

## CRFI 2016/007 : Débit continu du second détendeur

*Préambule : Le récit et les recommandations qui en découlent ont pour objectif unique la prévention des accidents ; il ne s'agit nullement de déterminer des fautes ou des responsabilités.*

### Récit du déclarant :

Lieu : Pointe Caramassaigne

Conditions météorologiques idéales avec une mer calme

Palanquée 1 MF2 + 2 N2

Bateau amarré à la bouée NW de Caramassaigne

Briefing avant plongée :

- Profil prévu : 30-35m sur la pointe puis fin de plongée sur 12m
- 5 min de paliers maxi / 50 bars mini demandés au bateau
- 3 min de sécurité en plus des paliers obligatoires
- Annonce 150 bars et 100 bars

Avant mise à l'eau, demande par le moniteur de vérification ouverture bouteille et annonce de la quantité d'air : MF2 15L / 180 bars, plongeur A 15L / 200 bars et plongeur B 15L / 220 bars.

Mise à l'eau du plongeur A et du moniteur, le plongeur B tarde un peu.

Immersion le long de la roche après un court palmage en surface.

Arrêt entre 4 et 5m comme annoncé pour vérifications mutuelles puis poursuite de la descente vers 20m puis 26m en suivant le fond. L'ordre de la palanquée est moniteur – plongeur A et plongeur B A 26m et au bout d'un peu moins de 6 min d'immersion, le plongeur B se précipite vers le moniteur et lui indique 50 bars à son manomètre.

Le moniteur vérifie que le bloc du plongeur B est bien ouvert ; ce dernier lui montre alors son second détendeur d'où s'échappent encore quelques bulles. Il a manifestement fusé lors de la descente.

Le moniteur donne son détendeur de secours et la décision est prise de poursuivre la plongée en remontant progressivement dans la zone des 10-12m et en restant exempt de paliers.

Lorsque le moniteur arrive à 90bars, il demande au plongeur A alors à 130 bars de prendre le relais et s'assure de la bonne exécution de la manœuvre.

Le plongeur A a du mal à décrocher son deuxième détendeur et met plus de 20s pour le donner au plongeur B qui procède alors à l'échange.

En fin de plongée, il est procédé à un nouveau relais avec le moniteur puis le plongeur B reprend son détendeur pour la remontée de 10m le long d'un mouillage et pour l'exécution de 3 min de sécurité à 3m.

Durée d'immersion 44 min / Profondeur maximale : 25,8m

Au débriefing, le plongeur B explique qu'en se dépêchant pour se mettre à l'eau, il n'a pas pris le soin de fixer son deuxième détendeur. Lors de la descente, ce dernier est passé dans son dos et s'est mis à fuser.

Il s'en est rendu compte tardivement en sentant des bulles le long de son corps et a regardé alors son manomètre qui indiquait 50 bars.

## Analyse et recommandations :

L'étude du profil de plongée du moniteur fourni en annexe 1 indique que :

- La prise en charge débute à 26m un peu moins de 6 min après le début de l'immersion ;
- Une remontée est initiée jusque 18m puis la plongée se poursuit par paliers ascendants (20-22m, 14-17m, 11m puis 6m) durant 36min.

La préparation avant la mise à l'eau du plongeur B a pris un peu de temps ; ce dernier pressé par les évènements n'a pas fixé son détendeur de secours.

Le second détendeur du plongeur B qui ne fusait pas à la vérification à 5m s'est placé dans son dos et s'est mis à fuser lors de la phase de descente vers 26m.

Ni le plongeur B lui-même, ni le plongeur A plus proche, ni le moniteur en tête de palanquée n'a vu ou entendu le détendeur fuser ; autant l'éloignement des autres plongeurs peut l'expliquer, autant il est surprenant que le plongeur B n'en prenne conscience que tardivement notamment en raison du bruit que cela occasionne.

