

**Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins**



## **Analyse comparative des directs-system de plongée**



### **Facteurs limitants - Améliorations techniques Incidences pédagogiques**

Mémoire d'admission au collège des Instructeurs Nationaux  
rédigé sous la direction de  
Mme Claudine FABRE-MOUREAU  
M. Christian FERCHAUD

par

**Hervé VILLALBA**

**NIOLON - Septembre 2001**

# Analyse comparative des directs-system de plongée

-----  
Facteurs limitants – Améliorations techniques  
Incidences pédagogiques

## **Remerciements :**

- M. Jacques CHABBERT, Plongée-Technic.
- M. Manuel CABRERES, technico-commercial.
- M. Bernard CHAMBONNET, ingénieur bureau d'études.

# TABLE DES MATIERES

## INTRODUCTION GENERALE

### **1. OBJECTIF et CHAMP DE L'ETUDE**

- 1.1 Organisation de l'étude.**
- 1.2 Principe de l'analyse.**

### **2. SELECTION DES DIRECTS-SYSTEM**

- 2.1 Critères de sélection.**
- 2.2 Classification du matériel.**
- 2.3 Principes de fonctionnement.**

### **3. TESTS EFFECTUES**

- 3.1 - Mesure des débits à la pression atmosphérique.**
  - 3.11 - Avec différents détendeurs.**
  - 3.12 - Avec différentes pressions de service.**
  - 3.13 - Analyse des résultats.**
- 3.2 - Mesure du temps de gonflage en caisson hyperbare.**
  - 3.21 - A différentes profondeurs.**
  - 3.22 - Mesure des temps de gonflage.**
  - 3.23 - Analyse des résultats.**
  - 3.24 - Représentation graphique des inflateurs par profondeur**
- 3.3 - Simulation d'un cas concret en milieu naturel.**
  - 3.31 - Dans l'espace lointain, zone des 40 m**
  - 3.32 - Au-delà d'espace lointain, zone des 50 m.**
  - 3.32 - Extrapolation des résultats dans la zone des 60 m.**

## **4. FACTEURS LIMITANTS ET AMELIORATIONS TECHNIQUES DES DIRECTS-SYSTEM**

### **4.1 - Facteurs limitants.**

4.11 - Physique

4.12 - Technique

4.13 – Paramètres de sécurité

4.14 - Le manque d'entretien

4.15 - Le rajout d'accessoires

### **4.2 - Améliorations techniques.**

## **5. INCIDENCES PEDAGOGIQUES**

### **5.1 - Dans l'enseignement de l'activité.**

5.11 Enseignement pratique.

5.12 Enseignement théorique.

## **6. CONCLUSION**

## INTRODUCTION GENERALE

Ces dernières années, grâce à un marché porteur, les fabricants de matériel de plongée utilisent les évolutions techniques et technologiques pour développer de nouveaux produits en liant esthétique, ergonomie, confort, légèreté, amélioration des performances dans un but commercial et de sécurité pour les utilisateurs.

S'il est vrai, pour un béotien, que les détendeurs n'ont pas beaucoup évolué dans leur principe de fonctionnement, en revanche, des efforts considérables sont faits sur la recherche de nouvelles techniques et de matériaux pour augmenter le confort respiratoire. Actuellement, ces améliorations techniques portent sur la diminution du pic inspiratoire et expiratoire lors de la ventilation du plongeur, sur la légèreté en bouche du second étage ainsi que sur l'esthétique.

Les ordinateurs de plongée ne sont pas en reste, car ils ne cessent d'évoluer ces dernières années. La prise en compte de la consommation et de la température, dans le protocole de calcul de décompression, en sont la preuve. De plus, avec la gestion de l'air par onde, ces appareils remplacent avantageusement le manomètre de pression, la montre et le profondimètre, quel pied ! Il y a même des ordinateurs avec interface sur P.C. qui permettent de réaliser un carnet de plongée personnalisé.

Par contre, l'amélioration des gilets stabilisateurs n'est pas très perceptible car les fabricants ne travaillent que sur l'enveloppe. Le cœur du gilet, à savoir le direct-system, ne souffre-t-il pas d'un manque d'évolution ? Bien sûr que non, me répondez vous ! Maintenant, ils sont ergonomiques, compacts et fiables mais leurs performances sont-elles suffisantes ?

A la suite de plusieurs accidents de plongée, dont un me touche plus particulièrement, il s'avère, après expertise, que dans des conditions difficiles d'utilisation, le gilet ne permettait pas la remontée des victimes. A une certaine profondeur et ce malgré le gonflage d'un gilet de 18 litres, deux plongeurs confirmés n'ont pu regagner la surface. C'est pour cette raison, qu'il m'est venu l'idée de tester les performances des différents direct-system actuellement vendus en France.

# **1. OBJECTIF ET CHAMPS DE L'ETUDE**

L'objectif de mon étude est d'effectuer une analyse comparative sur un éventail de direct-system, plus précisément de la partie inflateur, équipant les gilets stabilisateurs français, à l'aide de tests objectifs et prédéfinis, sans plébisciter ou dénigrer telle ou telle marque de matériel.

## **1.1 - Organisation de l'étude**

L'étude sera conduite en différentes phases :

### **Phase 1 :**

- ✓ Recherche et sélection du matériel à tester.
- ✓ Recherche de la documentation.
- ✓ Identification et rencontre avec les fabricants.
- ✓ Dépouillement de la documentation recueillie.

### **Phase 2 :**

- ✓ Classification du matériel sélectionné.
- ✓ Détermination des principes de fonctionnement.
- ✓ Mesure de débit.
  - A la Pression Atmosphérique :
    - ↳ avec 3 détendeurs différents
    - ↳ avec différentes pressions de service.
  - En milieu hyperbare
    - ↳ avec un détendeur à piston non compensé.
    - ↳ à différentes profondeurs,
- ✓ Analyse des résultats

### **Phase 3 :**

- ✓ Simulation d'un cas concret dans l'espace lointain et au-delà.
- ✓ Extrapolation des résultats dans la zone des 60 m.
- ✓ Etude et analyse des résultats obtenus.

### **Phase 4 :**

- ✓ Détermination des facteurs limitants et des améliorations techniques sur les directs-system.
- ✓ Détermination des incidences sur l'action pédagogique du moniteur.

### **Phase 5 :**

- ✓ Préparation de la soutenance.
- ✓ Publication du document.

## 1.2 - Principe de l'analyse sur les directs-system de plongée.

Dans un premier temps mon étude est consacrée à sélectionner le matériel afin de le classer, de définir le principe de fonctionnement, de lui faire subir des tests objectifs et prédéfinis, d'évaluer leurs incidences lors de la simulation de cas concrets en milieu naturel et d'analyser les différents résultats.

Dans un deuxième temps, je recherche les facteurs limitants et les améliorations techniques pouvant être effectuées puis de déterminer les incidences des résultats sur l'action pédagogique d'un moniteur lors de l'enseignement de la plongée sous-marine.

## 2. SELECTION DU MATERIEL

Dans un but d'impartialité, le choix du matériel porte sur un large éventail d'inflateurs représentatif de l'ensemble des grandes marques en matériel de plongée.

