



# Théorie PA-40

Cours n°2

Planification, Multideco, tables

ESSOUFLEMENT

# Planification



- Prévoir et décider du profil et des procédures de la plongée en prenant en compte les directives du Directeur de Plongée (DP) et le contexte environnemental, matériel et humain (co-équipiers)
  - Paramètres de plongée
  - Orientation
  - Procédures de sécurité



# Planification

- Les paramètres de votre plongée (Durée totale, temps fond, DTR, profondeur, paliers...) sont des éléments essentiels à votre planification.
- Pour les déterminer, il faut intégrer tous les facteurs limitants. Le premier d'entre eux est évidemment votre autonomie en gaz ; connaître sa consommation en air à la surface (exprimé en l/mn) est essentiel, savoir calculer sa consommation totale de gaz durant votre plongée également.
- Les autres facteurs limitants sont donnés par le briefing du DP :
  - Profondeur max
  - DTR Max
  - Temps fond Max
  - Consignes sur la consommation (ex : 100 bar on remonte, 50 bar sur le bateau...).
  - Temps total Max
- Parfois vous aurez un seul de ces paramètres, parfois tous, à vous de vous adapter et de déterminer les facteurs manquants.



# Planification

## Rappel des formules pour calculer votre consommation en gaz.

- Consommation à profondeur constante :
  - Consommation à la surface (en litres/minute) x Pression absolue (en bar) x Temps en minute
    - Exemple : à 35m, pour une consommation de 20l/mn à la surface, pendant 18 minutes :
    - $20 \text{ (l/mn)} \times 4,5 \text{ (Pabs 35m)} \times 18 \text{ (minutes)} = 1620 \text{ litres}$
    - Exemple : 6 minutes de palier à 3 m :
    - $20 \text{ (l/mn)} \times 1,3 \text{ (Pabs 3m)} \times 6 \text{ (minutes)} = 156 \text{ litres}$
  - Consommation pour la remontée (on considère la remontée totale, du fond à la surface):
    - Consommation à la surface (en litres/minute) x Pression moyenne (en bar) x Temps en minute  
Soit
    - $\text{Consommation} \times [(\text{PressionMax}+1)/2] \times [\text{ProfondeurMax}/10(\text{vitesse de remontée } 10\text{m/mn})]$ 
      - Exemple : de 35m à la surface :
      - $20 \text{ (l/mn)} \times [(4,5(\text{Pabs } 35\text{m})+1)/2] \times [35/10] =$
      - $20 \times 2,75 \times 3,5 = 192,5 \text{ litres}$
    - La pression moyenne peut aussi se calculer par  $[(35 \text{ (profondeur max)}/2)/10]+1$

