

**Hector Fenech**

Moniteur Associé

FFESSM N° 5

BSAC AI1477

Nitrox Instructor

CMAS Instructor\*\*\*\*



# Plongeur Nitrox Confirmé

## Cours Théoriques

### Hector Fenech

17062019.3

CCESMF

# Plongeur Nitrox Confirmé

- Conditions et Prérogatives
- Nitrox: C'est quoi?
- Nitrox: Lequel?
- Lois Physiques
- Nitrox: Pourquoi?
- Effets Physiologiques
- Nitrox: Quel Mélange?
- Nitrox: Matériel
- Nitrox: Production
- Nitrox: Procédures
- Conclusion

# Plongeur Nitrox

- **Conditions et Prérogatives**
- Nitrox: C'est quoi?
- Nitrox: Lequel?
- Lois Physiques
- Nitrox: Pourquoi?
- Effets Physiologiques
- Nitrox: Quel Mélange?
- Nitrox: Matériel
- Nitrox: Production
- Nitrox: Procédures
- Conclusion

# Conditions : Plongeur Nitrox

- Etre titulaire de la licence FFESSM en cours de validité.
- Etre âgé d'au moins 16 ans à la date de la délivrance.
- Etre titulaire du niveau 2 de la FFESSM ou d'un brevet admis en équivalence.
- Etre titulaire de la qualification de Plongeur Nitrox de la FFESSM ou d'une qualification admise en équivalence (qualification délivrée par l'un des organismes reconnus dans le Code du Sport).
- Présenter le carnet de plongée.
- Avoir effectué un minimum de 10 plongées à l'air dans la zone des 30 à 40 mètres attestées sur le carnet de plongée ou par mention sur le passeport ou par fiche justificative dûment remplie.
- Avoir effectué un minimum de 6 plongées Nitrox, dont 4 au moins pendant la formation, attestées par un Moniteur Nitrox FFESSM.
- Contrôle médical : se conformer aux préconisations exposées en fin de chapitre « généralités » du MFT

# Prérogatives : Plongeur Nitrox

- Les plongeurs titulaires de la qualification Plongeur Nitrox Confirmé pourront utiliser tous les mélanges Nitrox couramment utilisés ainsi que l'oxygène pur en décompression.
- Les Plongeurs Nitrox Confirmés ont les mêmes prérogatives que celles définies dans le Code du Sport, correspondantes à leur niveau de plongée.
  - Extraits du Code du Sport, Partie Réglementaire, Arrêtés modifié par arrêté du 6 avril 2012

# Code du Sport

- Paragraphe 4 : Dispositions particulières au Nitrox
  - Art. A. 322-95. La pratique de la plongée aux mélanges Nitrox est soumise à la justification d'aptitudes Nitrox pour les plongeurs et la personne encadrant la palanquée conformément au tableau figurant à l'annexe III-17a. Les conditions de pratique de la plongée aux mélanges Nitrox sont précisées par les annexes III-17b et III-17c.

# Code du Sport

## ANNEXE III-17a

Aptitudes des pratiquants à utiliser du nitrox (Article A. 322-91).

APTITUDES à plonger au nitrox	LE PRATIQUANT DOIT JUSTIFIER DES APTITUDES suivantes auprès du directeur de plongée
<p><b>PN</b> Aptitudes à évoluer en palanquée au nitrox dont la teneur en oxygène n'excède pas 40%.</p>	<p>Pour évoluer en palanquée encadrée ou autonome: maîtrise des aptitudes à l'air correspondant à l'espace d'évolution concerné. Maîtrise de la gestion et de l'utilisation de son matériel nitrox, de l'analyse du mélange dont la teneur en oxygène n'excède pas 40% et du renseignement de la fiche d'identification de la bouteille. Maîtrise du maintien de son équilibre et de la gestion de son profil par rapport à la profondeur «plancher» de son mélange. Maîtrise des moyens de décompression (table ou ordinateur nitrox). <del>Connaissance des risques hyperoxiques liés à l'utilisation du nitrox</del></p>
<p><b>PN-C</b> (plongeur au nitrox confirmé) Aptitudes à évoluer en palanquée au nitrox et d'effectuer la décompression à l'oxygène pur.</p>	<p>Pour évoluer en palanquée encadrée ou autonome : maîtrise des aptitudes à l'air correspondant à l'espace d'évolution concerné. Maîtrise des aptitudes <b>PN</b>. Maîtrise de l'utilisation et du choix du matériel avec plusieurs mélanges au nitrox au fond et en décompression et à l'utilisation de l'oxygène pur. Maîtrise de l'équilibre et de la stabilisation à la profondeur des paliers lors des changements de mélanges. Connaissances des principes de la fabrication des mélanges.</p>

# Code du Sport

## ANNEXE III-15a

Qualification minimale du directeur de plongée en milieu naturel (Article A. 322-72)

FONCTIONS	BREVETS DELIVRES par la FFESSM, la FSGT, l'UCPA, l'ANMP et le SNMP	BREVETS DELIVRES PAR LA CMAS	DIPLOMES D'ETAT
<b>Plongées à l'air ou au nitrox en exploration</b>			
Directeur de plongée	Directeur de plongée en exploration - DPE (*) Plongeur de niveau 5 (P5) (*)		
<b>Plongées à l'air ou au nitrox en enseignement ou en exploration Plongée au trimix ou à l'héliox en enseignement jusqu'à 40 mètres Plongée au trimix ou à l'héliox en exploration jusqu'à 70 mètres</b>			
Directeur de plongée	MF1 FFESSM ou FSGT(*)	Moniteur 2 étoiles	BEES 1 plongée DEJEPS plongée DESJEPS plongée
<b>Plongée au trimix ou à l'héliox en enseignement au-delà de 40 mètres. Plongée au trimix ou à l'héliox en exploration au-delà de 70 mètres.</b>			
Directeur de plongée	MF2 FFESSM ou FSGT(*)		BEES 2 plongée DEJEPS plongée DESJEPS plongée
<p>(*) Tous ces brevets doivent justifier que leurs titulaires ont démontré un niveau technique au moins équivalent à celui des brevets de même niveau de la Fédération délégataire, la FFESSM, et qu'ils ont été délivrés dans des conditions similaires.</p> <p>Pour la plongée aux mélanges, le directeur de plongée doit également justifier des aptitudes PN-C ou PTH-120 correspondant aux mélanges utilisés conformément aux annexes III-17a et III-18a.</p>			

# Code du Sport

## ANNEXE III-17b

Conditions d'évolution en enseignement en plongée au nitrox en milieu naturel (Article A. 322-91).

<b>ESPACES D'ÉVOLUTION</b>	<b>APTITUDES MINIMALES DES PLONGEURS</b>	<b>COMPÉTENCE MINIMALE de la personne encadrant la palanquée</b>	<b>Effectif maximal de la palanquée (personne encadrant la palanquée non comprise)</b>
Espace de 0 à 6 mètres	Baptême	E-2 + PN-C	1 (*)
	Débutants	E-2 + PN-C	4 (*)
Espace de 0 à 12 mètres	PE-12 en cours de formation vers les aptitudes PN	E-2 + PN-C	4 (*)
Espace de 0 à 20 mètres	PE-20 en cours de formation vers les aptitudes PN	E-2 + PN-C	4 (*)
Espace de 0 à 40 mètres	PE-40+ PN	E-3 + PN-C	4 (*)
Espace au-delà de 40 mètres et dans la limite de 60 mètres	PE-60 + PN	E-4 + PN-C	4

(\*) Possibilité d'ajouter dans la palanquée un plongeur supplémentaire, au minimum titulaire d'une qualification de Guide de Palanquée (GP) ou de plongeur Niveau 4 (P4) + PN-C.

# Code du Sport

## ANNEXE III-17c

Conditions d'évolution en exploration en plongée au nitrox en milieu naturel (Article A. 322-91).

ESPACES d'évolution	PLONGEE ENCADREE			PLONGEE AUTONOME	
	Aptitudes minimales des plongeurs encadrés	Effectif maximal de la palanquée (personne encadrant la palanquée non comprise)	Compétence minimale de la personne encadrant la palanquée	Aptitudes minimales des plongeurs en autonomie	Effectif maximal de la palanquée
Espace de 0 à 12 mètres	PE-12 + PN	4 (*)	E2 ou GP ou P4 + PN-C	PA-12 + PN	3
Espace de 0 à 20 mètres	PE-20+ PN	4 (*)	E2 ou GP ou P4 + PN-C	PA-20 + PN	3
Espace de 0 à 40 mètres	PE-40 + PN	4 (*)	E3 ou GP ou P4 + PN-C	PA-40-+ PN	3
Espace au-delà de 40 mètres et dans la limite de 60 mètres	PE-60 + PN	4	E4 + PN-C	PA-60 + PN	3

(\*) Possibilité d'ajouter dans la palanquée un plongeur supplémentaire, au minimum titulaire d'une qualification de Guide de Palanquée (GP) ou de plongeur Niveau 4 (P4) + PN-C.