### 2.1 - Critères de sélection

Mes critères de sélection du matériel sont basés sur :

- Les direct-system équipant les SGS français,
- La représentativité de l'ensemble des marques en matériel de plongée,
- Leur principe de fonctionnement,
- L'usage qui en est fait soit par construction ou par destination.
- La mise à disposition du matériel

Il est incontestable que la mise à disposition du matériel a été un critère important dans mon choix ce qui nous permet de tester 8 directs-system au total réparti comme suit :

- Modèles                      **AQUA - LUNG**



**Trimline (1)**



**Powerline (2)**

Modèles :

**SCUBAPRO**



**Compensé (3)**



**Air 2 (4)**

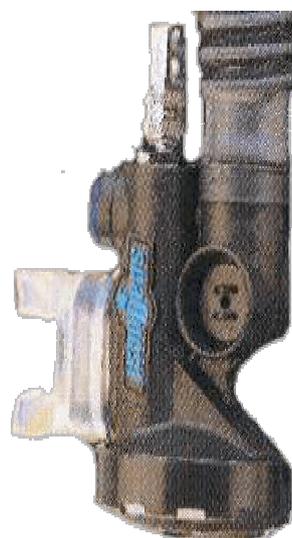
Modèle :

**MARES**

**SEAQUEST**



**Ergo (5)**



**Air Source (6)**

**Modèle :** **BEUCHAT**



**Classique (7)**

**FENZY**



**Respirateur (8)**

## 2.2 - Classification du matériel

A ma connaissance, aucune classification précise n'existe pour les directs-system. Aussi, je les ai classés en trois grandes catégories :

- 1 )- Inflateur détenteur ⇨ (4 et 6)
- 2 )- Inflateur non respirable ⇨ (1, 2, 3, 5 et 7)
- 3 )- Inflateur respirable ⇨ (8)

Qui se divisent en deux sous catégories :

- A )- A clapet compensé ⇨ (3, 4 et 6)
- B )- A clapet non compensé ⇨ (1, 2, 5, 7 et 8)

Dans un souci d'anonymat du matériel et pour ne pas plébisciter ou récriminer un fabricant en particulier, chaque modèle d'inflateur est répertorié par une lettre d'identification durant nos différents tests.

## 2.3 - Principe de fonctionnement du matériel

Actuellement, les conceptions techniques des direct-system sont basées sur deux principes aussi bien au niveau de la connexion (flexible MP – DS) que de l'inflateur.

### a) - La connexion du flexible MP avec le direct-system

- Le premier est un clapet amont, de type "valve Schrader", équipant l'extrémité du flexible. Ce modèle de valve est identique à celle que l'on trouve sur les pneumatiques des véhicules.

- Le second est également un clapet amont dont l'étanchéité est réalisée par une bille de gros diamètre maintenue sur son siège par un ressort.

Ce dernier principe permet d'obtenir plus de débit grâce à un diamètre de passage d'air plus important. Seuls nos tests infirmeront ou confirmeront cette théorie.

### b) – La partie inflation (inflateur) du direct-system

- La première consiste en un clapet amont, non compensé, de type "valve Schrader" modèle de valve identique à celle que l'on trouve sur les pneumatiques des véhicules. Une nouvelle génération de "valve Schrader" de gros diamètre équipe les nouveaux inflateurs.

- La seconde, est un axe épaulé ou percé traversant une chambre MP. Cet axe est auto-compensé au niveau de la chambre MP et certains au niveau de la pression ambiante.

Cette dernière technique permet de réaliser des orifices d'injection d'air d'un diamètre plus important à la précédente. Dont la conséquence théorique est d'obtenir un débit plus important sans générer une augmentation de la force exercée par l'utilisateur au cours de la manipulation. Seuls nos tests infirmeront ou confirmeront cette théorie.

## **3. TESTS EFFECTUES SUR LE MATERIEL**

Les gilets stabilisateurs ou les bouées de sauvetage, comme tout matériel de plongée vendu sur le marché français doit correspondre à une norme.

La norme EN 12628 de juillet 1999, reprenant la norme EN 1809, fixe les caractéristiques minimales de sécurité pour l'ensemble du gilet ou de la bouée y compris ses accessoires. Cependant, le direct-system, qui est à notre avis le cœur du gilet, subit un seul test, basé sur un temps de gonflage du gilet, conforme au protocole suivant :

- ↳ A la pression atmosphérique
- ↳ Détendeur dont la MP est  $\leq$  à 7 bars
- ↳ Flottabilité maximale du gilet.
- ↳ Temps de gonflage inférieur à 20 secondes

Au vu du seul test réalisé par la norme, il me paraît intéressant d'effectuer d'autres tests complémentaires afin de voir évoluer les performances des inflateurs et de les analyser suivant les différents paramètres utilisés.

### 3.1 - Mesure des débits à la pression atmosphérique

Le premier test réalisé est de mesurer le débit des inflateurs, à l'aide d'un débitmètre électronique étalonné, à la pression atmosphérique avec trois détendeurs différents et à diverses pressions de service. Le débitmètre utilisé permet de déterminer des débits compris entre 0 et 400 litres par minutes avec une précision de plus ou moins 2 %.

#### 3.11 – Avec différents détendeurs.

Les détendeurs utilisés sont fabriqués par de grandes marques de matériel de plongée.

Le premier détendeur dont le principe de fonctionnement est à piston conventionnel, est choisi car en qualité de détendeur basique, il est utilisé par tout plongeur débutant ainsi que dans la plupart des structures de plongée. La valeur de la moyenne pression est de 9,5 bars, valeur conforme au réglage préconisé par le fabricant.

Le second est un détendeur à piston compensé, souvent utilisé par des plongeurs plus expérimentés, dont la valeur de moyenne pression est de 9,8 bars, conforme au réglage préconisé par le fabricant.

Enfin, pour que le test soit complet, il fallait tester les inflateurs avec un détendeur à clapet membrane compensé, également employé par de bons plongeurs dont la moyenne pression est de 9,5 bars.

#### 3.12 - A différentes pressions de service.

Comme la norme fait abstraction totale de la valeur de la pression de service d'alimentation des détendeurs, il est judicieux de constater l'influence de ce paramètre sur le débit des inflateurs.

J'ai effectué les tests à quatre reprises, c'est à dire à 200 bars, 150 bars, 100 bars et 50 bars. Afin que la haute pression soit constante pour tous les détendeurs, j'ai utilisé la ligne haute pression d'alimentation du caisson hyperbare sur laquelle est montée un mano-détendeur qui délivre une valeur constante de H.P.

#### 3.13 - Analyse des résultats obtenus.

##### 3.131 - Avec le détendeur à piston conventionnel

| Les inflateurs<br>Les pressions de service | A       | B        | C        | D        | E        | F        | G        | H        |
|--|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 200 bars                                   | 761/ mm | 2121/ mm | 1901/ mm | 2201/ mm | 2001/ mm | 1301/ mm | 1851/ mm | 1221/ mm |
| 150 bars                                   | 721/ mm | 1951/ mm | 1781/ mm | 2001/ mm | 2001/ mm | 1281/ mm | 1751/ mm | 1171/ mm |
| 100 bars                                   | 681/ mm | 1901/ mm | 1731/ mm | 1951/ mm | 1871/ mm | 1251/ mm | 1701/ mm | 1121/ mm |
| 50 bars                                    | 631/ mm | 1821/ mm | 1681/ mm | 1901/ mm | 1871/ mm | 1201/ mm | 1651/ mm | 1081/ mm |

La chute de la haute pression de 200 à 50 bars provoque une chute progressive de la valeur de la moyenne pression du détendeur de 1,6 bars mais également du débit entre 10 et 30 litres / mn

On constate que le plus petit gradient entre le débit max. et mini concerne l'inflateur (F) et que paradoxalement les inflateurs (B et D), les plus performants, ont un gradient très important avec ce type de détendeur.

En revanche, l'inflateur le moins performant avec ce type de détendeur quelle que soit la valeur de la haute pression est l'inflateur (A) et le meilleur le (D).

### 3.132 - Avec le détendeur à piston compensé

| Les pressions de service \ Les inflateurs | A     | B      | C      | D      | E      | F      | G      | H      |
|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 200 bars                                  | 761/m | 2151/m | 1961/m | 2251/m | 2051/m | 1451/m | 1901/m | 1251/m |
| 150 bars                                  | 761/m | 2151/m | 1961/m | 2201/m | 2051/m | 1421/m | 1871/m | 1251/m |
| 100 bars                                  | 761/m | 2151/m | 1951/m | 2201/m | 2051/m | 1421/m | 1871/m | 1251/m |
| 50 bars                                   | 721/m | 2091/m | 1901/m | 2151/m | 2001/m | 1371/m | 1851/m | 1201/m |

La chute de la haute pression de 200 à 50 bars provoque une chute progressive de la valeur de la moyenne pression du détendeur de 0,4 bars mais aussi du débit entre 4 et 10 litres / mn.

On constate que le plus petit gradient entre le débit max. et mini concerne l'inflateur (A) et que paradoxalement l'inflateur (D), le plus performant, a un gradient très important avec ce type de détendeur.

En revanche, l'inflateur le moins performant avec ce type de détendeur reste l'inflateur (A) et le meilleur est le (D).

