

NITROX

EAN (Enriched Air Nitrox)

Histoire du Nitrox Civil

- ✓ 1770 : LAVOISIER propose le terme O₂
- ✓ 1785 : LAVOISIER distingue les éléments constitutifs de l'air et réalise sa célèbre expérience de décomposition et de synthèse de l'eau : « rien ne se perd tout se transforme »
- ✓ 1794 : REDDOES utilise l'EANX comme gaz médical
- ✓ 1874 : PAUL BERT identifie la toxicité du système nerveux central (SNC)
- ✓ 1879 HENRY FLEUSS réalise la 1ère plongée au nitrox avec un mélange (50/60)
- ✓ 1913 : En Allemagne, DRAGERWERK fabrique un scaphandre produisant automatiquement du nitrox 60

Histoire du Nitrox Militaire

✓ 1940 : Développement du recycleur semi fermé qui utilise le nitrox 60 pour les plongées à 20m

☞ La Pp O2 limite, de 2b, est identifiée comme limite cruciale par la Royal Navy et l'US Navy

☞ A cette époque les plongées aux mélanges sont du domaine «secret militaire»

☞ Des recycleurs à circuit fermé avec 60% O2 sont utilisés dans des opérations «commando» lors de la seconde guerre mondiale

✓ 1950 : Les descendants de ces systèmes sont utilisés par les militaires

✓ 1959 : Parution des premiers livres qui dévoilent la plongée militaire aux mélanges

♀→

Histoire du Nitrox Commercial

- ✓ 1950 : EANX et O2 sont utilisés en mélanges fond et décompression à l'ombilical en circuit ouvert et en chambre de décompression
- ✓ 1970 : Le National Oceanographic Atmospheric Administration (NOAA) aux USA commence à développer les procédures et les tables nitrox
- ✓ 1979 : Première publication dans la 2eme édition du NOAA Diving Manual mais impose un caisson pour chaque plongée avec paliers. Ces normes professionnelles sont trop contraignantes pour les plongées loisirs et donc non applicables
- ✓ 1995 : Plus de 15000 plongées sans incidents réalisées au nitrox en mer du nord

↗

Thérapie et Médecine Hyperbare

- ✓ Le nitrox est utilisé régulièrement comme gaz thérapeutique depuis plus de 40 ans
- ✓ L'O₂ et le nitrox sont utilisés de façon croissante dans des traitements non liés à la plongée
- ✓ Le traitement des maladies de décompression utilise l'O₂ jusqu'à une PpO₂ de 3 bar et des profondeurs de 50m (surpression pulmonaire)

↗

Plongée loisir et technique

- ✓ Les spéléologues et les archéologues sont les premiers plongeurs à utiliser les mélanges suroxygénés en plongée
- ✓ Les plongeurs profonds utilisent depuis longtemps l'O₂ pur pour raccourcir leur décompression
- ✓ 1986 : Dick RUTKOWSKI est reconnu comme le promoteur initial de l'EANX en plongée loisir. Création de International Association Nitrox Diver (IANTD) première fédération de loisirs
- ✓ Des milliers de plongeurs loisirs utilisent actuellement le Nitrox pour augmenter leur sécurité en plongée

↗

La FFESSM et le NITROX

- ✓ Plongeur Nitrox
- ✓ Plongeur Nitrox Confirmé
- ✓ Moniteur Nitrox



Conditions de candidature

- ✓ Etre titulaire de la licence FFESSM en cours de validité.
 - ✓ Etre âgé d'au moins 14 ans à la date de délivrance de la qualification de plongeur nitrox
 - ✓ Etre titulaire du brevet de plongeur niveau 1 de la FFESSM ou d'un titre admis en équivalence
 - ✓ Présenter le carnet de plongée
 - ✓ Avoir effectué un minimum de 10 plongées dans la zone des 20m attestées sur le carnet de plongées ou par la mention sur le passeport ou par fiche justificative dûment remplie
 - ✓ Etre en possession d'un certificat médical de non contre indication à la pratique de la plongée subaquatique établi depuis moins d'un an à la date d'exécution des épreuves

Organisation Générale / Prérrogatives

- ✓ La qualification est obtenue après 2 plongées minimum
- ✓ Les plongeurs titulaires de la qualification pourront utiliser le mélange nitrox le plus approprié avec un maximum de 40% d'oxygène

↪



Conditions de candidature

- ✓ Etre titulaire de la licence FFESSM en cours de validité.
 - ✓ Etre âgé d'au moins 16 ans à la date de délivrance de la qualification de plongeur nitrox confirmé
 - ✓ Etre titulaire du brevet de plongeur niveau 2 de la FFESSM ou d'un titre admis en équivalence
 - ✓ Etre titulaire de la qualification Nitrox Simple de la FFESSM ou d'un titre admis en équivalence
 - ✓ Présenter le carnet de plongée
 - ✓ Avoir effectué un minimum de 6 plongées Nitrox dont 4 au moins pendant la formation Nitrox Confirmé
 - ✓ Avoir effectué un minimum de 10 plongées dans la zone des 30m attestées sur le carnet de plongées ou par la mention sur le passeport ou par fiche justificative dûment remplie
 - ✓ Etre en possession d'un certificat médical de non contre indication à la pratique de la plongée subaquatique établi depuis moins d'un an à la date d'exécution des épreuves

Organisation Générale / Prérrogatives

✓ La qualification est obtenue après 6 plongées Nitrox minimum dont 4 au cours de la formation, attestées par un Moniteur Nitrox.

