

Le matériel de plongée

Aquademie Paris Plongée: Jean-Marc Bourgoin 2017

Le matériel de plongée: pourquoi ?

- Comprendre son fonctionnement*
- Connaître ses limites d'utilisation*
- Être capable de choisir son matériel en connaissance de cause*
- Savoir le contrôler et l'entretenir*
- Être capable de déceler une panne et y remédier*
- Être en mesure d'utiliser le matériel de son binôme*
- Adapter son matériel à la plongée envisagée*
- Adapter son matériel à la plongée en autonomie*

Sommaire

1. Rappel sur les notions de physique appliquées à la plongée
 - Pression
 - Compressibilité des gaz
2. Matériel de plongée
 - Rappel sur le matériel obligatoire
 - La bouteille de plongée
 - Le détendeur
 - Le gilet stabilisateur
 - Autre matériel

1-Rappel sur les notions de physique appliquées à la plongée

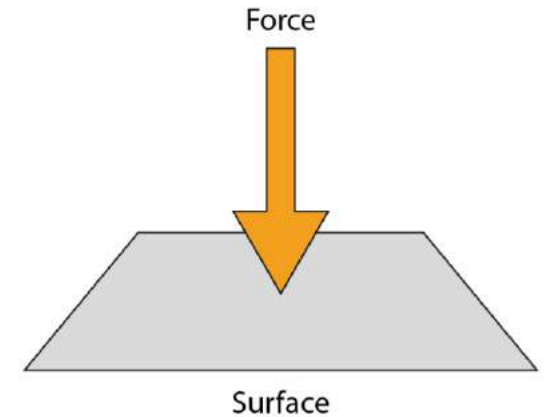
La pression

Comprendre la notion de pression permet de comprendre ses effets sur le plongeur et son équipement

- Effets des variations de pression sur l'équilibrage*
- Effets de la pression sur la consommation en air*
- Effets des variations de pression sur le plongeur (barotraumatisme, ADD)*
- Effets de la pression sur les gaz respirés (narcose)*

La pression: définition

La pression est une force qui s'applique sur une surface $P=F/S$



En plongée, on exprime souvent la pression en bar (b) ($1 \text{ bar} = 1 \text{ kg force/cm}^2$)

Il existe d'autres unités de mesure:

le Pascal, le mm de mercure (mm Hg), le psi (anglosaxon)

La pression est d'autant plus grande

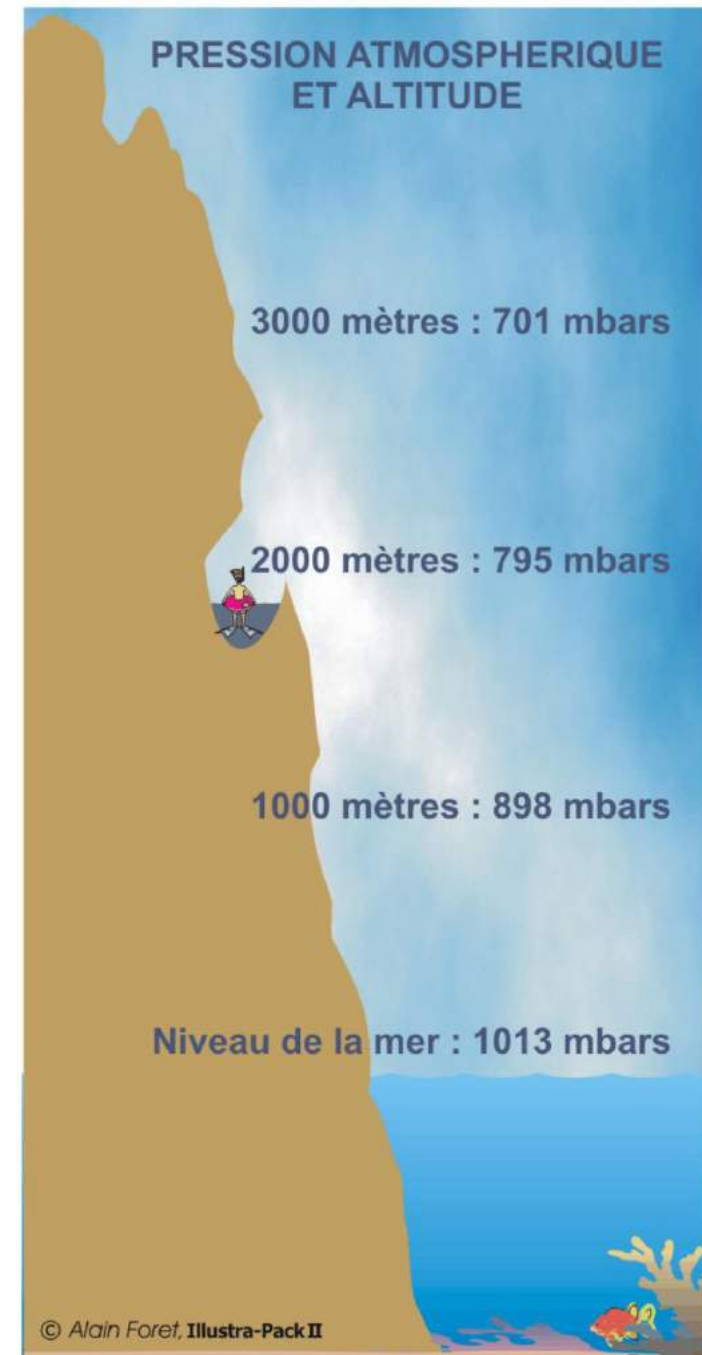
- que la force exercée est importante
- que la surface sur laquelle elle s'exerce est petite

En surface

Au niveau de la mer et à 15°C la pression atmosphérique est environ égale à 1 bar

La pression atmosphérique correspond au « poids de la colonne d'air »

Elle diminue avec l'altitude



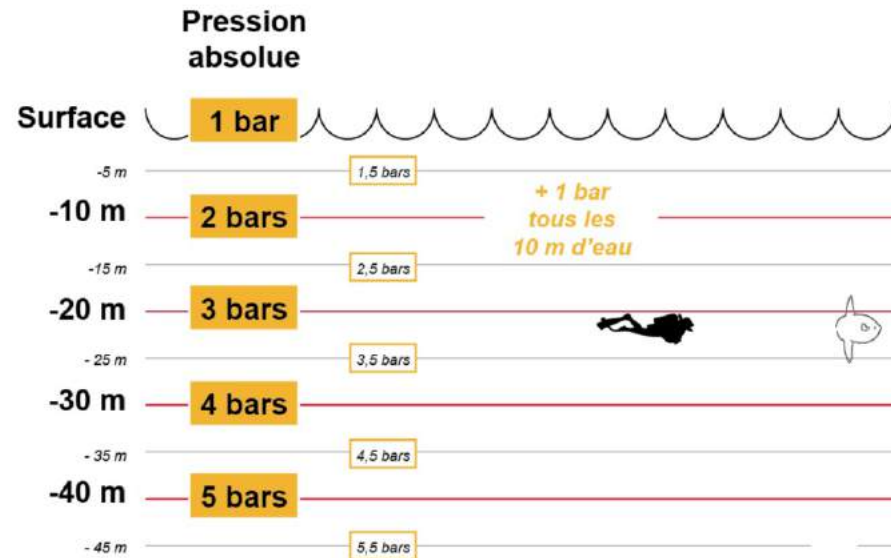
Sous l'eau

La pression « hydrostatique » correspond au poids de la colonne d'eau (1 bar à 10 m, 2 bar à 20 m,)

$\text{Pression hydrostatique} = \text{profondeur} / 10$

Tout corps dans l'eau subit la pression liée à l'eau + la pression atmosphérique.
La somme de ces 2 pressions est appelée **pression absolue**.

PRESSION ABSOLUE
=
PRESSION ATMOSPHÉRIQUE
+
PRESSION HYDROSTATIQUE



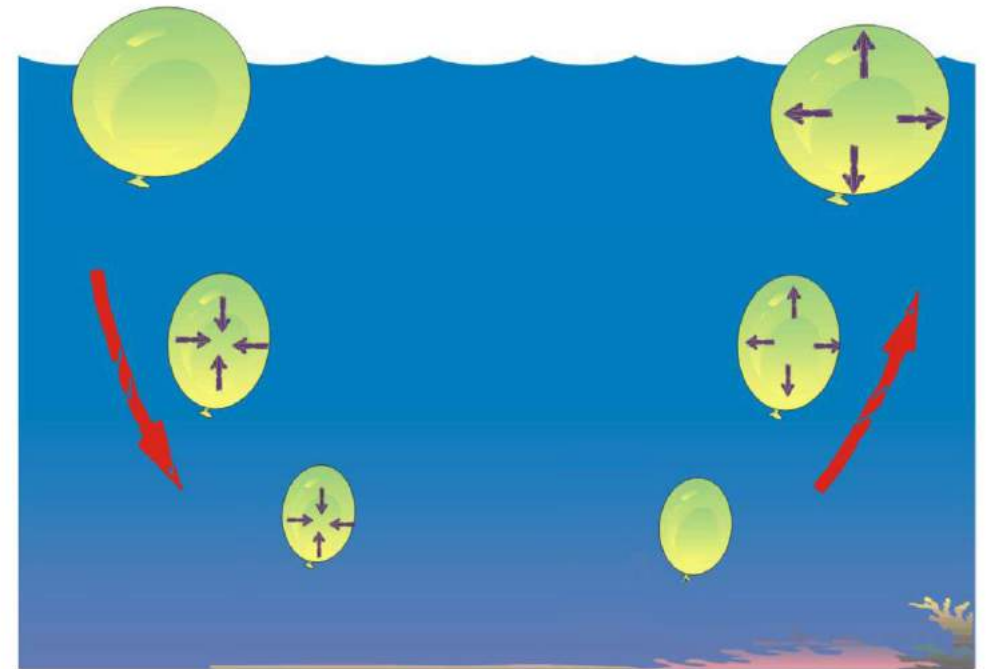
Les effets de la pression sur les volumes

En plongée, les volumes fermés remplis de gaz diminuent avec l'augmentation de la profondeur et donc de la pression

Ce même volume retrouve sa taille initiale à mesure qu'il remonte vers la surface

Seuls les gaz se compriment et se dilatent avec les variations de pressions.

Les solides et les liquides sont incompressibles



Les plus grandes variations de pressions ont lieu près de la surface.
Ainsi entre la surface et une profondeur de 10 m, la pression double

La loi de Boyle Mariotte
« A température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il reçoit »

En plongée:

- A la descente, la pression augmente = les gaz se compriment
- A la remonté, la pression diminue = les gaz se dilatent

Le volume d'un gaz varie de façon inversement proportionnelle à la pression

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

Les conséquences de la loi de Boyle Mariotte:

- Accident barotraumatique
- Effet sur la consommation d'air
- Effet sur l'équipement (combinaison, gilet)

Effet sur la consommation d'air

L'air étant comprimé en profondeur, pour un même volume d'air inspiré, la Quantité d'air consommée augmente avec la profondeur.