# Plongeur Nitrox

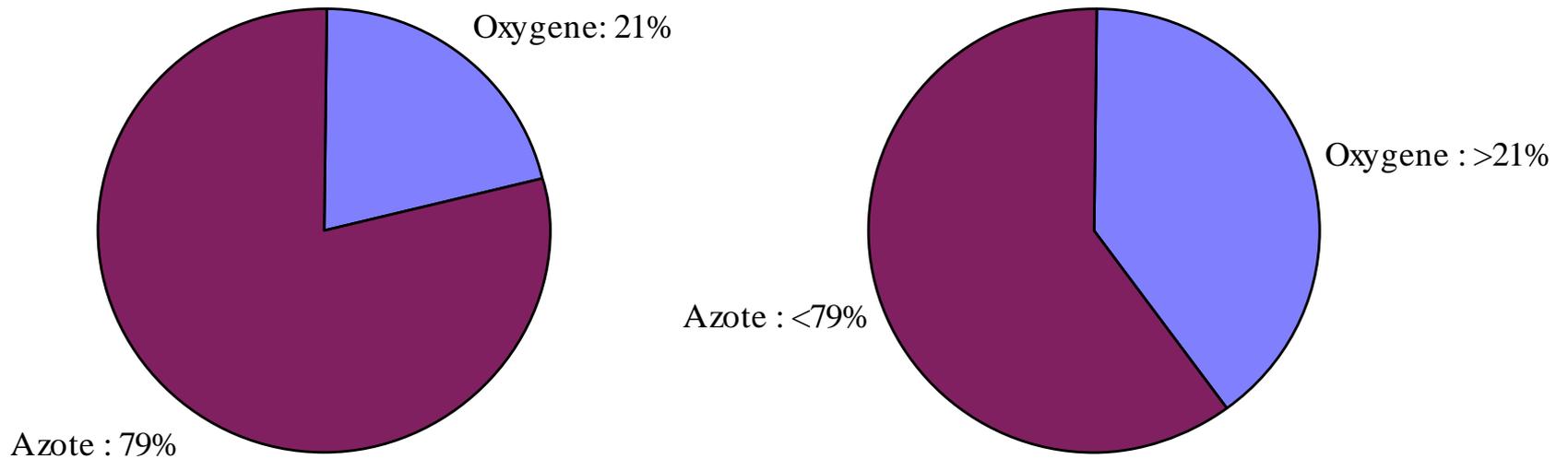
- Conditions et Prérogatives
- **Nitrox: C'est quoi?**
- Nitrox: Lequel?
- Lois Physiques
- Nitrox: Pourquoi?
- Effets Physiologiques
- Nitrox: Quel Mélange?
- Nitrox: Matériel
- Nitrox: Production
- Nitrox: Procédures
- Conclusion

# Nitrox : C'est quoi?

- Un mélange d'oxygène et d'azote
- ✓ Moins d'azote que dans l'air : donc moins de temps de paliers et/ou marge de sécurité plus élevée
- ✘ Plus d'oxygène que dans l'air : donc toxicité de l'oxygène à des profondeurs moins profondes
- ✓ Plus d'oxygène : plongée moins fatigante!

# Air et Nitrox

---



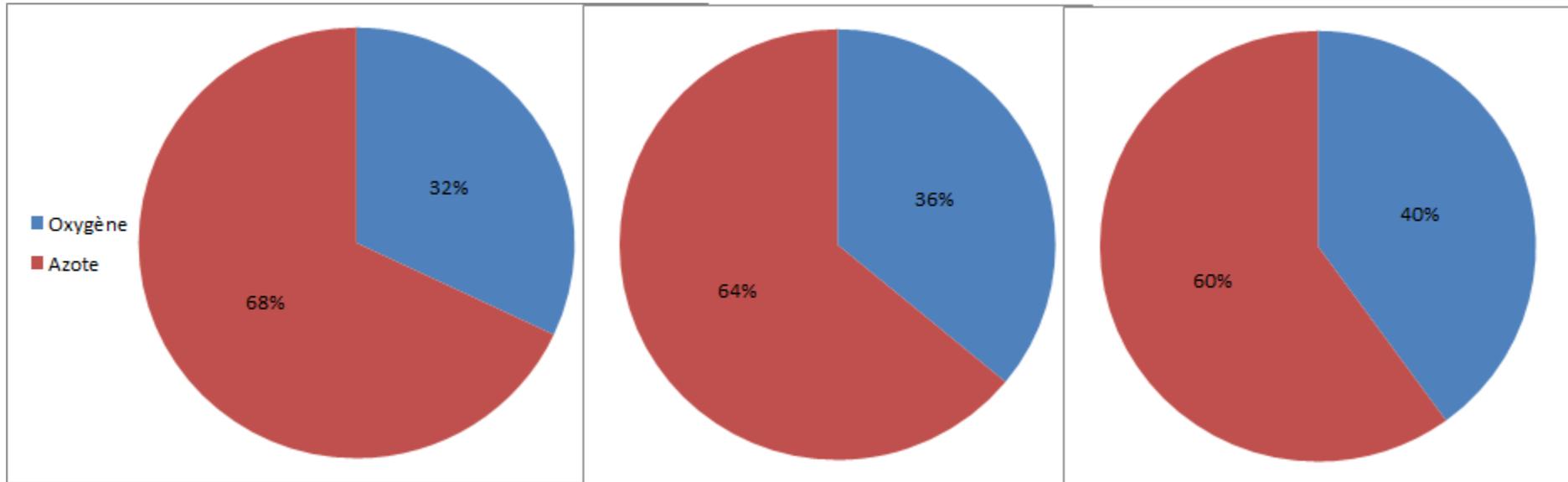
# Plongeur Nitrox

- Conditions et Prérogatives
- Nitrox: C'est quoi?
- **Nitrox: Lequel?**
- Lois Physiques
- Nitrox: Pourquoi?
- Effets Physiologiques
- Nitrox: Quel Mélange?
- Nitrox: Matériel
- Nitrox: Production
- Nitrox: Procédures
- Conclusion

# Nitrox : Lequel?

- De l'anglais :
  - NITR(ogen)OX(ygen)
  - E(nriched)A(ir)N(itrox)
- Nitrox X, EAN X
  - X% d'oxygène
- Mélanges standards :
  - Nitrox 32, EAN 32, appelé aussi NOAA Nitrox I
  - Nitrox 36, EAN 36, appelé aussi NOAA Nitrox II
  - Nitrox 40, EAN 40
- Nitrox n'est pas limité aux mélanges standards

# Nitrox 32%, 36% et 40%



# Nitrox pour la Plongée de Loisir

- Nitrox 22 à Nitrox 40

# Plongeur Nitrox

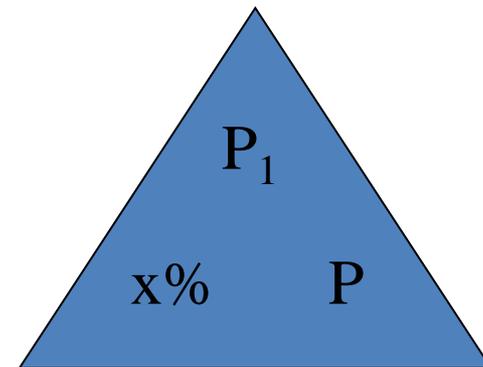
- Conditions et Prérogatives
- Nitrox: C'est quoi?
- Nitrox: Lequel?
- **Lois Physiques**
- Nitrox: Pourquoi?
- Effets Physiologiques
- Nitrox: Quel Mélange?
- Nitrox: Matériel
- Nitrox: Production
- Nitrox: Procédures
- Conclusion

# Profondeur - Pression

- $\text{Press}_{\text{abs}}(\text{bar}) = \text{Prof}(\text{m})/10+1$   
 $= (\text{Prof}(\text{m}) + 10)/10$
- $\text{Prof}(\text{m}) = (\text{Press}_{\text{abs}}(\text{bar}) - 1)*10$   
 $= \text{Press}_{\text{abs}}(\text{bar}) * 10 - 10$

# Loi de Dalton - Définition

- Un mélange de plusieurs gaz :  
E.g. x% de gaz 1, y% de gaz 2 et z% de gaz 3
- A une pression absolue de P bar
- La pression partielle de chaque gaz est pro rata  
E.g.  $P_1 = x/100 * P$  pour gaz 1,  $P_2 = y/100 * P$  pour gaz 2,  $P_3 = z/100 * P$  pour gaz 3
- A noter :  
 $x\% + y\% + z\% = 100\%$   
 $P_1 + P_2 + P_3 = P$



# Loi de Dalton - Exemple

- Un mélange d'oxygène et d'azote (air) :  
E.g. 21% d'oxygène, 79% d'azote
- A la surface, la pression absolue = 1 bar
  - La pression partielle  
E.g.  $P_{O_2} = 0.21$  bar,  $P_{N_2} = 0.79$  bar
- A 57m, la pression absolue = 6.7 bar
  - La pression partielle  
E.g.  $P_{O_2} = 1.4$  bar,  $P_{N_2} = 5.3$  bar

# Plongeur Nitrox

- Conditions et Prérogatives
- Nitrox: C'est quoi?
- Nitrox: Lequel?
- Lois Physiques
- **Nitrox: Pourquoi?**
- Effets Physiologiques
- Nitrox: Quel Mélange?
- Nitrox: Matériel
- Nitrox: Production
- Nitrox: Procédures
- Conclusion

