



Matériel de plongée individuel

Théorie N4

Le 8 mars 2024

Yilmaz KARAUC
ykarauc@hotmail.com

Sommaire



1. Introduction
2. Justification
3. Rappel des notions physiques
4. Notions de mécanique
5. Détendeur 1^{er} et 2^{ème} étage
6. Manomètres
7. Ordinateurs de plongée
8. Synthèse



1. Introduction

- Le confort et la sécurité des plongeurs dépendent en grande partie de la qualité de l'air respiré et de l'équipement de plongée qu'ils utilisent.



2. Justification

La connaissance des principes de fonctionnement des équipements et de leur réglementation permettra au guide de palanquée de :

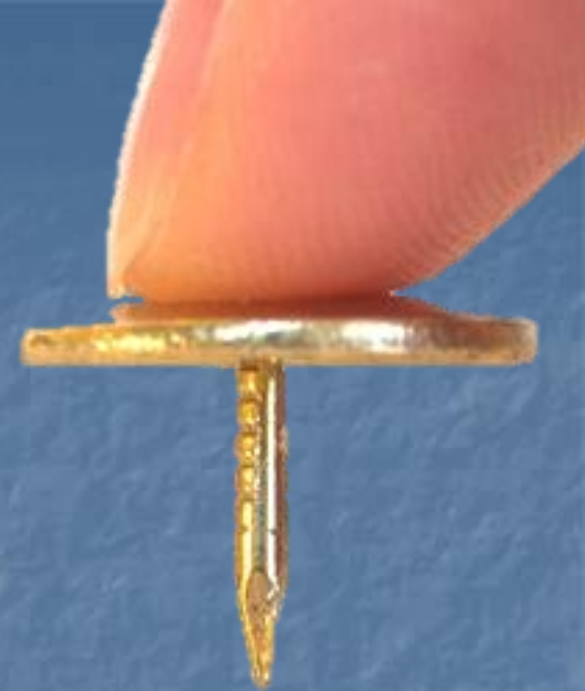
- S'assurer que son équipement personnel et celui des plongeurs qu'il encadre sont en état de fonctionnement et correspondent aux conditions de plongées envisagées,
- Répondre aux questions des plongeurs encadrés et les guider dans leurs choix,
- Veiller au bon entretien du matériel.



3. Rappels

En plongée, nous utilisons comme unité :

- De pression, le bar (b) ou le kg/cm²
 - env. 100K Pa
- La pression est la force exercée sur une surface
- De force, le kg/force par cm²
 - $1 \text{ kgf/cm}^2 = 9,81 \text{ N} \simeq 1 \text{ bar}$
 - Calcul d'une force : $F = P \times S$



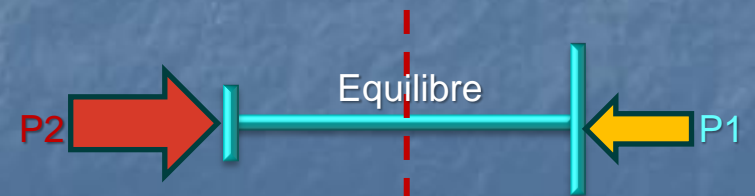
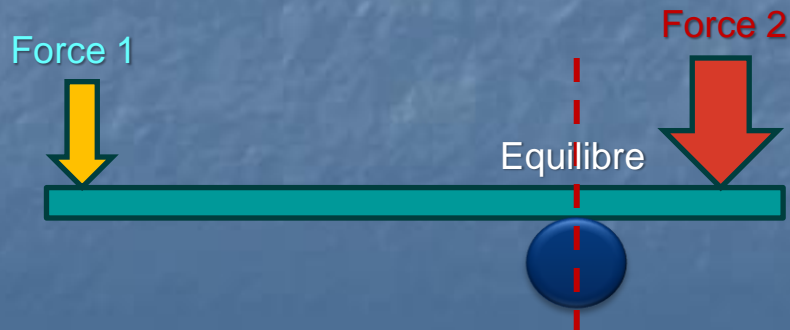
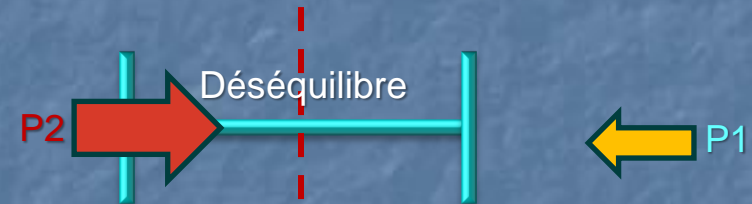
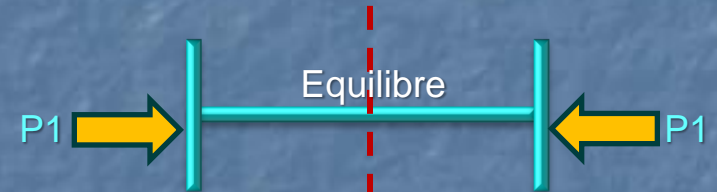
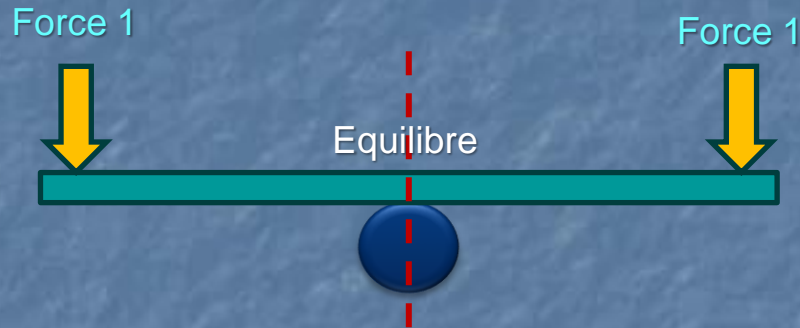
4. Notions de mécanique



$$(a+b)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} a^{n-k} b^k = \binom{n}{0} a^n + \binom{n}{1} a^{n-1} b + \dots + \binom{n}{k} a^{n-k} b^k + \dots + \binom{n}{n} b^n$$



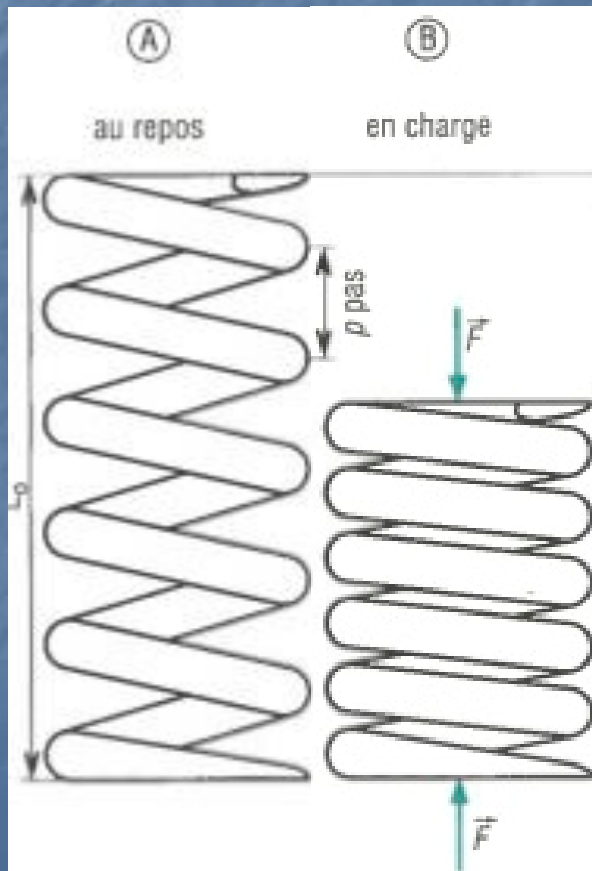
4. Notions de mécanique – Equilibre des forces



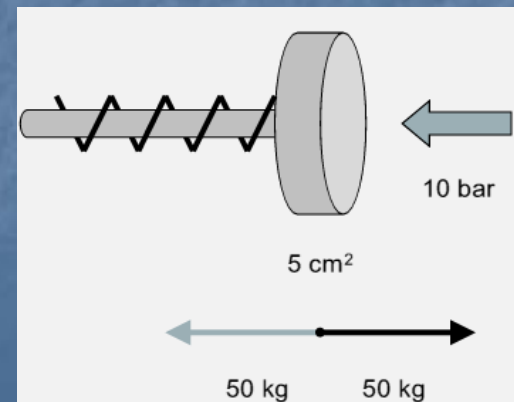
$$\text{Pression} = \text{Force} / \text{Surface}$$

4. Notions de mécanique – Ressorts

Les ressorts les plus utilisés dans le matériel de plongée sont des ressorts de compression.

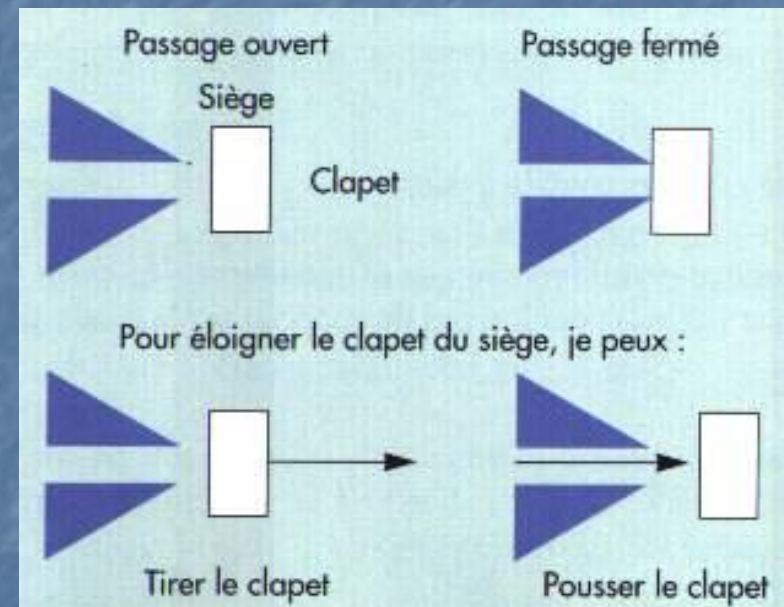
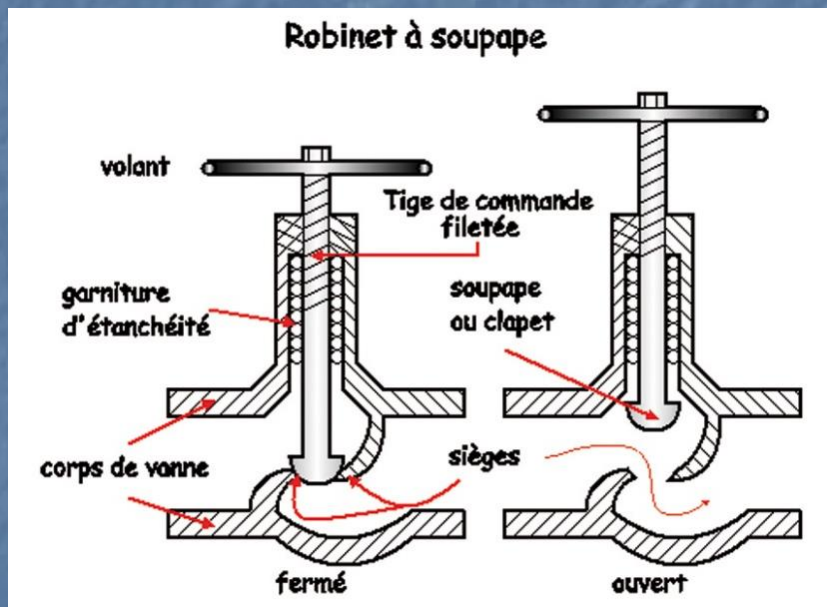


- A. A l'état d'équilibre (ou au repos), ce ressort ne provoque pas de force de résistance.
- B. En charge, la longueur du ressort diminue, sa force de résistance « F » augmente.



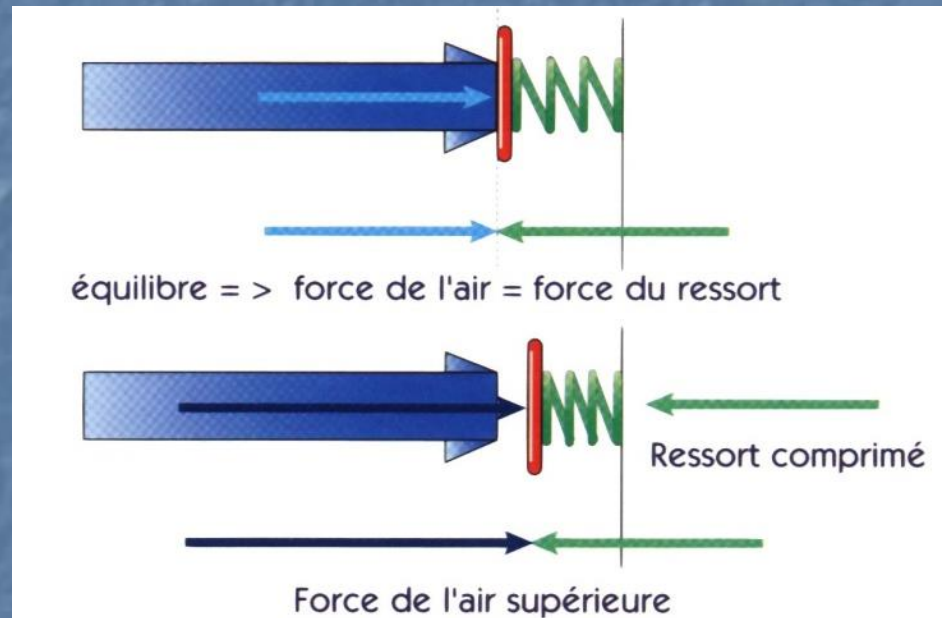
4. Notions de mécanique – Siège / Clapet

Un clapet sert à obturer une arrivée d'air dans un conduit. Le siège est la partie où vient s'appuyer le clapet



4. Notions de mécanique – Siège / Clapet

Un état d'équilibre est créé entre le siège et son clapet quand la force de l'air est égale à la force du ressort.

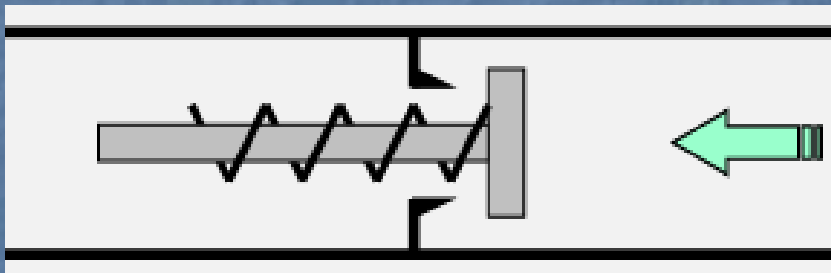


Le ressort aidera le clapet à redevenir en position initiale lorsque la force de l'air aura une valeur égale ou inférieure à la force du ressort.

