Dissolution de l'azote

MOREAU LAURENT – 2024 CODEP17

Dissolution de l'azote

- Justification :
  - Les liquides dissolvent les gaz en plongée, notre corps dissous plus de gaz en profondeur qu'à la surface
  - L'oxygène est consommée lors de la plongée
  - L'azote est un gaz inerte qui est dissout dans le corp

- La loi:
  - À température donnée, la quantité de gaz dissous à saturation dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle du gaz au dessus de ce liquide.

Dissolution de l'azote

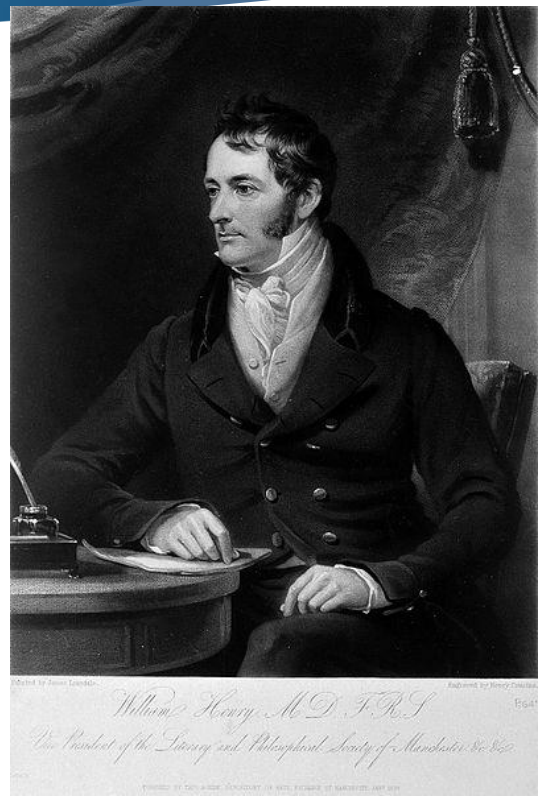
Un petit film pour comprendre :

Etats de saturation - YouTube

Dissolution de l'azote

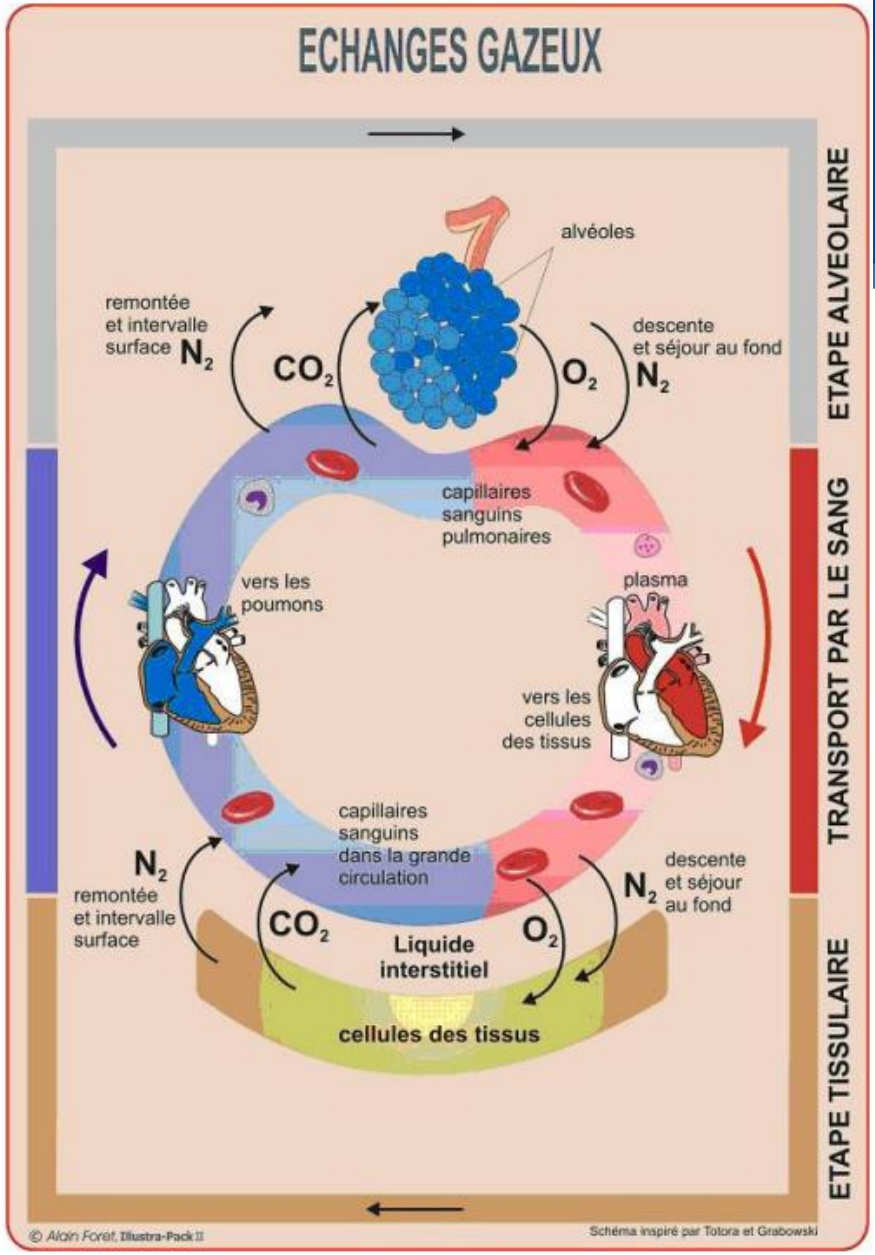
- Henry met en évidence la saturation et la désaturation

