

Histoire de bulles

Nouveautés en matière de désaturation

Bernard SCHITTLY

Médecin du sport
Médecin fédéral
Médecine de plongée
MF 2, Instructeur régional

Les ADD

- Accidents de désaturation
- Dus aux petites bulles
- Qui naissent à différents endroits
- Se déplacent avec la circulation
- Coincent à des endroits « stratégiques »
- Et provoquent les lésions connues
 - Ou pas ?

Les balbutiements de la décompression

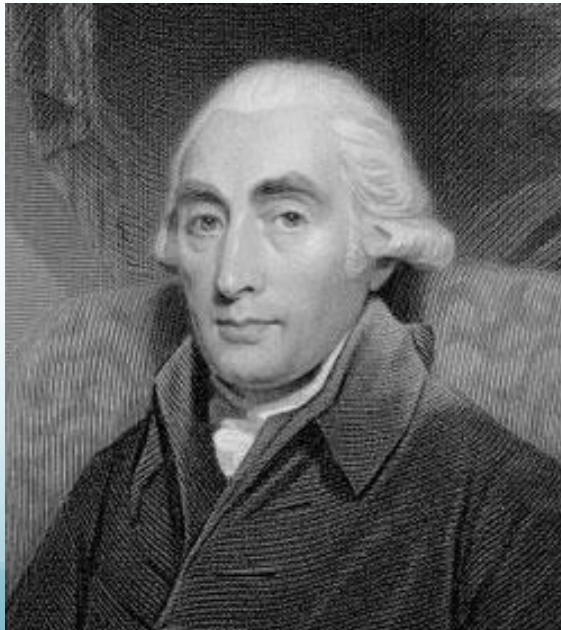
- 1661 Robert Boyle
- Compression des gaz
- Comprime des vipères
- Et visualise des bulles sous la peau lors de la décompression
- Pourquoi des vipères ?
 - alors que tout le monde sait que Saint Patrick a chassé tous les serpents d'Irlande en les repoussant dans la mer !



Il est la cause à
tout nos
problèmes, avant
on était tranquille !

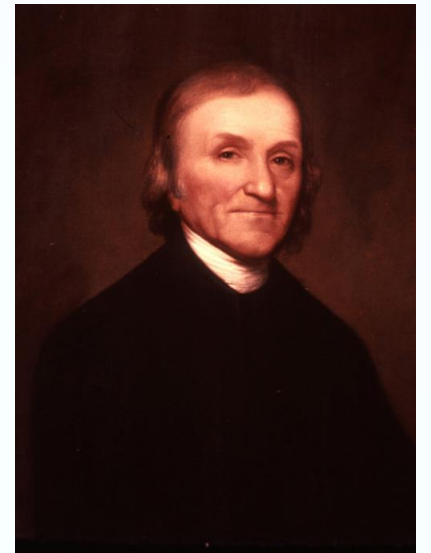
1755

- Black « invente » le CO_2



1774

- Priestley découvre l'oxygène en 1767
- Le fabrique la première fois en 1774
- L'appelle air déphlogistiqué
- Et ne comprend pas son rôle



Apparition du Doppler

- Fin des années 60
- Permet de mesurer par ultra sons
- Le nombre
- La taille
- Des microbulles
- Méthode validée de détection
- Le nombre et la taille des micro-bulles permet de prévoir les ADD
- Le bullage est maximal $\frac{1}{2}$ et $\frac{3}{4}$ H après la sortie de l'eau.

Petite expérience scientifique

- on prend de l'eau distillée pure
- on la met sous pression à 200 bars
- et on décomprime brutalement
- que se passe t-il ?
- rien !
- absolument rien !
- quelle pression faudrait-il pour générer des bulles ?
- 300 bars minimum

Comment expliquer ça ?

- pour avoir des bulles, il faut une impureté
- également appelée amorce
- quelles sont ces amorces ?
- dans le corps humain, ce sont des micronoyaux gazeux
- constitué de ?
- CO_2

Plus sérieusement

- Dans le corps humain comment ça se passe ?
- On va déménager à Hawaï
- Avec David Yount
- Chercheur



David Yount

- Il a passé sa vie sur des bacs de gélatine
- En comprimant et décomprimant ceux ci
- Il a permis la conception du modèle VPM dans son principe
- Méthode de fabrication de la gélatine
 - Eau du robinet
 - Eau distillée

Pour que naissent les bulles

Amorces

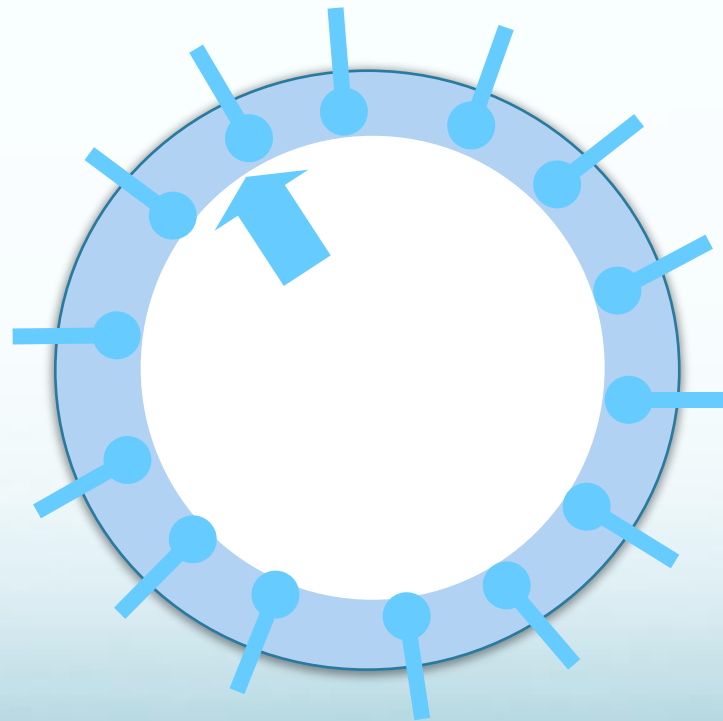
- Indispensables à la naissance des bulles !
- Ce sont les gaz nucléi
- Les gaz nucléi sont très très très petits
- Les microbulles sont beaucoup plus grosses
- Quant elles grossissent encore elles deviennent des bulles qui peuvent coincer ...

Survie des bulles

- Durée de survie des bulles
- Très courtes dans la gélatine et les liquides d'étude
- Très longues dans le corps humain
- Grâce aux surfactants

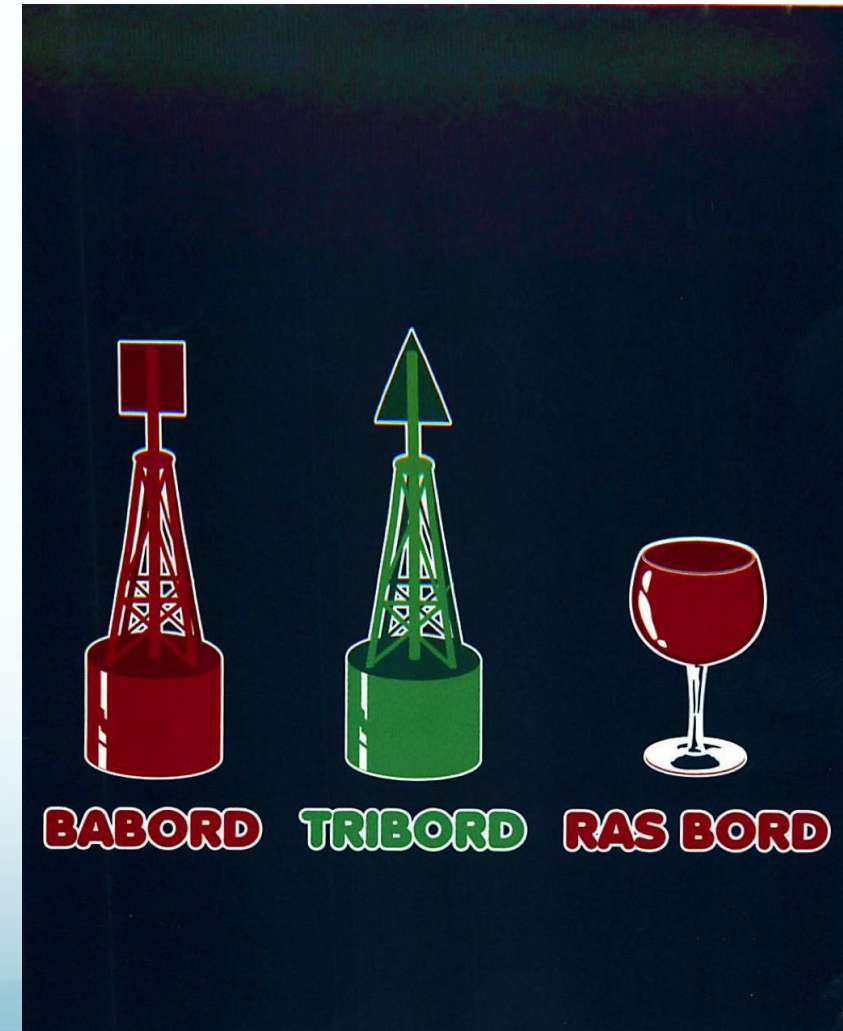
Le surfactant

- Molécule chimique, présente dans le sang, qui se place à l'interface air/liquide.



Amorces pour les gaz dissous

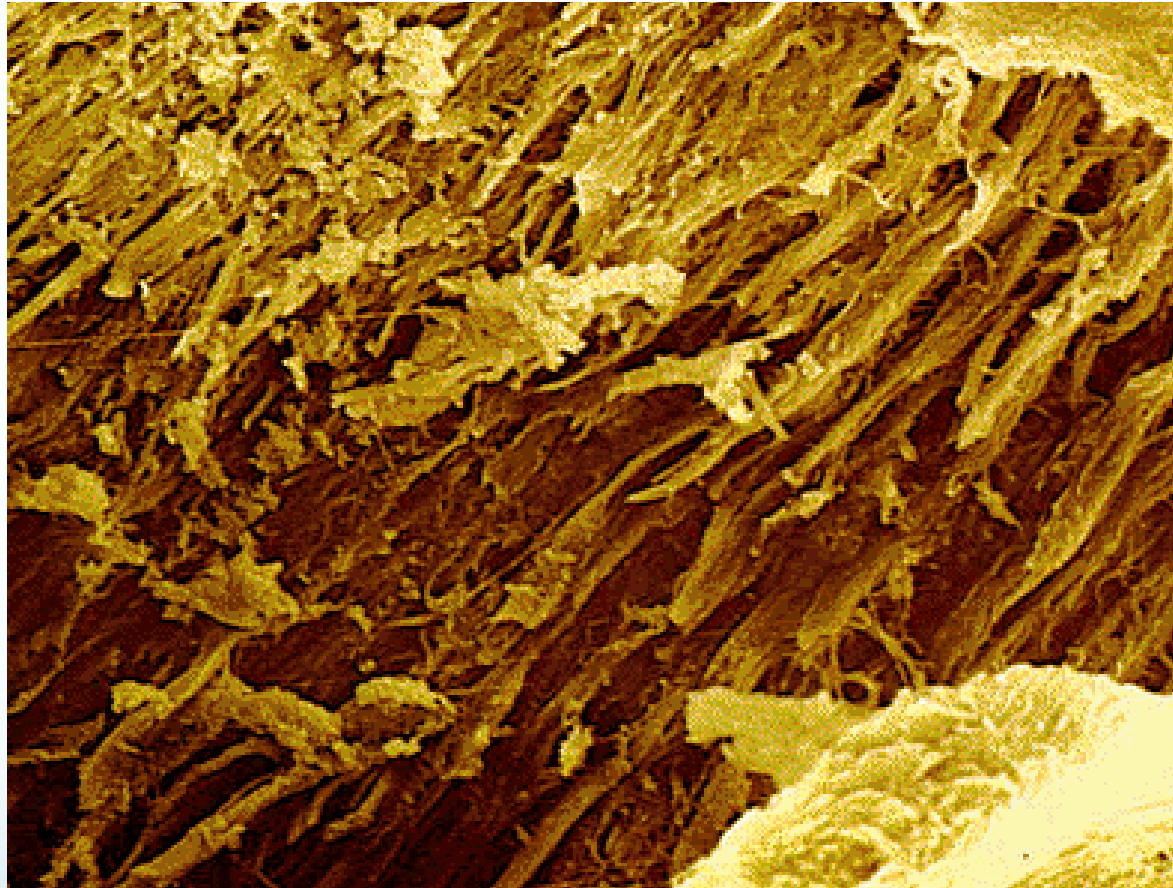
- Impuretés contenues dans le sang
- Ce sont les micro-noyaux gazeux
- Qui servent d'amorces
- Ces micro-noyaux gazeux sont formés de CO_2
- Mais d'où vient ce CO_2 sous forme gazeuse ?



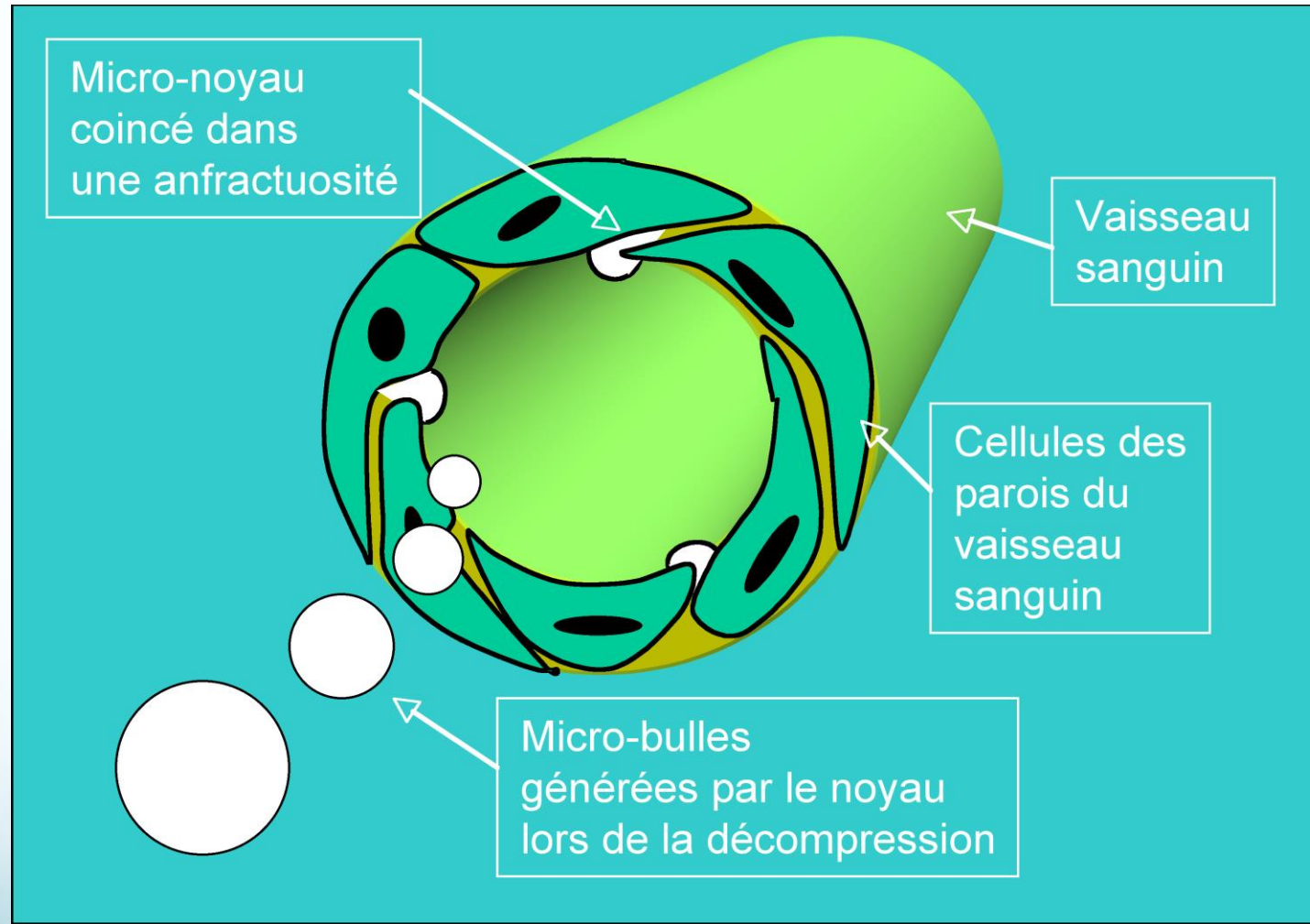
Origine des noyaux gazeux

- La cavitation
 - Crosse de l'aorte, bifurcation des gros vaisseaux
- La tribonucléation
 - Dans les articulations
- Les noyaux gazeux ainsi formé vont se poser sur :
- Les vacuum nucléosum
 - Ou crevasses hydrophobes
 - = poches de gaz capillaires
 - situés sur l'endothélium capillaire qui présente certaines zones hydrophobes