4. Notions de mécanique – Clapet amont/aval

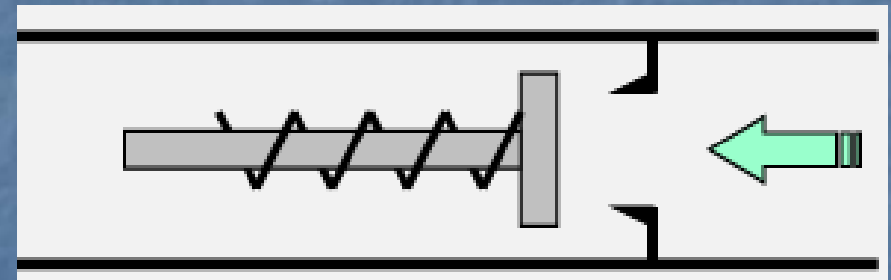
Clapet amont

- Direct-system : inflateur
- Purge lente



Clapet aval

- 2^{ème} étage
- Purge rapide gilet
- Soupape d'expiration
- Soupape de sécurité

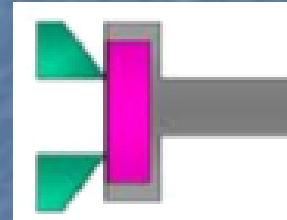
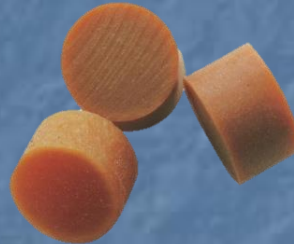


4. Notions de mécanique – Etanchéité

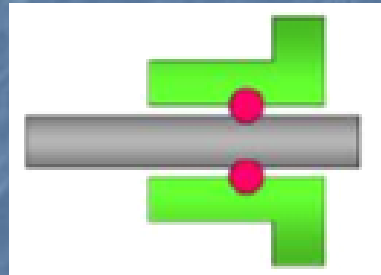
➤ Les membranes



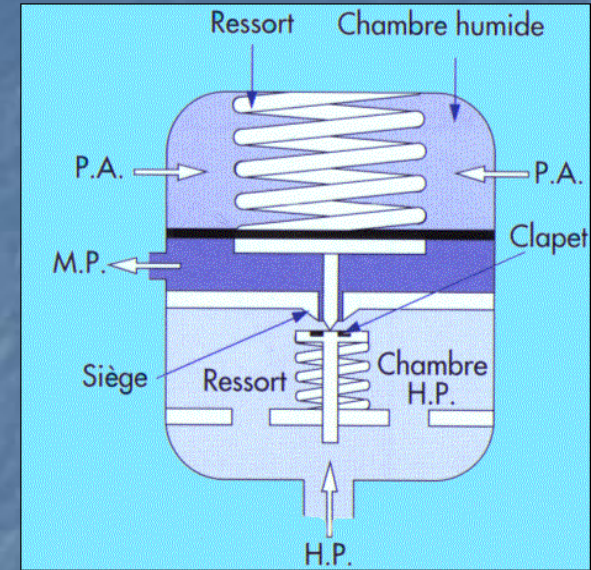
➤ Les joints « écrasés »



➤ Les joints toriques

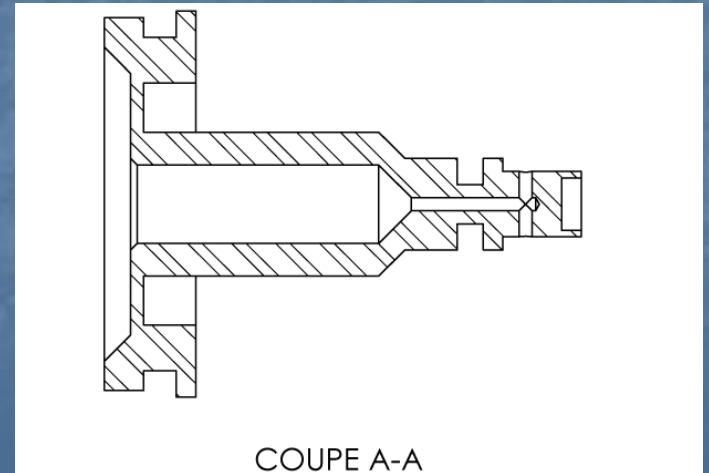
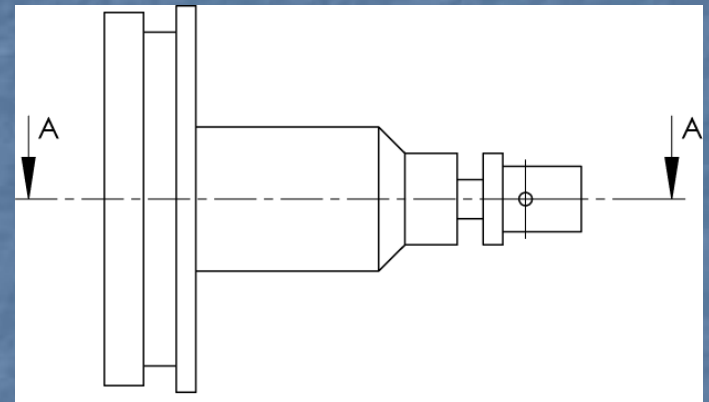


➤ Lubrification



4. Notions de mécanique – Dessin technique

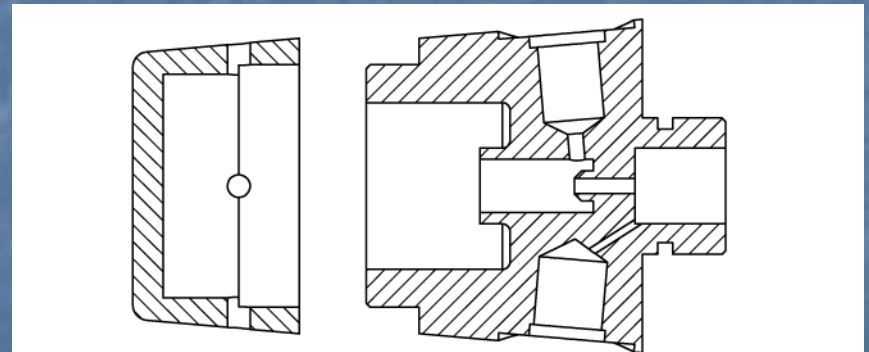
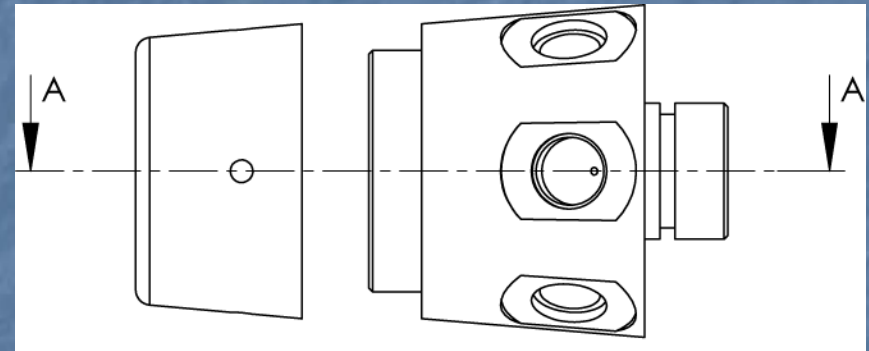
➤ Piston du détendeur 1^{er} étage



COUPE A-A

4. Notions de mécanique – Dessin technique

➤ Corps 1^{er} étage



A photograph of two divers in a clear blue ocean. The divers are positioned in the upper half of the frame, swimming horizontally. Below them, a vast school of yellow-striped snappers covers the bottom, swimming over a coral reef. The fish are densely packed and move in a coordinated pattern. The overall scene is vibrant and colorful, with the blue of the water contrasting with the yellow and orange of the fish and coral.

5. Détendeurs

5. Détendeurs

Le confort respiratoire, dépend directement du détendeur utilisé.

Il est impératif que le guide de palanquée connaisse les principes de fonctionnement de celui-ci pour :

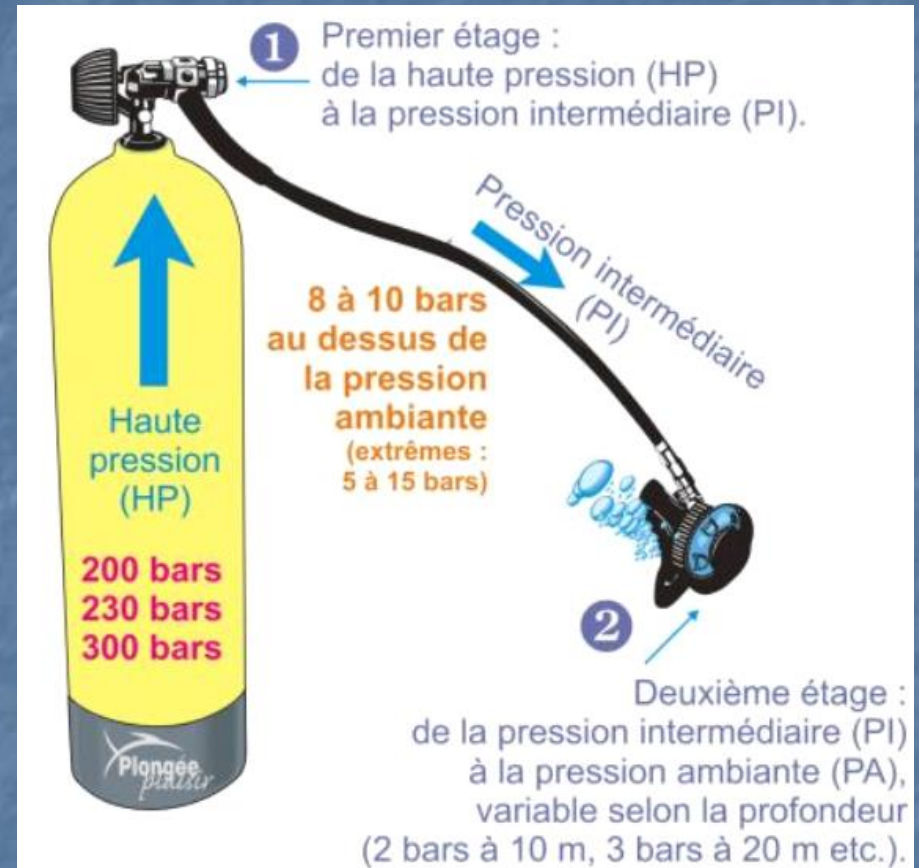
- Analyser les qualités de son propre détendeur.
- Vérifier si les détendeurs utilisés par les membres de sa palanquée correspondent bien aux conditions de pratique.
- Installer pour lui et pour les autres tout matériel de respiration obligatoire.
- Déceler rapidement un dysfonctionnement et résoudre les problèmes les plus simples.
- Donner des renseignements sur tel ou tel principe.



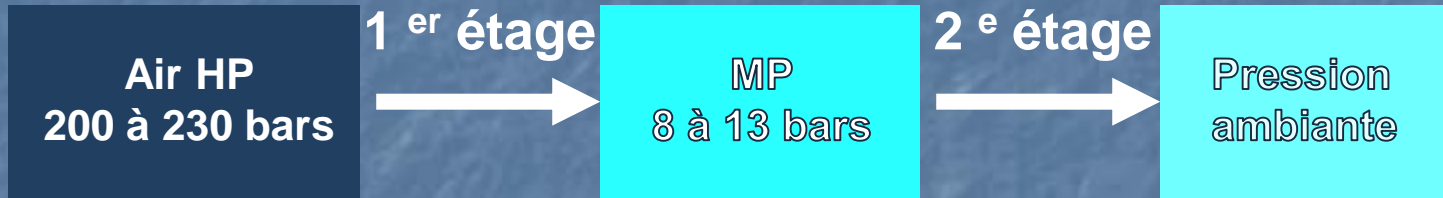
5. Détendeurs

Il distribue de l'air

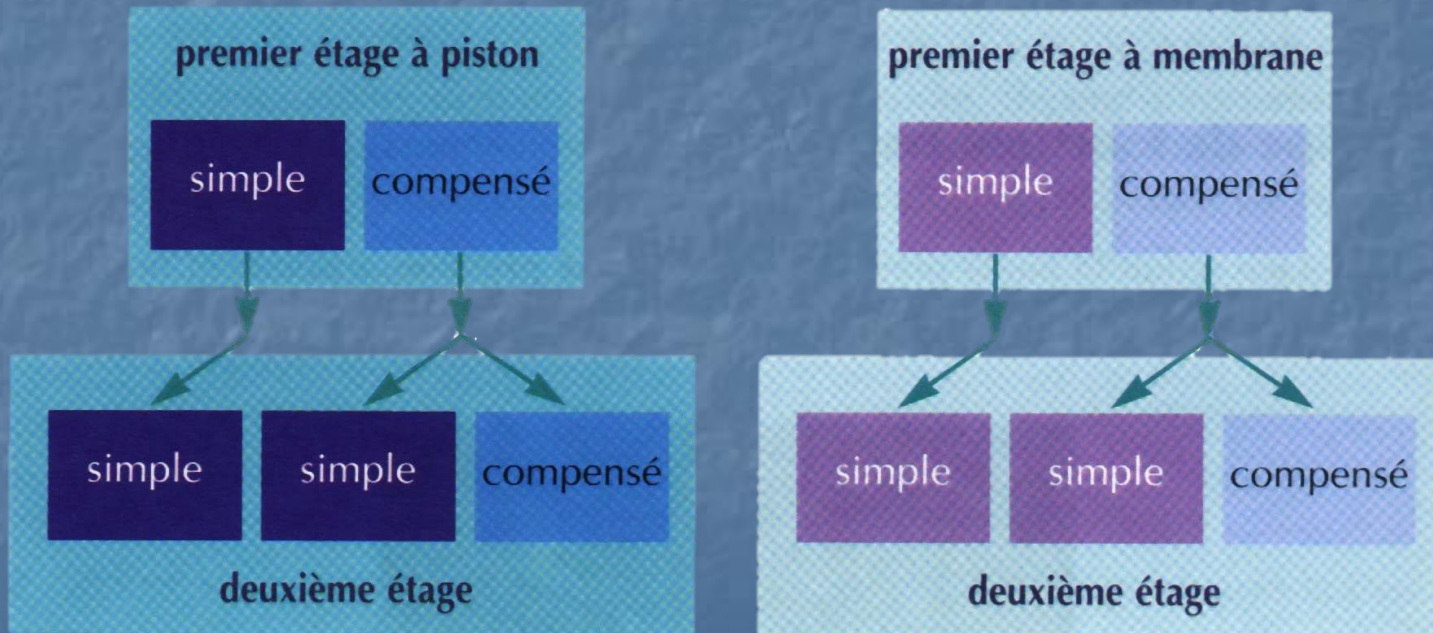
- A la pression ambiante
- À la demande du plongeur
- Et permettre l'expiration



5. Détendeurs : son architecture



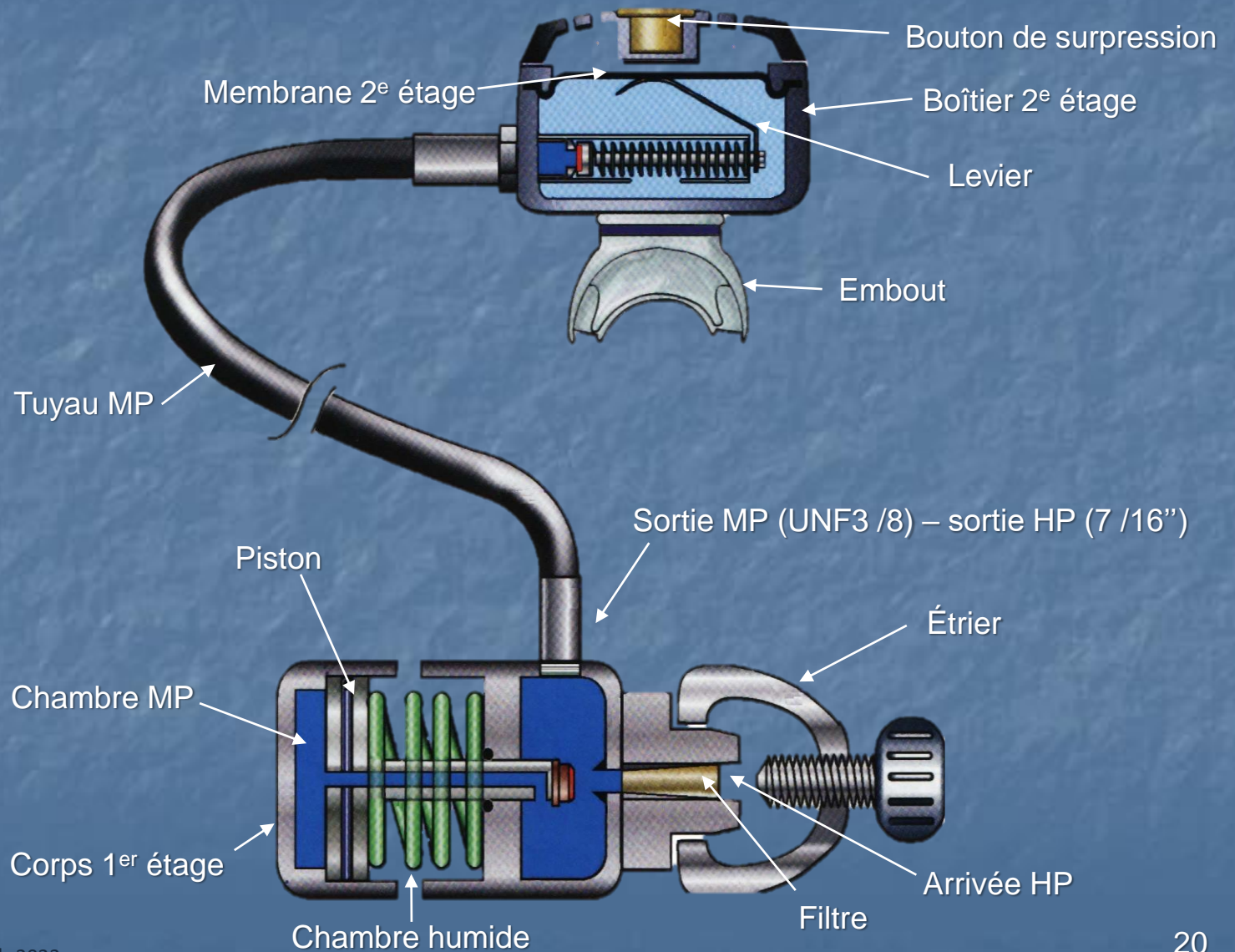
Classification des détendeurs à deux étages