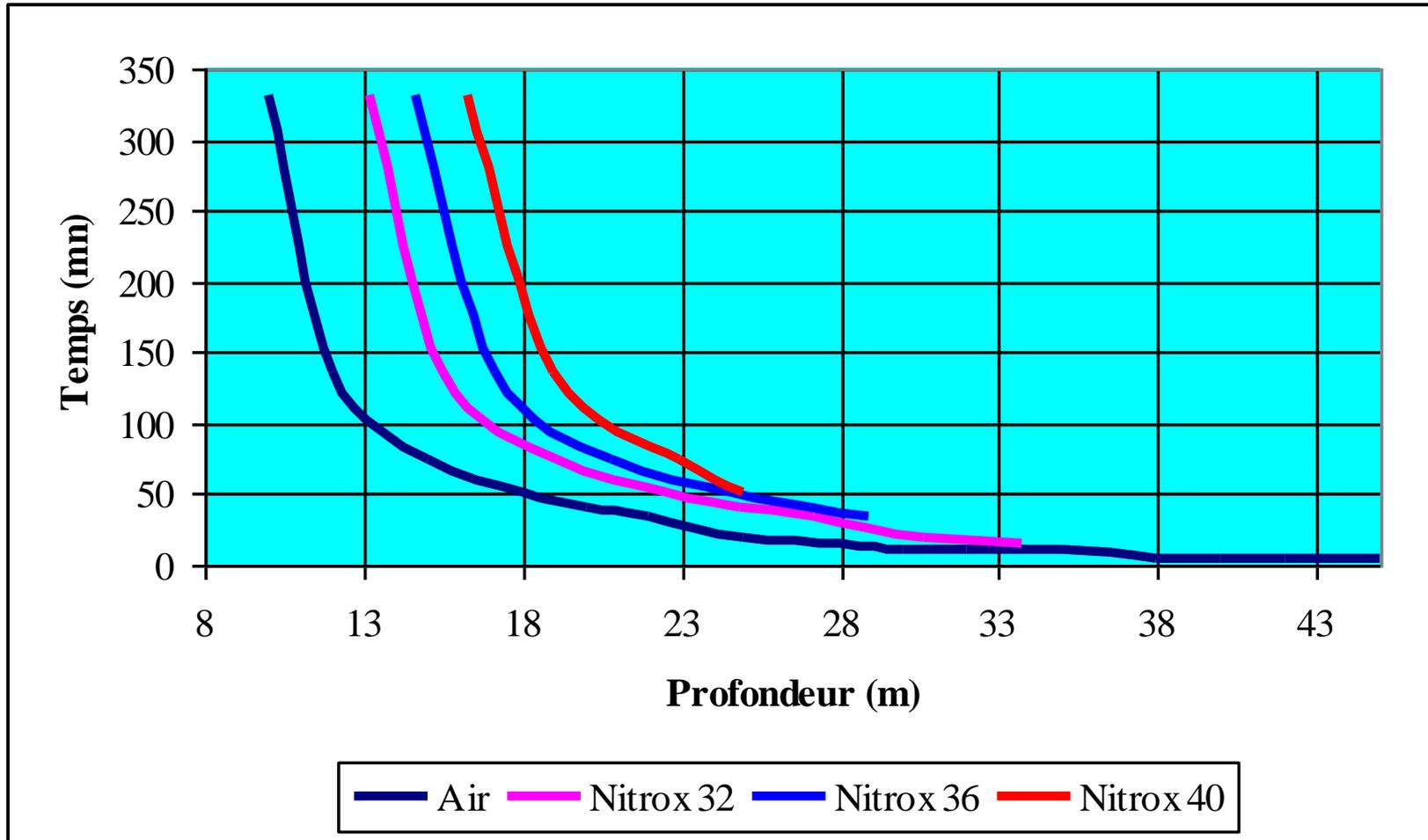
# Nitrox : Pourquoi?

- Plongée plus longue
- Plongée successive avec intervalle plus court
- Plongée comme avec l'air mais
  - Avec plus de sécurité
  - **Avec limitation de profondeur**
- Utiliser pour accourcir le palier

# Concept de Profondeur Equivalent Air

- Palier fonction de  $P_{N_2}$
- On peut traduire une profondeur réelle en plongée Nitrox X en une profondeur équivalent air
- A 30 m la  $pres_{abs} = 4$  bar
- Avec Nitrox 33,  $P_{N_2} = 4 * (1 - 0.33) = 2.68$  bar
- Si on avait utilisé de l'air, pour  $P_{N_2} = 2.68$  bar, on aurait une profondeur de  $Prof = (2.69/0.79-1)*10 = 24$  m
- Maintenant on peut utiliser les Tables MN90 pour une profondeur de 24 m (au lieu de 30 m)
- $PEA = \{(Prof_{Nitrox, x\%}/10+1)*(1-x\%)/0.79-1\} * 10$

# Nitrox : Plongée sans palier (Basé sur MN90)



# Plongeur Nitrox

- Conditions et Prérogatives
- Nitrox: C'est quoi?
- Nitrox: Lequel?
- Lois Physiques
- Nitrox: Pourquoi?
- **Effets Physiologiques**
- Nitrox: Quel Mélange?
- Nitrox: Matériel
- Nitrox: Production
- Nitrox: Procédures
- Conclusion

# % d'Oxygène plus élevé que dans l'air!

- L'effet Paul Bert :
  - C'est l'effet de toxicité d'oxygène sur le système central nerveux (SCN) (CNS, central nervous system)
  - ATTENTION : la pression partielle d'oxygène ( $PO_2$ ) limite la profondeur maximum
- L'effet Lorrain-Smith
  - C'est l'effet de toxicité d'oxygène sur le corps/poumon
  - ATTENTION au temps cumulé spécialement sur plusieurs jours

# Nitrox : PO<sub>2</sub> pour un Mélange

m	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.45
3	0.27	0.29	0.30	0.31	0.33	0.34	0.35	0.36	0.38	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44	0.46	0.47	0.48	0.49	0.51	0.52	0.59
5	0.32	0.33	0.35	0.36	0.38	0.39	0.41	0.42	0.44	0.45	0.47	0.48	0.50	0.51	0.53	0.54	0.56	0.57	0.59	0.60	0.68
8	0.38	0.40	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.68	0.70	0.72	0.81
11	0.44	0.46	0.48	0.50	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84	0.95
14	0.50	0.53	0.55	0.58	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.74	0.77	0.79	0.82	0.84	0.86	0.89	0.91	0.94	0.96	1.08
17	0.57	0.59	0.62	0.65	0.68	0.70	0.73	0.76	0.78	0.81	0.84	0.86	0.89	0.92	0.95	0.97	1.00	1.03	1.05	1.08	1.22
20	0.63	0.66	0.69	0.72	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.90	0.93	0.96	0.99	1.02	1.05	1.08	1.11	1.14	1.17	1.20	1.35
23	0.69	0.73	0.76	0.79	0.83	0.86	0.89	0.92	0.96	0.99	1.02	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29	1.32	1.49
26	0.76	0.79	0.83	0.86	0.90	0.94	0.97	1.01	1.04	1.08	1.12	1.15	1.19	1.22	1.26	1.30	1.33	1.37	1.40	1.44	1.62
29	0.82	0.86	0.90	0.94	0.98	1.01	1.05	1.09	1.13	1.17	1.21	1.25	1.29	1.33	1.37	1.40	1.44	1.48	1.52	1.56	
32	0.88	0.92	0.97	1.01	1.05	1.09	1.13	1.18	1.22	1.26	1.30	1.34	1.39	1.43	1.47	1.51	1.55	1.60	1.64	1.68	
35	0.95	0.99	1.04	1.08	1.13	1.17	1.22	1.26	1.31	1.35	1.40	1.44	1.49	1.53	1.58	1.62	1.67				
38	1.01	1.06	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.34	1.39	1.44	1.49	1.54	1.58	1.63	1.68						
41	1.07	1.12	1.17	1.22	1.28	1.33	1.38	1.43	1.48	1.53	1.58	1.63	1.68								
44	1.13	1.19	1.24	1.30	1.35	1.40	1.46	1.51	1.57	1.62	1.67										
47	1.20	1.25	1.31	1.37	1.43	1.48	1.54	1.60	1.65												
50	1.26	1.32	1.38	1.44	1.50	1.56	1.62	1.68													
53	1.32	1.39	1.45	1.51	1.58	1.64															
56	1.39	1.45	1.52	1.58	1.65																
59	1.45	1.52	1.59	1.66																	
62	1.51	1.58	1.66																		
65	1.58	1.65																			

# L'Effet Paul Bert : Symptômes

- Signes avant-coureurs

Convulsion

Nausée

Visuel

Tics

Euphorie

Irritabilité

Acouphène

Etourdissement

- Cet accident se déroule en trois phases :

- Phase tonique : de 30 s à 2 min, des contractions musculaires généralisées, un arrêt ventilatoire éventuel et/ou une perte de connaissance. Dans ce dernier cas, la glotte se bloque par raidissement. Il ne faut dès lors surtout pas remonter la victime avant qu'elle ait repris conscience =>une surpression pulmonaire

# L'Effet Paul Bert : Symptômes

- Phase clonique : de 2 à 3 min, des convulsions ainsi qu'une ventilation irrégulière. On peut alors remonter la victime en restant particulièrement vigilant sur son expiration.
- Phase post-convulsive : de 5 à 30 minutes avec un relâchement musculaire, une reprise progressive de la conscience, des signes de confusion, voire d'agitation.
- Ces 3 phases sont cycliques et perdureront tant que la  $PO_2$  ne sera pas ramenée à une pression correcte.