Endothélium vasculaire en ME à balayage

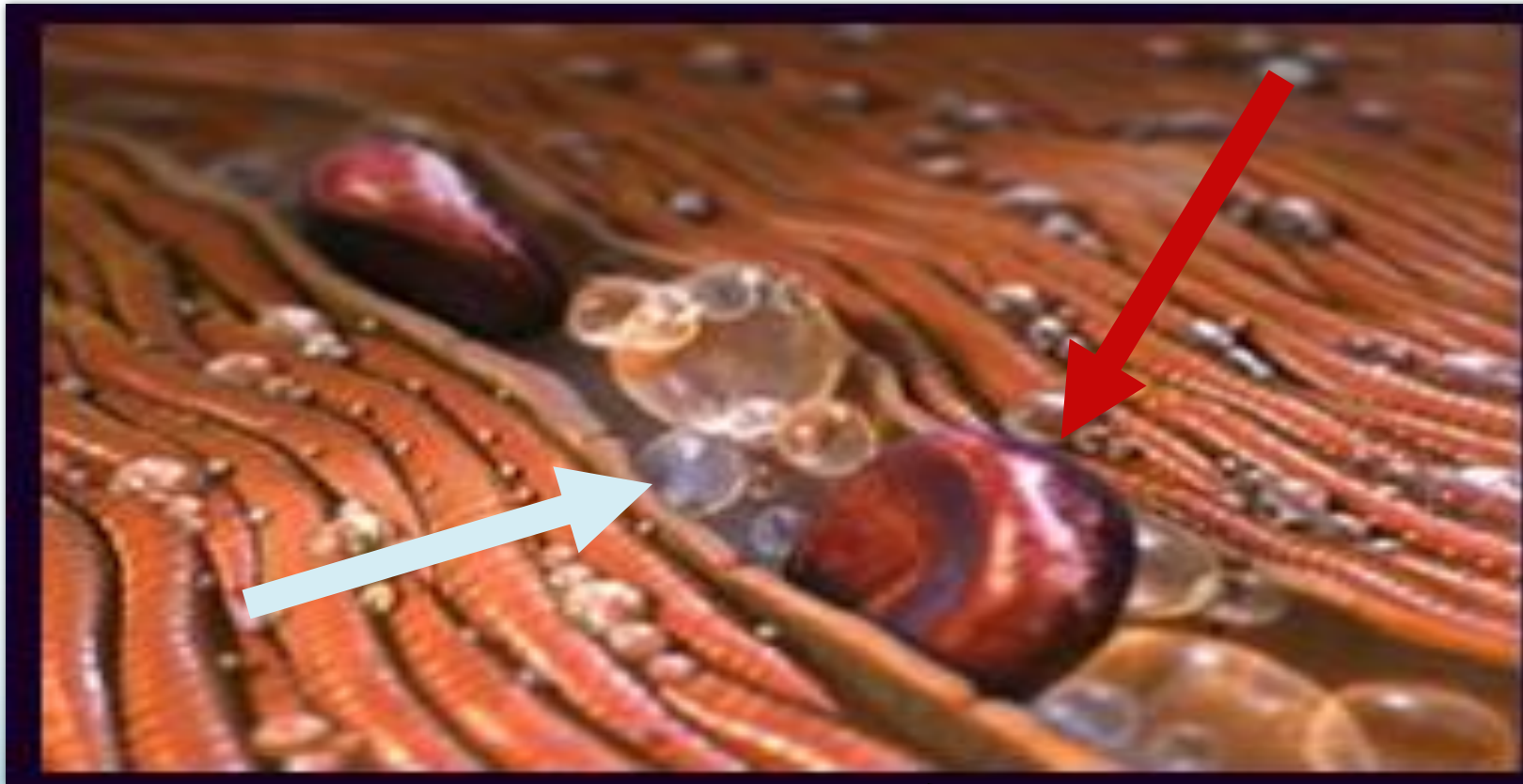


Merci à Jean Pierre Imbert



EXISTENCE DES GAZ NUCLEÏ:

(microscopie électronique)



Merci à Georges Livet

Devenir de ces gaz nucléi

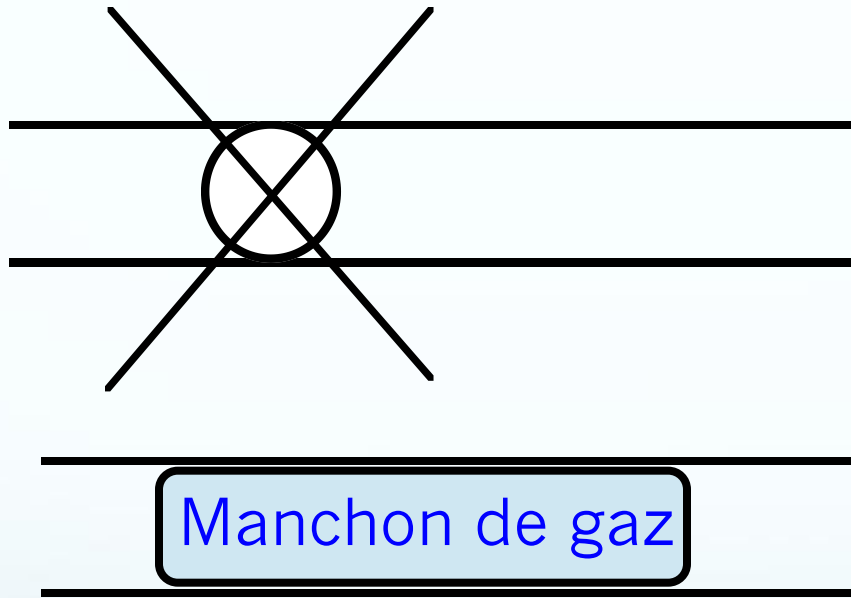
- Ils servent d' amorce
- L' azote relargé des tissus en phase de désaturation
- Va se fixer sur ces gaz nucléi
- Et les faire grossir
- Pour donner des :
 - Micro-bulles
 - Puis des plus grosses bulles ...

Le gaz dissous va se transformer en gaz gazeux au contact de ces micro-noyaux de CO_2 .

La circulation des bulles

- Les bulles ainsi formées
- Passent dans la circulation
- S' éliminent dans le poumon
- Ou ne s' éliminent pas
 - Engorgement du filtre
 - Effet shunt
 - Foramen ovale
- Dans ce cas, elles peuvent provoquer des lésions

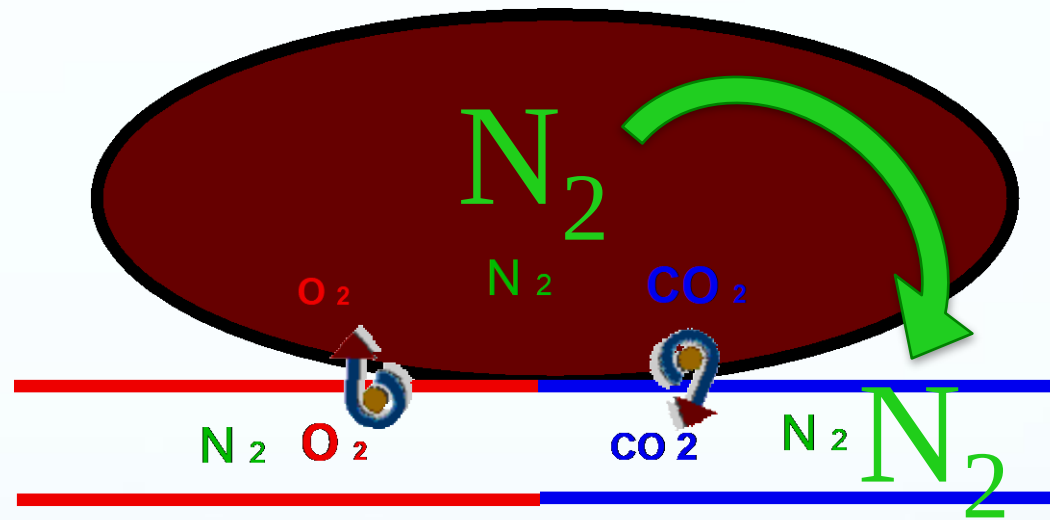
Comment ça se présente ?



- En aval on va avoir la maladie de décompression
- Avec agrégation des plaquettes
- Mise en route des phénomènes de la coagulation ...
- Les lésions dépendent évidemment du lieu où ça « coince »

Pourquoi la bulle grossit-elle ?

- Vous avez dit Mariotte ?
- Pas si sûr !
- La bulle circule dans le corps, càd un liquide
- Le corps est lui même plongé dans un liquide
 - Mais les liquides sont incompressibles ...
- Et Henry ?
- Petit effet Mariotte
- Gros effet relargage d'
 N_2

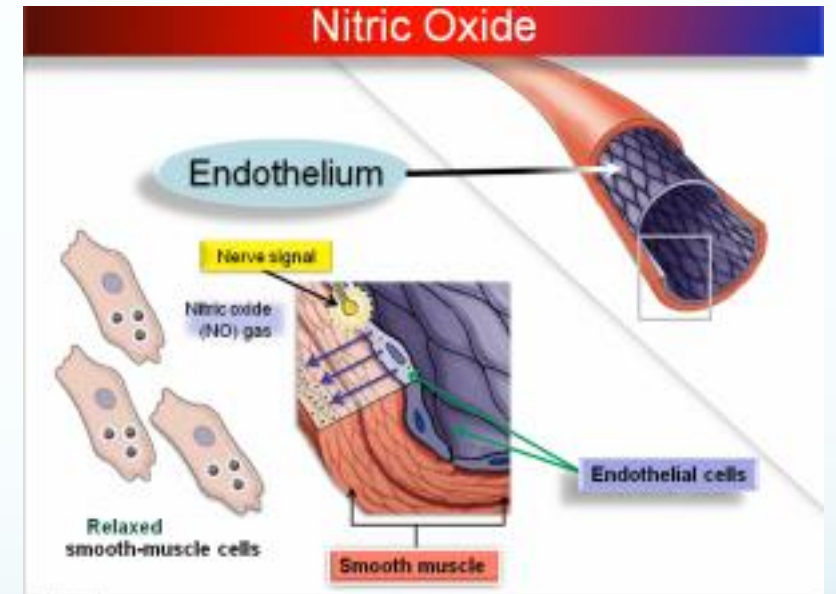


Nouvelles théories sur les crevasses hydrophobes

- Communications spectaculaires de Bruback et Nishi
- pour dire qu'on a découvert un médicament qui évite les ADD
 - niveau élevé de preuve chez le rat
- cette substance chimique est le NO
- ou Monoxyde d'Azote

Effet du NO

- Sous l'action du NO
- Le vaisseau se dilate
- L'endothélium se « lisse »
- Disparition des vacuum nucléusum
- Passage dans la circulation des bulles de CO₂
- Disparition d'une grande partie des « amorces »



Le NO

- Comment en avoir ?
 - L'exercice physique en produit
 - Quelle intensité ?
 - Quelle durée ?
 - Combien de temps avant la plongée ?
 - Expériences chez les militaires
 - La chaleur en produit
 - Expérimentation avec une séance de sauna 1 H avant la plongée

Nouvelles théories sur les crevasses hydrophobes

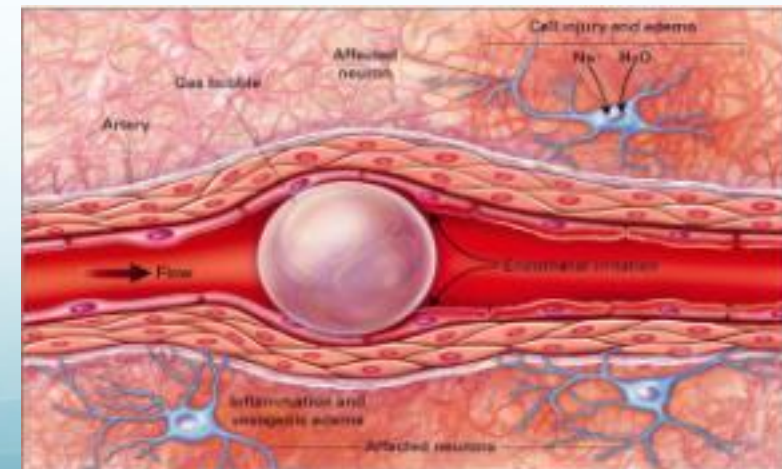
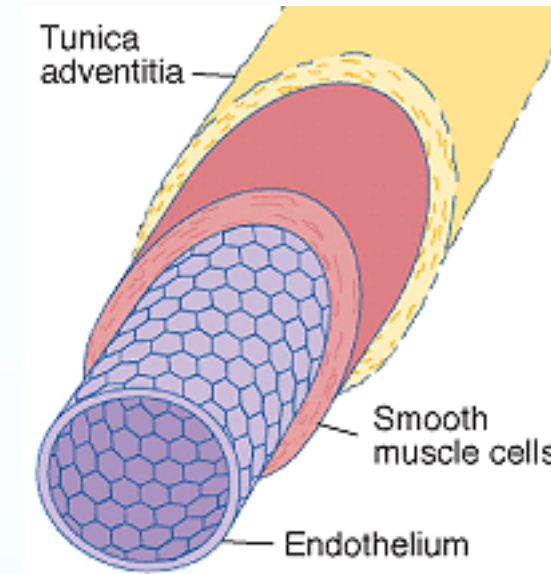
- Apport « chimique »
 - Dérivés nitrés => mal à la tête
 - Sildénafil => doses (et effets secondaires)
 - non maîtrisés
- Autre moyen de détacher les bulles de CO₂ des parois vasculaires
 - Les vibrations => produisent une action mécanique
 - Lit vibrant étudié par DAN en Belgique
 - Le trajet sur le site de plongée en Zodiac
 - Dépend de l'état de la mer ...