A température donnée, la quantité de gaz dissous dans un liquide est directement proportionnelle à la pression qu'exerce ce gaz sur ce liquide…



Dissolution de l'azote

Rappel sur les échanges gazeux



Dissolution de l'azote

En surface, le corps est en **état d'équilibre**

En surface, **la tension est égale à la Pression**

A saturation, la tension = pression partielle

Dissolution de l'azote

A la descente

Pendant la descente, **le corps est en sous-saturation**

<u>la tension est inférieur à la Pression</u>, et va augmenter pour arriver à l'équilibre

Le gaz se dissout dans les tissus

A sous-saturation, la tension < pression partielle

Dissolution de l'azote

Au fond :

au fond , **le corps est à saturation**

<u>la tension va tendre à l'équilibre</u>

Le gaz se dissout dans les tissus

A saturation, la tension = pression partielle

Dissolution de l'azote

A la remontée:
à vitesse normale

Pendant la remontée, **le corps est à sursaturation**

la tension est supérieur et va diminuer vers la valeur de la pression partielle

Le gaz se dissout est évacué par la respiration

++

Le plongeur commence sa désaturation

++++

A sursaturation, la tension > pression partielle

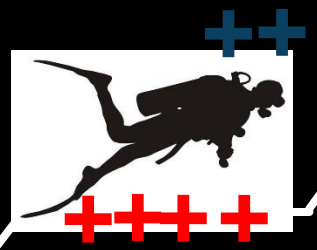
Dissolution de l'azote

A la remontée:
à vitesse trop rapide

la tension est supérieur et va diminuer vers la valeur de la pression partielle qui chute rapidement

Le gaz dissout **n'est pas évacué assez vite** par la respiration

Le gaz revient à l'état gazeux dans le corps



A sursaturation critique , la tension >> pression partielle

Facteurs qui influencent la dissolution

- Facteurs qui influencent la dissolution …
  - La durée / le temps
  - La température … du corp, des liquides, du gaz
  - La pression… ou tension
  - L'agitation
  - *La surface de contact..*
  - *Nature du liquide*
  - *Et la solubilité du gaz (PpN2 importante en plongée)*

Dissolution de l'azote

Les termes

- La tension:
  - Dans un **gaz** , la quantité de gaz contenu dans un mélange soumis à une pression s'appelle

    LA PRESSION PARTIELLE

  - Dans un **liquide** , la quantité de gaz contenu dans un mélange soumis à une pression s'appelle

    LA TENSION

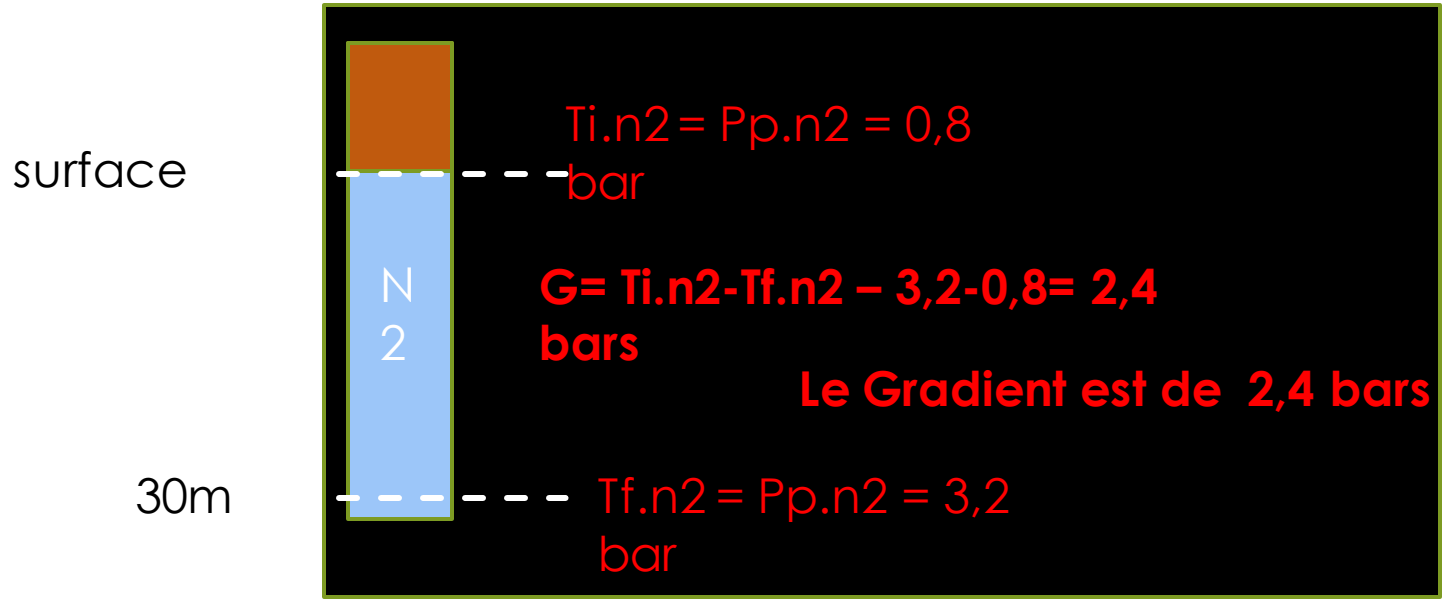
- Quel est le gaz qui nous concerne ?
  - Le mélange gazeux qui nous concerne est : L'air
  - Mais seul l'azote nous pose problème
  - L'O2 est consommé par l'organisme

