AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Cours Trimix

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Définition Du Trimix

- **Mélange**
  - Oxygène
  - Hélium
  - Azote
- **Pour réduire la narcose**
  - PEN < 5,6 bars soit 60 mètres
- **Pour contrôler la toxicité de l ’O^2**
  - 0,17 < PpO^2 <1,6 bar

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Limites du TRIMIX

- 60 mètres en trimix élémentaire
- 80 mètres en enseignement (E4)
- 120 mètres en autonomie (P3)
- Utilisable dès 30m avec intérêt

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Bénéfices du Trimix

- **Réduire la narcose**
- **Contrôler la toxicité O^2**
- **Moins de palier qu 'avec l'héliox**
  (Pour plongée inférieure à 2h)
- **Densité inférieure à celle de l'air**
  ⇒Meilleur travail des détendeurs en profondeur
  ⇒Diminue le danger de l'essoufflement

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Inconvénients du Trimix

- Problèmes thermiques réels et perçus
- Décompressions plus complexes
- Décompression parfois plus longues qu ’à l ’air
- Utilisation de mélanges de transits et suroxygénés

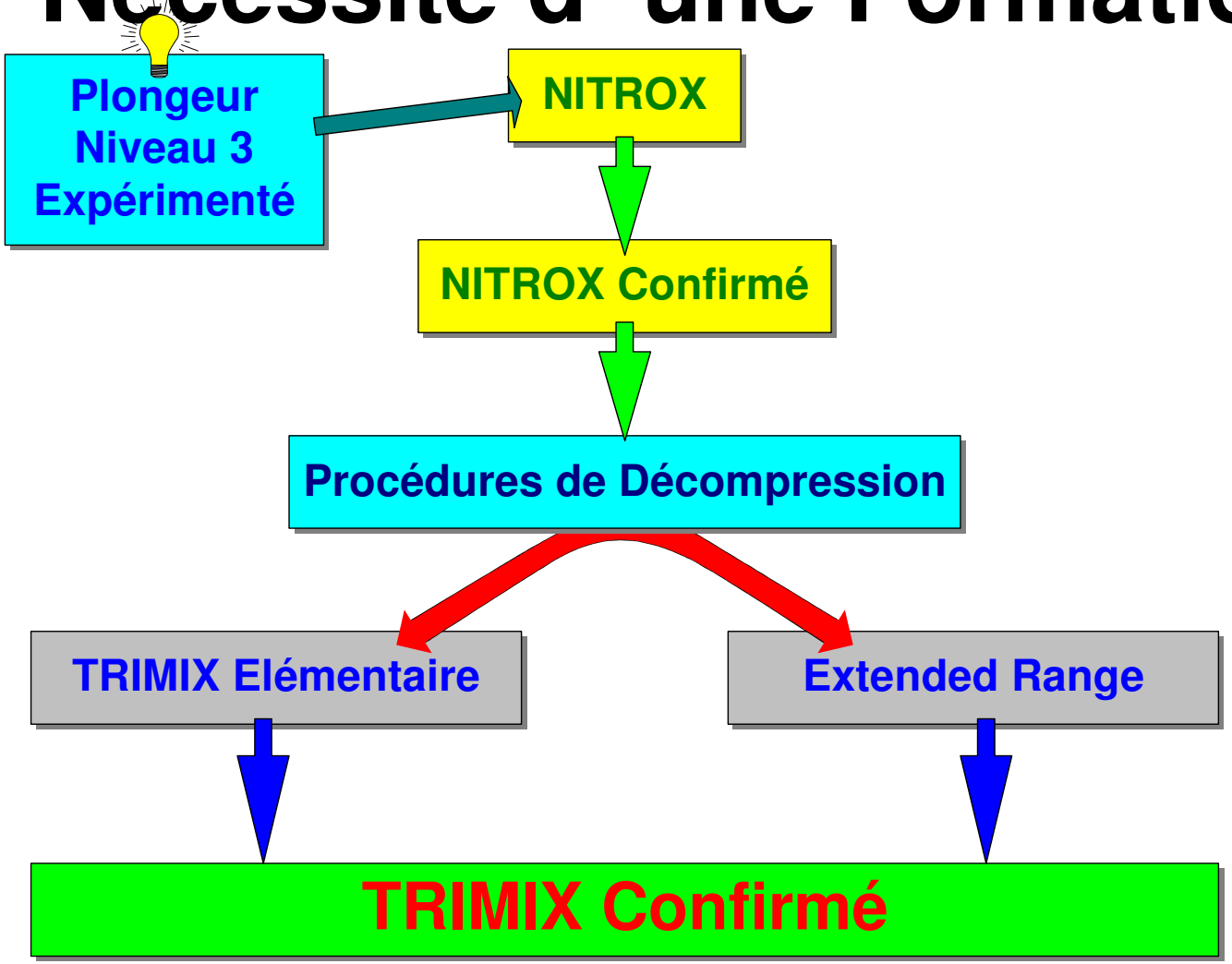
AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Inconvénients du Trimix

- Changements de gaz nécessaires sous l 'eau
- Maladie de décompression à l 'He pouvant être plus hasardeuse qu 'au N^2
- Complexité de préparation et d 'analyse
- Coût de l 'hélium et de l 'O^2 en circuit ouvert

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Nécessité d ’une Formation



AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Plan du Cours Théorique

- Définition et caractéristiques de l ’hélium
- Historique de la plongée aux mélanges
- Rappels physiques
- Physiologie de l’hélium
- Mécanique respiratoire
- Distorsion vocale

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Plan du Cours Théorique

- Hélium & décompression
- Danger d ’un A.D.D au trimix
- Contre-diffusion isobarique
- S.N.H.P
- Problèmes thermiques & P phénomène

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Plan du Cours Théorique

- **Physiologie de l ’oxygène - rappels**
  - Hypoxie
  - Toxicité S.N.C. - " CNS clock . "
  - Toxicité pulmonaire
    - U.P.T.D
    - O.T.U
    - Tables REPEX
  - La notion d’ "oxygen window. "

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Plan du Cours Théorique

- **Physiologie de l ’azote - rappels**
  - Narcose et P.E.N
  - N^2 et décompression
- **Physiologie du CO^2 et du CO - rappels**
  - L ’essoufflement
  - Le rôle du CO^2 dans la décompression et dans la toxicité à l ’O^2

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Plan du Cours Théorique

- **Pourquoi les plongeurs meurent?**
- **Psychologie de la plongée profonde**
  - Loi de HICK
  - "K.I.S.S. Principe "
  - Loi de MURPHY
  - Principe d ’autosuffisance
  - Les 6 principes de survie
  - Stress et situation d ’urgence
- **Philosophie du plongeur Tech**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Plan du Cours Théorique

- **Révision du matériel & des configurations**
- **Planification des plongée:**
  « plan the dive, dive the plan »
  - Profondeur ⇒ choix des gaz : O^2, he, N^2
  - Temps ⇒ choix des blocs et limites O^2
  - Décompression ⇒ choix configuration et des volumes par gaz
  - Redondance ⇒ contraintes de configuration
  - Procédures d 'urgence ⇒ affinement des contraintes et « what if »

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Plan du Cours Théorique

- **Utilisation des tables**
  - Présentation et comparaison des différents modèles recommandés
  - Tables générées par ordinateurs
- **Techniques et procédures de plongée**
- **Procédures d ’urgences**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Caractéristiques de l'Hélium

- **Découvert en 1868 par l 'anglais Norman LOCKYER**
- **Après observation du soleil (hélios = soleil en grec)**
- **2ème élément du tableau périodique:**
  - Noyau à 2 protons
  - 2 neutrons
  - Entouré de 2 électrons

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Caractéristiques de l'Hélium

- **2ème élément le plus abondant de l 'univers après l 'hydrogène**
  - (25% de la masse contre 73% pour l 'H²)
- **Produit lors d'une phase ancienne de la création de l'univers où la température s'élevait à plusieurs milliards de degrés**
- **Obtenu à l'état naturel par forage dans des gisements aux USA, en Algérie, en Pologne …**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Tableau comparatif des Gaz

	Masse Molaire	Densité	Chaleur Spécifique		Conductivité thermique
			Cp	Cv	
H^2	2,016	0,09	14,3	10,1	0,187
He	4,003	0,178	5,23	3,18	0,156
N^2	28,013	1,25	1,05	0,75	0,0265
O^2	31,998	1,43	0,92	0,67	0,0269
Ar	39,948	1,78	0,54	0,33	0,0181
CO^2	44,010	1,96	0,88	0,63	0,0137
Air	Mélange	1,293	1	0,71	0,0266
	En Kg / mole	En Kg / dm^3 à t= 0°C	En Kj / Kg k à t= 20°C et P= 101,32 KPa		En Wm^{-1} / k à 1bar