Nouvelles théories sur les vacuum nucléusum

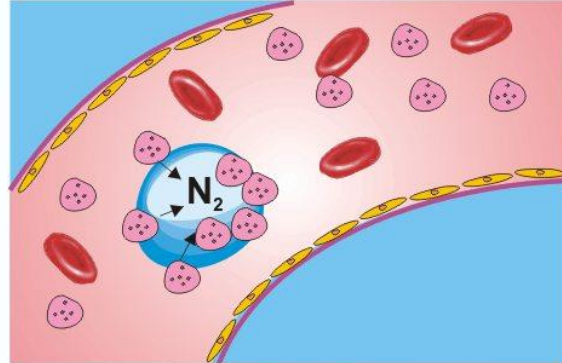
- En conclusion
- L'info à transmettre concernant l'exercice avant effort :
- Il est urgent d'attendre
- Les expérimentations se poursuivent.
- Et les applications à la plongée loisir ne sont pas établies.

Maladie endothéliale

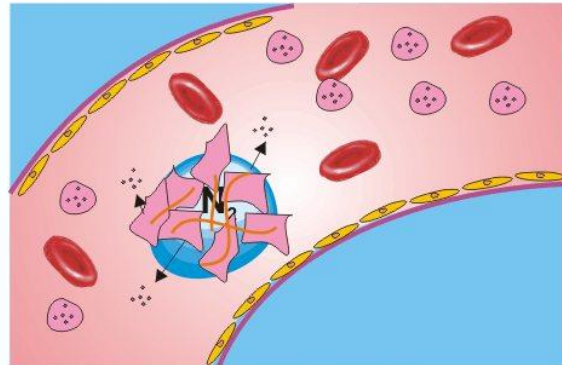
- Qu'est ce que l'endothélium ?
- C'est la paroi qui tapisse l'intérieur des vaisseaux sanguin
- L'endothélium est « vivant » et réagit aux agressions
 - mécaniques
 - celles des bulles
 - pendant la décompression
 - celles de certaines maladies
 - athérosclérose, infarctus, tout ce qui modifie la paroi
 - le cholestérol ...



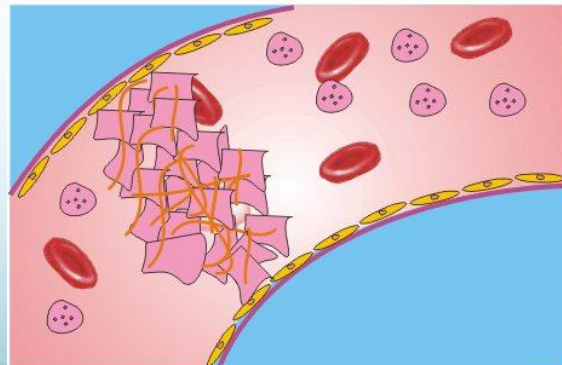
Bulle d'azote : action des plaquettes



Etape 1 : adhésion plaquettaire.



Etape 2 : libération plaquettaire.



Etape 3 : agrégation plaquettaire.

D'après Tortora et Grabowski

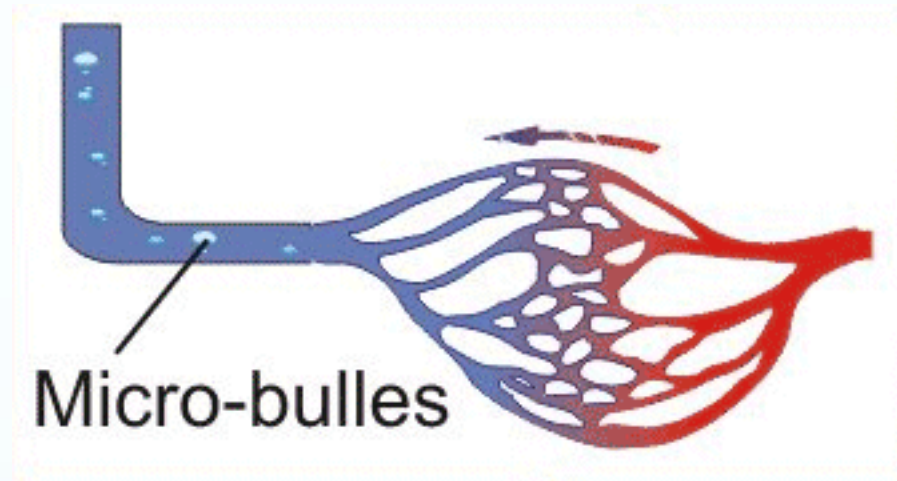
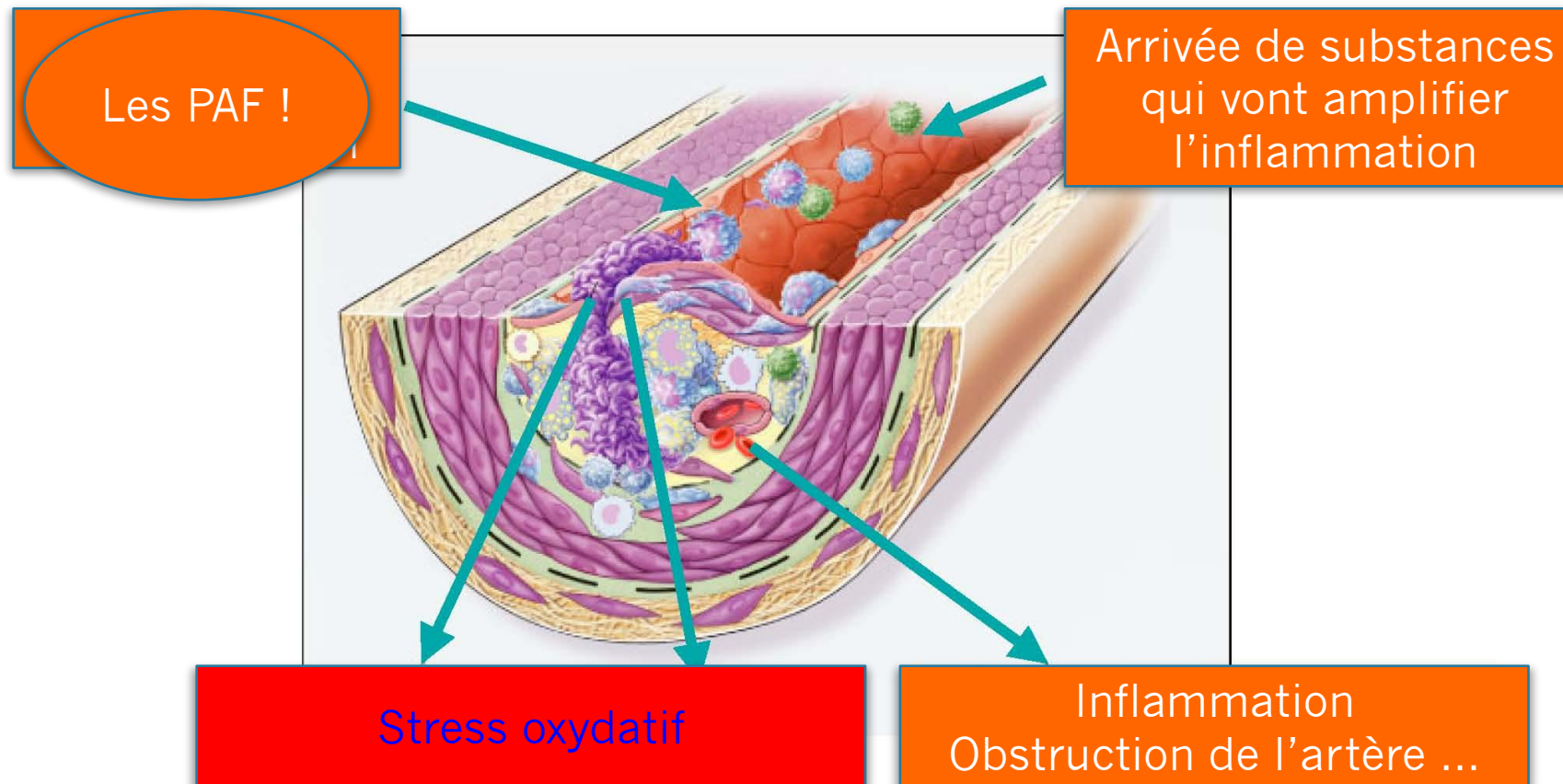


Figure 1. Research Focus: Inflammation-Induced Vascular Dysfunction



Les circonstances favorisantes des ADD

- Sur le plan physiologique
 - La déshydratation
 - L'essoufflement
 - Le froid
 - L'obésité
 - La sédentarité
 - L'âge
 - La fatigue
 - Le tabac
 - Le sexe féminin
 - Le stress
 - Les shunts
 - Pulmonaires
 - Cardiaques
 - Les troubles de la coagulation
 - La génétique, facteur de protection ?



La déshydratation

- La viscosité sanguine augmente
- Le sang s'écoule moins bien
- Il y a moins d'échanges parce que le débit baisse
- Il y a deux mécanismes à la déshydratation :
 - L'augmentation de la diurèse.
 - La respiration d'air sec ?



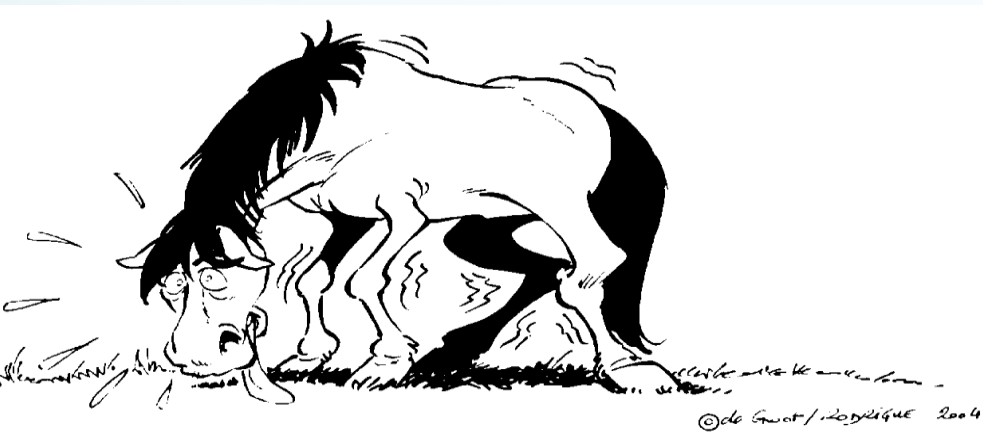
Le mécanisme de la déshydratation

- Par l'augmentation de la pression = diurèse d'immersion
 - Afflux de sang vers le noyau central
 - Diminution de sécrétion d'ADH
 - Diurèse
- La diurèse du plongeur augmente par le froid
 - Vasoconstriction des extrémités (peau)
 - Afflux de sang vers le noyau central
 - Diurèse
- Le fait de respirer de l'air sec ne déshydrate pas, il donne juste une impression de bouche sèche

L'essoufflement



- Par augmentation du CO_2
- Augmentation des « noyaux gazeux »
- Hyperventilation et vasodilatation
- Augmentation de la diffusion et de la saturation tissulaire
- Après la sortie de l'eau, le CO_2 redevient normal et la désaturation sera plus risquée
- Risque de panique, de narcose et de surpression pulmonaire
- Risque de panne d'air et rupture de palier



Le froid : deux mécanismes

- **Vasoconstriction périphérique**
- La peau n'est plus vascularisée
- La peau est le 2^e tissu de l'organisme par son importance
- Donc pas saturée
- Mais la même quantité d'azote sera dissoute
- Donc les autres tissus seront plus saturés en azote
- **Augmentation de production du CO_2**
- Par des contractions musculaires
- Pour réchauffer l'organisme
- Donc augmentation (modérée) des noyaux de CO_2



L'obésité

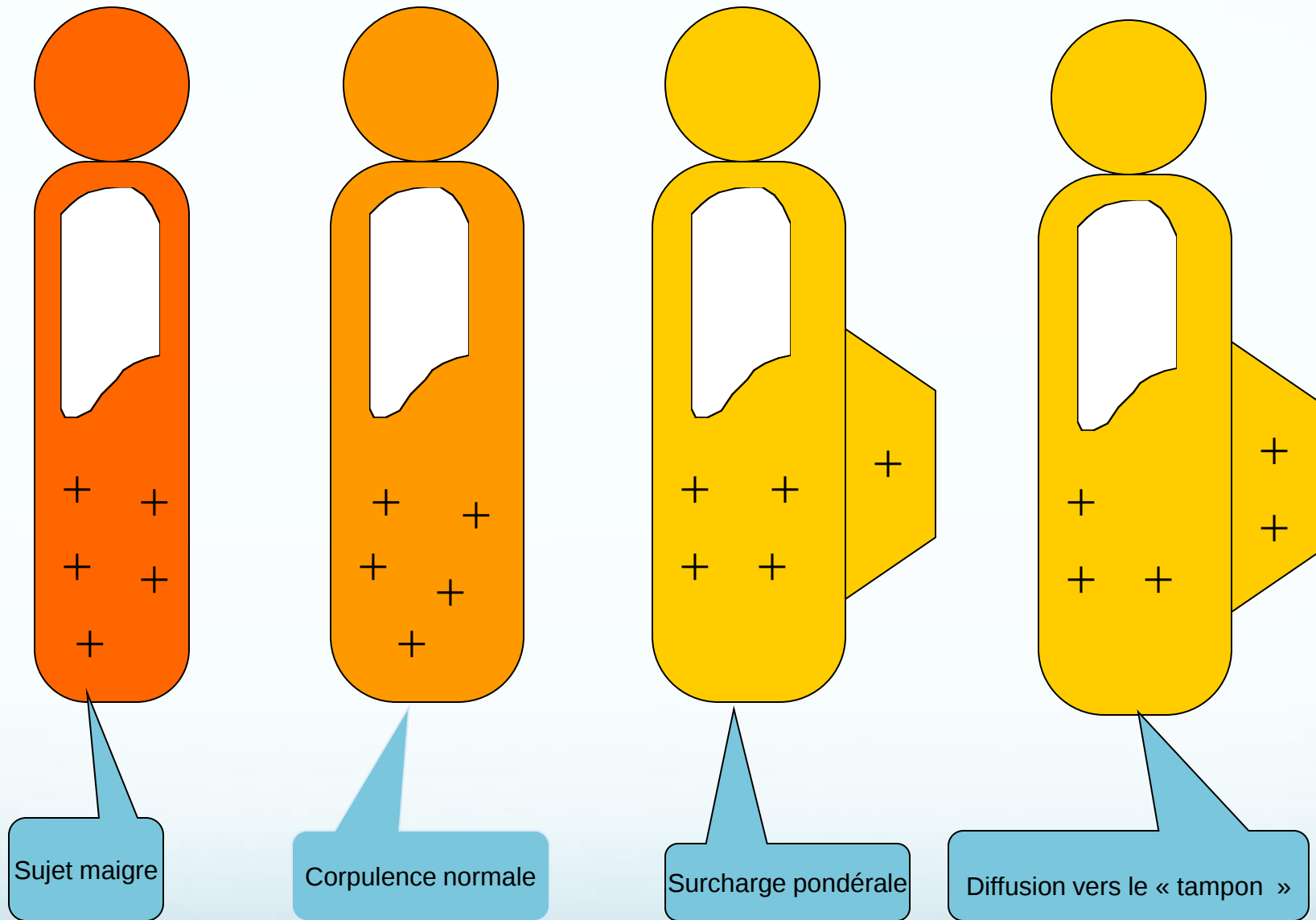


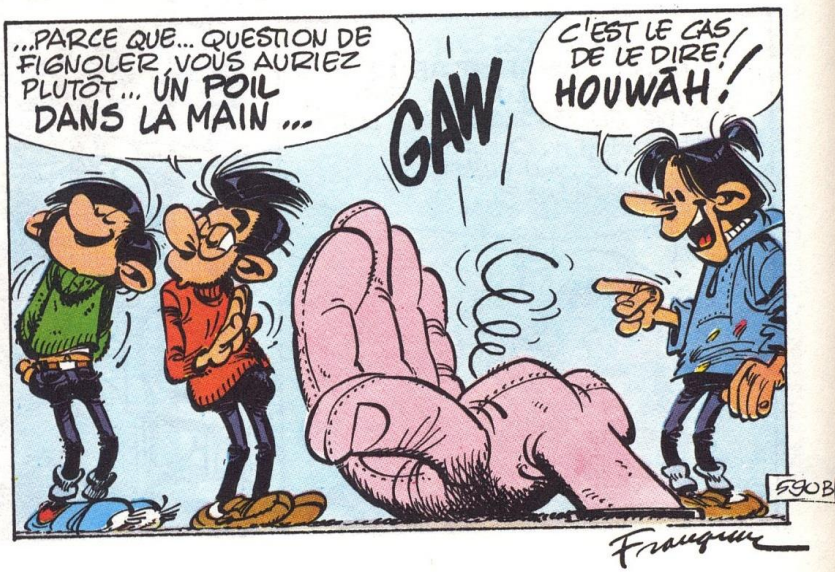
- Classiquement décrite comme étant un facteur de risque
- En fait, la graisse sert de réservoir tampon
- Ceci a été vérifié au DOPPLER