Dissolution de l'azote

Les termes

- Le gradient :
  - On appelle gradient **G**, la différence entre la tension de départ (tension initiale) Tin2 et la tension finale (tension à la fin de la plongée) **TFn2**

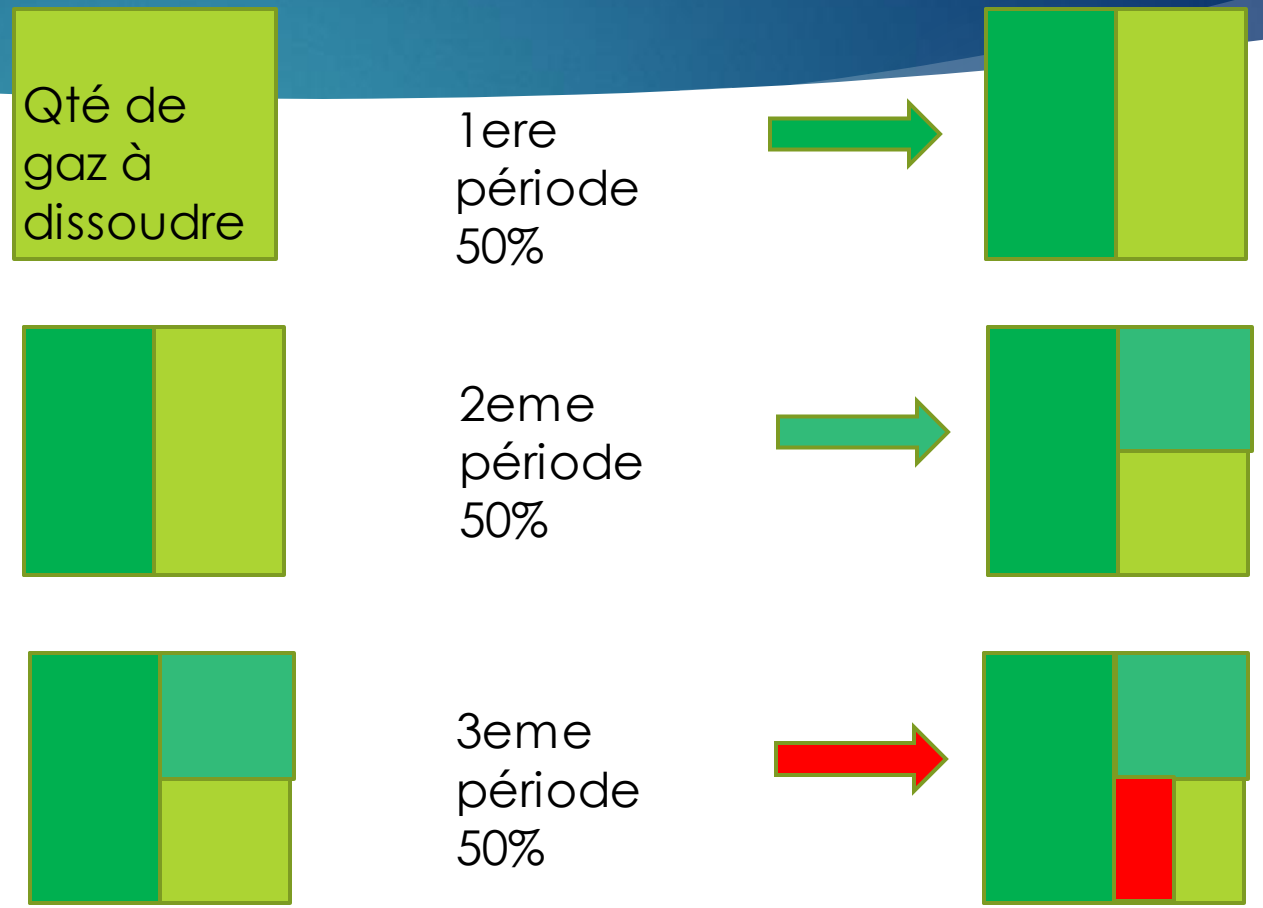
G = TF.n2 – Ti.n2



Dissolution de l'azote

Les termes

- La période:
  - C'est le temps que mets un compartiment pour charger la moitié du gradient



Dissolution de l'azote

Les termes

- Compartiment :
  - C'est la représentation des éléments du corps
  - Les éléments sont regroupés par le temps mis à charger 50% du gradient .