✓ Les plongeurs titulaires de la qualification pourront utiliser tous les mélanges nitrox et l'utilisation de l'oxygène pur en décompression

↪



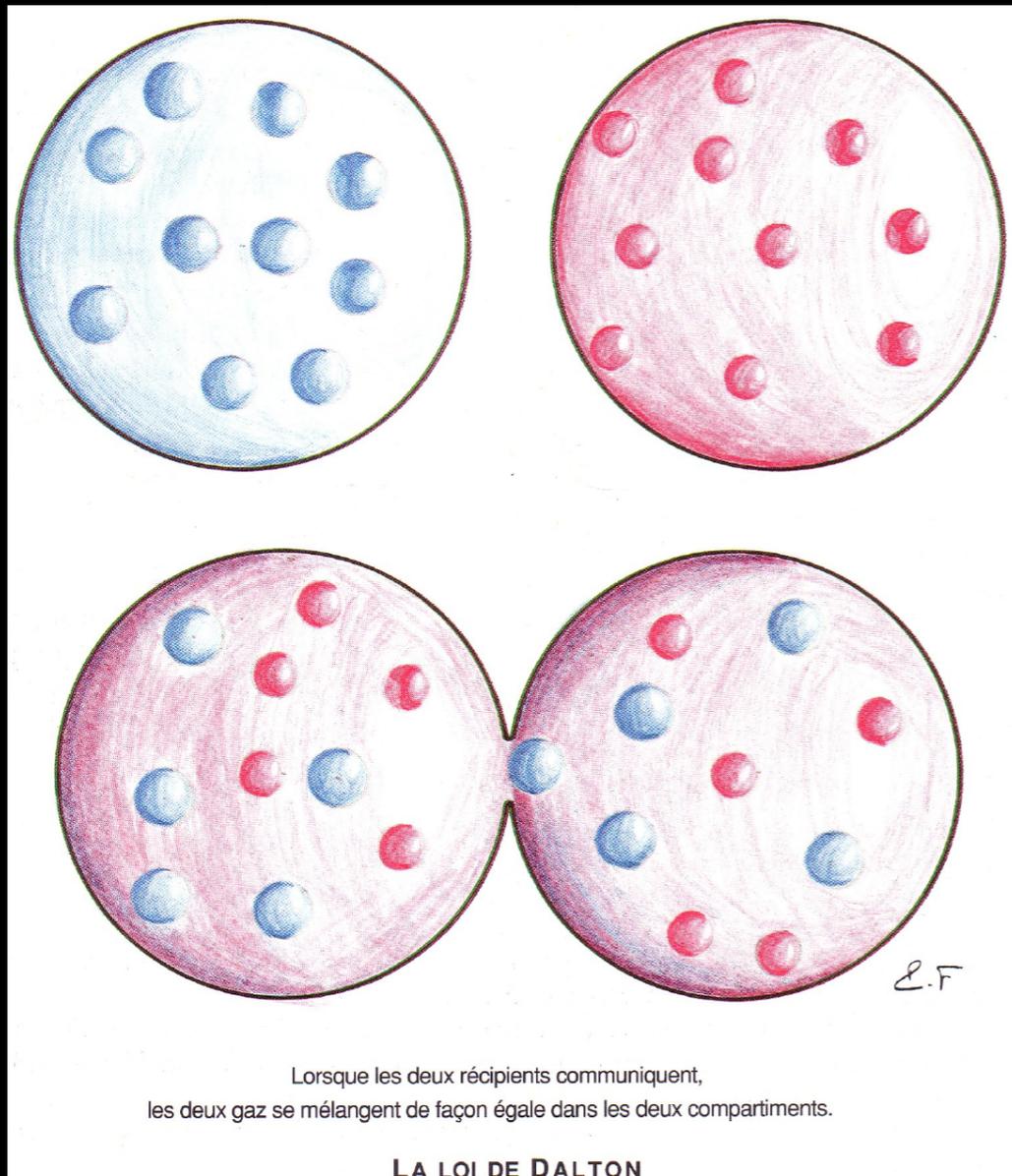
Conditions de candidature

- ✓ Etre titulaire de la licence FFESSM en cours de validité.
 - ✓ Etre âgé d'au moins 18 ans à la date de délivrance de la qualification de moniteur nitrox
 - ✓ Etre titulaire du brevet de moniteur fédéral 1er degrés de la FFESSM ou du BEES 1er plongée subaquatique
 - ✓ Etre titulaire de la qualification nitrox confirmé
 - ✓ Etre en possession d'un certificat médical de non contre indication à la pratique et à l'enseignement établi depuis moins d'un an à la date de la candidature et délivré par un médecin spécialiste (fédéral, CES de médecine du sport, médecin hyperbare)

↗



Rappel : La Loi de DALTON



✓ La pression exercée par un mélange gazeux est égale à la somme des pressions partielles de chacun des gaz constituant le mélange.

✓ La pression partielle d'un gaz constituant un mélange est la pression que ce gaz exercerait s'il occupait seul le volume occupé par le mélange .

✓ La pression partielle d'un gaz constituant un mélange est égale au produit de la pression totale du mélange par la concentration (%) du gaz dans le mélange.

$$\text{Donc } P_p = P_{\text{abs}} \times X/100$$

$$\text{Donc } P_{\text{abs}} = P_p \times 100/X$$

On peut donc en déduire :

$$P_p = P_{\text{Abs}} \times \% \text{ du mélange}$$

$$P_{\text{Abs}} = P_p / \% \text{ du mélange}$$

$$\% \text{ du mélange} = P_p / P_{\text{Abs}}$$

Qu'est ce que le NITROX

Le terme de **NITROX** vient de l'association : Azote (**NITR**ogen en anglais) et **OX**ygène,
il désigne en fait tout mélange de ces deux gaz :

- ✓ Un Nitrox particulier de l'air atmosphérique
- ✓ Une convention pour la désignation des mélanges
- ✓ xx / yy
- ✓ xx pour le % d'oxygène
- ✓ yy pour le % d'azote
- ✓ Ainsi, un nitrox 40/60 contient 40% d'oxygène et 60% d'azote
- ✓ S'il contient moins de 21 % d'O₂ on dira qu'il est sous oxygéné
- ✓ S'il contient plus de 21 % d'O₂ on dira qu'il est sur oxygéné

