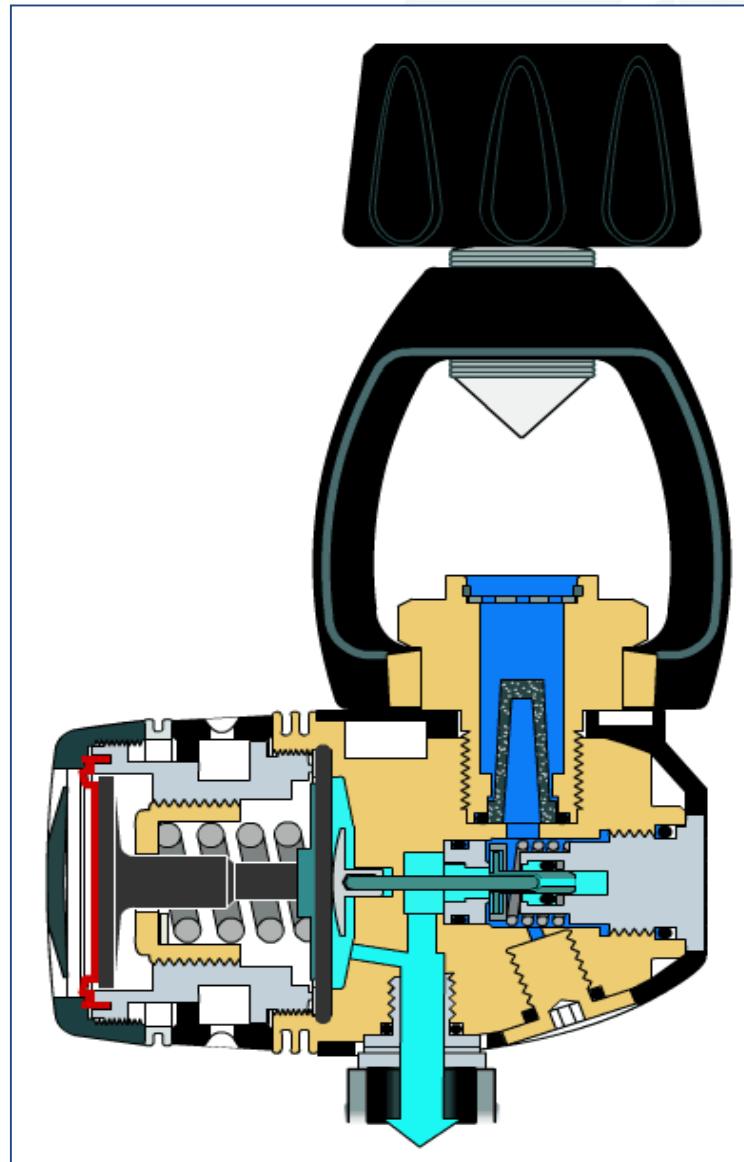
- La moyenne pression augmente plus vite que la pression hydrostatique
- En bleu : un détendeur normal
- En rouge : Le Legend

