

Quel Trimix pour quelle plongée : exemples et explications de protocoles.

Manu Dugrenot, instructeur IANTD (manudugrenot@tek-diving.fr)
Jo Gallien, président d'IANTD France.

S'il est bien une question récurrente parmi le microcosme des plongeurs TEK, c'est évidemment celle du meilleur protocole de désaturation utilisable !

Surtout qu'il faut bien l'avouer, on entend ou lit souvent tout et n'importe quoi sur le sujet (il suffit d'aller sur les forums de plongée TEK pour s'en convaincre)...

Ce qui n'est guère étonnant si l'on considère que les incursions profondes sont restées coincées dans une sorte de *no man's land* entre la plongée LOISIR et la plongée à saturation des scaphandriers professionnels ! (Chose compréhensible s'il en est, s'agissant d'une pratique plutôt confidentielle, et donc nettement moins intéressante en terme de retombées économiques...)

Aussi comme il semble difficile de se prononcer là dessus sans mener de réel étude sur le sujet, peut-être devrions nous plutôt commencer par parler de ce qui a très bien fonctionné en terme de plongée profonde. A savoir, les nombreux travaux à saturation, ainsi que les études menées avec les corailleurs, dont les profils de plongées s'apparentent à ce qui se fait en plongée TEK !

Étant encore à ce jour détentrice des records « industriels » (-534 m en mer en 1988 avec HYDRA 8 et -701 m en caisson lors d'HYDRA 10 en 1992), la COMEX est sans conteste une des sources les plus fiables sur le sujet !

Source qui a également comme énorme avantage de se trouver à Marseille, à portée de palmes du moindre tekkie avide d'information, en plus de répondre à toutes les questions qu'il peut bien se poser (par l'intermédiaire notamment de Bernard Gardette, Directeur Scientifique COMEX) !

Ainsi vous l'aurez compris, toutes les notions qui vont suivre découlent des différents entretiens que Jo Gallien (président d'IANTD France) et moi-même avons pu avoir avec le Dr Gardette, sans qui toutes nos plongées ne se seraient peut-être pas si bien passées...

S'agissant maintenant de rentrer dans le vif du sujet, peut-être vaut-il mieux commencer par la pierre angulaire de tout ce qui va suivre, à savoir la notion d'engagement ($E = \text{Phydro} * \sqrt{t}$) ! [1]

Notion qui reflète une charge en gaz inerte à laquelle on peut associer un risque d'ADD.

Aussi contrairement à ce que pensent certains, la sévérité d'une plongée ne se traduit pas uniquement par une profondeur maximale atteinte... (l'exploration verticale n'étant pas une fatalité !)

(cf tableau ci dessous, qui montre clairement qu'une plongée de 30 min à 80 m est aussi engagée qu'une plongée de 15 min à 120 m)

plongée TEK			
Phydro*√t	Hélium		Risque ADD moyen
	Plongées	T. Déco	
40	80 m / 25 min	120 min (O2) (2h00)	0,60% (1/150)
	90 m / 20 min		
	100 m / 15 min		
	110 m / 13 min		
	120 m / 10 min		
45	80 m / 30 min	180 min (O2) (3h00)	1,00% (1/100)
	90 m / 25 min		
	100 m / 20 min		
	110 m / 17 min		
	120 m / 15 min		

Tableau 1 : la plongée TEK [2]

D'où donc la notion suivante, celle du build-up, qui veut qu'avant de chercher à aller plus profond, l'on commence par travailler à profondeur constante en augmentant l'engagement (cad le temps fond), afin de n'ajouter qu'une seule inconnue à notre progression. (On pourrait encore chercher à augmenter la profondeur tout en restant à engagement constant... mais la logique étant plutôt de maximiser l'exploration, on privilégiera plutôt l'augmentation de E à profondeur constante...)

Parallèlement à cette engagement, nos échanges ont portés sur les gaz à utiliser selon les différents profils de plongée, ainsi que sur leurs limites d'utilisation ! La narcose équivalente n'est pas le seul paramètre à prendre en compte lorsque l'on opte pour un mélange en particulier...

