



N°009 du mercredi 30 juin 2004

Numéro spécial détendeurs

À partir d'une profondeur de 50 cm, nos muscles ne peuvent plus vaincre l'effet de la pression de l'eau et il est impossible de respirer de l'air à la pression atmosphérique par un tuba.

D'où la nécessité d'utiliser de l'air comprimé. Cependant, l'air ne peut pas être utilisé directement car sa pression à la sortie du bloc est trop élevée. Il doit d'abord être ramené à la pression ambiante (pression au niveau des poumons du plongeur).

C'est le rôle du détendeur. Celui-ci doit assurer un apport d'air utile de 20 à 100 litres/minute, variable selon les besoins, (effort, profondeur, etc.), à la pression ambiante et sur simple demande, puis en permettre l'évacuation.

Nous avons vu dans les numéros précédents d'Aquanature que Benoît Rouquayrol et Auguste Denayrouse¹ en 1863, ont inventé l'aérosphère, ancêtre du détendeur. Nous avons également vu que le scaphandre de Le Prieur était sans détendeur buccal mais avec un mano-détendeur², les scaphandres suivants étant équipés de détendeurs en bouche à 1 seul étage (GC43 de Georges Commines, CG45 puis « détendeur Mistral » de Cousteau-Gagnan)³, ou à 2 étages à partir de 1960⁴. Aujourd'hui nous utilisons tous des détendeurs à 2 étages :

- Un premier étage qui transforme l'air sous haute pression du bloc (220 bars au départ) à

un air sous une pression moyenne de 13 à 20 bars appelée « moyenne pression ».

- Un deuxième étage, en bouche, qui transforme la moyenne pression en pression ambiante.

Le détendeur à 2 étages

C'est la partie fixée sur la sortie du robinet principal. Il en existe 3 types fondamentaux: à *clapet-membrane* (assez répandu), à *clapet-piston conventionnel* ou à *clapet-piston compensé* (le plus courant).

Le premier étage à clapet-piston compensé.

Le premier étage est formé de 3 chambres: une à haute pression (sèche), une à moyenne pression, et une chambre « humide ».

L'air haute pression (HP) en provenance du bloc envoyé dans une *chambre sèche* dite chambre à haute pression, où vient se greffer *le manomètre*.

Pour passer à la pression intermédiaire (PI), l'air HP sort de la chambre sèche par la *tige creuse du piston* compensé pour entrer dans la chambre PI direction le deuxième étage, et l'octopus.

Or le piston, traverse lui-même une *chambre humide* ouverte à l'eau dans laquelle nous nous trouvons et à sa pression (PA).

Des joints toriques assurent l'étanchéité au niveau des jeux du piston.

Dans la chambre humide où règne la pression ambiante (PA), un *ressort de rappel* le long de la tige du piston à tige creuse assure le placage de la tige contre *le siège*, sorte de bouchon serti dans la chambre HP et qui assure l'arrêt de la distribution d'air, lorsque l'on expire ou que l'on bloque la respiration.

L'inspiration par le deuxième étage en bouche va faire décoller le piston creux du siège par création d'une dépression dans la chambre à pression intermédiaire P.I. et libérer l'air comprimé dans la chambre H.P.

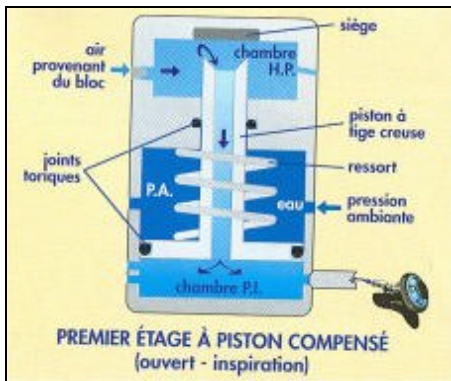
Lors de l'expiration le premier étage est à nouveau fermé. Le tube creux du piston est à nouveau fermé par le siège.