# Nitrox : l'Effet Paul Bert

- Court Terme - très grave sous l'eau
- PO<sub>2</sub> ne doit pas dépasser un seuil.
- PO<sub>2</sub>max = 1.4 bar

Air : 57 m	Nitrox 36 : 29 m
Nitrox 32 : 34 m	Nitrox 40 : 25 m

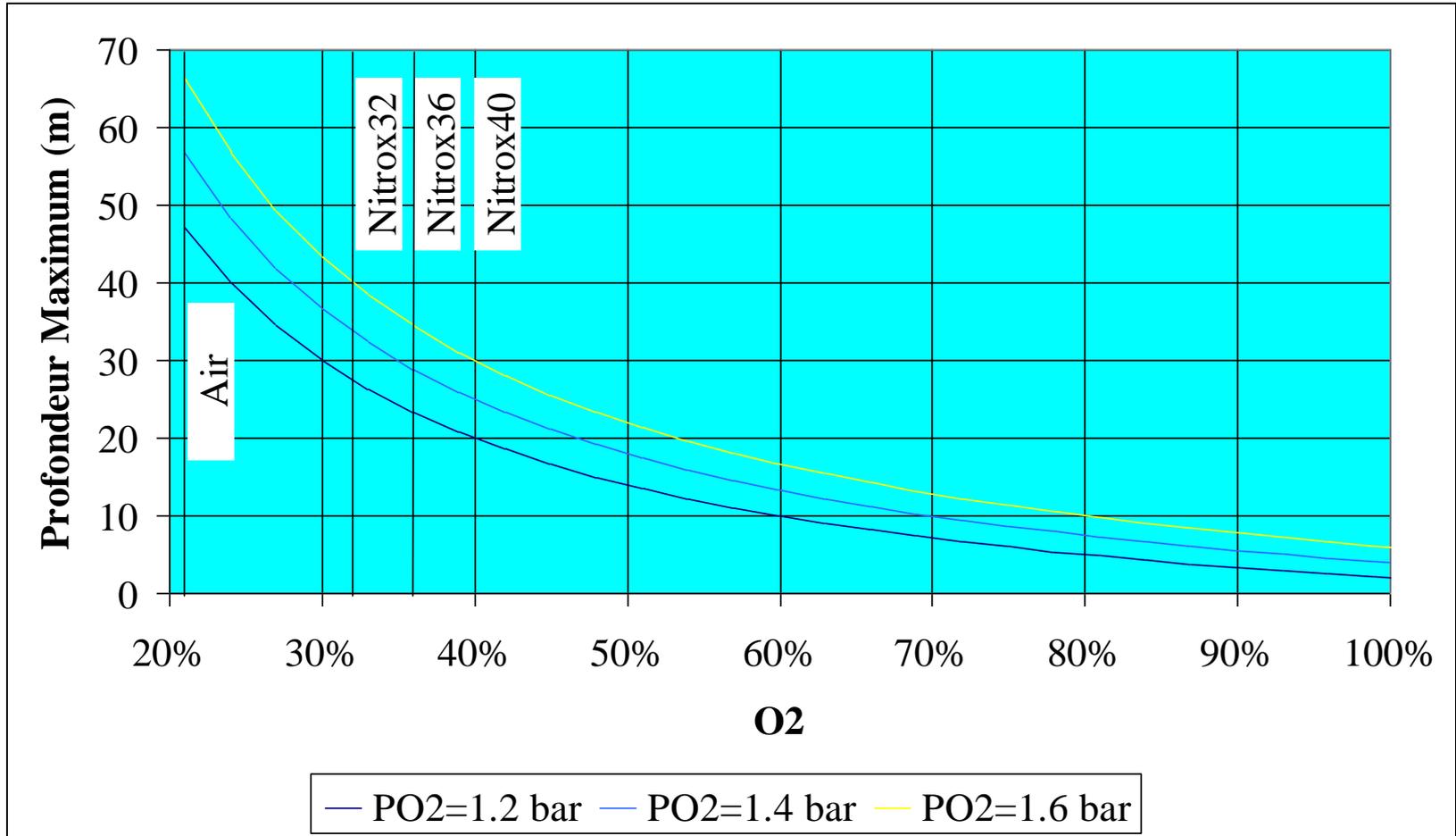
- Code du Sport, Art. A. 322-92. La valeur de la pression partielle maximale d'oxygène inspiré par le plongeur en immersion est limitée à 1 600 hectopascals (1,6 bar).
- C'est une limite et pas une recommandation!!!

# Durée d'Exposition à L' O<sub>2</sub> Limite

PO <sub>2</sub> Exposure (Atmospheres)	Maximum Single Exposure (Minutes)	Maximum 24 Hour Exposure (Minutes)
1.6	45	150
1.5	120	180
1.4	150	180
1.3	180	210
1.2	210	240
1.1	240	270
1.0	300	300
0.9	360	360
0.8	450	450
0.7	570	570
0.6	720	720

NOAA Diving Manual

# Seuils de Profondeurs selon les Mélanges et PO<sub>2</sub> max



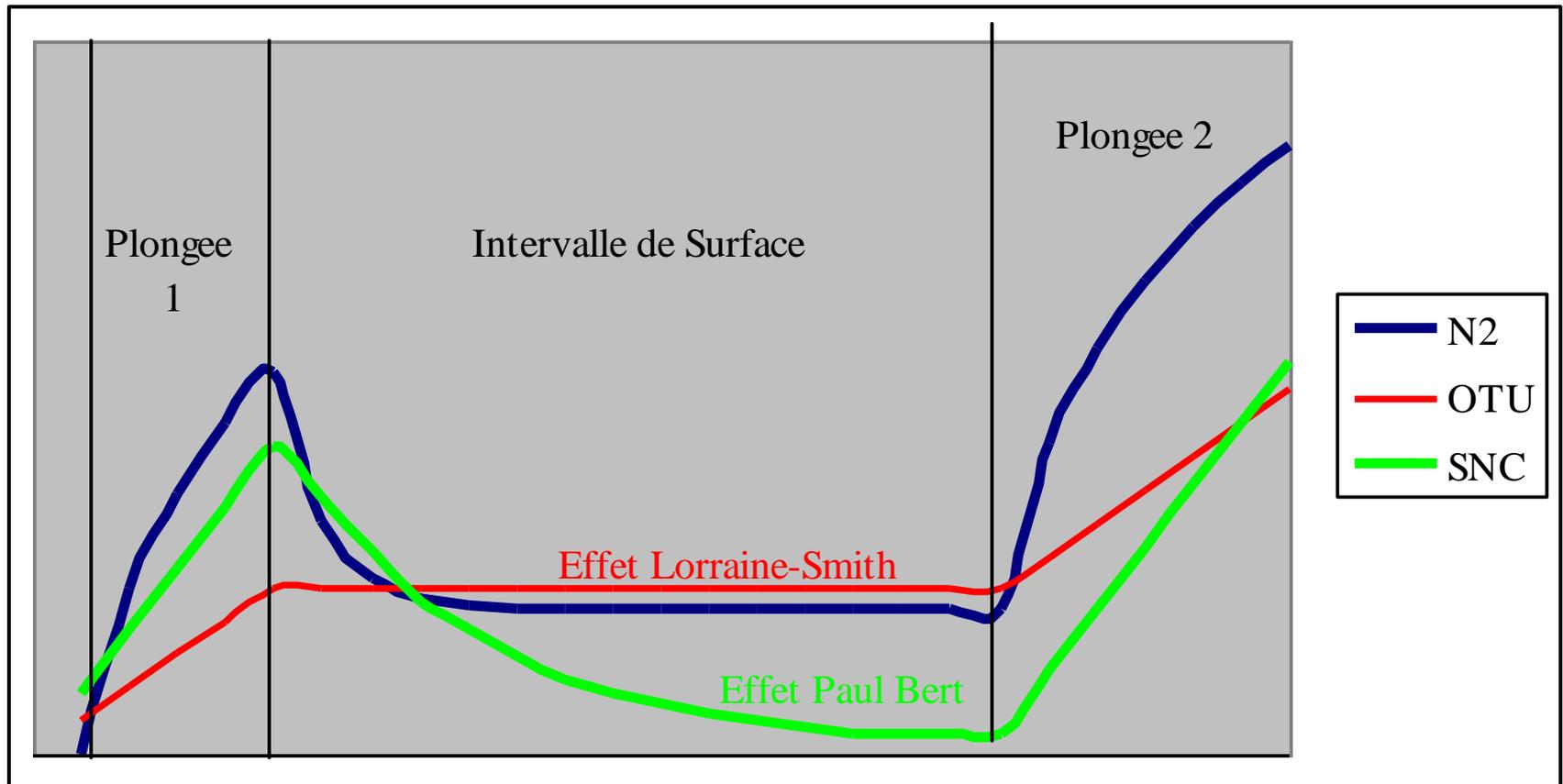
# Nitrox: Profondeurs Max selon Mélanges

Nitrox X%	Profondeur maximale pour PO2 = 1.4 bar
22%	53.6 m
23%	50.9 m
24%	48.3 m
25%	46.0 m
26%	43.8 m
27%	41.9 m
28%	40.0 m
29%	38.3 m
30%	36.7 m
31%	35.2 m
32%	33.8 m
33%	32.4 m
34%	31.2 m
35%	30.0 m
36%	28.9 m
37%	27.8 m
38%	26.8 m
39%	25.9 m
40%	25.0 m

# Nitrox : l'effet Lorrain-Smith

- Long Terme, plongées successives, à partir de PO<sub>2</sub> 0,5 bar
- Symptôme :
  - Signes avant-coureurs : face rose, difficultés respiratoires, toux, brûlures pulmonaires.
  - inflammation du surfactant, des alvéoles pulmonaires puis une possible apparition d'un œdème aigu du poumon
- Ne concerne que très rarement la plongée de loisir
- Mesuré en OTU (oxygen tolerance unit), unité de tolérance d'oxygène