**La perte de gaz est conséquente et rapide puisqu'elle atteint 170bars en 5 à 6 min.**

**A ce rythme (qui aurait été accentué par la profondeur), la panne d'air totale serait survenue moins de 2min après.**

L'annexe 2 présente un article de Curt Bowen<sup>1</sup> sur des essais menés pour déterminer les temps nécessaires à la vidange accidentelle d'un bloc de plongée en cas de fuite sur un tuyau HP, de fuite sur un tuyau MP, d'extrusion de joint torique et second étage de détendeur qui fuse.

Les principales leçons que l'on peut tirer de cet article sont :

- a) L'événement occasionnant un débit de fuite le plus important est la fuite sur une extrusion de joint torique ou une fuite sur un tuyau MP suivie par une fuite avec un second étage de détendeur fusant puis loin derrière par une fuite sur un tuyau HP
- b) Les fuites les plus critiques sont celles qui vont conduire rapidement à une vidange complète du bloc sans possibilité d'intervention (absence de robinet d'isolation, bloc simple sortie ...)
- c) La perte de gaz en cas de réaction appropriée sera de l'ordre de 450l dont il faudra gérer le manque pour la suite de la plongée

**Recommandation n°1 :** Une mise à l'eau précipitée (ou sous stress) conduit souvent à des oublis (bouteille non ouverte, équipement oublié ...) ou des erreurs (saut droit sans tenir masque ou détendeur, bascule arrière sans vérification d'absence de plongeur dans la zone) ; il convient donc de s'assurer que la mise à l'eau de la palanquée s'effectue une fois que tous les membres sont prêts. Une attention particulière sera portée sur les personnes indiquant des signes de stress (inquiétude, nervosité, oublis ...).

---

<sup>1</sup> Curt Bowen est un explorateur américain spécialisé dans la photographie sous-marine et la plongée spéléo extrême aux mélanges ; il est le fondateur du magazine de plongée « Advanced Diver Magazine »

**Recommandation n°2 :** Le détenteur de secours doit être fixé ou positionné de telle sorte qu'il soit accessible facilement en cas de besoin.

Un détenteur de secours qui pend derrière soi ne sera pas évident à retrouver, pourra se mettre à fuser à l'insu de son propriétaire, se détériorer en raclant les fonds ...

Fallait-il poursuivre la plongée ?

Il est délicat de répondre à cette question sans avoir la connaissance complète de la situation.

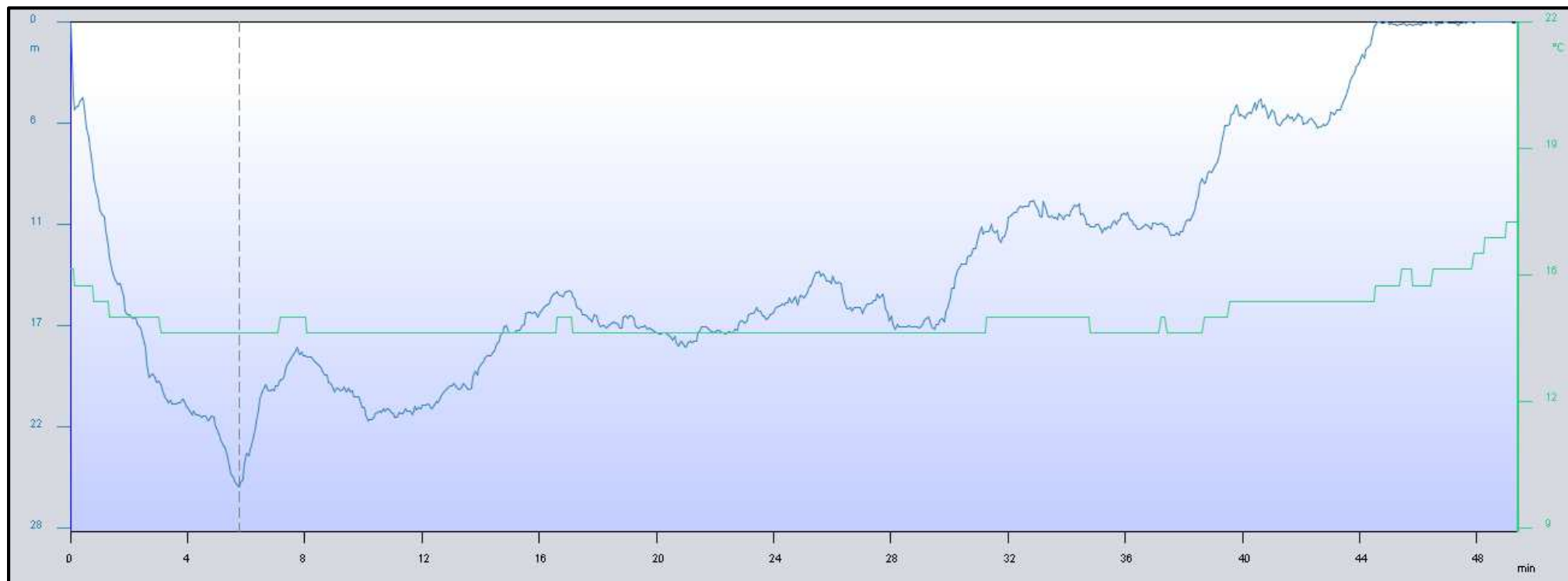
On peut estimer que le moniteur ne devait pas accepter la prolongation de cette situation dégradée et aurait dû mettre fin à la plongée mais quel est le risque pris et quels sont les éléments qui ont contribué à sa prise de décision ?