Un plongeur qui respire 15 l/min en surface respirera à 20 m de profondeur 3 fois plus, soit 45 l/min

Exemple avec une consommation de 20 litres par minute en surface

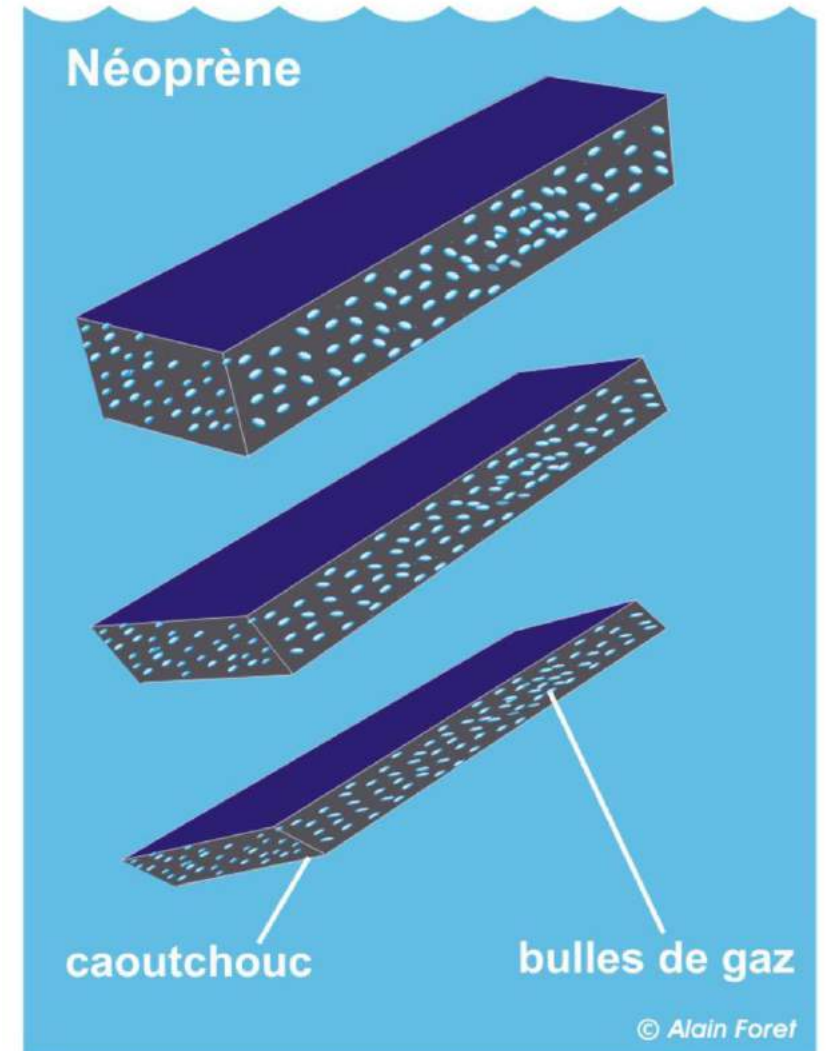
Profondeur	Pression absolue	Consommation Air	Autonomie avec bloc de 12 L. gonflé à 200 bars avant panne d'air	Autonomie avec bloc de 12 L. gonflé à 200 bars avant réserve 50 bars	Durée avant palier <small>(Courbe de sécurité des tables MN90)</small>
Surface	1 bar	20 l./min.	120 minutes	90 minutes	-
Prof. 10m	2 bars	40 l./min.	60 minutes	45 minutes	330 minutes
Prof. 20m	3 bars	60 l./min.	40 minutes	30 minutes	40 minutes
Prof. 30m	4 bars	80 l./min.	30 minutes	23 minutes	10 minutes
Prof. 40m	5 bars	100 l./min.	24 minutes	18 minutes	5 minutes

Les effets de la pression sur la combinaison

*Le volume de la combinaison diminue
Avec la profondeur.
Avec l'augmentation de la pression, la
Combinaison « s'écrase »....*

*... et le plongeur est de plus en plus
« lourd » à mesure qu'il descend.*

*L'écrasement de la combinaison avec la
Profondeur sera compensé par le gilet.*



1- Le matériel de plongée

- 1. Rappel sur le matériel obligatoire*
- 2. La bouteille de plongée*
- 3. Le détendeur*
- 4. Le gilet stabilisateur*
- 5. Autre matériel utile*

Le matériel obligatoire du plongeur

Chaque plongeur doit disposer des matériels suivants:

- 1- Un manomètre pour tous, sur chaque bouteille de plongée, ou système équivalent permettant d'indiquer la pression au cours de la plongée (sonde électronique, attention aux pannes!)



Si la plongée se fait en milieu naturel:

- 2- Un système gonflable au moyen de gaz comprimé (un gilet avec direct-system par exemple) permettant de regagner la surface et de s'y maintenir.
- 3- En milieu naturel, chaque palanquée dispose d'un parachute de palier.



Le matériel obligatoire du plongeur

En milieu naturel, chaque plongeur encadré au-delà de 20 mètres et chaque plongeur en autonomie est muni:

4- d'un équipement de plongée permettant d'alimenter en gaz Respirable un équipier sans partage d'embout.

C'est-à-dire disposer d'une 2^{ème} source d'air tel qu'un détendeur de secours (octopus)

5- des moyens de contrôler personnellement les caractéristiques de la plongée et de la remontée de la palanquée (montre + profondimètre + tables Immergeables ou ordinateur de plongée)

Les plongeurs savent donc utiliser ce matériel en cas de nécessité.

6- Les matériels subaquatiques et équipements nautiques utilisés par les plongeurs sont régulièrement vérifiés et correctement entretenus.



La bouteille de plongée

- *En acier ou en aluminium (variation de poids), voire en carbone*
- *Différentes tailles = différents volumes*
- *Bloc long / bloc court / bi bouteilles/ Bloc de déco/*
- *Différents procédés de fabrication*
- *1 ou plusieurs robinets*



Selon le modèle de bouteille utilisé

- *Impact sur l'autonomie*
- *Impact sur la flottabilité et le lestage*
- *Impact sur l'équilibre*

La bouteille de plongée

Identification sur la bouteille

Nom du fabricant

Numéro d'identification

Identification du contenu

Qualité de la bouteille

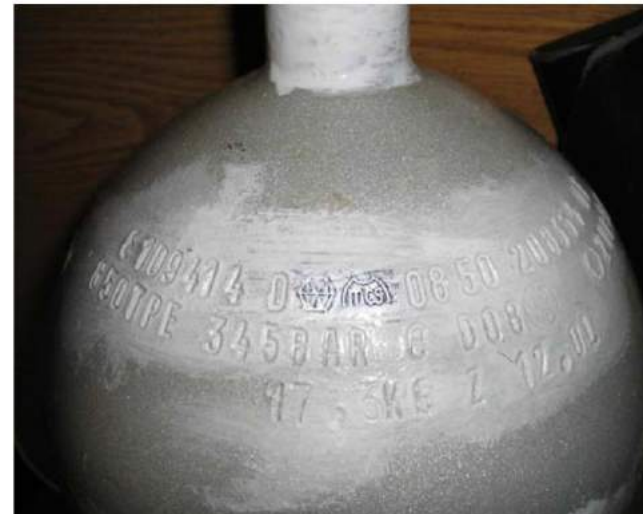
Capacité en litre

Température d'utilisation

Pression de chargement en bar

Pression de ré-épreuve

Date de ré-épreuve



La bouteille de plongée

Précaution d'usage

- *Veillez à empêcher tout risque de corrosion, intérieur ou extérieur*
- *Eviter les chocs*
- *Eviter l'exposition au soleil*
- *Prendre soin de la robinetterie*
- *Risque de chute: coucher la bouteille/ bien l'attacher sur le bateau*
- *Entreposer la bouteille debout*

La bouteille de plongée: entretien

Règles de sécurité

- *Vérification régulière par des spécialistes*
- *Règlementation spécifique*

Inspection (au moins une fois par an)

- *Examen visuel, intérieur et extérieur de la bouteille et de la robinetterie*
- *Petit entretien*

Requalification (ou ré-épreuve) tous les 2 ans ou tous les 5 ans si régime TIV

- *Eprouver la bouteille en la remplissant d'eau à 1,5 fois sa pression de service*
- *Intervention plus importante*

Régime TIV (Technicien d'inspection Visuelle)

- *La bouteille doit être inscrite sur le registre du club FFESSM*
- *Inspection annuelle répertoriée sur le site internet de la FFESSM dédié*

La bouteille de plongée: entretien

BOUTEILLES :
Acier ou aluminium
mêmes obligations

Cas général :

- Inspection visuelle au moins tous les 12 mois
- Requalification tous les **2 ans**



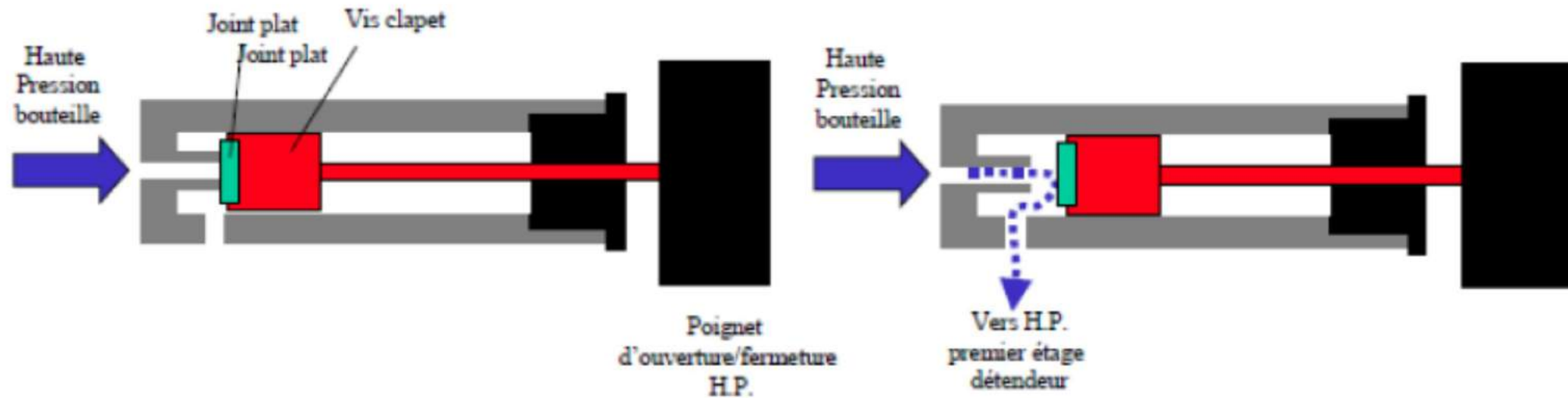
Requalification

- ## Régime TIV
- Inspection visuelle au moins tous les 12 mois par un TIV
 - Requalification tous les **5 ans**



Inspection visuelle

La bouteille de plongée: La robinetterie



Le détendeur

Rôle du détendeur: procurer de l'air à pression ambiante, sur demande, et quelque soit
La position du plongeur

Détendeur à 2 étages = détente de l'air en 2 étapes

Premier étage:

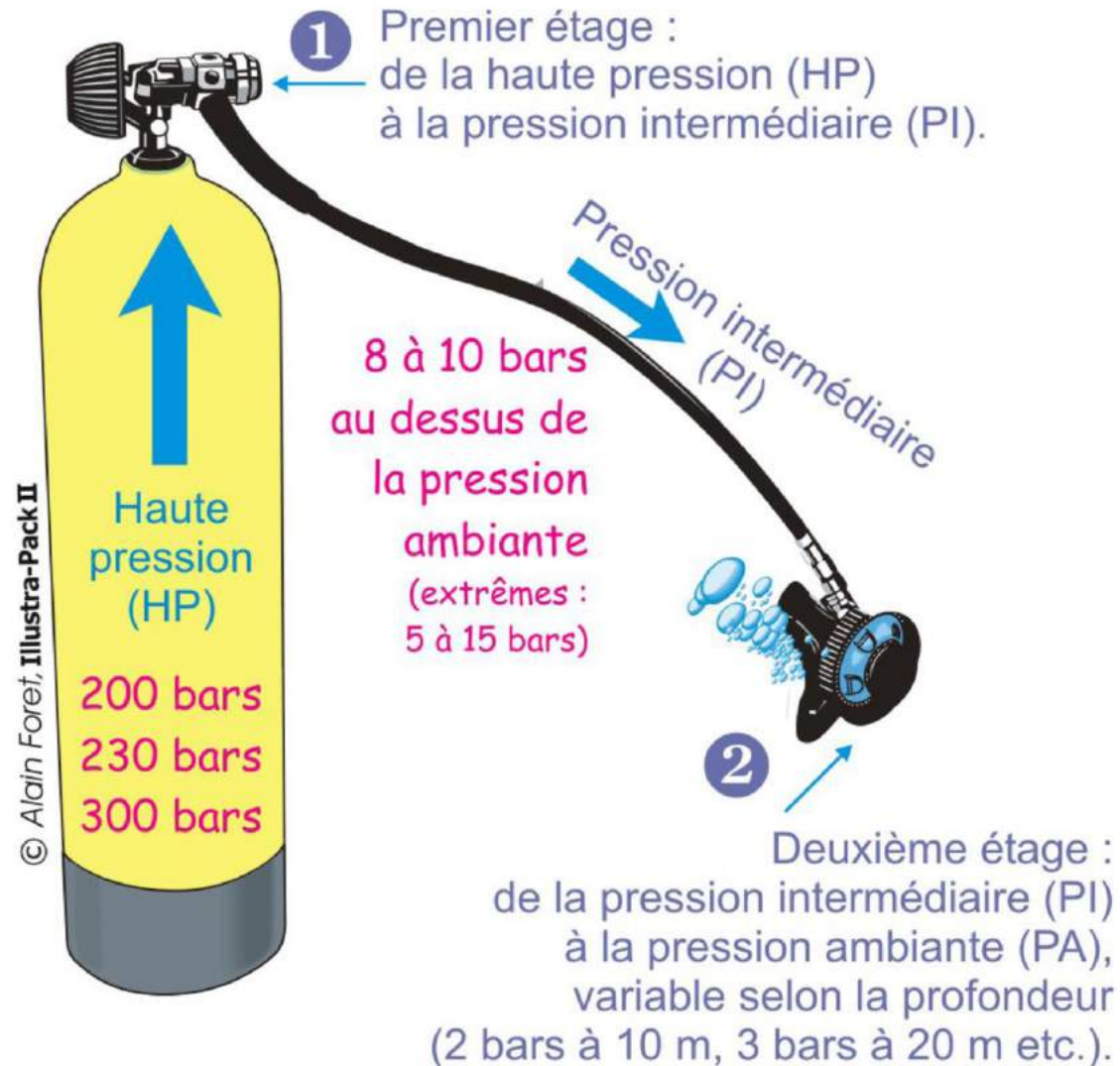
Transforme l'air sous haute
pression (hp) de la bouteille
en moyenne pression (mp)

Deuxième étage:

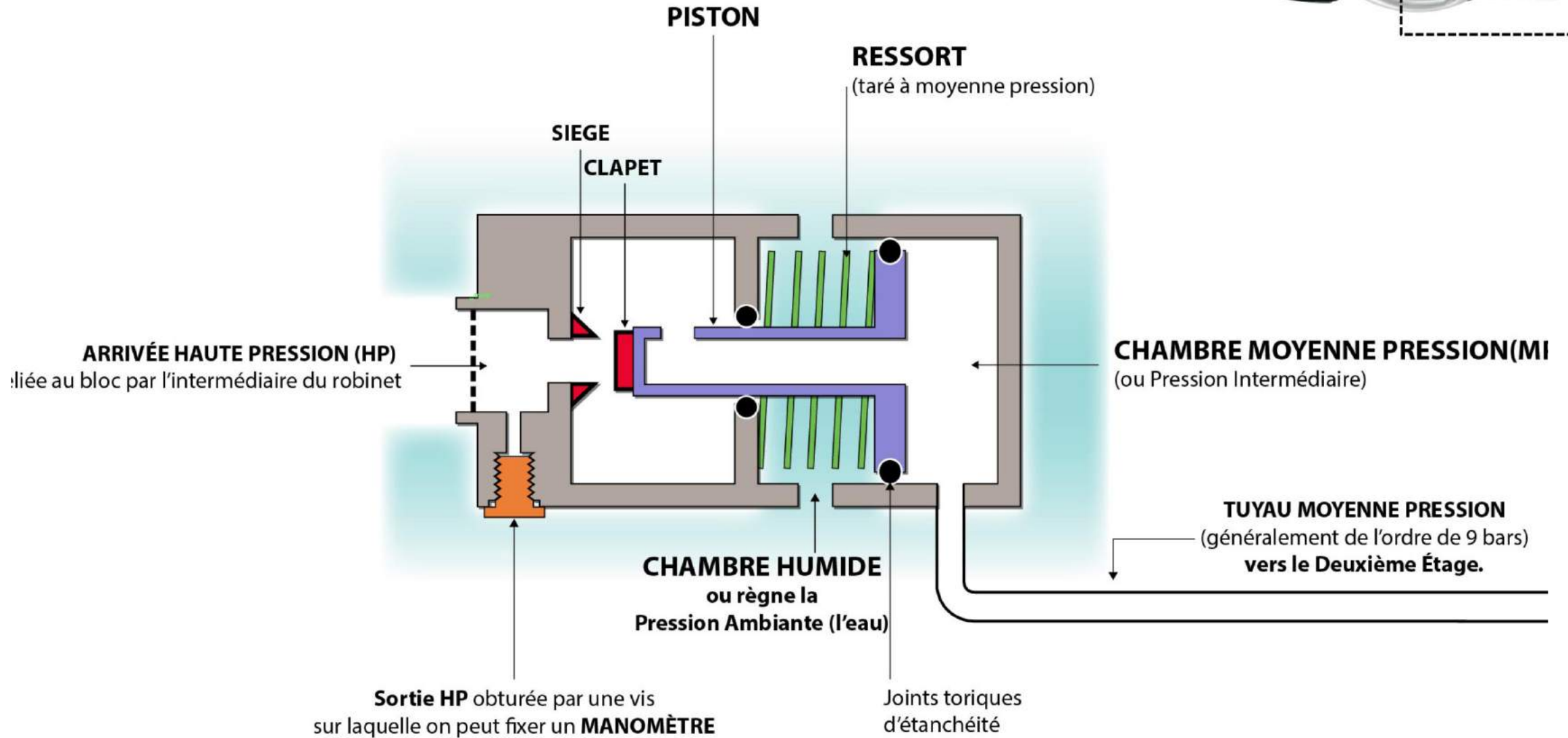
Transforme la moyenne pression
(mp) en pression ambiante (pa)
qui peut alors être inspiré par
le plongeur