¹ Aquanature n°4

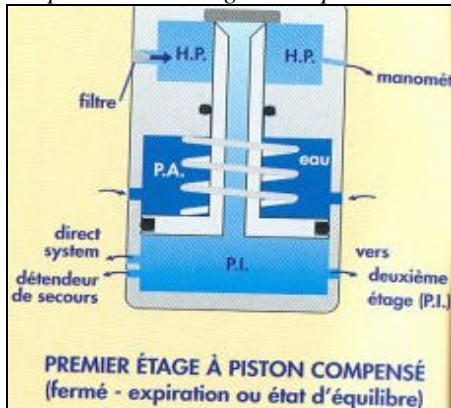
² Aquanature n°5

³ Aquanature n°8

⁴ En 1960, deux ingénieurs français, Bronnec et Gauthier, créent le détendeur à 2 étages (le Cristal). Ce système est alors repris par les Américains qui le perfectionnent



Dans ce schéma on vous expose le décollement du piston du 1^{er} étage à l'inspiration

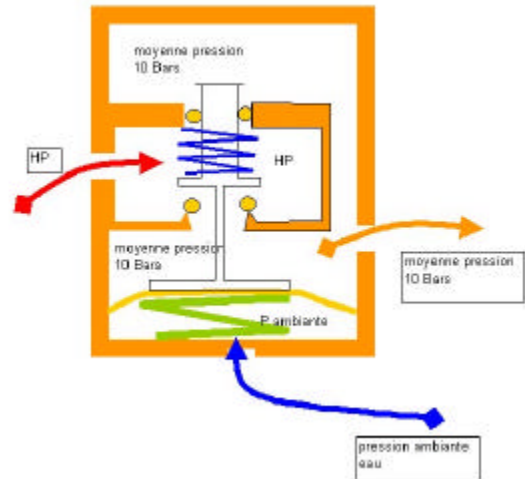


Et à l'expiration, le retour du piston sur le siège (en gris sur le dessin)

Le 1^{er} étage à membrane compensé est de conception différente du précédent. La chambre de haute pression (HP) est maintenue fermée par un double piston à tige pleine. L'étanchéité du système repose aussi sur des joints toriques.

Le sommet du piston est plaqué sur une membrane qui sépare la chambre humide (PA) de la chambre moyenne pression (PI).

Un autre ressort « dynamométrique » maintient la membrane plaquée au piston



1^{er} étage à membrane compensé en position ouverte

Remarques sur le 1^{er} étage à piston :

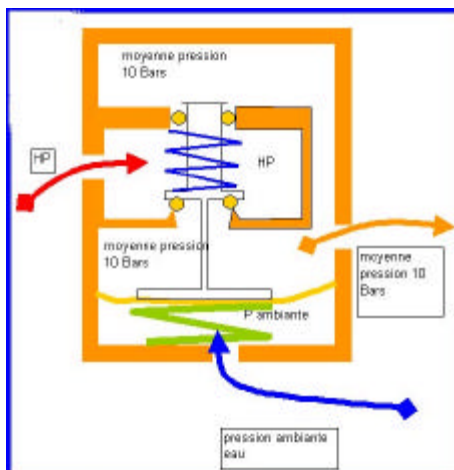
Malgré divers joints toriques, le piston s'use plus que la membrane que nous verrons ci-après.

Pour ces mêmes raisons, il n'est pas préconisé en eau trop chargée (trop salée, etc.)

Par contre il est plus simple et plus fiable parce qu'il possède moins de pièces.

Il est souvent moins coûteux.

Le premier étage à membrane compensé



1^{er} étage à membrane compensé présenté fermé

Autres remarques sur les 1^{ers} étages:

1) Premier étage à piston simple ou compensé ? La compensation permet d'assurer un débit d'air plus important, ce qui est particulièrement intéressant pour des plongées profondes.