↪

Avantages liés à l'utilisation du NITROX

- ✓ Augmenter le temps d'immersion sans palier
 - ✓ Diminuer le temps de palier
 - ✓ Diminuer le volume de gaz consommé (10 à 15%)
 - ✓ Diminuer le risque d'essoufflement pour un effort donné
 - ✓ Procurer un meilleur confort à l'issue de la plongée
 - ✓ Diminuer le risque d'ADD pour un même profil de plongée
 - ✓ Pour les plongées à l'air dans la zone des 40m, diminuer le risque de narcose
- ♀→

Inconvénients liés à l'utilisation du NITROX

- ✓ Limitation de profondeur d'utilisation par rapport à l'air
 - ✓ Toxicité de l'oxygène, en Pp ou en temps d'exposition
 - ✓ Manipulation des gaz plus contraignante
 - ✓ Demande une plus grande rigueur générale !!!

♀→

Incidences physiologiques de l'Oxygène

Le double effet K Cool !!!

✓ Effet Paul Bert (1878)

Exposition de courte durée à des pressions supérieures à 1,6 bars
Atteinte neurologique
Crise hyperoxique

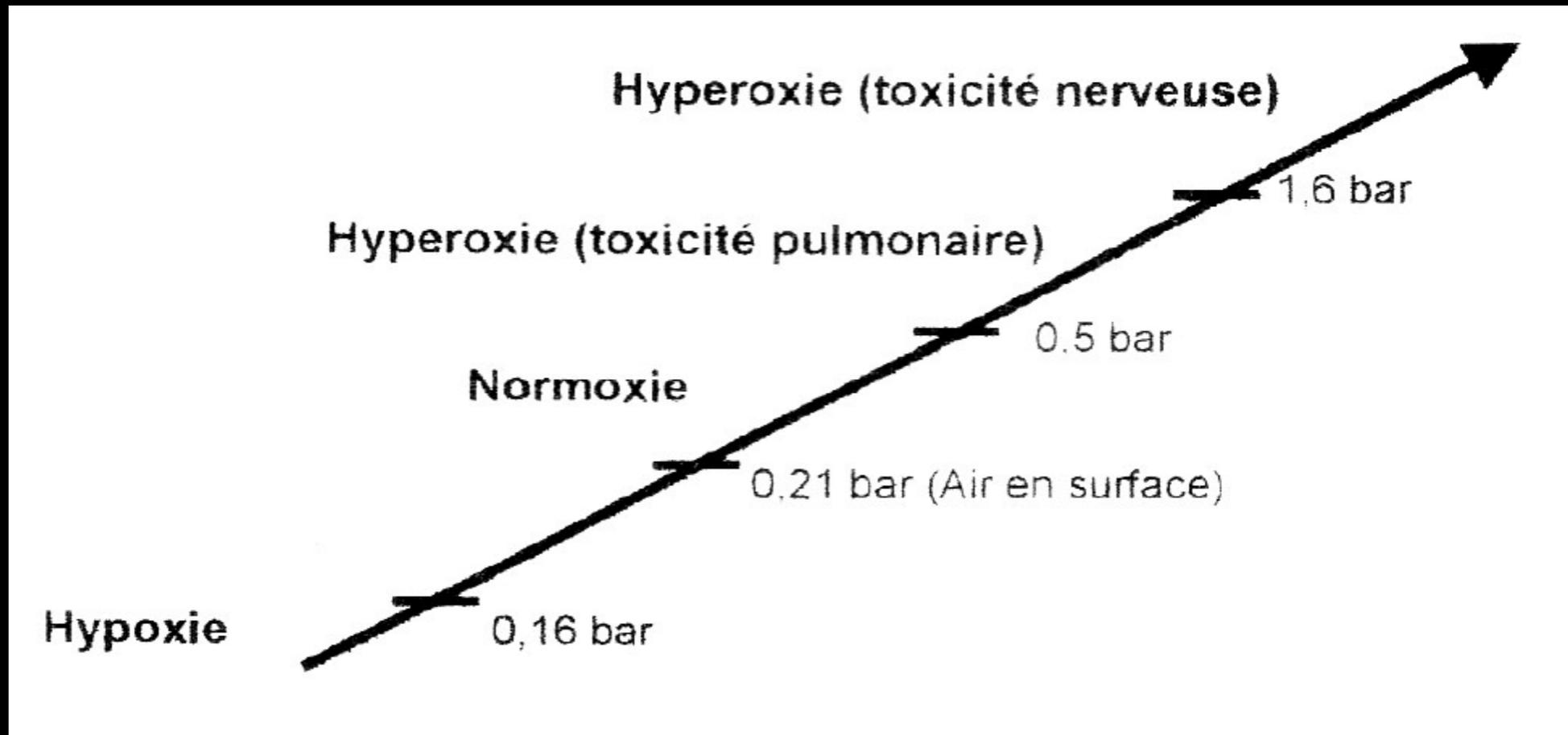
✓ Effet Lorrain Smith (1897)

Exposition de longue durée à des pressions supérieures à 0,5 bars
Atteinte pulmonaire

Tout est une question de dose
!!!



Incidences physiologiques de l'Oxygène



Incidences physiologiques de l'Oxygène

✓ La Normoxie

On appelle normoxie l'état du corps pour lequel le dioxygène en concentration normale dans le sang permet une activité normale. Dans la pression atmosphérique, la teneur en oxygène de l'air inhalé doit se situer dans la normal entre 19% et 21%

✓ L'Hypoxie

Terme issu du grec hupo : sous et oxus : oxygène

Diminution de la quantité d'oxygène distribuée aux tissus par le sang par unité de temps. $P_p < 0,16b$

On retrouve ce problème en cas de mélange mal fait (Trimix ou Recycleur)

✓ L'Hyperoxie

Notre organisme tolère une P_p comprise entre 0,17 et 0,5 bar, au delà, on parle d'hyperoxie.