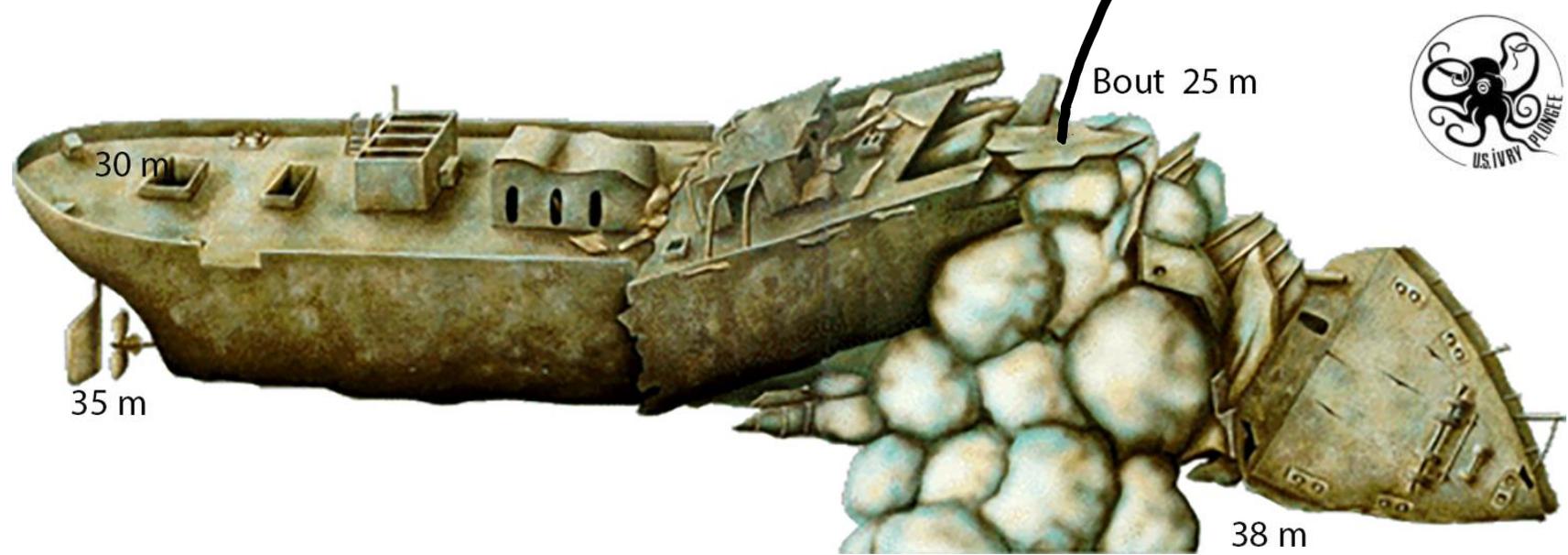
# Planification

L'Arroyo

Epave entre 25 et 38 m

Visibilité correcte

Température de l'eau 16°C



## Brief du DP :

- Se regrouper à la bouée
- Descente le long du bout jusqu'à l'épave
- Descendre sur le sable à bâbord et rejoindre l'hélice
- Remonter sur le pont
- Promenade sur le pont jusqu'au bout
- Remonter le long du bout
- Paliers
- Sortie à la bouée
- Temps fond : max 20 minutes
- DTR max : 10 minutes
- Remonter sur le bateau avec 50 bar

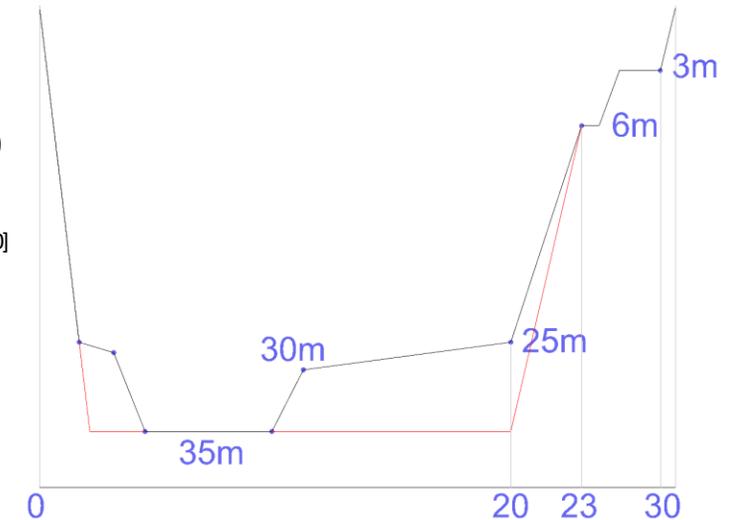
## Planification Multidéco

MultiDeco - Plan de plongée						
	Prof.	Stop	Run	Mél.	pO2	PEA
↓	35	-	1	21	-	-
↔	35	18	20	21	0,92	35
↗	6	-	23	21	-	-
⊖	6	0:47	24	21	0,33	6
⊖	3	6:00	30	21	0,27	3
🏠	-	-	30	21	-	-
Prof.	Stop	Run	Mél.	pO2	PEA	
Rapport	Plongée suivante					