Mélange qui sera choisi en fonction de :

- **La profondeur max**, car effectivement la narcose équivalente a son importance ! Et plus la profondeur sera importante, plus faible sera la narcose équivalente. (En effet, s'agissant d'un calcul théorique, on aura plutôt tendance à ne pas dépasser une PNE = 25 m dès que l'on s'approchera voir dépassera les 100 m).
- **La nature du gaz**, car bien que nous utilisions des mélanges ternaires (TRIMIX), la COMEX a principalement travaillé sur des mélanges binaires (AIR, NITROX ou HELIOX). Aussi, suivant les conseils du Dr Gardette, nous utilisons toujours des mélanges avec un gaz inerte majeur ou **gaz directeur**, et un gaz mineur dont la proportion n'excédera pas 20 % dans l'idéal (au max du max 30 %, si l'on décide de vraiment tirer sur la corde).
- **L'Engagement max (E max)**, car même si la profondeur max ne l'impose pas (par l'intermédiaire de la PNE), nous privilégierons un gaz à dominante He en cas de temps fond important ($E \geq 30$), car il permet une meilleure désaturation (bien que le temps de palier soit plus long).

plongée SPORTIVE

Azote			Hélium			Risque ADD moyen
Hydro*/t	Plongées	T. Déco	Hydro*/t	Plongées	T. Déco	
20	20 m / 100 min	20 min (air) 10 min (O2)	25	50 m / 25 min	30 min (O2)	0,10% (1/1000)
	30 m / 45 min			60 m / 17 min		
	40 m / 25 min			70 m / 12 min		
	50 m / 15 min			80 m / 10 min		
	60 m / 10 min					
24	30 m / 65 min	40 min (air) 20 min (O2)	30	50 m / 35 min	60 min (O2)	0,20% (1/500)
	40 m / 35 min			60 m / 25 min		
	50 m / 25 min			70 m / 20 min		
	60 m / 15 min			80 m / 15 min		
				90 m / 10 min		
27	30 m / 80 mn	60 min (air) 30 min (O2)	35	60 m / 35 min	90 min (O2)	0,30% (1/300)
	40 m / 45 min			70 m / 25 min		
	50 m / 30 min			80 m / 20 min		
	60 m / 20 min			90 m / 15 min		
				100 m / 12 min		
				110 m / 10 min		

Tableau 2 : la plongée SPORTIVE [2]

Autre point intéressant, qui là encore à tendance à passionner le tekkies, c'est que la nature même du gaz utilisé va déterminer la remontée !

Les propriétés de l'azote (N2) et de l'hélium (He) étant très différentes, selon que l'on prenne l'un ou l'autre comme gaz directeur, la durée de la remontée ainsi que le degré de maîtrise du plongeur au cours de cette phase critique vont être grandement impactés ! [4]

- L'azote (N₂) est un gaz lourd et soluble qui va mettre du temps à diffuser, permettant ainsi de faire des paliers proches de la surface tout en étant permissif aux remontées rapides... (pour preuve les tables prévoient un protocole de rattrapage en cas de remontée rapide à l'air, gaz à dominante N₂...)
- L'hélium (He) est à l'inverse un gaz peu soluble et beaucoup plus léger... qui diffuse donc beaucoup plus vite, imposant ainsi une remontée plus lente (le gaz étant peu dissous il faut en évacuer l'excédant tout au long de la remontée).
Phase pendant laquelle toute vitesse excessive et toute ré-immersion restent interdites ! (L'He étant tellement léger qu'en cas de remontée rapide on risque de commencer l'accident dans l'eau, auquel cas la ré-immersion devient plus dangereuse que l'évacuation...)

Compte tenu de ces propriétés, il arrive un moment où la nature du gaz utilisé doit être considérée pour établir le protocole de désaturation ! D'où l'intérêt des Gradient Factors (GF) [3], cet outil d'utilisation simple mais au combien efficace qui va nous permettre de moduler à souhait notre profil de remontée, en y ajoutant si besoin des paliers profonds, ou encore en rallongeant la durée des derniers paliers !

La limite de l'outil étant, et vous l'aurez compris, qu'il impose de ne pas se tromper de réglages selon la nature du gaz que nous utilisons !

Et c'est donc là précisément que les échanges avec la COMEX prennent un tournant beaucoup plus concret !

Que sont les GF ?!



GF Bas : il va influer sur la profondeur du 1er palier
GF Haut : détermine la durée des paliers proches de la surface
GF Bas/Haut (pour un Bühlmann pur les GF sont 100/100)

Même si elle n'utilisait pas directement de GF, la COMEX a tout de même produit un certain nombre de tables, à partir desquelles nous avons pu établir des comparaisons ! (cf Annexe 1, 2 et 3)
Il en ressort que :

- pour une plongée à l'air ou au Nx, on peut utiliser un profil Bühlmann pur ou bien utiliser des GF 80/80 s'il s'agit d'une plongée engagée.
- En plongée Tx Normoxique (E ≤ 30, gaz à dominante N₂) le GF idéal semble être un 50/80.
- En plongée Tx Hypoxique (E ≥ 30, gaz à dominante He), il vaut mieux utiliser un GF 20/70.