  - Ex: un compartiment C10 mets 10 minutes pour dissoudre 50% du gradient
  - Pour une plongée de 30mn , le taux de saturation est de (3 périodes de 10mn) soit 87,5% du gradient

Dissolution de l'azote

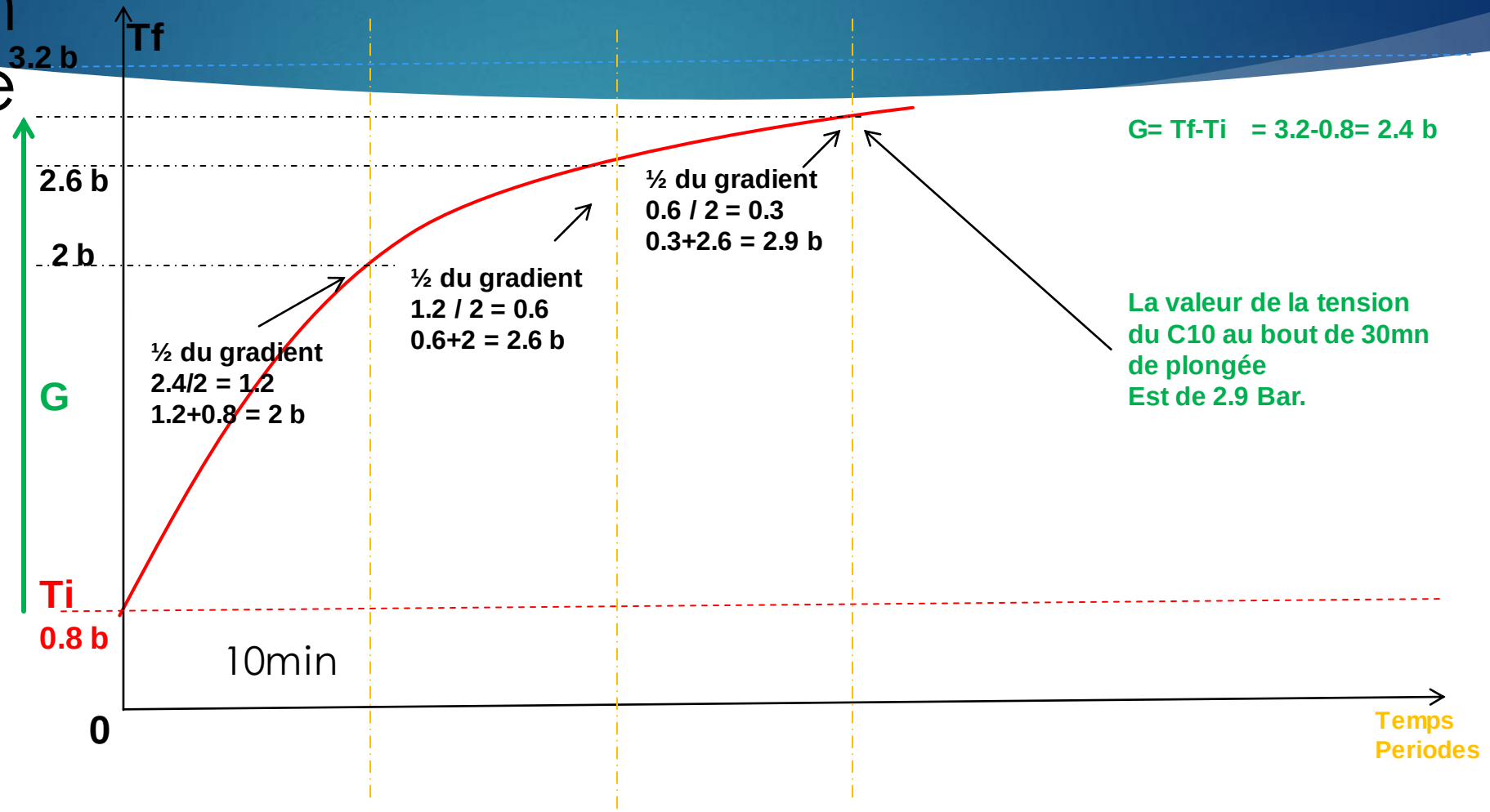
Les termes

- **SEUIL DE SURSATURATION CRITIQUE:**
  - Au cours de la remontée, le rapport entre la tension de chaque compartiment et la pression absolue ne doit pas dépasser un seuil de sursaturation critique : **SC**
    - **P abs = Tf N2 / SC**
    - **Il faut toujours que le rapport soit inférieur à 1, sinon un palier est nécessaire**
- **COMPARTIMENT DIRECTEUR :**
  - Lorsque lors d'une plongée, plusieurs compartiments ont un rapport supérieur à 1, celui dont la valeur est la plus élevée est appelé compartiment directeur