$\geq 0,5$ bar hyperoxie pulmonaire

= 1,6 bar toxicité nerveuse

Limites et effets de l'Oxygène

CONCENTRATION	EFFETS
0 b	Coma ou mort
0,10 b	Perte de connaissance
0,12 b	Sérieux signes hypoxique
0,16 b	1er signes de l'hypoxie
0,17 b	Limite minimum de concentration O2 pour la réglementation Française
0,21 b	Pp O2 normal de l'air
0,35 b	Exposition normale à saturation et signes de l'effet Lorrain-Smith
0,50 b	Exposition maximale à saturation
1,40 b	Pp recommandée en plongée loisir
1,50 b	Limite max d'utilisation en travail off shore
1,60 b	Limite max d'utilisation en plongée loisir et sans effort pour l'US Navy et la réglementation Française
2,40 b	60/40 nitrox thérapeutique à 6 bar
3,00 b	50/50 nitrox thérapeutique à 6 b

Incidences physiologiques de l'O2

Pression partiel d'O2 en fonction de la profondeur (bar)

Profondeur (m)	Profondeur (Pieds)	Pression (ATA)	PpO ₂ Air	PpO ₂ Nitrox 32/68	PpO ₂ Nitrox 36/64	PpO ₂ Nitrox 40/60
0	0	1,00	0,21	0,32	0,36	0,40
5	15	1,50	0,32	0,48	0,54	0,60
10	30	2,00	0,42	0,64	0,72	0,80
15	45	2,50	0,53	0,80	0,90	1,00
20	61	3,00	0,63	0,96	1,08	1,20
25	76	3,50	0,74	1,12	1,26	1,40
30	91	4,00	0,84	1,28	1,44	1,60
35	106	4,50	0,95	1,44	1,62	1,80
40	121	5,00	1,05	1,60	1,80	2,00
45	136	5,50	1,16	1,76	1,98	2,20
50	152	6,00	1,26	1,92	2,16	2,40
55	167	6,50	1,37	2,08	2,34	2,60
60	182	7,00	1,47	2,24	2,52	2,80
65	197	7,50	1,58	2,40	2,70	3,00

Toxicité de L'O₂ sur le système nerveux central

Effet Paul Bert

- Mécanisme de l'hyperoxie

L'hyperoxie (trop d'oxygène) apparaît quand $P_{pO_2} > 0,5$ bar.
Les effets nocifs de l'oxygène proviennent des propriétés chimiques des ions O^\bullet (on les appelle "radicaux libres").
Les radicaux libres provoquent une altération fonctionnelle des cellules nerveuses et déclenchent des accidents neuro-toxiques. Les mécanismes de régulation du taux de radicaux libres sont complètement dépassés si on respire un air trop riche en oxygène.
En fonction du temps d'exposition à l'oxygène et de sa pression partielle, les radicaux libres provoqueront une altération fonctionnelle des cellules nerveuses (accident neuro-toxique), voire une altération morphologique au niveau des alvéoles pulmonaires si l'exposition est très longue.

Toxicité de L'O2 sur le système nerveux central

Effet Paul Bert

Approche traditionnelle ➔ Courbe Durée /
PpO2

Ceci pour un sujet au repos en caisson

- 6m délai 240 mn (PpO2 = 1,6 bars)
- 9m délai 80 mn (PpO2 = 1,9 bars)
- 11m délai 25 mn (PpO2 = 2,1 bars)
- 12m délai 15 mn (PpO2 = 2,2 bars)
- 13m délai 10 mn (PpO2 = 2,3 bars)
- 15m délai 5 mn en pointe....(PpO2 = 2,5 bars)

Toxicité de L'O₂ sur le système nerveux central

Effet Paul Bert

- L'effet Paul Bert

La toxicité neurologique (atteinte du système nerveux central SNC) de l'oxygène survient à partir d'une PpO₂ > 1,6 bar.

Cette toxicité se manifeste par une crise convulsive avec perte de connaissance appelée "Effet Paul Bert".

Il s'agit d'une crise convulsive généralisée semblable à une crise de grand mal épileptique, parfois précédée de signes annonciateurs 10% des cas.

Toxicité de L'O2 sur le système nerveux central

Effet Paul Bert

- Les signes avant-coureurs

La crise convulsive hyperoxique apparaît le plus souvent sans signes avant-coureurs.

Elle peut cependant être précédée de signes annonciateurs :

- accélération paradoxale de la fréquence cardiaque (tachycardie)
- secousses musculaires, spasmes
- nausées (40% des cas)
- crampes, contractures de la face (20% des cas)
- anxiété ou confusion
- troubles de la vue, nystagmus
- vertiges (17% des cas)

Toxicité de L'O2 sur le système nerveux central

Effet Paul Bert

- La crise hyperoxique

- ✓ Phase tonique : de 30 secondes à 2 min pendant laquelle surviennent des contractions musculaires généralisées, des crampes, un arrêt ventilatoire éventuel et/ou une perte de connaissance. Il ne faut pas remonter la victime à ce moment sous peine de l'exposer à une surpression pulmonaire due au blocage de la glotte. On maintiendra la victime à la profondeur, le détendeur en bouche
- ✓ Phase clonique : de 2 à 3 minutes pendant laquelle ont lieu des convulsions ainsi qu'une ventilation irrégulière. Ressemblant à une crise d'épilepsie elle est caractérisée par des secousses musculaires. On peut alors remonter la victime en ayant une attention particulière sur son expiration, la tête en extension pour aider à l'expiration avec maintien du détendeur en bouche
- ✓ Phase résolutive : de 5 à 30 minutes avec un relâchement musculaire, une reprise progressive de la conscience, des signes de confusion, voire d'agitation. Le sauvetage se poursuit avec maintien du détendeur