L'obésité

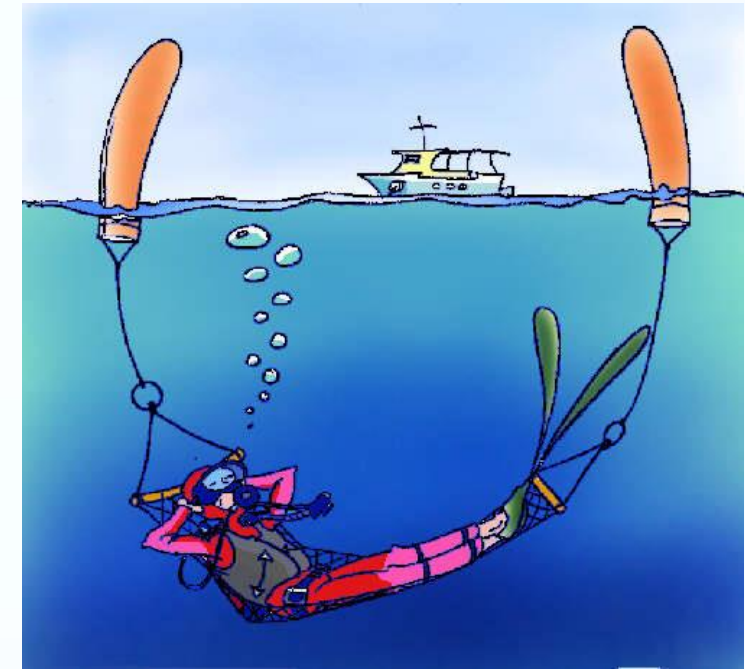


- C'est l'inverse de ce qu'on vient de voir pour la peau
- La graisse est un tissus assez lent
- Et donc non générateur d'accidents grave
 - uniquement vrai chez un non sédentaire





La sédentarité



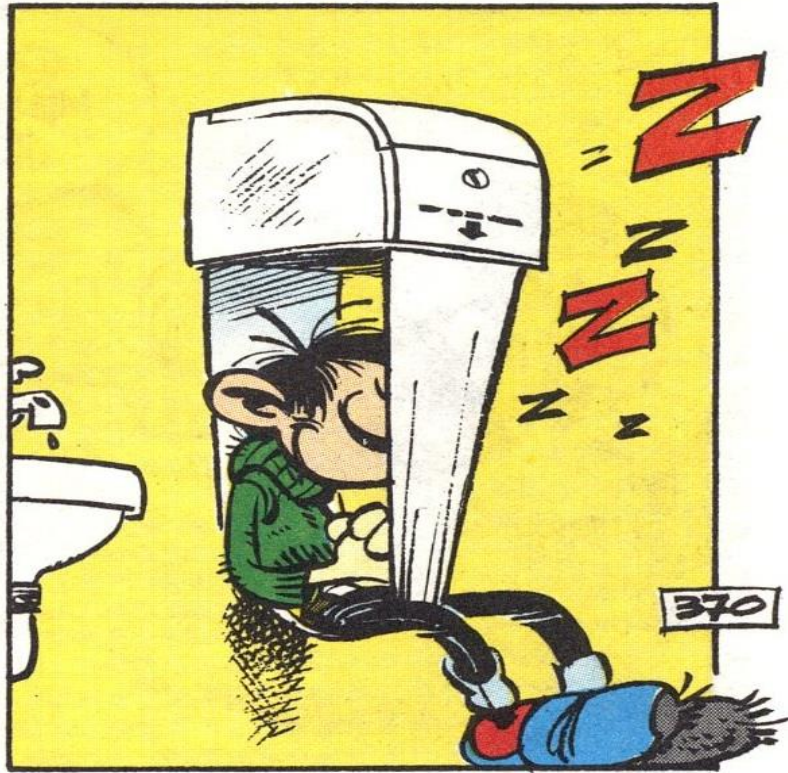
- Les fonctions physiologiques sont importantes :
 - cœur, poumon, muscle ...
- Une personne bien entraînée n'a pas de risque accru
- Une personne en mauvaise condition physique, a des fonctions physiologiques moins performantes
- Donc plus de risque
- La technicité est à mettre sur un plan identique :
 - Un plongeur entraîné et expérimenté consomme moins et fourni des efforts moindres (économie de mouvements) ... qu'un plongeur avec une technique médiocre

L'âge (avancé)

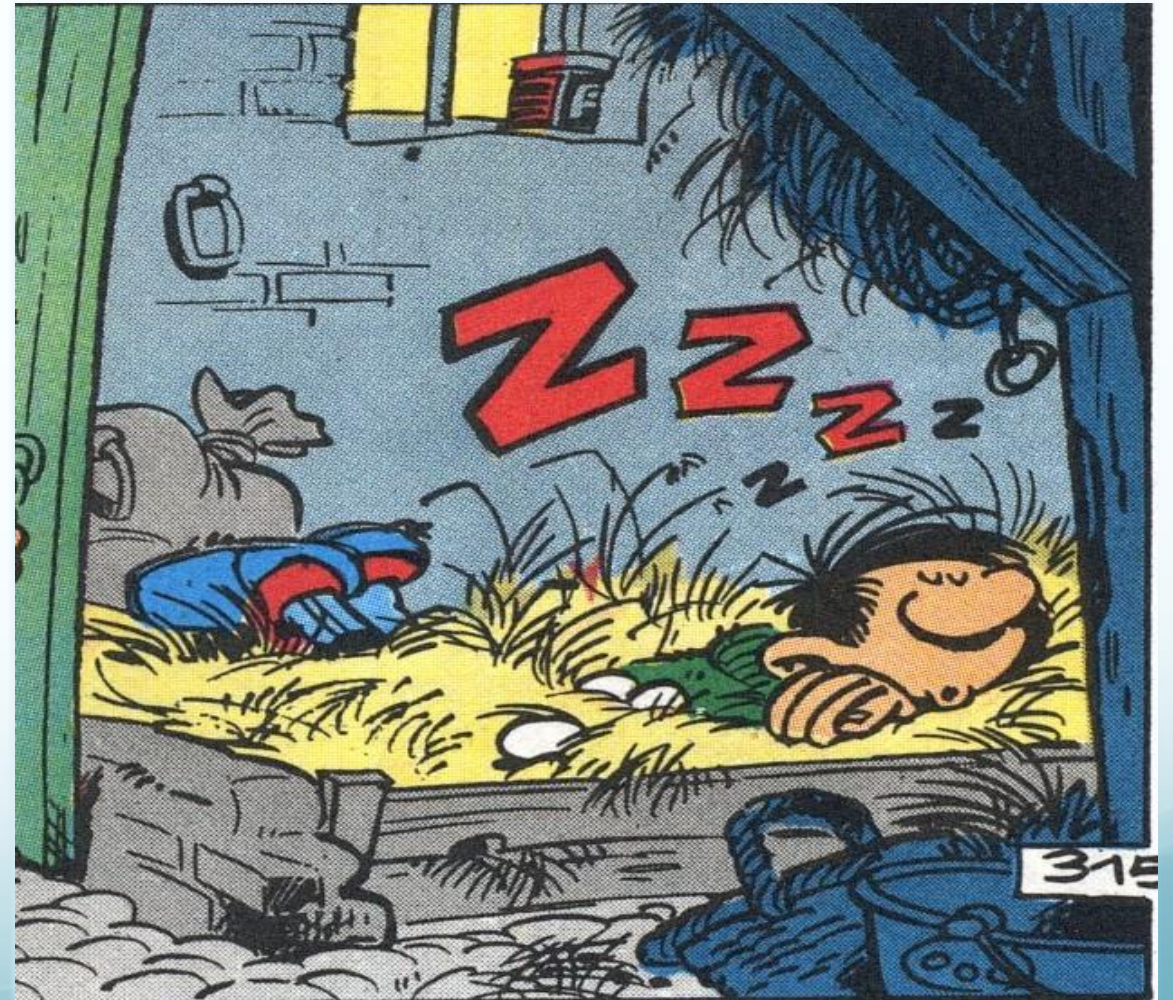
- Serait un facteur favorisant d'accident de plongée.
- C'est un biais de recrutement statistique, l'âge moyen des plongeurs étant en constante augmentation
- On revient à la sédentarité et aux fonctions physiologiques.
- Tout accident survenu en plongée n'est pas forcément un accident de plongée : IDM, AVC... dont les risques augmentent avec l'âge.



La fatigue

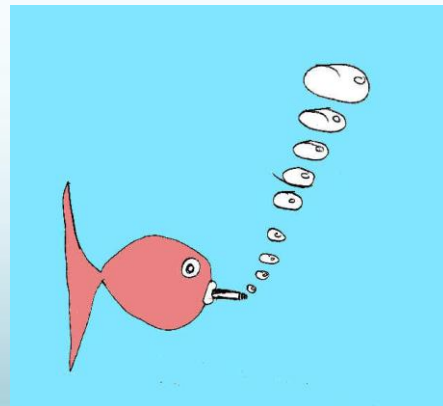


- Définition de la fatigue ?
- Déshydratation ?
- Lien statistique très fort.
- Repos de 24 H avant plongée.



Le tabac

- Filtre pulmonaire moins performant
- Plus de bulles au DOPPLER
- Plus de shunts pulmonaires
- Statistiquement, pas plus d'accidents ...
- Mais accidents plus graves



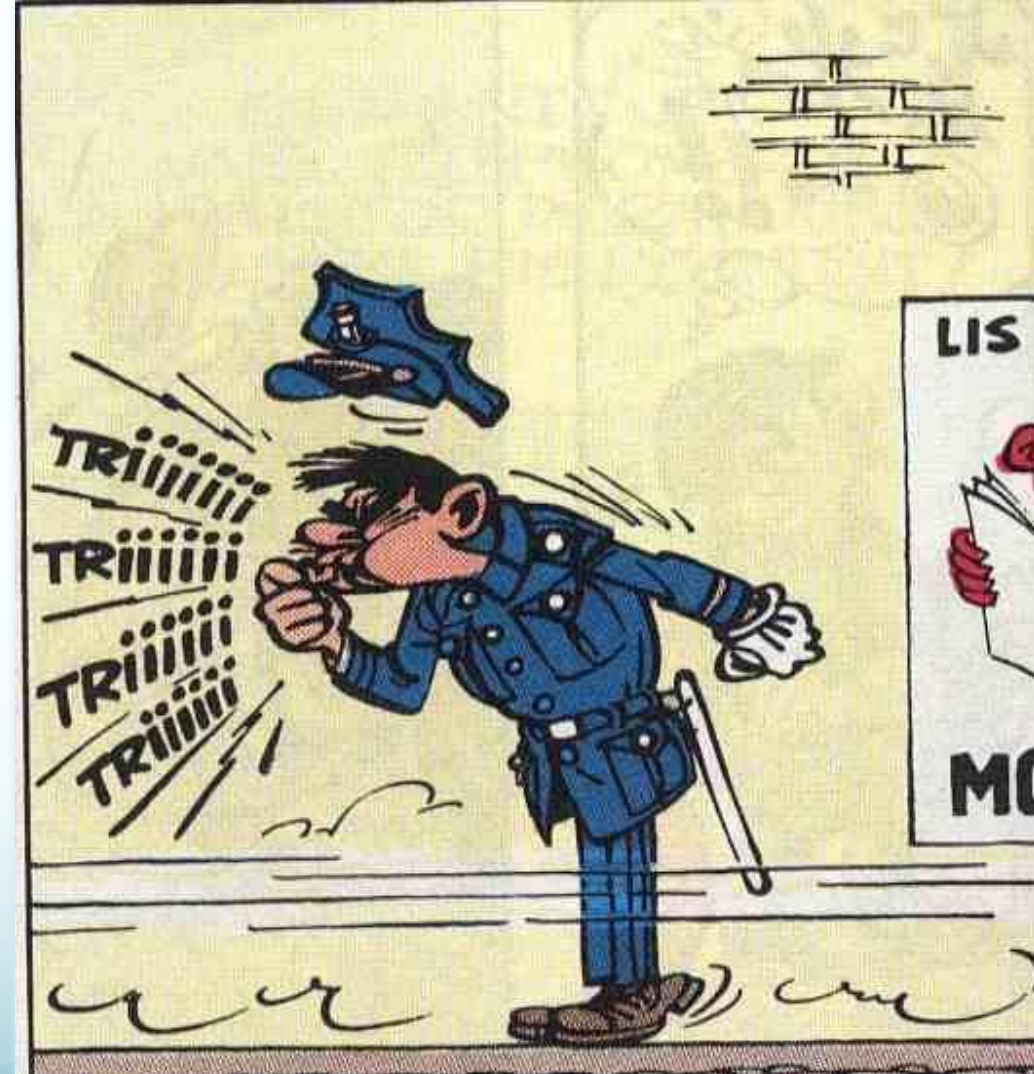
Le sexe féminin



- C'est un facteur de risque classiquement retrouvé dans les vieux livres
- C'est bien évidemment faux
- Il n'y a pas de prédisposition féminine aux ADD
- Au contraire, les femmes ont souvent un comportement plus raisonnable en plongée
- Donc moins générateur d'accident