# La surcompensation Aqualung (Legend)

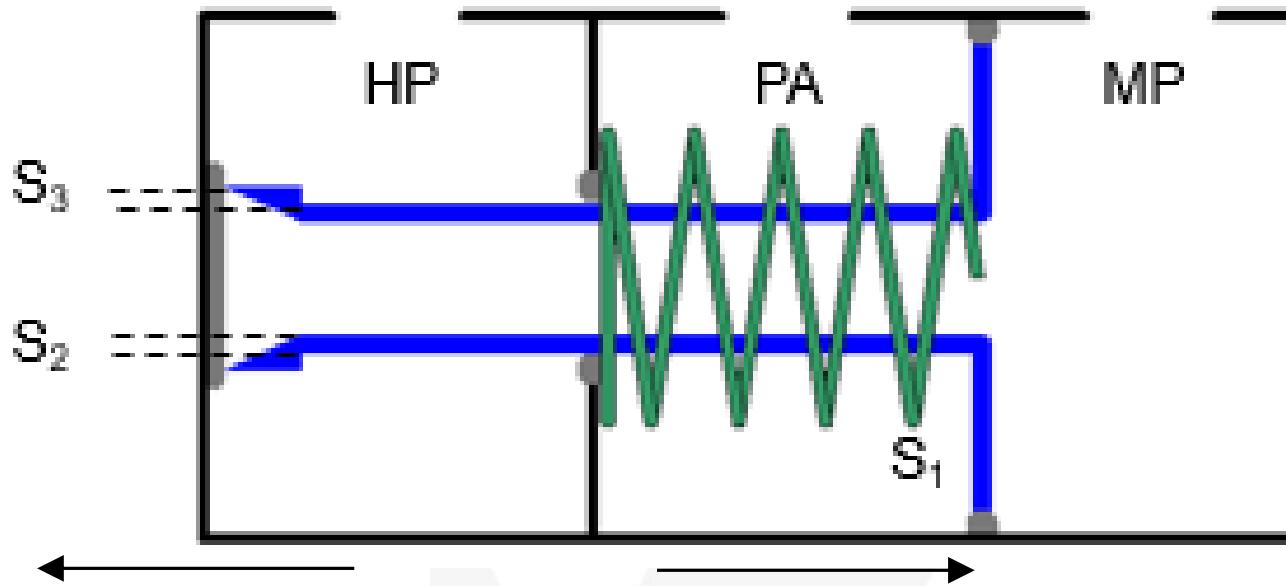


- Le piston de la chambre sèche transmet, à profondeur équivalente, une force supérieure qui fait augmenter la MP
- La MP augmente plus vite que la pression ambiante : système ADC (Asymmetric Dry Chamber)
- Profondeur ↗ → densité ↗ → MP – PA ↗ → effort inspiratoire stable

# 1<sup>er</sup> étage surcompensé Legend



# La surcompensation Scubapro (MK25)



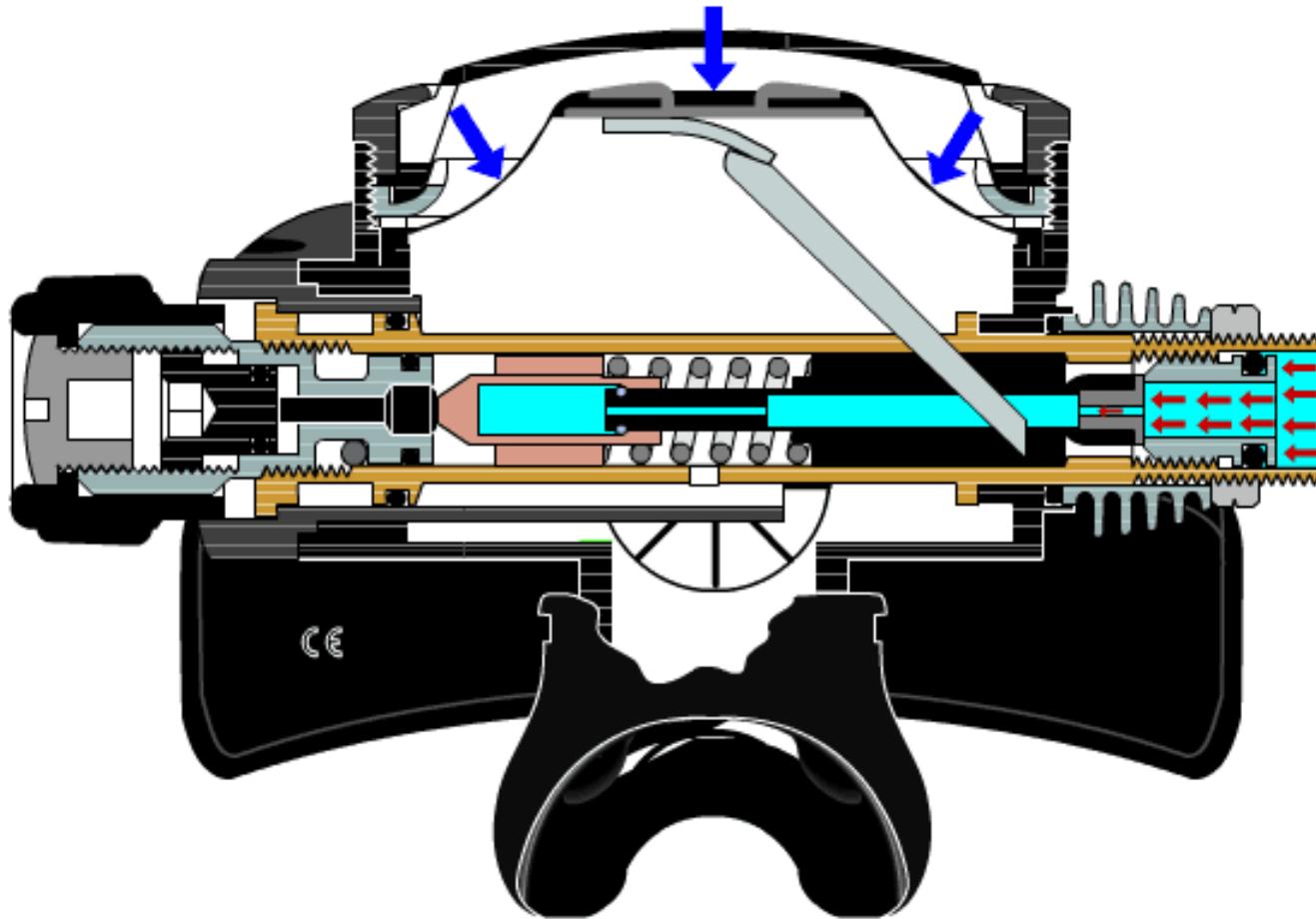
- $HP \times S_3 + MP \times (S_1 + S_2) = R + PA \times S_1 + MP \times (S_2 + S_3)$
- $k = S_1 / S_3$
- $MP = PA \times k / (k - 1) + K - HP / (k - 1)$
- Pour  $k = 200 \rightarrow MP = PA \times 1,005 + K - HP \times 0,005 \rightarrow 1 \text{ b pour } 200 \text{ b}$
- ↗ MP en fin de plongée (HP ↘)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