Toxicité de L'O2 sur le système nerveux central

Effet Paul Bert

- Prévention

- ✓ Vérification PERSONNELLE et SYSTÉMATIQUE du % d'O2 embarqué
- ✓ Respect strict de la profondeur maxi d'utilisation
- ✓ Vérification systématique des temps d'exposition en cas de plongées successives au nitrox : notion de compteur SNC

♀→

Compteur SNC (Système Nerveux Central)

- ✓ Les équipes des Dr LAMBERTSEN et BUTLER ont élaboré une méthode pour suivre la toxicité de l'O₂ sur le SNC, il s'agit du : % SNC ou CNS Clock
- ✓ % du compteur SNC = $\frac{\text{durée d'exposition à une Pp O}_2 \text{ donnée}}{\text{durée maximal donnée par la table NOAA}}$
- ✓ Maximum « théorique » admissible de 100%

↗

Compteur SNC (Système Nerveux Central)

Table du NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration's)

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION'S Pressions partielles d'oxygène et durées limites d'exposition pour des plongées au Nitrox		
ATA	Simple exposition (min)	Durée maximale d'exposition pendant 24h (min)
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	300	300
0,9	360	360
0,8	450	450
0,7	570	570
0,6	720	720

% d'exposition SNC

0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	PpO2
											%
36	29	23	18	15	12	11	9	8	6	2	5 %
72	57	45	36	30	24	21	18	15	12	4	10 %
108	86	68	54	45	36	32	27	23	18	6	15 %
114	114	90	72	60	48	42	36	30	24	9	20 %
		113	90	75	60	53	45	38	30	11	25 %
			108	90	72	63	54	45	36	13	30 %
				105	84	74	63	53	42	15	35 %
				120	96	84	72	60	48	18	40 %
Temps de plongée en min					108	95	81	68	54	20	45 %
					120	105	90	75	60	22	50 %
						116	99	83	66	24	55 %
							108	90	72	27	60 %
							117	98	78	29	65 %
								105	84	31	70 %
								113	90	33	75 %
								120	96	36	80 %
									102	38	85 %
									108	40	90 %
									114	42	95 %
									120	45	100 %

Horloge Oxygène

Pour des profils de plongée complexes (multi mélanges et multi profondeurs):

On découpe la plongée en section de valeur constante de PpO₂, on additionne ensuite les % SNC pour connaître la valeur finale.

Pourcentage d'Horloge Oxygène accumulé par minute en fonction de la PpO₂

PpO ₂	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
% SNC/min	0,14	0,18	0,22	0,28	0,33	0,42	0,47	0,56	0,65	0,83	2,22

Compteur SNC

Exemple de calcul 1

Exemple d'une plongée de 20mn à 30 m avec un nitrox 40

$$PpO_2 = 4 \text{ bar} \times 0,4 \text{ soit } 1,6 \text{ bar}$$

Pour une PpO_2 de 1,6 bar la table NOAA donne un temps maximum d'exposition de 45 minutes

Donc le % du compteur SNC = 20/45 soit 44%

Compteur SNC

Exemple de calcul 2

Exemple d'une plongée de 30mn à 30 m avec un nitrox 40

$$PpO_2 = 4 \text{ bar} \times 0,4 \text{ soit } 1,6 \text{ bar}$$

Pour une PpO_2 de 1,6bar la table NOAA donne un temps maximum d'exposition de 45 minutes

Donc le % du compteur SNC = 30/45 soit 66,7%

Compteur SNC

- Règles pour ne pas faire n'importe quoi ...

✓ Si plusieurs plongées, ajouter le % de chaque plongée sans jamais dépasser 100% ✓ Respecter un intervalle surface de 45 min si un SNC de 50% à 80% est atteint après une plongée ✓ De 80 à 99%, on respectera un intervalle surface d'au moins deux heures ✓ A 100%, l'intervalle sera de 12 heures ✓ A partir d'un intervalle de surface de 90 minutes, la toxicité du SNC baisse de 50% vu que l'oxygène est métabolisé par l'organisme

Donc on récupère de 50% toutes les 90 min

Compteur SNC

Le matin

60 min à 25m avec un Nx 40 ($3,5 \times 0,4$)
PpO₂ max : 1,4bar (expo max = 150min)
% SNC = 40%

une heure après

40 min à 37m avec un NX 32 ($4,7 \times 0,32 = 1,5$)
PpO₂ max : 1,44 bar (expo max 120 min)
% SNC = 33,3%

comme il y a moins de 90 min entre les 2 plongées
 $40 + 33,2 = 73,3 \%$

3 heures plus tard, plongée de nuit

60 min à 30 m avec un Nx 36 ($4 \times 0,36 = 1,44$)
% SNC = 50%

Comme il a attendu 3 heures (2×90 min)
%SNC total : $(73,3 / 4) + 50 = 68,3 \%$



Toxicité de L'O₂ sur le système pulmonaire

Effet Lorrain Smith

- Physiopathologie

L'effet LORRAIN SMITH est la toxicité pulmonaire de l'oxygène suite à de longues expositions à une pression partielle d'oxygène comprise entre 0,5 b et 1 bar. Il se produit une inflammation des tissus alvéolaires, une détérioration du surfactant, un suintement sanguin, entre les alvéoles, qui forme une couche poisseuse puis une membrane, une destruction des capillaires et des lésions alvéolaires. C'est une pneumonie toxique par brûlure alvéolaire entraînant des dégâts irréversibles et conduisant à la mort. Les symptômes sont progressifs. Lors de plongée sportive à l'air ce risque pulmonaire n'existe pas