## Vérification de la Consommation

- Sur une base de 20 litres/minute à la surface.
- 20 minutes à 35 m :
  - $20 \text{ (l/mn)} \times 4,5 \text{ (Pabs)} \times 20 \text{ (minutes)} = 1800 \text{ litres}$
- 3 minutes 30 de remontée :
  - $[(\text{PressionMax}+1)/2] \times [\text{ProfondeurMax}/10] \times \text{Consommation} = (5,5/2) \times (35/10) \times 20 = 2,75 \times 3,5 \times 20 = 192,5 \text{ l}$
- 1 minute de palier à 6m
  - $20 \times 1,6 \times 1 = 32 \text{ l}$
- 6 minutes de palier à 3m :
  - $20 \times 1,3 \times 6 = 156 \text{ l}$
- Total ~2180 litres
- Sur un bloc de 15 litres nous avons 2250 litres de disponible pour 150 bar (15 l x 150 bar)
- Nous avons assez d'air

## Profil de la plongée





# Planification – L'arroyo - Tables MN90

Prof.	Durée	6m	3m	DTR	GPS
25m	5 min			2	B
	10 min			2	C
	15 min			2	D
	20 min			2	E
	25 min		1	3	F
	30 min		2	4	H
	35 min		5	7	I
	40 min		10	12	J
	45 min		16	18	J
	50 min		21	23	K
	55 min		27	29	L
	60 min		32	34	L
	1h 05		37	39	M
	1 h 10	1	41	45	M
	1 h 15	4	43	50	N
1 h 20	7	45	55	N	
1 h 25	9	48	60	O	
1h 30	11	50	64	O	
28m	5 min			2	B
	10 min			2	D
	15 min			2	E
	20 min		1	4	F
	25 min		2	5	G
	30 min		6	9	H
	35 min		12	15	I
	40 min		19	22	J
	45 min		25	28	K
	50 min		32	35	L
	55 min	2	36	41	M
	60 min	4	40	47	M
	1 h 05	8	43	54	N
	1h 10	11	46	60	N
	1h 15	14	48	65	O
1h 20	17	50	70	O	
1h 25	20	53	76	O	
1h 30	23	56	82	P	
30m	5 min			2	B
	10 min			2	D
	15 min		1	4	E
	20 min		2	5	F
	25 min		4	7	H
	30 min		9	12	I
	35 min		17	20	J
	40 min		24	27	K
	45 min	1	31	35	L
	50 min	3	36	42	M
	55 min	6	39	48	M
	60 min	10	43	56	N
	1h 05	14	46	63	N
	1h 10	17	48	68	O
	32m	5 min			3
10 min				3	D
15 min			1	4	E

Prof.	Durée	9m	6m	3m	DTR	GPS	
32m	20 min			3	6	G	
	25 min			6	9	H	
	30 min			14	17	I	
	35 min			22	25	K	
	40 min		1	29	33	K	
	45 min		4	34	41	L	
	50 min		7	39	49	M	
	55 min		11	43	57	N	
	60 min		15	46	64	N	
	1h 05		19	48	70	O	
	1h 10		23	50	76	O	
	35m	5 min				3	C
		10 min				3	D
		15 min			2	5	F
		20 min			5	8	H
25 min				11	14	I	
30 min			1	20	24	J	
35 min			2	27	32	K	
40 min			5	34	42	L	
45 min			9	39	51	M	
50 min			14	43	60	N	
55 min			18	47	68	N	
60 min			22	50	75	O	
1 h 05		2	26	52	84	*	
1 h 10		4	28	57	93	*	
38m		5 min				3	C
	10 min			1	4	E	
	15 min			4	7	F	
	20 min			8	11	H	
	25 min		1	16	21	J	
	30 min		3	24	31	K	
	35 min		5	33	42	L	
	40 min		10	38	52	M	
	45 min		15	43	62	N	
	50 min		20	47	71	N	
	55 min	2	23	50	79	O	
	60 min	5	27	53	89	P	
	1 h 05	8	29	58	99	*	
	1 h 10	11	31	62	108	*	
	40m	5 min				3	C
10 min				2	5	E	
15 min				4	7	G	
20 min			1	9	14	H	
25 min			2	19	25	J	
30 min			4	28	36	K	
35 min			8	35	47	L	
40 min			13	40	57	M	
45 min		1	18	45	68	N	
50 min		2	23	48	77	O	
55 min		5	26	52	87	O	
60 min		8	29	57	98	P	
1 h 05		12	31	61	108	*	
1 h 10		15	33	66	118	*	