### 3.133 - Avec le détendeur à clapet membrane compensé

| Les pressions de service \ Les inflateurs | A     | B      | C      | D      | E      | F      | G      | H      |
|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 200 bars                                  | 761/m | 2171/m | 1921/m | 2081/m | 2031/m | 1401/m | 1851/m | 1221/m |
| 150 bars                                  | 761/m | 2121/m | 1921/m | 2081/m | 2001/m | 1401/m | 1851/m | 1221/m |
| 100 bars                                  | 761/m | 2091/m | 1921/m | 2051/m | 2001/m | 1391/m | 1801/m | 1201/m |
| 50 bars                                   | 761/m | 2091/m | 1891/m | 2001/m | 1951/m | 1391/m | 1801/m | 1201/m |

La chute de la haute pression de 200 à 50 bars ne provoque pas de chute de la valeur statique de la moyenne pression du détendeur. La baisse du débit comprise entre 0 et 8 litres / mn résulte d'une chute dynamique de la valeur de la M.P.

On constate que l'inflateur (A) présente le plus petit gradient entre le débit maximum et minimum et que paradoxalement l'inflateur (B), le plus performant, affiche le plus grand gradient avec ce type de détendeur.

En revanche, l'inflateur le moins performant avec ce type de détendeur reste l'inflateur (A) et le meilleur devient le (B).

### 3.5 - Conclusion

Les différentes mesures des débits montrent que les performances ne sont pas que liées au modèle d'inflateur mais aussi au détendeur utilisé ainsi qu'à la valeur de la haute pression de la bouteille.

S'il était logique que les performances des inflateurs se dégradent avec la chute de la valeur de la moyenne pression pour un détendeur à piston non compensé, ce ne l'est pas pour les deux détendeurs compensés. Certes, la chute est moins importante que sur un détendeur classique mais quand même.

La seule explication possible de ce constat est que la diminution de la haute pression entraîne une chute dynamique de la valeur de la moyenne pression lors du fonctionnement du détendeur.

De même, il est intéressant de voir que les performances diffèrent quelques peu suivant le détendeur utilisé. En effet, l'inflateur (D), avec un détendeur à piston compensé, est le plus performant alors que l'inflateur (B) le devient avec un détendeur à membrane compensé. Il est vrai que la différence de débit reste quand même négligeable.

En revanche, il est pour le moins étonnant de voir la moyenne pression baisser de 0,4 bars pour le détendeur à piston compensé. Où est passée la compensation ? Nous aurait-on menti ?

## 3.2 - Mesure du temps de gonflage en caisson hyperbare

Le deuxième test mesure le temps de gonflage complet d'un gilet d'un volume de 18 litres à l'aide du détendeur à piston conventionnel monté sur une arrivée d'air stabilisée à 200 bars à différentes pressions relatives en caisson hyperbare.

Le protocole de mesure est un double chronométrage à partir du début d'inflation jusqu'au déclenchement de la soupape de sécurité. Tout écart de chronométrage de plus de 2 secondes fait l'objet d'un nouveau chronométrage, sinon une moyenne du temps de gonflage est calculée.

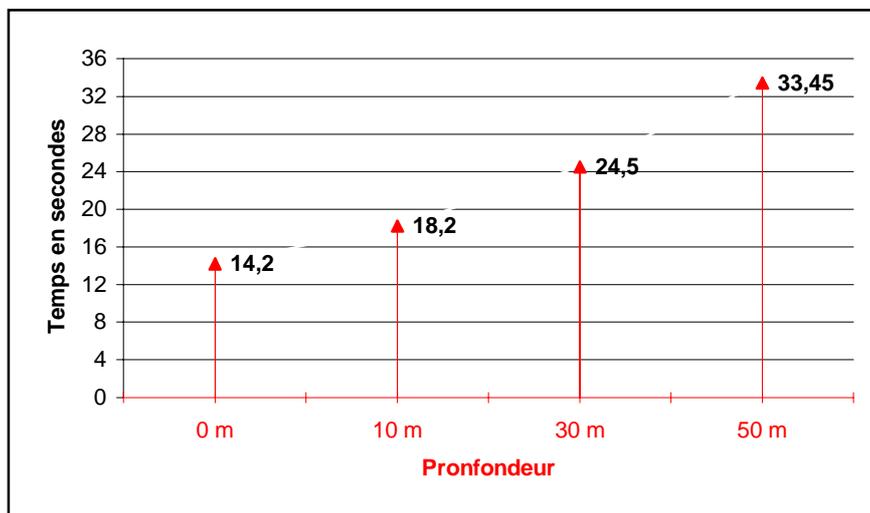
### 3.21 - A différentes pressions relatives.

Les différentes pressions relatives retenues sont 0, 1, 3 et 5 bars correspondant respectivement à la surface, à 10 m, à 30 m et à 50 m de profondeur.

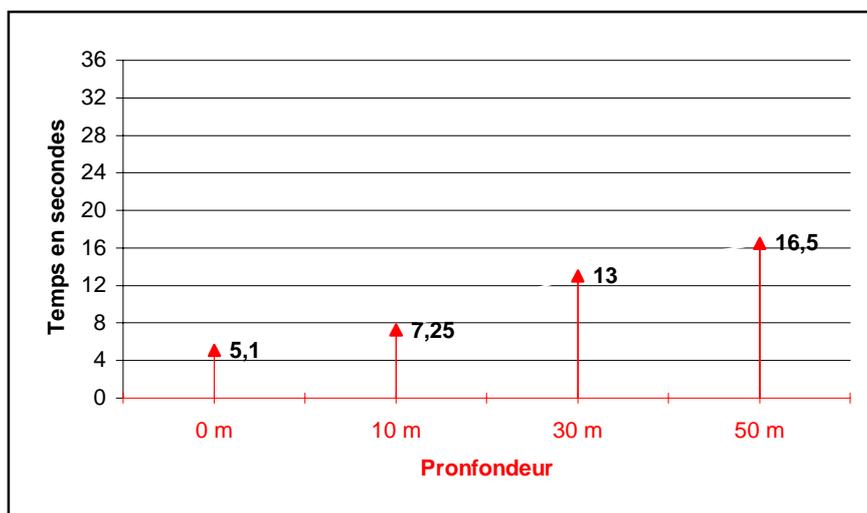
### 3.22 - Les résultats obtenus.

Les temps de gonflage sont exprimés en secondes et en centième de secondes pour chaque inflateur testé.

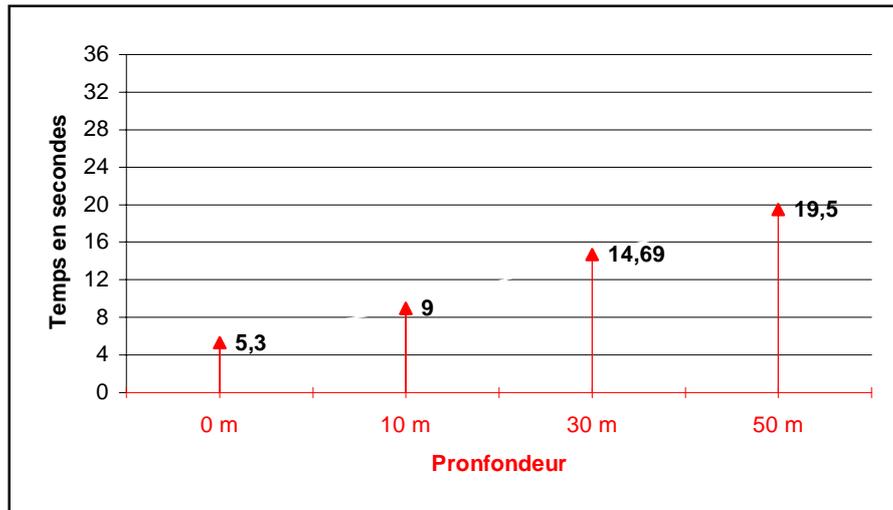
#### 3.221 - Inflateur A.