Gradient Factors (GF)

	Principal	Réchappe
AIR ou Nx	80/80	100/100
Tx Azote	50/80	80/80
Tx Hélium	20/70	30/80

Tableau 3 : quel GF pour quel gaz ?
(cf Annexes 1, 2 et 3)

Toujours en se basant sur la notion d'engagement, il apparaît que les exigences ne sont absolument pas les mêmes selon le type de plongée que nous pratiquons. Aussi de même que l'ascension de l'Everest demande un certain entraînement et un équipement bien fourni, la plongée TEK requiert elle aussi un minimum de préparation ! Ce qui n'enlève rien aux plongeurs loisirs qui préfèrent pratiquer l'activité de façon moins assidu, voir occasionnel... Et qui laisse également une place aux plongeurs sportifs qui ont envie de pousser un peu plus loin leurs explorations ! (*cf Tableaux 1, 2 et 4*). [1] et [2]

plongée LOISIR			
Azote		Risque ADD moyen	
Phydro*√t	Plongées	T. Déco	
12	15 m / 65 min	3 min (air)	0,01% (1/10 000)
	20 m / 35 min		
	30 m / 15 min		
	40 m / 10 min		
15	20 m / 55 min	10 min (air)	0,03% (1/3000)
	30 m / 25 min		
	40 m / 15 min		
	50 m / 10 min		

Tableau 4 : la plongée LOISIR [2]

Reste alors à savoir quels contraintes nous sommes prêts à supporter, et donc quel entraînement suivre selon nos objectifs ! La clé de la réussite étant bien entendu de développer un maximum d'automatismes, de toujours prendre la peine d'éprouver la moindre technique, de répéter au maximum même les gestes les plus élémentaires (comme larguer un parachute à l'aide d'un dévidoir), et tout cela en évitant tout engagement tant que les procédures ne sont pas maîtrisées ! (Toute préparation débutera donc dans la zone des 10 m pendant des heures si nécessaire, et toute procédure de remontée sera d'abord testée sans palier, quitte à ne faire qu'un *touch and go*). [4]

Cf TOTAL LEVEL CONFORT (www.tek-diving.fr/total-level-comfort-formation-plongee-tek)