Le détendeur : Principe de fonctionnement

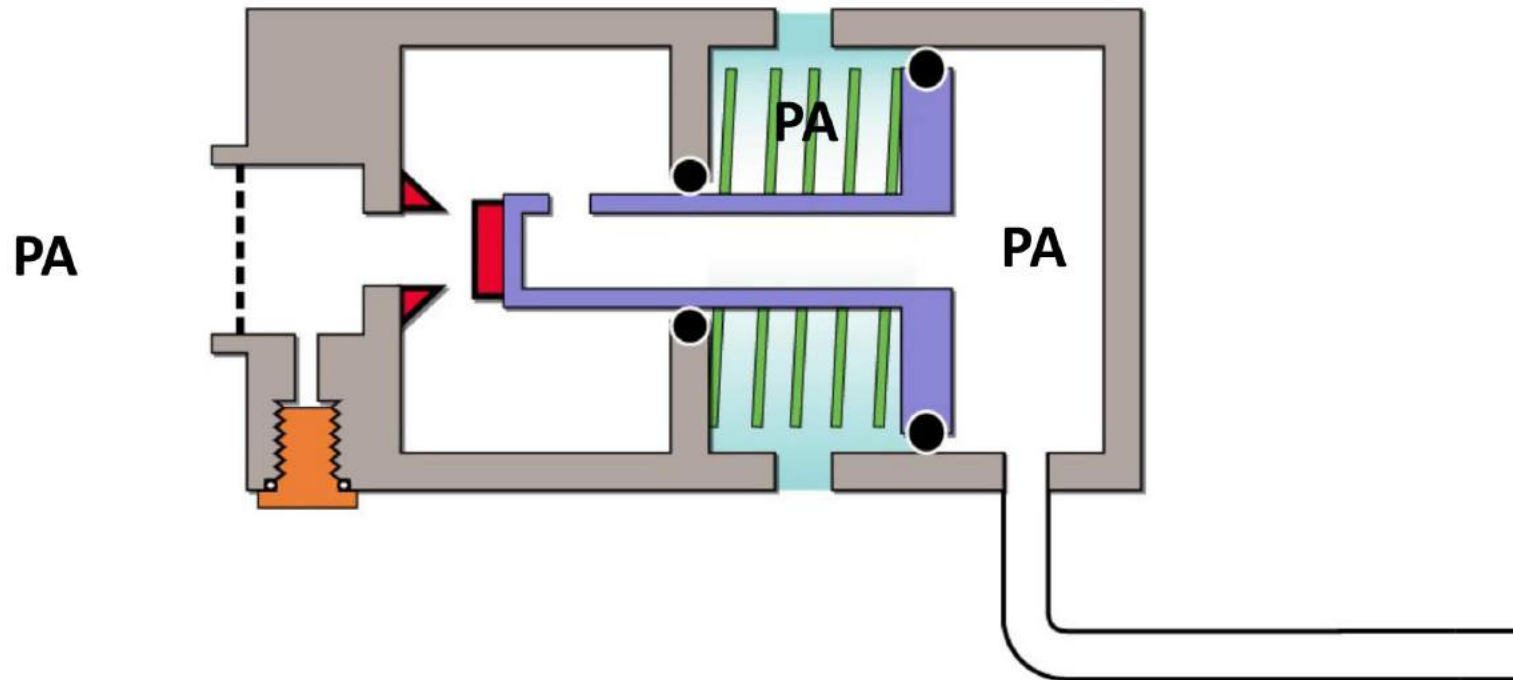


Le détendeur : Mécanisme du premier étage



Le détendeur : Mécanisme du premier étage

Détendeur non connecté à la bouteille

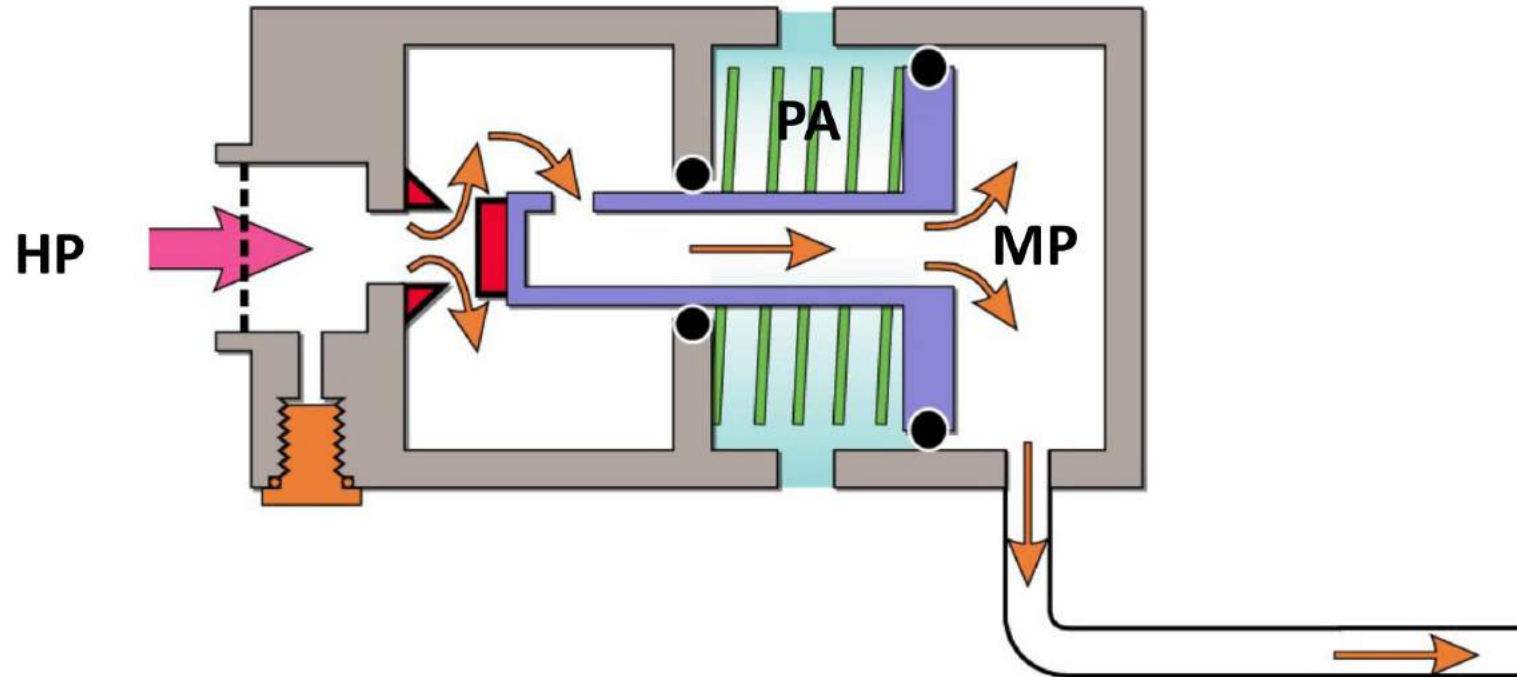


Le détendeur : Mécanisme du premier étage



Ouverture de la bouteille: Détente de la hp en mp

La mp augmente progressivement et va tendre à repousser le piston



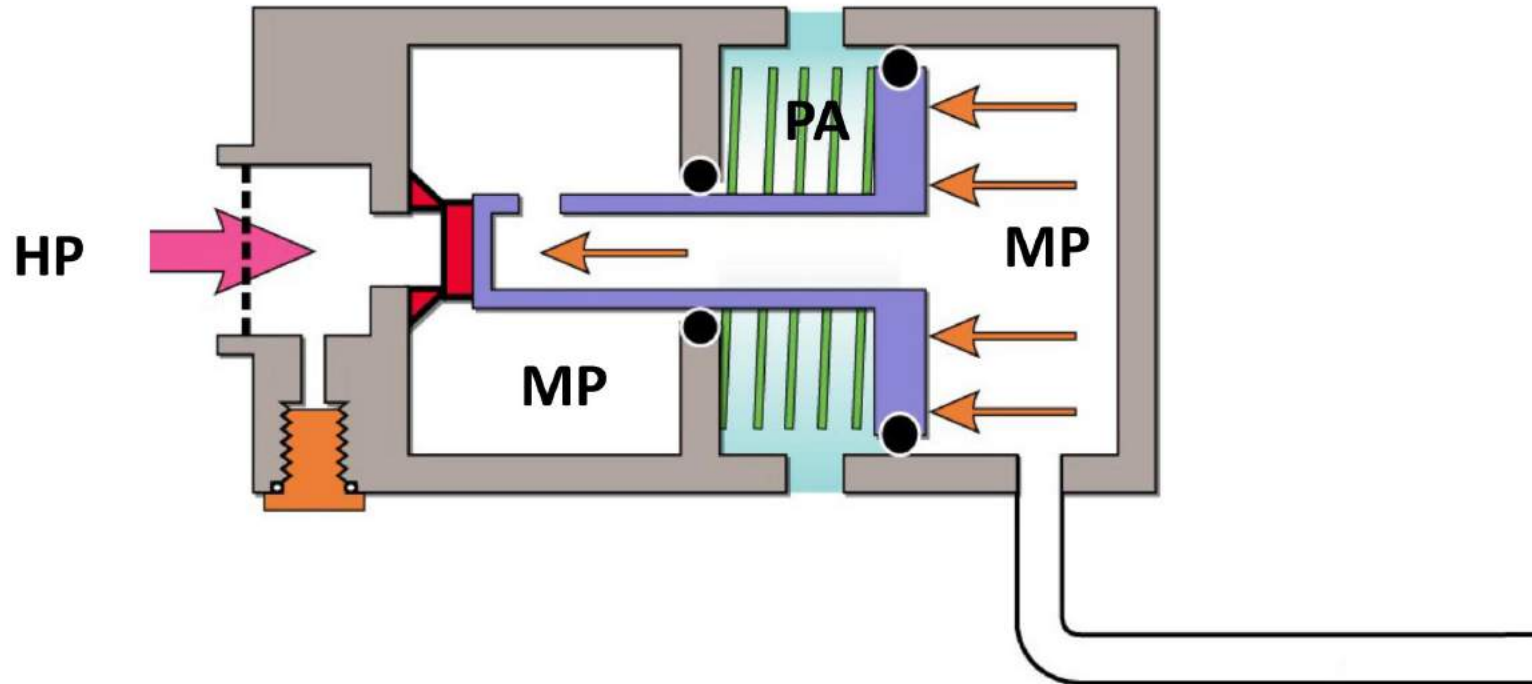
Bilan des Forces à l'ouverture :

$$\text{Ressort} + (PA \times \text{surf. piston}) + (HP \times \text{surf. clapet}) > MP \times \text{surf. piston}$$

Le détendeur : Mécanisme du premier étage



Bouteille ouverte: La mp a augmenté suffisamment pour écraser
Le ressort, refermer le clapet sur son siège et ainsi interrompre l'entrée de la hp



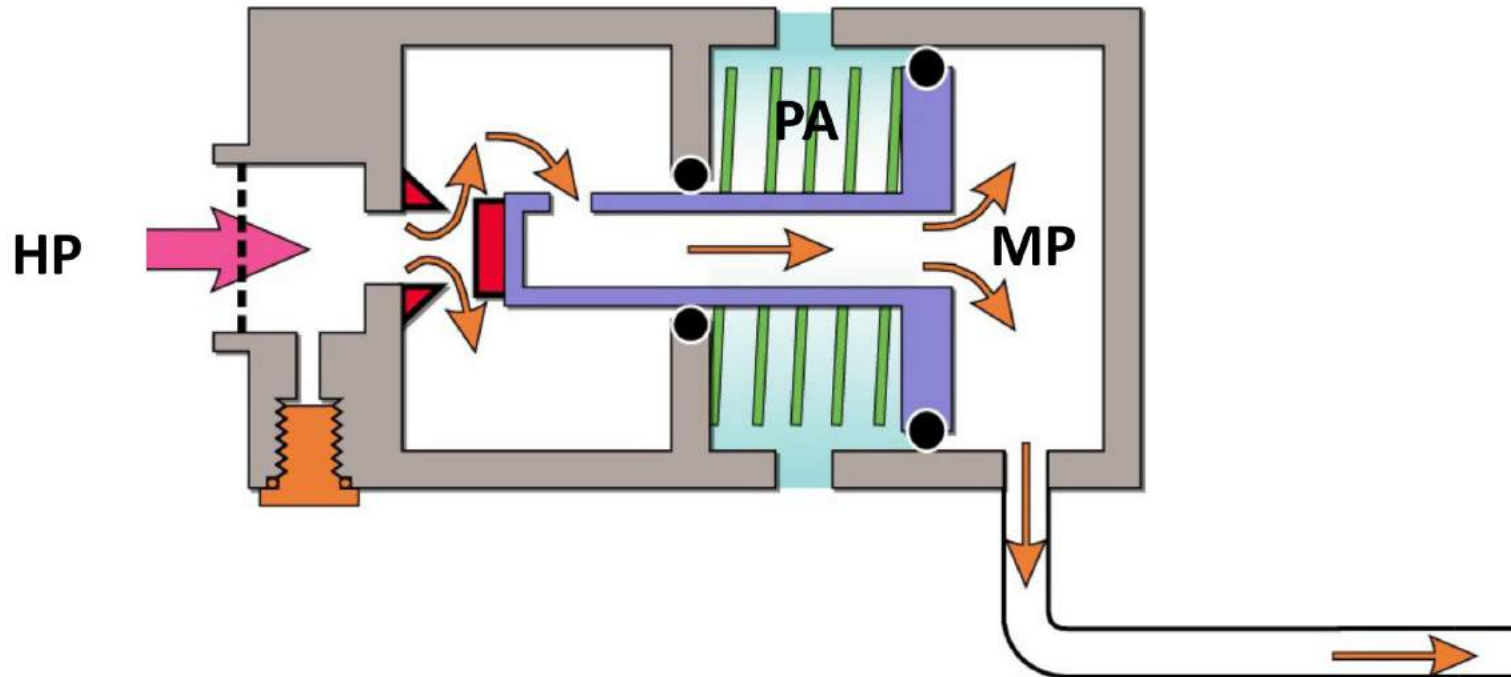
Bilan des Forces la fermeture:

$$\text{Ressort} + (\text{PA} \times \text{surf. piston}) + (\text{HP} \times \text{surf. clapet}) < \text{MP} \times \text{surf. piston}$$

Le détendeur : Mécanisme du premier étage



A l'inspiration, la mp diminue et réduit la force appliquée sur le piston.
Le piston remonte sous la force du ressort et laisse de nouveau entrer la hp , de manière à retrouver l'équilibre nécessaire à la redescente du piston et à la fermeture du clapet.



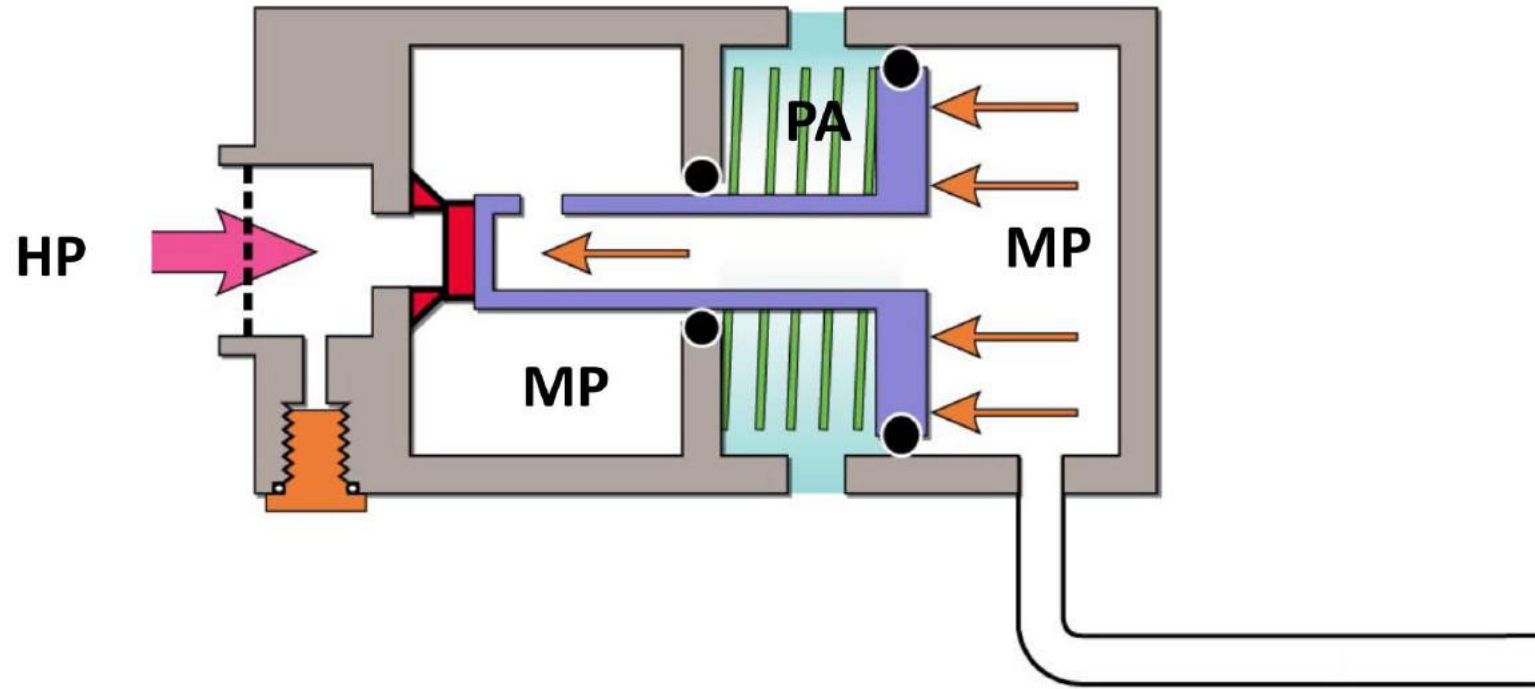
Bilan des Forces à l'ouverture :

$$\text{Ressort} + (PA \times \text{surf. piston}) + (HP \times \text{surf. clapet}) > MP \times \text{surf. piston}$$