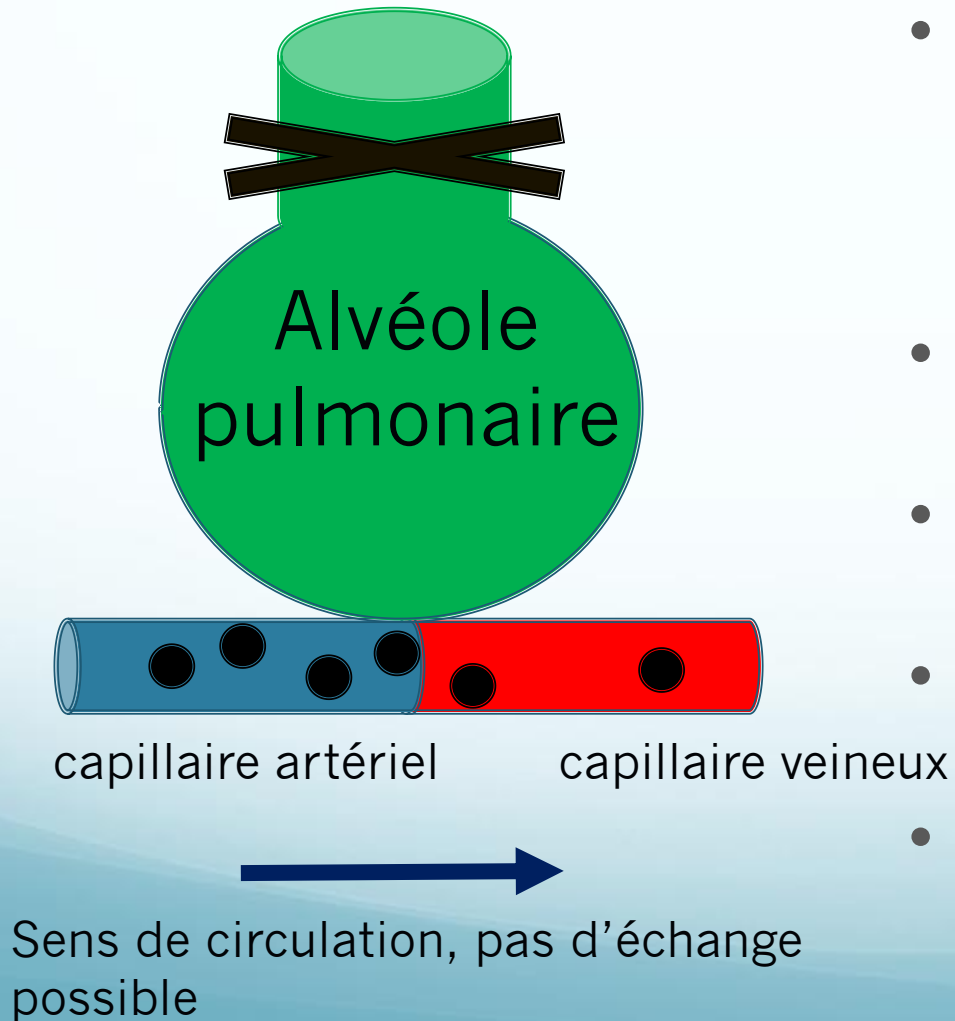
Le stress

- Est un facteur de risque clairement établi
- Souvent retrouvé avant la plongée
- Mais mécanisme inconnu :
 - Mécanisme par augmentation du CO_2 et comportement inadapté ?
 - Augmentation de la TA et du W cardiaque ?
- Etudes complémentaires nécessaires.



Les shunts pulmonaires

Alvéole non ventilée



- Passage des micro-bulles de la D vers la G, non filtrées au niveau du poumon
- Présent chez 10% de la population
- Plus important chez le fumeur
- Problème de comportement
- Ne favorise que les ADD cérébraux, cochléo-vestibulaires ou les marbrures cutanées

Le FOP

- Foramen Ovale Perméable
- Présent chez 30% de la population
- Essentiellement responsable des ADD cérébraux, cochléo-vestibulaires et des marbrures cutanées
- Mais aussi incriminé dans certains ADD médullaires
- Non ouvert à l'état basal
- Comportement du plongeur essentiel pour la prévention

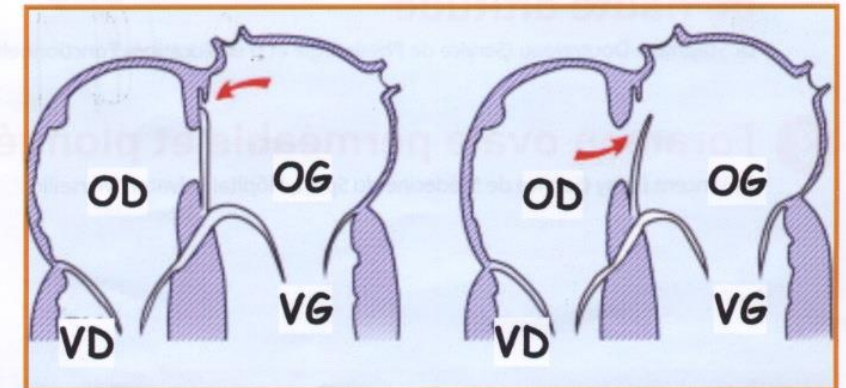
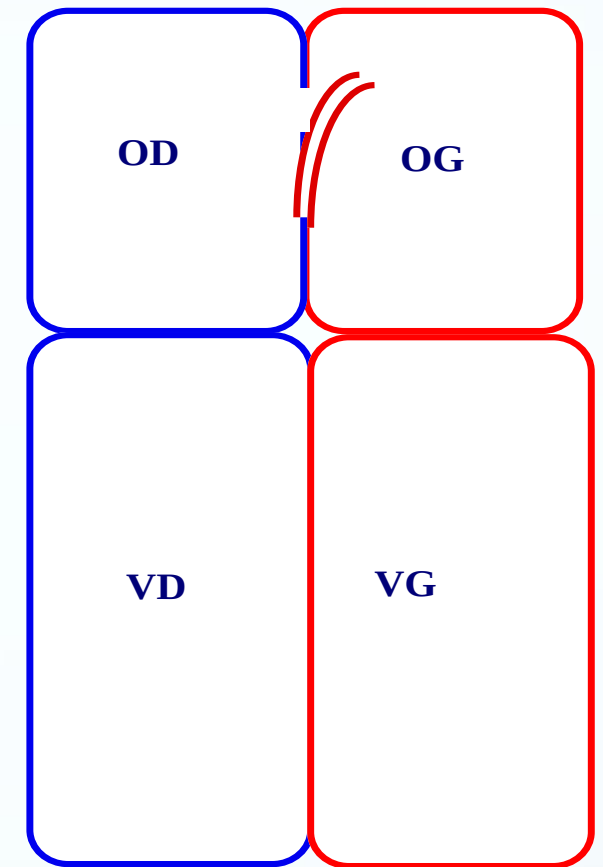
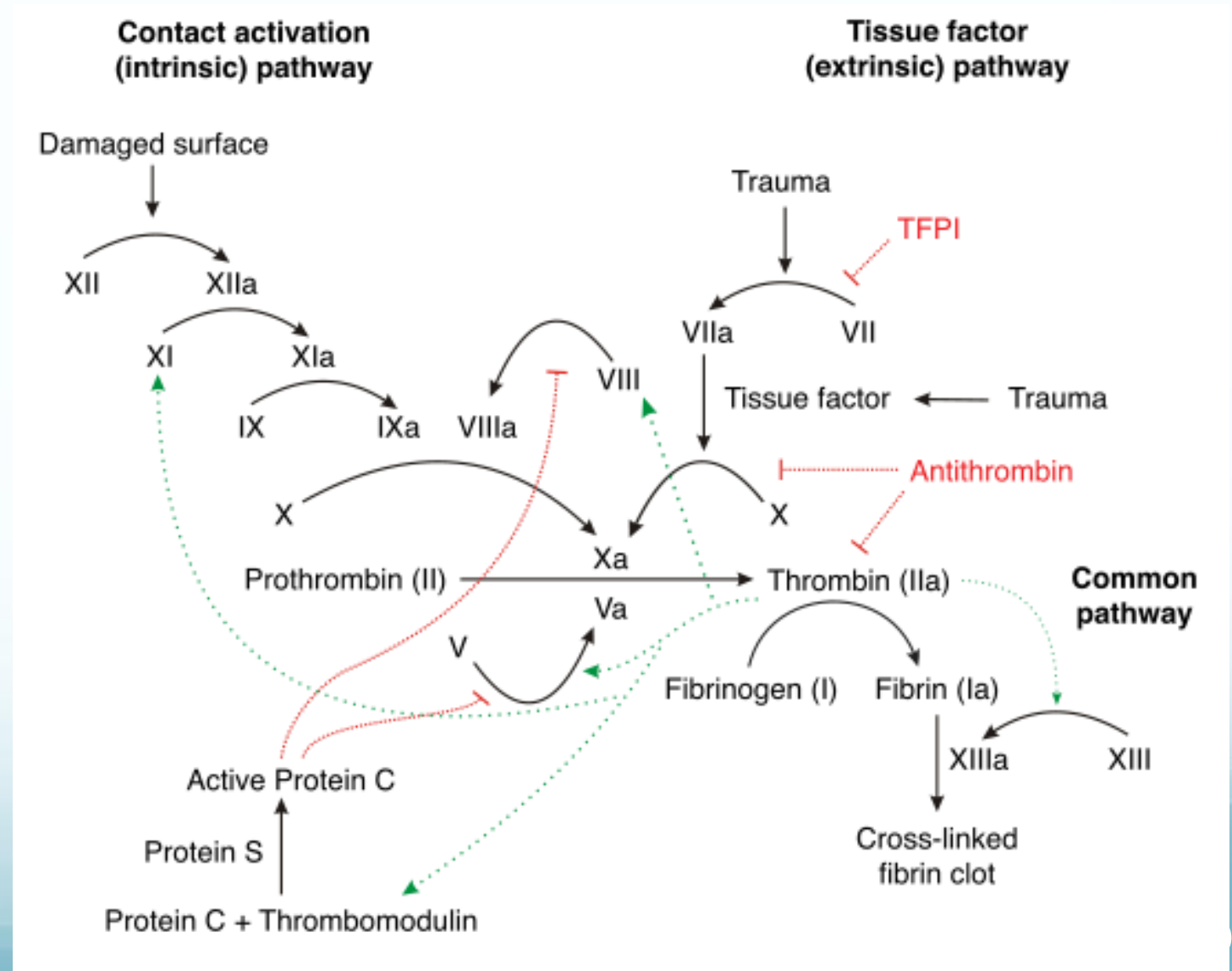


Figure 1 - Schématisation du FOP : le septum secundum, situé sur la partie gauche du septum inter-atrial, se comporte comme un clapet pouvant s'ouvrir ou se fermer selon le gradient de pression intra-auriculaire. Modifié d'après la référence 1.

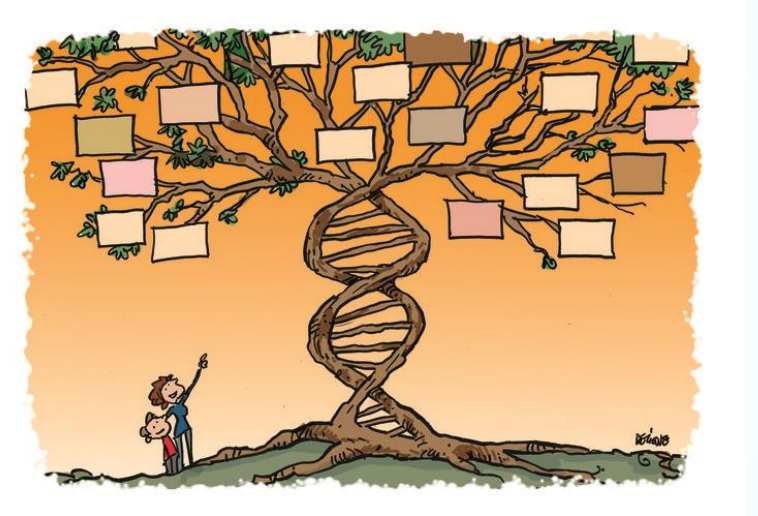
Les troubles de la coagulation

- toutes les pathologies pro-coagulantes
- constituent des facteurs de risques d'ADD



La génétique

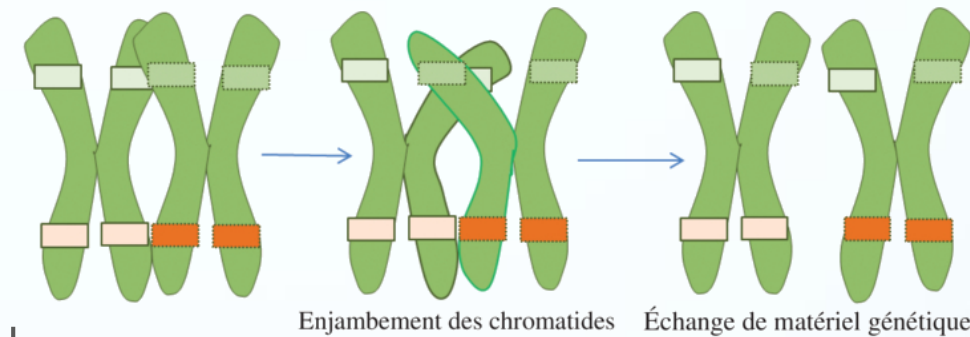
- preuve établie récemment chez le rat
- portés par le chromosome X
- pas encore transposable à l'homme
- toutefois, les pathologies ou les maladies pro-coagulantes
- sont un facteur de risque génétique



La génétique

- savez vous quel est le pays où il y a le plus d'ADD ?
- c'est le Vietnam
- normal vu les conditions de plongée :
 - entre 3 et 5 plongées à 50 m par jour
 - avec de l'air issu d'un compresseur BP sur le bateau
 - directement respiré par un tuyau dans la bouche
 - sans palier, sans préconisation de vitesse de remontée ...
- et certains plongeurs ne font pas d'ADD !
 - et leurs fils non plus

Une recombinaison homologue en prophase de première division de méiose



Les circonstances favorisantes



- Sur le plan du comportement du plongeur
 - Profondeur, durée
 - Vitesse de remontée
 - Efforts pendant ou après plongée
 - Rupture de palier
 - Plongées successives
 - Profils de plongée
 - Inversés
 - yoyo

La profondeur

- Est forcément un facteur de risque
- Plus on est profond, plus on sature
- Plus on a de risque
 - de narcose,
 - d'essoufflement,
 - **de panne d'air**



La durée



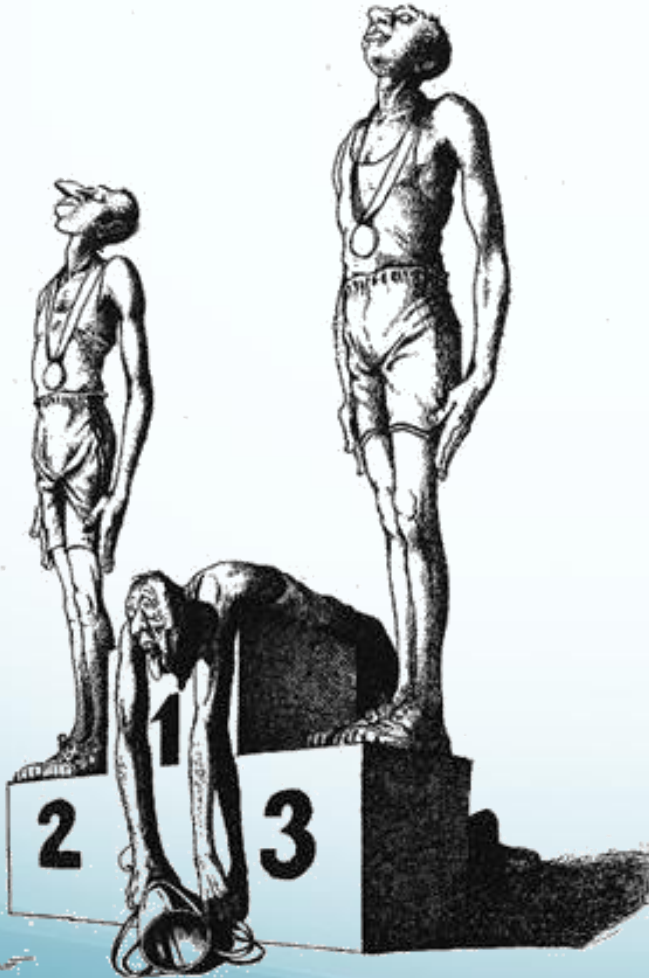
- plus on plonge longtemps
- plus on sature

La vitesse de remontée

- si elle est trop rapide
- génératrice de bulles
- et dépassement des capacités de filtration pulmonaire
- rupture de palier ...