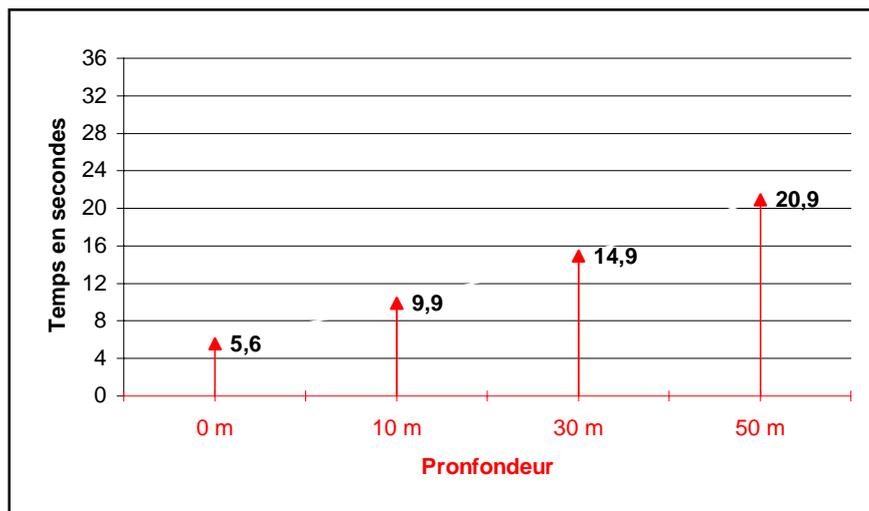
#### 3.222 - Inflateur B.



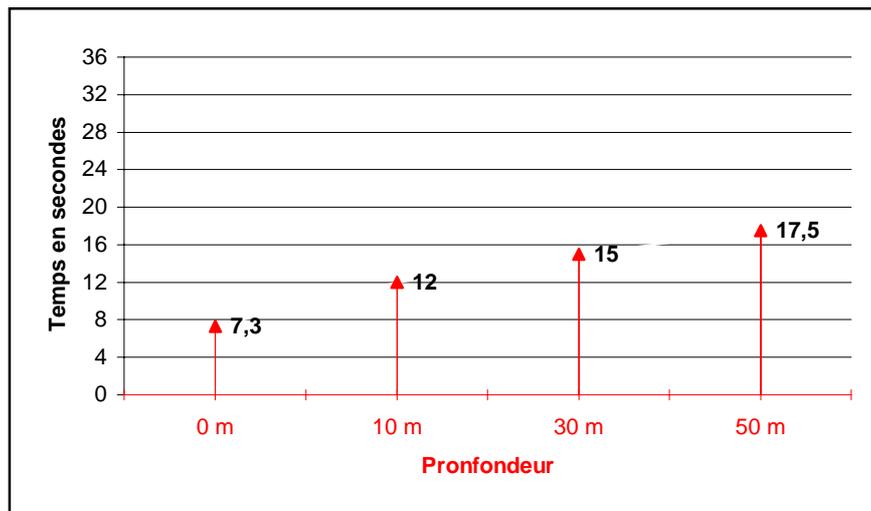
### 3.223 – Inflateur C.



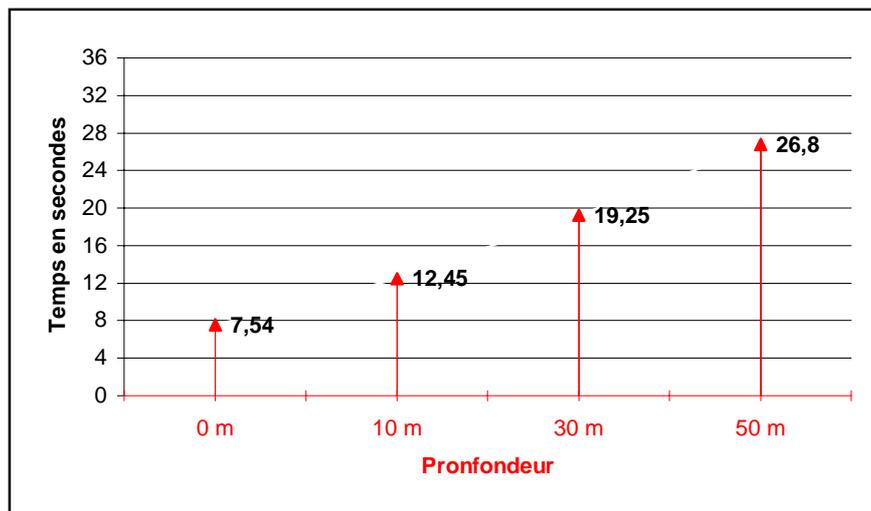
### 3.224 - Inflateur D.

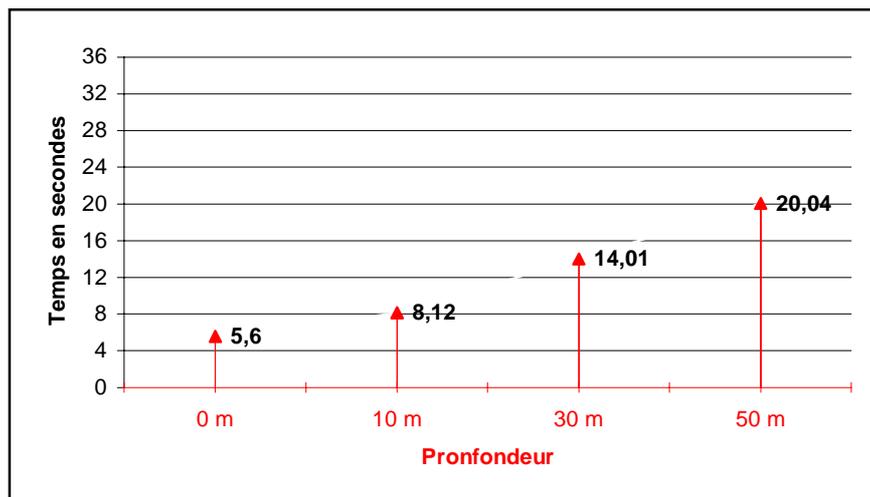
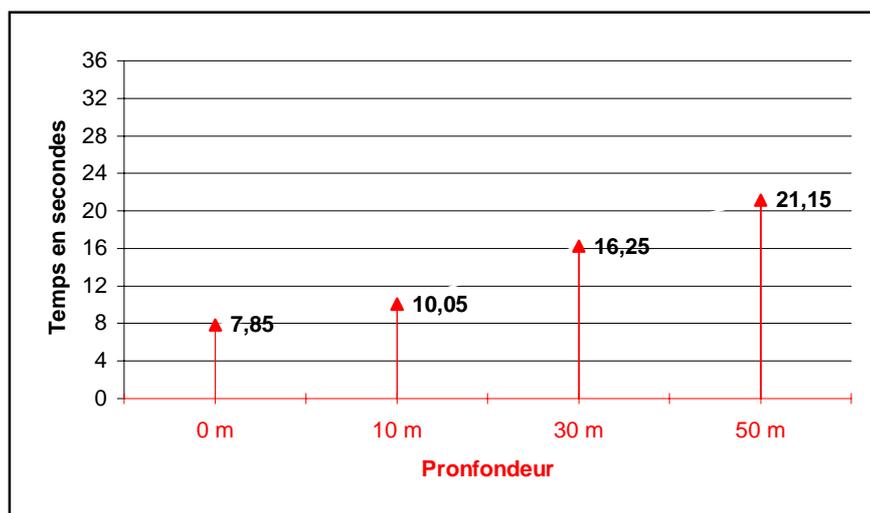


**3.225 - Inflateur E.**



**3.226 - Inflateur F.**



**3.227 - Inflateur G.****3.228 - Inflateur H.****3.23 - Analyse des résultats.**

Ce test permet de mettre en évidence, l'influence de l'augmentation de la pression ambiante sur le temps de gonflage d'un gilet. C'est à dire que plus la pression ambiante augmente et plus le temps de gonflage est important.

L'analyse démontre que l'augmentation proportionnelle de la moyenne pression du détendeur avec la profondeur n'est pas en corrélation avec le débit de l'inflateur car les temps de gonflage ne sont pas constants.

