

Formation théorique Niveau IV



Patrick Baptiste
MF1 n°22108



Formation théorique Niveau IV / Sommaire

Aujourd'hui ..

- Réglementation
- Physique appliquée à la plongée
- Système nerveux et plongée
- Les accidents toxiques en plongée
- Système circulatoire et plongée
- Système respiratoire et plongée
- Sphère ORL et plongée
- Eléments de calcul de tables
- Utilisation des tables de plongées
- Procédures particulières de décompression
- Ordinateur de plongée et planification
- Matériel de plongée – le détendeur
- **Matériel de plongée – compresseur - bouteille**
- Matériel de navigation, de sécurité et matelotage
- Orienter et conduire sa palanquée en sécurité
- Etre un guide de la mer connaissant le milieu



Les compresseurs



Formation théorique Niveau IV / Matériels

SOMMAIRE

1. Principe de Fonctionnement
2. Schéma
3. Les Clapets à l'Aspiration
4. Les Clapets au Refoulement
5. La Lubrification
6. Les Dispositifs inter-étages
7. Le Trajet d'une molécule d'air
8. Le Compresseur en Mouvement
9. Caractéristiques
10. Réglementation
11. Consignes de Chargement
12. Temps de Gonflage



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Principe de Fonctionnement

Comme son nom l'indique le compresseur de plongée est une machine qui a pour mission de comprimer l'air ambiant afin de le stocker en la plus grande quantité possible dans une espace aussi réduit que possible.

Les limites de fonctionnements sont celles définies par construction en ce qui concerne les compresseur proprement dit

On trouve en général des valeurs de compressions de :

- 200, 230 voir 300 bars pour un chargement direct des blocs de plongée (sans zone tampons)
- 300 bars pour les installations avec zone(s) tampons destiné au gonflage des blocs à 230 bars
- 400 bars pour les installations avec zone(s) tampons destiné au gonflage des blocs à 230 ou 300 bars

Les compresseurs s'appuient sur la loi de Mariotte, ainsi un compresseur 300 bars a pour mission de faire rentrer 300 litres d'air dans un volume de 1 litre



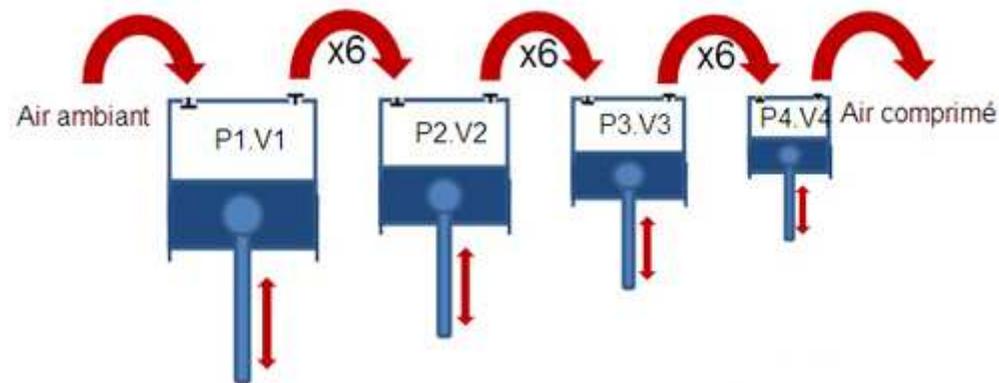
Formation théorique Niveau IV / Matériels

Principe de Fonctionnement

Les compresseurs s'appuient sur la loi de Mariotte, ainsi un compresseur 300 bars à pour mission de faire rentrer 300 litre d'air dans un volume de 1 litre de contenance.

En raison de l'énergie et de la puissance nécessaire cette opération ne peut pas être réalisée en une seule et unique opération.

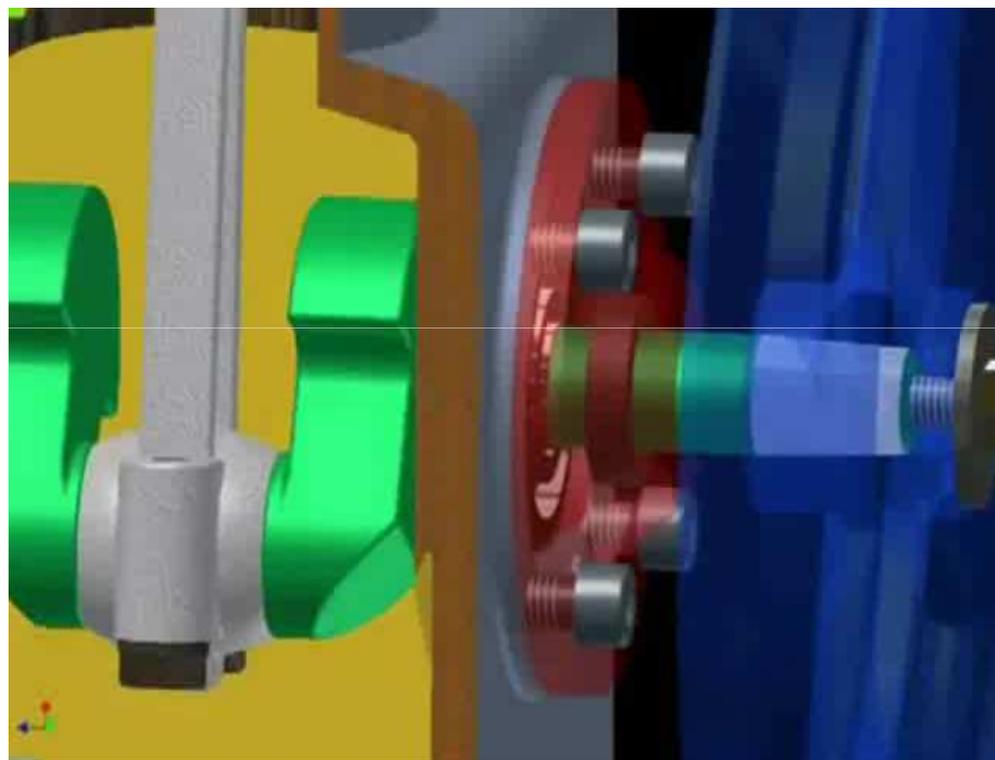
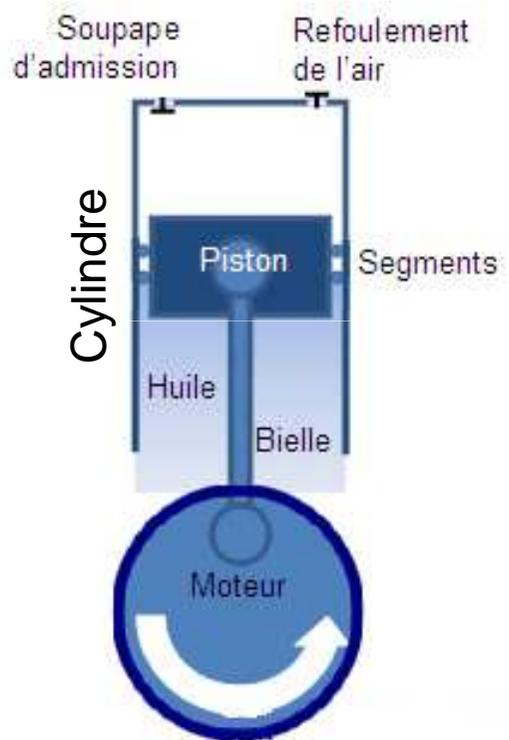
Selon la pression finale souhaitée, le type de matériel utilisé, et le type d'énergie utilisée (moteur thermique, énergie électrique 220 / 380 volts) l'opération de compression sera réalisée en 3 ou 4 étapes successives.



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Arrivée d'air

Sortie d'air



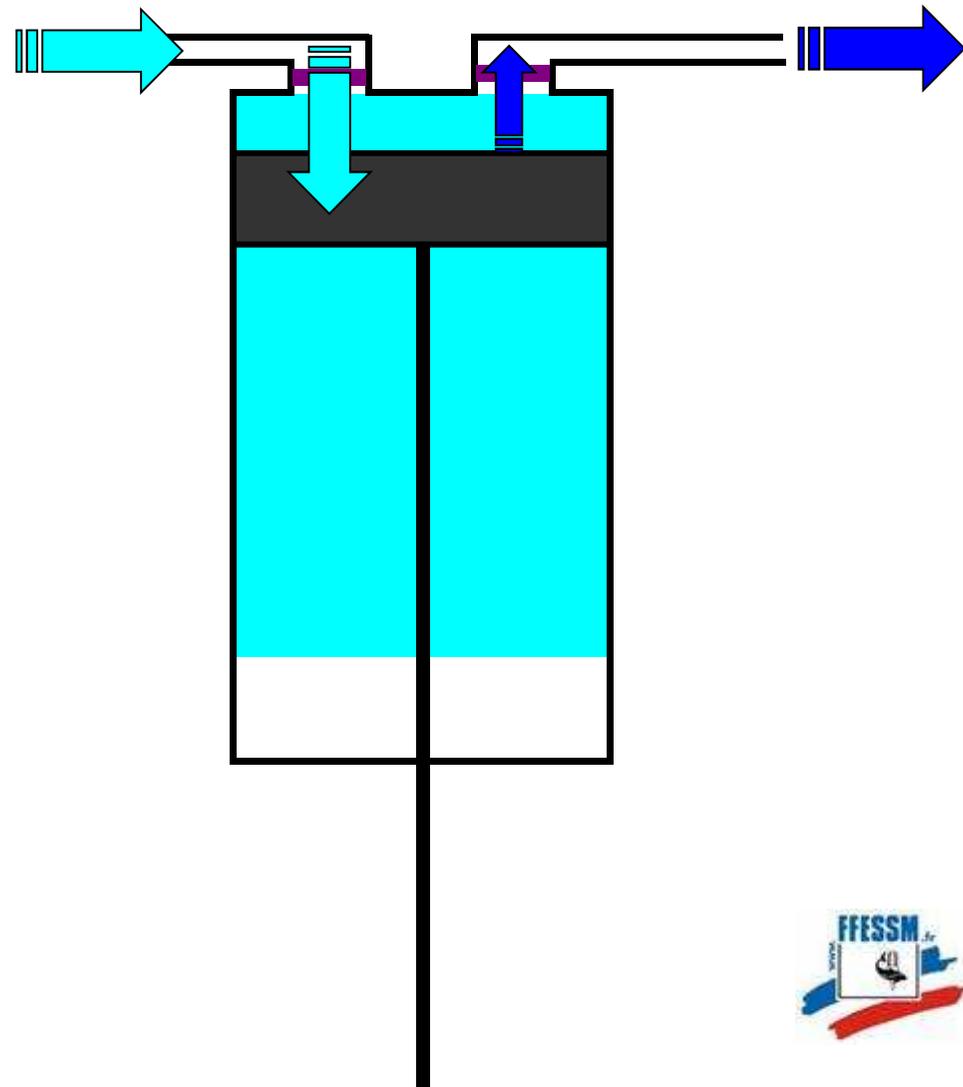
Formation théorique Niveau IV / Matériels