- Les conditions météo sont optimales ;
- Les plongeurs sont Niveau 2 donc autonomes, le moniteur est MF2 ;
- Le lâcher et reprise d'embout est à ce niveau un exercice maîtrisé ;
- La plongée est poursuivie en paliers ascendants principalement dans la zone des 10-15m sans atteindre les paliers ;
- La réserve minimale de 50b pour chacun des plongeurs demandée par le DP est respectée ;
- L'emprunt du détenteur de secours d'un équipier pour équilibrer les blocs est, sans être une pratique orthodoxe, probablement couramment pratiquée.

La gestion d'une situation dégradée avec prise de décision est une capacité que tout plongeur doit apprendre à maîtriser ; cependant, selon le niveau du plongeur, cette gestion sera plus ou moins aisée.

**Recommandation n°3 :** Il convient d'indiquer ici que la prolongation d'une situation dégradée doit faire l'objet d'une véritable analyse des risques encourus. Cette analyse pouvant être délicate ou erronée pour des plongeurs manquant d'expérience, il est plus sage selon la situation de mettre immédiatement fin à une situation dégradée pouvant engager la sécurité de la palanquée.

## Annexe 1 : Profil de la plongée du moniteur



Text by Curt Bowen

We train for equipment failures in our certification courses, practice our emergency drills, and conduct pre-dive safety inspections. We do all this in hopes that we may catch a problem before it happens or have the knowledge to remedy the situation at depth just in case one occurs. In all the preparation and drills, it always seems that an equipment failure happens at the worst time



### The test

Four different equipment failures were simulated at four different preset depths and timed for their results. Each test included a full aluminum 80 cubic foot cylinder filled to 3000 psi. The test timed how long it would take to drain each aluminum 80 from 3000 psi to 0 psi<sup>2</sup>.

### The equipment failures tested

1. **High-pressure hose failure**. Simulated by putting a pre-cut high-pressure hose on a first stage regulator. The cylinder valve was fully opened at the predetermined depths, and the time it took to drain an 80 cubic foot cylinder was recorded.
2. **Low-pressure hose failure**. Simulated by putting a pre-cut low-pressure hose on a first stage regulator. The cylinder valve was fully opened at the predetermined depths, and the time it took to drain an 80 cubic foot cylinder was recorded.
3. **Burst disk failure**<sup>3</sup>. Simulated by removing a burst disk from the cylinder valve at depth. The time it took to drain an 80 cubic foot cylinder was recorded.
4. **Free-flow second stage regulator**. Simulated by manually purging a high performance second stage at the predetermined depths until the cylinder was emptied. The time was recorded.