# Evolution de N2, SNC et UTO



# Nitrox : Table de OTU et SNC (IANTD)

PO <sub>2</sub>	1 mn		5 mn		10 mn		20 mn		30 mn		40 mn		50 mn		60 mn	
	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS
0.60	0.26	0.14	1.31	0.69	2.63	1.39	5.26	2.78	7.89	4.17	10.52	5.56	13.15	6.94	15.78	8.33
0.65	0.37	0.16	1.84	0.78	3.68	1.55	7.36	3.10	11.04	4.65	14.73	6.20	18.41	7.75	22.09	9.30
0.70	0.47	0.18	2.34	0.88	4.67	1.75	9.35	3.51	14.02	5.26	18.70	7.02	23.37	8.77	28.09	10.53
0.75	0.56	0.20	2.81	0.98	5.63	1.96	11.25	3.92	16.88	5.88	22.50	7.84	28.13	9.80	33.75	11.76
0.80	0.65	0.22	3.27	1.11	6.54	2.22	13.09	4.44	19.63	6.67	26.18	8.89	32.72	11.11	39.27	13.33
0.85	0.74	0.25	3.72	1.23	7.44	2.47	14.88	4.94	22.31	7.41	29.75	9.87	37.19	12.34	44.63	14.81
0.90	0.83	0.28	4.15	1.39	8.31	2.78	16.62	5.56	24.93	8.33	33.24	11.11	41.55	13.89	49.86	16.67
0.95	0.92	0.31	4.58	1.57	9.16	3.14	18.33	6.27	27.49	9.41	36.65	12.54	45.81	15.68	54.98	18.81
1.00	1.00	0.33	5.00	1.67	10.00	3.33	20.00	6.67	30.00	10.00	40.00	13.33	50.00	16.67	60.00	20.00
1.05	1.08	0.37	5.41	1.85	10.82	3.70	21.65	7.41	32.47	11.11	43.29	14.81	54.12	18.52	64.94	22.22
1.10	1.16	0.42	5.82	2.08	11.63	4.17	23.27	8.33	34.90	12.50	46.54	16.67	58.17	20.83	69.80	25.00
1.15	1.24	0.44	6.22	2.19	12.43	4.39	24.87	8.77	37.30	13.16	49.73	17.55	62.16	21.93	74.60	26.32
1.20	1.32	0.48	6.61	2.38	13.22	4.76	26.44	9.52	39.67	14.29	52.89	19.05	66.11	23.81	79.33	28.57
1.25	1.40	0.51	7.00	2.56	14.00	5.13	28.00	10.26	42.00	15.39	56.00	20.51	70.00	25.64	84.01	30.77
1.30	1.48	0.56	7.39	2.78	14.77	5.56	29.54	11.11	44.31	16.67	59.09	22.22	73.86	27.78	88.63	33.33
1.35	1.55	0.61	7.77	3.03	15.53	6.06	31.07	12.12	46.60	18.18	62.13	24.24	77.67	30.30	93.20	36.36
1.40	1.63	0.65	8.14	3.33	16.29	6.67	32.58	13.33	48.86	20.00	65.15	26.67	81.44	33.33	97.73	40.00
1.45	1.70	0.72	8.52	3.62	17.04	7.25	34.07	14.49	51.11	21.74	68.14	28.99	85.18	36.23	102.20	43.48
1.50	1.78	0.83	8.89	4.17	17.78	8.33	35.55	16.67	53.33	25.00	71.11	33.33	88.88	41.67	106.70	50.00
1.55	1.85	1.11	9.26	5.56	18.51	11.11	37.02	22.22	55.53	33.34	74.05	44.45	92.56	55.56	111.10	66.67
1.60	1.92	2.22	9.62	11.11	19.24	22.22	38.48	44.44	57.72	66.67	76.96	88.89	96.20	111.10	115.40	133.20

# Nitrox : Table d 'Intervalle pour SNC (IANTD)

Start %	30 mn	60 mn	90 mn	2 h	3h	4h	5h	6h
100	83	66	49	41	24	16	11	7
95	79	63	46	38	22	15	10	7
90	75	59	44	37	22	15	10	7
85	71	56	42	35	21	14	9	6
80	66	53	39	32	19	13	9	6
75	62	49	37	31	18	12	8	5
70	58	46	34	28	17	11	7	5
65	54	43	32	27	16	11	7	5
60	50	40	29	24	14	9	6	4
55	46	36	27	22	13	9	6	4
50	41	33	24	20	12	8	5	3
45	37	30	22	18	11	7	5	3
40	33	26	20	17	10	7	5	3
35	29	23	17	14	8	5	3	2
30	25	20	15	12	7	5	3	2
25	21	16	12	10	6	4	3	2
20	17	13	10	8	5	3	2	1
15	12	10	7	6	3	2	1	1
10	8	7	5	4	2	1	1	1

# Nitrox : Limite de OTU (IANTD)

Jours	Dose Moyen	Dose Total
1	850	850
2	700	1400
3	620	1860
4	420	2100
5	380	2300
6	350	2520
7	330	2660
8	310	2800
9	300	2970
10	300	3100
11	300	3300
12	300	3600
13	300	3900
14	300	4200
15-30	300	etc

# Limites

- Les paliers doivent être respectés
- Toutes les plongées doivent être planifiées pour que %SNC reste  $< 100\%$
- Les limites de OTU doivent être respectées
  - journalières et
  - totale

# Plongeur Nitrox

- Conditions et Prérogatives
- Nitrox: C'est quoi?
- Nitrox: Lequel?
- Lois Physiques
- Nitrox: Pourquoi?
- Effets Physiologiques
- **Nitrox: Quel Mélange?**
- Nitrox: Matériel
- Nitrox: Production
- Nitrox: Procédures
- Conclusion

# Nitrox : Quel mélange?

- $FO_2 = PO_2 / (P/10+1)$ 
  - Plongée à 35 m,
  - dans l'eau chaude et sans effort,
  - donc  $PO_{2Plan} = 1.4$  bar
- mélange idéal =  $1.4 / (35/10+1) = 31.1\%$ 
  - dans l'eau froide ou avec effort,
  - donc  $PO_{2Plan} = 1.4 - 0.05$  bar = 1.35 bar
- mélange idéal =  $1.35 / (35/10+1) = 30.0\%$ 
  - dans l'eau froide et avec effort,
  - donc  $PO_{2Plan} = 1.4 - 0.05 - 0.05$  bar = 1.3 bar
- mélange idéal =  $1.3 / (35/10+1) = 28.8\%$

# Nitrox : Exemple

- Plongée 1 à 35 m pour 30 mn, dans l'eau chaude et sans effort,
- mélange : EAN 32
  - $PO_2 = 1.44$  bar
  - $PEA = \{(1-0.32)(35+10)/0.79\}-10 = 29$  m
  - OTU = 51.11
  - CNS = 21.74%

# Nitrox : Table de OTU et SNC (IANTD)

PO <sub>2</sub>	1 mn		5 mn		10 mn		20 mn		30 mn		40 mn		50 mn		60 mn	
	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS
0.60	0.26	0.14	1.31	0.69	2.63	1.39	5.26	2.78	7.89	4.17	10.52	5.56	13.15	6.94	15.78	8.33
0.65	0.37	0.16	1.84	0.78	3.68	1.55	7.36	3.10	11.04	4.65	14.73	6.20	18.41	7.75	22.09	9.30
0.70	0.47	0.18	2.34	0.88	4.67	1.75	9.35	3.51	14.02	5.26	18.70	7.02	23.37	8.77	28.09	10.53
0.75	0.56	0.20	2.81	0.98	5.63	1.96	11.25	3.92	16.88	5.88	22.50	7.84	28.13	9.80	33.75	11.76
0.80	0.65	0.22	3.27	1.11	6.54	2.22	13.09	4.44	19.63	6.67	26.18	8.89	32.72	11.11	39.27	13.33
0.85	0.74	0.25	3.72	1.23	7.44	2.47	14.88	4.94	22.31	7.41	29.75	9.87	37.19	12.34	44.63	14.81
0.90	0.83	0.28	4.15	1.39	8.31	2.78	16.62	5.56	24.93	8.33	33.24	11.11	41.55	13.89	49.86	16.67
0.95	0.92	0.31	4.58	1.57	9.16	3.14	18.33	6.27	27.49	9.41	36.65	12.54	45.81	15.68	54.98	18.81
1.00	1.00	0.33	5.00	1.67	10.00	3.33	20.00	6.67	30.00	10.00	40.00	13.33	50.00	16.67	60.00	20.00
1.05	1.08	0.37	5.41	1.85	10.82	3.70	21.65	7.41	32.47	11.11	43.29	14.81	54.12	18.52	64.94	22.22
1.10	1.16	0.42	5.82	2.08	11.63	4.17	23.27	8.33	34.90	12.50	46.54	16.67	58.17	20.83	69.80	25.00
1.15	1.24	0.44	6.22	2.19	12.43	4.39	24.87	8.77	37.30	13.16	49.73	17.55	62.16	21.93	74.60	26.32
1.20	1.32	0.48	6.61	2.38	13.22	4.76	26.44	9.52	39.67	14.29	52.89	19.05	66.11	23.81	79.33	28.57
1.25	1.40	0.51	7.00	2.56	14.00	5.13	28.00	10.26	42.00	15.39	56.00	20.51	70.00	25.64	84.01	30.77
1.30	1.48	0.56	7.39	2.78	14.77	5.56	29.54	11.11	44.31	16.67	59.09	22.22	73.86	27.78	88.63	33.33
1.35	1.55	0.61	7.77	3.03	15.53	6.06	31.07	12.12	46.60	18.18	62.13	24.24	77.67	30.30	93.20	36.36
1.40	1.63	0.65	8.14	3.33	16.29	6.67	32.58	13.33	48.86	20.00	65.15	26.67	81.44	33.33	97.73	40.00
1.45	1.70	0.72	8.52	3.62	17.04	7.25	34.07	14.49	51.11	21.74	68.14	28.99	85.18	36.23	102.20	43.48
1.50	1.78	0.83	8.89	4.17	17.78	8.33	35.55	16.67	53.33	25.00	71.11	33.33	88.88	41.67	106.70	50.00
1.55	1.85	1.11	9.26	5.56	18.51	11.11	37.02	22.22	55.53	33.34	74.05	44.45	92.56	55.56	111.10	66.67
1.60	1.92	2.22	9.62	11.11	19.24	22.22	38.48	44.44	57.72	66.67	76.96	88.89	96.20	111.10	115.40	133.20

# Nitrox : Exemple (suite)

- 2 h plus tard plongée 2 à 30 m pour 30 mn avec EAN 32, dans l'eau chaude et sans effort,
- Après un intervalle de 2 h,
  - CNS = 10 % (25%→10%)
- Plongée 2
  - $PO_2 = 1.28$  bar
  - $PEA = \{(1-0.32)(30+10)/0.79\}-10 = 25$  m
  - OTU = 95.42 (51.11 + 44.31)
  - CNS = 36.67% (10+16.67%)