Cycle de Compression

3 phases :

1. Aspiration
2. Compression
3. Refoulement

Le piston descend et la soupape d'aspiration se ferme
Le cylindre d'aspiration est tout fermé
Le piston de refoulement se ferme
L'air est comprimé dans le cylindre



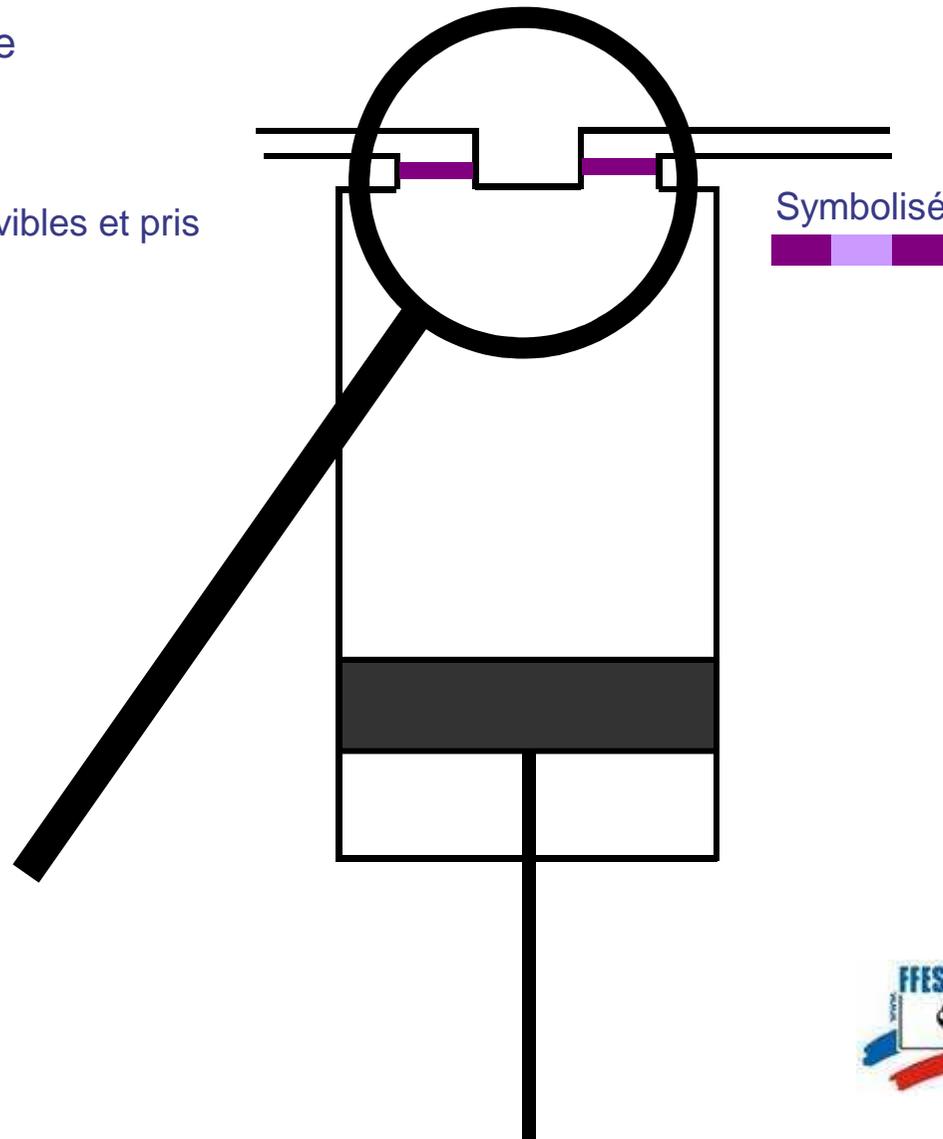
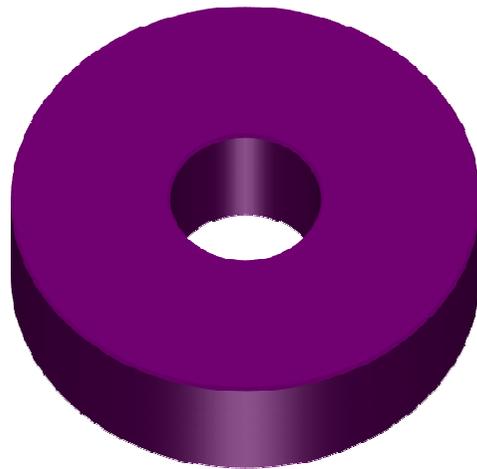
Et ce cycle recommence



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Comment les clapets s'ouvrent-ils et se ferment-ils au bon moment ?

Les clapets sont des disques percés amovibles et pris en sandwich entre deux parties fixes