Le détendeur : Mécanisme du premier étage



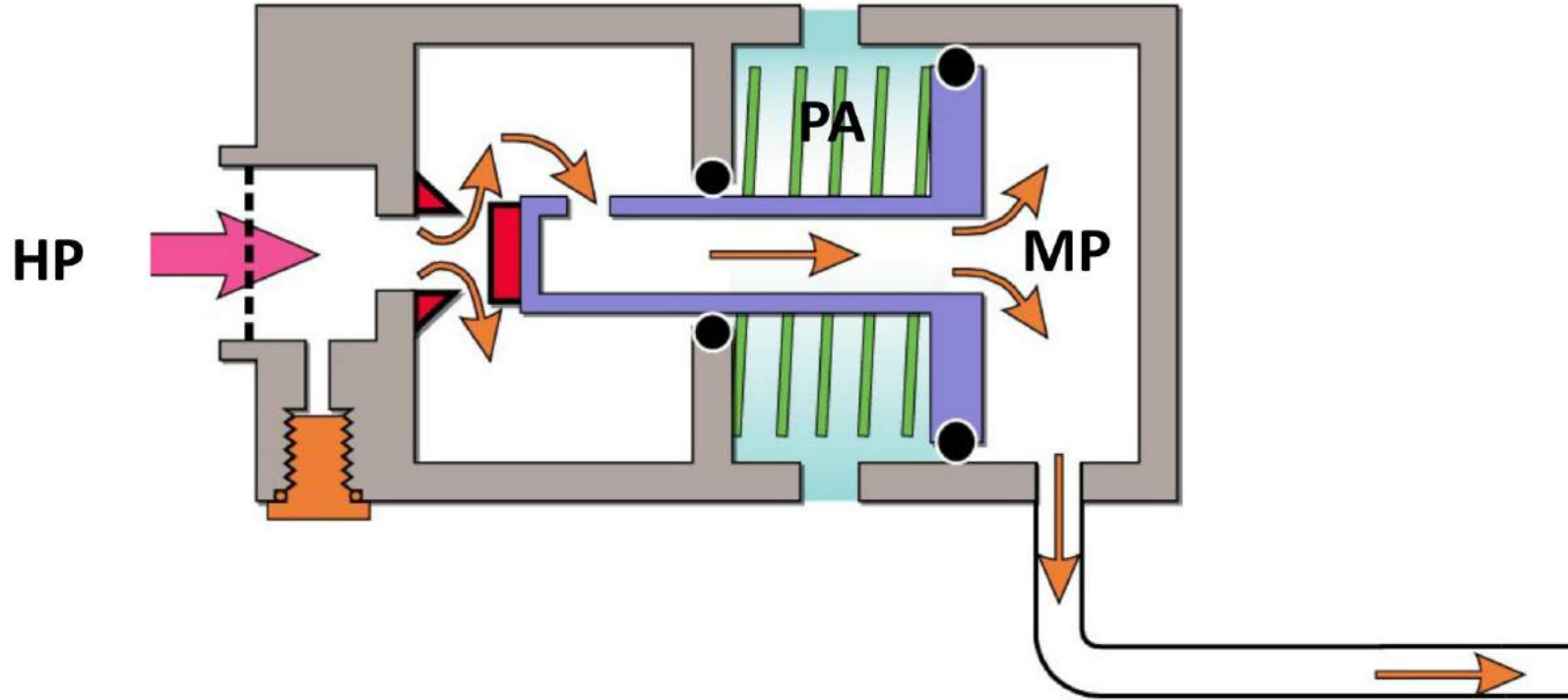
A l'expiration: la mp a augmenté suffisamment pour écraser le ressort, refermer le clapet sur son siège et ainsi interrompre l'entrée de la hp



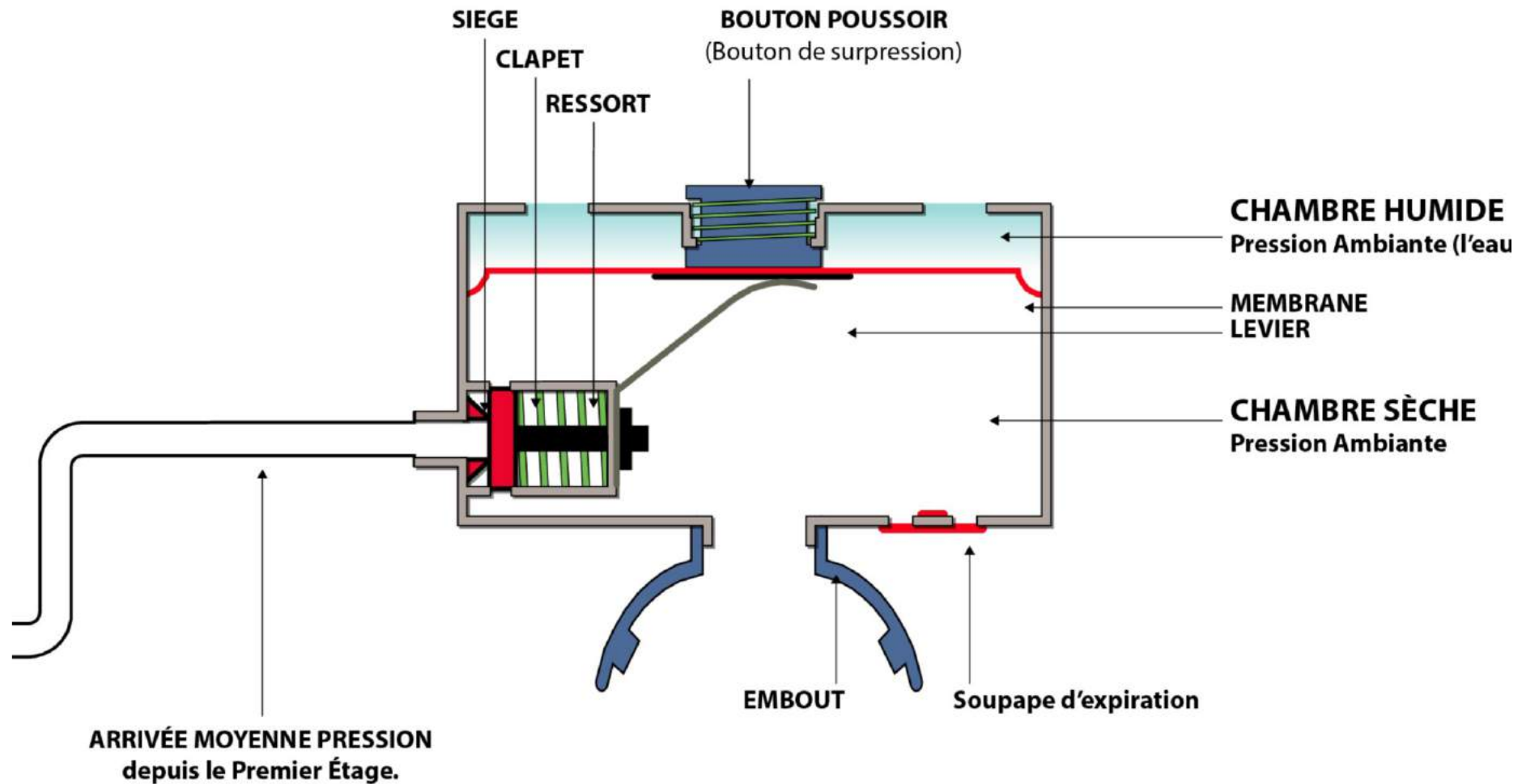
Le détendeur : Mécanisme du premier étage



A l'inspiration, la mp diminue et réduit la force appliquée sur le piston.
Le piston remonte sous la force du ressort et laisse de nouveau entrer la hp , de manière à retrouver l'équilibre nécessaire à la redescente du piston et à la fermeture du clapet.

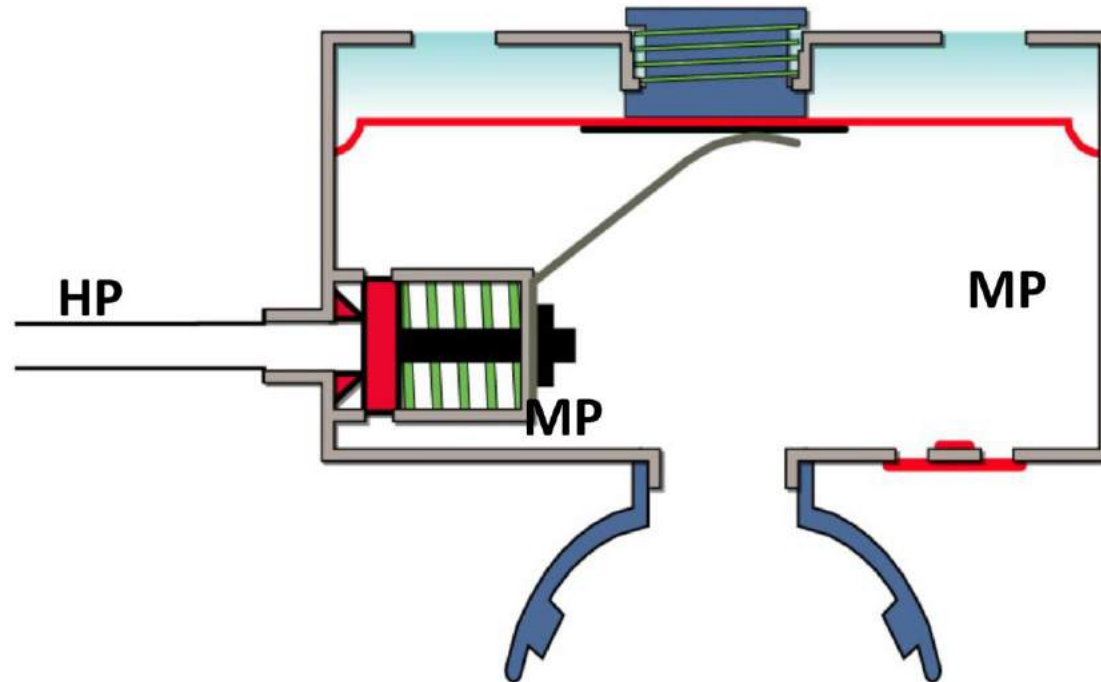


Le détendeur : Mécanisme du deuxième étage



Le détendeur : Mécanisme du deuxième étage

Détendeur au repos, bouteille ouverte: La tension du ressort pousse le clapet pour ne pas laisser échapper l'air