Toxicité de L'O2 sur le système pulmonaire

Effet Lorrain Smith

En résumé ➔ «Irritation» des poumons liée à la capacité « oxydante » de l'oxygène

Conditions d'apparitions :

- Apparition lente et progressive
- Longue exposition (plusieurs heures) Disparait si $P_p O_2 < 0,5$ bNe
concerne pas la plongée à l'air
- Prise en compte pour
 - l'oxygénothérapie hyperbare - les plongées / paliers prolongées en hyperoxie- les plongées à saturation
- Association avec certains médicaments (décongestionnant nasal)

Toxicité de L'O2 sur le système pulmonaire

Effet Lorrain Smith

- Les signes et symptômes

- face rose
- douleur rétrosternale qui augmente progressivement en intensité et tend à se propager
- dyspnée avec toux paroxystique d'intensité croissante avec la durée d'exposition, oedème intra alvéolaire
- diminution progressive de la capacité vitale
- irritation de la trachée et des bronches, crachats
- congestion, sensation d'étouffement, insuffisance respiratoire
- le surfactant perd ses propriétés stabilisatrice des parois alvéolaire
- les fibroblastes et le collagène envahissent l'insertitium alvéolaire et la mort survient par anoxie

↳ La FFESSM, limite à 2h00 la plongée au Nitrox

Toxicité de L'O₂ sur le système pulmonaire

Effet Lorrain Smith

Quantification de la capacité oxydante grâce à deux unités:

- ✓ L'Oxygen Toxic Unit ou OTU
- ✓ Unit of Pulmonary Toxic Dose ou UPTD

UPDT unité équivalente à OTU,
exprimant le degrés de toxicité produit par l'oxygène sur les poumons,
lorsqu'on respire de l'oxygène pur à 100% à 1 Atm durant 1 minute

Bien que ces 2 mesures soient égales le protocole d'utilisation est légèrement différent : la dose journalière admissible d'UPTD est de 1440 et de 850 pour les
OTU

L'Oxygen Toxic Unit ou OTU

- ✓ Hamilton (un hyperbariste américain) a introduit cette nouvelle unité : l'OTU (Oxygen Toxicity Unit) en 1989 qui prend en compte les effets pulmonaires.
- ✓ Les OTU permettent de surveiller l'effet Lorrain-Smith
- ✓ Une OTU correspond au degré de toxicité pulmonaire d'une minute de ventilation à 100% d'O₂ à la pression de 1 bar
- ✓ Les OTU se calculent quand la P_p O₂ est supérieure à 0,5 bars
- ✓ Elles sont cumulatives sur plusieurs journées

↗

L'Oxygen Toxic Unit ou OTU

Numéro des jours consécutifs de plongées	dose maximale d'OTU par jour	Dose cumulée maximale d'OTU
consécu 1	850	850
2	700	1400
3	620	1860
4	525	2100
5	460	2300
6	420	2520
7	380	2660
8	350	2800
9	330	2970
10	310	3100

- La dose journalière admise par les Anglo-saxons est de 1500 OTU à laquelle il faut retirer 650 OTU pour permettre un traitement en caisson hyperbare soit 850 OTU par jour.

- En France, elle a été quantifiée par les professionnels, et notamment par le Docteur Hardette à 600 OTU par jour, ce qui permet de laisser une marge suffisante en cas de traitement d'accident à la suite d'une plongée

- Par ailleurs, il y a un effet cumulatif d'où une diminution des doses admissibles sur plusieurs jours

Calculer les OTU

Pp O2	OTU par min
0,5	0
0,6	0,27
0,7	0,47
0,8	0,65
0,9	0,83
1	1
1,1	1,16
1,2	1,32
1,3	1,48
1,4	1,53
1,5	1,78
1,6	1,92

- Dans la pratique, cela représente 312 minutes de plongées (un peu plus de 5 heures) à 1,6 bars

la première journée.

- Cela représentera 182 minutes de plongées à 1,6 bars le 8 ème jour (soit 3 heures) ce qui ne peut pas etre atteint à moins de réaliser 3 plongées par jours dans des eaux peu profondes (semaines de plongées en Egypte...).

- La toxicité pulmonaire ne concernera donc pas le plogeurs de loisir dans les conditions habituelles de plongées le long de nos cotes.

L'Oxygen Toxic Unit ou OTU

Exemple de calcul

Exemple d'une plongée de 30mn à 30 m avec un nitrox

$$PpO_2 = 1,6 \text{ b} \quad 30 \times 1,92 = 57,6 \text{ OTU}$$

Un tableau donne les doses maximales d'OTU acceptables par
jour

Ces doses sont cumulables d'un jour à l'autre

Unit of Pulmonary Toxic Dose ou UPTD

- ✓ Suite aux nombreux relevés effectués sur les militaires, les scientifiques et les plongeurs spéléologues utilisent la notion d'UPTD
- ✓ une UPTD est définie comme la dose toxique pulmonaire après avoir respiré de l'oxygène pur à 1 bar de pression pendant 1 minute
1 UPTD = 1 bar d'oxygène respiré pendant 1 minute
- ✓ la valeur maximal admissible par jour en terme d'UPTD est fixée à 1440 UPTD

➡ Traitement avec 1 bar d'oxygène respiré pendant 24 heures :

$$24\text{h} \times 60\text{ min} \times 1\text{ UPTD}/\text{min} = 1440\text{ UPTD}$$

En pratique, en plongée loisir le seuil maximal admissible est de 625 UPTD par jour

- ✓ OTU et UPTD sont équivalentes car basées sur les mesures de capacité vitale et la même expression mathématique