Avec des temps de gonflage qui se situent entre :

|            | <b>Tps mini</b> | <b>Tps max.</b> |
|------------|-----------------|-----------------|
| En surface | 5,10 s          | 14,20 s         |
| A 10 m     | 7,25 s          | 18,20 s         |
| A 30 m     | 13,00 s         | 24,50 s         |
| A 50 m     | 16,50 s         | 33,45 s         |

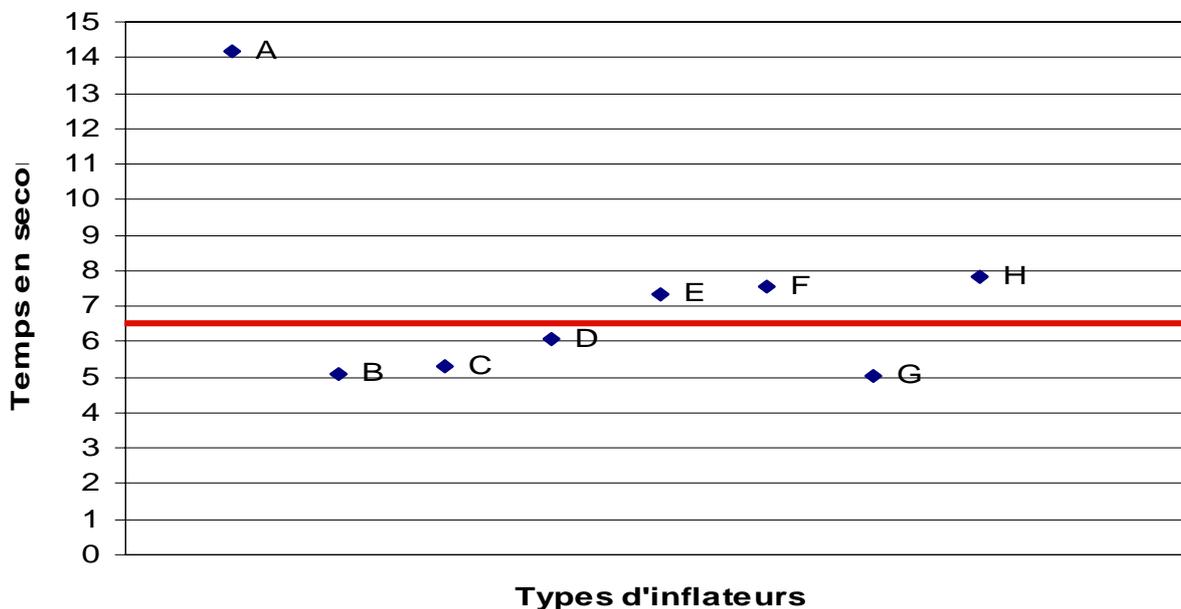
L'inflateur (A), avec son faible débit en surface, confirme son manque de performance en profondeur. En revanche, l'inflateur (D) dont le débit est le meilleur à la pression atmosphérique, n'est pas le plus performant en milieu hyperbare. Toutefois les performances de l'inflateur (D) sont très proches de l'inflateur (B).

### 3.24 – Représentation graphique des inflateurs par profondeur.

Ce dernier test, me permet de déterminer un temps de gonflage moyen d'un gilet de 18 litres par profondeur et d'y situer les différents inflateurs testés. La moyenne pondérée du temps de gonflage, est calculée sur le temps total de gonflage amputé des deux valeurs extrêmes.

**En surface, le temps moyen de gonflage est de 6,53 secondes.**

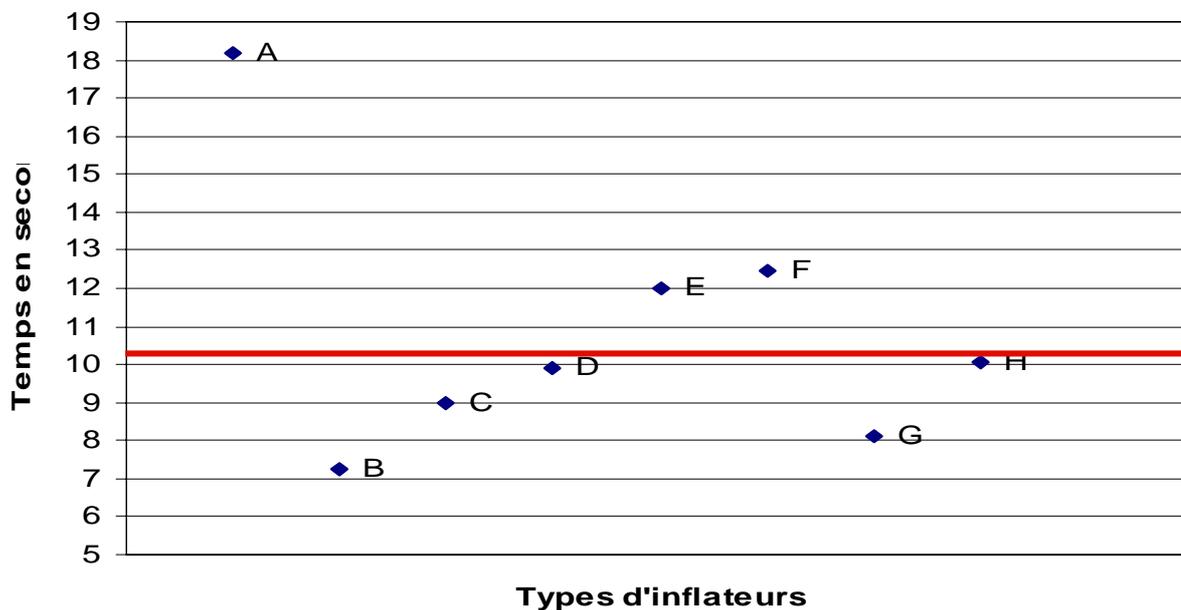
#### Gonflage en surface



A partir de ce tableau, je remarque que l'ensemble des inflateurs à une seconde près se situent dans la moyenne et que tous correspondent à la norme EN 12628. Seul les inflateurs (B, C, D, G) avec des temps de gonflage inférieur à la moyenne sont les plus performants.

A 10 m, le temps moyen de gonflage est de 10,25 secondes

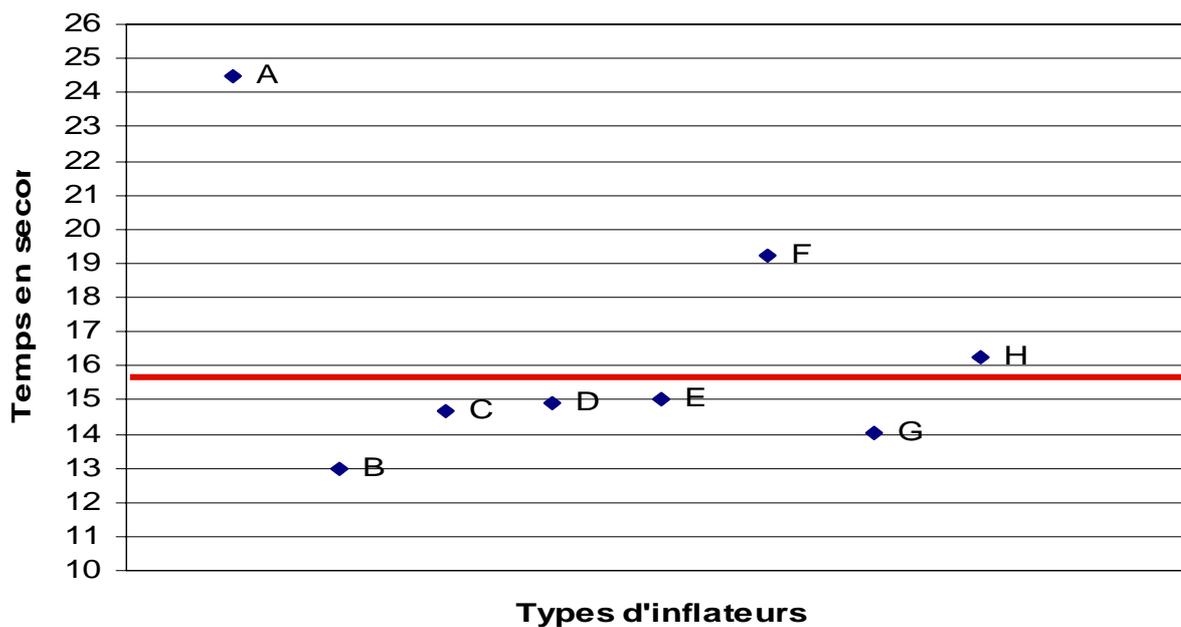
### Gonflage à 10 m



A partir de ce tableau, je constate que les inflateurs (B, C, D, G, H) ont des temps de gonflage inférieur à la moyenne mais que les inflateurs (E, F) sont déjà à plus de 2 secondes de cette valeur.