# Nitrox : Table d'Intervalle pour SNC (IANTD)

Start %	30 mn	60 mn	90 mn	2 h	3h	4h	5h	6h
100	83	66	49	41	24	16	11	7
95	79	63	46	38	22	15	10	7
90	75	59	44	37	22	15	10	7
85	71	56	42	35	21	14	9	6
80	66	53	39	32	19	13	9	6
75	62	49	37	31	18	12	8	5
70	58	46	34	28	17	11	7	5
65	54	43	32	27	16	11	7	5
60	50	40	29	24	14	9	6	4
55	46	36	27	22	13	9	6	4
50	41	33	24	20	12	8	5	3
45	37	30	22	18	11	7	5	3
40	33	26	20	17	10	7	5	3
35	29	23	17	14	8	5	3	2
30	25	20	15	12	7	5	3	2
25	21	16	12	10	6	4	3	2
20	17	13	10	8	5	3	2	1
15	12	10	7	6	3	2	1	1
10	8	7	5	4	2	1	1	1

# Nitrox : Table de OTU et SNC (IANTD)

PO <sub>2</sub>	1 mn		5 mn		10 mn		20 mn		30 mn		40 mn		50 mn		60 mn	
	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS	OTU	CNS
0.60	0.26	0.14	1.31	0.69	2.63	1.39	5.26	2.78	7.89	4.17	10.52	5.56	13.15	6.94	15.78	8.33
0.65	0.37	0.16	1.84	0.78	3.68	1.55	7.36	3.10	11.04	4.65	14.73	6.20	18.41	7.75	22.09	9.30
0.70	0.47	0.18	2.34	0.88	4.67	1.75	9.35	3.51	14.02	5.26	18.70	7.02	23.37	8.77	28.09	10.53
0.75	0.56	0.20	2.81	0.98	5.63	1.96	11.25	3.92	16.88	5.88	22.50	7.84	28.13	9.80	33.75	11.76
0.80	0.65	0.22	3.27	1.11	6.54	2.22	13.09	4.44	19.63	6.67	26.18	8.89	32.72	11.11	39.27	13.33
0.85	0.74	0.25	3.72	1.23	7.44	2.47	14.88	4.94	22.31	7.41	29.75	9.87	37.19	12.34	44.63	14.81
0.90	0.83	0.28	4.15	1.39	8.31	2.78	16.62	5.56	24.93	8.33	33.24	11.11	41.55	13.89	49.86	16.67
0.95	0.92	0.31	4.58	1.57	9.16	3.14	18.33	6.27	27.49	9.41	36.65	12.54	45.81	15.68	54.98	18.81
1.00	1.00	0.33	5.00	1.67	10.00	3.33	20.00	6.67	30.00	10.00	40.00	13.33	50.00	16.67	60.00	20.00
1.05	1.08	0.37	5.41	1.85	10.82	3.70	21.65	7.41	32.47	11.11	43.29	14.81	54.12	18.52	64.94	22.22
1.10	1.16	0.42	5.82	2.08	11.63	4.17	23.27	8.33	34.90	12.50	46.54	16.67	58.17	20.83	69.80	25.00
1.15	1.24	0.44	6.22	2.19	12.43	4.39	24.87	8.77	37.30	13.16	49.73	17.55	62.16	21.93	74.60	26.32
1.20	1.32	0.48	6.61	2.38	13.22	4.76	26.44	9.52	39.67	14.29	52.89	19.05	66.11	23.81	79.33	28.57
1.25	1.40	0.51	7.00	2.56	14.00	5.13	28.00	10.26	42.00	15.39	56.00	20.51	70.00	25.64	84.01	30.77
1.30	1.48	0.56	7.39	2.78	14.77	5.56	29.54	11.11	44.31	16.67	59.09	22.22	73.86	27.78	88.63	33.33
1.35	1.55	0.61	7.77	3.03	15.53	6.06	31.07	12.12	46.60	18.18	62.13	24.24	77.67	30.30	93.20	36.36
1.40	1.63	0.65	8.14	3.33	16.29	6.67	32.58	13.33	48.86	20.00	65.15	26.67	81.44	33.33	97.73	40.00
1.45	1.70	0.72	8.52	3.62	17.04	7.25	34.07	14.49	51.11	21.74	68.14	28.99	85.18	36.23	102.20	43.48
1.50	1.78	0.83	8.89	4.17	17.78	8.33	35.55	16.67	53.33	25.00	71.11	33.33	88.88	41.67	106.70	50.00
1.55	1.85	1.11	9.26	5.56	18.51	11.11	37.02	22.22	55.53	33.34	74.05	44.45	92.56	55.56	111.10	66.67
1.60	1.92	2.22	9.62	11.11	19.24	22.22	38.48	44.44	57.72	66.67	76.96	88.89	96.20	111.10	115.40	133.20

51.11    10.00  
95.42    26.67

# Palier à l'Oxygène

- Les paliers à 3 mètres et à 6 mètres peuvent être effectués en inhalant de l'O<sub>2</sub>.
- Pour les paliers entre 1 et 5 mn, les paliers à l'oxygène pur sont égaux à la durée du palier à l'air.
- Pour les paliers > 5 mn, la durée de chacun des paliers à l'oxygène pur est égal aux deux tiers de la durée du palier à l'air arrondie à la minute supérieure.
- Le fait d'effectuer des paliers à l'oxygène pur ne change pas le groupe de plongée successive de la plongée effectuée.

# Palier Nitrox

- Avec les tables Nitrox, utiliser le mélange égal ou inférieur.
- Avec table AIR, EAN 27% et EAN 32%:
  - Pour EAN 21% à <EAN 27%: table AIR
  - Pour EAN 27% à <EAN 32%: table EAN 27%
  - Pour EAN  $\geq$ EAN 32%: table EAN 32%
- Si on utilise les Tables MN90 :
  - Utiliser la profondeur équivalente pour la plongée et palier
  - Durée max d'une plongée au Nitrox : 2 h

# Plongée en Altitude

- Pour utiliser la table fédérale en altitude, il suffit de connaître la pression barométrique  $H$  régnant à la surface du lieu où l'on plonge.
- On entre dans la table avec une profondeur fictive  $P'$  :  $P' = P \times 1013/H$ , où  $P$  est la profondeur réellement atteinte (m) et  $H$  la pression barométrique du lieu (millibars ou hectopascals).
- Les paliers devront être effectués à la profondeur  $P$  réelle :  $P = P' \times H/1013$ , où  $P'$  est la profondeur du palier donnée par la table fédérale.

# Plongée en Altitude

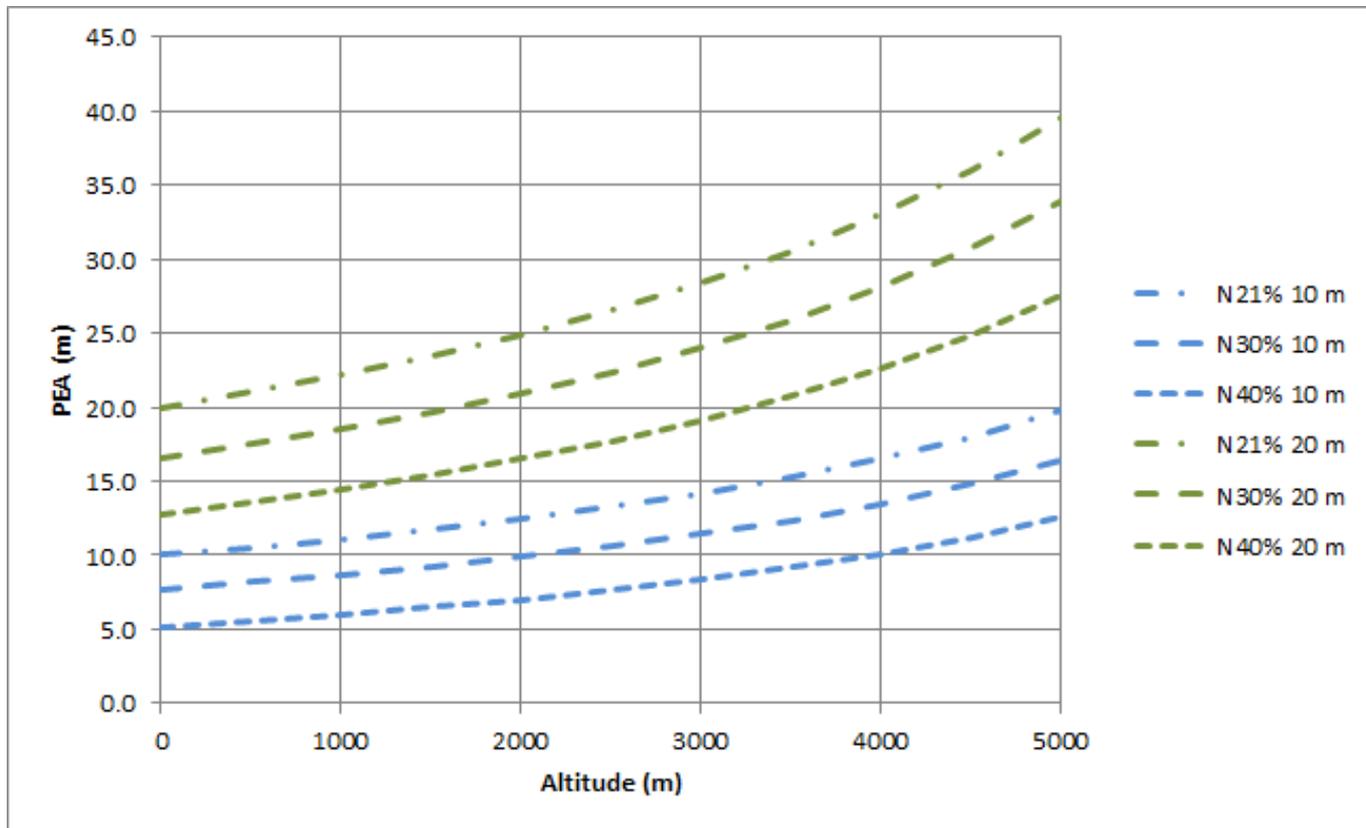
- Pour utiliser la table fédérale en altitude, il suffit de connaître la pression barométrique  $H$  régnant à la surface du lieu où l'on plonge.
- On entre dans la table avec une profondeur fictive  $P'$  :  $P' = P \times 1013/H$ , où  $P$  est la profondeur réellement atteinte (m) et  $H$  la pression barométrique du lieu (millibars ou hectopascals).
- Les paliers devront être effectués à la profondeur  $P$  réelle :  $P = P' \times H/1013$ , où  $P'$  est la profondeur du palier donnée par la table fédérale.