2) Comme l'eau entre dans la chambre humide, elle peut y apporter du sable, du limon, des algues ou d'autres corps en suspension qui peuvent perturber le bon fonctionnement du piston. Cet inconvénient n'existe pas dans le cas d'un détendeur à piston membrane car l'eau n'entre pas dans le corps de détendeur. (cf. schéma précédent).



Le 1^{er} étage du Scubapro MK18 S550 vu de dessus



Sur ce 1^{er} étage, la chambre humide paraît en bout d'étage. L'eau y pénètre par ces orifices de circulation disposés en couronne. En examinant bien la photo on distingue l'extrémité du ressort P.I. au milieu de la chambre humide.

3) L'étanchéité entre chambre humide et chambre MP est assurée par un joint dont il faudra surveiller le bon état.

4) Dans plusieurs types de détendeurs, la chambre humide est située entre les chambres HP et MP et non pas en bout comme sur la photo précédente.

5) Puisque la HP décroît au cours de la plongée, la force appliquée sur le clapet va diminuer et rendre plus difficile le passage de la HP à la MP. De là est venue l'idée de neutraliser ce phénomène par la mise au point du "clapet-piston compensé".

6) La forte chute de pression qui a lieu dans le premier étage a pour effet de le refroidir, d'où le risque de givrage si l'eau n'est pas assez chaude pour l'en empêcher. Certains fabricants (Beuchat) assurent présenter des premiers étages avec système anti-givre intégrés. Ces systèmes varient avec les différents types de 1^{er} étages.

7) Piston ou membrane ? Les schémas précédents montrent des 1^{ers} étages à piston. D'autres systèmes ont remplacé le piston par une membrane⁵ mais fonctionnent sur le même principe. Toutefois leur mécanisme est plus complexe et donc leur révision annuelle plus onéreuse !



1er étage compensé à membrane celui du BEUCHAT VX80



et un 1er étage compensé à piston celui du BEUCHAT VX40 à noter les "trous" qui permettent à l'eau de pénétrer dans la chambre humide et les étages HP (au niveau étrier) et PI où le flexible du 2^{ème} étage est raccordé Les visses d'accès sont souvent différentes

8) Lorsque l'on se détermine pour un détendeur, l'un des critères décisifs doit être le nombre de sorties HP et PI : 2 sorties HP minimum dont 1 pour le manomètre, 3 sorties PI minimum⁶ pour le 2^{ème} étage, l'octopus ou 2^{ème} étage de secours et le direct-system.



Détendeur Scubapro MK18 S550 et octopus ainsi que direct system montés sur chambre PI, le manomètre étant monté sur chambre HP

⁵ Beuchat VX80, VX100 avec 1^{er} étage compensé à membrane; mais le VX40 est avec un 1^{er} étage compensé à piston par exemple.

⁶ La plupart du temps il est proposé 4 sorties PI...



Sur le 1^{er} étage du Scubapro MK18, les vissees des chambres HP et PI sont identiques, mais les sigles HP et PI sont gravés au-dessus de chaque sortie.



L'octopus ou 2^{ème} étage de secours est toujours en jaune fluo ; celui-ci est monté à droite du plongeur, mais pour des raisons de longueur du flexible certains préfèrent le monter à gauche. Celui qui veut donc se l'utiliser en cas de secours doit d'abord chercher la couleur jaune.

Les 2 systèmes de fixation:

Le système DIN est à visse, sinon il faut un étrier pour fixer le 1^{er} étage du détendeur au robinet du bloc. Voici quelques photos présentant les 2 systèmes ainsi qu'un adaptateur « DIN/étrier »



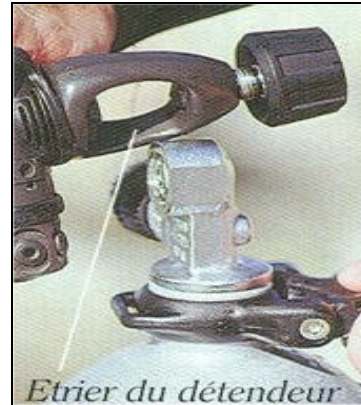
Détendeur DIN



Robinet DIN



Adaptateur
DIN / Etrier



Etrier du détendeur



Siege étrier

Les principales pannes du premier étage :

1) Les premières fuites concernent le plus souvent la fixation du premier étage sur le bloc. Cette fixation s'effectue soit par un étrier soit par une prise DIN (il existe aussi des adaptateurs pour utiliser des détendeurs DIN sur des robinetteries à étrier).