Patrick Baptiste
MF1 n° 22108

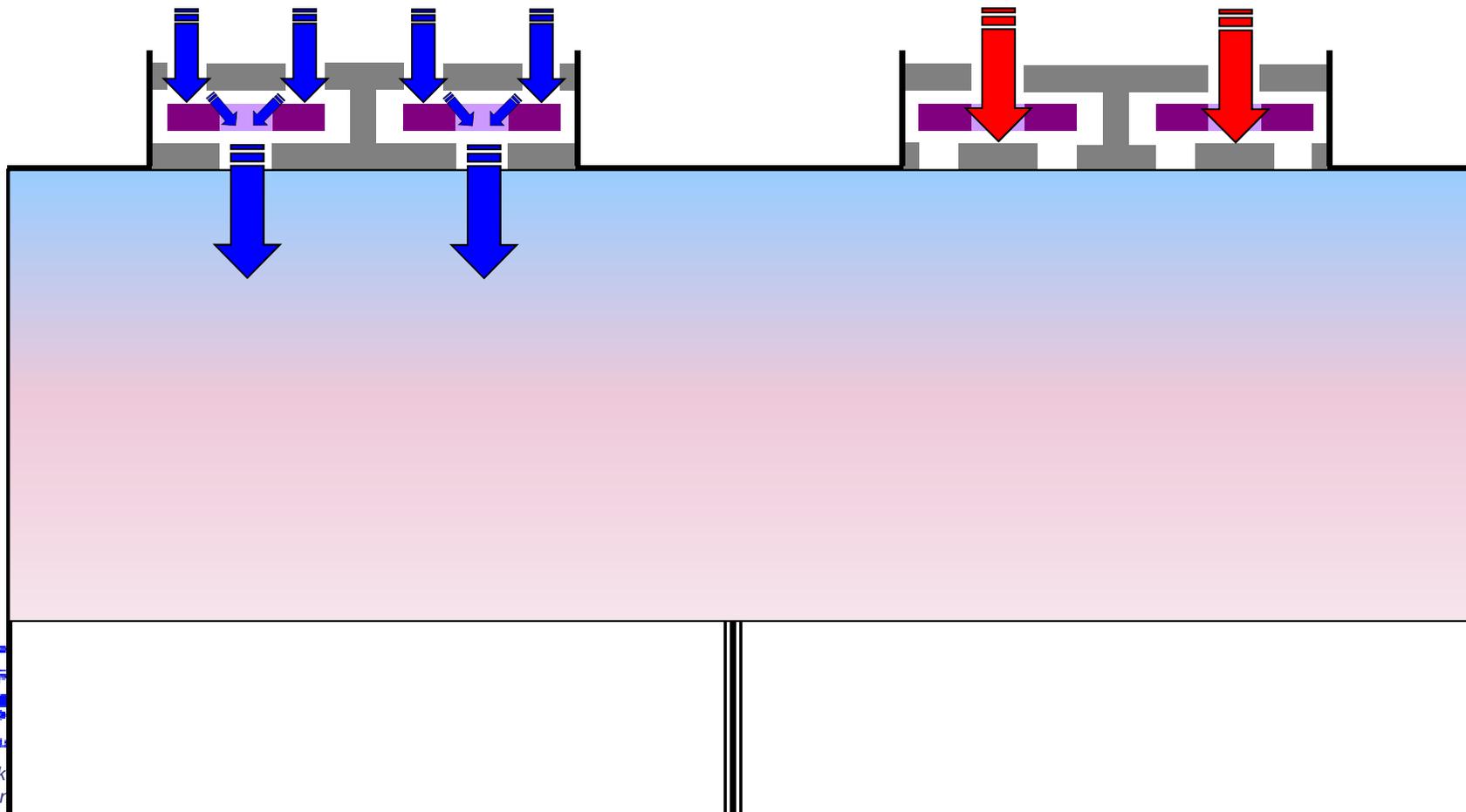


Formation théorique Niveau IV / Matériels

Clapets à l'Aspiration

Quand le piston descend, une dépression se crée dans le cylindre

- les clapets descendent
- l'air entre dans le cylindre

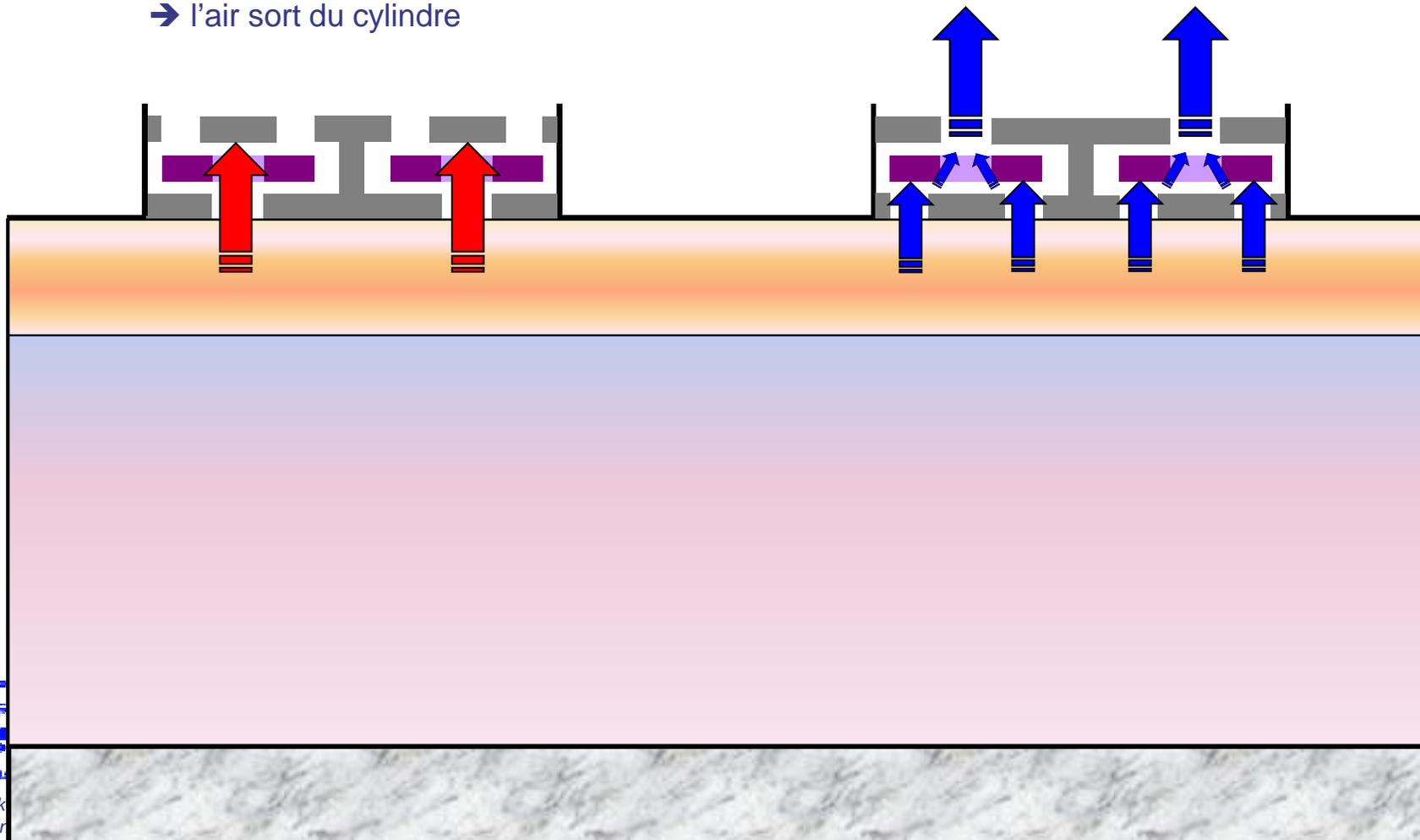


Formation théorique Niveau IV / Matériels

Clapets au Refoulement

Quand le piston monte, une surpression se crée dans le cylindre

- les clapets montent
- l'air sort du cylindre



Formation théorique Niveau IV / Matériels

La Lubrification

La lubrification permet de bien faire coulisser les pistons dans les cylindres

- Huile minérale ou synthétique
- Alimentaire
- Indice de Viscosité (*) comprise entre 20 et 100

La lubrification peut se faire par barbotage, par goutte à goutte ou par une pompe à huile.

Attention à la température de l'huile (risque de libération de gaz ou auto-inflammation)



Patrick Baptiste
MF1 n°22108

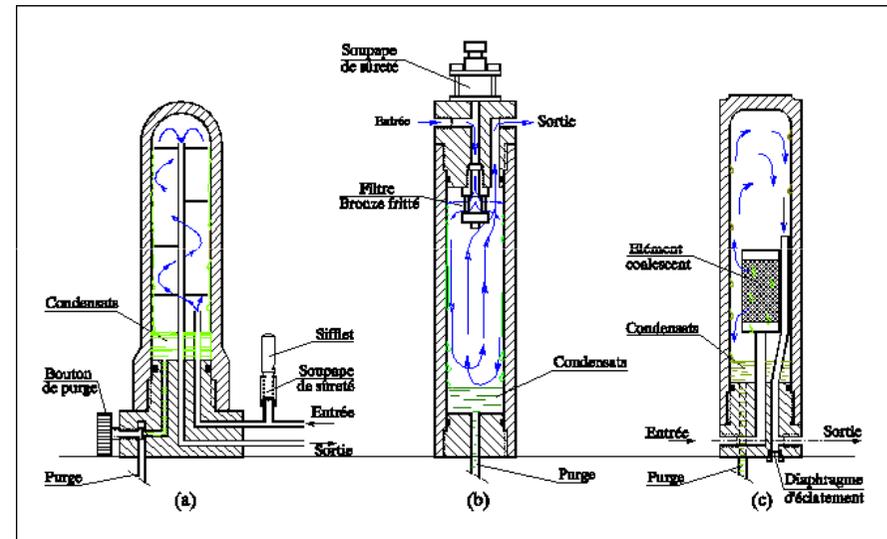
(*) Capacité d'un fluide à s'écouler : Eau : 0,001 Miel : 100 Bitume : 100 000 000 Sang : 0,004 Huile : 20 à 3600



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Les Dispositifs inter-étages

- Filtre avec séparateur d'eau
 - permet d'améliorer la qualité de l'air, d'éliminer l'humidité de l'air et le lubrifiant
- Refroidisseur
 - La compression chauffe l'air. Il faut donc le refroidir
- Soupape de sûreté
 - pour éviter toute montée en pression excessive
- Mesure de pression