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Historique de la plongée aux mélanges

- 1919 : le professeur Elihu THOMPSON est le 1er à proposer l'utilisation de l 'H² et de l 'He en plongée profonde
- 1925 : 1ères expériences animales et humaines héliox (USN)
- 1937 : Max NOHL plonge par 128m dans le lac Michigan
- 1937 : recherches avec Edgar END à l 'hôpital de milwawkee
- 1937 : US navy atteint 150m en caisson à l 'héliox

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Historique de la plongée aux mélanges

- 1939 : 1ère tables héliox USN et sauvetage des marins de l 'U.S.S. Squalus coulé par 243 pieds (+de 100 plongées sans problème)
- 1939 : 2ème guerre mondiale = 20 ans d 'embargo sur l 'hélium
- 1945 : Arne ZETTERSROM réalise 150m avec 72%H^2 - 24%N^2 - 4%O^2 avant de mourir
- 1959-1961 : KELLER & BULHMANN plongées fictives et réelles 300m avec décompressions très courtes : O^2 + contre-diffusion isobarique

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Historique de la plongée aux mélanges

- **1960: maisons sous la mer et plongée à saturation**
- **1964: Calypso à l 'héliox avec le c^{dt} ALINAT**
- **1967: Calypso sur le « Britannic » au trimix**
- **La COMEX atteint**
  - 365m à l 'héliox en 1968
  - 501m en 1972
  - 701m à l 'hydréliox en 1980

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Historique de la plongée spéléo aux mélanges

- **1969 : 4 spéléos à 102m en Afrique du sud au trimix 12/40/48N² (sans suite)**
- **1975 : Court SMITH et Lewis HOLTZIN réalisent 265 pieds à l 'héliox**

  ⇒Lewis meurt de convulsions à l 'O² à 12m

  ⇒Arrêt des mélanges aux USA
- **1980 : Dale SWEET 360 pieds (héliox) USA**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Historique de la plongée spéléo aux mélanges

- 1981 : Jocken HASENMAYER plonge à l ’héliox à 476 pieds
- 1983 : COMEX ⇒ olivier ISLER , Claude TOULOUMDJIAN et …?…… s ’initient aux mélanges
- 1983 : Jocken HASENMAYER plonge à l ’héliox à la fontaine Vaucluse à 205m

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Historique des formations à la plongée aux mélanges

- 1970-1976 : 1er programme de formation héliox par Tom MOUNT à l 'université de Miami Rosentsteil pour la NOAA
- 1975 : la COMEX forme des corailleurs sardes à l 'héliox
- 1987 : EXLEY commence les premières formations spéléos trimix

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Historique des formations à la plongée aux mélanges

- **1989 : Billy DEANS : 1ères formations « open water trimix »**
- **1993 : 1er stage trimix spéléos français**
- **1994 : création TDI**
- **1998-1999 : naissance du « trimix élémentaire »**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Rappels Physiques

- La pression, le volume et la température sont reliés entre eux
- Ils définissent les 3 lois d'un gaz idéal
- Chaque variable est alternativement gardée fixe

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Rappels Physiques

Loi de CHARLES (1801)

- **<u>A pression constante</u>, le volume d 'un gaz est directement proportionnel à la température absolue (-273 °C)**

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

- **A -273 °C , le volume est de zéro car le gaz est liquide**
- **Le volume augmente de 1/273 par degré °C**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Rappels Physiques

Loi de GAY-LUSSAC (1778-1850)

- **<u>A volume constant,</u> la pression d 'un gaz est directement proportionnelle à la température absolue**

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

⇒Attention dans le calcul de l 'autonomie à la variation du volume de gaz

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Rappels Physiques

- **Ex: bloc à 230b à 30°C et température du fond 10°C**

$$\frac{230}{(273 + 30)} = \frac{?}{(273 + 10)}$$

$$? = \frac{230 \times 283}{303} = 214,81 \text{ bars}$$

$$214,81 \times 15 \text{litres} = 3222 \text{litres} \Rightarrow 161' \text{à } 20 \text{l/min}$$

$$230 \times 15 \text{litres} = 3450 \text{litres} \Rightarrow 172' \text{à } 20 \text{l/min}$$

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Rappels Physiques

Boyle & Mariotte (1662)

- **<u>A température constante</u>, la pression d 'un gaz est proportionnelle à son volume**

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

- **Attention pour les gaz réels il faut tenir compte du facteur de compressibilité Z (équations de VAN DER WAALS)**
  - Calculs des mélanges et gonflages des blocs
  - Calculs des consommations surface et fond et des volumes nécessaires

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Rappels Physiques

Loi de DALTON

- P total =P gaz_1 + Pgaz_2 + … P gaz_n
- Calcul de la composition du mélange par rapport aux contraintes de pressions partielles:
- 0,17 < O^2 < 1.6 bar
- N^2 < 5.6bar

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

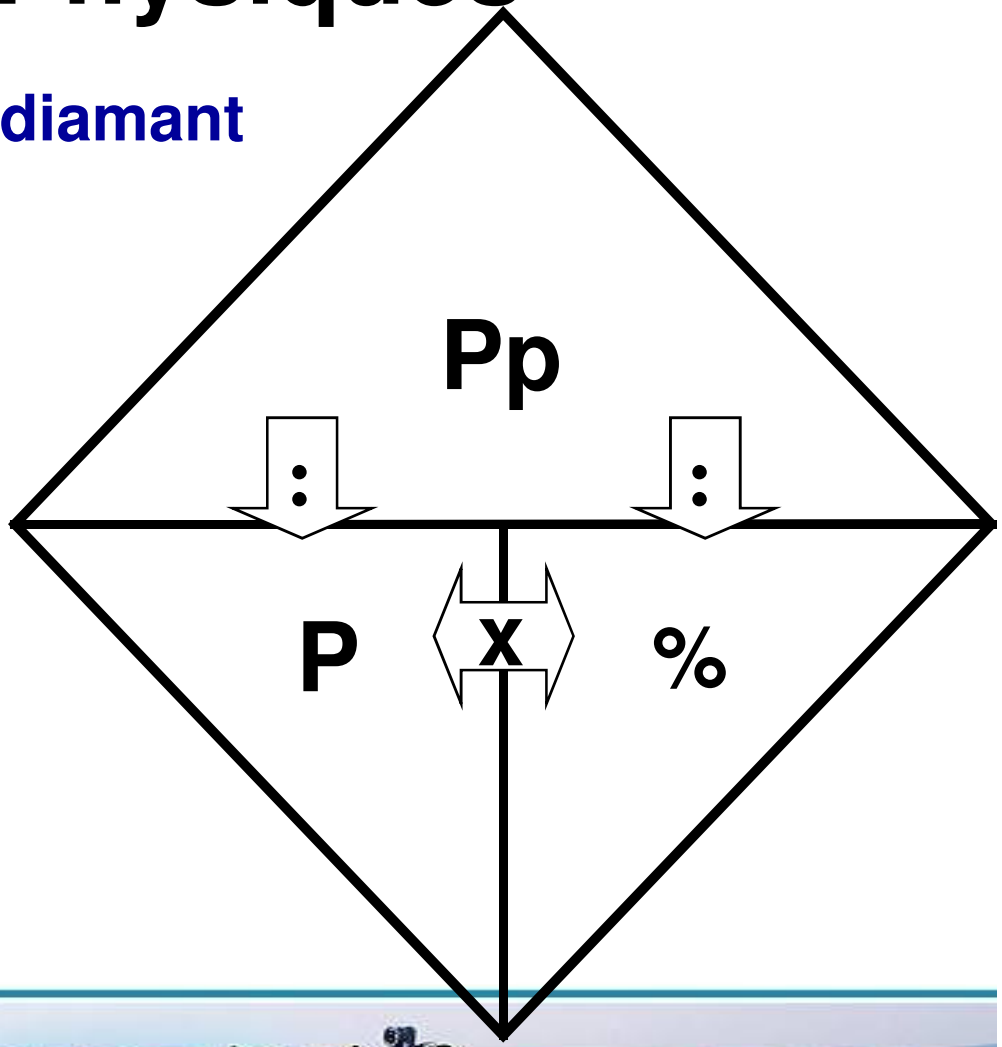
Rappels Physiques

- **La formule en T dite du diamant**

$$Pp = \% \times P$$

$$\% = Pp / P$$

$$P = Pp / \%$$



AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Mécanique Respiratoire

- **Le système respiratoire est l'un des plus touchés par les contraintes hyperbariques**
  - Possibilités respiratoires réduites
    - Baisse capacité de travail & de réaction
  - Mixique & diffusion gazeuse modifiées
  - Modification du système de régulation respiratoires
    - A cause des PpO^2 et $PpCO^2$ et des gaz inertes élevées
  - Modifications des échanges thermiques