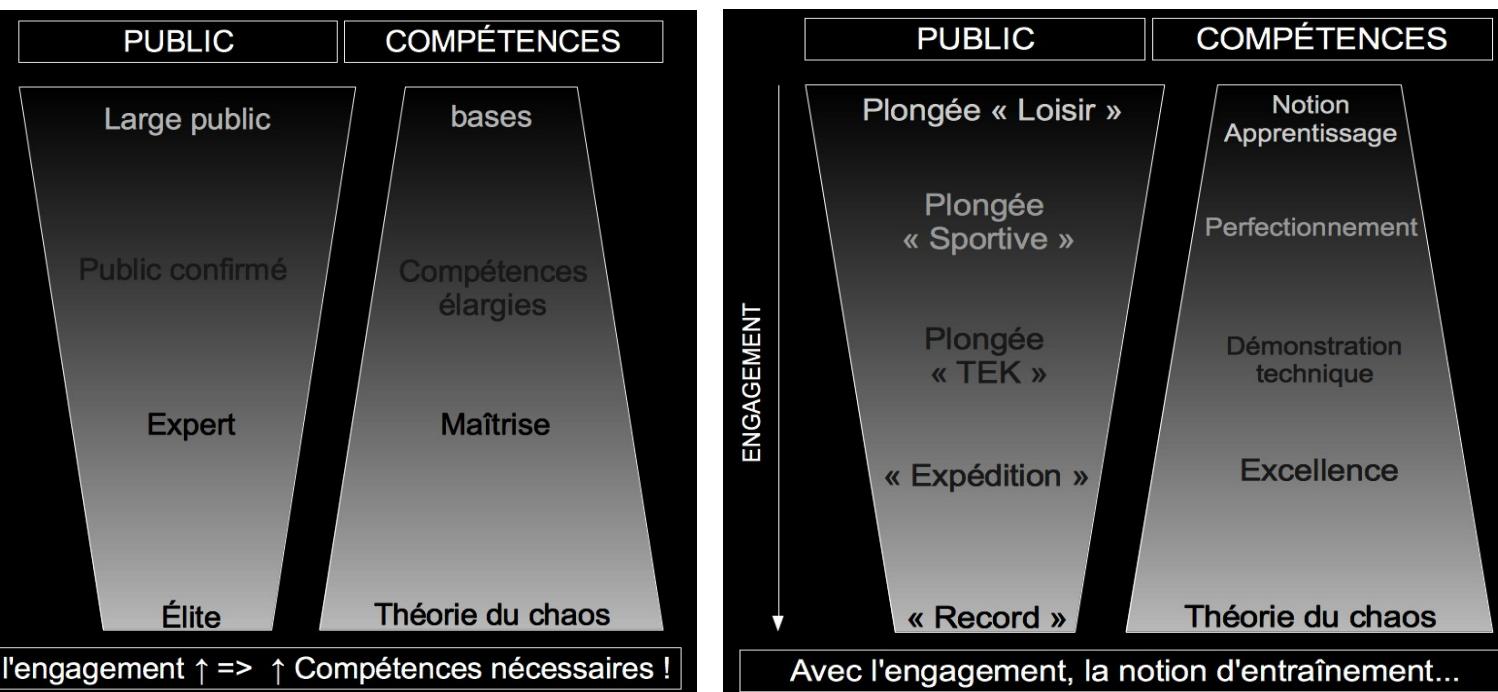


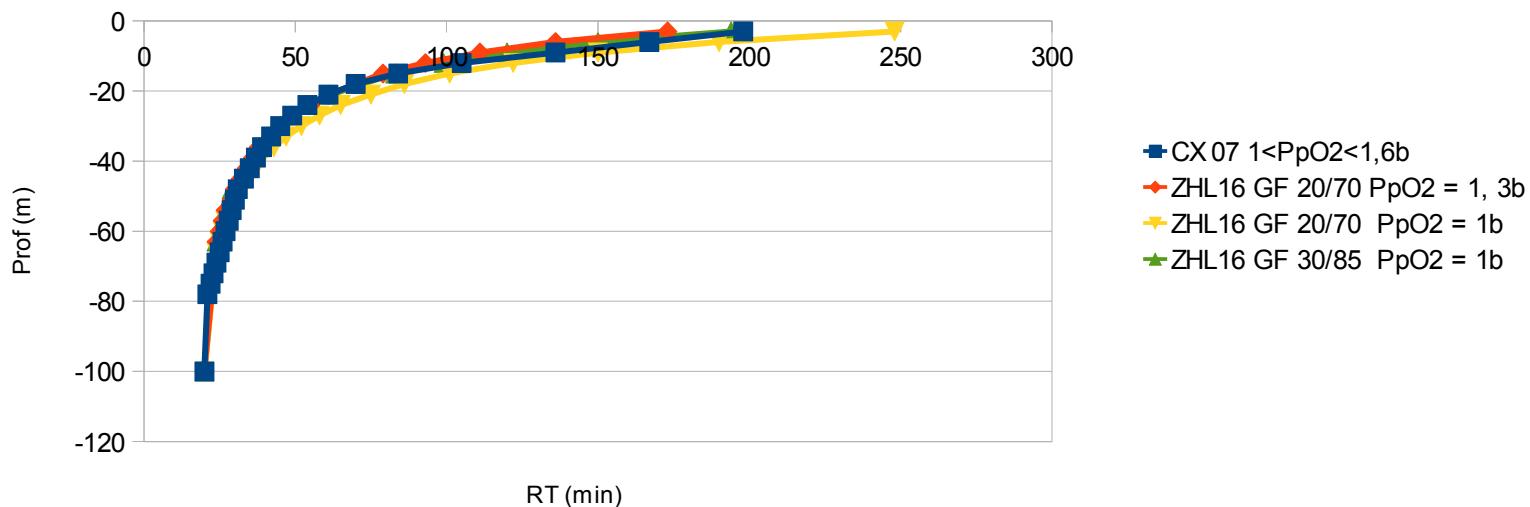
Figure 1 : Pyramides inversées [4]

Aucunes de ces données, ni aucun de ces protocoles n'ayant jamais été validés, il va de soi que personne ne saurait en garantir la validité... tant que des études plus poussées sur le sujet n'auront pas été menées...