# Plongée en Altitude

- Pour le  $PO_2$ ,
- $PO_2 = FO_2(P/10+H/1000)$
- où P est la profondeur réellement atteinte (m) et H la pression barométrique du lieu (millibars ou hectopascals).
- La pression atmosphérique au niveau de la mer : 1013 millibar.
- Elle baisse d'environ 100 millibar tous les 1000 mètres.

# Plongée en Altitude

- $PEA = \left\{ \left( \text{Prof}_{\text{Nitrox}, x\%} / 10 + H / 1000 \right) * (1 - x\%) / H / 0.79 - 1 \right\} * 10 * 1.013$



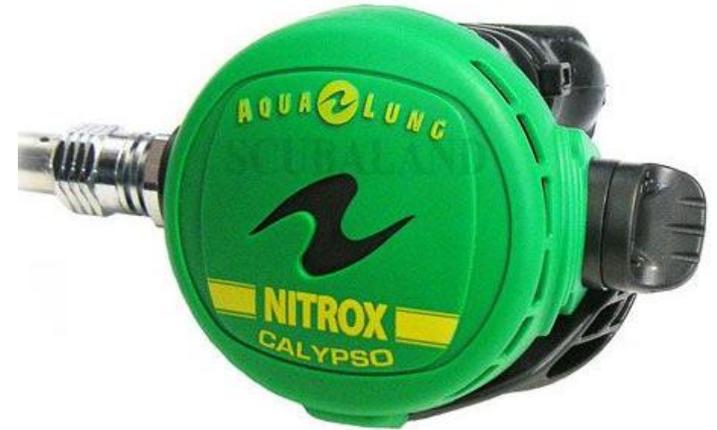
# Plongeur Nitrox

- Conditions et Prérogatives
- Nitrox: C'est quoi?
- Nitrox: Lequel?
- Lois Physiques
- Nitrox: Pourquoi?
- Effets Physiologiques
- Nitrox: Quel Mélange?
- **Nitrox: Matériel**
- Nitrox: Production
- Nitrox: Procédures
- Conclusion

# Nitrox : Matériel

- Tout le matériel peut être révisé pour être utilisé jusqu'au Nitrox 40
- La couleur verte est associée avec le matériel Nitrox
- Prendre conseil auprès du fournisseur avant utilisation
- ATTENTION : PO<sub>2</sub> élevé peut être dangereux (risque d'explosion!)
- Les normes européennes EN 144-3 (M26x2) et EN 13949 (production du matériel) sont applicables au matériel Nitrox
- Pour Nitrox supérieur à 40 : matériel spécialisé

# Nitrox : Matériel



# Plongeur Nitrox

- Conditions et Prérogatives
- Nitrox: C'est quoi?
- Nitrox: Lequel?
- Lois Physiques
- Nitrox: Pourquoi?
- Effets Physiologiques
- Nitrox: Quel Mélange?
- Nitrox: Matériel
- **Nitrox: Production**
- Nitrox: Procédures
- Conclusion

# Production de Nitrox

1. L'acheter tout fait
2. Utiliser un filtre à membrane perméable
3. L'injection basse pression
4. Procéder à des transvasements

# L'acheter tout fait

- **Avantage :**
  - C'est une solution simple et sûre.
- **Inconvénients :**
  - Elle est onéreuse par son prix d'achat.
  - Moins souple comme elle oblige à effectuer à priori le choix du pourcentage.

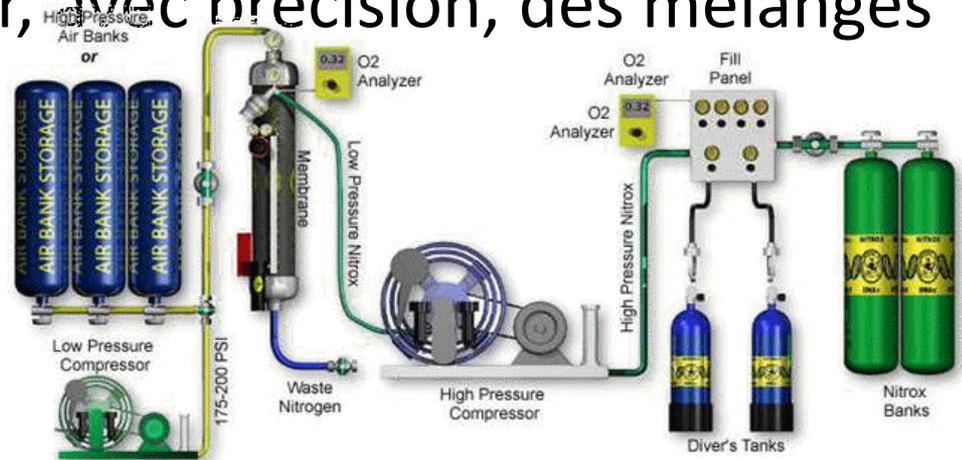
# Un filtre à membrane perméable

- Le principe consiste à comprimer de l'air contre une membrane qui favorise le passage de l'oxygène au dépend de l'azote.
  - Un filtre à l'entrée qui protège la membrane de s'encrasser par des polluants solides.
  - Compresseur 1 : pour fournir une moyenne pression (5.5-21 bar) à la bonne température (43°C),
  - la membrane
  - Compresseur 2 : pour élever le mélange à la pression de stockage.

# Un filtre à membrane perméable

- Avantages :
  - Sans manipulation d'oxygène pur. Il est donc sans danger.
  - Il permet de réaliser, avec précision, des mélanges de 32 à 40%.

- Inconvénients :
  - Limité au Nitrox40.
  - 2 compresseurs
  - Economiquement, il n'est intéressant qu'à partir du gonflage d'une centaine de bouteilles par jour

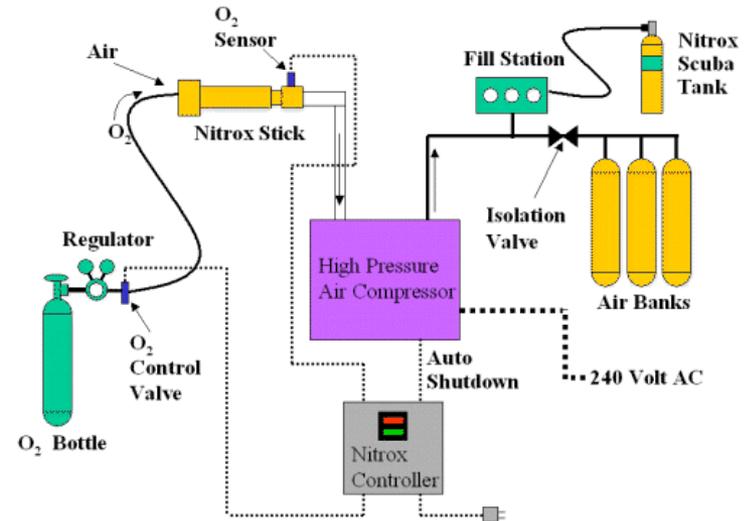


# Un filtre à membrane perméable

- Attention à la pollution exogène. Le filtrage a aussi pour effet de concentrer les autres gaz qu'il va falloir filtrer sérieusement. (CO<sub>2</sub> - Vapeur d'eau et autres gaz plus rares)
- Le processus de filtrage limite la vitesse du mélange à la sortie.
- Le bon fonctionnement est lié à la température et à la stabilité de la pression utilisée ce qui nécessite une bonne régulation.

# L'injection basse pression

- Ce dispositif est aussi appelé à "Flux continu" ou à "Stick".
- Elle consiste à injecter de l'O<sub>2</sub> avant l'entrée d'un compresseur classique pour produire le mélange
- Tournoyer l'air et l'oxygène dans un "Stick" (éviter les explosions: O<sub>2</sub> + huile).
  - Le compresseur aspire par à coup et entre 2 aspirations l'oxygène pur peut être aspiré en présence d'huile.



# L'injection basse pression

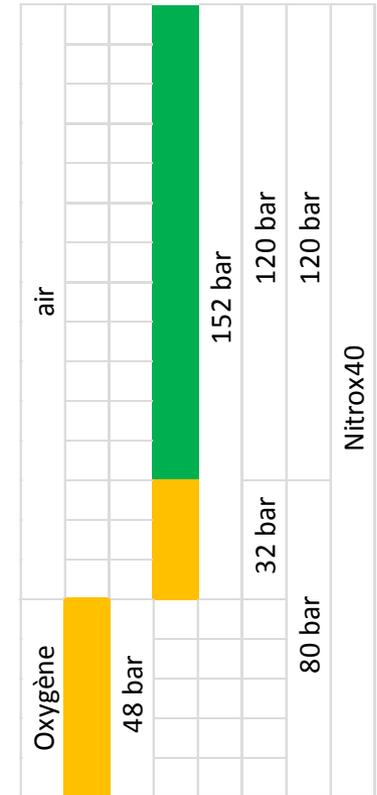
- Avantages :
  - L'investissement est d'un prix bas.
  - Il donne lieu à beaucoup de bricolages. On voit même des dispositifs portatifs.
  - Il permet d'utiliser la réserve d'O<sub>2</sub> jusqu'à la fin.
- Inconvénients :
  - Une réserve d'oxygène : danger + coût.
  - En raison des risques encourus, la production se limite à des mélanges Nitrox 40.