5. Détendeurs : son architecture

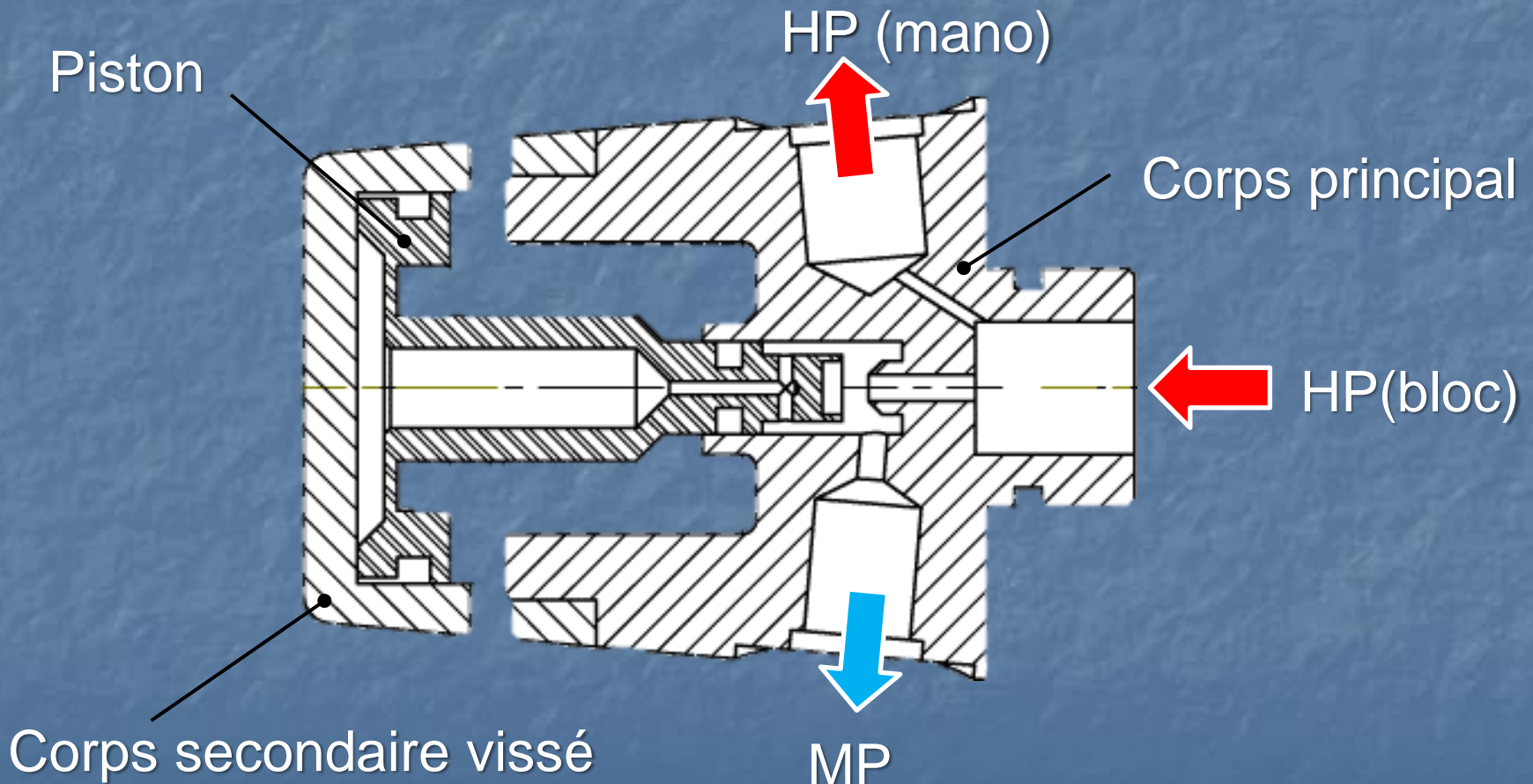
TYPES	CARACTERISTIQUES	AVANTAGES
PISTON simple	<ul style="list-style-type: none"> - Minimum de pièce mobile - Dépendant de la pression du bloc 	<ul style="list-style-type: none"> - Fiabilité, longévité, entretien minimal - La technologie piston est plus compacte que celle des détendeurs membrane
PISTON compensé	<ul style="list-style-type: none"> - Fourni une quantité d'air importante 	<ul style="list-style-type: none"> - Non altéré par la baisse de pression du bloc - Composants légers, sensibles = tps de réponses rapides à l'inspiration - Débit important
MEMBRANE COMPENSEE	<ul style="list-style-type: none"> - Mécanisme isolé du milieu ambiant. - Flux plus faible que les détendeurs à piston (diamètre des ouvertures plus faible) 	<ul style="list-style-type: none"> - Performant en eau trouble et froide
ANTIGIVRE	<ul style="list-style-type: none"> - Système de nervure agissant en dissipateur de chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmente les échanges thermique => eau froides (<10°C)
CHAMBRE EQUILIBRAGE SECHE	<ul style="list-style-type: none"> - Système entièrement étanche, empêche la formation de cristaux de glace sur le Ressort principal 	<ul style="list-style-type: none"> - Système très résistant au givrage

5. Détendeurs : son architecture



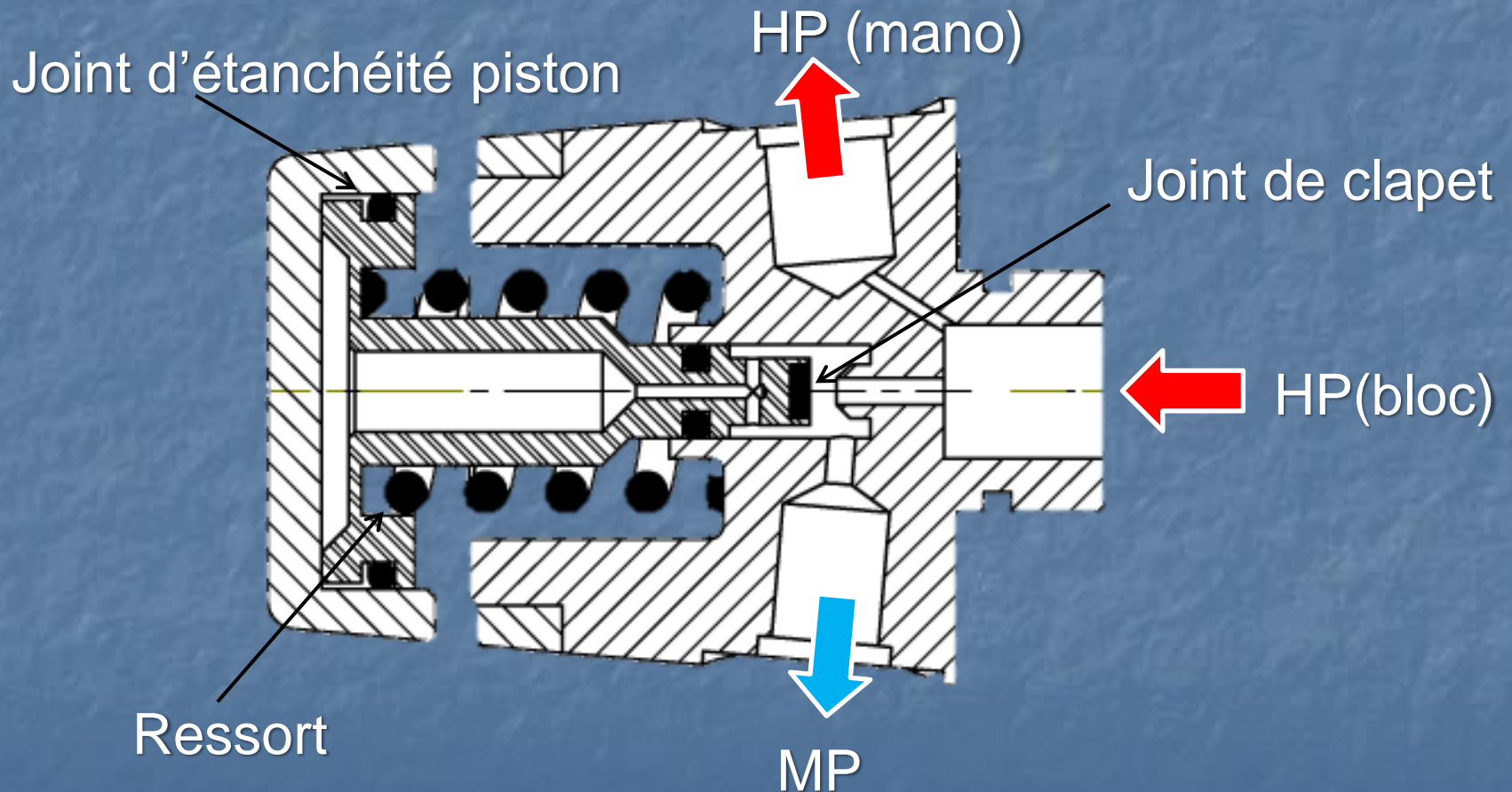
5. Détendeur 1^{er} étage non compensé : Etude

1^{er} étage – Pression nulle – sans ressort et sans joints d'étanchéité



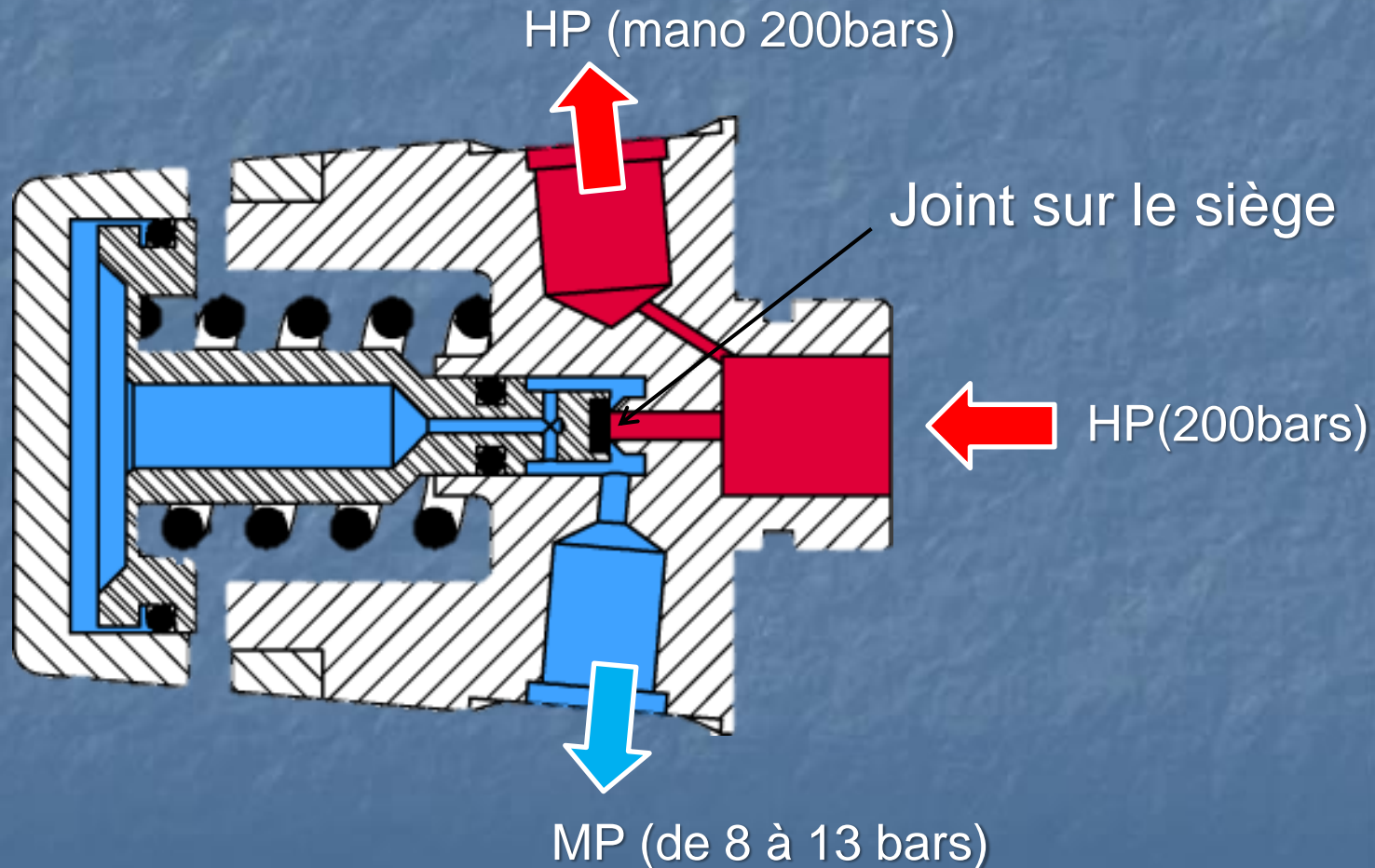
5. Détendeur 1^{er} étage non compensé : Etude

1^{er} étage – Pression nulle – avec ressort et joints d'étanchéité



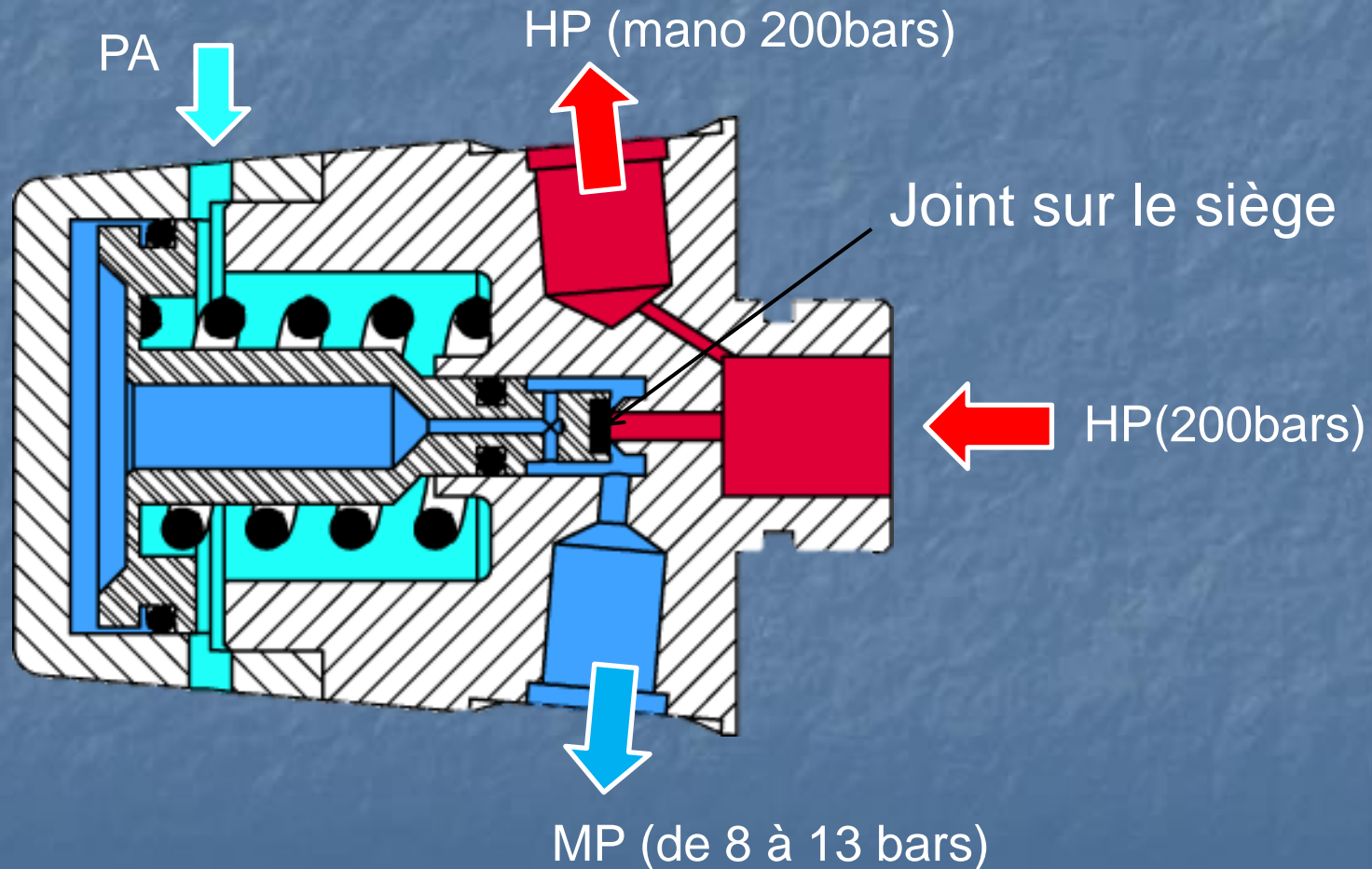
5. Détendeur 1^{er} étage non compensé : Etude