Unit of Pulmonary Toxic Dose ou UPTD

Pp O2	UPTD/ min
0,5	0,0
0,6	0,28
0,7	0,47
0,8	0,65
0,9	0,83
1	1,00
1,1	1,16
1,2	1,32
1,3	1,48
1,4	1,62
1,5	1,78
1,6	1,93
1,7	2,07
1,8	2,22
1,9	2,36

comment utiliser ce tableau ?

comme pour la table NOAA

Quelle est la dose toxique pulmonaire accumulée avec une PpO2 de 1,4 bar pendant 45 min ?

$$Pp O_2 = 1,4b \rightarrow UPTD/min = 1,62$$

$$\begin{aligned} \text{après 45 minutes} &\rightarrow UPTD \times 45 \\ &= 1,62 \times 45 \\ &= 72,9 \text{ UPTD} \end{aligned}$$

Unit of Pulmonary Toxic Dose ou UPTD

Pp O2	UPTD/ min
0,5	0,0
0,6	0,28
0,7	0,47
0,8	0,65
0,9	0,83
1	1,00
1,1	1,16
1,2	1,32
1,3	1,48
1,4	1,62
1,5	1,78
1,6	1,93
1,7	2,07
1,8	2,22
1,9	2,36

Après une plongée de 60 min sur un fond de 38 m, quelle sera la dose toxique pulmonaire accumulée ? (Nitrox 32)

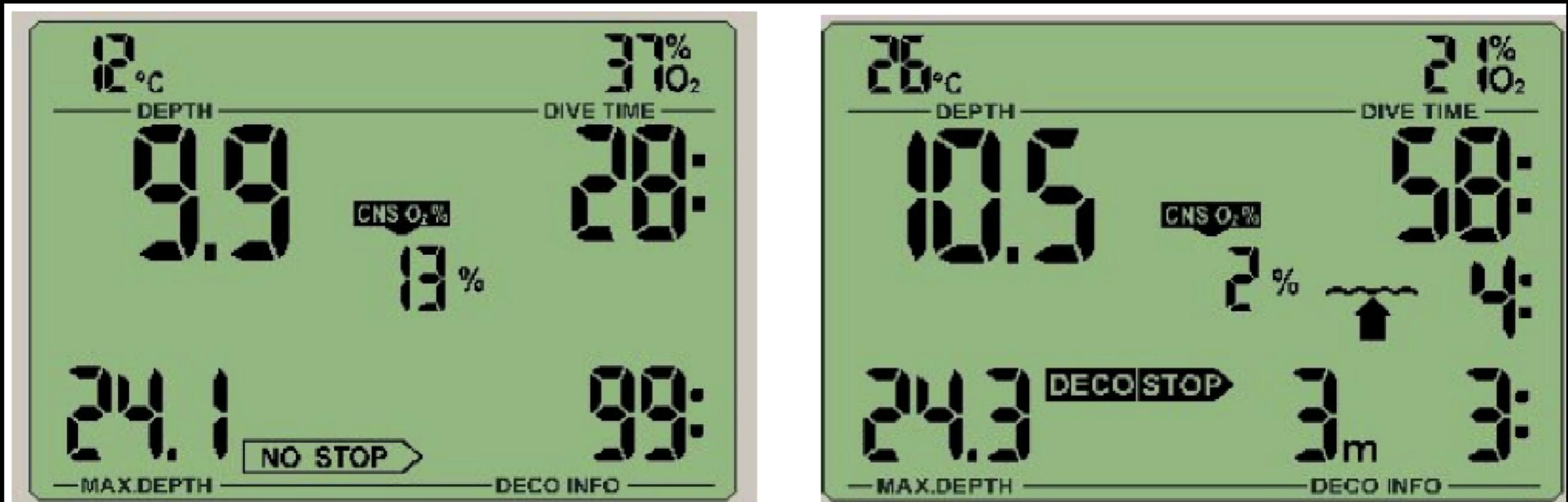
$$\text{A } 38\text{m} \rightarrow \text{Pp O}_2 = 4,8\text{b} \times 0,32 = 1,54$$

$$\text{UPTD/min} = 1,93 \rightarrow \text{après 60 min : } 116 \text{ UPTD}$$

Après cette plongée, le plongeur peut prendre encore 1440 - 116 soit 1324 UPTD

En cas d'accident et de re-compression thérapeutique, la marge de manoeuvre des médecins reste confortable

Prise en compte de la CNS par les ordinateurs



La décompression lors de la plongée Nitrox

Un des objectifs majeurs de la plongée au Nitrox est de diminuer la charge de gaz inerte reçue. donc 2 pôles d'intérêts se dégagent

- Soit, pour une profondeur et une durée données, on cherche à réduire la charge en azote (ce qui permettra de minimiser les durées de paliers voire de ne pas en faire dans un profil ou les plongées à l'air les aurait imposés)
- Soit, pour une profondeur donnée, on souhaite pouvoir rester plus longtemps sans générer plus de paliers que ceux qu'aurait nécessairement impliqué une plongée à l'air

La décompression lors de la plongée Nitrox

- Généralités

- Choix de la MN 90 mélange 40/60 ; 36/68 ; 32/68
 - Extrapolation des tables à l'air
 - Pas de modification du modèle (nombre de compartiment sauf déco oxy pur compartiment 240 minutes et du Sc)
 - Pas de modification de la vitesse de remontée
 - Pas de modification de la profondeur des paliers air 3;6;9m
- Cette table ne dispose pas d'une base de données de référence.
 - Ne pas dépasser 2 heures d'immersion
- Gestion des consécutives, successives et des procédures d'urgence identique à l'air
- Il est conseillé de ne pas dépasser 1,4b de Pp O2 (1,6b maximum)

Calcul de la profondeur air équivalente

La Profondeur Air Equivalente (P.A.E) à une profondeur P :
est la profondeur où la PPN2 de l'air est la même que la PPN2 du nitrox à la profondeur

Hypothèse : « les effets d'une plongée au Nitrox sont équivalents
à ceux d'une plongée à l'air de même durée et à la profondeur équivalente »

on obtient donc l'égalité dans un mélange 40/60

$$PAE \times 0,79 = Pabs \times 0,6$$

Calcul de la profondeur air équivalente

Mode d'utilisation des MN90:

Ces tables sont calculées, à l'origine, pour des plongées à l'air, inutilisables tel quel.