# Procéder à des transvasements

- Aussi fabrication par pressions partielles et blending
- Remplir avec de l'oxygène pur à une certaine pression, ajouter de l'air ordinaire venant d'un compresseur classique ou de tampons.
- N'utiliser que du matériel parfaitement dégraissé et prévu pour cet usage.
  - Les traces de graisse qui s'accumulent avec le temps peuvent s'enflammer spontanément en présence d'O<sub>2</sub>.

# Procéder à des transvasements

- Avantages :
  - Il se prête très bien à la production sur le terrain (les plongeurs souterrains et teck).
  - Il permet de réaliser des mélanges dans tous les rapports souhaités, voire le trimix .
  - L'investissement est d'un prix raisonnable.



# Procéder à des transvasements

- Inconvénients :
  - Une réserve d'oxygène pur...
  - L'homogénéisation pouvant aller jusqu'à 24 h
  - Un filtre avant l'appoint d'air est indispensable pour éliminer toute trace d'huile au contact de l'O<sub>2</sub> pur.
  - Le prix de l'O<sub>2</sub> et son transport pose des problèmes
  - La réserve d'oxygène pur ne peut pas toujours être utilisée jusqu'à la fin.

# Plongeur Nitrox

- Conditions et Prérogatives
- Nitrox: C'est quoi?
- Nitrox: Lequel?
- Lois Physiques
- Nitrox: Pourquoi?
- Effets Physiologiques
- Nitrox: Quel Mélange?
- Nitrox: Matériel
- Nitrox: Production
- **Nitrox: Procédures**
- Conclusion

# Nitrox: Procédures

- Le plongeur a la responsabilité de la vérification du mélange!!
- Mélange disponible selon la plongée prévue ou plongée adaptée pour le mélange
  - Ce n'est pas n'importe quel mélange pour n'importe quelle plongée
- Le plongeur vérifie le mélange avec l'analyseur
- Le plongeur remplit le carnet de gonflage
- Le plongeur note sur la bouteille les paramètres

# Nitrox: Carnet de Gonflage

Station de gonflage	Plongeur (verification)
Numéro de bouteille	
Pression de gonflage	Pression de gonflage*
Pourcentage d'oxygène*	Pourcentage d'oxygène*
Date de gonflage*	Date de vérification*
	Profondeur maximale*
	PO <sub>2</sub>
Son nom*	son nom/ses initiales*

\* Code de Sport: Art. A. 322-93

# L'Analyseur d'Oxygène

- L'analyseur permet de connaître le O<sub>2</sub>% du mélange testé
- Savoir l'utiliser, sinon se renseigner
- L'étalonner avant utilisation
  - Air : 20.8% oxygène
  - S'assurer que l'indication est stable (attendre un peu)
- Pour la mesure de O<sub>2</sub>% du mélange, respecter le débit de la bouteille préconisé (normalement faible)
- S'il faut arrondir pour calculer la **profondeur maximale** (dans l'utilisation des tables), arrondir vers le haut
- e.g. 28.1% → 29%



# Les Paramètres sur la Bouteille

- La personne fabriquant un mélange respiratoire note
  - le résultat de l'analyse d'oxygène réalisée
  - la date de l'analyse
  - son nom de fabricant
- L'utilisateur final complète ces informations par :
  - le résultat de l'analyse d'oxygène réalisée par ses soins avant la plongée
  - la profondeur maximale d'utilisation du mélange
  - la date de l'analyse
  - son nom ou ses initiales



# La Plongée Nitrox

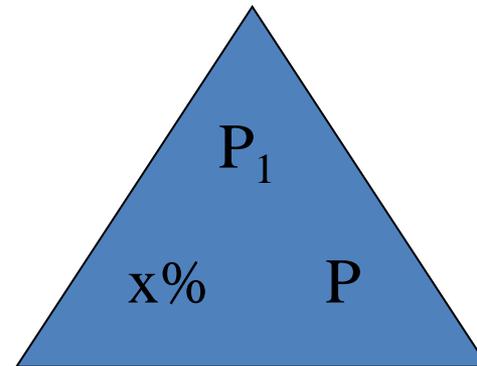
- Utilisation de table air (MN90)
  - **avec limitation de profondeur selon le mélange**
  - Plus de sécurité
- Utilisation de table spécifique pour le mélange utilisé
  - Limitée aux mélanges spécifiques
- Calcule préalable pour un profile donné pour le mélange utilisé
  - Grande discipline requis pendant la plongée pour le suivi du profile
- Utilisation d'un ordinateur air
  - **avec limitation de profondeur selon le mélange**
  - Plus de sécurité
- Utilisation d'un ordinateur Nitrox
  - Doit être programmé pour le mélange avant la plongée
  - Plus de souplesse
  - Plus simple

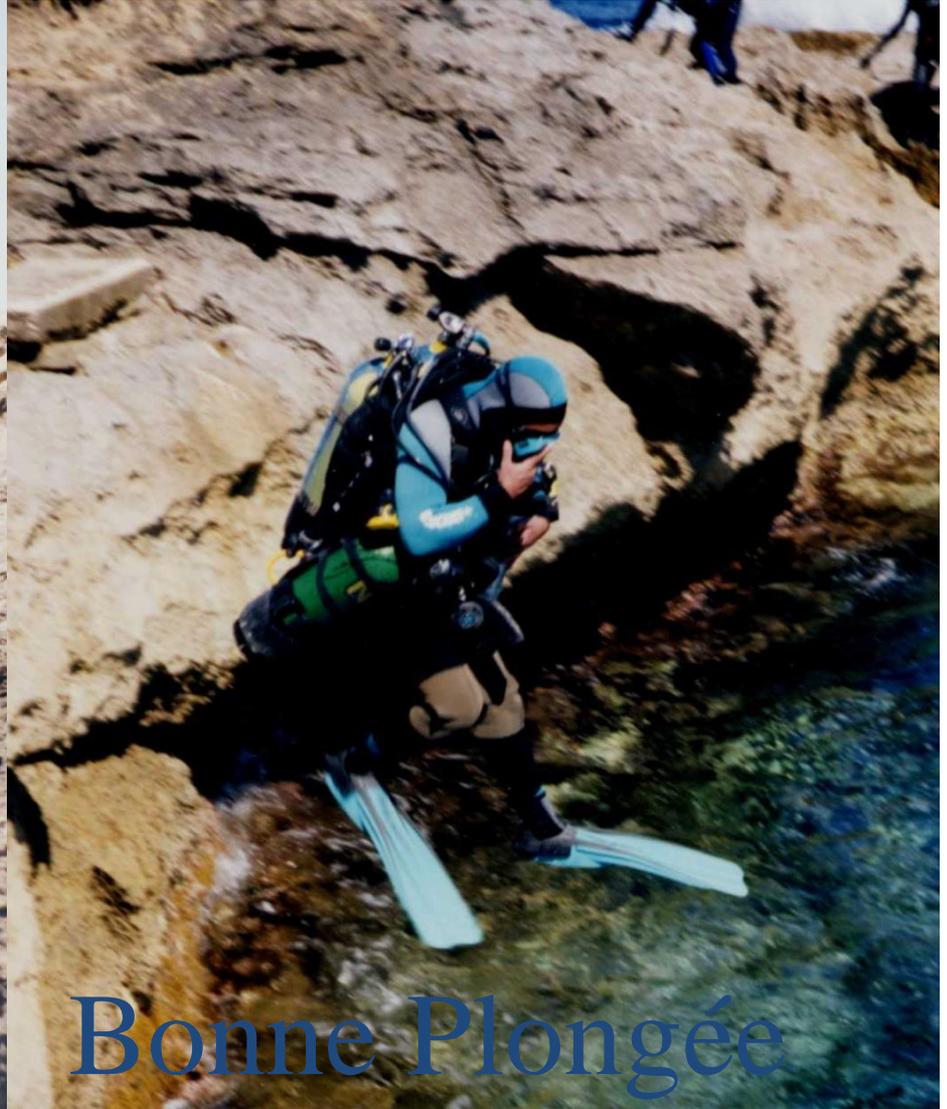
# Plongeur Nitrox

- Conditions et Prérogatives
- Nitrox: C'est quoi?
- Nitrox: Lequel?
- Lois Physiques
- Nitrox: Pourquoi?
- Effets Physiologiques
- Nitrox: Quel Mélange?
- Nitrox: Matériel
- Nitrox: Procédures
- **Conclusion**

# Conclusion

- Nitrox augmente la durée de plongée
- Nitrox réduit l'intervalle surface
- Nitrox peut augmenter la sécurité
- Avec Nitrox on plonge moins profond mais ce peut être utiliser pour réduire le palier pour une plongée profonde
- Formules à retenir
  - $Press_{abs}(\text{bar}) = Prof(\text{m})/10+1$   
 $= (Prof(\text{m}) +10)/10$
  - $Prof(\text{m}) = (Press_{abs}(\text{bar}) -1)*10$   
 $= Press_{abs}(\text{bar}) *10 -10$
- Après le Plongeur Nitrox
  - ... Plongeur Nitrox Confirmé
  - ... Moniteur Nitrox Confirmé





Bonne Plongée