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

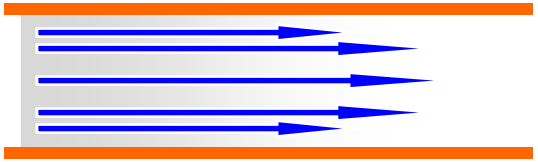
Mécanique Respiratoire

- **On distingue les résistances**
  - Externes (engins mécaniques respiratoires)
  - Internes (appareil respiratoire physiologique du plongeur)
- **La résistance est égale à la perte en charge en fonction du débit instantané**

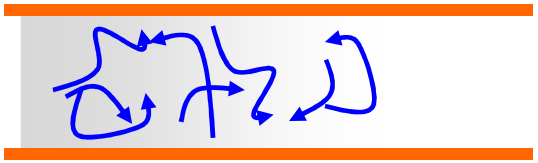
AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Mécanique Respiratoire

- **La perte de charge dépend du**
  - Courant gazeux laminaire lié à la viscosité



  - Courant gazeux turbulent lié à la densité



- **En plongée, la viscosité ne varie presque pas avec la pression et le courant gazeux est turbulent dans les voies aériennes, la trachée et les bronches**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Mécanique Respiratoire

- **Dans la pratique, la mécanique respiratoire est liée à la profondeur (pression) et a la densité du mélange**

Masse Volumique d'une inspiration de 5l			
Pression	Air	Héliox 20/80	Héliox 5/95
1 ATA	6,465g	0,4284g	6,2406g
6 ATA	38,79g	2,570g	
13 ATA	84,04g	5,569g	⇒260m

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

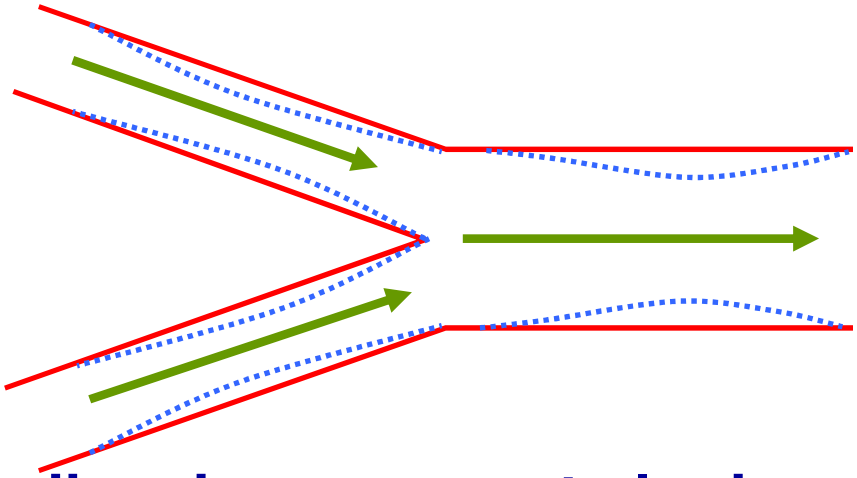
Mécanique Respiratoire

- **Les travaux de MEAD, MARSHALL et LAMPHIER montrent que pour un mélange donné, les résistances augmentent comme la racine carrée de la pression mesurée en ATA**
  - 1 ATA = résistance 1
  - 6 ATA = résistance respiratoire x 2,5 fois
  - 13 ATA = résistance respiratoire x 3,5 fois

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Mécanique Respiratoire

- **Les résistances expiratoires sont plus élevées que les résistances inspiratoires en raison d'un phénomène d'affaissement des parois à l'expiration**



- **La difficulté d'expirer augmente le risque d'essoufflement**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Mécanique Respiratoire

- **L'augmentation de la densité du mélange entraîne:**
  - Augmentation de l 'espace mort
    - À 20g/l rpt VD/VT = +20% = 20m
  - Augmentation de l'amplitude de la ventilation pulmonaire
    - À 20g/l = +35%
  - Diminution de la fréquence respiratoire
    - À 230g/l = -30%
- **Mais l'équivalent respiratoire de l'O^2 est toujours stable**
  - Diminution de la réaction du corps à l 'augmentation de la $PpCO^2$

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Distorsion Vocale

- **Effet Donald duck**
  - Les cordes vocales vibrent à la même vitesse quelque soit la densité du mélange respiré
  - Les ondes acoustiques sont des ondes longitudinales qui se déplacent en raison de l'élasticité d'un milieu vecteur
  - C'est l'élasticité du milieu vecteur qui en donnant une vitesse du son différente en modifie la propagation et la perception

123
Compression

123
Détente

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Distorsion Vocale

- **La propagation des ondes sonores est un phénomène adiabatique où la vitesse du son est donnée par la formule suivante**

$$\mu = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$$

γ =constante adiabatique du milieu défini par Cp et Cv

ρ=masse volumique du vecteur (densité)

P = pression

- **Soit dans les fluides de LAPLACE:**

$$\mu = \sqrt{\frac{Cp \times P}{Cv \times \rho}}$$

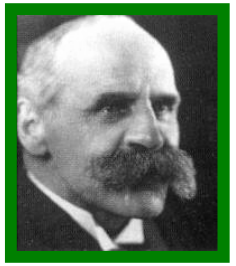
$$\text{Helium} = \sqrt{\frac{5{,}23 \times 100\ 000 \text{ pascals}}{3{,}18 \times 0{,}178}} = 960 \text{ m/s}$$

$$\text{Air} = \sqrt{\frac{1 \times 100\ 000 \text{ pascals}}{0{,}71 \times 1{,}293}} = 330 \text{ m/s}$$

(Dans le plomb = 2160m/s, le fer = 5950 m/s, l 'aluminium = 6420 m/s)

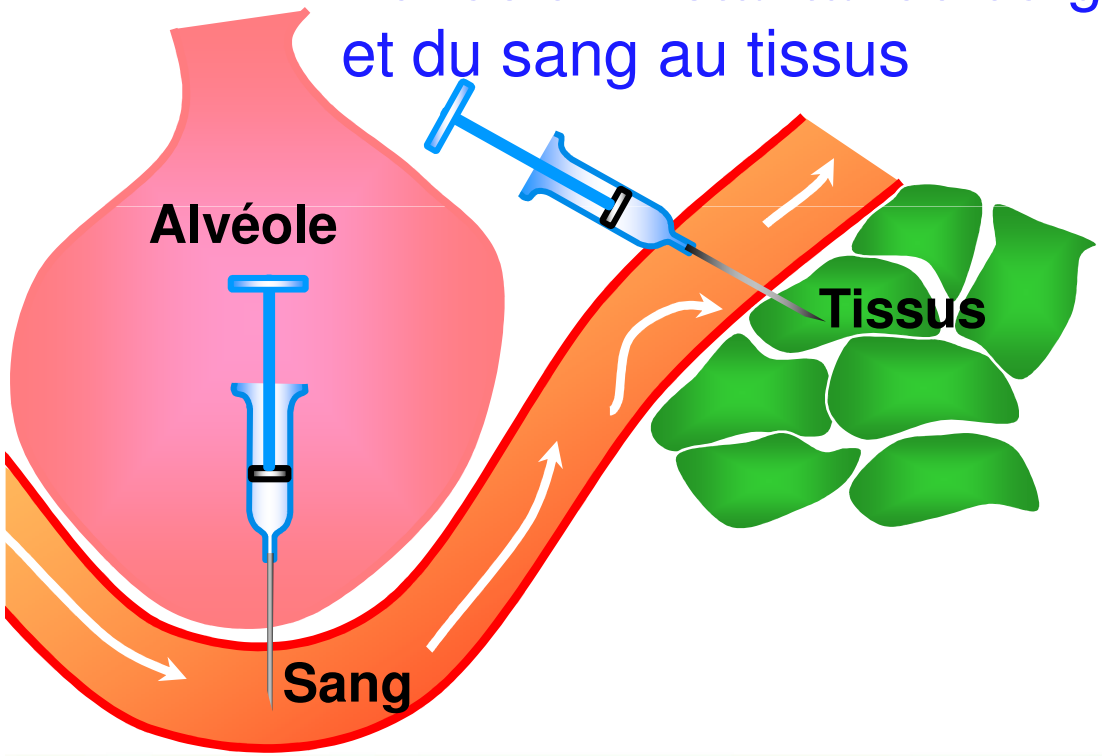
AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Hélium & Décompression



Modèle haldanien:

- **Hypothèse 1:**
  - Perfusion instantanée du gaz de l 'alvéole au sang et du sang au tissus