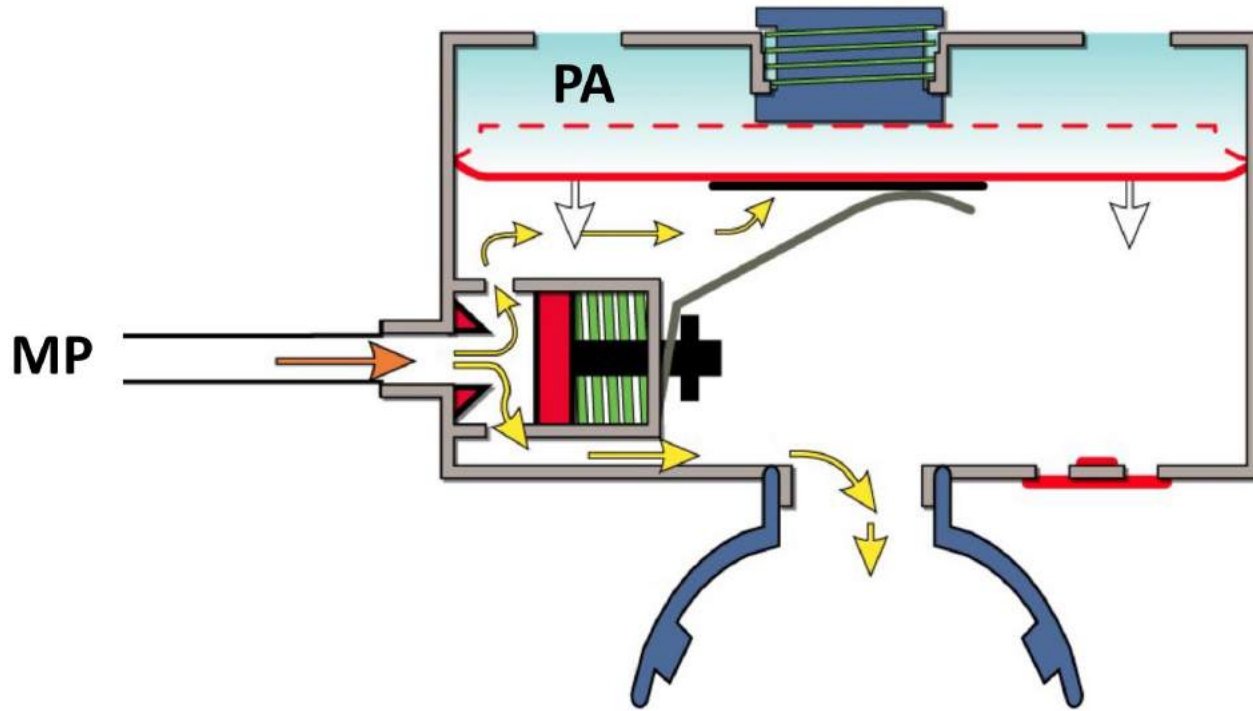


Bilan des Forces la fermeture:

$$\text{Ressort} + (P_A \times \text{surf. piston}) + (H_P \times \text{surf. clapet}) < M_P \times \text{surf. piston}$$

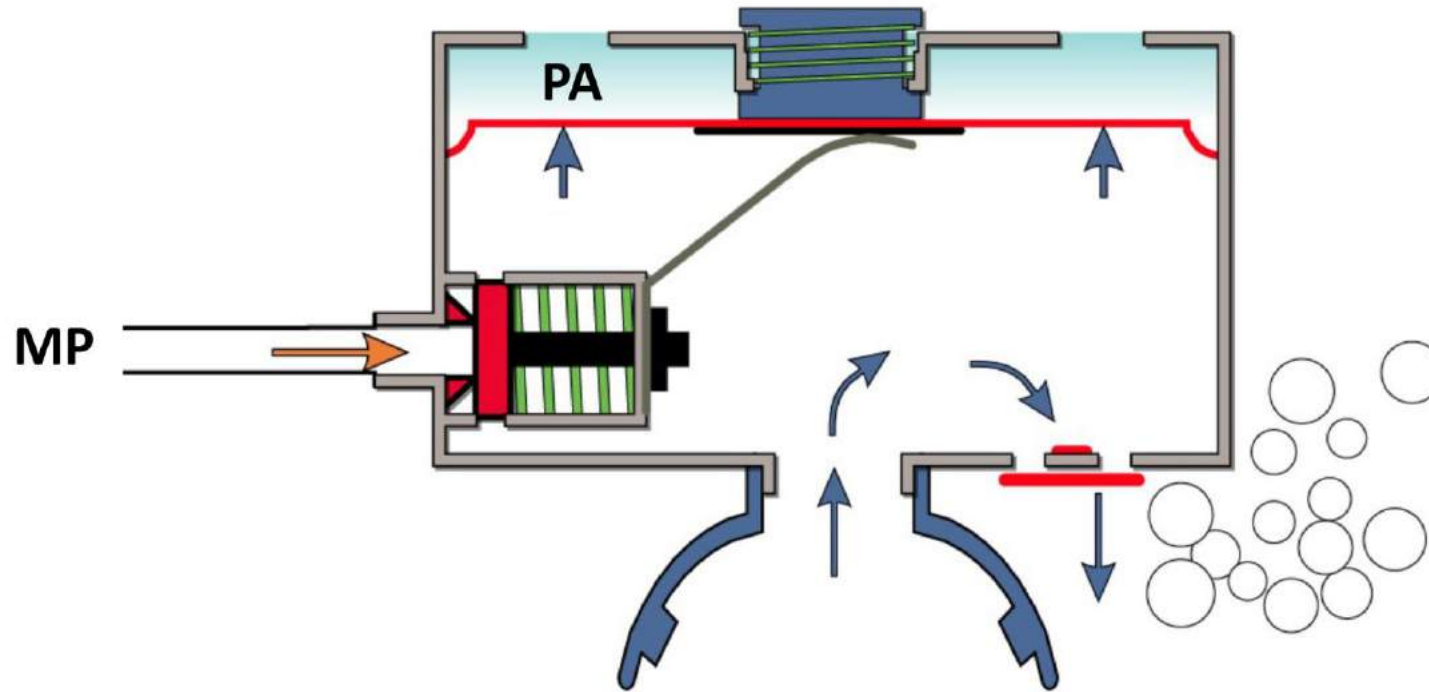
Le détendeur : Mécanisme du deuxième étage

Phase d'inspiration: en inspirant la dépression dans le 2^{ème} étage écrase la membrane vers l'intérieur. La membrane appuie sur la fourchette qui décolle le clapet du siège et libère la P1 (à la pression absolue)



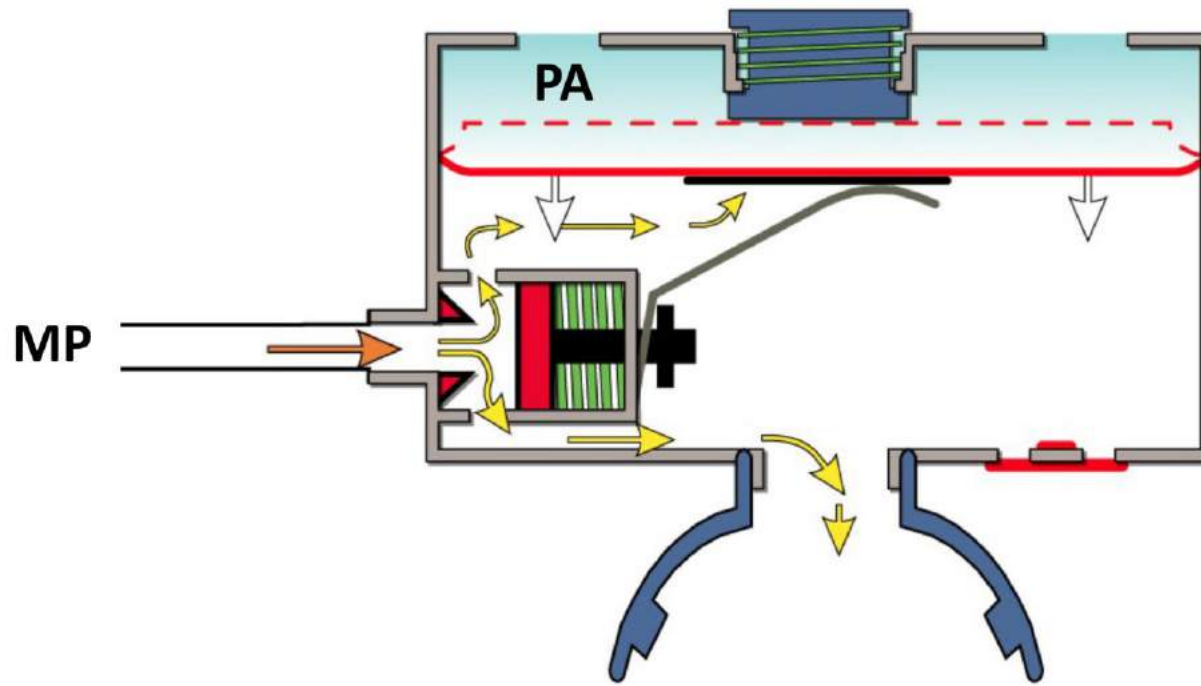
Le détendeur : Mécanisme du deuxième étage

Phase d'expiration: en expirant le plongeur fait augmenter la pression dans le 2^{ème} étage ce qui repousse la membrane qui va relâcher l'action de la fourchette sur le clapet et va ainsi interrompre l'arrivée de P1



Le détendeur : Mécanisme du deuxième étage

Phase d'inspiration: en inspirant la dépression dans le 2^{ème} étage écrase la membrane vers l'intérieur. La membrane appuyée sur la fourchette qui décolle le clapet du siège et libère la P1 (à la pression absolue)



Le détendeur : Les différents types de 1^{er} étage

Aujourd'hui il y a 3 types de 1^{er} étages

Détendeur à Piston simple

Débit 2600 l/min



Détendeur à Piston compensé

Débit 10000 l/min



Détendeur à Membrane compensé

Débit 10000 l/min



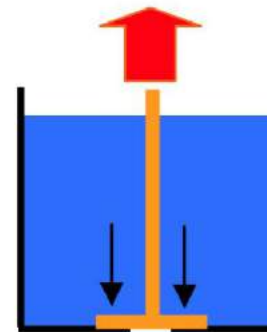
Le détendeur : Principe de la compensation

Détendeur non compensé: la h_p en provenance de la bouteille participe au mouvement du mécanisme
= Quant la h_p diminue, la m_p diminue aussi, provoquant un effort inspiratoire plus important.

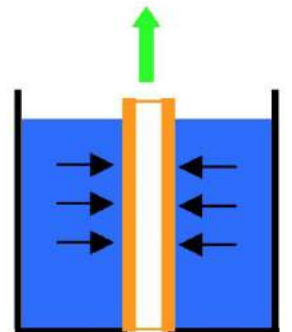
Compensation: mécanisme qui affranchit de l'effet de la h_p sur le bilan des forces
= la m_p va rester stable quelque soit la valeur de la h_p . Le confort respiratoire est constant.

La compensation permet ainsi d'obtenir des débits plus importants (section de la queue du piston plus large et trajet de l'air plus direct), sans augmenter la taille du détendeur
= élément de sécurité en cas d'essoufflement, d'assistance panne d'air

- Le principe de la compensation peut s'appliquer sur le premier étage du détendeur, parfois également sur le deuxième étage.