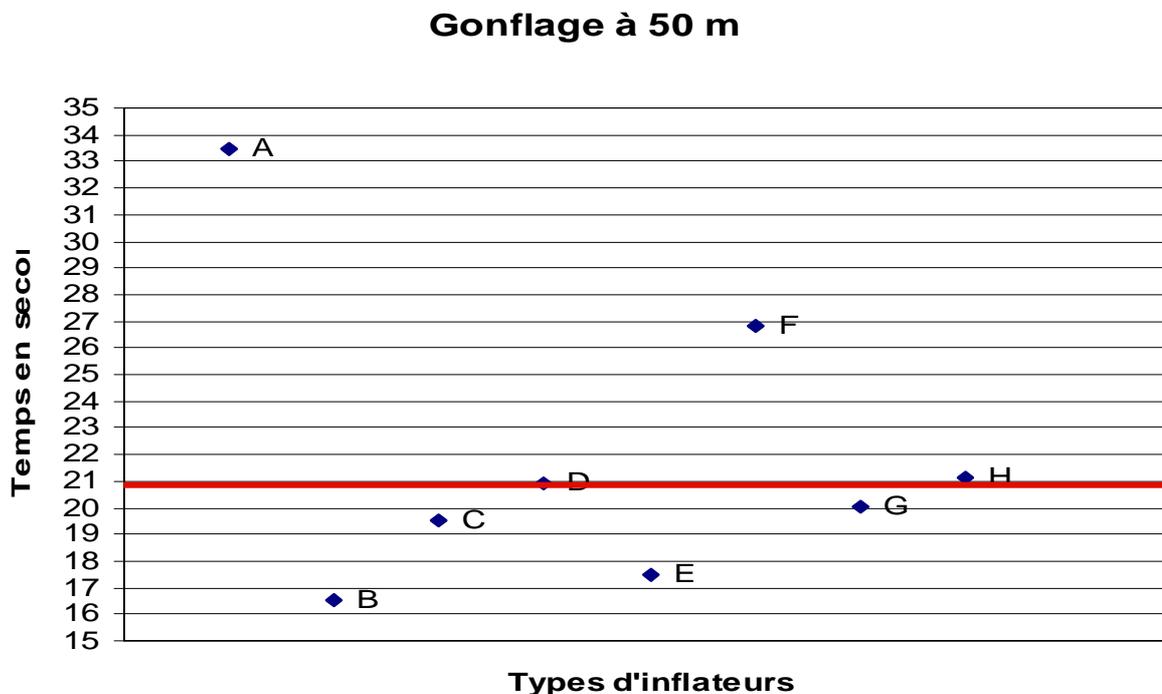
A 30 m, le temps moyen de gonflage est de 15,68 secondes

### Gonflage à 30 m



Dans ce tableau, je constate que les inflateurs (B, C, D, G) ont toujours des temps inférieurs à la moyenne calculée, que (E) voit ses performances augmenter avec la profondeur, que (H) est dans la moyenne et que seul l'inflateur (F) a un temps de gonflage supérieur de près de 4 secondes.

**A 50 m, le temps moyen de gonflage est de 20,98 secondes**



A 50 m, je constate que les inflateurs (B, C, G) confirment leur qualité, que (E) devient de plus en plus performant avec l'augmentation de la profondeur, que (D, H) restent dans la moyenne, que (F) continue à se dégrader et se trouve à plus de 6 secondes de cette valeur. (A) est à plus de 12,5 secondes de la moyenne.

### 3.25 - Conclusion

Ces différents graphiques représentant les inflateurs testés en fonction de leur temps de gonflage par profondeur démontrent les limites de la norme EN 12628. En effet, si tous les inflateurs sont homologués, je constate que certains (A et F), avec des performances correctes en surface, peuvent rapidement se dégrader avec l'augmentation de la profondeur et deviennent dangereux pour soi ou son équipier en cas d'assistance. En raison de l'augmentation du potentiel des risques avec la profondeur, tous les inflateurs devraient être performants, or ce n'est pas le cas.

A l'inverse, on peut être agréablement surpris par l'inflateur (E) qui voit ses performances s'améliorer sous l'effet de la pression. La seule explication tangible est que, par construction, l'augmentation de la M.P. influence toujours sur le débit alors que pour les autres inflateurs, elle n'intervient plus, on dit que l'écoulement est bloqué.

### 3.3 - Simulation d'un cas concret d'assistance en milieu naturel.

Au vu des résultats précédents, il me paraît dangereux d'évoluer avec des inflateurs à faible débit au-delà de l'espace lointain. Car lors d'une assistance réelle en pleine eau, les deux plongeurs risquent de sonder sans jamais pouvoir regagner la surface en raison de la perte de volume due à l'augmentation de la profondeur et de l'insuffisance du débit de l'inflateur. Cet état de fait, à été constaté dans des accidents de plongée aussi bien en milieu lacustre que marin. D'où, il m'est venu l'idée de faire une simulation d'un cas concret d'assistance dans l'espace lointain et au-delà.

#### 3.31 - dans l'espace lointain.

Cette simulation s'est déroulée lors d'un stage de formation de moniteurs de plongée gendarmerie à Antibes (06) durant quatre plongées afin de croiser les résultats. Chaque palanquée se compose de deux stagiaires moniteurs (X et Y) et d'un moniteur 2° degré.

##### Définition du protocole :

- Deux stagiaires, l'un en situation d'élève (X) et l'autre en situation de futur moniteur (Y), effectuent une descente dans le bleu en pleine eau à la vitesse réglementaire de 30 m / mn sur un fond de 65 m maximum. Les stagiaires (X et Y) ont une flottabilité nulle à 3 mètres. Chaque stagiaires (X) possèdent un gilet de 18 litres de volume muni d'un des inflateurs testés.

- Le stagiaire (X), durant sa descente n'équilibre pas son gilet soit pour simuler un élève qui gonfle son gilet au dernier moment, soit un élève qui narcose pendant la descente ou qui oublie de gonfler son gilet, préoccupé par la réalisation de sa descente dans le bleu. A 40 m de profondeur, il ne se stabilise pas et poursuit sa descente sans palmer.

- Le stagiaire (Y), non informé du protocole, constate l'incident in situ et intervient. La seule consigne dont il dispose, c'est d'intervenir qu'à l'aide du direct-system du gilet de la victime et sans utiliser la bouteille 0,4 l ou ses propres palmes. Nous donnons ces consignes, afin de n'évaluer que l'efficacité de l'inflateur et non sa puissance physique ou l'utilité de la petite bouteille. Le stagiaire (Y) gonflera le gilet de son équipier jusqu'à l'arrêt de la descente et l'amorce de la remontée des deux plongeurs.

- Ce test est réalisé deux fois au cours de deux plongées différentes, dans les mêmes conditions, par une autre palanquée. La profondeur retenue est la moyenne des deux profondeurs maximales atteintes.

**3.311 – Le premier test s'effectue à 40 m de profondeur.**

Avec des profondeurs comprises entre 48 m et 60 m, les résultats sont éloquentes même s'ils ne reflètent pas totalement la réalité, quoi que ! Pour la démonstration, ces résultats ne sont pas fiables car d'autres paramètres, autre que le débit de l'inflateur, sont en cause :

a) - Le stagiaire (Y) n'est pas à proximité du stagiaire (X) lors de la descente. Aussi, son temps de réaction est augmenté, la profondeur d'intervention sur le stagiaire (X) n'est pas identique pour tous ainsi que la profondeur de début de gonflage du gilet.

b) - Le stagiaire (Y) n'équilibre pas son gilet au cours de la descente et lors de l'intervention les deux plongeurs sont en flottabilité négative. Dans cette situation, l'inflateur devra gonfler plus longuement pour arrêter et stabiliser la descente. Ce qui implique une profondeur atteinte plus grande.

c) - Le stagiaire (Y) surprie, ne réussit pas la prise du premier coup.