Formation théorique Niveau IV / Matériels

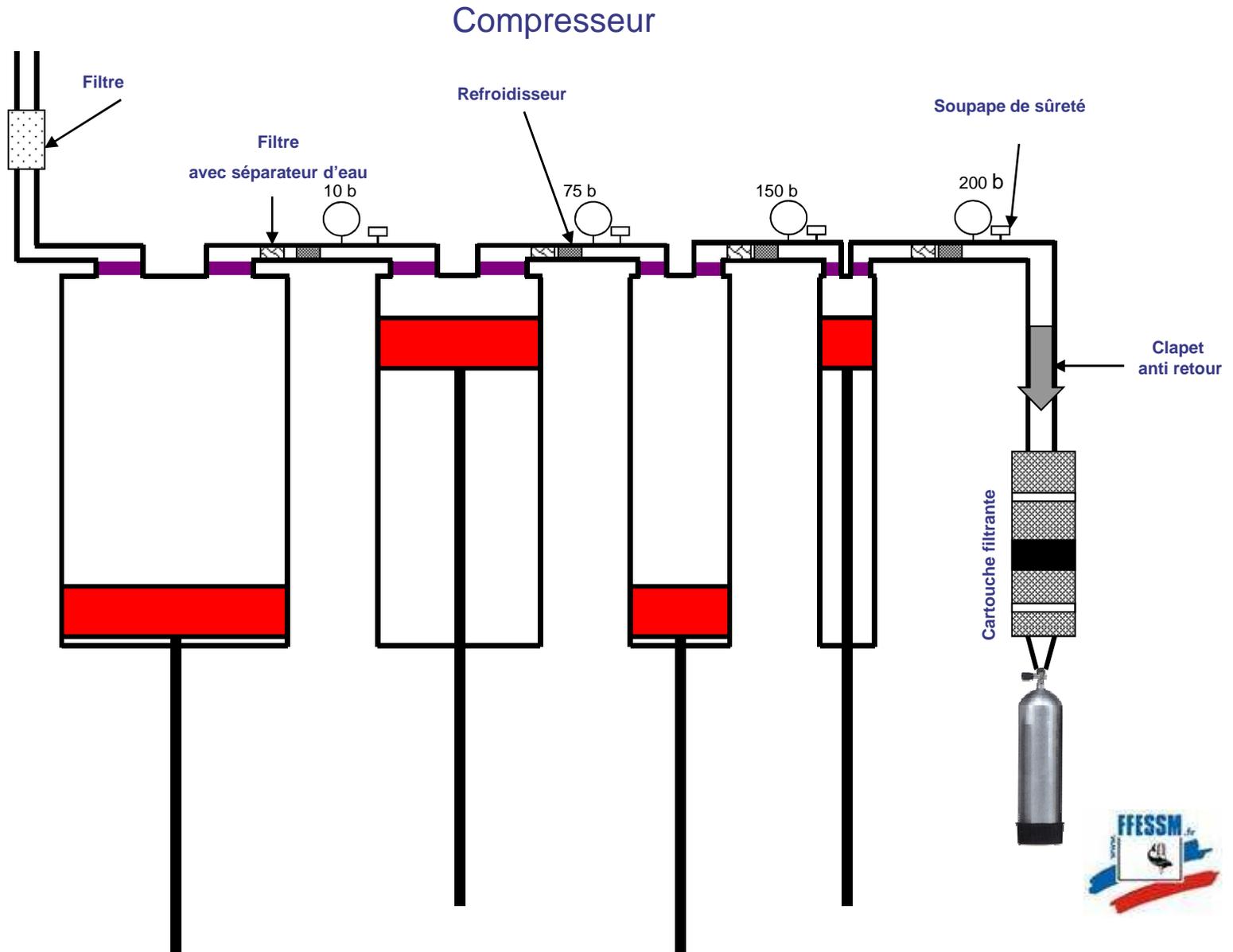
Autres Dispositifs

On trouve aussi :

- Un **filtre à l'entrée** du compresseur pour éliminer les particules de poussières de l'air.
- un **clapet anti-retour** est inséré à la sortie de chaque étage pour empêcher que l'air haute pression ne soit refoulée vers l'étage précédent.
- Une **cartouche filtrante** avec différents tamis, feutres et du charbon actif est placée avant les bloc pour éliminer les quelques fines particules ayant pu s'infiltrer, l'humidité de l'air et les odeurs.

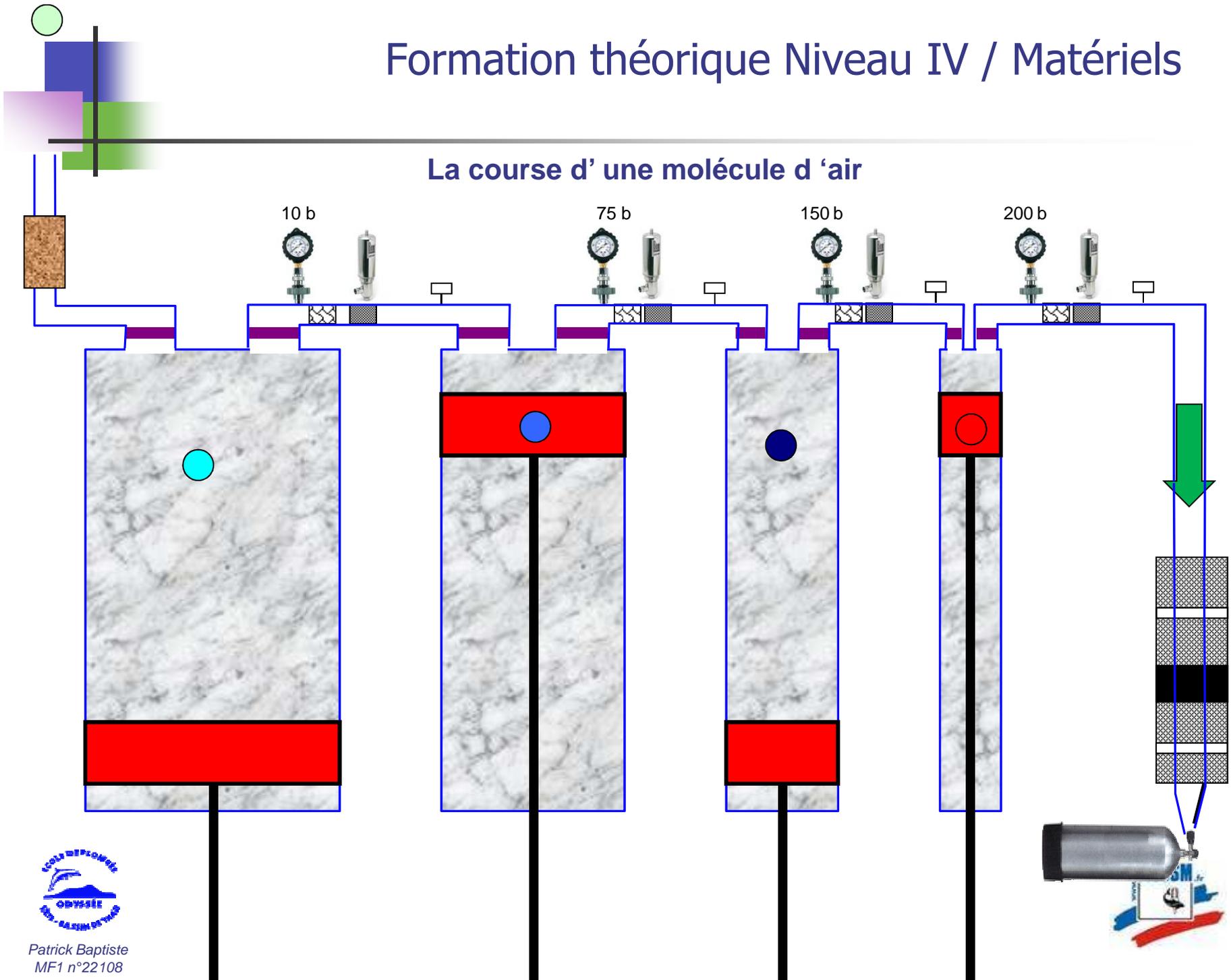


Formation théorique Niveau IV / Matériels



Formation théorique Niveau IV / Matériels

La course d'une molécule d'air



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Caractéristiques

Type :

- Disposition des cylindres (à plat, en ligne, en étoile, en V)
- Système de refroidissement (à air, à eau, air/eau)
- Piston pour l'air ou membrane pour l'oxygène

Débit en m³ par heure

Pression de Service 300, 450 bars ou plus

Son Nombre d'Étages

Attention, ne pas confondre nombre d'étages et nombre de cylindres. Il existe des compresseurs avec 2 cylindres au 1^{er} étage et 1 cylindre au 2^e, 3^e et 4^e étage.

Sa Qualité de l'air (norme NF EN 12021)



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Réglementation

Un compresseur est assimilable à une machine dangereuse

Contrôlé par la DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement)

Le clapet anti-retour détermine la limite de responsabilité du fabricant.

Avant le clapet anti-retour, le fabricant est responsable de l'entretien et des réparations. Après le clapet anti-retour, l'utilisateur est responsable (ex : le filtre à charbon actif est après le clapet anti-retour, il est donc soumis à réépreuve).

Documents :

Manuel du compresseur, Cahier d'entretien (arrêté du 13/12/1999), Cahier d'intervention, Cahier de gonflage

Affichage obligatoire :

Liste des personnes habilitées à gonfler, Consignes d'utilisation du compresseur, Consignes de chargement (arrêté du 15/03/2000), Consignes particulières

« Le personnel chargé de la conduite d'équipement sous pression doit être formé et compétant pour surveiller et prendre toute initiative nécessaire à leur exploitation sans danger »



Formation théorique Niveau IV / Matériels

CONSIGNES DE CHARGEMENT DES BOUTEILLES DE PLONGEE

1. Avant la mise en route, vérifier le niveau d'huile du compresseur.
2. Avant le raccordement au dispositif de chargement, vérifier :
 - le bon état extérieur de la bouteille
 - la date d'épreuve (date de réépreuve + marquages européens)
 - le contrôle annuel éventuel par TIV
 - la pression de chargement
 - le bon fonctionnement de la soupape de sûreté du dispositif de chargement
3. Purger la robinetterie de la bouteille
4. Raccorder la bouteille à la rampe de pression de service correspondante

Pendant le chargement,

1. Purger fréquemment les décanteurs et filtres
2. Surveiller le manomètre de chargement
3. Ne jamais dépasser la pression de service

LE PREPOSE AU CHARGEMENT DOIT REFUSER LES BOUTEILLES QUI NE REPONDENT PAS AUX EXIGENCES DE VERIFICATION



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Temps de Gonflage

Le temps de gonflage dépend du débit du compresseur et du volume à gonfler

Supposons 20 blocs de 15 L à 50 bars. On veut les remplir à 230 bars. Le compresseur a un débit 16 m³/h. Combien de temps faut-il pour les gonfler ?