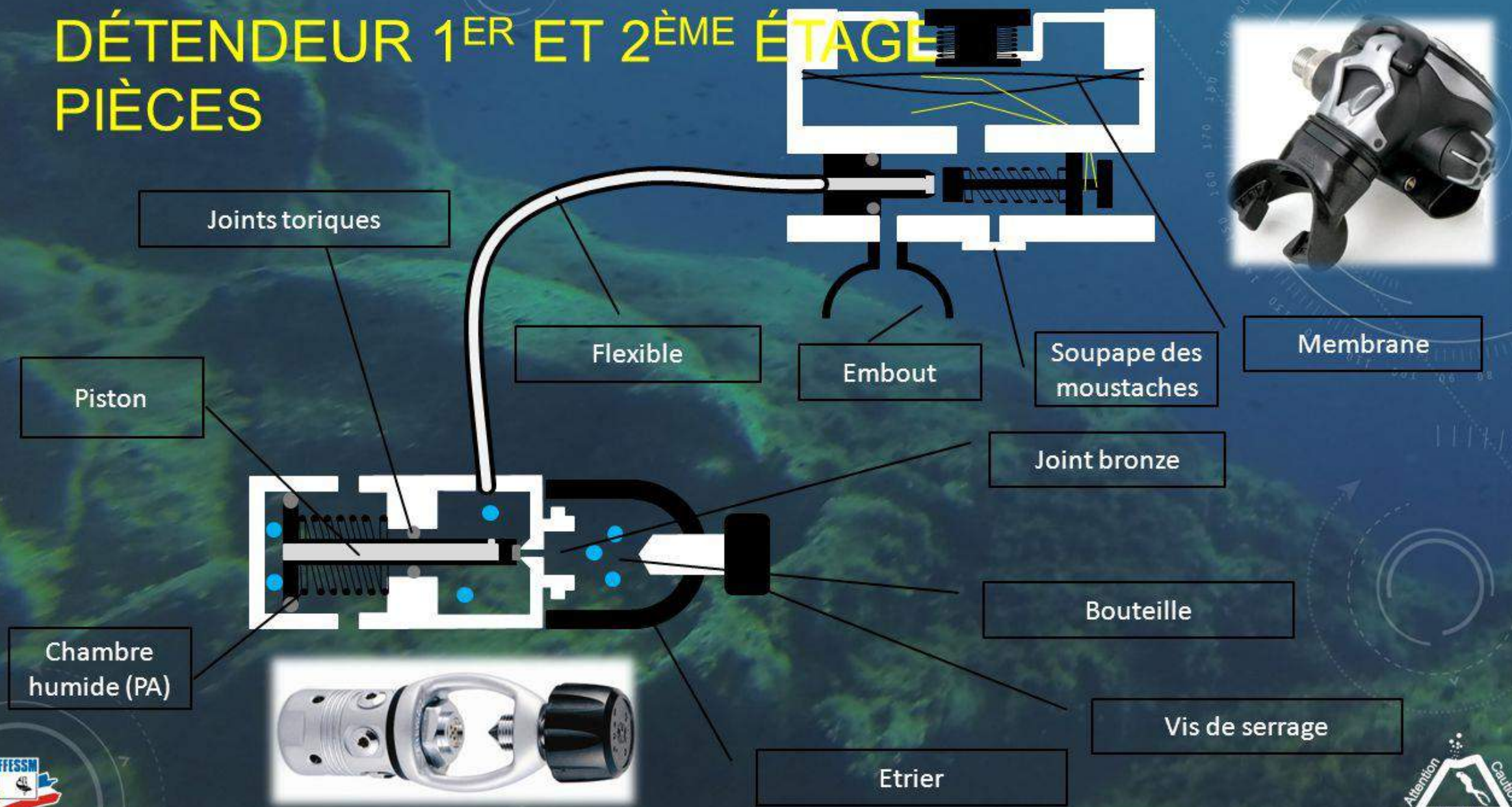
Force plus dure à exercer



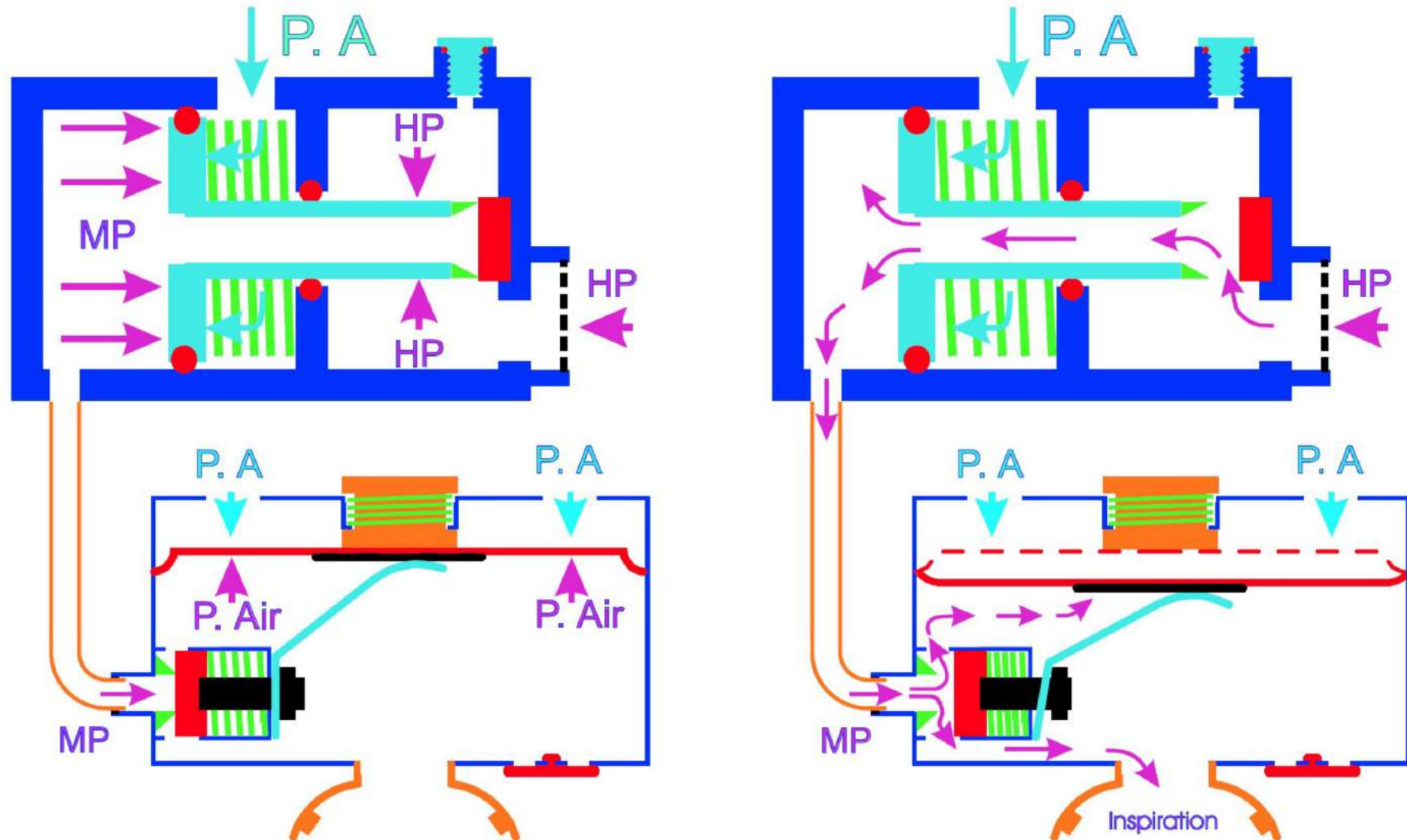
Force moindre à exercer

DÉTENDEUR 1^{ER} ET 2^{ÈME} ÉTAGE

PIÈCES



Détendeur à piston compensé



	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
PISTON SIMPLE (non compensé)	Plus économique et plus commun Simple d'entretien et à réviser Robustesse, se dérègle rarement	Performances : confort ventilatoire moindre en profondeurs (> 40m) Effort inspiratoire plus important en fin de plongée (lorsque la HP a trop diminuée)
PISTON COMPENSÉ	Performances : débits plus important Meilleur confort ventilatoire tout au long de la plongée Bon confort ventilatoire en profondeur	Prix plus élevé (Similaire membrane compensé) Cout d'entretien (complexité du mécanisme) Sensible au froid (qui peut entrainer un blocage du piston)
MEMBRANE COMPENSÉ	Performances : débits plus important Mieux adapté aux environnements difficiles (eaux froides, eaux chargées), givrage rare	Prix plus élevé (Similaire Piston Compensé) Cout d'entretien (complexité du mécanisme)

	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
DIN (Deutsches Institut für Normung)	Moins lourd (voyage) Montage du joint torique entre la bouteille et le premier étage plus fiable	Parfois plus difficile à desserrer
ETRIER	Universel ?	Plus lourd Problèmes de joint plus fréquent



Le détenteur : Entretien

Rinçage

- Protéger les entrées d'eau du premier étage (risque d'oxydation, de dépôt calcaire, dégradation lubrification des joints)
- Éviter d'appuyer sur le bouton de surpression car cela ouvre le clapet d'admission du 2^{ème} étage et permet à l'eau de s'infiltrer dans le 1^{er} étage.

Après rinçage: il est préférable de retirer le bouchon du 1^{er} étage afin de le ventiler

Indicateur d'usure; Le filtre métallique à l'entrée du premier étage (vert ou gris)

- Vérifier l'état des flexibles
- Attention au sable en bord de plage (plongée du bord)

Révision annuelle ou toutes les 100 plongées chez un spécialiste

Le détendeur : Organisation de sa configuration

Quelques grandes règles

- Se méfier: assemblage d'un 1^{er} étage et d'un 2^{ème} étage de 2 marques différentes
- Se méfier: Assemblage d'un 1^{er} étage non compensé sur un 2^{ème} étage compensé
- Nombre de sorties hp? (par exemple pour 1 sonde ordinateur)
- Favoriser 2 détendeurs complet en eau froide
- Eviter le suréquipement
- Ne croisez pas les flexibles
- Evitez de faire des boucles
- Le détendeur de secours doit être le plus performant ou équivalent au principal
- Pas d'autre branchement consommant de l'air sur le secours
- Respectez au mieux le triangle de sécurité
- Montez le secours pour les autres, pas pour vous.



Le détendeur : Pannes les plus fréquentes

Où	Problème	Cause/solution
Premier étage	Bulles au niveau de la robinetterie	Joint défectueux à la jonction bloc / détendeur (au niveau du bloc pour un étrier et au niveau du détendeur pour un DIN). Changer joint robinetterie
	Bulles au niveau des flexibles ou bouchons obstruant les fixations MP ou HP	Vérifier joints et flexibles et changer / graisser les joints si nécessaire.
	Bulles sortant de la chambre humide du 1 ^{er} étage (rare)	Membrane déchirée ou joint torique du piston détérioré (à changer par un spécialiste).