# La compensation au 2<sup>ème</sup> étage

- Augmente la sensibilité (clapet équilibré)
- Limite l'usure siège-clapet (clapet équilibré)
- Indispensable sur un 1<sup>er</sup> étage surcompensé (MP ↗)



## 2ème étage : animation



# Incidents courants

- Débit continu immédiat
- Débit continu différé
- Interruption brutale du débit
- Débit insuffisant
- Fuites d'air au 1<sup>er</sup> étage
- Eau dans le 2<sup>ème</sup> 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<sup>er</sup> étage, tuyau MP, 2<sup>ème</sup> étage

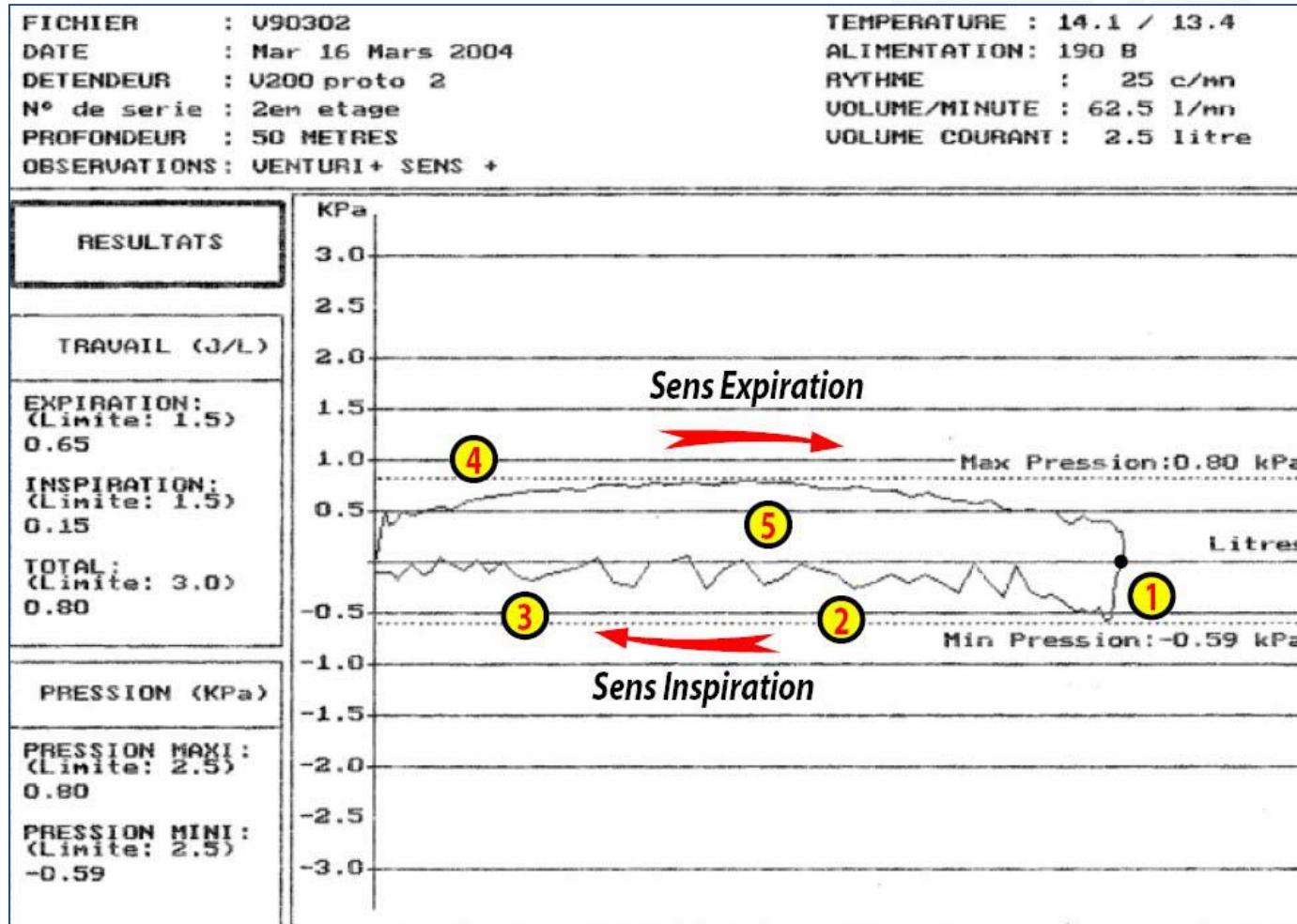
Conditions

- 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



1. Point de décollage
2. Courbe d'inspiration
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 →  **explosion**
- 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://hlbmatus.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](http://www.valabre.com)