- Profondeur max 35m, temps fond 20 minutes

35m	5 min				3	C
	10 min				3	D
	15 min				5	F
	20 min			5	8	H
	25 min			11	14	I
	30 min		1	20	24	J
	35 min		2	27	32	K
	40 min		5	34	42	L
	45 min		9	39	51	M
	50 min		14	43	60	N
	55 min		18	47	68	N
	60 min		22	50	75	O
	1 h 05	2	26	52	84	*
	1 h 10	4	28	57	93	*

- Palier à 3m : 5 minutes
- DTR : 8 minutes

# Planification – Présentation Multideco

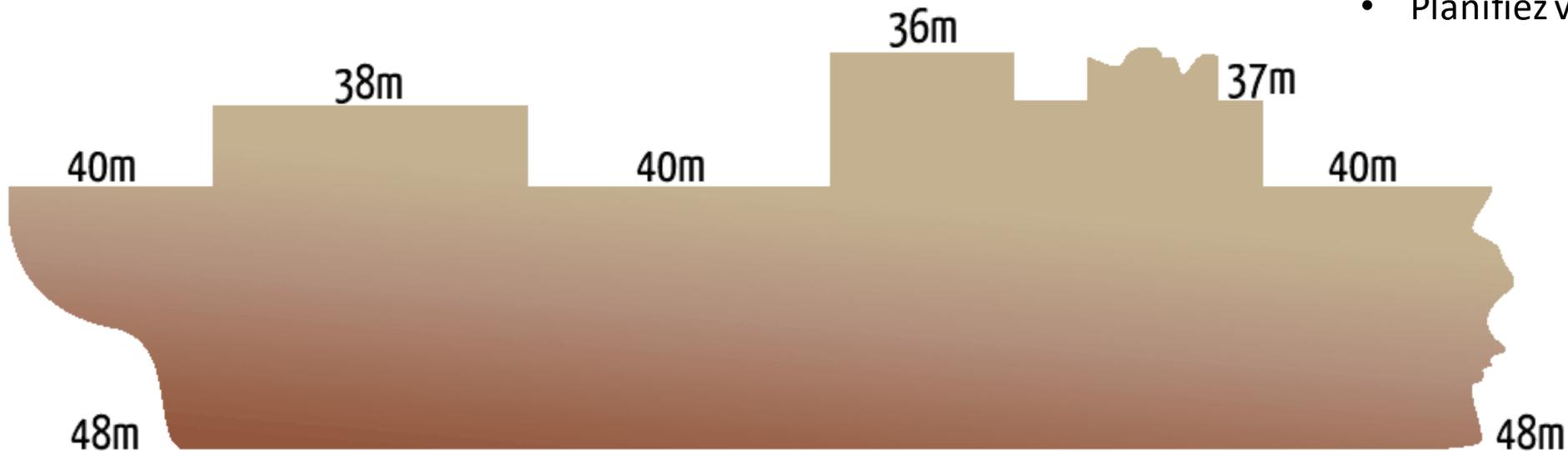


# Planification – Le Grec - Tables MN90 et Multideco



## Brief du DP :

- Le bout arrive au niveau de la cheminée
- Temps fond max : 30 minutes
- DTR max : 20 minutes
- Retour sur le bateau avec minimum 50 bar
  
- Planifiez votre plongée !!



# Planification – Le Grec - Tables MN90



En l'absence d'indication de consommation du DP, il faut essayer plusieurs scénarios

À 100 bar on remonte

1. On calcule notre autonomie ! Exemple pour une conso de 20l/minute

- Bloc de 15 l : 15 l (taille du bloc) x 200 bar = 3000 litres
- À 100 bar on remonte, donc 1500 litres disponibles
- Pabs à 40 m, 5 bar, conso à 40 m = 20 x 5 = 100 litres/minutes
- Autonomie = 1500 (litres) / 100 (litres/minutes) = 15 minutes.