1^{er} étage – Ouverture du bloc gonflé à 200 bars



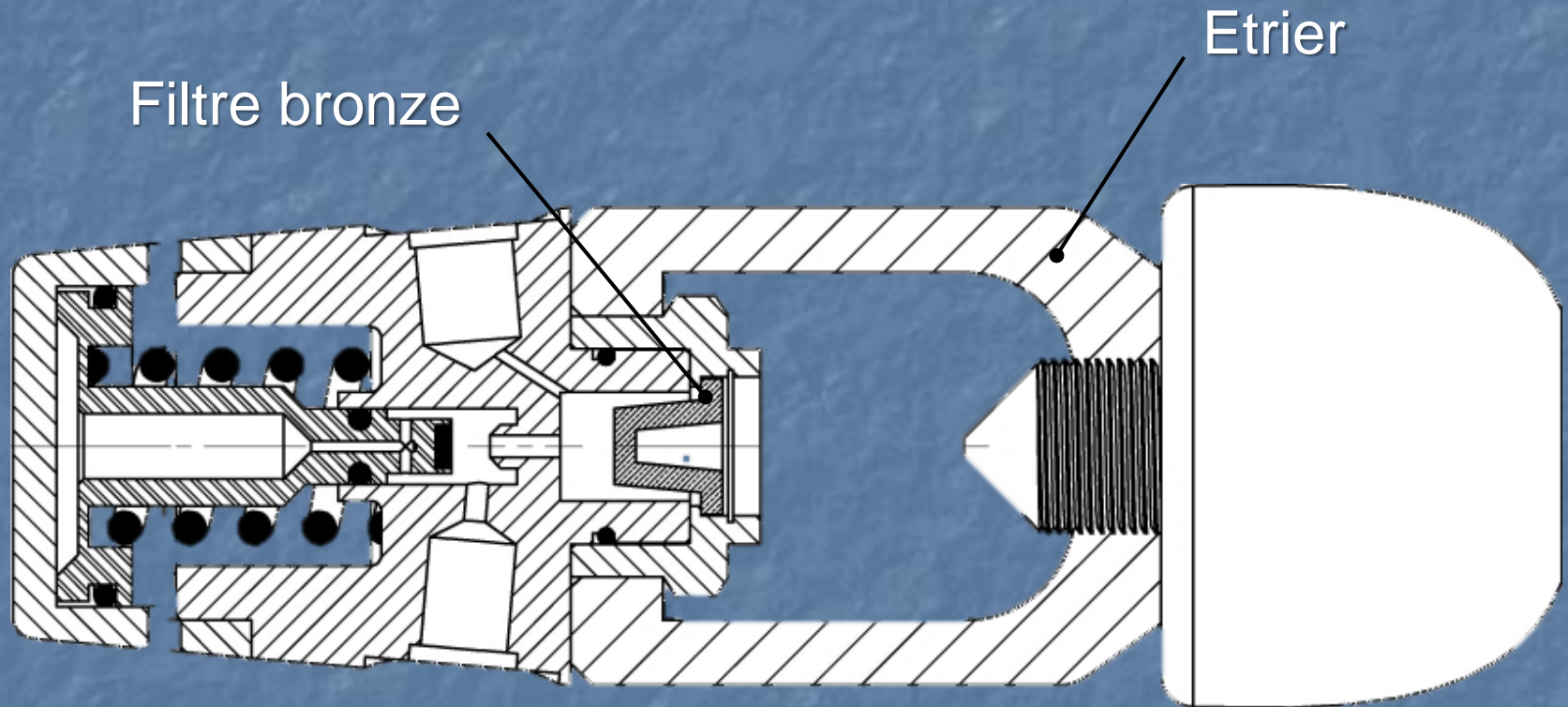
5. Détendeur 1^{er} étage non compensé : Etude

1^{er} étage – Ouverture du bloc gonflé à 200 bars et sous l'eau

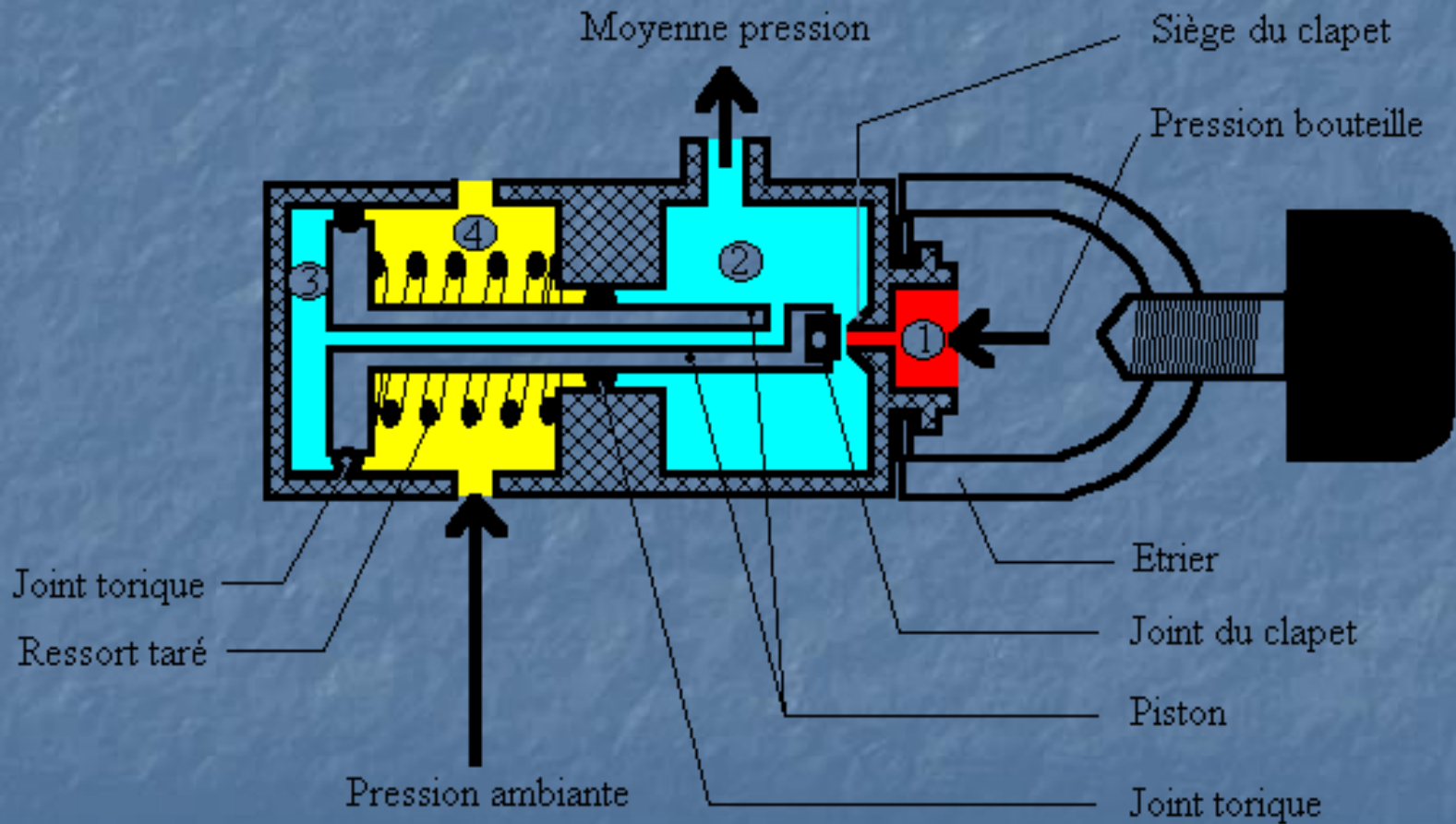


5. Détendeur 1^{er} étage non compensé : Etude

1^{er} étage – Assemblé entièrement

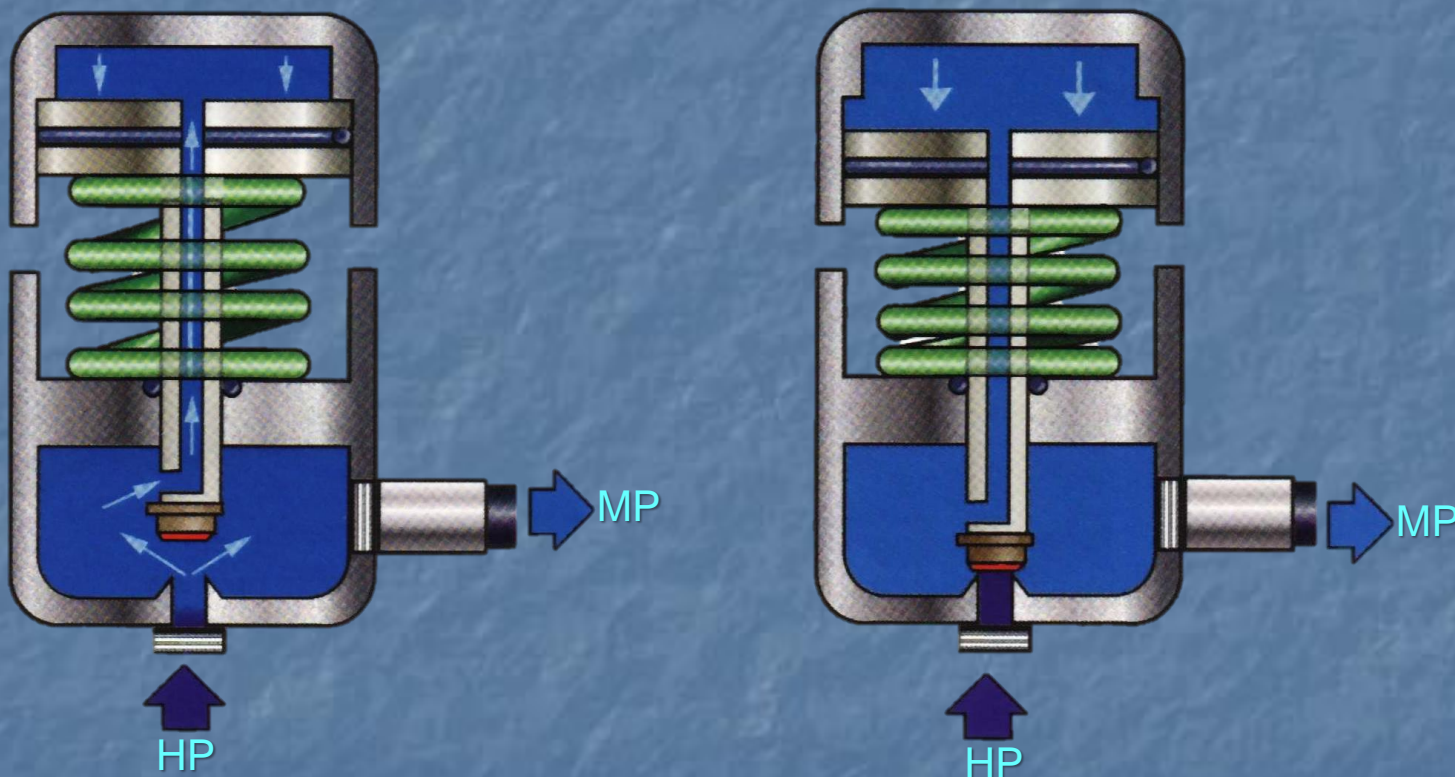


5. Détendeur 1^{er} étage non compensé: Schéma



5. Détendeur 1^{er} étage non compensé

Fonctionnement à l'ouverture de la robinetterie

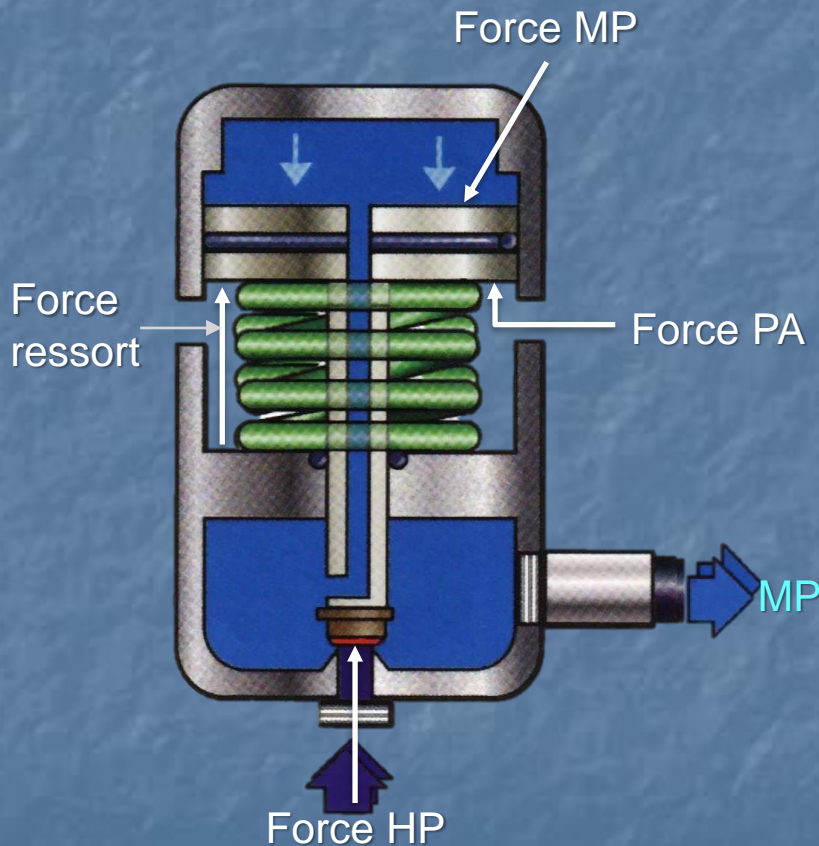


Pénétration de la HP dans le 1^{er} étage et dans le tuyau MP jusqu'au clapet du 2^e étage.

La MP qui s'applique sur la surface du piston crée la force de fermeture du clapet à la HP.

5. Détendeur 1^{er} étage non compensé

Bilan des forces



Forces de fermeture du clapet FF

$MP \times \text{surface du piston}$

=

$Pa \times \text{surface piston}$

+

Ressort

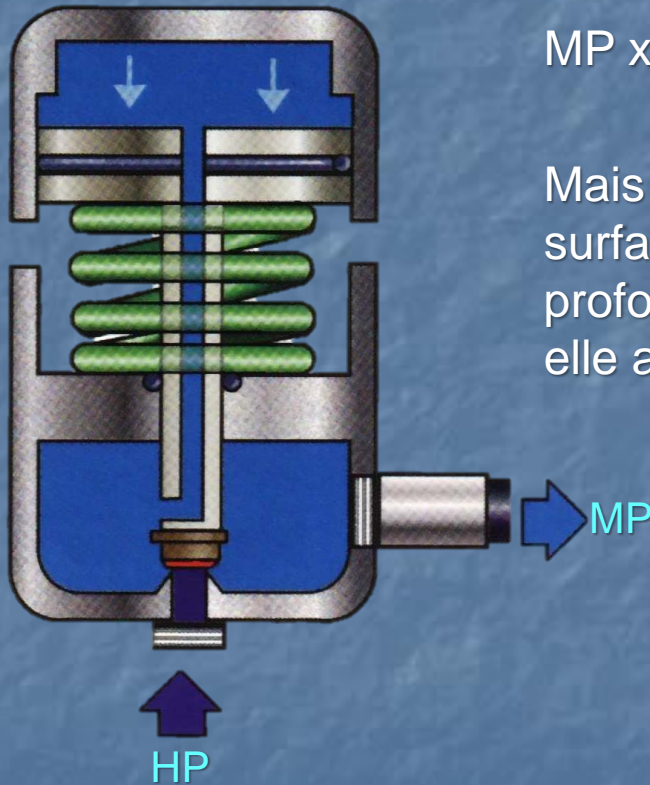
+

$HP \times \text{surface du clapet}$

Forces d'ouverture du clapet FO

5. Détendeurs : La compensation

Nous avons vu qu'à l'état d'équilibre, sur le détendeur précédemment étudié :



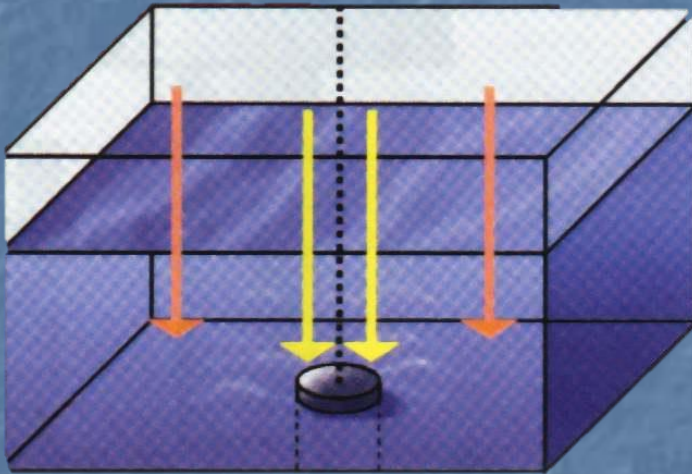
$$MP \times S1 = (HP \times S2) + (\text{force du ressort}) + (Pa \times S3)$$

Mais au cours de la plongée la HP va diminuer. Les surfaces, la force du ressort, ainsi que la Pa (à une profondeur donnée) ne changeant pas, seul la MP va elle aussi diminuer.

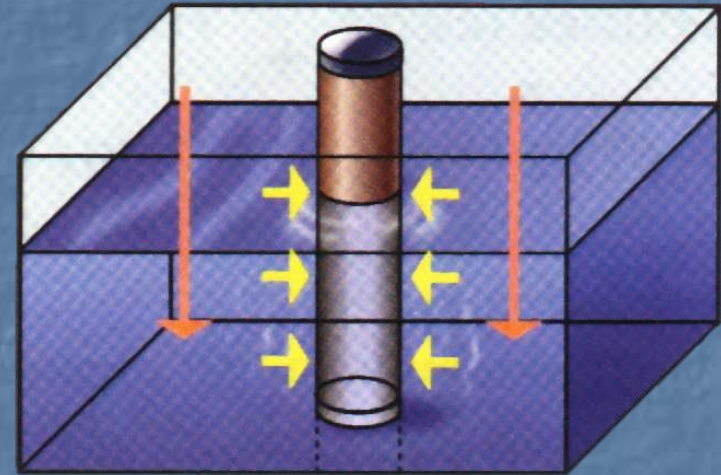
↓
Ce qui entraîne des efforts inspiratoires plus importants en fin de plongée.