Efforts pendant la plongée



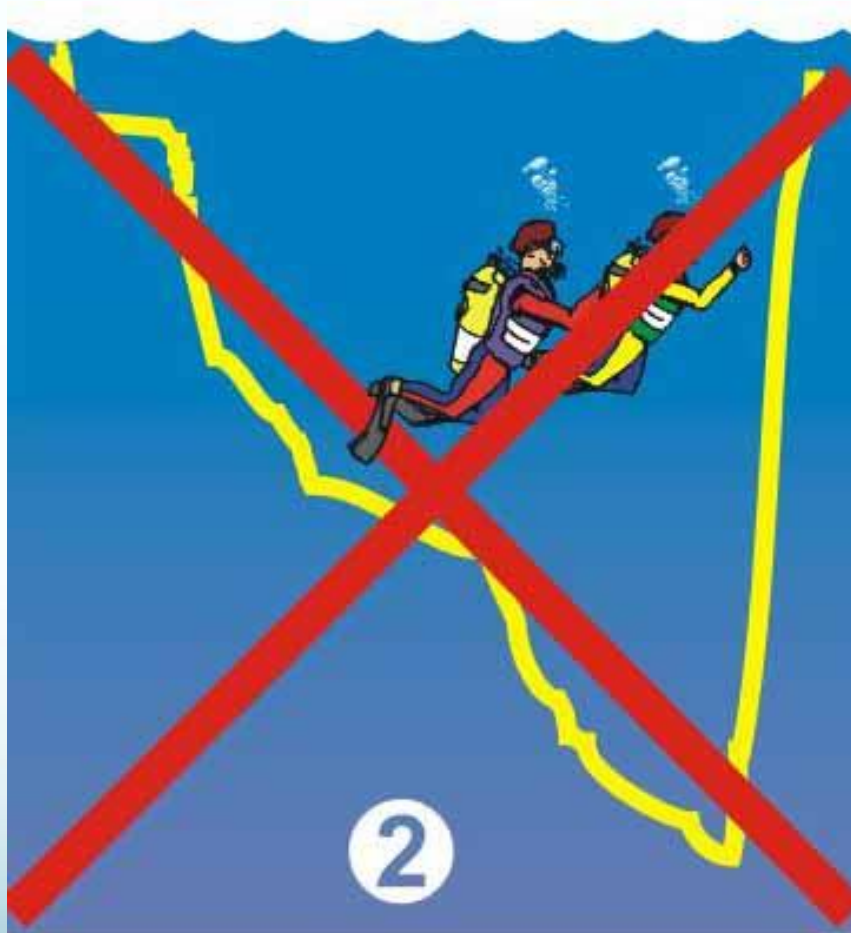
- la consommation sera plus importante
- il y a un lien direct entre la consommation en air et la saturation en azote
- et plus de production de CO_2
- donc plus d'amorces de bulles ...

Efforts après plongée

- la désaturation est maximale dans les 45 premières minutes
- un effort excessif
 - ouvre les shunts
 - accélère le relargage tissulaire d'azote
 - favorise donc les ADD
- apnée, footing, remonter l'ancre, soulever du matériel lourd ...



Les profils de plongée



Profil inversé sur une plongée

L'intervalle surface

- plus il est court
- plus le risque est élevé
- niveau de microbulles x 2 si moins de 2 H d'intervalle
- conseil : 3 à 4 H d'intervalle surface

The image shows two pages from a diving manual titled 'Tables de plongée à l'air - Marine Nationale 1990 (extraits)'. The left page is titled 'I - EVOLUTION DE L'AZOTE RÉSIDUEL ENTRE DEUX PLONGÉES' and contains a table for surface intervals. The right page is titled 'Tables de plongée à l'air' and contains several tables for decompression times based on depth and time.

Table 1: Evolution de l'azote résiduel entre deux plongées

Intervalle de surface	1h	1h30	2h	2h30	3h	3h30	4h	6h	8h	12h
G	0.84	0.83	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
A	0.83	0.82	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
B	0.82	0.81	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
C	0.81	0.80	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
D	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
E	0.79	0.78	0.77	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
F	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
H	0.76	0.75	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
I	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
L	0.73	0.72	0.71	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
M	0.72	0.71	0.70	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
N	0.71	0.70	0.69	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
P	0.70	0.69	0.68	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Q	0.69	0.68	0.67	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
R	0.68	0.67	0.66	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
S	0.67	0.66	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
T	0.66	0.65	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
U	0.65	0.64	0.63	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
V	0.64	0.63	0.62	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
W	0.63	0.62	0.61	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
X	0.62	0.61	0.60	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Y	0.61	0.60	0.59	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Z	0.60	0.59	0.58	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57

Table 2: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
30	3	6	
45	3	6	C
60	3	6	D
75	3	6	F
105	3	6	G
120	3	6	H
180	3	6	I

Table 3: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
25	3	6	E
30	3	6	F
40	3	6	G
50	3	6	H
55	3	6	I
65	3	6	J
70	3	6	K
75	3	6	L
80	3	6	M
85	3	6	N
90	3	6	O
95	3	6	P
100	3	6	Q
105	3	6	R
110	3	6	S
115	3	6	T
120	3	6	U

Table 4: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
20	3	6	E
25	3	6	F
30	3	6	G
35	3	6	H
40	3	6	I
45	3	6	J
50	3	6	K
55	3	6	L
60	3	6	M
65	3	6	N
70	3	6	O
75	3	6	P
80	3	6	Q
85	3	6	R
90	3	6	S
95	3	6	T
100	3	6	U
105	3	6	V
110	3	6	W
115	3	6	X
120	3	6	Y

Table 5: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
15	3	6	E
20	3	6	F
25	3	6	G
30	3	6	H
35	3	6	I
40	3	6	J
45	3	6	K
50	3	6	L
55	3	6	M
60	3	6	N
65	3	6	O
70	3	6	P
75	3	6	Q
80	3	6	R
85	3	6	S
90	3	6	T
95	3	6	U
100	3	6	V
105	3	6	W
110	3	6	X
115	3	6	Y
120	3	6	Z

Table 6: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
10	3	6	E
15	3	6	F
20	3	6	G
25	3	6	H
30	3	6	I
35	3	6	J
40	3	6	K
45	3	6	L
50	3	6	M
55	3	6	N
60	3	6	O
65	3	6	P
70	3	6	Q
75	3	6	R
80	3	6	S
85	3	6	T
90	3	6	U
95	3	6	V
100	3	6	W
105	3	6	X
110	3	6	Y
115	3	6	Z
120	3	6	A

Table 7: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
5	3	6	E
10	3	6	F
15	3	6	G
20	3	6	H
25	3	6	I
30	3	6	J
35	3	6	K
40	3	6	L
45	3	6	M
50	3	6	N
55	3	6	O
60	3	6	P
65	3	6	Q
70	3	6	R
75	3	6	S
80	3	6	T
85	3	6	U
90	3	6	V
95	3	6	W
100	3	6	X
105	3	6	Y
110	3	6	Z
115	3	6	A
120	3	6	B

Table 8: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
5	3	6	E
10	3	6	F
15	3	6	G
20	3	6	H
25	3	6	I
30	3	6	J
35	3	6	K
40	3	6	L
45	3	6	M
50	3	6	N
55	3	6	O
60	3	6	P
65	3	6	Q
70	3	6	R
75	3	6	S
80	3	6	T
85	3	6	U
90	3	6	V
95	3	6	W
100	3	6	X
105	3	6	Y
110	3	6	Z
115	3	6	A
120	3	6	B

Table 9: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
5	3	6	E
10	3	6	F
15	3	6	G
20	3	6	H
25	3	6	I
30	3	6	J
35	3	6	K
40	3	6	L
45	3	6	M
50	3	6	N
55	3	6	O
60	3	6	P
65	3	6	Q
70	3	6	R
75	3	6	S
80	3	6	T
85	3	6	U
90	3	6	V
95	3	6	W
100	3	6	X
105	3	6	Y
110	3	6	Z
115	3	6	A
120	3	6	B

Table 10: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
5	3	6	E
10	3	6	F
15	3	6	G
20	3	6	H
25	3	6	I
30	3	6	J
35	3	6	K
40	3	6	L
45	3	6	M
50	3	6	N
55	3	6	O
60	3	6	P
65	3	6	Q
70	3	6	R
75	3	6	S
80	3	6	T
85	3	6	U
90	3	6	V
95	3	6	W
100	3	6	X
105	3	6	Y
110	3	6	Z
115	3	6	A
120	3	6	B

Table 11: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
5	3	6	E
10	3	6	F
15	3	6	G
20	3	6	H
25	3	6	I
30	3	6	J
35	3	6	K
40	3	6	L
45	3	6	M
50	3	6	N
55	3	6	O
60	3	6	P
65	3	6	Q
70	3	6	R
75	3	6	S
80	3	6	T
85	3	6	U
90	3	6	V
95	3	6	W
100	3	6	X
105	3	6	Y
110	3	6	Z
115	3	6	A
120	3	6	B

Table 12: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
5	3	6	E
10	3	6	F
15	3	6	G
20	3	6	H
25	3	6	I
30	3	6	J
35	3	6	K
40	3	6	L
45	3	6	M
50	3	6	N
55	3	6	O
60	3	6	P
65	3	6	Q
70	3	6	R
75	3	6	S
80	3	6	T
85	3	6	U
90	3	6	V
95	3	6	W
100	3	6	X
105	3	6	Y
110	3	6	Z
115	3	6	A
120	3	6	B

Table 13: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
5	3	6	E
10	3	6	F
15	3	6	G
20	3	6	H
25	3	6	I
30	3	6	J
35	3	6	K
40	3	6	L
45	3	6	M
50	3	6	N
55	3	6	O
60	3	6	P
65	3	6	Q
70	3	6	R
75	3	6	S
80	3	6	T
85	3	6	U
90	3	6	V
95	3	6	W
100	3	6	X
105	3	6	Y
110	3	6	Z
115	3	6	A
120	3	6	B

Table 14: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
5	3	6	E
10	3	6	F
15	3	6	G
20	3	6	H
25	3	6	I
30	3	6	J
35	3	6	K
40	3	6	L
45	3	6	M
50	3	6	N
55	3	6	O
60	3	6	P
65	3	6	Q
70	3	6	R
75	3	6	S
80	3	6	T
85	3	6	U
90	3	6	V
95	3	6	W
100	3	6	X
105	3	6	Y
110	3	6	Z
115	3	6	A
120	3	6	B

Table 15: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
5	3	6	E
10	3	6	F
15	3	6	G
20	3	6	H
25	3	6	I
30	3	6	J
35	3	6	K
40	3	6	L
45	3	6	M
50	3	6	N
55	3	6	O
60	3	6	P
65	3	6	Q
70	3	6	R
75	3	6	S
80	3	6	T
85	3	6	U
90	3	6	V
95	3	6	W
100	3	6	X
105	3	6	Y
110	3	6	Z
115	3	6	A
120	3	6	B

Table 16: Tables de plongée à l'air (extraits)

m	min	3	G
5	3	6	E

Les profils de plongée



Profil inversé sur une journée

Les profils de plongée

- les plongées yoyo sont particulièrement génératrices d'ADD cochléo-vestibulaires.
- ce type de plongée associe souvent la vitesse de remontée rapide comme facteur de risque (formation)



Les plongées successives

- plusieurs plongées par jour
 - en principe 2
 - souvent 3
 - jusqu'à 5 par jour !
- cumul de plongées successives sur un séjour mer
 - jusqu'à 20 plongées sur 4 jours !
 - très dangereux



une prévention à ne pas négliger

- elle ne permet pas seulement de
 - vérifier le lestage
 - reprendre des automatismes
- mais joue un rôle dans la physiologie de la désaturation
 - en adaptant l'endotélium à la présence de micro-bulles
 - en remettant en place
 - une protection de l'endothélium
 - par la production d'anti-radicaux libre et d'anti-oxydants pour contrer les effets de l'hyperoxie

La plongée de réadaptation

- la protection reste active 7 à 10 jours
- ce qui veut dire qu'un plongeur qui prépare un niveau « x » et plonge tous les 15 jours
 - doit refaire une plongée de réadaptation chaque fois
 - donc rester dans la courbe de sécurité
 - et ne pas dépasser 25-30 mètres à sa première plongée

Un petit mot encore sur l'OPI



FFESSM

TECHNIQUE
GRAND EST

FÉDÉRATION FRANÇAISE
ÉTUDES & SPORTS SOUS-MARINS

L'œdème Pulmonaire d'Immersion ou OPI

- en plongée

De quoi parlons nous ?

- d'un plongeur qui présente une gêne respiratoire sous l'eau
 - tout signe respiratoire dans l'eau, d'installation +/- rapide
- qui exige une fin de plongée
- et qui en surface, peut être amené à cracher du sang

- il s'agit probablement d'un
- **Œdème Pulmonaire d'Immersion**

Définition

- œdème signifie littéralement :
- gonflement dû à un excès de liquide
- vous imaginez comme cela peut être dérangeant dans un poumon !





FFESSM
TECHNIQUE
GRAND EST

FÉDÉRATION FRANÇAISE
ÉTUDES & SPORTS SOUS-MARINS

Définition

- c'est un œdème aigu du poumon, lié à l'immersion
- donc du « liquide » dans le poumon
- qu'il survienne en plongée scaphandre, en apnée ou en simple immersion en surface

OPI : qui est concerné ?