2. On vérifie sur les tables

40m	5 min			3	C
	10 min		2	5	F
	15 min		4	7	G
	20 min	1	9	14	H

3. 7' de DTR

on calcule la consommation :

- De 40m à la surface = Consommation x  $[(PressionMax+1)/2] \times [ProfondeurMax/10] = 20 \times (6/2) \times (40/10) = 20 \times 3 \times 4 = 240$  l
- 4 minutes à 3 m, 20 x 1,3 x 4 = 104 litres
- Total = 240 + 104 = 344 litres soit ~23 bar

4. Il nous reste les 50 bar de sécurité, tout va bien

A 90 bar on remonte

1. On calcule notre autonomie ! Exemple pour une conso de 20l/minute

- Bloc de 15 l : 15 l (taille du bloc) x 200 bar = 3000 litres
- À 90 bar on remonte, donc 1650 litres disponibles
- Pabs à 40 m, 5 bar, conso à 40 m = 20 x 5 = 100 litres/minutes
- Autonomie = 1650 (litres) / 100 (litres/minutes) = 16,5 minutes.

2. On vérifie sur les tables

40m	5 min			3	C
	10 min		2	5	E
	15 min		4	7	G
	20 min	1	9	14	H

3. 14' de DTR

on calcule la consommation :

- De 40m à la surface = Consommation x  $[(PressionMax+1)/2] \times [ProfondeurMax/10] = 20 \times (6/2) \times (40/10) = 20 \times 3 \times 4 = 240$  l
- 1 minutes à 6 m, 20 x 1,6 x 1 = 32 litres
- 9 minutes à 3 m, 20 x 1,3 x 9 = 234 litres
- Total = 240 + 32 + 234 = 506 litres soit ~34 bar

4. Il nous reste les 50 bar de sécurité, tout va bien

Le scénario où l'on remonte à 90 bars respecte toutes les consignes, il ne nous reste plus qu'à :

- se mettre d'accord sur un parcours
- Imaginer et résoudre différents scénarios (courant, mauvaise visibilité, thermocline...).
- Se rappeler les signes et les procédures de sécurité adaptés à cette plongée



# Planification – Le Grec - Multideco

1. On planifie une plongée à 40 m (peu importe le temps)
2. On renseigne correctement sa consommation (en intégrant une marge de manœuvre, si vous consommez 15l/minute, renseignez 20 l/minute)
3. On choisit « temps max » et on renseigne sa bouteille :
4. Il nous trouve un temps fond max de 19 minutes
5. On règle la planification avec un temps de 18 minutes et on lance le calcul, résultat 31 minutes de temps total, 13 minutes de DTR
6. On se met d'accord sur un parcours
7. On imagine et on résout différents scénarios (courant, mauvaise visibilité, thermocline...).
8. On se rappelle les signes et les procédures de sécurité adaptés à cette plongée

**MultiDeco - Plan de plongée**

	Prof.	Stop	Run	Mél.	pO2	PEA
↓	40	-	1	21	-	-
↔	40	17	19	21	1,02	40
↗	9	-	22	21	-	-
⊖	9	0:33	23	21	0,39	9
⊖	6	3:00	26	21	0,33	6
⊖	3	7:00	33	21	0,27	3
🏠	-	-	33	21	-	-

Crée un plan en utilisant les volumes de gaz déco et de sauvetage disponibles maximum.

**Calculer**

**MultiDeco - Plan de plongée**

	Prof.	Stop	Run	Mél.	pO2	PEA
↓	40	-	1	21	-	-
↔	40	17	19	21	1,02	40
↗	9	-	22	21	-	-
⊖	9	0:33	23	21	0,39	9
⊖	6	3:00	26	21	0,33	6
⊖	3	7:00	33	21	0,27	3
🏠	-	-	33	21	-	-

Ce plan de plongée de temps maximum a été raccourci pour s'adapter aux limites d'approvisionnement en gaz.

Rapport Plongée suivante 📄 ✉️ ?

**MultiDeco - Plan de plongée**

	Prof.	Stop	Run	Mél.	pO2	PEA
↓	40	-	1	21	-	-
↔	40	16	18	21	1,02	40
↗	6	-	21	21	-	-
⊖	6	2:13	24	21	0,33	6
⊖	3	7:00	31	21	0,27	3
🏠	-	-	31	21	-	-

Rapport Plongée suivante 📄 ✉️ ?