Quantité d'air à comprimer :

$$20 \times 15 \times \overbrace{(230 - 50)}^{\text{pression à ajouter}} = 54\,000 \text{ litres}$$

Débit = 16 m³/h soit 16 000 L/h (1 m³ = 1 000 litres)

$$\text{Temps nécessaire} = \frac{\text{Quantité d'air à comprimer}}{\text{Débit du compresseur}} = \frac{54\,000}{16\,000} = 3,38 \text{ h soit } 3 \text{ h } 23$$



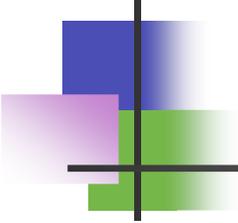
Formation théorique Niveau IV / Matériels

Pour gagner du temps, il est possible d'utiliser des bouteilles tampons



Patrick Baptiste
MF1 n°22108





Formation théorique Niveau IV / Matériels

Les bouteilles de plongée



Patrick Baptiste
MF1 n°22108



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Caractéristiques

Matériau utilisé : Acier ou aluminium

Volume : 6, 10, 12, 15 ,18 L

Pression de service : 176, 200, 230, 300 bars

Poids : 6,8 kg à 20,3 kg

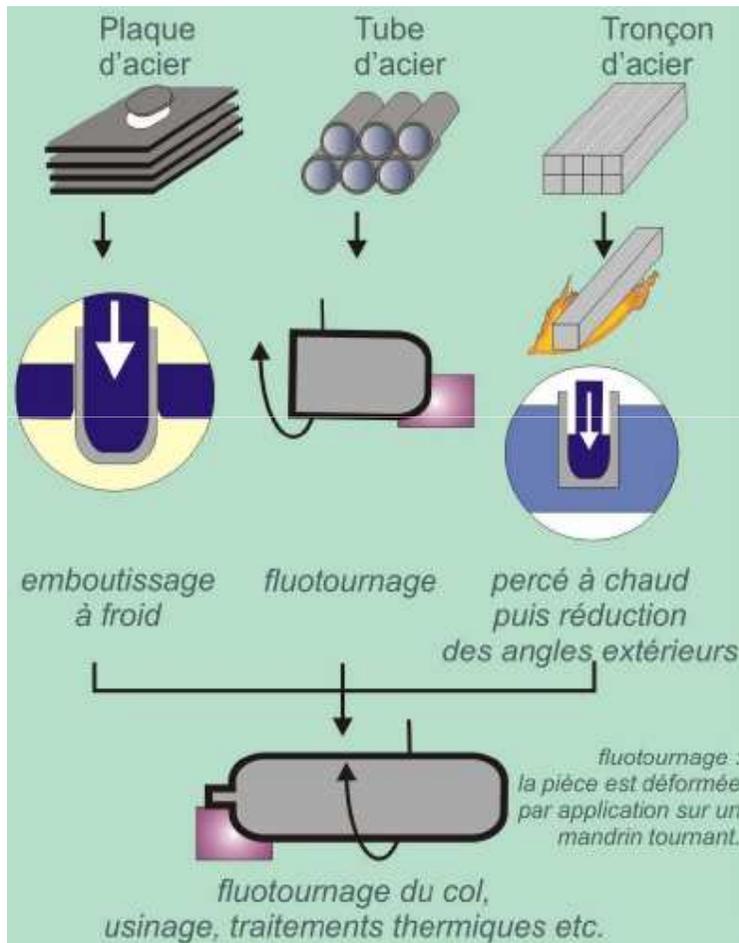
Gaz contenu : Air ou Nitrox



Patrick Baptiste
MF1 n°22108



Formation théorique Niveau IV / Matériels



Fabrication d'un bloc en acier

Chaque mode de fabrication dépend du constructeur :

Emboutissage → IWKA,
Fluotournage → Roth,
Percé à chaud → Faber,



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Fluotournage



Ces bouteilles ont un fond plus épais et sont donc plus lourde pour un volume identique.



Patrick Baptiste
MF1 n°22108



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Blocs en Aluminium

Résiste mieux à la corrosion due à l'eau de mer

Légèreté :

- densité (Al) = 2,7
- densité (acier) = 7,8

→ à vide = flotte

Principalement utilisé aux Etats-Unis et en mer chaude



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Mentions Obligatoires

Marques d'identité :

- Nom du constructeur
- Année de fabrication
- Numéros de fabrication
- Pression d'épreuve
- Volume intérieur
- Marque européenne

Marques de service :

- Nature du gaz
- Pression maximale d'utilisation (pression de service)
- Date de dernière épreuve

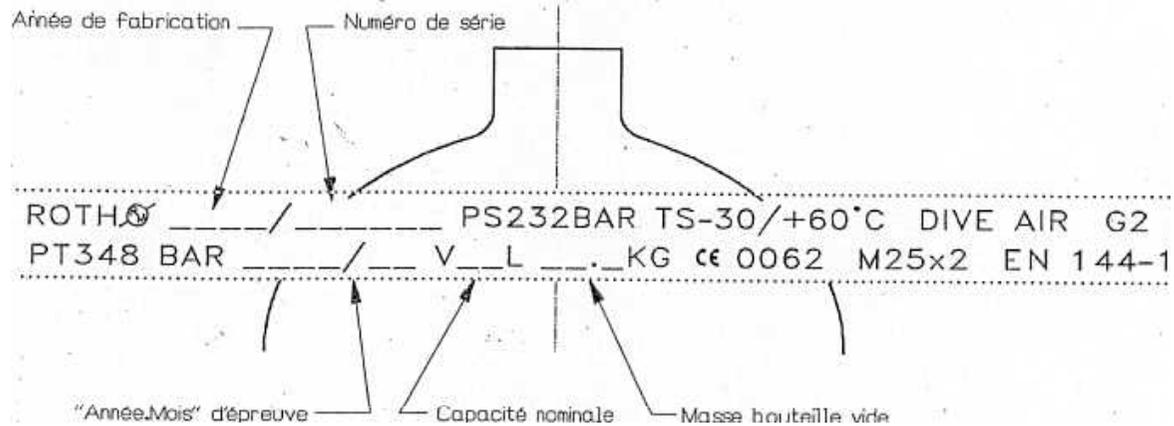


Patrick Baptiste
MF1 n°22108

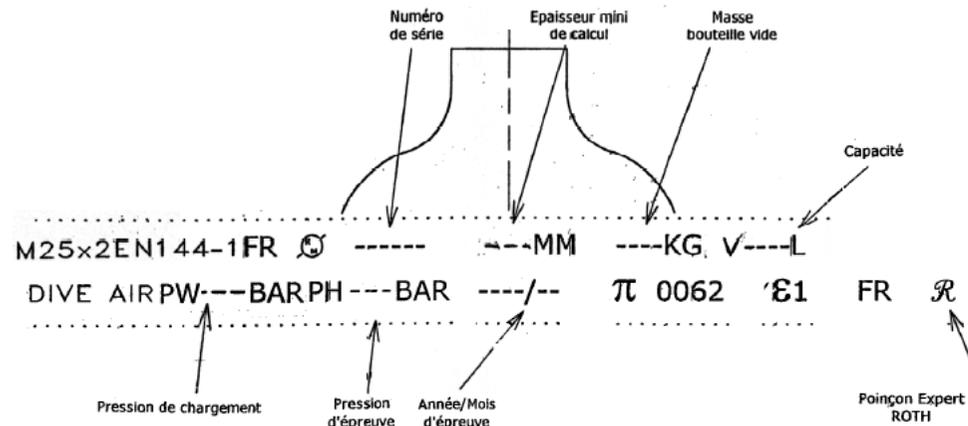


Formation théorique Niveau IV / Matériels

Suivant Directive Européenne CE 97/23

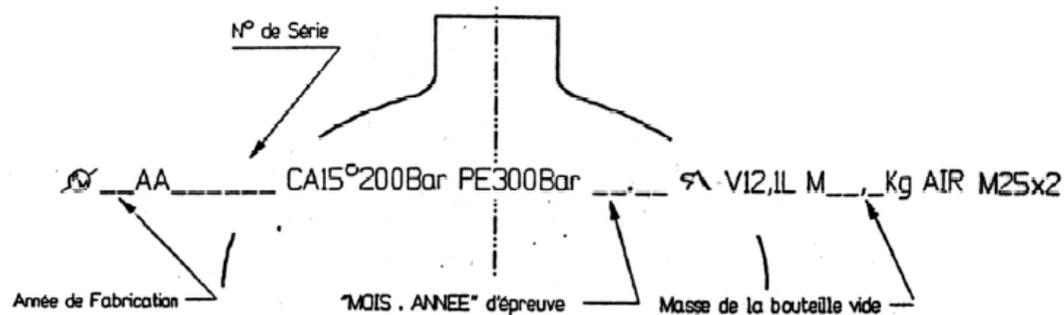


Suivant Directive Européenne CE 99/36

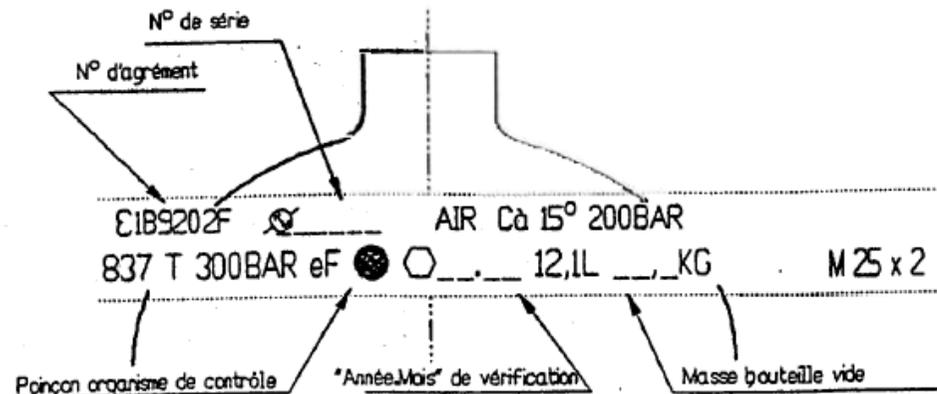


Formation théorique Niveau IV / Matériels

Suivant Arrêté Ministériel du 9 Février 1982



Suivant Directive Européenne CE 84-525 CEE



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Marquage des blocs : les sigles constructeurs