↓
D'où l'intérêt de neutraliser l'action de la HP par le biais de la compensation, rendant ainsi la MP stable.

5. Détendeurs : La compensation

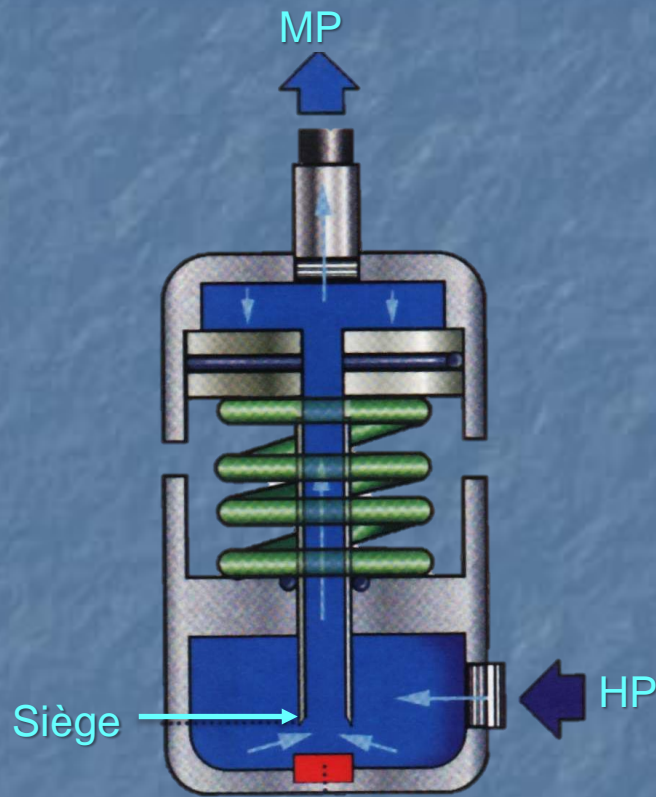


Pour retirer le bouchon,
il faut vaincre la force de l'eau.

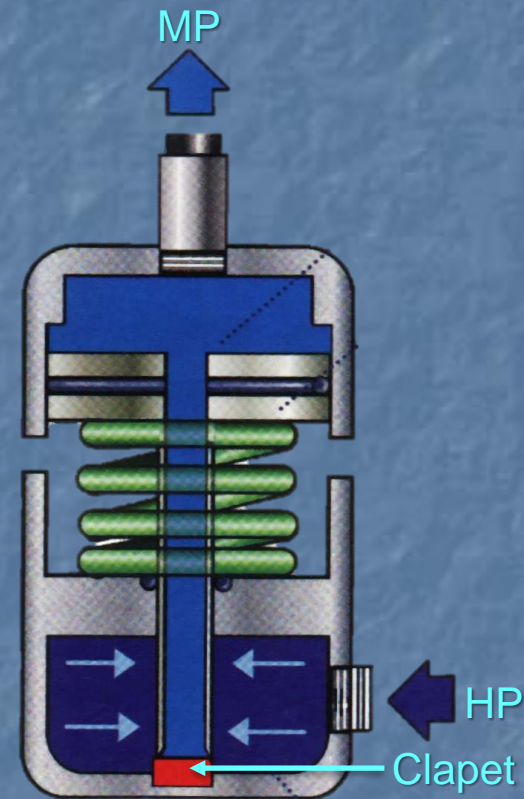


Toutes les forces s'appliquant sur le tube
s'annulent entre elles.
La force de l'eau est neutralisée.

5. Détendeur 1^{er} étage compensé : principe



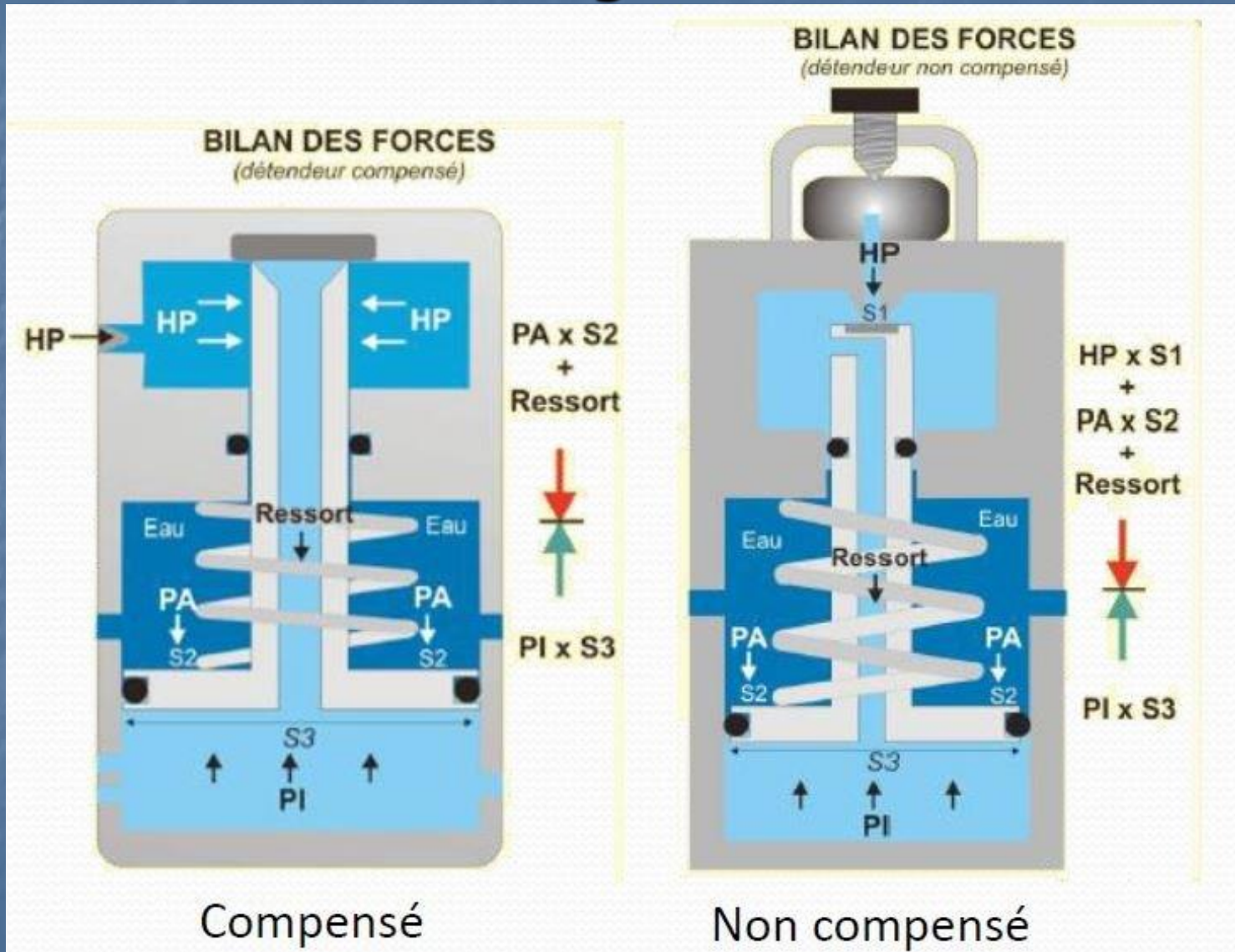
La HP n'influe plus sur la force d'ouverture du clapet.



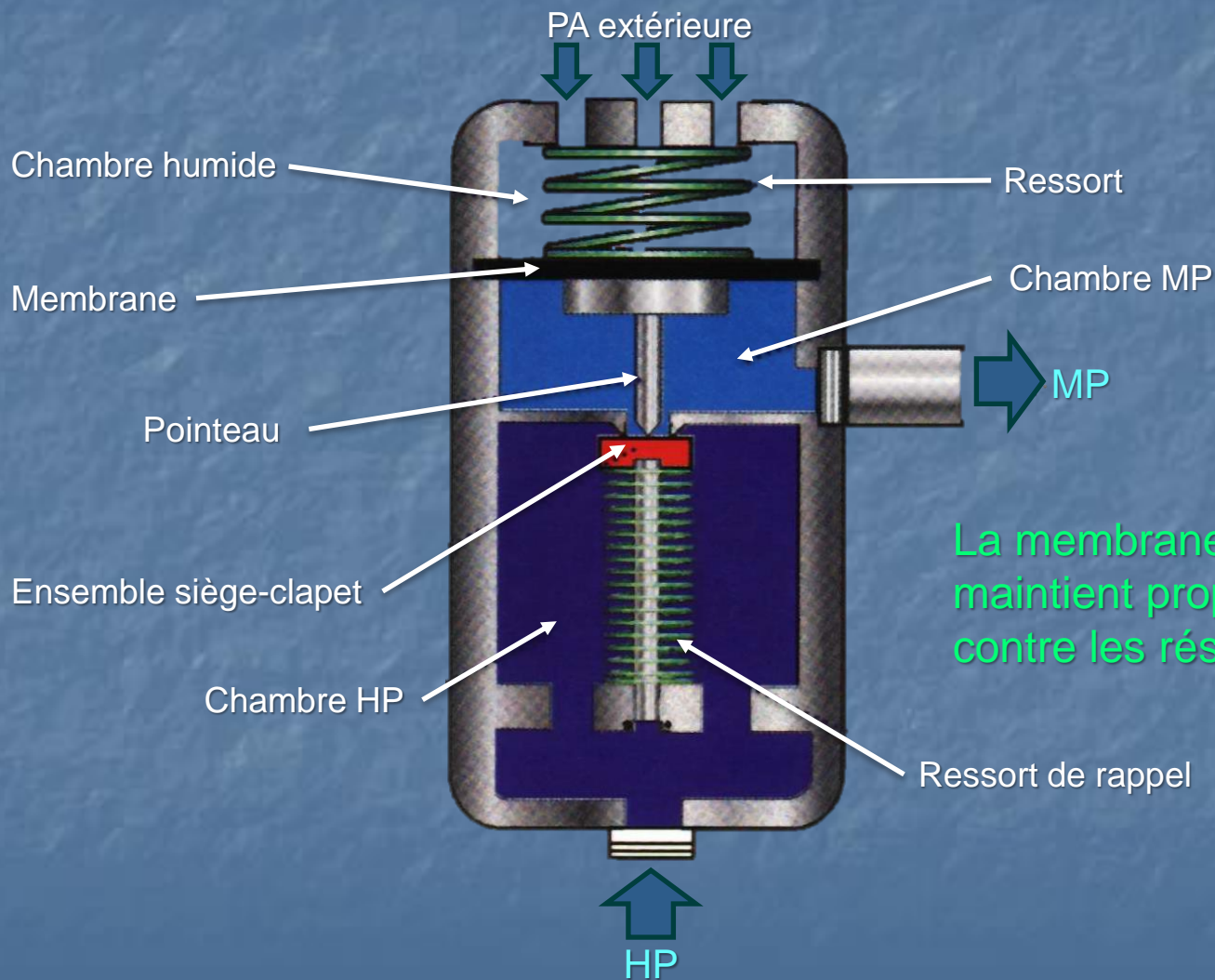
Le clapet devient fixe et le siège mobile. Les forces radiales qui s'appliquent sur le piston s'annulent entre elles.

<https://www.youtube.com/watch?v=cq2yRODwEKM>

5. Détendeurs 1^{er} étage

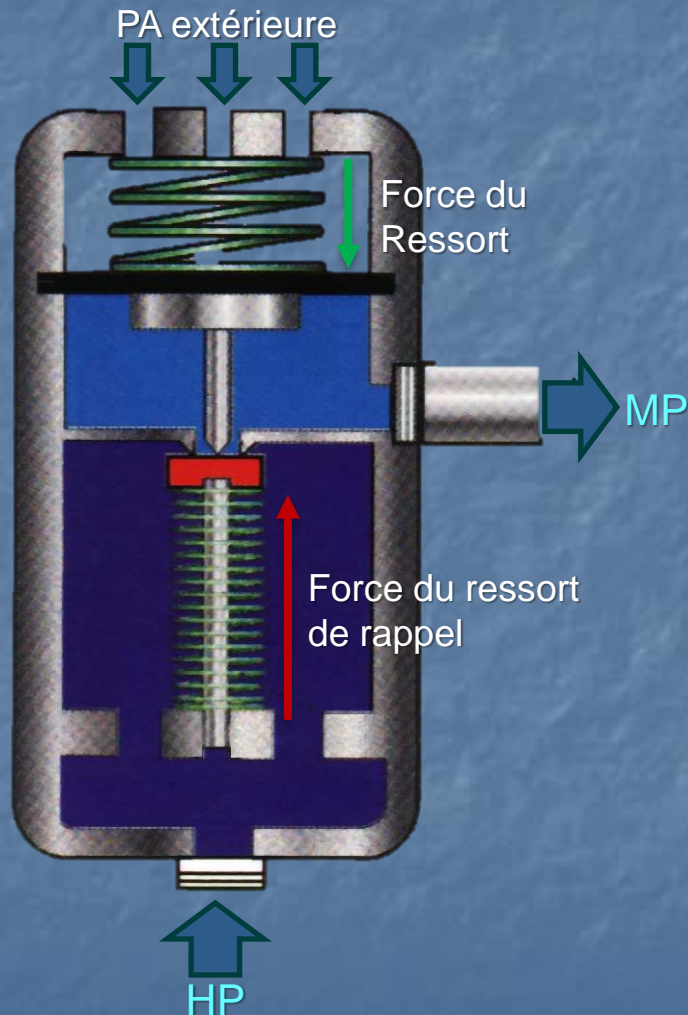


5. Détendeur 1^{er} étage à membrane



La membrane protège et maintient propre le piston contre les résidus.

5. Détendeur 1^{er} étage à membrane : bilan F



Forces d'ouverture du clapet FO

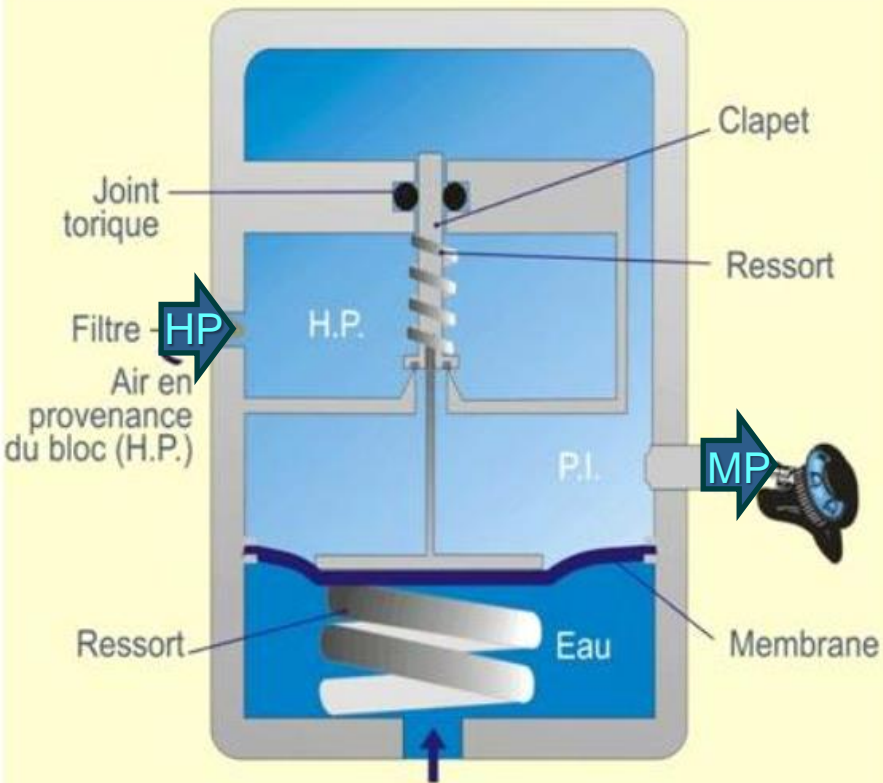
$$\begin{aligned} & \downarrow \\ & \text{PA x surface membrane} \\ & + \\ & \text{Ressort} \\ & + \\ & \text{MP x surface du clapet} \end{aligned}$$

=

$$\begin{aligned} & \text{MP x surface membrane} \\ & + \\ & \text{Ressort de rappel} \\ & + \\ & \text{HP x surface du clapet} \\ & \uparrow \end{aligned}$$