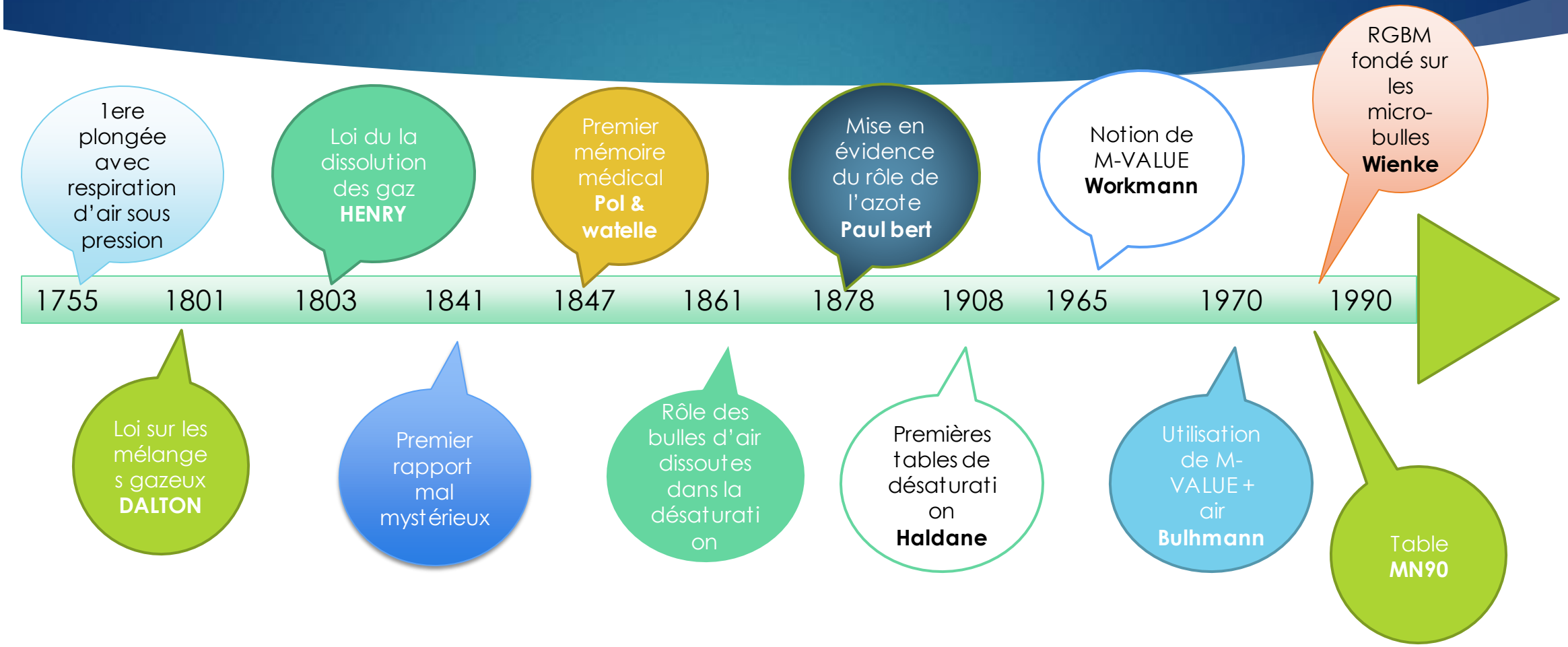
Exemple : C10 – plongée à 30m (4b) pendant 30mn
Ti = 0,8 b
Tf = 4x0.8=3.2b

Dissolution de l'azote

une courbe !