**3.312 – Nouvel essai toujours à 40 m mais en modifiant le protocole.**

Lors de la répétition du test le stagiaire (Y), au cours de la situation, intervient plus rapidement, car il est pseudo-équilibré à la profondeur d'intervention et se tient au contact du stagiaire (X), aussi les profondeurs atteintes ne sont comprises qu'entre 45,90 m à 53,20 m.

Dans ces conditions, nous pouvons conclure, que tous les inflateurs ont commencé à gonfler le gilet de la victime entre 40 m et 40,50 m et qu'il reflète réellement le temps mis par l'inflateur pour gonfler suffisamment le gilet et remonter les deux plongeurs.

**3.313 - Le même test effectué à 50 m de profondeur.**

Les résultats sont quand même terrifiants car la première profondeur atteinte est de 58,80 m et que deux des inflateurs testés n'ont pas permis de remonter les plongeurs car ils ont touché le fond à 65 m. En pleine eau, ils descendraient encore...

**3.32 - Extrapolation des résultats à 60 m.**

Il n'est pas difficile d'imaginer le bilan tragique, d'une plongée dans la zone des 60 m, en pleine eau, en situation d'assistance réelle, avec un plongeur équipé d'un gilet muni d'un inflateur bas de gamme.

Sans parler, des plongeurs qui justifient leurs surlestages par le volume important du gilet. Mais, si le gilet est équipé d'un mauvais inflateur, ce n'est pas l'importance du volume du gilet qui permettra de mieux remonter ce plongeur en pleine eau.

De même, certains gilets dits «Teck» avec de très gros volume sont équipés d'inflateur à faible débit. Il en est de même pour la plupart des «Wings» américaines vendues en France. Fait paradoxal pour des plongeurs «Tecks» lourdement équipés !

La justification avancée par les constructeurs est que ces gilets sont équipés d'une double enveloppe munie chacune d'un inflateur et qu'en cas de problème le plongeur peut gonfler simultanément les deux enveloppes. Or, le problème reste posé en cas d'assistance d'un équipier car il lui sera impossible de le tenir et de gonfler en même temps les deux enveloppes.

A l'inverse, on trouve sur le marché des gilets dont le volume est tellement ridicule qu'ils permettent à peine d'équilibrer le bloc de plongée en surface. Or, il n'est pas rare de voir des plongeurs ou plongeuses de petite corpulence utiliser ce genre de gilet. Que se soit dans le cadre de l'autonomie ou d'encadrement, en cas d'assistance, les chances de remonter sont minimales car ce n'est pas l'inflateur qui sera en cause mais le faible volume.

## **4 - FACTEURS LIMITANTS ET AMELIORATIONS TECHNIQUES DES DIRECTS-SYSTEM**

Poursuivant, notre étude, il me paraît intéressant de connaître les facteurs limitants la performance des inflateurs, de les classer par thème, et de déterminer les améliorations possibles.

### **4.1 – Facteurs limitants**

#### **4.11 – Physique**

##### **4.111 - Influence de la valeur de moyenne pression du détendeur**

- La valeur nominale de la moyenne pression, à haute pression de bloc égale, n'influe que très légèrement sur le débit car les valeurs sont sensiblement identiques.
- Pour un détendeur non compensé, la baisse de cette valeur est en corrélation directe avec la chute du débit.
- Pour un détendeur à membrane compensé dont la valeur de moyenne pression reste constante, la légère diminution du débit constaté résulte de la chute dynamique de la moyenne pression.
- En revanche, l'élévation de la moyenne pression avec la pression absolue n'implique pas une augmentation de débit proportionnelle.

##### **4.112 – Influence de l'élévation de la masse volumique des gaz en profondeur**

- S'il est évident que l'augmentation de la masse volumique des gaz en profondeur est un facteur limitant de la performance, il est pour le moins étonnant de constater que les performances du direct-system (E) s'accroissent au fur et à mesure de l'augmentation de la profondeur.

#### **4.12 - Technique**

##### **4.121 – Influence de la connexion du flexible avec le direct-system**

- On pourrait croire que le système de connexion du flexible M.P. avec le direct-system a une importance capitale. Néanmoins il n'en est rien. En effet, si les directs-system (B et E) sont pourvus de gros flexible muni d'une connexion à bille, l'inflateur (D), aussi performant dans nos essais, est connecté à l'aide d'un flexible standard muni d'une valve «Schrader» petit modèle.

##### **4.122 – Influence de la conception du direct-system**

- Il y a quelques années, la différence de concept d'inflation entre une petite valve «Schrader» et un axe traversant épaulé ou percé influait sur le débit. Aujourd'hui il n'en est rien car d'aussi bonnes performances sont atteintes avec des inflateurs (D et G) munis d'une valve «Schrader» de nouvelle génération à gros diamètre.

##### **4.123 – Conclusion**

Actuellement, d'après les renseignements recueillis auprès des fabricants, les flexibles de direct-system munis d'une valve «Schrader» petit modèle, serait susceptible de débiter 450 l / mn. Aussi, il est facile de conclure, que les fabricants qui continuent à concevoir des inflateurs peu performant, considèrent celui-ci d'avantage comme un accessoire de confort du plongeur que d'un organe de sécurité.

#### **4.13 – Paramètres de sécurité**

Les raisons invoquées par les constructeurs sont :

- La difficulté d'utiliser un inflateur à très gros débit pendant la phase d'apprentissage des techniques telles que la stabilisation ou l'assistance.
- La nécessité de correspondre à la norme EN 12628, en ce qui concerne les essais de rapidité d'évacuation des gaz.
- L'augmentation des risques de givrage du détendeur en eau froide par un gonflage et une inspiration simultanée.

#### **4.14 - Le manque d'entretien**

Le principal facteur de l'altération des performances d'un inflateur est le manque d'entretien. En effet, même soigneusement rincé, en raison de sa position toujours verticale sur le gilet, l'inflateur se colmatent petit à petit à cause, d'un dépôt de sel ou de calcaire. Ce dépôt, ennemi invisible, peut diminuer jusqu'à 27 % les performances initiales de l'inflateur. Il suffit de regarder les photos ci-après pour mieux comprendre ce dont il s'agit.



Pour prévenir ce dysfonctionnement, certains fabricants équipent leur inflateur de bouchon qui couvre la tétine et protège la chambre située en amont du clapet d'ouverture.

A la question : « Quel est le nombre de plongeurs qui font réviser annuellement leur direct-system ? » Je ne pense pas avoir un franc succès car pour beaucoup le direct-system n'est révisé que lorsqu'il fuit ou qu'il ne fonctionne plus. N'est-ce pas ?

#### **4.15 - Le rajout d'accessoires**

Dans un souci de sécurité optimale, il n'est pas rare de voir des directs-system munis d'un équipement sonore sous-marin de type Dive-Alert. Or, sans le savoir, ces plongeurs diminuent les performances initiales de leur inflateur en raison de la réduction du diamètre de passage de l'air et de la présence d'une valve «Schrader» de petit diamètre supplémentaire. Du test effectué sur le direct-system (D), il ressort qu'avec le Dive-Alert l'inflateur ne délivre pas plus de 158 l / mn alors que le débit initial est de 208 l / mn, soit une réduction de 24,04 %. N'est-ce pas paradoxal pour un accessoire de sécurité ?

## **4.2 – Améliorations techniques**

S'il paraît pompeux de prétendre pouvoir améliorer techniquement un direct-system, mon objectif est d'en entrevoir la possibilité technique en réalisant peu de modifications sur le matériel.

Mon idée est d'équiper les gilets stabilisateurs des «Teckys» ou les gilets des plongeurs confirmés évoluant profond par un direct-system dont la vocation première sera la sécurité grâce à une vitesse d'inflation importante mais progressive.

Actuellement, ce direct-system, à l'étude pour les militaires afin de se substituer à la petite bouteille, est encore confidentiel.