•0,75s temps du sang en contact avec l 'alvéole
•0,03 s temps réel

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Hélium & Décompression

- **Diffusion du gaz dans les tissus (post HALDANE):**
  - Loi de GRAHAM: la vitesse de diffusion d 'un gaz est égale à l 'inverse de la racine carrée de sa masse

Soit $N^2 = 28{,}013$ Vitesse de diffusion $= \frac{1}{\sqrt{28{,}013}} = \frac{1}{5{,}29273} = 0{,}1889$

Soit $He = 4{,}003$ Vitesse de diffusion $= \frac{1}{\sqrt{4{,}003}} = \frac{1}{2{,}00074} = 0{,}4998$

  - L 'hélium diffuse 0,4998/0,18893 = 2,645 fois plus vite que l 'azote
  - 1ère conséquence: les tissus saturent 2,65 fois plus vite à l'hélium qu'à l'air
  - Ils désaturent également 2,65 fois plus vite

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Hélium & Décompression

- **Hypothèse 2:**
  - L'organisme peut être décomposé en compartiments parallèles qui saturent à des vitesses différentes

APPLICATION: (loi de GRAHAM)
dans la table trimix haldanienne,les tissus à l'azote 5 ;7 et 239 minutes deviennent 1,88 ; 20,53 et 90,34 pour les tissus He (2,645 fois plus rapides)

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Hélium & Décompression

- **Hypothèse 3:**
  - Les compartiments se saturent jusqu 'à équilibre en suivant une équation exponentielle dans laquelle la demi-période définie le « temps » du compartiment
  - Pour HALDANE, la désaturation suit la même vitesse que la saturation
  - Pour BULHMANN, la désaturation est 20% plus lente que la saturation

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Hélium & Décompression

– La loi de HENRY, nous indique qu ’à saturation, la concentration d ’un gaz dissout est proportionnelle à la pression partielle de ce gaz et à sa solubilité dans le liquide

$$C = sp$$

– N^2: S=0,012 dans l’eau et S=0,067 dans l ’huile

– He: S=0,008 dans l’eau et S=0,016 dans l ’huile

⇒ À pression égale, le volume d ’He dissout dans notre corps sera de 30%(liquide) à 400%(graisse) fois moins élevé que le volume d ’azote dissout

⇒Le temps de désaturation est plus court car le volume de gaz à évacuer est moins important

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Sursaturation

- Les expériences de HALDANE, lui permirent de constater qu ’il était possible de revenir ,en étant saturé, de 10m à la surface ou de 6 ATA à 3 ATA sans symptômes de A.D.D.
  Cela définit avec 2:1 , le ratio de sursaturation
- Les travaux de WORKMAN pour l ’USN, établirent qu ’il fallait distinguer des tensions admissibles appelées m-values différentes pour chaque tissu
- BULHMANN les appelle coefficients A et B

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Sursaturation

- Les tissus courts tolèrent des coefficients de saturation plus élevés que les tissus longs
- En prenant en compte la vitesse de diffusion des gaz (loi de GRAHAM), on modifie ces coefficients pour tenir compte de la nature du gaz
- He est un gaz plus léger

⇒ Coefficient plus faible

⇒ Il faut s 'arrêter plus vite

⇒ Paliers plus profonds

- Avec l 'argon ce serait l'inverse

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Tendances récentes de la Décompression

- **Existence de bulles non pathologiques (silencieuses) dans la plupart des plongées (SPENCER 1968)**
  - ⇒Rôle du filtre pulmonaire
  - ⇒Contrôle de la croissance des bulles (théorie du volume critique des bulles, HENNESSY & HEMPLEMAN)
  - – Varying permeability model par YOUNG & HOFFMAN
  - – RGBM par WIENKE
  - ⇒Ralentissement des vitesses de remontée pour permettre l'évacuation des bulles

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Tendances récentes de la Décompression

- Les calculs de tensions superficielles des gaz montrent qu'une bulle de He aura tendance à se nourrir de l'azote environnant
- Le cas inverse est moins vrai
  ⇒ éviter bulles d 'He en trimix (P.BOUDINET)
- BOUDINET a également démontré mathématiquement que la naissance d 'une bulle nécessite 3 minutes pour s 'initialiser (connu expérimentalement)
- Les paliers profonds permettent d 'évacuer efficacement les bulles circulantes avant qu 'elles n 'atteignent une taille critique

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Tendances récentes de la Décompression

- **La respiration de nitrox et d'O^2 (utilisé dès 1915) créé un gradient de pression qui accélère la décompression**

	Déco Gas STARTED AT MOD				Déco Gas STARTED AT 6 MSW			
100/55	6 m	3 m	Total	Efficacité	6 m	3 m	Total	Efficacité
Air	13	26	39	0	13	26	39	0
EAN32	11	22	33	18%	11	22	33	18%
EAN36	10	20	30	27%	10	20	30	27%
EAN40	9	19	28	39%	9	19	28	39%
EAN50	8	16	24	63%	8	16	24	63%
EAN80	5	12	17	129%	5	12	17	129%
100% O^2	5	10	15	160%	5	10	15	160%

+ l 'O² apporte beaucoup plus que la décompression

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Contre-diffusion Isobarique

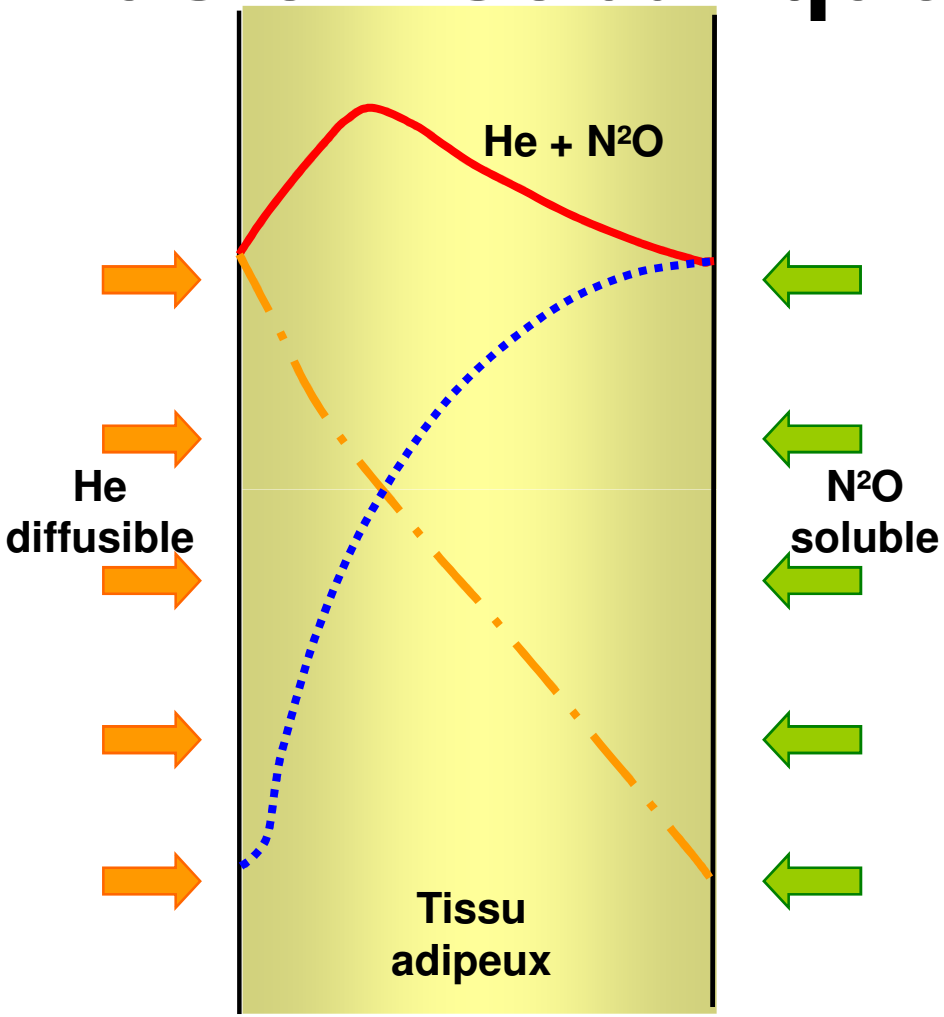
- Ce sont des échanges gazeux liés à des transferts de gaz différents dans les tissus
- Cette technique démontrée par KELLER permet des résultats spectaculaires en décompression mais présente aussi des dangers
- On distingue les contre-diffusion dans l ’espace et les contre-diffusion isobariques dans le temps

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Contre-diffusion Isobarique

1) Dans l 'espace:

- Situation obtenue en caisson héliox en respirant un gaz plus lourd
- Attention en plongée Tech à la remontée : gaz fond dans le masque et l 'oreille moyenne
- Insuffler rapidement le gaz transit et l 'O² dans ces espaces