# Le Grec – Déroulement de la plongée

- Vous descendez le long du bout
- Arriver à ~36 mètres, vous décidez de lâcher le bout pour rejoindre l'épave
- Il y a un courant important contre vous et vous forcez votre palmage pour rejoindre l'épave
- Une fois arrivé sur l'épave vous vous retournez et ne voyez pas votre binôme, vous levez la tête et vous le voyez remonter rapidement à la surface.

**Que s'est-il passé ?**



# L'Essoufflement – Qu'est-ce que c'est ?

- L'essoufflement (ou hypercapnie) est dû à une élimination insuffisante du CO<sup>2</sup> par la ventilation
- Un essoufflement peut avoir de grave conséquence en plongée et provoquer ou aggraver d'autres accidents.
- **L'essoufflement et ses conséquences sont à l'origine de la plupart des accidents en plongée profonde**



# L'Essoufflement – Mécanisme

## a) Ventilation et CO2

- La pression partielle de CO2 (PPCO2) dans l'air que nous expirons est de  $\sim 0,05$ , il est le résultat de notre métabolisme, nous transformons  $\sim 0,05$  de PPO2 inspiré en  $\sim 0,05$  PPCO2, cela ne varie pas avec la profondeur.
- En cas d'effort, nous consommons plus d'O2 et donc produisons plus de CO2, le corps va donc augmenter le rythme de la ventilation pour apporter plus d'O2 et éliminer le CO2.

## b) Ventilation en plongée

- $\uparrow$  espace mort (détendeur)  $\Rightarrow \uparrow$  fréquence ventilatoire
- Reflux central de la circulation sanguine (apesanteur en immersion)  $\Rightarrow \uparrow$  travail ventilatoire
- $\uparrow$  densité de l'air  $\Rightarrow \uparrow$  travail ventilatoire
- $\uparrow$  résistance inspiratoire et expiratoire  $\Rightarrow \uparrow$  travail ventilatoire (expiration active)
- $\downarrow$  VEMS (volume expiratoire maximal par seconde)  $\Rightarrow$  insuffisance respiratoire à l'effort
- $\uparrow$  stress, surtout chez les débutants  $\Rightarrow$  réflexe inspiratoire

La plongée provoque un effort supplémentaire à la ventilation

## c) Facteurs augmentant la production de CO2 :

- Efforts :
  - Propulsion
  - Sustentation
  - Ventilation (densité de l'air)
- Froid (air inspiré, eau froide)