Sigles des fabricants apposés sur les bouteilles, matériau utilisé et provenance			
Roth			
1941 à 1972	1972 à 1974	1975	1976 à 1983
	ROTH COLOMBES	OLAER MIONS	
	1983 à 1992	Depuis 1992	
	ROTH MIONS		
France			
Mannesmann	IWKA	Heiser	FABER
	I W K A		F A B E R
Acier Allemagne	Acier Allemagne	Acier Autriche	Acier Italie
LUXFER	Société Métallurgique de Gerzat	Société Lorraine-Escaut	Société de forgeage de Rive de Gier
L U X F E R	S.M. GERZAT	E M A N Z I N	
Alliage d'aluminium Royaume-Uni	Alliage d'aluminium France	Acier France	Acier France



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Tableau des visites obligatoires

Inspections et requalifications périodiques			
Types de bloc	Intervalle maximum entre 2 inspections	Intervalle entre 2 requalifications	Remarques
Bouteilles de plongée métalliques ¹	12 mois	2 ans	Régime général Arrêté du 15 mars 2000
(acier ou aluminium ²)	12 mois	5 ans	Régime dérogatoire TIV Arrêté du 15 mars 2000 Arrêté du 18 novembre 1986
Bouteilles non métalliques (composite)	12 mois	2 ans	Arrêté du 30 mars 2005
Réglementation en cours d'évolution (arrêté du 30 mars 2005). A suivre...	40 mois	5 ans	Bouteilles ayant fait l'objet d'essais de contrôle de vieillissement (pas de prise en charge possible par un TIV).
Bouteilles de bouée métalliques	Même réglementation que les blocs de plongée depuis le 17/12/97, si le volume est supérieur à 1 litre (sinon, aucun contrôle)		
Bouteilles tampons	40 mois	10 ans	Arrêté du 15 mars 2000
Filtres compresseurs	40 mois	10 ans	Arrêté du 15 mars 2000
Bouteilles métalliques pour appareils de réanimation (oxygène)	40 mois	10 ans	Nécessitent une Autorisation de Mise sur le Marché, comme les médicaments.
Documents de référence : Arrêté du 23 juillet 1943 - Arrêté du 20 février 1985 - Arrêté du 18 novembre 1986 Arrêté du 17 décembre 1997 - Arrêté du 15 mars 2000 - Arrêté du 30 mars 2005			
¹ Depuis l'arrêté du 17 décembre 1997, il n'y a plus de distinction entre les bouteilles en acier et celles en aluminium. Elles sont classées comme « bouteilles métalliques ».			
² Les blocs aluminium en alliage AG5 sont interdits d'utilisation au-delà de 10 ans.			



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Réglementation

Types de Bloc	Intervalle entre 2 inspections	Intervalle entre 2 requalifications	Remarques
Bouteilles de plongée	12 mois	2 ans	Régime général arrêté du 15/03/2000
	12 mois	5 ans	Régime Tiv Arrêté du 15/03/2000 Arrêté du 18/11/1986
Tampons	40 mois	10 ans	Arrêté du 15/03/2000
Filtres de compresseur	40 mois	10 ans	Arrêté du 15/03/2000



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Le régime T.I.V

Les membres de droit de l'ancien comité consultatif plongée auprès du ministère JS (FFESSM, FSGT, ANMP et SNMP) bénéficient d'un **régime dérogatoire**, accordé par l'arrêté du 18 novembre 1986, qui porte l'intervalle de requalification obligatoire de 2 ans à 5 ans.

Pour bénéficier de cette dérogation les bouteilles doivent être :

- Inscrites sur le registre du club
- Être inspectée au moins une fois par an par un technicien d'inspection visuelle (TIV) formations spécifique proposée par le FFESSM et accessible à partir de 18 ans.

Un autocollant à coller sur la bouteille et un certificat de visite atteste de la réalité du contrôle.

Les consignes de chargement doivent obligatoirement être affichées à proximité de la rampe de chargement



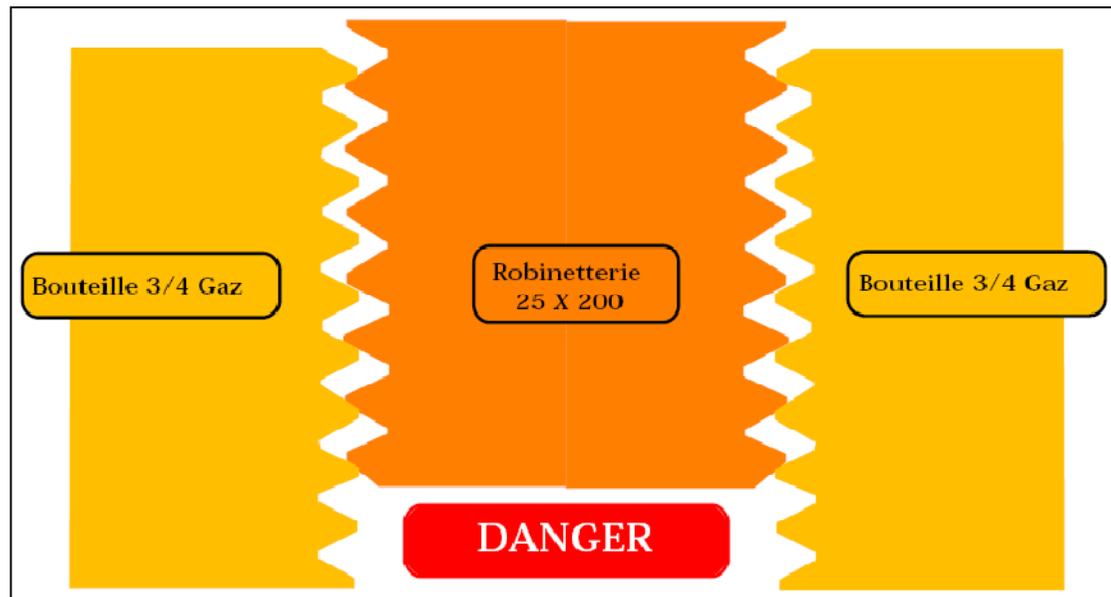
Formation théorique Niveau IV / Matériels

La Robinetterie

Attention aux différents pas de vis

Certaines robinetteries s'adaptent au bloc mais le filetage ne correspond pas à celui du bloc

→ DANGER !!!