- les plongeurs
 - moyenne d'âge 47,8 ans
- les apnéistes
- les triathlètes
- les nageurs
- les nageurs de combat
 - moyenne d'âge 24,5 ans !
- et Charles Aznavour !
 - moyenne d'âge 94 ans



Fréquence OPI

- 1^{ère} cause d'accident respiratoire chez le plongeur
- 1^{ère} cause d'accident respiratoire chez l'apnéiste
- beaucoup de surpressions pulmonaires anciennement décrites étaient des OPI

Fréquence OPI chez le plongeur

- pathologie très fréquente
- elle concerne 2 catégories de public :

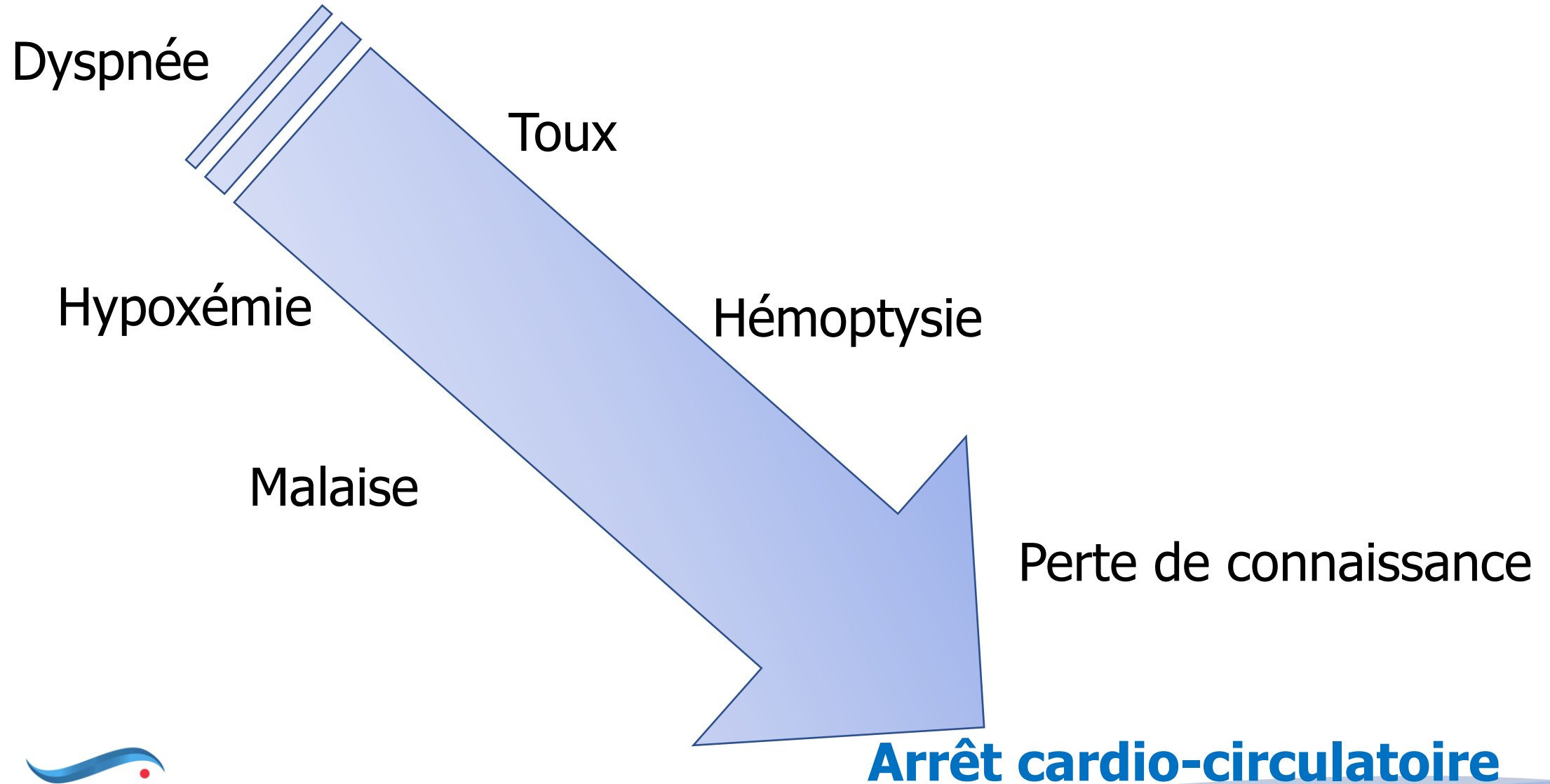
1 - avec facteurs prédisposants



2 - sans facteur prédisposant connu



Signes cliniques



Signes respiratoires

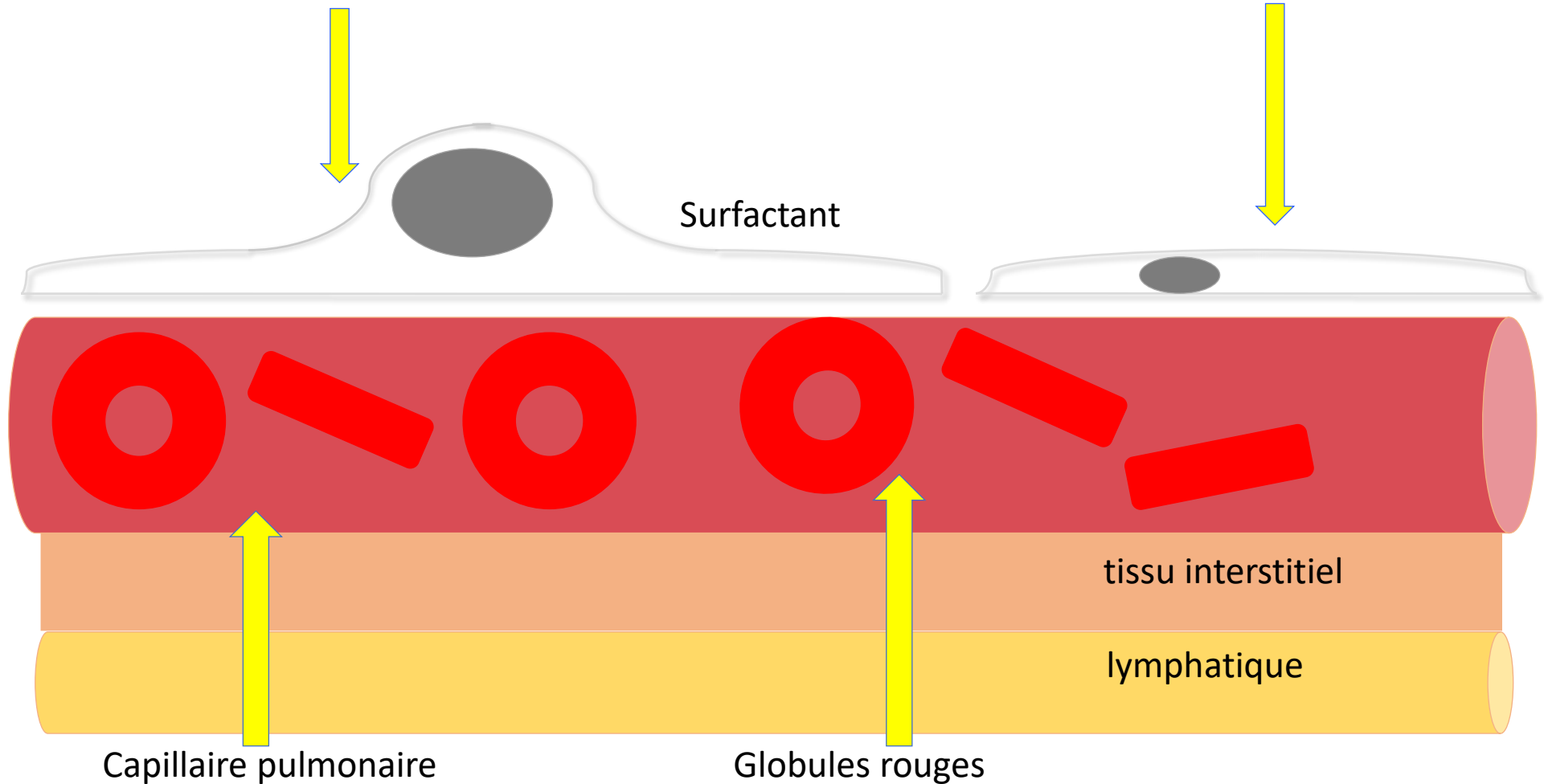
- oppression
- gêne respiratoire
- essoufflement
- toux
- crachat de mousse rosée / de sang
- cyanose
- position assise penché en avant
- particularité chez le plongeur
- aggravation des signes lors de la remontée
- car différentiel de pression alvéolaire de plus en plus important
- donc plus de passage de plasma et de globules rouges du capillaire vers l'alvéole

Éléments d'anatomie : la membrane alvéolo-capillaire

Alvéole

Cellule pulmonaire = Pneumocyte de type 2

Pneumocyte de type 1

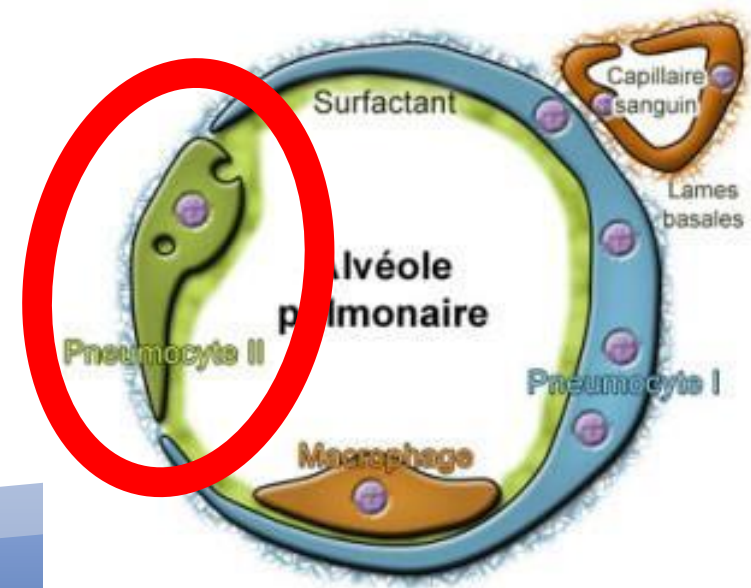


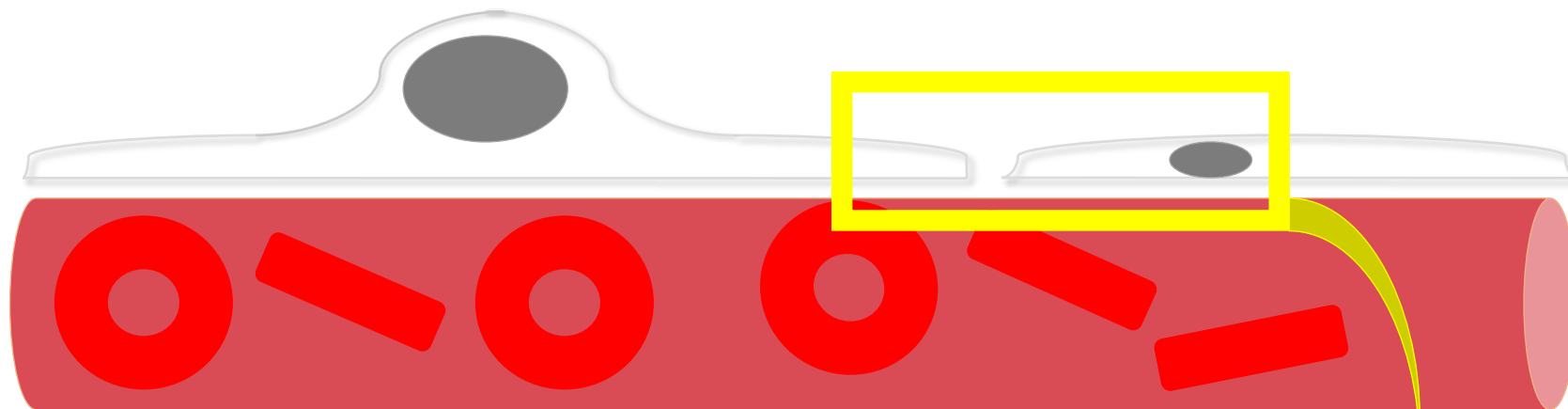
Pneumocyte

- la paroi de la cellule pulmonaire en contact avec le capillaire est commune au capillaire
- la paroi de la cellule pulmonaire ou pneumocyte en contact avec l'air alvéolaire est recouverte de **surfactant**
- c'est un agent chimique qui modifie la surface et permet une interface air – liquide

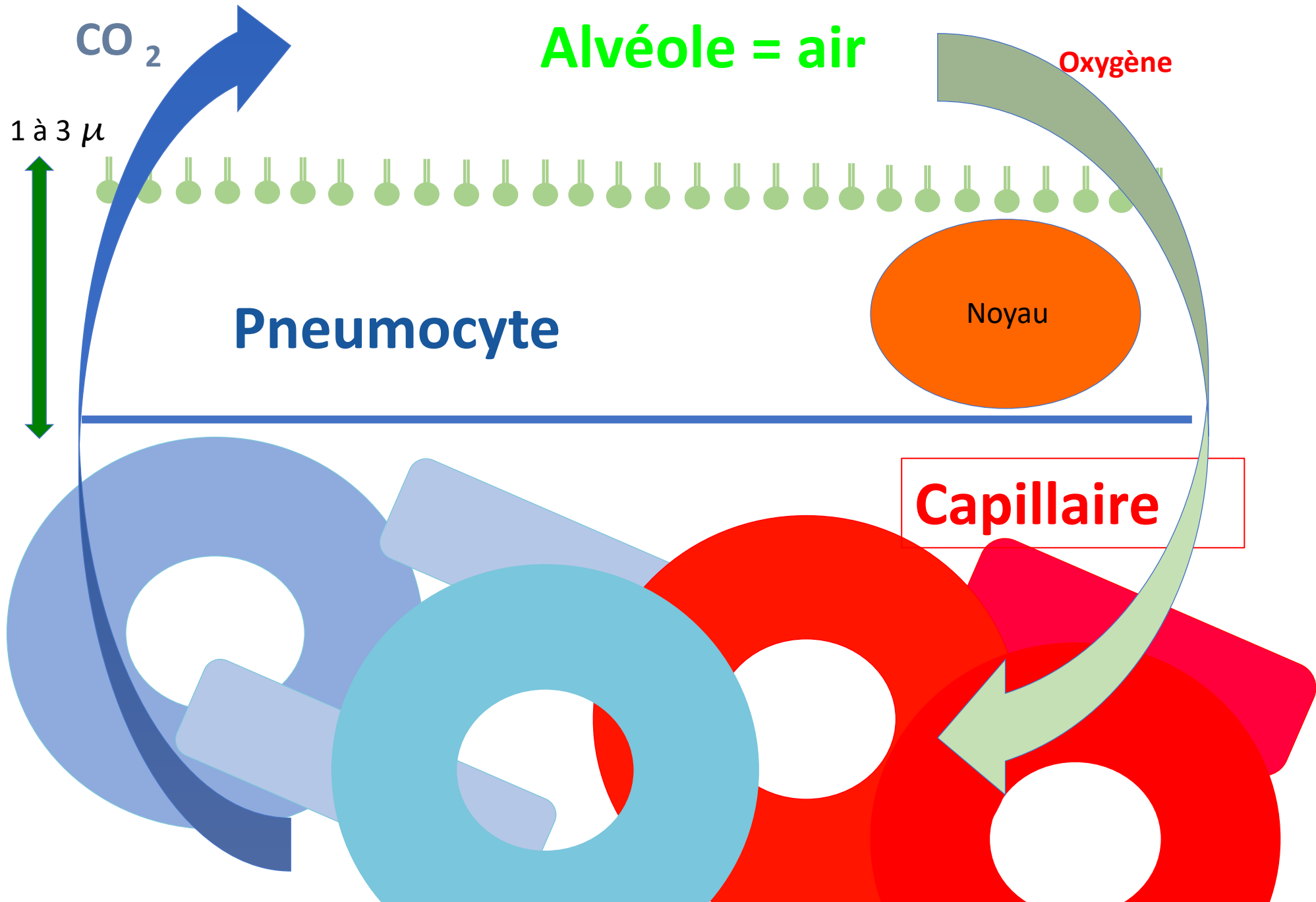
Pneumocyte

- le surfactant est un agent chimique très complexe sécrété par certains pneumocytes
 - il diminue la tension superficielle
 - il permet à l'alvéole de ne pas se collaber
 - rôle anti-infectieux