## d) Facteurs diminuant l'élimination de CO2 :

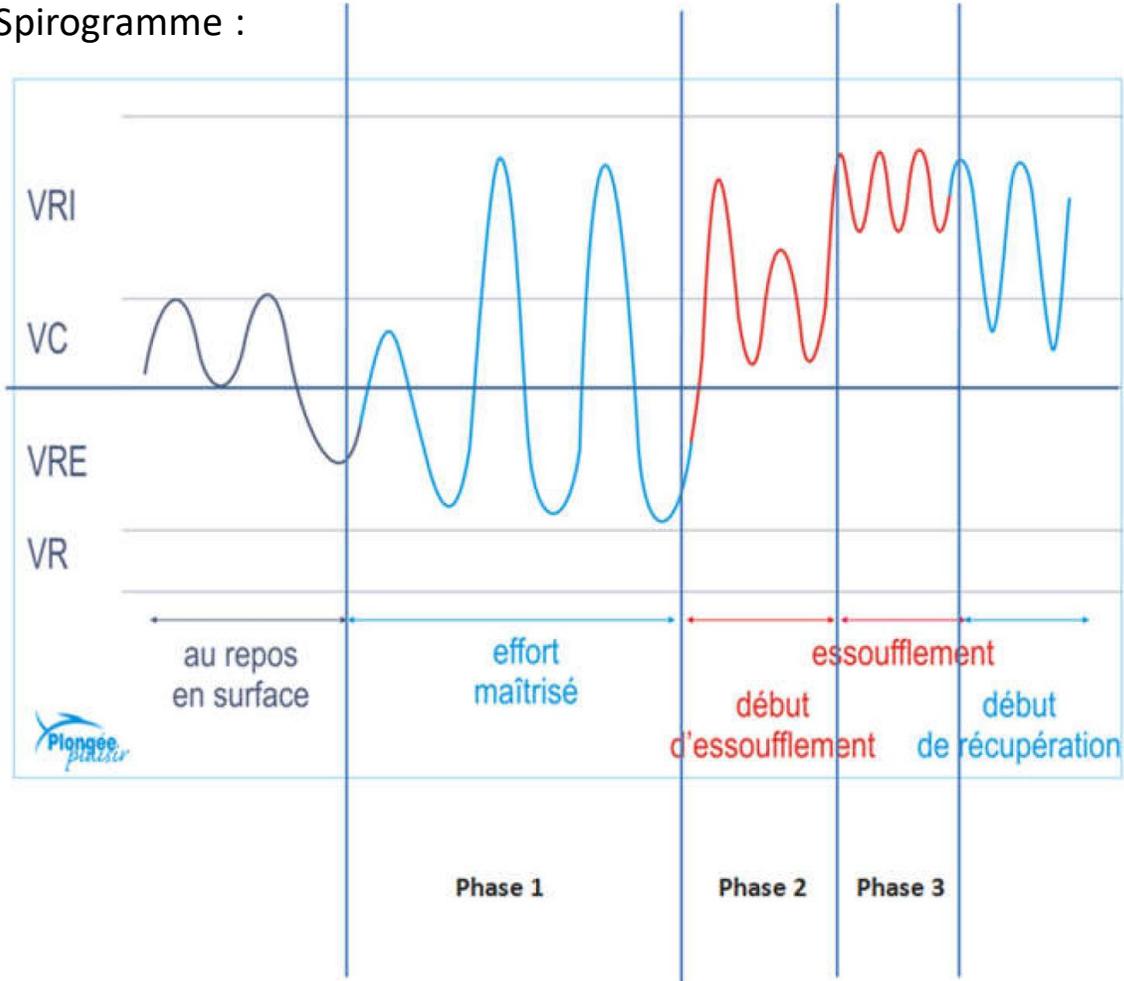
- Expiration active (moins efficace)
- Stress ( $\downarrow$  expiration,  $\uparrow$  fréquence,  $\downarrow$  amplitude)
- Pneumothorax, OAP

	à la surface			
	Inspiration		expiration	
	%	PP	%	PP
N2	78,08	0,78	78,08	0,78
O2	20,95	0,21	15,98	0,16
CO2	0,0330	0,0003	5,0000	0,0500
Total	99,06	0,99	99,06	0,99

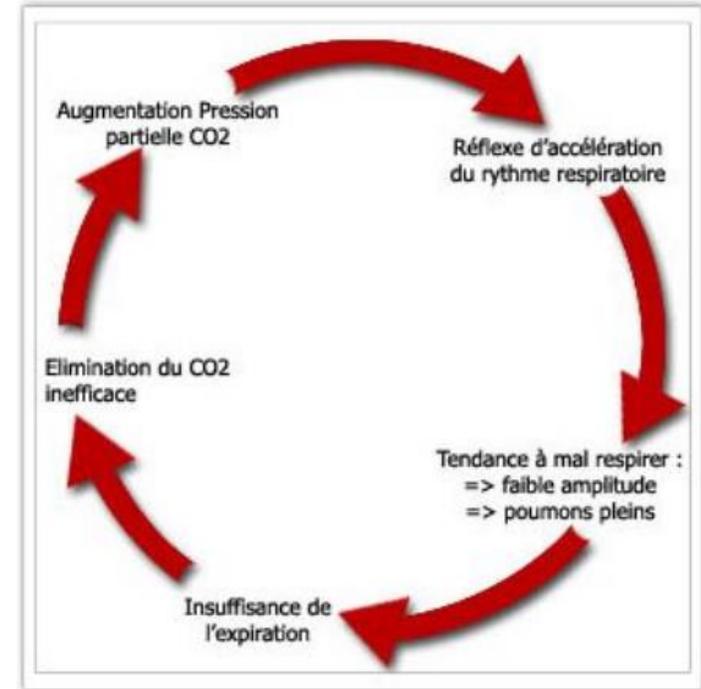
	à 40 m			
	Inspiration		expiration	
	%	PP	%	PP
N2	78,08	3,90	78,08	3,90
O2	20,95	1,05	19,95	1,00
CO2	0,0330	0,0017	1,0264	0,0513
Total	99,06	4,95	99,06	4,95