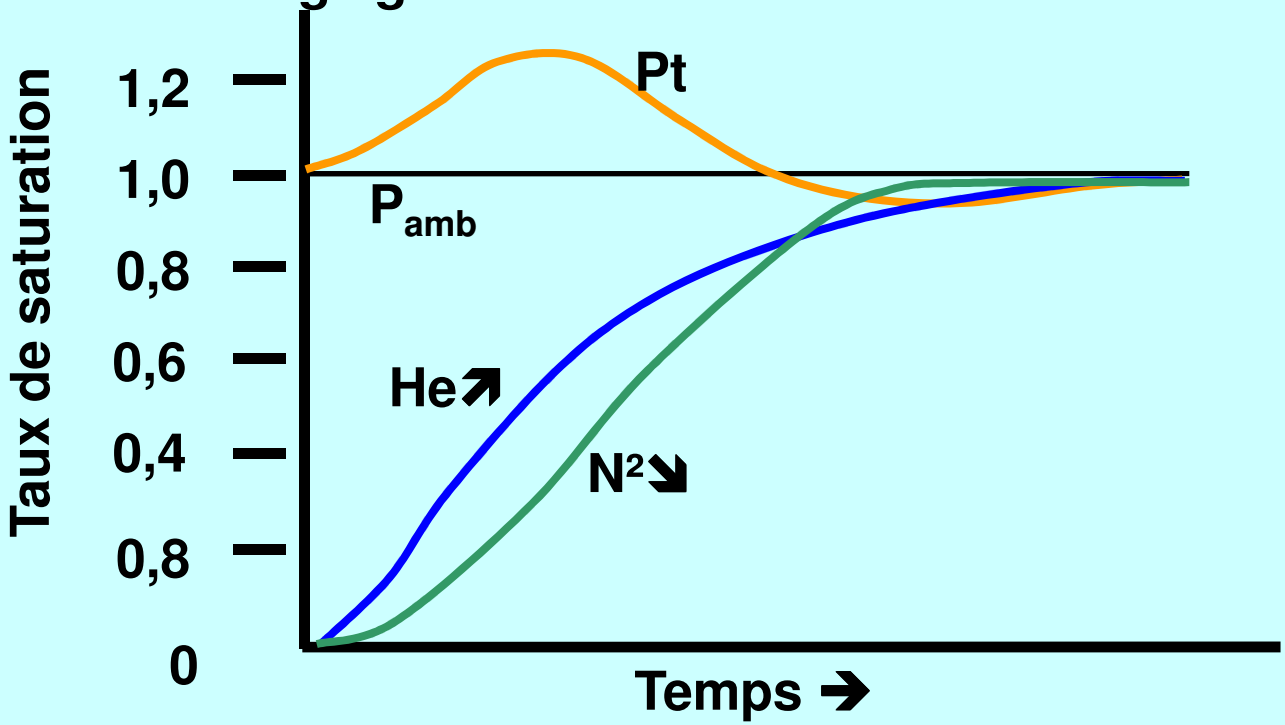


AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Contre-diffusion Isobarique

2) Dans le temps

Principe de désaturation et de resaturation durant un échange gazeux de l'azote vers l'hélium

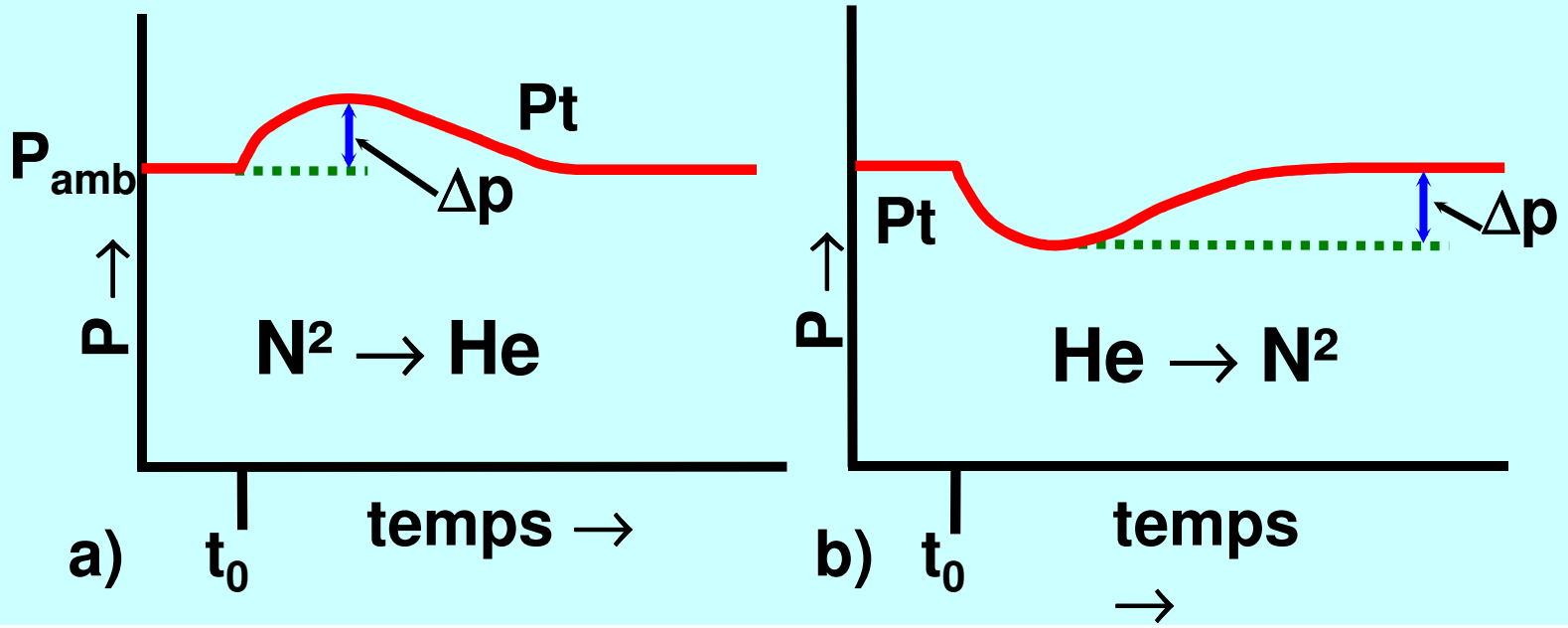


AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Contre-diffusion Isobarique

- **Dans le temps**
  - On distingue les situations sursaturantes et sous-saturantes

Principe de sursaturation a) et sous-saturation b)



AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Contre-diffusion Isobarique

- **Le sens de diffusion des gaz est lié à leur masse molaire et à la loi de GRAHAM**

Conséquences des changements de gaz sur l'apparition des bulles

Changement de gaz		Rapport de Tension maximum	Apparition de bulles
1er gaz	2nd gaz		
Hélium	Azote	0,861	Non
Hydrogène	Azote	0,890	Non
Argon	Azote	1,015	Non
Néon	Hydrogène	0,939	Non
Néon	Hélium	0,978	Non
Azote	Hydrogène	1,076	Très peu
Hydrogène	Hélium	1,080	Très peu
Azote	Hélium	1,139	Oui
Azote	Néon	1,160	Oui
Argon	Hélium	1,123	Oui

<u>En plongée Tech</u>: attention, en situation d 'urgence, à la reprise du gaz fond au palier

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

S.N.H.P

- **Le SNHP est lié à des disfonctionnements des processus neurochimiques et en particulier à des perturbations des neurotransmissions**
- **Il dépend de l ’hélium, de la pression et de la vitesse de compression**
  il peut être imagé comme un fil électrique dont l ’isolant aurait été endommagé par la pression ce qui induirait des court-circuits dans le système nerveux central

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

S.N.H.P

- **Apparaît à partir de 150/180 mètres à l ’héliox avec une vitesse de descente de 25/30 m/min**
- **Entraîne des tremblements, une baisse de la vigilance, une diminution des performances (susceptibilité individuelle stable)**
- **Contrôlé par :**
  - Vitesse de compression (COMEX)
  - L’ajout de gaz narcotique (N^2) au mélange (BENETT)

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Problèmes Thermiques

- L ’hypothermie signifie que la température interne du corps est descendue sous 35°C
- Dans une eau inférieure à 34°C, le corps ne peut faire face à la déperdition calorique : il faut la contrôler
- L ’eau est 26 fois plus conductrice de chaleur que l ’air
- L ’hélium a une conductivité thermique 6 fois plus élevée que celle de l’air
- L’hélium a une chaleur spécifique cp 5 fois plus élevée que l ’air

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Problèmes Thermiques

- **L'hypothermie clinique est rarement atteinte en plongée, mais le refroidissement subi est inconfortable et suffisant pour affecter le plaisir et la sécurité du plongeur**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Régulation Thermique