Depths Tests Conducted		
Depth Ft.	ATA	PSI
0	1	14.7
99	4	59
232	8	118

Equipment Failure Test Results			
Test Conducted	Depth (ftw)	Time to Drain 3000 to 0 (seconds)	Cuft drained in 15 seconds
High Pressure Hose Failure	0 ffw	1320 seconds (22 min)	0.90 cuft
	99 ffw	1320 seconds (same)	
	232 ffw	1320 seconds (same)	
Low Pressure Hose Failure	0 ffw	83 seconds	14.45 cuft
	99 ffw	81 seconds	
	232 ffw	82 seconds	
Failed Burst Disk	0 ffw	72 seconds	16.66 cuft
	99 ffw	74 seconds	
	232 ffw	74 seconds	
Free Flow Second Stage	0 ffw	255 seconds	4.7 cuft
	99 ffw	155 seconds	
	232 ffw	91 seconds	

<sup>2</sup> Traduction : Le test a consisté à déterminer le temps nécessaire pour passer de 207 bars à 0 sur une bouteille aluminium de 11 litres

<sup>3</sup> Le Burst Disk (voir photos en annexe 3) est un dispositif de prévention de toute surpression d'une bouteille de plongée imposé par la réglementation américaine et qui est positionné sur la robinetterie. Dans la suite de l'article, il est précisé que sa rupture est similaire à une extrusion du joint torique du détendeur.

This test (see above results) produced clear and precise results indicating that any major equipment failure, with the exception of a high-pressure hose rupture, would result in a catastrophic gas volume loss in just a few seconds.

### **Applying this knowledge to real life situations.**

The far right column in the chart above provides the amount of gas lost in cubic feet in 15 seconds. (The estimated time it takes for an unsuspected diver to fully analyze and shut down the failed regulator or isolation valve.) Of course with some situations, such as a ruptured burst disk or tank neck o-ring failure, all the volume in the affected cylinder will be lost.

The best reaction and solution to save the maximum amount of gas will vary according to the type of rig each diver is using from doubles with an isolation valve, independent doubles, and side mount cylinders. The ending consensus indicated that a good buddy team, especially for extreme technical diving and proper gear maintenance was of top priority.

### **Traduction :**

#### **Article « Mourir en quelques secondes – De 207 bars à zéro en 72 secondes »**

#### **Ecrit par Curt Bowen**

Nous enseignons des pannes d'équipement dans nos cours de certification, pratiquons nos exercices d'urgence, et nous effectuons des vérifications de sécurité avant de plonger. Nous faisons tout cela dans l'espoir que nous pouvons anticiper un problème avant qu'il ne survienne, ou avoir les connaissances nécessaires pour remédier à la situation en profondeur juste au cas où il se produit. Dans tous les exercices, la défaillance de l'équipement se produit toujours au pire moment.

#### **Le test :**

Quatre pannes d'équipements différents ont été simulées à quatre différentes profondeurs ; on a alors chronométré les fuites. Chaque essai était effectué sur un bloc aluminium de 11L rempli à 207 bars. Le test consistait à chronométrer combien de temps il faudrait pour vider complètement chaque bloc gonflé à 207 bars.

#### **Les défaillances testées :**

1. **Fuite sur un flexible haute pression.** Simulé en plaçant un flexible haute pression pré-coupé sur un premier étage de détendeur. Le robinet de la bouteille a été entièrement ouvert à des profondeurs prédéterminées et le temps qu'il a fallu pour vider le bloc de 11L a été enregistré.
2. **Fuite sur un flexible moyenne pression.** Simulé en plaçant un flexible moyenne pression pré-coupé sur un premier étage de détendeur. Le robinet de la bouteille a été entièrement ouvert à des profondeurs prédéterminées et le temps qu'il a fallu pour vider le bloc de 11L a été enregistré.
3. **Défaillance du disque de rupture<sup>4</sup>.** Simulé en enlevant le disque de rupture sur la robinetterie de la bouteille en profondeur. Le temps qu'il a fallu pour vider le bloc de 11L a été enregistré.
4. **Débit continu du deuxième étage du détendeur.** Simulé en purgeant manuellement un second étage haute performance à des profondeurs prédéterminées jusqu'à ce que le bloc soit vidé. Le temps a été enregistré.