Toute intervention sur une robinetterie doit être confié à un spécialiste

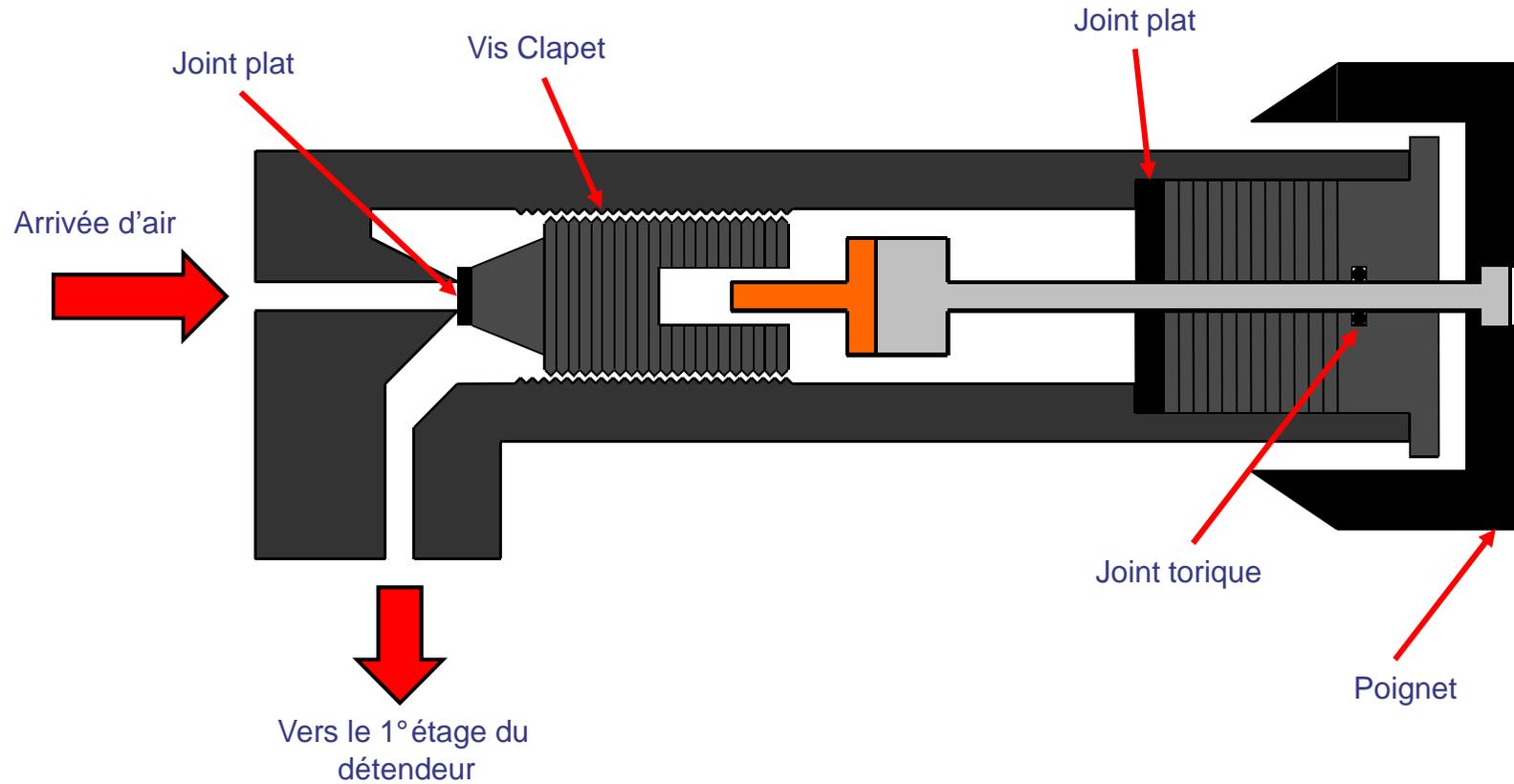


Patrick Baptiste
MF1 n°22108



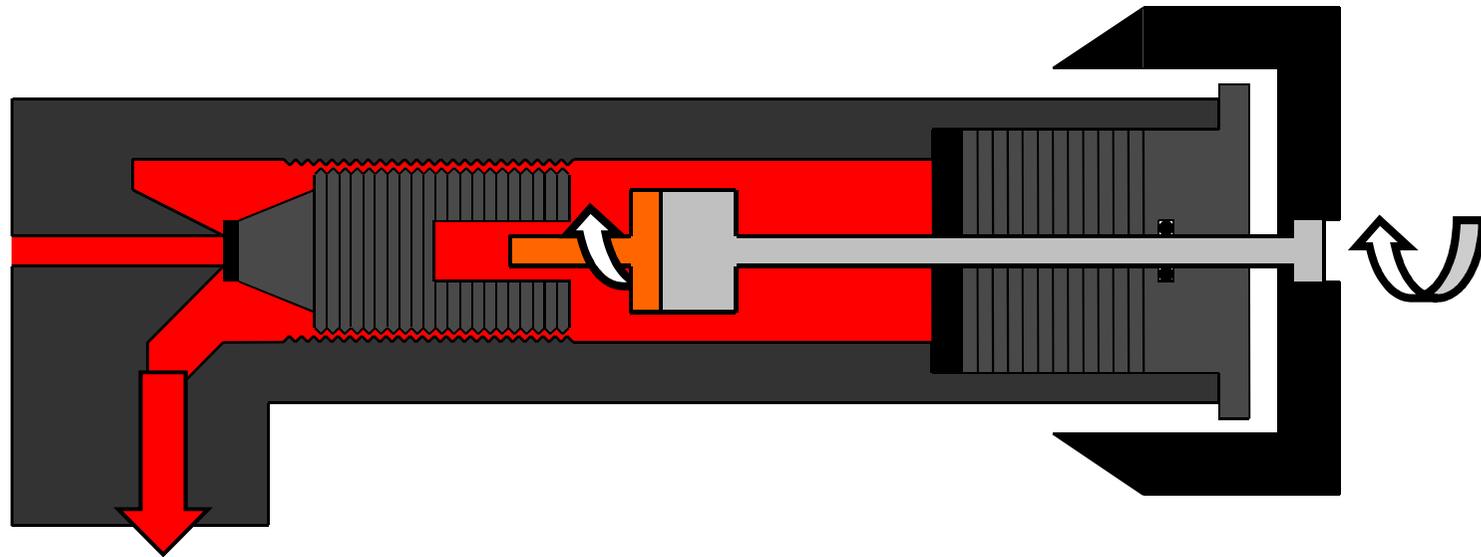
Formation théorique Niveau IV / Matériels

Schéma légendé



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Fonctionnement



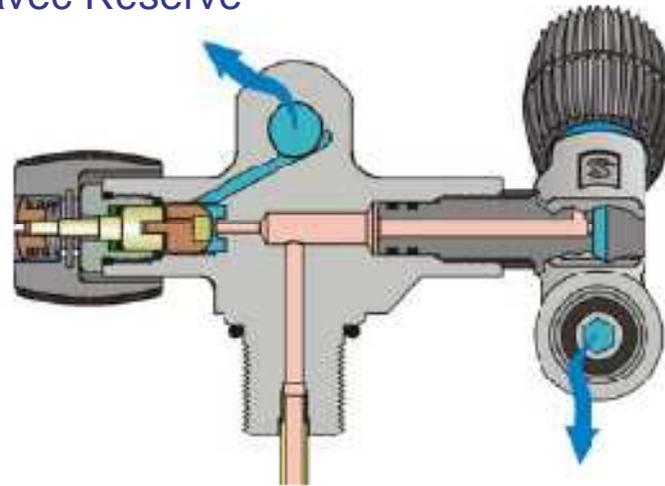
Patrick Baptiste
MF1 n°22108



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Robinetterie avec Réserve

Réserve mécanique



En inspirant

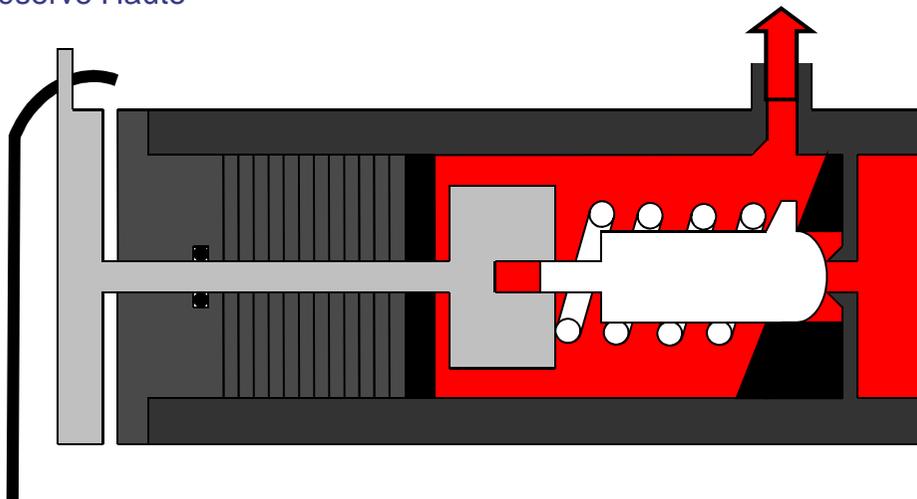
$P(\text{air}) > F(\text{ressort})$
Le clapet se déplace

L'air pénètre dans la
chambre jusqu'à
repousser le ressort

Et si le bloc est à 50 bars ?

Réserve Haute

Vers le 1^{er} étage du
détendeur



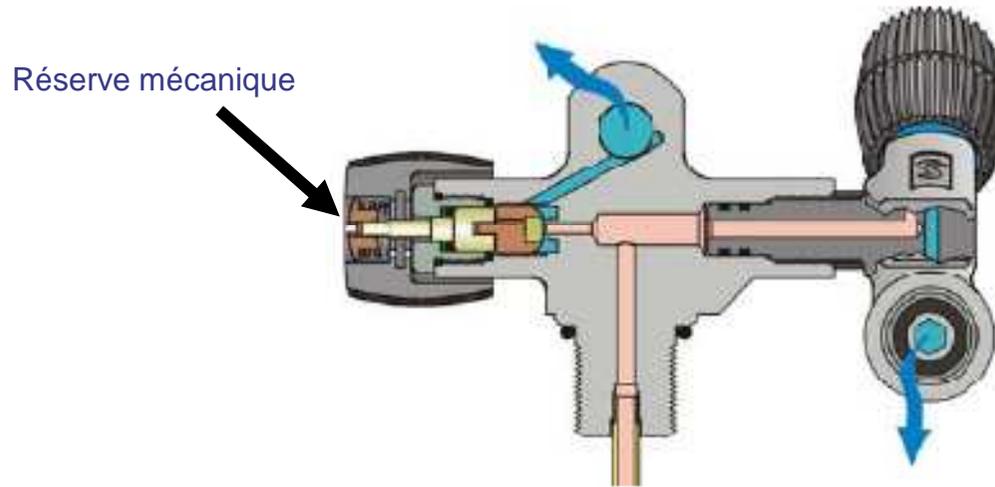
Arrivée d'air à 200
bars de la bouteille



Patrick Baptiste
MF1 n°22108



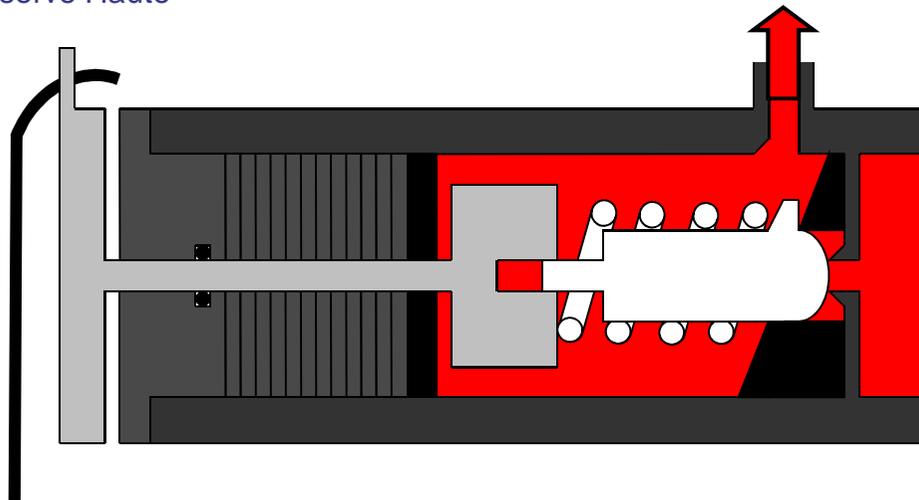
Formation théorique Niveau IV / Matériels



$P(\text{air}) < F(\text{ressort})$
Il faut « tirer » la réserve
Le clapet ne bouge pas
Le plongeur a des difficultés à respirer.