La désaturation ……..c'est l'histoire

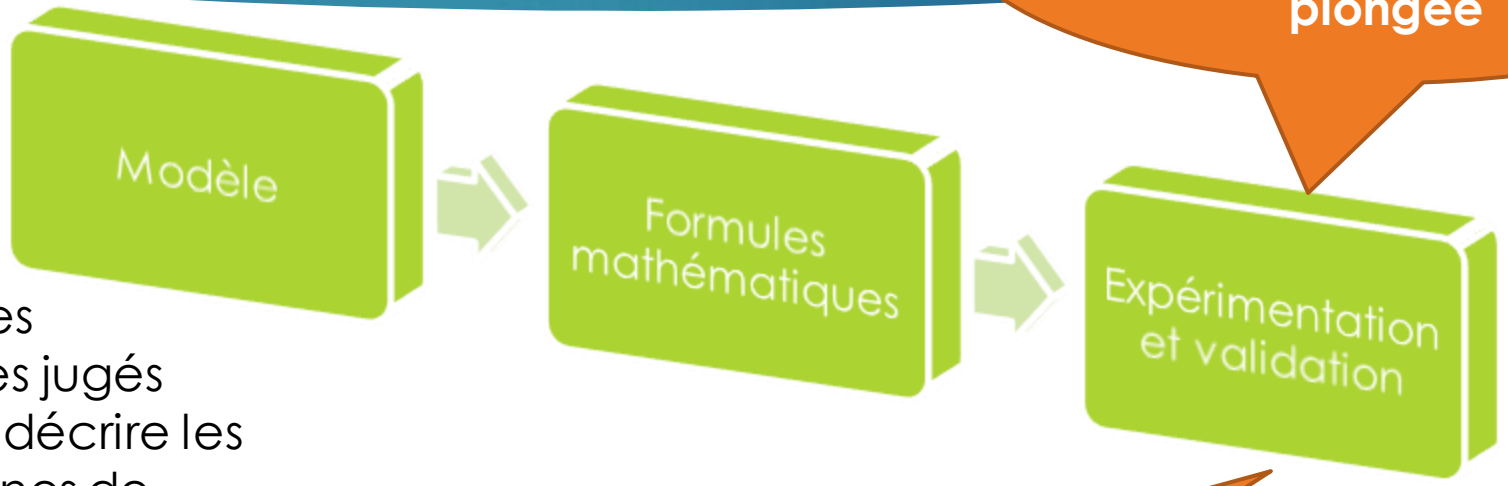


Un modèle..

- Un modèle , c'est quoi ?
  - C'est la représentation mathématique du corps humain
  - En plongée ,les modèle de désaturation , c'est :
    - La simplification des réactions du corps
    - Le classement des éléments du corps en compartiment
  - 2 catégories de modèles sont principalement utilisés:
    - L'azote dissout: quantité de N2 + baisse de pression = bulles
    - Les micro-bulles : un certain nombre de micro-bulles + baisse de pression = bulles

Un modèle..

- En résumé :

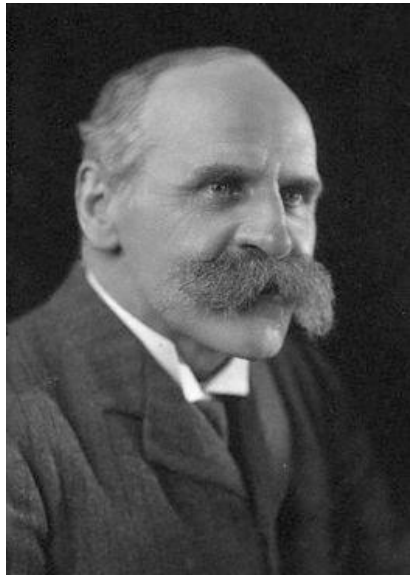


Hypothèses
Paramètres jugés clefs pour décrire les phénomènes de décompression

Présentation sous forme de logiciel
Un ordinateur de plongée

Présentation sous forme de valeurs précalculées
Les tables de plongée

Modèle de Haldane



Are-you big moustache ??

- et Haldane , c'est qui ?
  - À la fin des années 1800, le monde s'industrialise. Les grands travaux débutent et le commerce maritime bat son plein. Les travailleurs sous pression présentent de nombreux problèmes médicaux inconnus et il devient nécessaire d'étudier les phénomènes afin de conserver une main d'œuvre en bonne santé.
  - Paul BERT a constaté que l'azote était responsable des maladies de décompression et que ces mêmes maladies étaient liées à la vitesse de remontée. Il préconise une remontée lente mais comme cela se pratique au doigt mouillé, les accidents perdurent.
  - La marine anglaise demande à un physicien d'établir une procédure de sécurité qui limiterait les accidents
  - Donc, en 1908, JS Haldane élabore une table de remonté par palier. Ces tables seront la base et seront utilisées par d'autres pays et modifiées.

Modèle de Haldane

Les 4 hypothèses de départ:

- L'équilibre alvéolaire est instantané (poumons / sang)
- L'équilibre tissulaire est instantané (tissus / sang)
- Le corp humain est divisé en compartiments (5 au départ)
- Chaque compartiment a un comportement homogène vis-à-vis de la charge et de la décharge d'azote.

Les compartiments n'ont pas d'interaction entre eux
Une seule plongée par jour
Remontée à une vitesse de 20 m/mnd

Les différents modèles de désaturation

- HALDANE :
  - Création du modèle Haldanien
  - Table développées pour la Royale Navy en 1908
  - 5 compartiments ayant tous le même Sc

- Tables MN90
  - Issues du modèle haldanien
  - Développée par ma marine nationale en 1990
  - 12 compartiments ayant un Sc propre

Les différents modèles de désaturation

- WORKMAN :
- Détermine pour chaque compartiment une série de Sc dépendant de la profondeur les M.VALUES
- M.VALUES = valeurs maximales de Tn2 acceptées par chaque compartiment à différentes profondeurs
- Il ne s'agit pas de valeurs fixes mais d'un droite
- La tolérance à la sursaturation dépend de la profondeur
  - Plus on est profond, et mieux le compartiment accepte l'azote