- **Malgré une chaleur spécifique Cp 5 fois plus élevée de l 'hélium par rapport à l 'air, la perte de température en respirant de l 'héliox est près de 30% moindre car l 'hélium est 7 fois moins dense que l 'air**
  - Énergie nécessaire pour chauffer 1g de 1 °C:
  - Cp en cal/g air=0,242 He=1,25 O^2=0,223

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Régulation Thermique

- **Ex: vc=2 litres qui passent de 17°C (eau) à 37°C (corps)**
  - 2 litres d 'air = 1,293g x 2 = 2,586g
  - 2 litres 20/80 héliox = (1,43 x 0,2 + 0,178 x 0,8) x 2 = 0,858g
  - Énergie nécessaire pour rehausser sa température de 20°C:
    - 2,586 x 0,242 cal/g x 20°C = 12,51 cal pour l 'air
    - 0,286 x 0,223 cal/g x 20°C =2,55 cal
    - 0,142 x 1,250 cal/g x 20°C = 7,10 cal

    } 9,65 cal pour l 'Héliox

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Régulation Thermique

- **Dans le vêtement sec, il faut tenir compte dans le calcul précédent, de la <u>conductivité thermique</u>. Celle de l'hélium est 6 fois plus élevé que celle de l'air ou de l'argon (33% moins conducteur que l'air)**
- **La conductivité thermique dans les poumons est responsable de l'impression de froid ressentie en respirant (processus thermique plus rapide en début d'inspiration: gradient)**
- **Mais elle n'est pas un problème car la température est transportée d'un point à un autre à l'intérieur des poumons**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Régulation Thermique

- Utiliser une combinaison sèche bien entretenue
- Porter plusieurs sous-vêtements type VIKING puis en polypropylène léger et en Thinsulate au-dessus
- Même mouillé, le Thinsulate garde 80% de ses propriétés thermiques
- Utiliser de l'argon
- Si possible effectuer 2 plongées plutôt qu'une plus longue

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Facteurs Du « P Phénomène »

FROID=vasoconstriction
⇒ Sang vers le centre du corps

HORMONE ANTI-DIURETIQUE

l'immersion bloque la secrétion d 'ADH qui règle le volume hydrique du corps

EFFET D'APESANTEUR
le sang passe des jambes au centre du corps

ATRIAL NATRIUETIC FACTOR

↗ bloodshift

⇒ distension des « entrées du cœur

⇒ sécrétion d 'ANP

⇒ ↗ diurèse

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Facteurs Du « P Phénomène »

- **Facteurs SUPPLEMENTAIRES**
  - Qui ↗ la diurèse:
    - Stress émotionnel
    - Age
    - Plongées à saturation
    - De façon mineure: la densité du mélange, respirer en dépression, le jour
  - Qui ↘ la diurèse
    - Déshydratation (dangereux)
    - Exercice
    - De façon mineure: la nuit

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

« P Phénomène »

- **Ne pas se retenir excessivement**
  - Reflux rénal plus dangereux qu'une combinaison mouillée
  - Compression préjudiciable à la décompression
- **Uriner peut devenir difficile et douloureux quand l 'hypothermie est installée**
- **Garder à l 'esprit qu 'une combinaison sèche mouillée est froide**
  - Purge pipi
  - Couche adulte
  - Sous-vêtement hydrofuge

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

PHYSIOLOGIE DE L ’OXYGENE
Rappels

- **Anoxie = privé d ’oxygène**
- **Hypoxie = entre 0 et 21%**
- **Limite inférieure 17% soit PpO^2 = 0,17b**
- **Hyperoxie >21% limitée à 1,6 b**
- **PEA = profondeur équivalente air**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

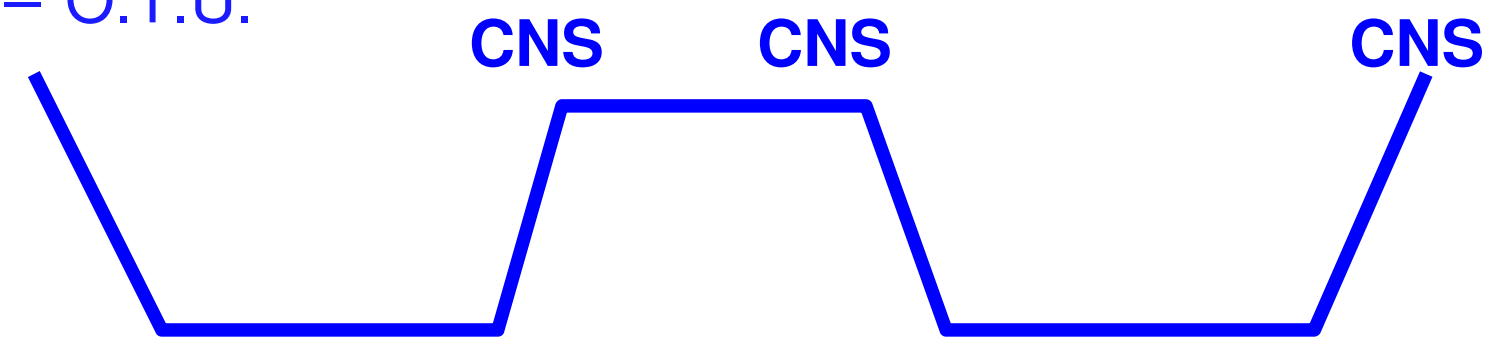
PHYSIOLOGIE DE L ’OXYGENE
Rappels

- **Contrôle de la toxicité du SNC**
  - Table N.O.A.A.
  - Notion « C.N.S. clock »
  - Récupération en surface R.O.T.
- **Contrôle de la toxicité pulmonaire**
  - U.P.T.D.
  - O.T.U.
  - Tables REPEX

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

PHYSIOLOGIE DE L 'OXYGENE
Rappels

- **Exercices**
  - P.E.A. d 'une plongée
    - À 35m au nitrox 35
    - À 30m au nitrox 40
    - À 4m au nitrox 80
  - C.N.S. & R.O.T.
  - O.T.U.



AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

PHYSIOLOGIE DE L ’OXYGENE
Rappels

- **Erreur physiologique de « C.N.S. clock » en multi-niveaux**
- **R.O.T. ne repose sur aucune étude**
- **Toxicité pulmonaire peu probable en plongée loisir et bases O.T.U. par jour trop élevé**
- **Les calculs des ordinateurs nitrox sont souvent pris en défaut pour les profondeurs limites dépassées et les calculs entre 1,5 et 1,6 bars**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

PHYSIOLOGIE DE L 'AZOTE

Rappels

– Narcose
– Densité du mélange
– Favorise l'essoufflement

Effet de la respiration d'air sous pression en milieu hyperbare sur les fonctions cognitives et psychomotrices (En pourcentage d'échec)

Pression en ATA	Calculs arithmétiques	Dextérité manuelle	Mémoire	Raisonnement logique
1 à 3	0-5	5-15	0-5	0-5
4 à 6	5-10	15-25	5-10	5-30
7 à 10	10-20	25-35	10-20	?
11+	20-40	35-45	20-30	?

Note : Les autres fonctions cognitives n'apparaissent pas à cause de l'absence des données probantes

- **Utile en décompression en phase isobarique sous-saturante lors de la remontée**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

PHYSIOLOGIE DE L ’AZOTE
Rappels

- **P.E.N. = Profondeur équivalente narcotique**
- **Limitée à 5,6 bars**
- **Exercice**
  - Calcul d ’un mélange avec PpO^2 = 1,5b:
    - 50m avec PEN de 30m
    - 90m avec PEN de 40m
  - Calcul d ’un mélange avec PpO^2 = 1,4b:
    - 120m avec PEN de 30m

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

PHYSIOLOGIE DU CO^2
Rappels

- **0,003 $PpCO^2$ dans l 'air**
- **0,005 $PpCO^2$ maxi en caisson thérapeutique HBO avec O^2 entre 2 et 3 bars**
- **0,015 $PpCO^2$ maxi quand PpO^2<1,6b**
- **0,03 $PpCO^2$ maxi en « human live support », premiers signes & symptômes**
- **0,07 $PpCO^2$ signes sérieux & symptômes**
- **0,1 perte de connaissances & mort**

Données Dräger en situation de « support de vie »

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

PHYSIOLOGIE DU CO^2
Rappels

- 1ère cause de perte de connaissance sous l 'eau (THOMAS & SHILING 1980)
- Essoufflement favorisé avec la densité du mélange
- Facteur favorisant la toxicité du CNS à l 'O²
- Une PpO^2 élevée retarde l 'action du CO^2 sur la respiration