Mais pour assurer l'étanchéité du branchement quel qu'il soit, vérifier que le joint torique de « l'interface » est bien en place ; en avoir de réserve avant de partir pour une plongée en mer ...

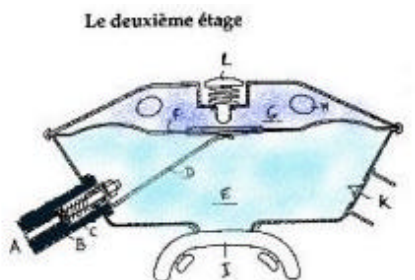
2) Les joints toriques du premier étage sont endommagés : des bulles sortent alors par la chambre humide (détendeur à faire réviser d'urgence).

3) L'usure des joints plats au niveau du premier étage peut entraîner une fuite au niveau du 2^{ème} étage (détendeur à faire réviser d'urgence).

Le deuxième étage du détendeur



Sur le dessus du détendeur, une inscription en anglais « Dive » et en caractères plus petits « PreDive ». Le bouton qui est à droite de l'inscription est à tourner d'1/4 de tour suivant que l'on plonge (PreDive) ou que l'on est au fond (Dive), afin d'empêcher l'air de fuser accidentellement du 2^{ème} étage... Le même système existe sur certains octopus ...



- Le deuxième étage**
- A) MOYENNE PRESSION
 - B) CLAPET
 - C) RESSORT BASSE PRESSION
 - D) LEVIER
 - E) CHAMBRE BASSE PRESS.
 - F) MEMBRANE
 - G) CHAMBRE D'EAU
 - H) ORIFICES DE CIRCULATION D'EAU
 - I) EMBOUT
 - J) CLAPET D'EJECTION (SOUPAPE)
 - L) BOUTON DE SURPRESSION

Fonctionnement du deuxième étage:

L'air fourni à moyenne pression arrive au deuxième étage, situé près de l'embout buccal où sa pression sera non seulement réduite jusqu'à la valeur ambiante, mais encore délivrée par intermittence à chaque inspiration du plongeur.

À l'inspiration, il se crée une légère dépression dans le 2^{ème} étage (chambre « E »). La membrane souple (F) se déforme et actionne le levier (D) qui ouvre le clapet (B). L'air sort à la pression intermédiaire (PI) vers l'embout buccal (I) à la pression ambiante (PA). La baisse de pression dans le circuit PI se répercute sur le premier étage où elle sera immédiatement compensée. Dès que l'inspiration se termine, tout revient à sa place et le débit d'air cesse.

La pression qui s'exerce sur le piston du 1^{er} étage (tendant à faire augmenter la PI) est égale à celle sur la membrane du 2^{ème} étage, de sorte que la valeur de la PI reste la même, quelle que soit la pression ambiante, donc la profondeur.

Le boîtier du 2^{ème} étage comporte une soupape d'expiration constituée d'une rondelle de silicone ou de caoutchouc (K) qui s'ouvre sous l'effet de l'expiration et se referme sous la pression de l'eau, ce qui empêche celle-ci d'envahir le boîtier (d'où le nom d'aquastop.).