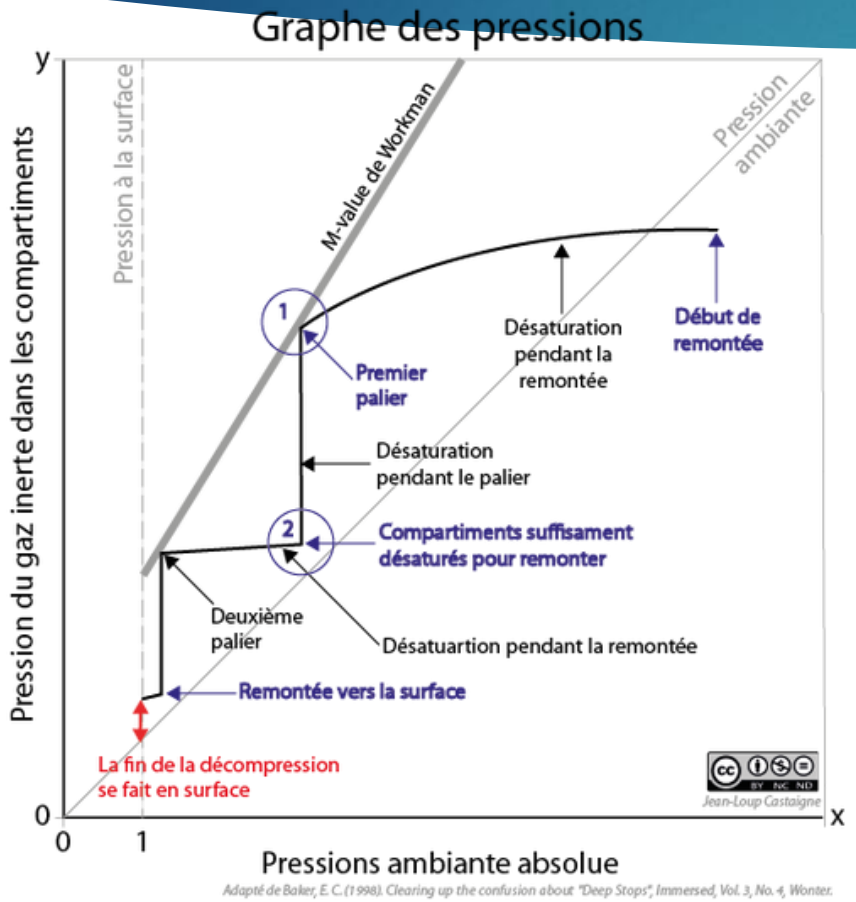
Les différents modèles de désaturation

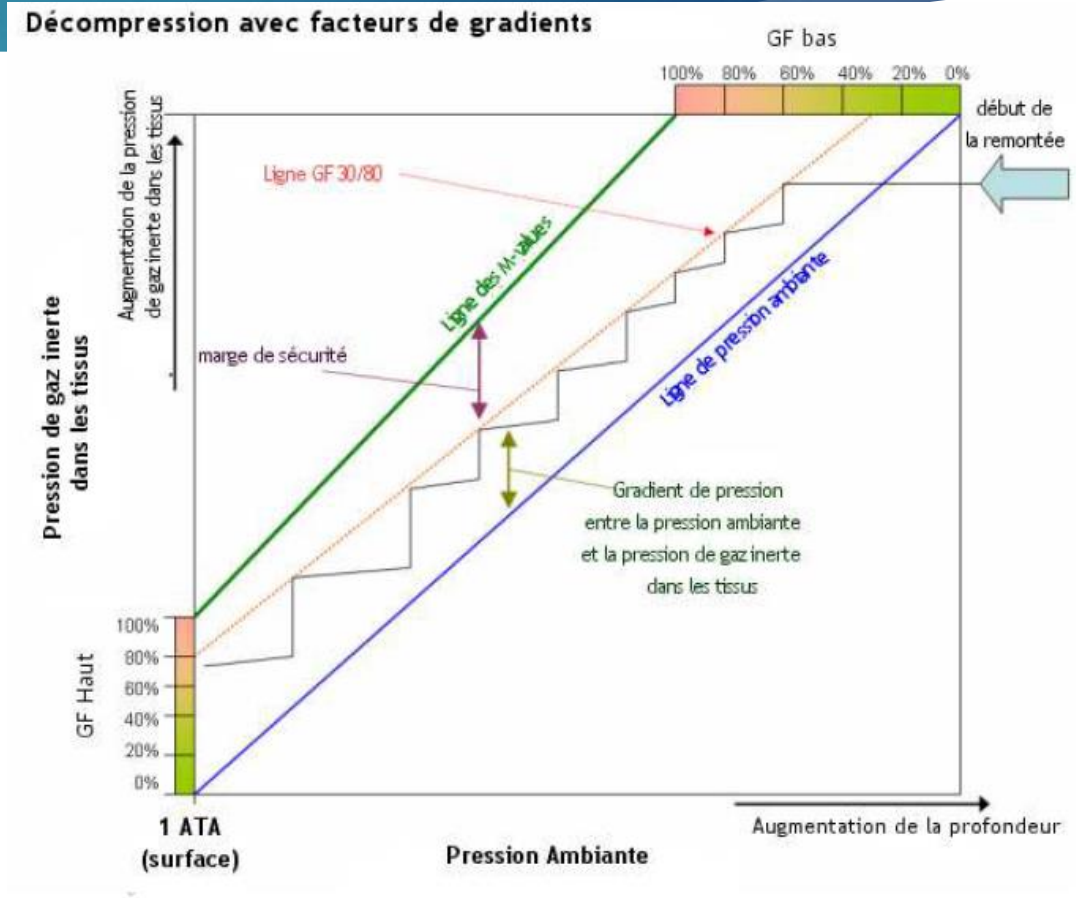
- BUHLMANN
  - Il modifie l'approche de Workmann pour l'adapter à des plongées en altitude et surtout développe les M-VALUE.
  - Il definit plusieurs M-Value par compartiment pour une profondeur donnée
    - Deux jeux de coefficient par compartiment . (ZH-L12 / ZH-L16)
  - Il prends en compte l'air alvéolaire (eau + CO2)
  - Les algorithmes deviennent adaptatifs . ZH-L16 ADT
  - Les GF Low et Hight
    - Ce sont des coefficients définit personnellement afin d'appliquer un conservatisme propre à chaque plongeur et pour chaque plongée.