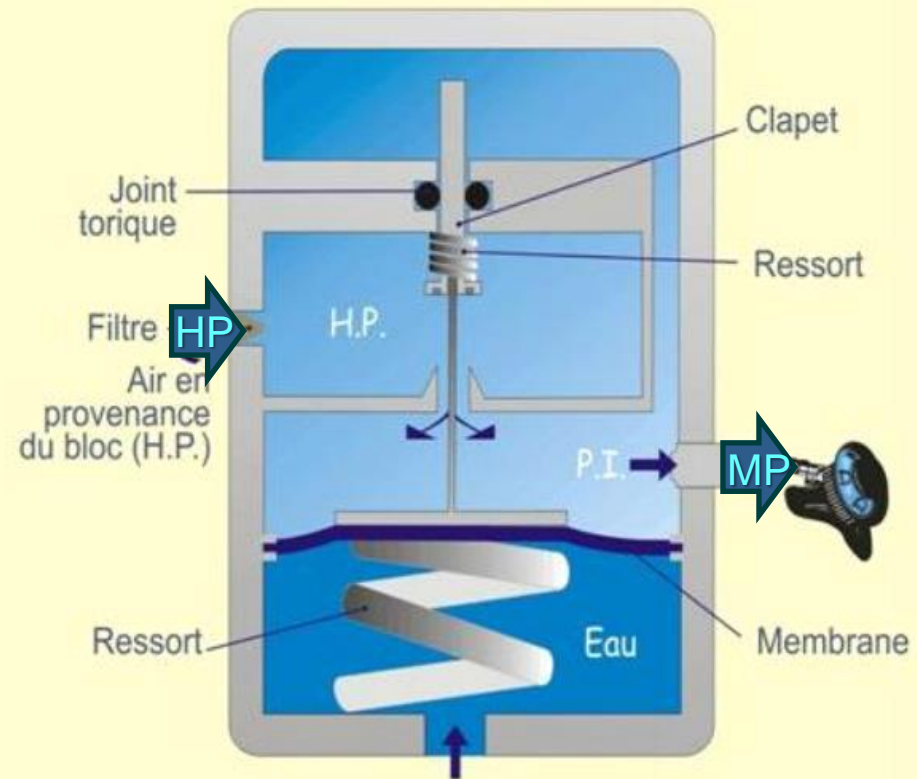
Forces de fermeture du clapet FF

5. Détendeur 1^{er} étage à membrane



PREMIER ETAGE
A MEMBRANE (expiration)

© Alain Forest Illustr-Pack II

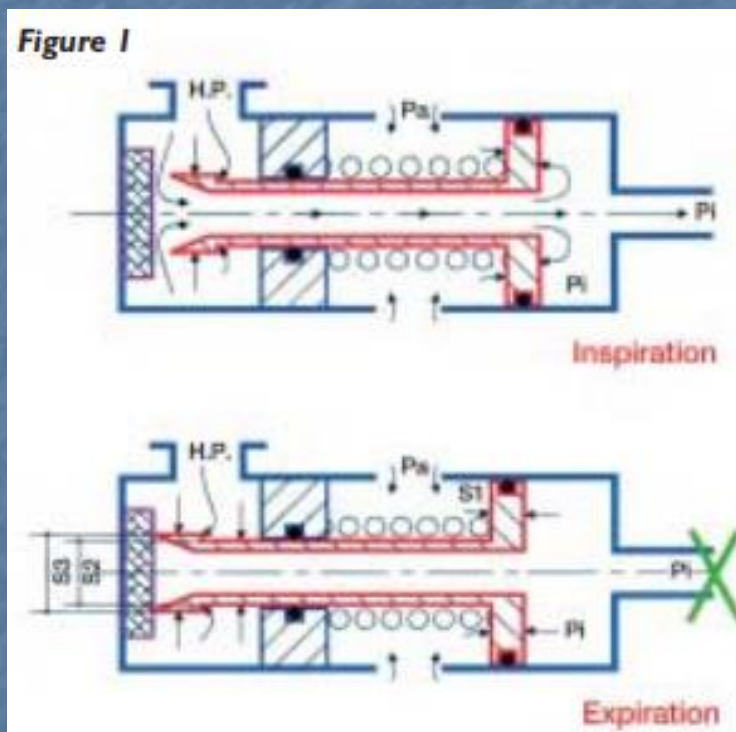


PREMIER ETAGE
A MEMBRANE (inspiration)

© Alain Forest Illustr-Pack II

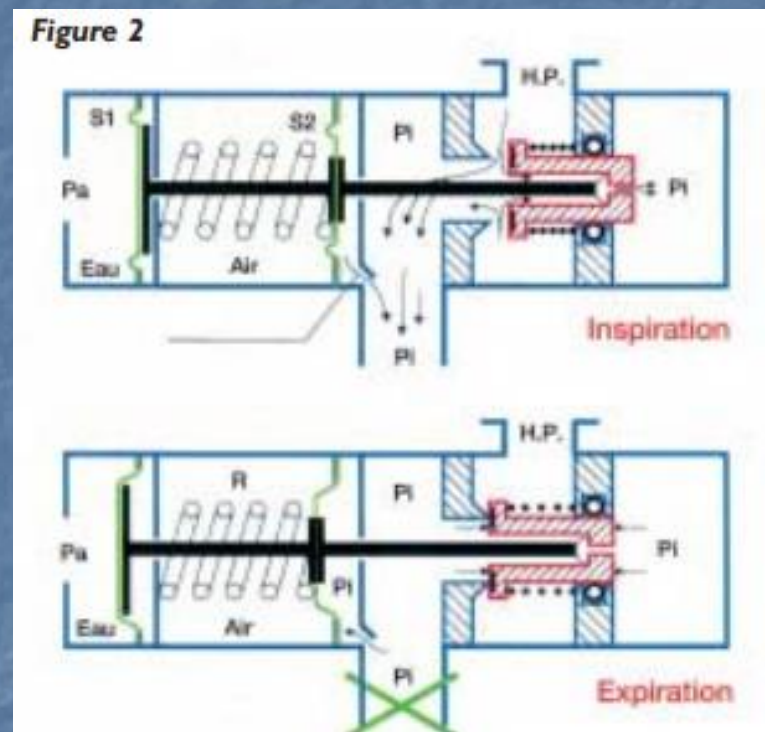
5. Détendeurs 1^{er} étage surcompensé

1^{er} étage à piston
Modèle Scubapro



Avantages : En fin de plongée, le confort respiratoire du plongeur augmente via augmentation de la MP.

1^{er} étage à membrane
Modèle Aqualung



Avantages : En profondeur, la MP augmente les performances du 2^{ème} étage.

5. Détendeurs : options de montage

Deux systèmes de fixation des 1er étages sur la robinetterie du bloc :

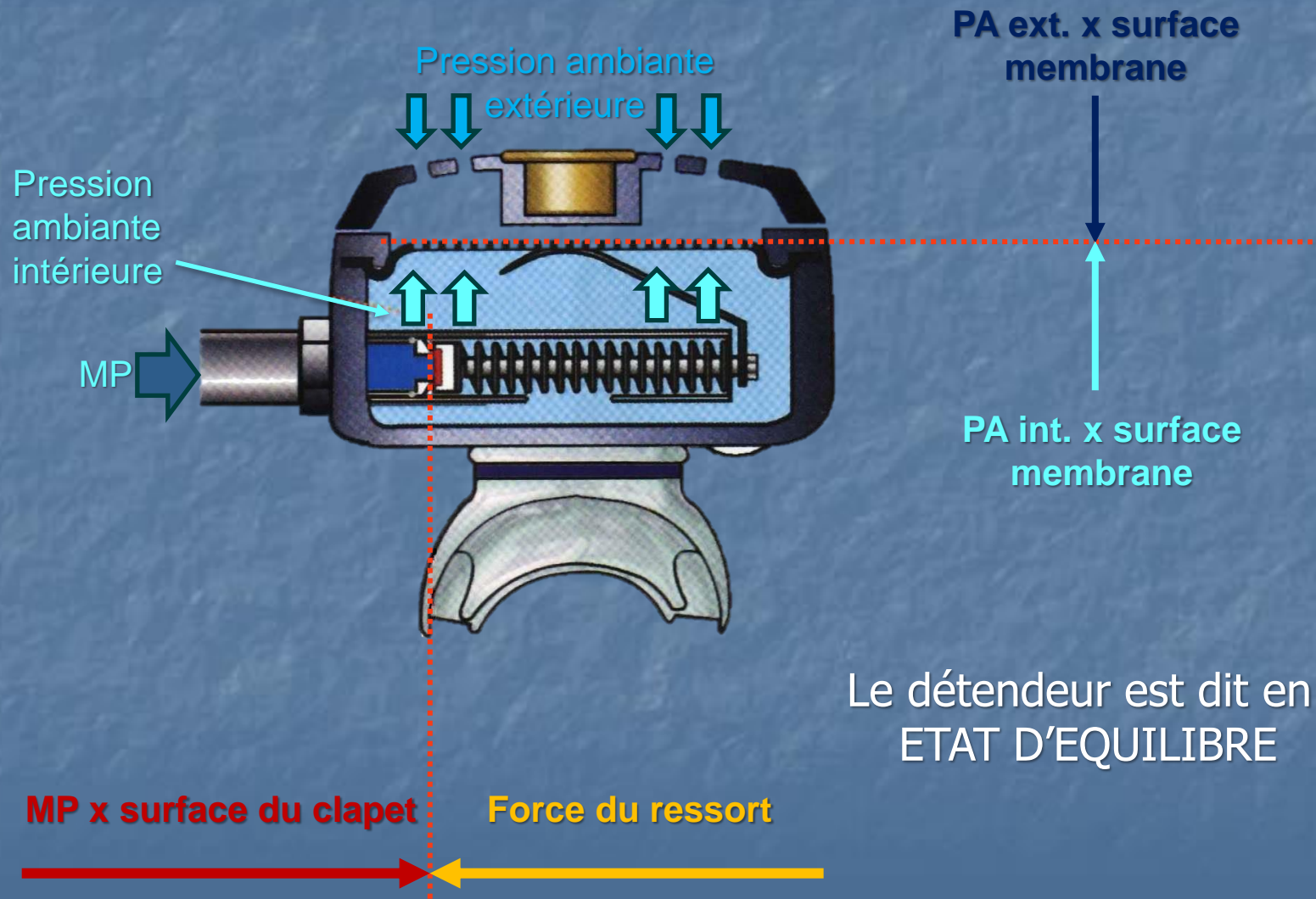
Etrier



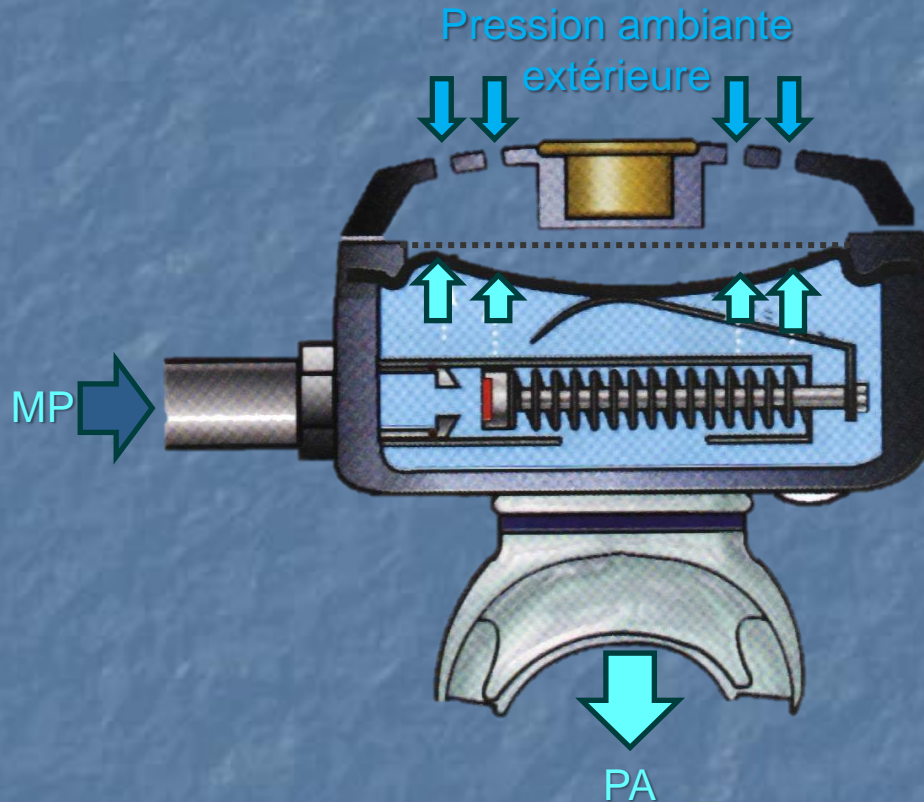
DIN



5. Détendeur 2^{ème} étage non compensé

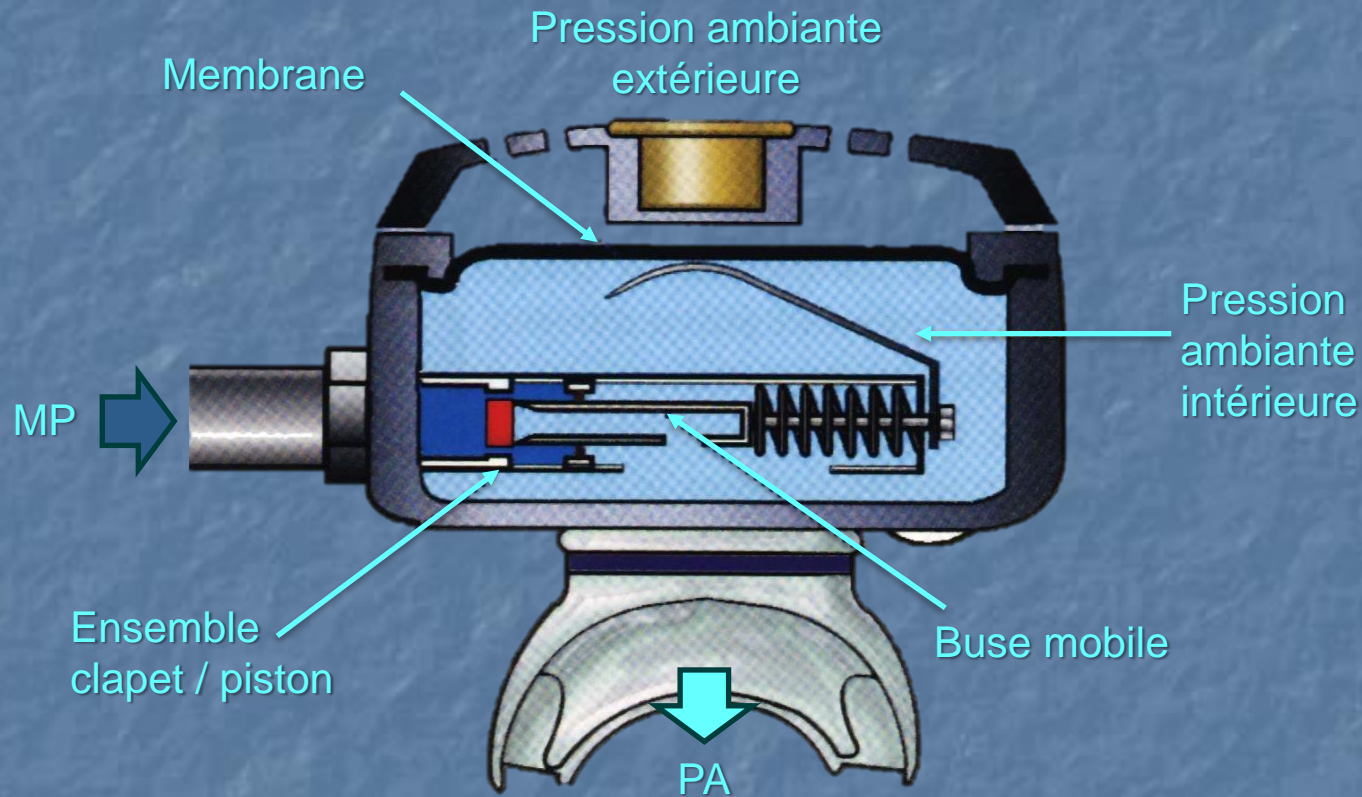


5. Détendeur 2^{ème} étage NC à l'inspiration



Inspiration et création d'une dépression à l'intérieur du boîtier du 2^e étage

5. Détendeur 2^{ème} étage compensé



Le système de compensation est basé sur le même principe. Neutralisation de la MP qui n'influe plus sur la force d'ouverture du clapet.