Réserve Haute

Vers le 1^{er} étage du détendeur



Arrivée d'air à 50 bars
de la bouteille

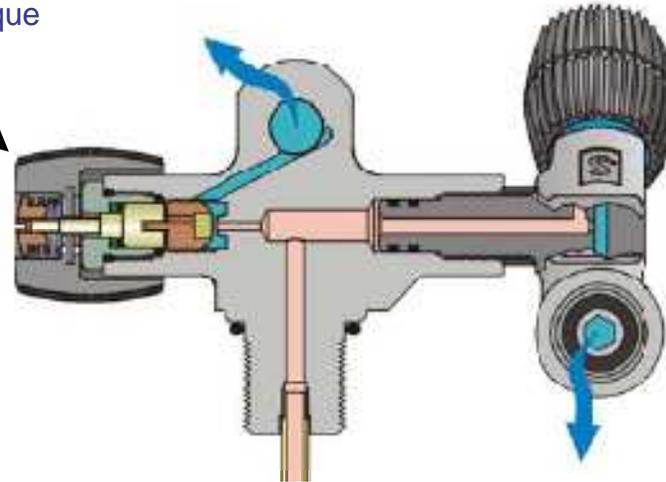


Patrick Baptiste
MF1 n°22108



Formation théorique Niveau IV / Matériels

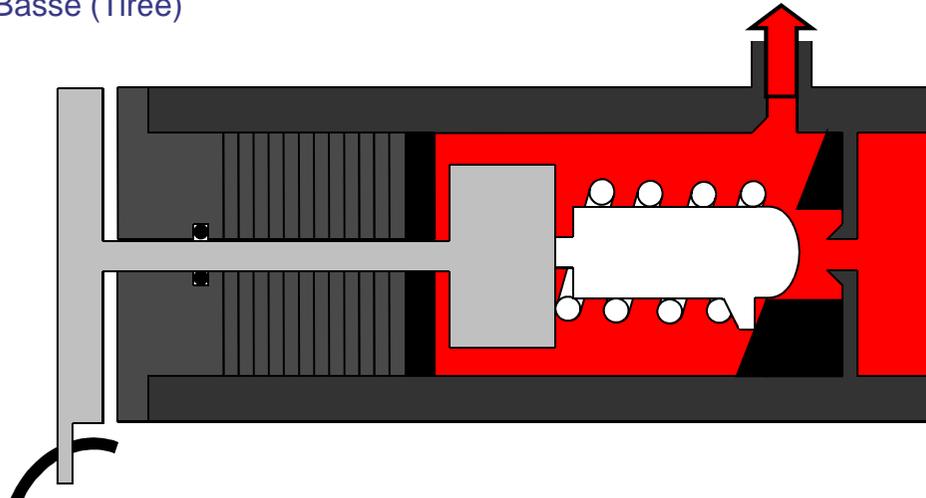
Réserve mécanique



Le mécanisme est libéré
Le plongeur respire sans problème

Réserve Basse (Tirée)

Vers le 1^{er} étage du détenteur



Arrivée d'air à 50 bars
de la bouteille



Patrick Baptiste
MF1 n°22108



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Les Bouteilles Tampons

Bouteilles de 30 ou 50L gonflées à 300 ou 350 bars couplées à un compresseur

- Stock d'air comprimé disponible
- Diminue le temps de gonflage

Pour gonfler des bouteilles à l'aide de tampons :

1. Vérifier les bouteilles
2. Purger les robinetteries
3. Fermer les robinets
4. Mise en communication les blocs à gonfler
5. Ouverture d'un tampon (**toujours commencer par les tampons les moins remplis**)
6. Fermer les robinets



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Equipression: Mise en communication des bouteilles = mise en équilibre des pressions

Si l'on met un bloc de 12 L à 30 bars en équipression avec un bloc de 15 L à 70 bars.

Quelle est la pression finale une fois l'équilibre atteint ?

Calcul de la quantité d'air total

$$(12 \times 30) + (15 \times 70) = 360 + 1050 = 1410 \text{ L}$$

Ce volume d'air se répartira dans les deux blocs, soit un volume de (12+15) 27 L.

La pression finale est de $\frac{\text{Volume d'air}}{\text{Volume des blocs}} = \frac{1410}{27} = 52 \text{ bars}$



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Ouverture d'un tampon

- Y-a-t-il suffisamment d'air ?
- Quelle sera la pression finale dans les tampons ?

Air nécessaire :

Quelle quantité d'air faut-il introduire dans les blocs ?

On veut gonfler les blocs à 200 bars. Ils correspondent à un bloc de 27 L à 52 bars

Air à introduire :

$$200 - 52 = 148 \text{ bars} \quad \text{donc} \quad 148 \times 27 = 3996 \text{ L}$$

3 tampons de 50 L sont gonflés à 350 bars.

Seule la pression au dessus de 200 bars est utile pour gonfler.

Air disponible dans les tampons :

$$(\text{Pression finale} - \text{Pression initiale}) \times \text{volume} = (350 - 200) \times (3 \times 50) = 22\,500 \text{ L}$$

Il y a suffisamment d'air



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Ouverture d'un tampon

- Y-a-t-il suffisamment d'air ?
- Quelle sera la pression finale dans les tampons ?

Pression finale dans les tampons :

Le volume d'air total dans les tampons :

$$(3 \times 50) \times 350 = 52\,500 \text{ L}$$

22 500 L ont été utilisés. Il faut donc les enlever du stock total.

$$52\,500 - 22\,500 = 30\,000 \text{ L}$$

Il reste donc 30 000 L dans 150 L (3 tampons de 50 L).

La pression finale est de $\frac{30\,000}{150} = 200 \text{ bars}$



Formation théorique Niveau IV / Matériels

En ouvrant les tampons les moins remplis, on profite de leurs stocks disponibles pour commencer à gonfler les blocs.

Si on équilibrerait avec les tampons les plus remplis, il ne sera pas possible de continuer de gonfler avec les moins remplis. Au pire, si la pression dans les blocs est supérieure aux tampons, on gonflerait les tampons avec les blocs à remplir.

Dans certains cas, la quantité d'air des tampons n'est pas suffisante. Il faut donc continuer le gonflage avec le compresseur.

Pensez à fermer les tampons pour éviter de les gonfler en même temps que les blocs.

Il est plus judicieux de gonfler les tampons seuls pendant les heures creuses.



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Rapport entre la pression et la température

$$\frac{P \times V}{T} = \text{constante}$$

L'air (et le bloc) s'échauffe pendant la phase de gonflage, à volume constante (cas du gonflage des bouteilles de plongée), la pression et la température du gaz augmente proportionnellement.

par voie de conséquence la pression mesurée en fin de gonflage (à chaud) ne sera plus la même lorsque la température du bloc sera revenu à la température ambiante.

Un calcul simple permet de déterminer la pression restante dans le bloc après refroidissement.

Le nombre magique

>> **273**



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Rapport entre la pression et la température

Calcul de la pression restante :

$$\frac{\text{Pression de gonflage} \times \text{Température à froid}}{\text{Température à chaud}}$$

Attention :

La température doit être exprimée en Kelvin (0°C = 273 K)

Prenons l'exemple d'un bloc gonflé à 200 bars et dont la température a atteint 50 °C puis a été stocké à 20°

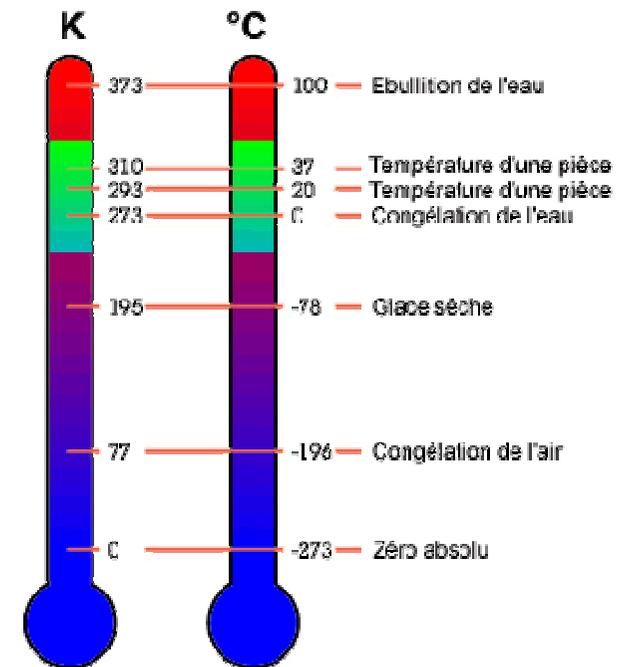
Température convertie en degré Kelvin:

$$50^{\circ}\text{C} = 50 + 273 = 323\text{K}$$

$$20^{\circ}\text{C} = 20 + 273 = 293\text{K}$$

Calcul de la pression restante après refroidissement

$$\frac{200 \times 293}{323} = 181 \text{ bars}$$



Formation théorique Niveau IV / Matériels

Des questions ?



Patrick Baptiste
MF1 n°22108



La prochaine fois ...

- Réglementations
- Physique appliquée à la plongée
- Système nerveux et plongée
- Les accidents toxiques en plongée
- Système circulatoire et plongée
- Système respiratoire et plongée
- Sphère ORL et plongée
- Éléments de calcul de tables
- Utilisation des tables de plongées
- Procédures particulières de décompression
- Ordinateur de plongée et planification
- Matériel de plongée – le détendeur
- Matériel de plongée – compresseur - bouteille
- **Matériel de navigation, de sécurité et matelotage**
- Orienter et conduire sa palanquée en sécurité
- Être un guide de la mer connaissant le milieu