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

PHYSIOLOGIE DU CO^2
Rappels

- **Favorise la formation de bulles circulantes et donc l 'ADD**
  - Augmentation de pression
    - ⇒Diminution de l 'Hbco² car l'O² ne se fixe plus sur l 'Hb
    - ⇒Diminution des bicarbonates car l 'enzyme qui les fabrique va se fixer sur la membrane des globules rouges
    - ⇒Augmentation du CO² libre qui participe à la constitution des noyaux gazeux

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

PHYSIOLOGIE DU CO^2
Rappels

- **CO^2 et essoufflement**
  - Plus la densité du mélange augmente et moins le corps réagit à une augmentation de la $PpCO^2$
  - De plus l 'espace mort augmente avec la densité du mélange et d 'autant plus qu 'un effort est produit

  ⇒Rapide essoufflement à l 'air en plongée profonde

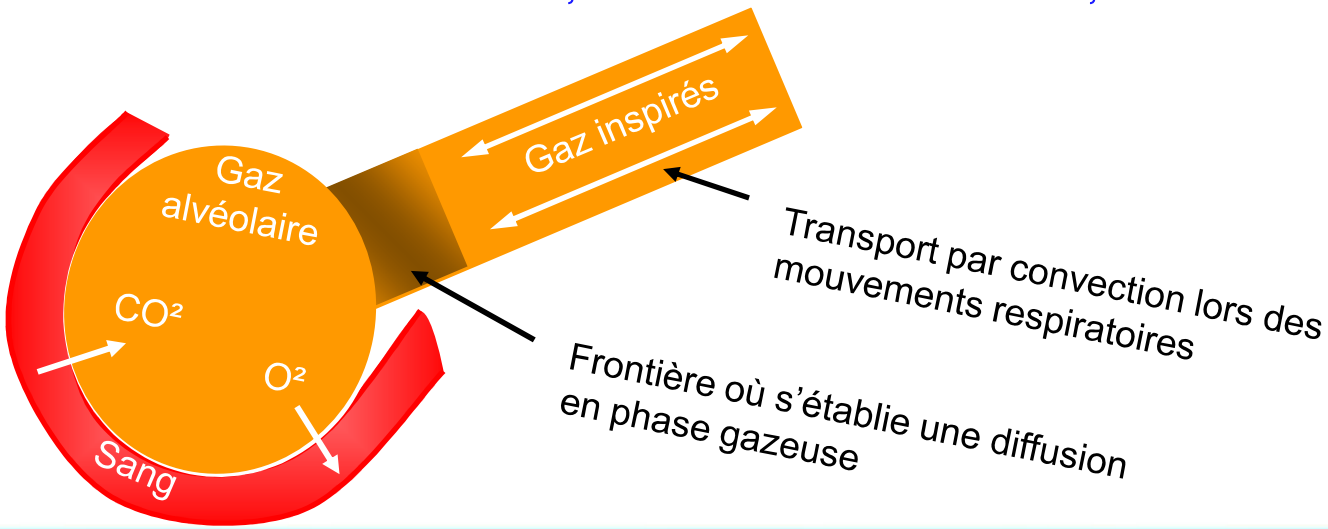
AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

PHYSIOLOGIE DU CO^2

- **Avec He:mélange plus léger qui augmente le transport gazeux par convection dans les bronches**

  ⇒Coefficient binaire de diffusion D CO^2/He en phase gazeuse 3,7 fois plus efficace dans l 'évacuation du CO^2 que le N^2

  - D CO^2/ n^2 = 0,17 & D CO^2/ He = 0,63 D en cm^2/si



AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Pourquoi les plongeurs meurent ?

- **L ’élément le plus important de votre équipement de plongeur est votre propre corps**
- **La plupart des accidents ne sont pas la conséquence directe d ’une panne matériel mais plutôt de la réponse inadéquate du plongeur face à un problème**
- **1ère cause de décès: LA PANIQUE**
- **Incident ⇒stress**
  - Contrôle du stress = résolution du problème
    ⇒ pas de conséquence majeure
  - Perte de contrôle ⇒ panique
    ⇒problème non résolu
    ⇒ accident & mort

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Pourquoi les plongeurs meurent ?

- Discussion sur la panique (annexes page 42)
- Un stimulus brutal déclenche un ensemble de réactions hormonales (annexe page 43) qui mettent le corps en réaction d 'alerte
- Du fait de la pression (bloodshift, diurèse,…) et du froid qui est un stress spécifique, l 'action du stress semble d 'autant plus brutale et difficile à contrôler en plongée que l 'on est profond
- Il prend autant de temps pour mourir d 'une panique qu 'il en faut pour juger rationnellement la situation et effectuer l 'action efficace

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Pourquoi les plongeurs meurent ?

- **Discussion sur les facteurs contribuants à la mort**
  Raisons médicales:
    - Fitness (bonne santé)
    - Symptôme de la mort soudaine (cardiaque)
  - Facteurs environnementaux
    - La profondeur
    - Dans la majorité des cas le plongeur atteignait sa profondeur maxi personnelle
  - Problèmes d 'équipement
    - Détendeur en débit continu
    - Attention aux palmes et aux stabs
- **La plupart des accidents impliquent des facteurs multiples qui interagissent les uns sur les autres**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Tableaux des Accidents

	ANZ 124 causes pour 100 victimes	NUADC
Noyade	86%	74.2%
Surpression pulmonaire	13%	24.5%
Problème cardiaque	12%	9.1%
Vomis avalé	6%	<1%
Traumatisme	3%	1.5%
Asthme	2%	-
Blessure due à la faune marine	1%	-
Accumulation de problèmes	1%	-

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Facteurs médicaux

	Pré-existants	Mortels
Panique	-	39%
Fatigue	-	28%
Vomissure	1%	10%
Narcose à l'azote	-	9%
Droques	8%	7%
Méforme physique	4%	4%
Invalidité importante	3%	3%
Perte de la vue	3%	3%
Alcool	-	2%
Mal des transports	2%	2%
Obésité	8%	2%
Réflexe sinuso-carotidien	-	1%
Inhalation d'eau salée	-	37%
Surpression pulmonaire	-	13%
Maladie cardiaque	3%	12%
Asthme	9%	8%
Maladie respiratoire	5%	7%
Hypothermie	-	3%
Hypertension	8%	2%
Oreilles	2%	2%
Diabète	1%	1%
Epilepsie	1%	-
Autres	-	1%
Maladie de décompression	-	Néant
Alimentation en air vicié	-	Néant

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Tableaux des Accidents

Facteurs dus à l'environnement (62%)

Environnement	Pourcentage
Mouvement d'eau important	36%
Profondeur	12%
Faible visibilité	6%
Froid	5%
Animaux marins	5%
Grottes	5%
Sorties/Entrée dans l'eau	5%
Enchevêtrement	4%
Bateaux	3%
Plongée sous bateaux ou quai	3%
Plongée de nuit	2%

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Tableaux des Accidents

Facteurs dus à l'équipement (Défaut 35%, Mauvaise utilisation 35%)

Equipement	Pourcentage
Détendeur	15%
Palmes	13%
Stabilizing jacket	12%
Bouteille	9%
Ceinture de plomb	6%
Harnais	6%
Masque	5%
Vêtement isothermique	5%
Fil d'Ariane	4%
Manomètres	2%
Robinet à réserve	2%
Tuba	?

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Psychologie de la plongée profonde

- **Plus la plongée est profonde et compliquée, plus elle se résume à un acte mental**
- **Au fond l'effort c 'est la mort**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Psychologie de la plongée profonde

- **Loi de HICK (1952)**

$$RT = K \times \log_2 \times (N+1)$$

$$Temps\ de\ reaction = Constante \times Nombre\ de\ choix\ possibles$$

- **Cette loi nous dit qu'en situation d'urgence, plus on a de possibilités de répondre à l'urgence et plus le temps de réaction est long**

  ⇒Le temps de réaction croît de façon substantielle avec le nombre de choix possible

  ⇒Il faut trouver la réponse pratique la plus simple à chaque situation d 'urgence et la standardiser

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Psychologie de la plongée profonde

- **Le corollaire à la loi de HICK, en situation d 'urgence, c'est le <u>KISS PRINCIPE</u> : « keep it super simple » (faites au plus simple)**
- **En d'autres termes: « la meilleure façon de faire quelque chose , c'est généralement la plus simple »**
- **L'environnement d'une plongée profonde entraîne de fortes contraintes physiques et mentales**
- **L'addition de toutes ces contraintes rend plus compliquée la moindre tâche à effectuer et donc plus grand le risque de défaillance**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Psychologie de la plongée profonde

Le KISS principe nous enseigne:

- Découper une tâche complexe en plusieurs tâches simples
- Fixer une tâche ou un objectif par plongée
- Multiplier les plongées plutôt qu'effectuer une tâche trop complexe ou multiple
- Simplifier l'équipement
- Simplifier la façon de plonger
- Standardiser les règles de base, de la configuration matériel et des procédures d 'urgence