5. Détendeurs 2^{ème} étage : options

L'effet « venturi » ou effet de trompe :

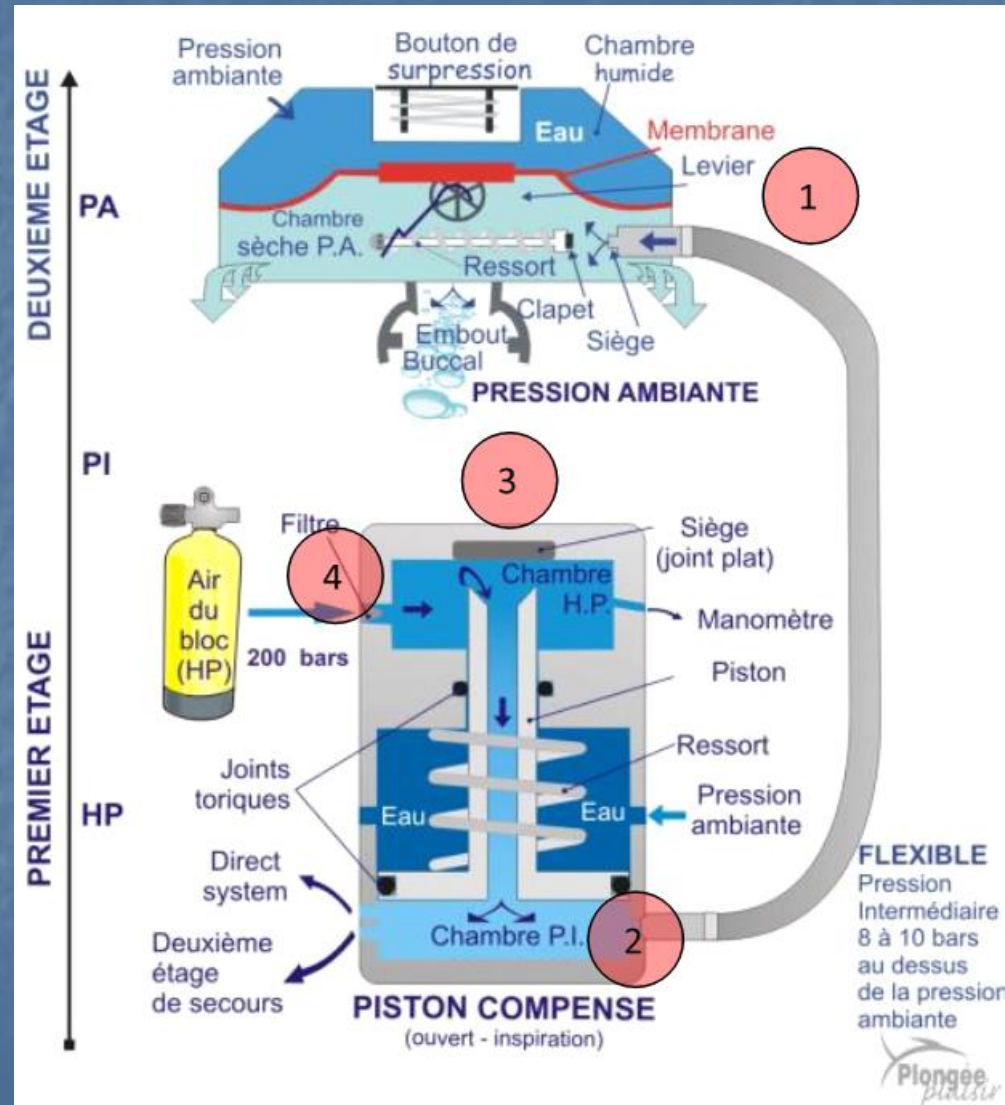
- Sur « + », nous avons une facilité inspiratoire, conseillé de la mettre lors de l'immersion
- Sur « - », réglage normal, conseillé lorsqu'on ne l'utilise pas.
- Permet également d'éviter une dépression sur la membrane donc un débit continu



5. Détendeurs 1^{er} et 2^{ème} étages

Fonctionnement

1. Inspiration du plongeur
 - Dépression au 2^{ème} étage
2. Dépression chambre PI
3. Piston décolle du siège
4. Arrivée d'air HP du bloc
5. Fin d'inspiration
 - Equilibre des forces



5. Détendeurs pour l'eau froide

Givrage du détendeur

- La détente de l'air dans un détendeur peut faire descendre sa température de plusieurs dizaines de degrés, bien en dessous de 0°C et provoquer son givrage
- Givrage, c'est la formation de glace entre le siège et le clapet au 1^{er} et/ou 2^{ème} étage
 - **Empêche le retour du clapet à la position initiale sur le siège débit continu!**
- La norme considère risquée la température ambiante inférieures à +10°C



5. Détendeurs pour l'eau froide

Givrage du détendeur

- Un détendeur givré videra l'air dans le bloc dans peu de temps selon la profondeur
- Aucun détendeur n'est garanti à 100 % contre le givrage
- Nécessité de double sorties indépendantes et de deux détendeurs 1^{er} étage

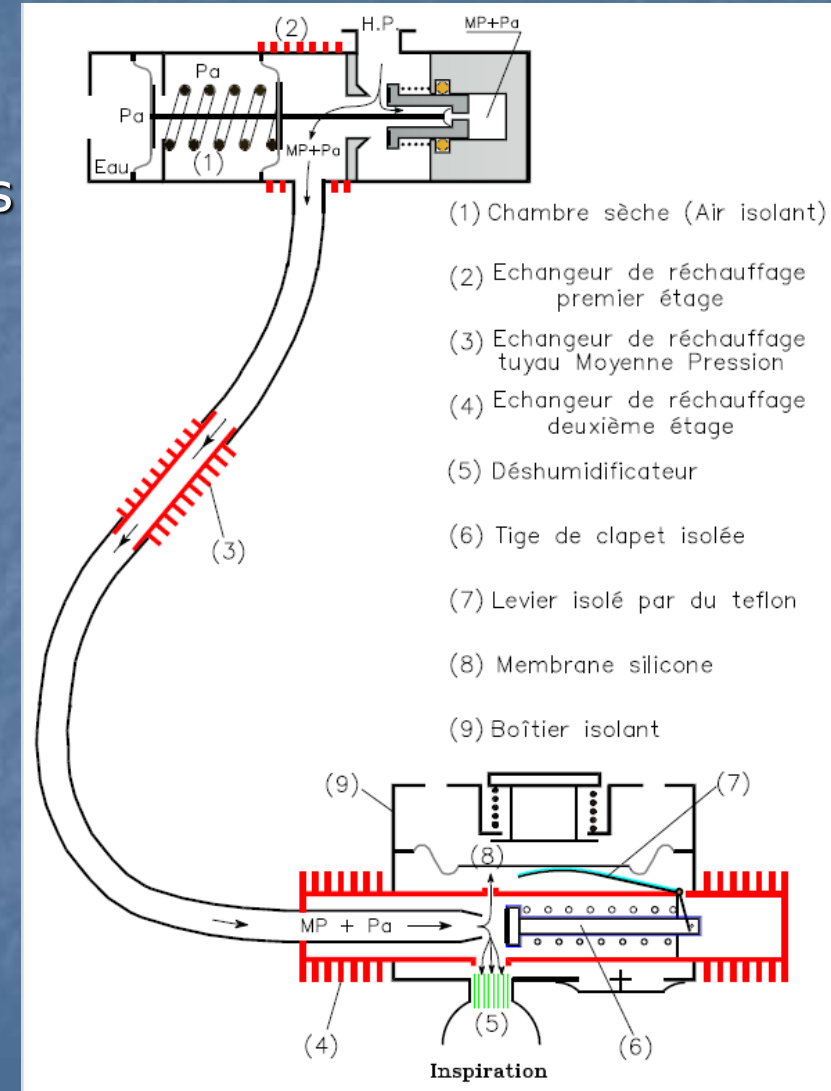


5. Détendeurs pour l'eau froide

Fonctionnement

La lutte contre le givrage des détendeurs consiste essentiellement à réchauffer l'air à la détente et à isoler les parties sensibles qui risquent d'être bloquées par le givre (pistons, sièges, leviers, clapets et ressort)

- Echangeurs à ailettes réchauffent l'air au contact de l'eau ambiante $>0^{\circ}\text{C}$
- Revêtements empêchent le givre de se fixer sur les pièces sensibles des 2^{ème} étages.



5. Détendeurs pour l'eau froide

Facteurs favorisant le givrage

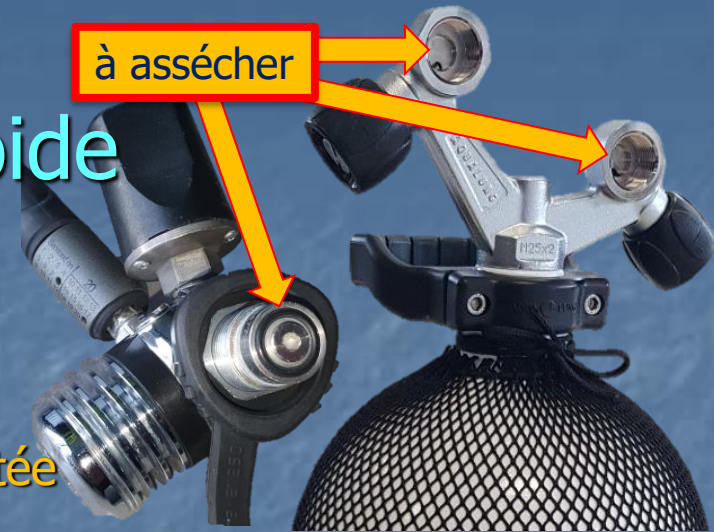
- Température ambiante inférieure à 10°C
- Air humide ou eau dans la bouteille
- Détendeurs non adaptés aux basses températures (< 10°C). Voir EN250
- Faire fuser un détendeur dans l'air ou dans l'eau froide
- Mauvaise configuration du scaphandre et mauvaise répartition des tuyaux par étage
 - Utilisation simultanée d'une même source d'air : détendeur, direct-System, octopus ...
- Efforts physiques et respiratoires importants
- La profondeur



5. Détendeurs pour l'eau froide

Prévention au givrage en eau froide

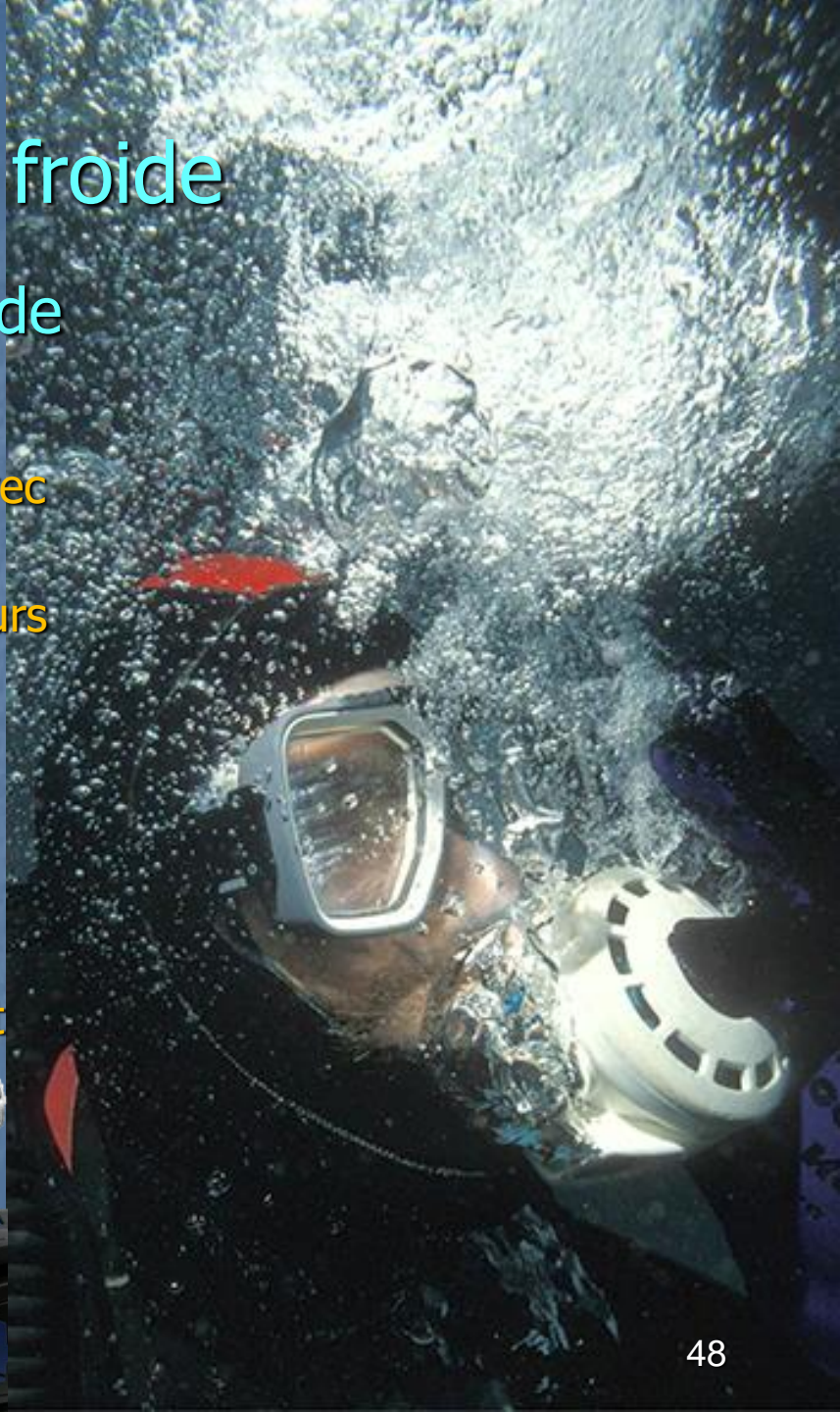
- Avant la plongée, s'assurer que
 - Les plongeurs ont reçu une formation adaptée à l'eau froide
 - Les détendeurs utilisés sont adaptés aux plongées en eau froide
 - Le décanteur du compresseur est purgé
 - La purge des robinets des blocs avant le gonflage est faite
 - Les condensats sur la sortie des robinetteries et des détendeurs sont asséchés avant le montage des 1^{er} étages
 - La configuration des scaphandres est bonne
 - La répartition des sources d'air est correcte
 - Consignes sur la CàT en cas de givrage



5. Détendeurs pour l'eau froide

Prévention au givrage en eau froide

- En cours de plongée
 - Utiliser une robinetterie à 2 sorties avec deux détendeurs complets
 - Répartir les tuyaux sur les 2 détendeurs et séparer inflation et inspiration
 - Éviter les efforts trop importants
 - Contrôler sa respiration, modérer les appels inspiratoires
 - Ne pas faire fuser son détendeur
 - Ne pas utiliser le « Direct System » et son octopus simultanément
 - Utiliser un « Stop Flow »
 - Limiter la profondeur, rester dans la courbe de sécurité



5. Détendeurs pour l'eau froide

Conduite à tenir en cas de givrage

- Prenez votre Octopus et éloignez à longueur de bras l'embout en débit continu pour échapper aux bulles
- Fermez le robinet du côté givré ou demandez au binôme de le faire
 - **Tournez-lui votre épaule pour faciliter son accès au robinet à fermer**
- Fin de plongée
- Entamez la remontée à deux, restez calme !
- Au palier, réouvrez le robinet du côté givré
 - **Probable dégivrage pendant la remontée**



5. Détendeurs – Protèges flexibles



Protection des flexibles par des embouts plastiques afin qu'ils ne se plient et ne se cassent



5. Détendeurs

Points de vigilance

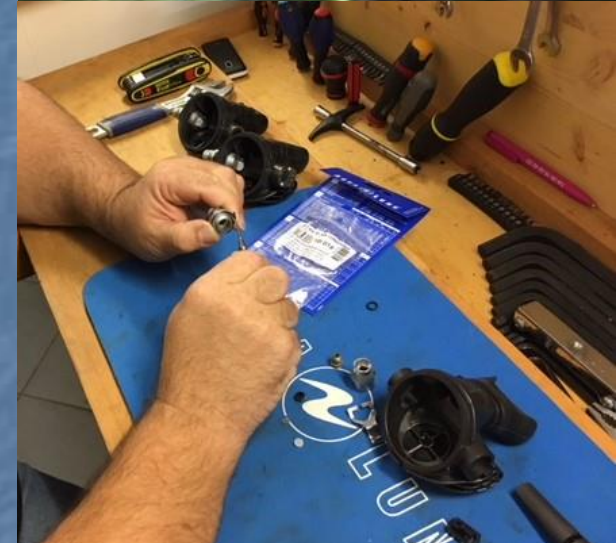
- Rinçage pour éviter la corrosion extérieure.
- Désinfection des 2^{ème} étages
- Eviter les chocs et les expositions à de fortes températures.
- Protection des flexibles par des embouts plastiques
- Ne pas les traîner dans le sable



5. Détendeurs

Points de vigilance

- Ne pas monter un 2^{ème} étage non compatible avec la pression intermédiaire fournie par le 1^{er} étage.
- Ne jamais monter un 1^{er} étage sur un bloc sans un 2^{ème} étage ou une soupape.
- Révision par un technicien agréé tous les 2 ans.
- Ne pas démonter vous-même les détendeurs.
- <https://www.youtube.com/watch?v=nKrYxOvYexk>



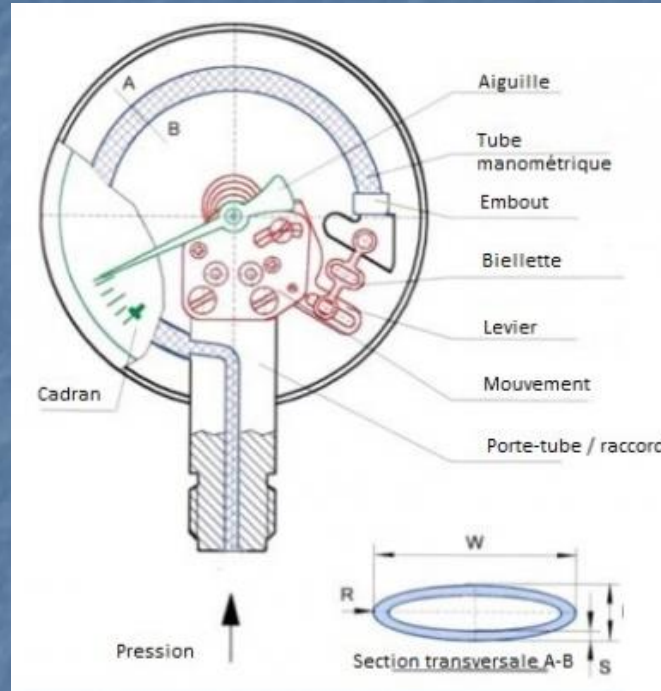
5. Détendeurs : Dysfonctionnement

Signes	Causes	Remédiation
Présence d'eau à l'inspiration	Embout percé Membrane 2 ^{ème} étage défectueuse Soupape d'expiration non étanche	Changement de l'embout Révision par un technicien Nettoyage ou changement de la soupape
Débit continu de l'air	Mauvaise étanchéité des sièges/clapets MP trop élevée, Surpresseur coincé	Révision par un technicien
Bulles sortant de la chambre humide du 1 ^{er} étage	Joint thorique défectueux 2 ^{ème} étage non compatible avec le MP du 1 ^{er} étage	Révision par un technicien Remplacer le 2 ^{ème} étage avec celui préconisé par la marque
Hernie ou craquelures sur le tuyau de MP	Usure du tuyau	Changement du tuyau
Inspiration difficile	1 ^{er} et/ou 2 ^{ème} étage dérèglé(s) et/ou encrassé(s) Filtre d'entrée encrassé	Révision par un technicien

An underwater photograph showing two divers swimming over a vibrant coral reef. The water is clear blue, and numerous small orange fish are scattered throughout the scene. The divers are positioned on the left and right sides of the frame, with their equipment visible. The coral reef is in the foreground and middle ground, featuring various types of coral in shades of white, yellow, and green.