Pour faire mes essais d'améliorations techniques, le direct-system choisi est le modèle respirable de la marque Fenzy. Ce choix est volontaire pour plusieurs raisons :

- ↪ Inflateur longtemps utilisé par les militaires.
- ↪ Un nombre d'appareil complet et de pièces détachées important en stock.
- ↪ Il est de fabrication française.
- ↪ Autorisation d'effectuer les modifications par le fabricant.

Les modifications réalisées ne sont que des réalésages de pièces ou le remplacement de la tétine et de la valve «Schrader» d'origine.

Au fur et à mesure de mes modifications, j'ai constaté une augmentation du débit de l'inflateur qui atteint en fin de réalisation 258 l / mn soit une augmentation de 98,5 % par rapport au débit originel. Cette mesure est effectuée sans que les surfaces usinées soient chromées. Une fois le chromage réalisé, il est évident que les performances seront considérablement augmentées.

A la suite de mes essais, il apparaît que mon inflateur «Prototype» n'est pas à mettre entre toutes les mains. Car s'il est très efficace en cas d'assistance ou de sauvetage profond au gilet, il sera difficile d'utilisation pour un non initié en petite profondeur.

## **5 - INCIDENCES PEDAGOGIQUES**

### **5.1 - Dans l'enseignement de l'activité.**

Bien sur, je n'ai pas la prétention de vouloir tout révolutionner en pédagogie mais il me semble important, en qualité de formateur de cadres, de préciser certains points essentiels qui me paraissent négligés, de relever des aberrations et de confirmer des éléments d'enseignement qui sont d'actualité.

#### **5.11 - Enseignement pratique.**

##### **5.111 – La détermination du lestage**

Si le sur lestage est une doctrine pour les pays nordiques, il semble que certains formateurs français en soient adeptes. Quand on entend des moniteurs déterminer le lestage d'un plongeur en scaphandre sur la base de 1 Kg de plombs par 10 Kg de masse corporelle et sans aucune autre forme d'appréciation, cela me paraît limite car avec une telle pratique, il n'est pas rare de voir des plongeurs sur lestés.

Les justifications avancées pour le sur lestage sont :

- de faciliter l'exécution des techniques d'immersion,
- de mieux se maintenir aux paliers de décompression en s'accrochant au parachute,
- de faciliter la gestion de la remontée individuelle ou collective au gilet car, en cas de purge de celui-ci, l'arrêt sera instantané,
- enfin que le sur lestage n'est pas un problème en soit car le grand volume du gilet le compense facilement.

Effectivement, si ces justifications sont acceptables, le volume du gilet ne sera pas d'une grande utilité avec un direct-system peu performant. Fait malheureusement constaté lors d'accident de plongée, en pleine eau au-delà des 40 m, où l'inflateur n'admet pas un volume d'air suffisant pour compenser la perte de volume due à la poursuite de la descente. Généralement les deux victimes sont retrouvées, ensemble, sur le fond.

Aussi, il est important de prôner qu'un bon lestage est celui qui permet de maintenir un palier à 3 m avec une bouteille gonflée à 50 bars dans les conditions habituelles de plongée.

#### 5.112 – La descente dans le bleu

Cette technique souffre soit d'un manque de précisions des consignes de réalisation de la part du formateur ou de l'oubli de celles-ci par l'élève. Quels ne sont pas les plongeurs qui descendent très rapidement à la zone d'évolution ou qui gonflent le gilet au dernier moment ? En cas de problèmes du direct-system ou de la connexion ou de narcose, etc. le binôme sera dans une situation délicate pour intervenir surtout si le fond n'est pas à proximité.

Ici, je pense que le respect d'une vitesse de descente de 30 m / mn, comme elle est prévue dans l'armée ou dans les caissons hyperbares, est trop rapide. En revanche, préciser que la descente doit être adaptée à l'ensemble des plongeurs de la palanquée sans toutefois dépasser cette vitesse me paraît plus judicieuse. De même, la vitesse se régule tout au long de la descente par des inflations progressives d'air dans le gilet de façon à arriver presque stabilisé à la profondeur d'évolution.

#### 5.113 – L'enseignement de l'assistance ou du sauvetage au gilet

Dans ce domaine plusieurs remarques sont à faire aussi bien dans le domaine de l'apprentissage que de l'évaluation.

Il n'est pas rare de voir encore, pendant un examen ponctuel, des plongeurs lors de l'assistance au gilet purger en premier celui de la victime pour ensuite gonfler le leur afin de n'avoir qu'un gilet à gérer. Ce n'est pas possible me direz-vous ! Mais oui, cette aberration est encore d'actualité.

Un exemple d'apprentissage de l'assistance au gilet dont les exercices sont réalisés en pleine eau, avec des plongeurs parfaitement équilibrés, statiques, face à face et avec une victime sans réaction, peut se justifier. Toutefois, la formation ne doit pas s'arrêter à ce stade comme c'est souvent le cas. Il en est de même, avec la technique qui consiste à entrelacer les jambes de la victime avec les siennes dans le but d'évaluer une parfaite maîtrise du gilet n'est pas du tout adaptée à une situation réelle.

On sait que toutes techniques apprises et répétées génèrent des automatismes. Or que se passe-t-il quand les faits ne correspondent plus aux acquis ? Ou que les automatismes deviennent dangereux dans une situation réelle ? Le risque est que le plongeur est désorienté, stressé, qu'il panique et que l'issue peut être fatale à un des deux plongeurs.

De ce fait, il est intéressant de proposer aux futurs cadres de faire varier les paramètres de réalisation de l'exercice durant la formation des plongeurs autonomes comme des guides de palanquée (fond, pleine eau, gilet mal équilibré, direct-system non branché, assistance sur une descente dans le bleu, agitation de la victime, évolution de la prise pour se mettre en sécurité, etc.).

De même, je préconise que tous les plongeurs qui évoluent en autonomie et à fortiori ceux qui encadrent, devraient continuer à s'entraîner aux assistances gilets, car avec le temps, la technique s'amenuise et le jour où on en aura besoin, elle ne sera pas forcément maîtrisée. Il faut savoir se remettre en question ! C'est du recyclage...

#### **5.114 – Recommandation en fonction du lieu d'utilisation**

Au cours d'accidents en milieu lacustre, il a été constaté que le flexible du direct-system monté sur le détendeur principal est à l'origine d'un givrage du détendeur lors d'une inspiration et d'une inflation d'air dans le gilet simultanée.

D'où, la recommandation de gréer le flexible du direct-system sur le détendeur de secours. En cas d'un double direct-system (gilet et combinaison étanche) il suffit d'équiper celui de la combinaison étanche sur le détendeur principal car, lors de sa descente, le plongeur pourra réguler facilement l'inflation d'air et sa ventilation. Autres avantages, c'est qu'en cas d'assistance, l'équipier ne sera pas ennuyé par un problème de givrage.

#### **5.12 - Enseignement théorique.**

Dès le niveau 2, il me paraît judicieux, en plus des informations succinctes sur le matériel, de sensibiliser les plongeurs sur les différents directs-system. Cela leur permettra de le choisir correctement lors d'un éventuel achat ou de le remplacer pour leur propre sécurité. A tout niveau, il serait également bien venu d'insister sur l'entretien périodique des inflateurs au même titre que son détendeur.

## **6 - CONCLUSION**

Mon analyse comparative, sur un éventail de directs-system vendus en France, avec des tests objectifs et prédéfinis, met en évidence plusieurs points intéressants voire inquiétants.

Le premier c'est la différence de débit existante, aussi bien en surface qu'en profondeur, entre les directs-system homologués par la norme européenne. Le second paramètre c'est l'influence du débit sur une assistance au gilet. En effet, il ne faut pas oublier que lors du test, deux des inflateurs analysés n'ont pas permis de remonter les plongeurs par 50 m en pleine eau. Le troisième point c'est la conséquence du manque d'entretien sur la baisse de débit pouvant atteindre jusqu'à 27 %. Enfin, ceux sont les incidences pédagogiques qui résultent de nos différents constats.

Aussi, il serait judicieux que les fabricants après avoir travaillé sur l'ergonomie des directs-system s'investissent sur l'amélioration des débits de l'inflateur pour en faire un réel accessoire de sécurité plutôt que de confort.