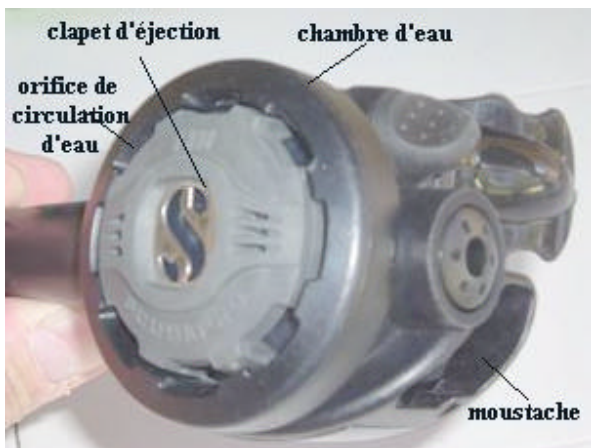
La perte d'étanchéité de cette soupape (usure, grain de sable, etc.) est à l'origine de nombreuses "tasses" bues par les plongeurs!

La sortie de l'air expiré est assurée par un déflecteur (les "moustaches") qui guide le passage des bulles hors du champ visuel.

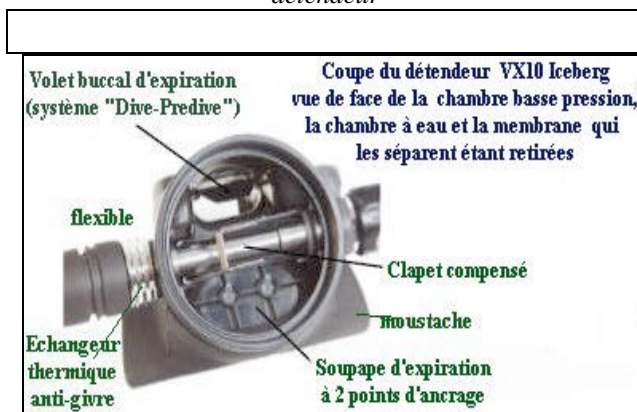
Une pastille de surpression (L) permet de purger l'eau du 2^{ème} étage ou de le faire fuser, c'est à dire de le mettre en débit d'air continu.



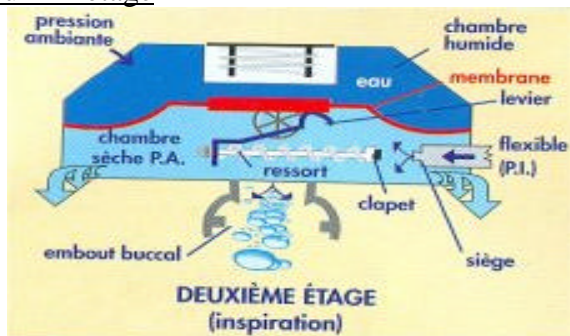
2^{ème} étage du MK18 S550 de Scubapro



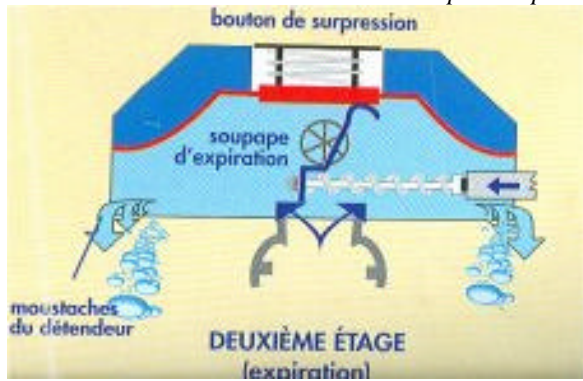
En visuel, il s'agit toujours du 2^{ème} étage de mon détendeur



autres schémas expliquant le fonctionnement du 2^{ème} étage



A noter le levier qui prend appui sur la membrane d'une part et qui actionne d'autre part l'ouverture du circuit PI. Sur la photo du VX10 précédente, on discerne se levier comme un « H » au dessus du clapet compensé.



A l'expiration, ce même levier vient bloquer l'arrivée d'air à la sortie du flexible...