Par contre, peut-être est-ce là le rôle des fédérations et des divers organismes de formations, que de collaborer avec les personnes travaillant sur le sujet afin d'améliorer les protocoles existant... Et peut-être ainsi de finir par permettre à la plongée TEK de sortir de l'obscurantisme dans laquelle elle se noie ?!

ANNEXE 1
Détermination des GF sur une plongée de 20' à 100m

Détermination des GFs à -100m



Il apparaît sur cette courbe qu'un profil utilisant un GF 30/85 pour une PpO_2 de 1b colle quasiment avec le profil de la table CX 07, prévue pour une PpO_2 comprise entre 1 et 1,6b (donc valable pour une PpO_2 = 1b).

De plus il est tout aussi clair qu'un GF 20/70 à une PpO_2 de 1b est plus conservateur (environ 50' de désaturation supplémentaires). Cependant la PpO_2 utilisée en plongée CCR étant plutôt proche des 1,3b, on pourra alors prendre sans crainte un GF 20/70 comme norme sur des plongées Tx He, lorsque $E \leq 45$, tout en gardant un GF 30/80 pour le profil de réchappe !

CX 07, 1<PpO2<1,6b : table établie par la COMEX, et non validée à ce jour.

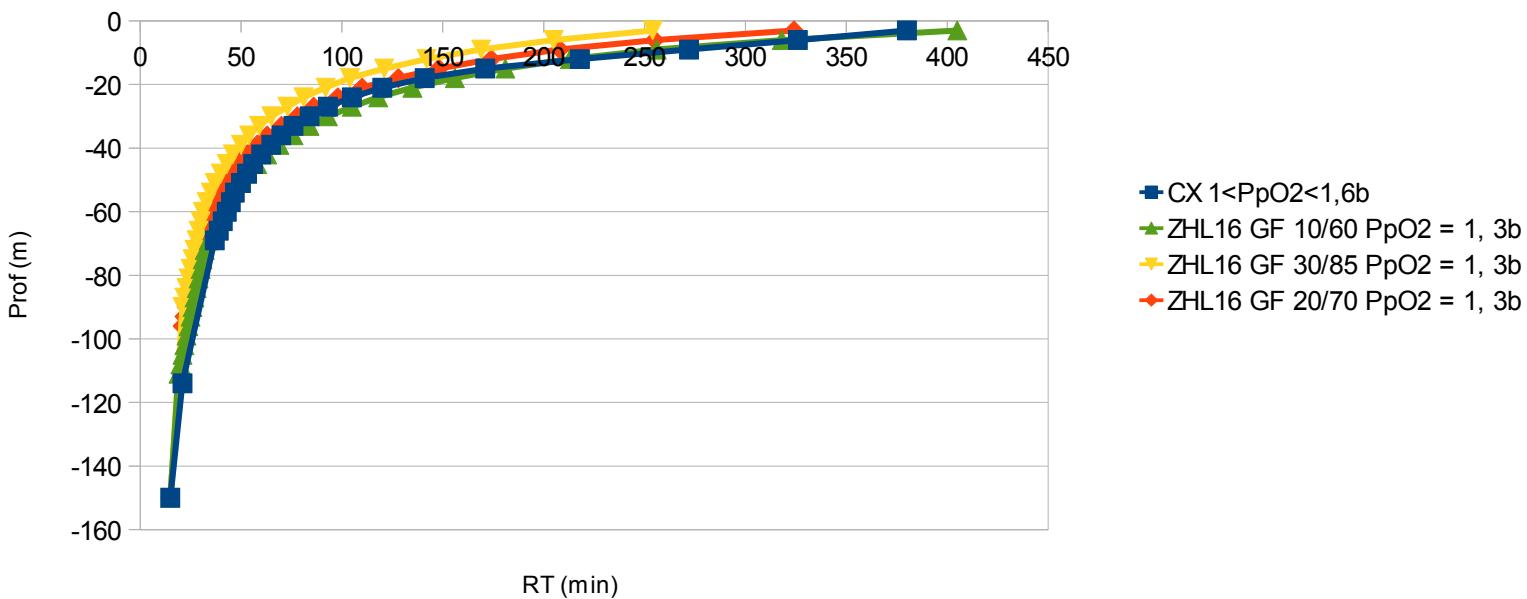
ZHL16 C GF 20/70, PpO2 = 1,3b : profil établit sur iDeco Pro(non validé à ce jour).

ZHL16 C GF 20/70, PpO2 = 1b : profil établit sur iDeco Pro(non validé à ce jour).