Il faut trouver une profondeur nous donnant une équivalence des pressions partielles

avec le mélange suroxygéné.

$$P.A.E = \frac{P_{abs} \text{ réel} \times \% N_2 \text{ mélange}}{\% N_2 \text{ air}}$$

P.A.E = pression absolue équivalente

P_{abs} = pression absolue

% N₂ mélange = au pourcentage d'azote dans le mélange

% N₂ air = au pourcentage d'azote dans l'air (80%)

Remarque:

- la durée de la remontée est à calculer à partir de la profondeur réelle
- la profondeur équivalente est toujours inférieure à la profondeur réelle

Calcul de la profondeur air équivalente

Exemple de calcul

Quelle est la PEA pour un nitrox 40% respiré à 30m ?

$$P.E.A = \frac{P \text{ abs réelle} \times \% N_2 \text{ mélange}}{\% N_2 \text{ air}_0} \quad O_2 = 40 ; N_2 = 60$$

$$P.E.A = \frac{4 \times 0,60}{0,79} = 3,038 \text{ b} \quad \text{donc}$$

20,38m

Calcul de la profondeur air équivalente

Exercice

A l'aide des table air, calculer les paliers éventuels
d'une
plongée avec un nitrox 40 à 29 m durant 47 minutes

- profondeur plancher ➔ 30 m

Profondeur équivalente ➔ $PAE = \frac{3,9 \times 0,6}{0,79} = 2,96 \text{ bar} = 19,62 \text{ m}$

Comparaison entre Nitrox et Air:

Palier nitrox ➔ table air (50min à 20m) ➔ 4 min à 3 m

Palier air ➔ table air (50min à 20m) ➔ 3 min à 6m + 36 min à 3m

Calcul de la profondeur air équivalente

Profondeur réelle en mètre	Profondeur équivalente pour les tables MN 90		
	32 / 68	36 / 64	40 / 60
12	10	8	8
15	12	12	10
18	15	15	12
20	18	15	15
22	18	18	15
25	22	20	18
28	25	22	20
30	25	25	22
32	28	25	Danger
35	30	Danger	Danger
38	32	Danger	Danger
40	35	Danger	Danger

Calcul de la profondeur maximum

Connaissant la limite de toxicité de l'oxygène (Pp O2 max) quelle profondeur puis je atteindre avec un mélange contenant x% d'oxygène ?

$$\begin{aligned} Pp \text{ O2 max} &= P \text{ abs max} \times \% \text{ O2} \text{ donc:} \\ P \text{ abs max} &< Pp \text{ O2 max} / \% \text{ O2} \end{aligned}$$

Exemple :

Profondeur max pour un nitrox 32/68 avec un seuil de toxicité de l'oxygène à 1,4 bar ?

$$\begin{aligned} P \text{ abs max} &< Pp \text{ O2 max} / \% \text{ O2} \\ P \text{ abs max} &< 1,4 / 0,32 \\ P \text{ abs max} &< 4,375 \\ \text{La profondeur maxi. est de } &33,8\text{m} \end{aligned}$$

Calcul du taux d'oxygène maximum

Connaissant la limite de toxicité d'oxygène ($P_p O_2 \text{ max}$) quel taux d'oxygène (% O_2) maximum puis je utiliser dans mon mélange pour atteindre une profondeur donnée

$$P_p O_2 \text{ max} = P \text{ abs} \times \% O_2$$

donc:

$$\% O_2 < P_p O_2 / P \text{ abs max}$$

-Exemple

Mélange pour une plongée à 30m avec un seuil de toxicité de l'oxygène à 1,4 b ?

$$\% O_2 < P_p O_2 / P \text{ abs}$$

$$\% O_2 < 1,4 / 4$$

$$\% O_2 < 0,35$$

Le taux d'oxygène maxi. est de 35 % on choisira donc un mélange avec un taux d' O_2 inférieur, par exemple un nitrox 32/68

Courbe de sécurité sur la base des MN 90 utilisant un Nitrox 40/60, 36/64, 32/68

Air		Nitrox 40/60		Nitrox 36/64		Nitrox 32/68	
Pronfondeur en m	courbe de sécurité à l'air (min)	profondeur équivalente en m	courbe de sécurité	profondeur équivalente en m	courbe de sécurité	profondeur équivalente en m	courbe de sécurité
10	330	5,00	illimité	6,00	illimité	7,00	illimité
15	75	8,75	illimité	10,00	330	11,25	135
20	40	12,50	75	14,00	75	15,25	50
25	20	16,25	50	18,00	50	19,75	40
30	10	20,00	40	22,00	35	24,00	20
35	10					28,25	10
40	5					32,50	10

Paliers à l'oxygène pur

- On applique la règle des MN90

- Considérer les 2/3 de la durée du palier à l'air
- Arrondir le palier à la minutes supérieure
 - Si la durée du palier à l'oxygène pur est inférieure à 5 min, la ramener à la durée initialement prévue à l'air

• Exemples

- Durée du palier : 8 min à 3m
 - $8 \times 2/3 = 5,3$ min
- Durée du palier à l'oxygène pur : 6 min
 - Durée du palier 6 min à 3m
 - $6 \times 2/3 = 4$ min < 5 min
 - Durée du palier à l'oxygène pur : 5 min