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Psychologie de la plongée profonde

Loi de MURPHY:

- **Dite « loi de l ’emmerdement maximum » soit:**
  - Chaque chose qui peut faillir, faillira
  - Un problème tendra à arriver toujours au plus mauvais moment

- **Ex: si vous n ’assurez pas votre ancre, elle ripera. Le jour où elle ripera, il y aura du vent, des vagues, la visibilité sera faible, vous vous égarerez etc. …**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Psychologie de la plongée profonde

- **Quand vous planifiez une plongée, à chaque étape, posez-vous la question suivante:**
  - Quel problème peut survenir et me blesser ou me tuer
  - Pour chaque problème raisonnablement possible, vous devez trouver une solution « QUI MARCHE » avant de commencer la plongée

  ⇒La 1ère solution doit dépendre que de vous-même (pas de votre buddy)

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Psychologie de la plongée profonde

- Il est impossible d 'anticiper tous les problèmes mais vous devez vous préparez aux probables et aux plus courants

- **Dans une situation d 'urgence en plongée, la ressource la plus importante est le temps**

  ⇒ Ayez toujours assez de gaz au fond et en décompression

- **<u>Anticiper</u> toujours mentalement la fin de votre plongée**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Psychologie de la plongée profonde

Principe d ’autosuffisance:

- Être équipé et organisé comme pour plonger seul
- Être capable d’assurer seul les situations d ’urgence
  - Deux plongeurs techniques plongent l ’un à côté de l ’autre et non ensembles (aucun ne se repose sur l ’autre)
  - Mais plonger à deux = 4 bras et 2 cerveaux

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Psychologie de la plongée profonde

Les 6 principes de survie en plongée technique:

1. REDONDANCE
2. RESERVE DE GAZ
3. AUTOSUFFISANCE
4. PROFONDEUR LIMITE
   (N^2, O^2, déco, gaz, contraintes)
5. KISS PRINCIPE (principe de simplicité)
6. PROCEDURE & DISCIPLINE
   (« plan the dive & dive the plan »)

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Les 4 Caractéristiques du bon plongeur

- **L ’humilité**
  - Il ne connaît pas tout car il y a plus d’une façon de bien faire les choses
  - Donc il n’arrête jamais d’apprendre, de faire et d’enseigner
- **L ’ouverture d ’esprit**
  - Il ne rejette jamais à priori les choses nouvelles ou différentes
  - Il n’a pas peur du changement
  - Il ne se sent pas menacé par des opinions différentes

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Les 4 Caractéristiques du bon plongeur

- **L ’esprit analytique**
  - Il pèse, de façon neutre et réaliste, le mérite respectif des procédures et technologies nouvelles
  - Il n’accepte jamais quelque chose parce qu’elle est nouvelle ou que quelqu’un pense qu’elle est meilleure
- **La compétence**
  - Comme il est ouvert aux changements et aux alternatives, il possède sa propre méthodologie solide, pour laquelle il peut démontrer de façon rationnelle et réaliste, le bien-fondé

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Les 4 Caractéristiques du bon plongeur

- **Ces 4 qualités donnent au plongeur Tech:**
- **La tranquillité et la confiance en sa façon de plonger**

- **Le plus grand mythe de la plongée (loisir ou Tech) est de penser qu'une technique de plongée est transposable à tout environnement et à tout type de plongée.**
- **<u>Cette méthode n'existe pas</u>**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Situation d ’urgence technique

1) **« Plutôt vous que moi »**
   « mieux vaut un mort que deux »
   - L’assistance entraîne-t-elle un risque inacceptable pour le sauveteur
   - Décision :accepter le risque ou laisser votre partenaire manager en solo son sauvetage
2) **Prévoir l’envisageable**
   - Prévoir les erreurs et les problèmes possibles compte-tenu de l’environnement spécifique de chaque plongée, et les procédures d’urgences adaptées
   - Se poser la question «cela peut-il me blesser ou me tuer ? »

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Bien différencier Théorie & Apprentissage, de Pratique & Expérience

- **Savoir et faire sont deux choses (et la formation & l ’entraînement doivent refléter cela)**
- **<u>Augmenter vos capacités:</u>**
  - Augmenter votre expérience
    - Plongée, plongée sec…
  - Augmenter votre profondeur d ’évolution « en confort & en sécurité » doucement et lentement

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Bien différencier Théorie & Apprentissage, de Pratique & Expérience

- **Apprendre avec des plongeurs d 'expériences (« compagnonnage »)**
- **Respecter vos limites**
  - D 'abord celle de votre qualification:
    - Elle représente la limite de votre formation en dessous de laquelle les risques deviennent irraisonnables par rapport à votre expérience acquise
  - Continuer votre formation patiemment: « l 'apprentissage est un long chemin »

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Matériel

- **Configuration standard ou adaptation ?**
  - KISS principe : "le plus simple est le plus efficace "
    ⇒Hogarthian way (bill HOGARTH)
  - Courant philosophique actuel :
    « rig wreck, dive cave »
    « s'équiper comme un plongeur sur épave
    et plonger comme un spéléo »
    - Épave = environnement dangereux
    - Spéléo = efficacité, finesse de déplacement et équilibre parfait
- **<u>PRINCIPE</u>: toujours essayer une configuration nouvelle en plongée « loisir »**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Matériel

- **Standardisation**
  - Facilite l ’apprentissage
  - Minimise les confusions
  - Simplifie les procédures d ’urgences
  - Facilite la mise en œuvre des équipes
  - Crée une reconnaissance de groupe

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Matériel

- **G.U.E. & D.I.R. : Aboutissement ou dérive ?**
  - Configuration standardisée du nitrox au trimix confirmé
  - Standardisation des mélanges et des décompressions
  - L'élève acquiert des automatismes tout au long de sa formation

- **Mais « la meilleure façon de faire est la plus simple.. C 'est la notre…. Elle doit s 'imposer à tous … »**

Ayatollah syndrome

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Matériel

- **Masque:**
  - Forme
  - Secours ?
- **Tuba:**
  - Utilité ?
- **Palme :**
  - Taille
  - Matière
  - Profondeur
  - Attaches, …
- **Les poids:**
  - Forme & positionnement

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Matériel

- **Bouteilles et robinetteries**
  - Simples
  - Doubles, reliées
  - Isolation centrale
  - Robinetterie DIN
- **Stab & wings :**
  - Redondance
  - Volume
- **Vêtements isothermiques :**
  - Humides
  - Semi-étanche
  - Étanche

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Matériel

- **Instruments :**
  - Manomètres
  - Compas
  - Timer
  - Profondimètre
  - Ordinateur
  - Redondance
- **Outils coupants :**
  - Couteau
  - Z-knife
  - Ciseau
  - Sécateur

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Matériel

- **Bouteilles**
  - Relais
  - Pony bottle
  - Taille
  - Positionnement
- **Sacs de levage, enrouleurs**
- **Ardoises, jon-line, purge pipi, éclairage**
- **Divers :**
  - Pochettes
  - Mousqueton
  - Anneaux, élastiques
- **Entretien & maintenance**

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Planification des plongées

« Plan the dive, dive the plan »

- Profondeur ⇒ choix des gaz (O^2, He, N^2)
- Temps ⇒ choix des volumes des blocs et limite O^2
- Décompression ⇒ choix de la configuration et des volumes par gaz
- Redondance ⇒ contraintes de configuration
- Procédures d 'urgences ⇒ affinement des contraintes et « what if »

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Techniques & procédures de plongée (rappels)

- Préparation et marquage du matériel
- Définir les responsables projet, surface, fond
- Matériel collectif supplémentaire et de secours
- Plan d ’urgence
- Environnement maritime et aquatique
- Ligne de vie, fil d ’Ariane
- Déco fixe, dérivante ou éparpillée

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Procédures d ’Urgence

- Dérapage temps ou profondeur (en plus et en moins)
- Plus d ’air, panne d ’air
- Détendeur en débit continu
- Procédure d ’isolation centrale
- Problème de stab, maintient de la profondeur, gonflage pour la remontée
- Égarement au fond, remontée pleine eau avec sac de levage
- Problème sur bouteille ou détendeur de décompression

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Procédures d ’Urgence

- Perte de la déco
- Perte d ’information : timer, profondimètre, ordinateur
- Perte des tables
- Perte du binôme
- Oubli d ’un palier ou de toute la décompression
- Perte en surface
- Mauvais déploiement du sac de levage

AQUADOMIA.com
Scuba Diving School

Procédures d ’Urgence

- Erreur de respiration de gaz
- O^2 convulsions
- Noyade
- Accident de décompression et AEG
- Narcose