# L'Essoufflement – Mécanisme

Spirogramme :



Cercle vicieux :



Lorsque l'essoufflement se manifeste, la respiration devient plus forte, plus rapide, haletante et superficielle due à une intoxication au dioxyde de carbone ( $CO_2$ ). La respiration n'évacue pas la totalité des gaz contenus dans les poumons.



# L'Essoufflement – Symptômes

- Pour le plongeur :

- Ventilation difficile
- Augmentation du rythme respiratoire
- Maux de tête, bourdonnements
- Stress

À partir d'une PPCO<sub>2</sub> de 0,02 dans l'air inspiré : augmentation de l'amplitude ventilatoire

À partir d'une PPCO<sub>2</sub> de 0,04 dans l'air inspiré : augmentation de la fréquence ventilatoire

À partir d'une PPCO<sub>2</sub> de 0,10 dans l'air inspiré : trouble visuel, tremblements, sueurs

À partir d'une PPCO<sub>2</sub> de 0,12 dans l'air inspiré : le plongeur peut perdre connaissance

À partir d'une PPCO<sub>2</sub> de 0,25 dans l'air inspiré : le plongeur peut être en arrêt respiratoire

- Pour la palanquée :

- Présence importante de bulles
- Ventilation saccadée
- Agitation



# L'Essoufflement – Conduite à tenir

## Pour le plongeur essoufflé

- Arrêter tout effort
- Alerter
- Essayer de se calmer et insister sur l'expiration
- Diminuer la profondeur

## Pour le binôme

- Saisir, calmer et rassurer le plongeur
- Faire cesser tout effort
- Remonter le plongeur de quelques mètres
- Surveiller la consommation
- Fin de plongée – VOULOIR POURSUIVRE LA PLONGEE APRES ETRE REMONTE DE QUELQUES METRES EST ILLUSOIRE

# L'Essoufflement – Risques

- Hypercapnie => perte de connaissance => NOYADE
- Panique => Inondation des voies respiratoires => NOYADE
- Panique => Blocage de l'expiration => SPP
- Panique => remontée trop rapide => SPP/ADD
- Respiration superficielle => Désaturation insuffisante => ADD
- Surconsommation => panne d'air



# L'Essoufflement - Facteurs favorisants / Causes et prévention

Causes / Facteurs Favorisants	Prévention
Effort important	Maitriser ses efforts en surface comme en immersion. Eviter tout effort inutile, prendre le temps de récupérer, Utiliser son gilet (stabilisation, remontée)
Mauvaise Ventilation	Avoir un vêtement adapté, Entretien et réglage détendeur Se forcer à expirer pendant l'immersion
Froid	Consommation accrue d'O <sup>2</sup> pour se réchauffer Se protéger avant la plongée Avoir un équipement adapté (épaisseur, gants, ...) Boire chaud Réduire le temps de plongée
Accroissement de la viscosité de l'air	Avoir un détendeur adapté à la profondeur
Bouteille Mal ouverte	Contrôler avant immersion
Lestage inadapté, mauvais équilibrage	Ajuster, tenir compte d'un éventuel changement d'équipement, utiliser le gilet, mieux vaut faire son palier à 6 m si l'on est trop léger à 3 m que de labourer le fond en se déplaçant à 45°
Vêtement trop serré : Gêne la respiration	Avoir un vêtement correctement ajusté et d'épaisseur adaptée
Mauvaise condition physique : Fatigue, Stress, maladie, ...	Avoir conscience de son état et savoir renoncer à plonger