Remarques :

- 1) Certains détendeurs disposent d'un réglage de la force du ressort ou de l'ouverture de la buse d'injection d'air. Cela donne un plus grand confort à l'inspiration suivant la profondeur...
- 2) Il existe un autre type de 2^{ème} étage dit "à clapet aval" (Spirotechnique, Beuchat, etc.)
- 3) Il existe des 2nds étages « compensés » de manière à s'affranchir des contraintes liées à la variation de la profondeur qui d'ordinaire influe sur la pression intermédiaire (PI). Ces détendeurs sont beaucoup plus chers mais plus agréables à partir d'une certaine profondeur. C'est le cas du VX80 et du VX100 de chez Beuchat.



2^{ème} étage du VX80 de chez Beuchat :

- 2^{ème} étage compensé offrant une multitude d'innovations.
- Réglage manuel d'effet VENTURI.
- Surdimensionnement de la soupape d'expiration.
- Déflecteur d'expiration avec cloison intérieure permettant de diriger le flux expiratoire et d'évacuer les bulles d'air loin du visage.

Le détendeur à 1 seul étage (Mistral)

Il détend l'air directement de la haute pression (HP) à la basse pression (BP) (Brevet Cousteau-Gagnan 1945).

Sa conception est simple mais il est encombrant à cause de ses gros tuyaux annelés.



le CG-45

Son emploi demande une certaine accoutumance et l'échange d'embout est assez difficile (il se fait par-dessus la tête, le secours s'accrochant au dos du scaphandre qui porte secours...)

Il reste encore apprécié de quelques photographes car les bulles d'air expirées sortent dans le dos du plongeur, mais on n'en trouve pratiquement plus sur le marché.



Un équipement Mistral moderne pour les inconditionnels

Avantages et inconvénients d'un détendeur à 2 étages

Les avantages

- L'encombrement est réduit.
- Il donne un excellent confort respiratoire quelle que soit la position et la profondeur du plongeur
- Son tuyau est unique, mince et solide.
- L'échange d'embout est facile, contrairement au mistral où il faut passer l'embout par-dessus tête.
- L'accoutumance est instantanée.
- Le décapelage est aisé.
- On peut adapter plusieurs sorties au 1^{er} étage: 2^{ème} étage de secours, direct-system pour gonfler la bouée, manomètre immergeable...

Les inconvénients

- Il est onéreux s'il est de bonne qualité.
- Le mécanisme est complexe, parfois fragile et délicat à régler.
- les bulles sortent autour du visage.
- certains modèles sont lourds dans la bouche.

Les pannes des détendeurs à 2 étages

1) Entrées d'eau

- La membrane du 2ème étage est percée ou encrassée (sable, etc.).
- La soupape d'expiration est usée, déchirée ou encrassée.
-

2) Débit d'air continu

a) S'il est à retardement après l'ouverture de la bouteille, il provient du 1er étage:

- Givrage.
- Le clapet est usé.
- Le siège est endommagé.
- Le joint est usé.
- Le ressort est mal réglé (s'il est réglable).

b) S'il survient immédiatement après l'ouverture de la bouteille, il provient du 2ème étage:

- Le clapet est usé, marqué.
- Le siège est endommagé.
- Le levier est mal réglé.

Conclusion

Le détendeur est notre source d'air en plongée et notre vie en dépend. Il ne faut donc pas lésiner sur la qualité ni sur le prix. Il doit être fiable, robuste, souple et facile à régler. **Il doit être révisé tous les ans...**