---

<sup>4</sup> Le disque de rupture (Burst disk – voir photos en annexe 3) est un dispositif de prévention de toute surpression d'une bouteille de plongée imposé par la réglementation américaine. Dans la suite de l'article, il est précisé que sa rupture est similaire à une extrusion du joint torique du détendeur ; on peut également rajouter le cas d'une fuite sur le siège DIN évoqué dans le nota en page 8

Profondeurs des tests réalisés	
Profondeur (m)	Pression (bars)
0	1
30	4
70	8

Résultats des tests de défaillance			
Test réalisé	Profondeur	Temps de vidange complète depuis 207b	Volume perdu en 15s
Fuite flexible haute pression	0m	1320s (22min)	25 litres
	30m	1320s (22min)	
	70m	1320s (22min)	
Fuite flexible moyenne pression	0m	83s	409 litres
	30m	81s	
	70m	82s	
Défaillance du disque de rupture (ou extrusion du joint torique de la bouteille)	0m	72s	472 litres
	30m	74s	
	70m	74s	
Débit continu du second étage	0m	255s	133 litres
	30m	155s	219 litres
	70m	91s	373 litres

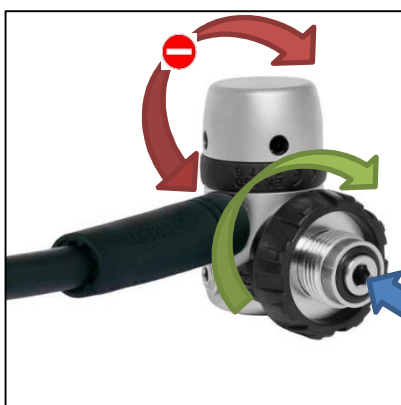
Ce test (voir ci-dessus les résultats) a produit des résultats clairs et précis indiquant que toute défaillance, à l'exception d'une rupture d'un flexible haute pression, se traduirait par une perte de volume de gaz catastrophique en quelques secondes.

#### Application de ces connaissances à des situations de la vie réelle :

La colonne de droite dans le tableau ci-dessus fournit la quantité de gaz perdu en litres en 15 secondes (soit le temps estimé qu'il faut pour un plongeur pour analyser complètement et fermer le détendeur en panne ou une vanne d'isolement). Bien sûr, dans certaines situations, comme un disque de rupture défaillant ou un joint torique de bouteille extrudé, tout le volume dans le bloc concerné sera perdu.

La meilleure réaction et solution pour sauver la quantité maximale de gaz variera selon le type de gréement de chaque plongeur : utilisation de bi-bouteilles avec une vanne d'isolement, bi-bouteilles indépendantes, bouteilles en side-mount. La conclusion finale étant que la plongée en binôme, en particulier pour la plongée technique extrême ainsi qu'un bon entretien du matériel était une priorité.

**Nota :** Une autre fuite est possible au niveau du raccord DIN ; elle est relativement fréquente et provient d'une mauvaise manipulation d'un détendeur DIN.



En effet, lors du démontage d'un détendeur DIN de la robinetterie de la bouteille, il convient de n'utiliser que la molette de dévissage ou volant DIN (flèche verte) en évitant de bouger le corps du détendeur (flèche rouge). Sinon, il y a risque de desserrement du siège DIN (flèche bleue) avec comme conséquence une fuite importante similaire à l'extrusion d'un joint torique HP.

Pour la même raison, il faut éviter lorsque le détendeur DIN ne le permet pas par conception de réorienter vos sorties de flexibles une fois le détendeur sous pression ; si celles-ci sont mal orientées, purgez votre détendeur et repositionnez-les.

Il convient enfin de contrôler régulièrement le serrage du siège DIN à l'aide d'une clef 6 pans.



### Annexe 3 : Le disque de rupture



*Disque de rupture monté sur une robinetterie*



*Détail d'un disque de rupture*