ZHL16 C GF 30/85, PpO2 = 1b : profil établit sur iDeco Pro(non validé à ce jour).

ANNEXE 2
Détermination des GF sur une plongée de 15' à 149m

Détermination des GFs à -150m



Cette courbe-ci montre clairement que pour un tel engagement ($E > 45$), il vaut mieux privilégier un GF proche de 10/60, tout en gardant éventuellement une réchappe en 20/70. (Là encore le profil COMEX est valable pour une $PpO_2 \geq 1b$, la grande différence étant ici le CNS Clock qui est largement dépassé si l'on choisit de rester sur une $PpO_2 = 1,3b$).

CX, $PpO_2 = 1b$ ($1 < PpO_2 < 1,6b$) : table établie par la COMEX, et non validée à ce jour.

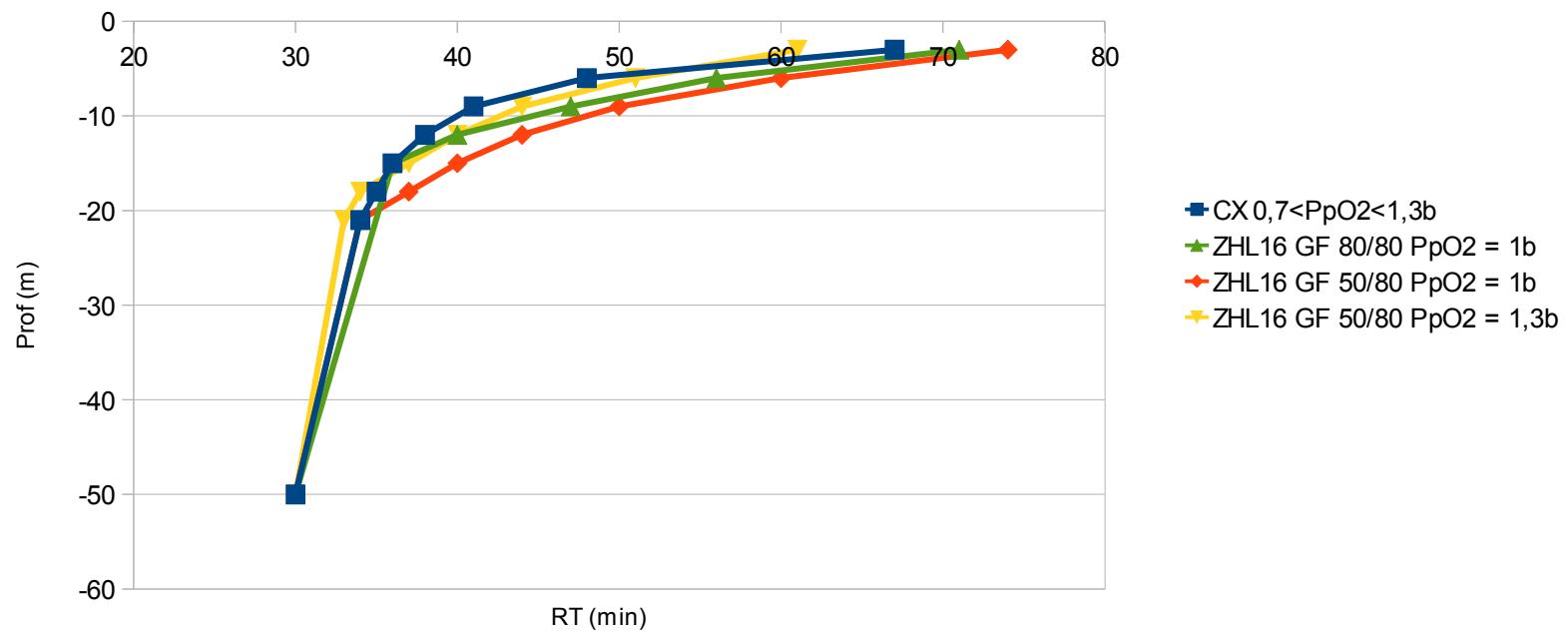
ZHL16 C GF 10/60, $PpO_2 = 1,3b$: profil établit sur iDeco Pro (non validé à ce jour).

ZHL16 C GF 30/85, $PpO_2 = 1,3b$: profil établit sur iDeco Pro (non validé à ce jour).