Le détenteur : Pannes les plus fréquentes

Où	Problème	Cause/solution
Deuxième étage	Entrées d'eau	Embout buccal desserré ou percé. Boîtier desserré ou fissuré. Au niveau de la membrane : sortie de son logement, percée. Au niveau de la soupape d'expiration : encrassée (sable), ou endommagée.
	Bulles au niveau du raccordement flexible MP	Joint torique à changer
	Fuite air sur flexible	Usure flexible : le changer

Le détendeur : Pannes les plus fréquentes

Où	Problème	Cause/solution
Deuxième étage	Mise en débit continu	Immédiatement à l'ouverture du bloc ⇒ 2^{ème} étage en cause <ul style="list-style-type: none">• bouton surpression bloqué ⇒ à nettoyer si encrassé• usure joint du clapet ⇒ à changer• usure ressort ⇒ le remplacer• mauvais réglage levier ⇒ à faire régler• siège endommagé (rare) ⇒ à remplacer
		Quelques secondes après l'ouverture du bloc ⇒ 1^{er} étage en cause <ul style="list-style-type: none">• usure joint de clapet ⇒ à changer• mauvais réglage MP ou ressort mal taré ⇒ faire régler le 1^{er} étage• encrassage via corps étranger dans la chambre humide ou dans la chambre de compensation ⇒ à vérifier

Le gilet stabilisateur: 3 grandes familles

Réglable (le standard)

Très répandu et économique

S'adapte à toutes les morphologies
S'enfile et se retire facilement
Se gonfle dans le dos et le bas du
Ventre. Confort relatif



Enveloppante

Offre une répartition de la stabilité
très confortable à l'utilisation

Se gonfle tout autour du buste
Peut jouer le rôle de gilet de
sauvetage
prix plus élevé



Dorsale

Conçu sur la base d'un harnais qui
rend le gilet très confortable
Volume généralement très important
pour pouvoir porter des matériels
Ne tient pas la tête hors de l'eau



Le gilet stabilisateur: modèles spéciaux

Modèle voyage

*Très léger mais bouée de
Volume moindre*



Modèle tek

*Grand volume de la bouée
permet de fixer plusieurs blocs sur le ventre/sous
les bras, grâce aux nombreux anneaux*



Le gilet stabilisateur: comment choisir

*Les gilets peuvent avoir
Différentes capacité
(volume maximum)*

Deux exemples de capacité de gilets

Modèle haut de gamme



XS : 14
S : 18
M : 22
L : 23,5
XL : 27

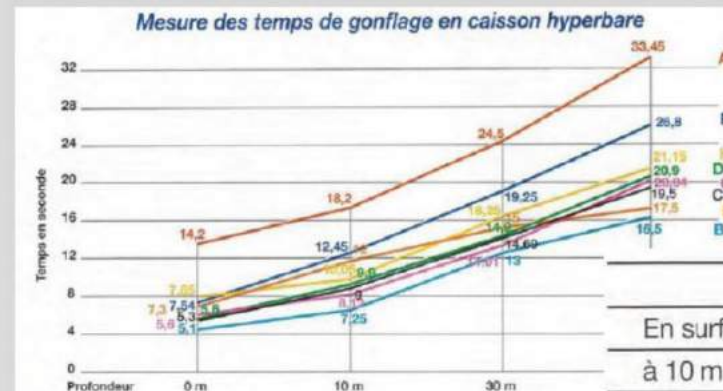
Modèle voyage



XS : 11
S : 14
M : 17
L : 18
XL : 23

*... et des inflateurs
plus ou moins
rapide*

Mesure du temps de gonflage complet d'un gilet de 18 l réalisé à différentes profondeurs



	Tps mini	max.
En surface	5,10 s	14,20 s
à 10 m	7,25 s	18,20 s
à 30 m	13,00 s	24,50 s
à 50 m	16,50 s	33,45 s

Le gilet stabilisateur: comment choisir

Pour quel type de plongée?
Quel volume de la bouée?
Résistance des matériaux (condura)
Anneaux?
« Air 2 »?

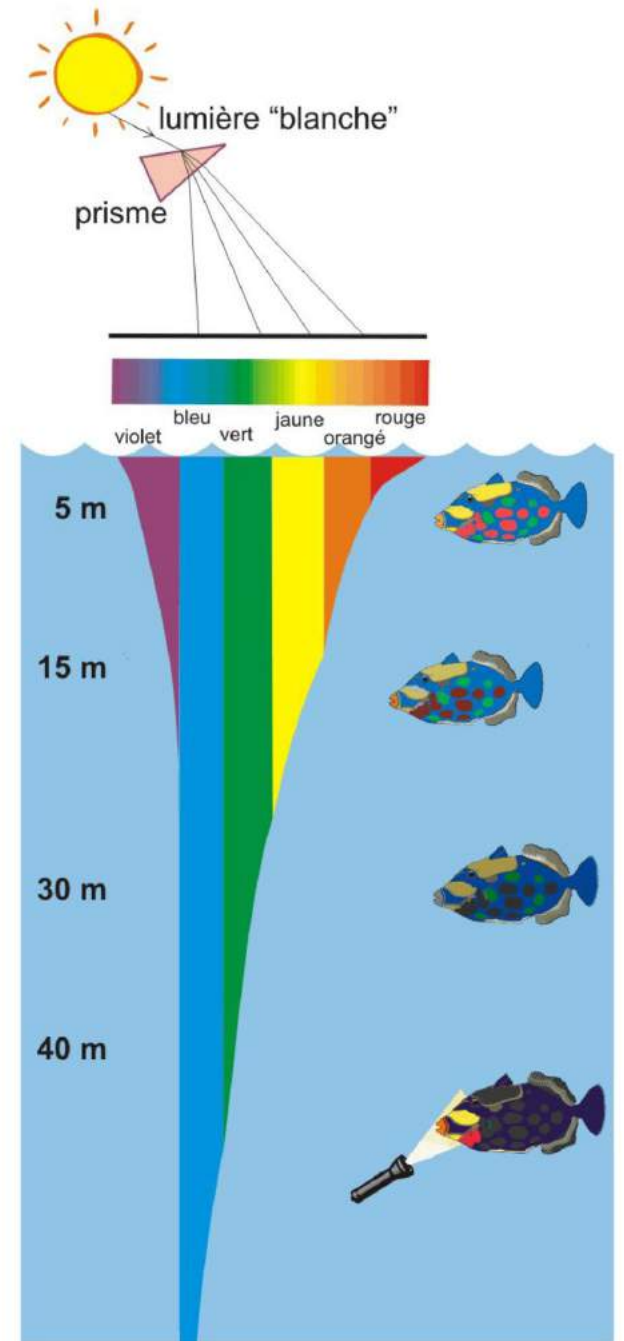
Confort? ... finitions?
Forme adaptée à sa morphologie
Maniabilité du Direct System?
Débit inflateur?
Nombre de purges?
Fenstop?
Sangles?
Poches à lest?
Poids et encombrement?



Autre matériel utile: Le phare

Les couleurs sont absorbées progressivement par l'eau

- *Le rouge disparaît dès les premiers mètres*
- *Des 20 ou 30 mètres, il n'y a plus que du bleu*
- *A 500 mètres c'est le noir absolu.*



Autre matériel utile: Le phare

	Avantage	Inconvénients	Remarques
Halogène	Peut monter très haut en puissance 100w 150w	Lumière jaune Accus puissant Cout élevé	Cette technologie est la plus ancienne des trois. Elle tend à disparaître
HID	Peux atteindre de très forte puissance lumineuse Faible consommation Rendu lumineux environ 3 à 5 fois la puissance consommé	Fragile Coût élevé	Souvent utilisé pour la vidéo pour la température de lumière et pour sa puissance d'éclairage en grand angle
LED	Très faible consommation Rendu lumineux environ 10 fois la puissance consommé Le coût	Faible ouverture en standard 15° à 20° Faible puissance en grand angle Lumière souvent trop blanche	Cette technologie se développe très rapidement et offre de plus en plus de possibilité

Autre matériel utile: Pour l'autonomie (hors code du sport)

Adapter son matériel et sa configuration selon la plongée prévue:

- Un tuba?
- Un parachute pour chaque plongeur?
- Un compas?
- Une source d'éclairage
- Lampe flash?
- Couteau/ciseaux/tenaille?
- Miroir/Sifflet/avertisseur sonore?
- Dévidoir?

Autres? Exemple « Nautilus LifeLine » permet de converser sur tout canal VHF directement avec son bateau, de lancer un appel de détresse sur le canal 16 mais également par simple pression sur un bouton de transmettre ses coordonnées GPS à tous les bateaux situés aux alentours.

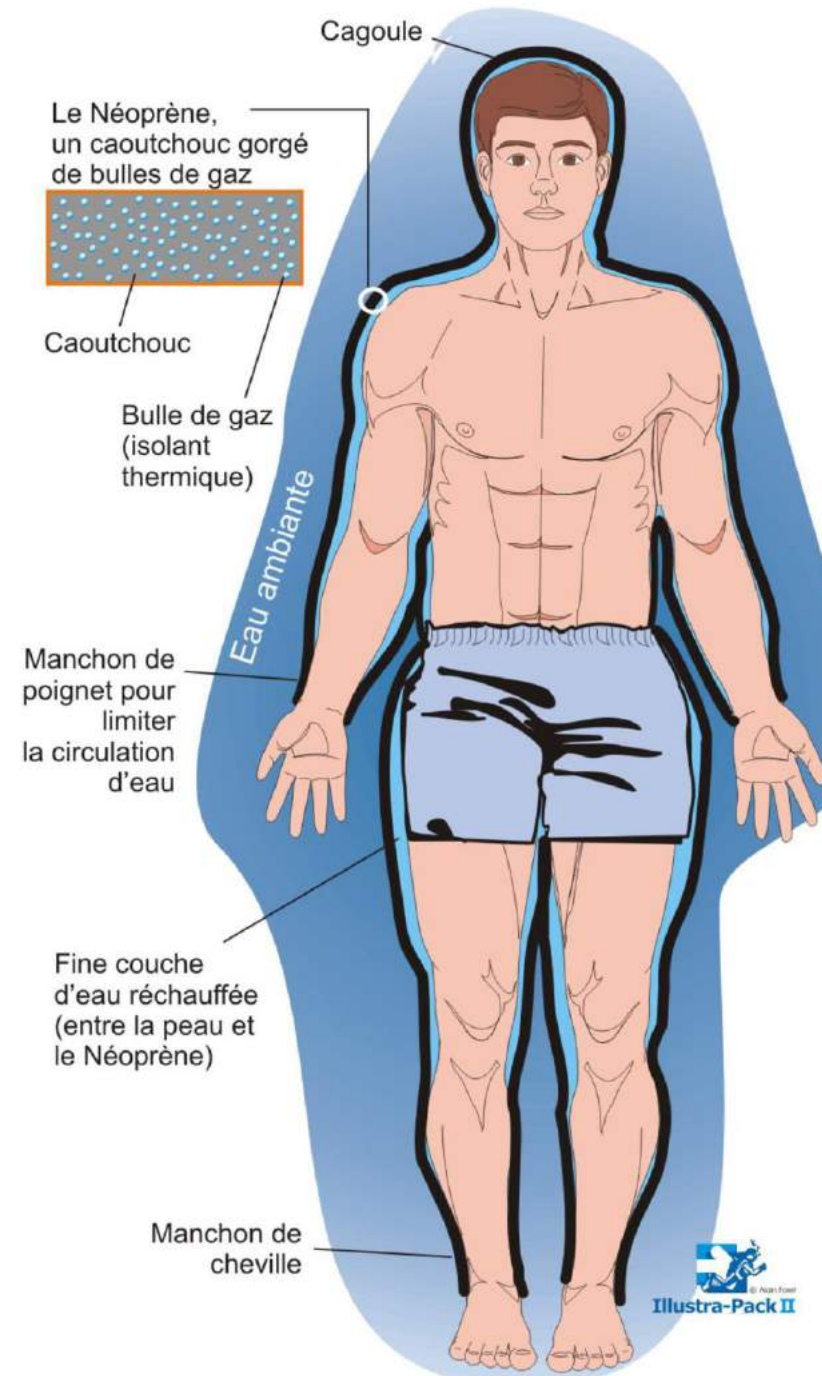


La combinaison

Le choix et l'entretien d'une combinaison sont donc très importants: La combinaison doit être parfaitement ajustée à sa morphologie (essayer plusieurs modèles en évitant les modèles « trop amples » sous les bras notamment)

Une combinaison trop mince mais adaptée avec des « poches d'eau » ne protégera pas assez du froid

Les manchons sur la combinaisons sont un plus ils limitent les entrées d'eau au niveau du cou, des poignets et des chevilles.



La combinaison

Un plongeur n'est jamais vraiment trop couvert dans l'eau!

Selon la température de l'eau, une caquole, des chaussons, des gants, une « sous-combinaison » ou une « sur-combinaison » sont parfois nécessaires.

Attention alors à ajuster son lestage en conséquences



La combinaison

Une combinaison « semi-étanche » reste une combinaison « humide ». Seule son ouverture (fermeture éclair) est véritablement étanche



Les combinaisons « étanches » adaptées aux eaux (très) froides. Le corps est ici protégé par des vêtements (des couches d'air) au sec sous la combinaison



Attention : l'utilisation d'une combinaison étanche demande une formation spécifique !

*Merci d'avoir été jusqu'au
bout de cette présentation.*