Les différents modèles de désaturation

- **Les facteurs de gradient:**
  - L'utilisateur choisit le pourcentage de sursaturation qu'il s'autorise au fond (GF Low) et en surface (Gf high).
  - Il s'agit d'un pourcentage par rapport à la droite des M-Values
  - Plus on diminue la valeur du Gf low, plus on diminue la sursaturation qu'on s'autorise dans la zone profonde, ce qui aura pour conséquence de provoquer prématurément l'apparition de palier, ce qu'on appelle « forcer des paliers profonds ». Plus on diminue la valeur du Gf high, plus on diminue la sursaturation qu'on s'autorise en sortant de l'eau, ce qui aura pour conséquence d'allonger les paliers proches de la surface.

Les différents modèles de désaturation





Les différents modèles de désaturation

- Les modèles haldaniens et microbulles :

- Les UWATEC, Galiéo et ordi scubapro
  - Proposent un durcissement
  - Surtout sensible au remontées rapides
  - Permet des paliers profonds

Les différents modèles de désaturation

- Le modèle VPM
  - Varying Permeability Model (ou Modèle à Perméabilité Variable)
  - Il s'agit d'un modèle totalement différent du modèle Haldanien. Le modèle ne s'appuis pas sur un calcul des ration de sursaturation mais sur une taille maximum admise de bulles
  - tous les humains possèdent un capital de micronoyaux
    - beaucoup de petits et quelques gros
  - Au cours de l'immersion, les bulles vont grossir et se rétracter en fonction des valeurs de gaz dissous et de la pression ambiante.
  - les expériences ont montré que l'organisme est capable de supporter un certain nombre de bulles indéfiniment ou dans un temps donné un nombre plus important
  - le modèle VPM va chercher à calculer le nombre maximum de bulles saines que l'organisme peut tolérer

Les différents modèles de désaturation

- Les modèles non haldaniens :
- Modèle par diffusion
  - HILL 1908
  - Hempleman 1952
    - Prise en compte :
      - La résistance mécanique lors des phases d'absorption et d'élimination de l'azote
      - Le palier moins profond se trouve à 5m et non à 3m
      - 1 seul compartiment
- Compartiments en série (table DCIEM au canada)
  - Compartiment en série et non parallèle
  - Prise en compte des échanges entre compartiment
  - Les bulles ont été mesurées par Doppler

Les différents modèles de désaturation

- Noyaux gazeux et microbulles : Modèle di-phasique
  - RGBM (reduce gradient bubble model) suunto….
    - Personne ne sait vraiment comment ça marche !!
    - Probable un mix entre VPM et Buhlman
    - Sécuritaire et conservateur
    - Pas plus accidentogène que les autres ,

conclusion

- Les modèles ne sont que mathématique, donc peu de lien avec le corps humain

- Le non respect des procédures ne mène pas forcément à l'accident et le respect des procédure peut quand même être suivi d'un accident …

- Les modèle ne prennent pas en compte :
  - La mauvaise forme physique
  - Le tabac, l'alcool
  - L'Age
  - La sédentarité
  - Le manque de pratique …

Synthèse

realisation actuelle	modèle	particularité
SUUNTO	haldanien : spencer / 9 compartiments / périodes asymétrique	limitation des facteurs de risques avec un « conservatisme RGBM »
MARES	n'est pas dans le domaine public	limitation des facteurs de risques avec un « conservatisme RGBM »
UWATEC	haldanien : Bulhmann à 8 compartiments	ADT : adaptatif en fonction des paramètres de risque
tables MN90	haldanien	12 compartiments, seuil = ratio tension/Pamb
océanic	Spencer à 12 compartiments	plongée altitude

BEUCHAT	CRESSI	MARES	SUUNTO	UWATEC
Bühlmann ZHL-16C	Bühlmann ZL-L12	Mares-Wienke RGBM	Suunto RGBM	Bühlmann ZH-L8 ADT
12 compartiments	12 compartiments	//	9 compartiments	8 compartiments
Périodes : 2,5 à 480 min	Périodes : 5 à 640 min	//	Périodes : 2, 5 à 480 min	Périodes : 5 à 640mn

Et voila, enfin terminé…

des questions ?

Vidéo…

- (1) Etats de saturation – YouTube l'état de saturation
- (1) Gradients Factor pour Les Nuls – YouTube les GF