6. Manomètres

6. Manomètre à tube de bourdon



Différents types

- En Bar
- En PSI
- 1 bar = 14,504 PSI

6. Manomètres numériques

Différents types

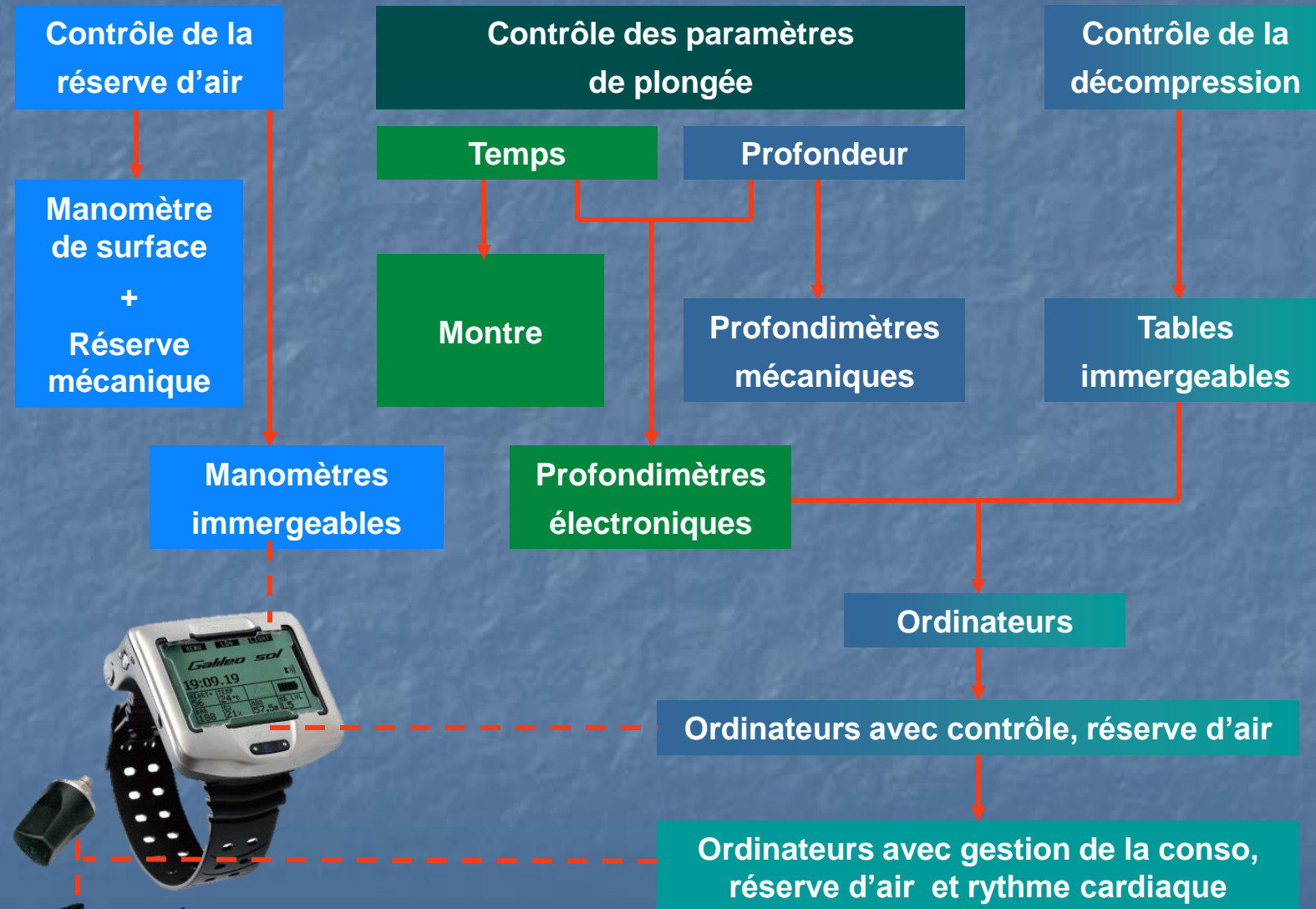
- En Bar ou en PSI
- Ordinateurs avec gestion d'air
- En console ou avec émetteur



An underwater photograph showing a vast coral reef. The foreground is dominated by a dense field of large, flat, circular coral structures. In the mid-ground, several divers are visible, some with their lights on, exploring the reef. The water is a deep, clear blue, and the overall atmosphere is serene and mysterious.

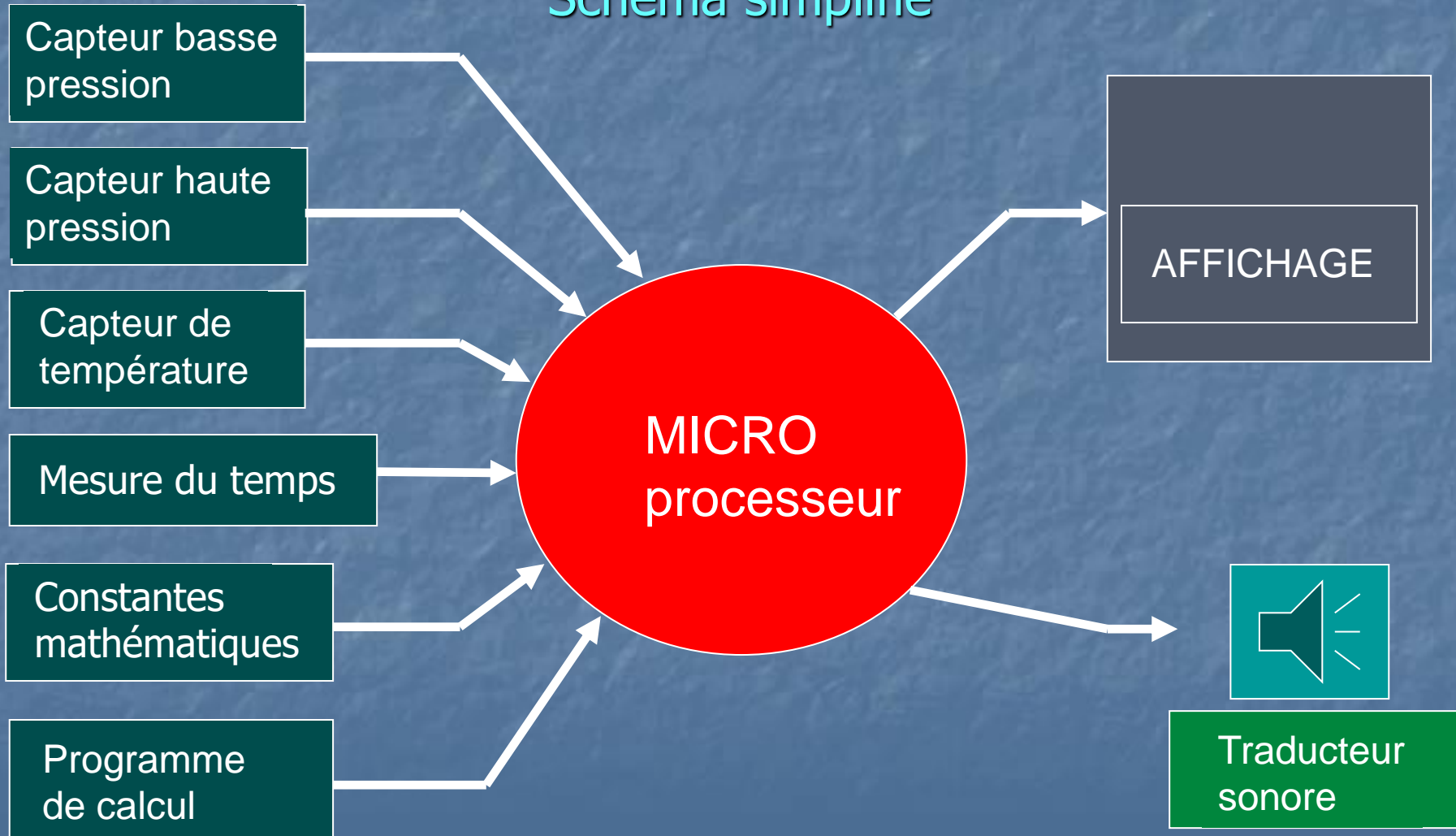
7. Ordinateurs de plongée

7. Ordinateurs de plongée



7. Ordinateurs de plongée

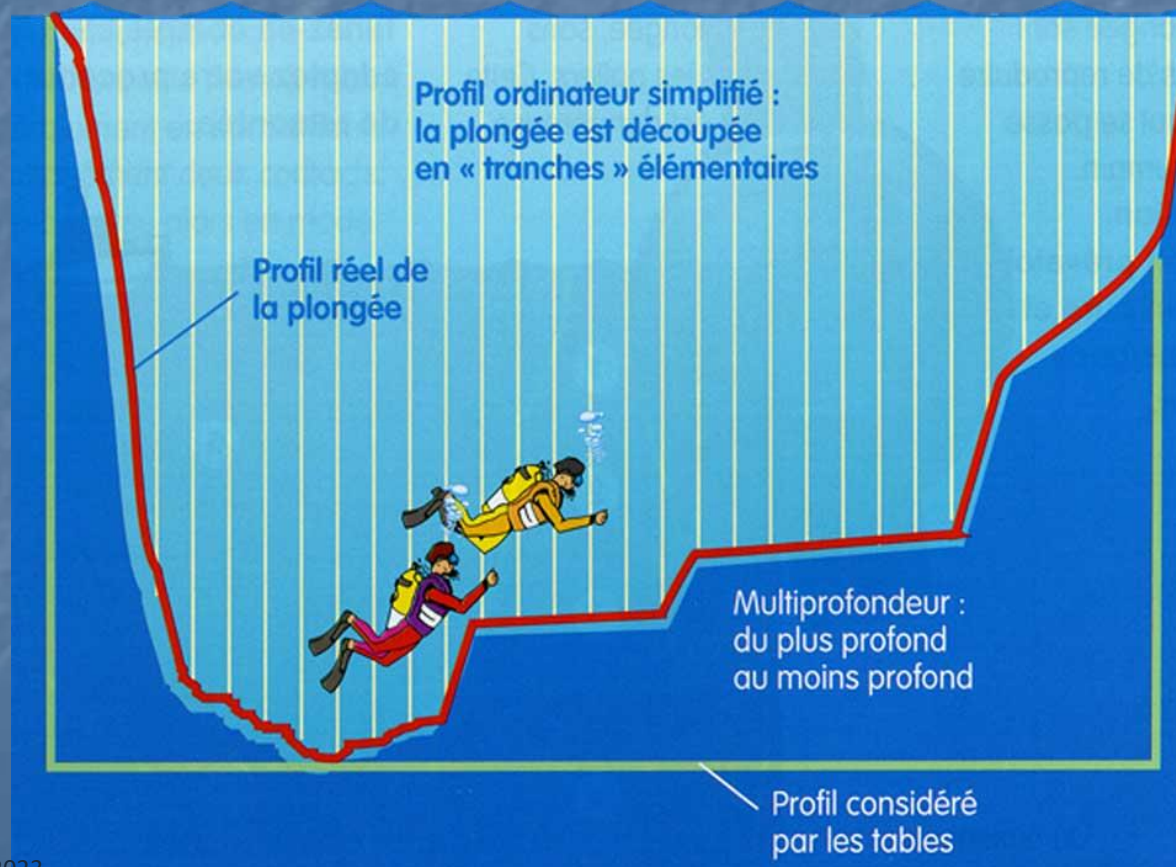
Schéma simplifié



7. Ordinateurs de plongée

Fonctionnement

Comparaison entre une plongée avec le mode de décompression « Table MN90 » et le mode de décompression « Ordinateur de plongée »



7. Ordinateurs de plongée



Ne pas prêter son ordinateur à quelqu'un dans une même journée ou un même stage

Ne pas changer de mode de décompression dans une même journée

Ne pas modifier les paramètres de l'ordinateur dans une même journée

7. Ordinateurs de plongée

Fonctionnement

- Usage strictement personnel en séjour de plongée
- Approche au plus près du profil réel de la plongée pour optimiser la phase de décompression
- Calculs et indications de base
 - Profondeurs (actuel, maximum atteinte, paliers)
 - Durée restante sans palier et avant l'avion
 - Vitesse et Durée Total de Remontée
 - Durée de la plongée, des paliers et décomptage
- Informations nécessaires pour les calculs de base
 - Altitude (pression atmosphérique)
 - Pression ambiante (variations de pression)
 - Temps d'immersions et d'intervalles de surface



7. Ordinateurs de plongée

Fonctionnement

- Calculs et indications supplémentaires selon les modèles (non exhaustive)
 - Réglages : planification, durcissement, taux d'O₂
 - Décompression individualisée, Gestion d'air
 - Temps restant à la profondeur actuel (RBT)
 - Alertes sonores et visuelles pour Début d'essoufflement, VR rapide, Effort élevé, Courbe de sécurité, Réserve d'air, Plancher, Batterie
 - Taux résiduel de N₂ et d'unités de toxicité d'O₂
 - Historiques et graphiques des plongées réalisées
- Informations nécessaires pour les calculs supplémentaires
 - Consommation, Pression du bloc, Mélanges
 - Débit cardiaque, Température ambiante, Mer/Lac



7. Ordinateurs de plongée

Critères de choix

■ Critères techniques

- Modèle mathématique utilisé
 - US-Navy, Bühlmann, Comex, RGBM, etc..
- Durée de paliers longue (ex: Suunto)
- Paliers profonds (à éviter)
- Vitesse de remontée fixe ou variable selon profondeur
- Procédure de rattrapage en cas d'erreur de remontée
- Procédure de secours en mode erreur

■ Critères ergonomiques

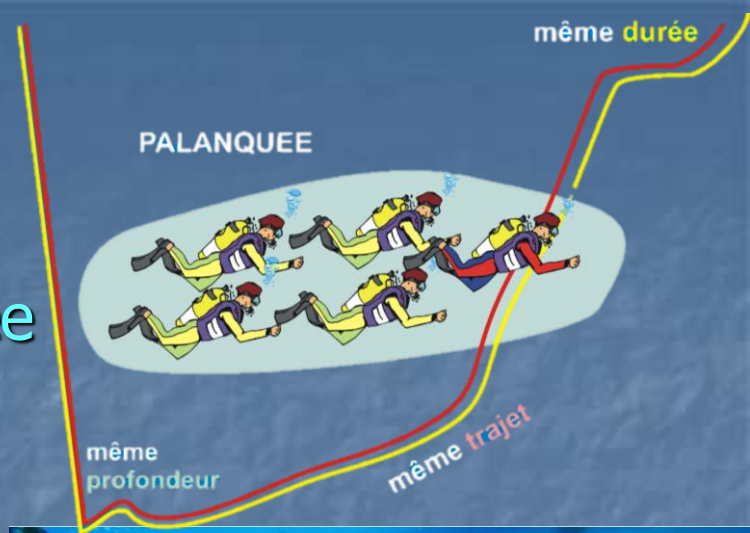
- Lisibilité, rétroéclairage, pertinence des infos en immersion, type de bracelet, en console ou en poignée avec émetteur,
- Remplacement et modèle de batterie
- Interface PC/Mac,



7. Ordinateurs de plongée

Hétérogénéité au sein de la palanquée

1. Définir le protocole de décompression avant de plonger en tenant compte de :
 - Moyens de décompression de chacun
 - Précédentes plongées réalisées
 - Niveau de compétence des plongeurs
2. Rester solidaire
3. Une seule vitesse de remontée
 - La VR la plus lente
4. Décompression la plus conservative
 - Paliers les plus longues
 - Ne pas tenir compte des paliers profonds
5. Pour éviter toute complication, rester dans la courbe de sécurité !



8. Synthèse

La plongée est une activité à « risque », ce cours montre que le matériel utilisé fait appel à des technologies élaborées, régies par une réglementation toujours plus précise afin de garantir la sécurité des encadrants et des plongeurs.

Il sera de vos prérogatives d'encadrants, d'informer les plongeurs sur la nécessité d'entretenir et de prendre soin du matériel confié.

Bonnes plongées en toute sécurité avec plaisir dans le respect du milieu.

C'est fini !



Je vous remercie pour votre participation

Yilmaz KARAUC