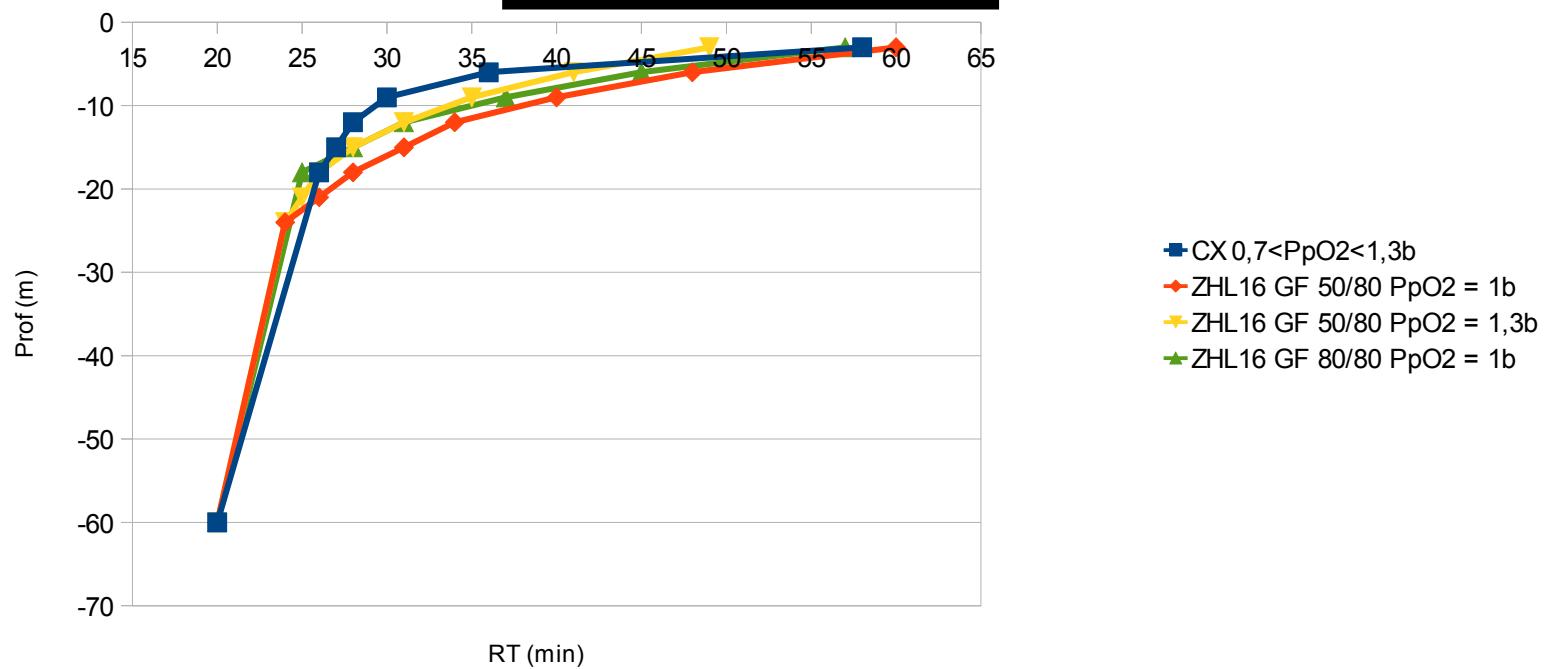
ZHL16 C GF 20/70, $PpO_2 = 1,3b$: profil établit sur iDeco Pro (non validé à ce jour).

ANNEXE 3
Détermination des GF pour un Trimix Azote (de 50 à 70 m)