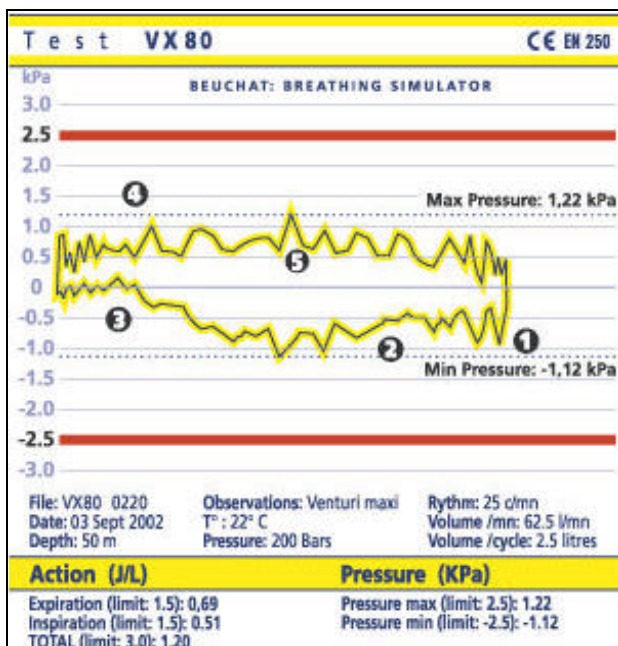
Du côté du matos, les tests graphiques

Le test graphique d'essai sur simulateur est effectué sous une Pression-bouteille de 200 bars pour une profondeur théorique de 50m (6 bars extérieurs). Les tests présentés ici ont été fournis par le constructeur. Leur comparaison permet de mieux appréhender les difficultés inspiratoires rencontrées en eau profonde.

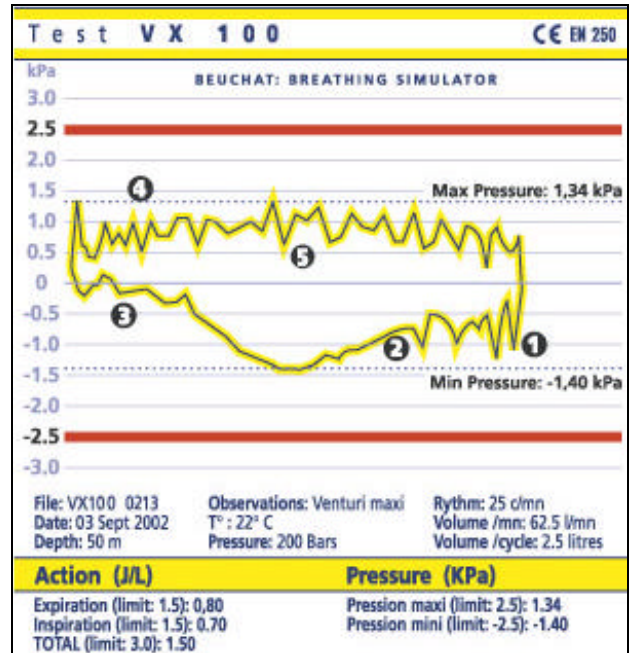
TEST GRAPHIQUE

- 1- Point de décollage. Effort nécessaire à l'amorçage du débit d'air. Défini la resistance à l'inspiration.
- 2- Courbe d'inspiration. Plus cette courbe est plate et proche de l'axe horizontal, plus le détendeur est confortable, nécessitant un effort minimum de la part du plongeur.
- 3- Grâce à l'effet Venturi, le flux d'air est maintenu. L'effort inspiratoire diminue et s'approche du zéro.
- 4- Courbe d'expiration, plus cette courbe est plate, plus l'expiration est facile et sans effort.
- 5- La surface comprise entre les courbes d'inspiration et d'expiration représente le travail respiratoire développé par le plongeur.

Ci joint le test de simulation des efforts ventilatoires à fournir avec le VX80 (test en laboratoire)



et celui du VX100



Il est à remarquer que plus les courbes sont proches du plat et plus la respiration est confortable (ce qui est le cas du VX100 à l'inspiration) ... C'est du moins ce qui transparaît pour l'inspiration avec le VX100. En passant, nous rappelons que ces 2 détendeurs sont à 1^{er} étage compensé à membrane et à 2nd étage également compensé...

A suivre ... Le Doc