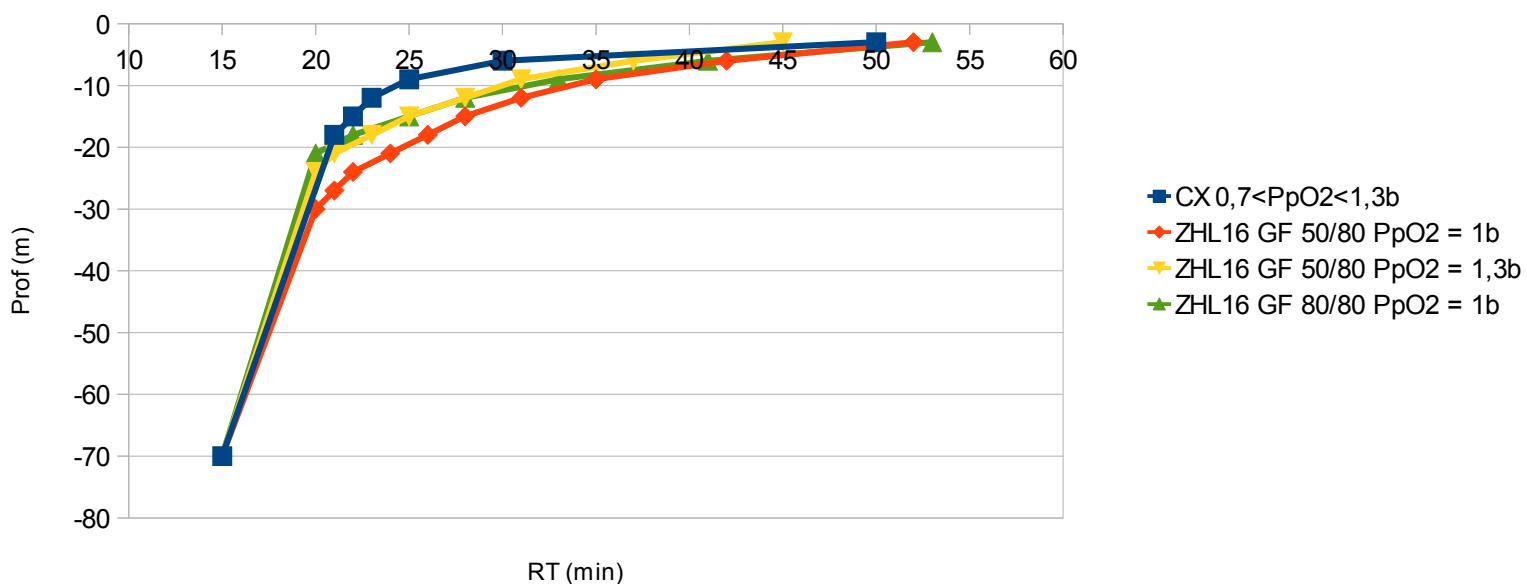
Détermination des GFs à -50 m



Détermination des GFs à -60 m



Détermination des GFs à -70 m



Il semblerait ici que :

- un GF bas de 50 permette d'avoir une profondeur de premier palier proche des tables COMEX, lorsque le temps fond a été important (30' à 50m).
- un GF haut de 80 permette de sortir dans un temps similaire à celui prévu par les tables.
- un GF 80/80 permette globalement de coller à la table pour une PpO2 de 1b, ce qui le rend parfaitement utilisable en réchappe.

CX, $0,7 \leq PpO2 \leq 1,3b$: table établie par la COMEX, et non validée à ce jour.

ZHL16 C GF 50/80, $PpO2 = 1,3b$: profil établit sur iDeco Pro (non validé à ce jour).

ZHL16 C GF 50/80, $PpO2 = 1b$: profil établit sur iDeco Pro (non validé à ce jour).

ZHL16 C GF 80/80, $PpO2 = 1b$: profil établit sur iDeco Pro (non validé à ce jour).

ANNEXE 4
Standards CCR : Gaz et Conservatismes [1], [2] et [5]

Profondeur (m)	Temps (min)	$E = \sqrt{Tps \times profondeur}$	Risks ADD ACCEPTABLES (%)	Diluant	Bail out	GF	GF	Vitesse de remontée (m/min)	Ppo2 (b)	
						Conservatisme Principal	Conservatisme Réchappe			
120	15	465	2,18	6/72	12/65 + 30/40 + 50/20 + 75 %	15/65	30/70	6 à 8	1,3 ou 1,2 1,4 en déco	
110	17	454	1,79							
100	20	447	1,60			20/70	30/80	8		
90	21	412	0,84							
80	23	384	0,47							
70	25	350	0,23							
60	35	355	0,25	15/30	20/30 + 75% ou 20/30 + 50% + 75%	50/80	80/80	10	1,3 1,4 en déco	
50	40	316	0,10							
40	45	268	0,03	21%	30%	80/80	99/99	10	1,3 1,4 en déco	

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] B. Gardette et M. Plutarque. 2012. *COMEX, 50 ans de recherche et d'innovations*.
- [2] B. Gardette. 2009. *Théorie générale unifiée de la décompression*.
- [3] E. C. Baker. *Clearing up the confusion about « deep stops »*.
- [4] J. Gallien. www.tek-diving.fr/
- [5] M Schuller. *Dossiers CCR Tx IANTD France* (schuller.manuel@cc-3frontieres.fr).