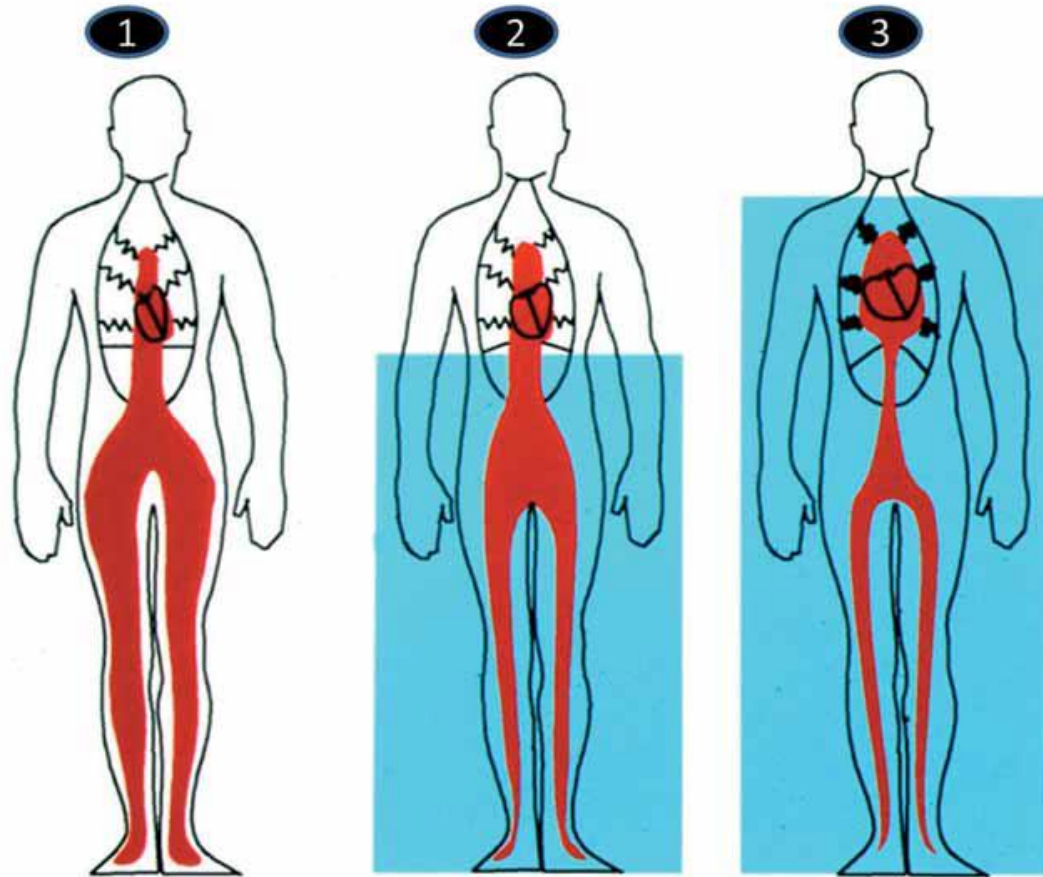




fort grossissement

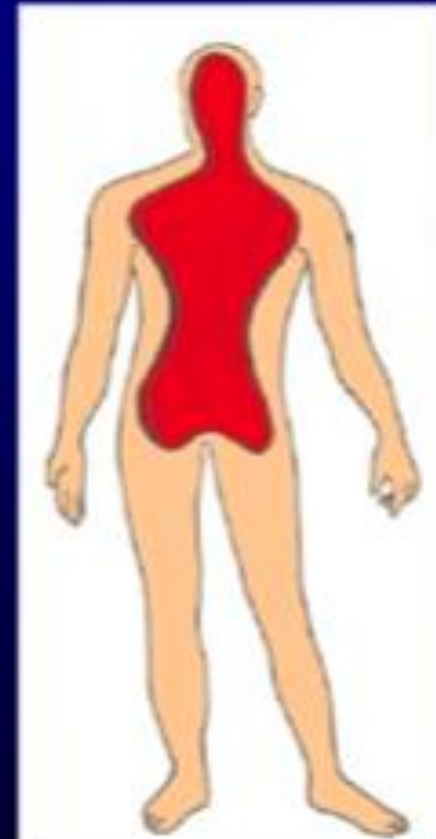
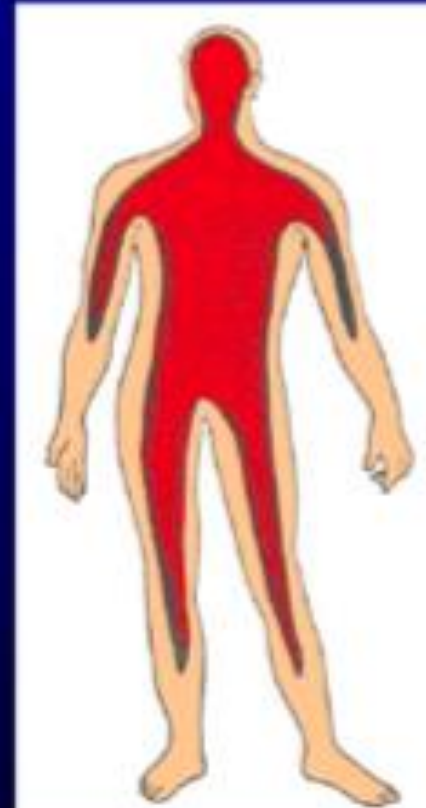


Mécanismes de l'OPI chez le plongeur



Représentation schématique de la répartition du sang dans le système vasculaire chez un sujet debout, à l'air libre ①, immergé jusqu'à l'appendice xiphoïde ②, et immergé jusqu'au cou ③

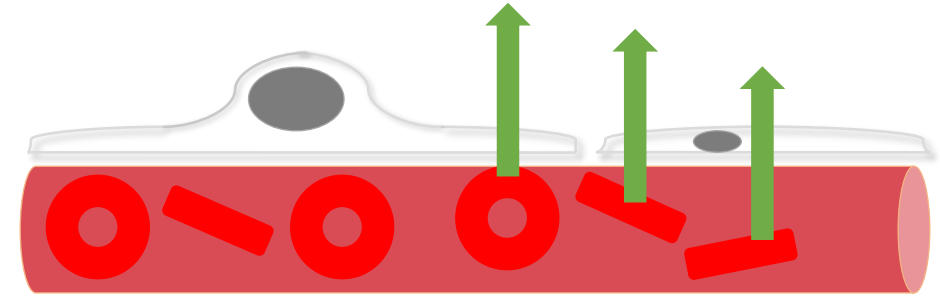
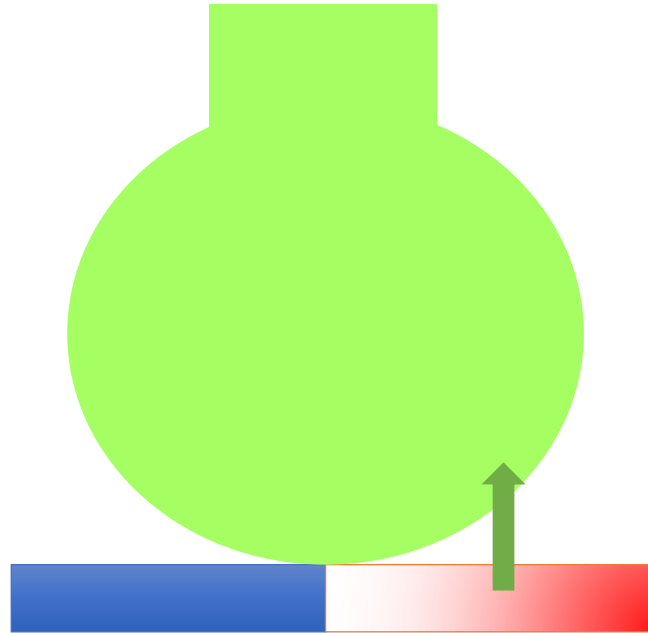
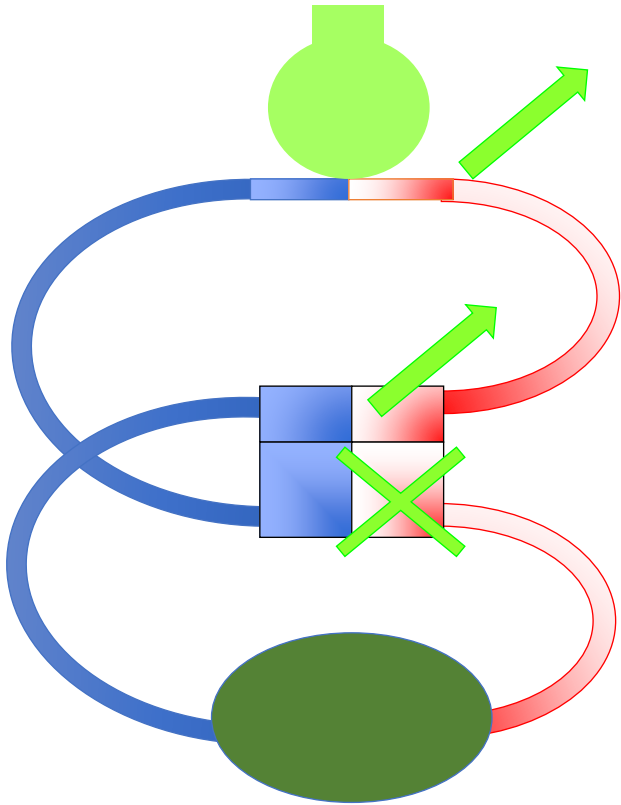
le blood shift



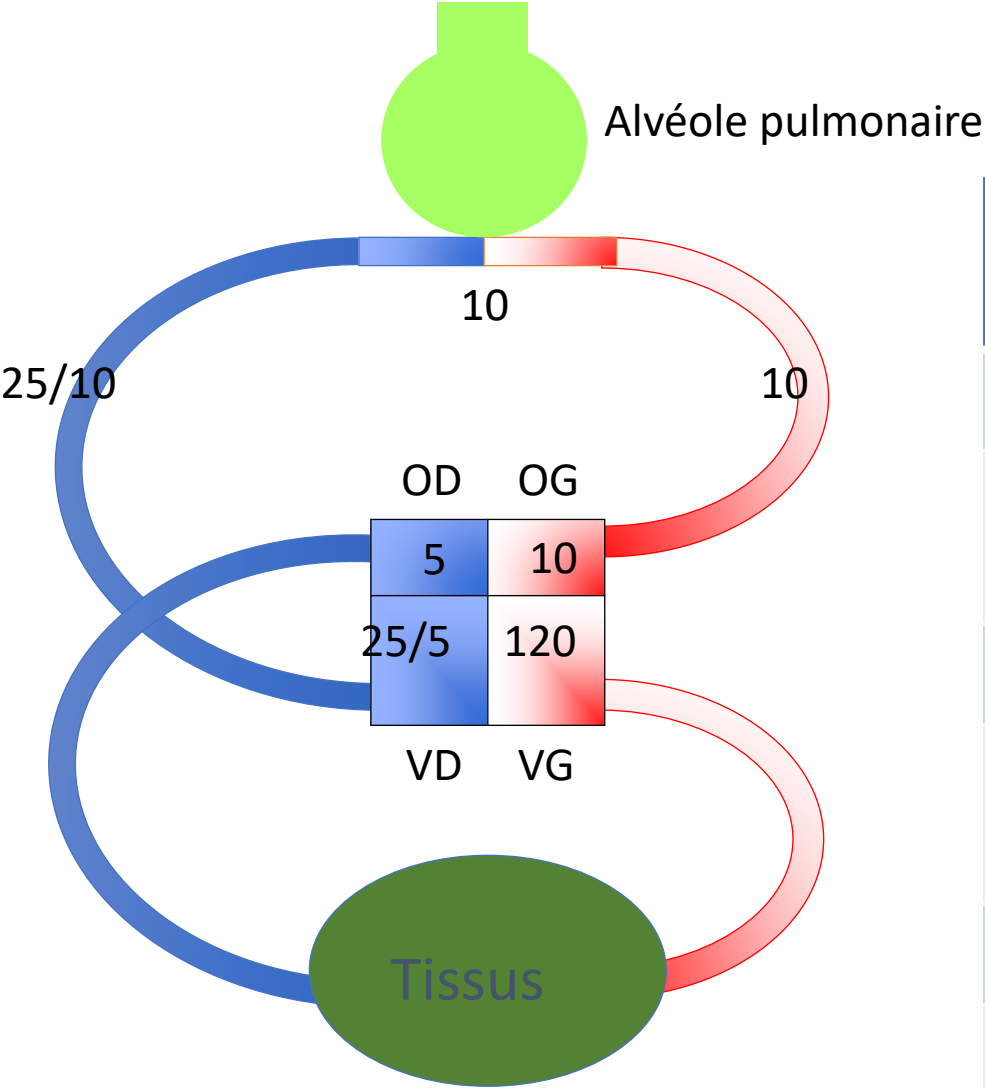
Mécanismes de l'OPI chez le plongeur

- le blood shift entraine une surcharge de travail cardiaque
- si le cœur est sain, pas de problème
- s'il y a le moindre problème, il peut y avoir défaillance de la pompe ...

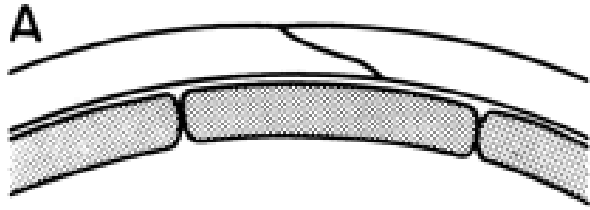
Mécanismes de l'OPI chez le plongeur



20 mm de Hg = P de déclenchement de l'OAP

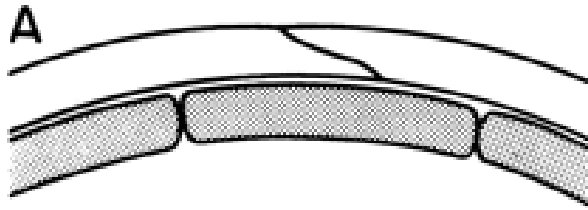


	Pressions en mmHg	En cas d'OAP
Oreillette droite	5	
Ventricule droit	15 à 30 de maxima 1 à 7 de minima	
Artère pulmonaire	15 à 30 sur 10 à 20	
Capillaire pulmonaire	10	> à 25
Oreillette gauche	5 à 10	
Ventricule gauche	120 et >	



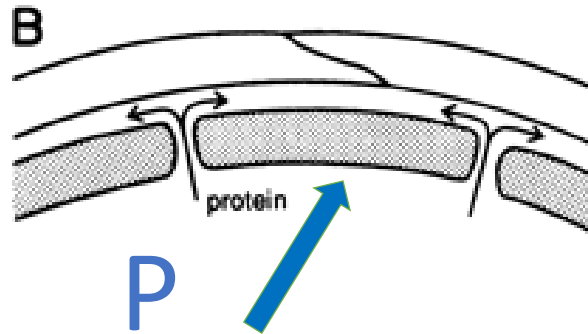
Normal

Membrane alvéolo-capillaire



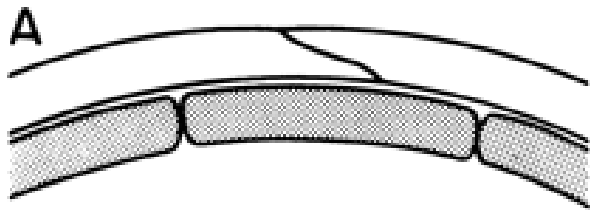
Normal

membrane alvéolo-capillaire



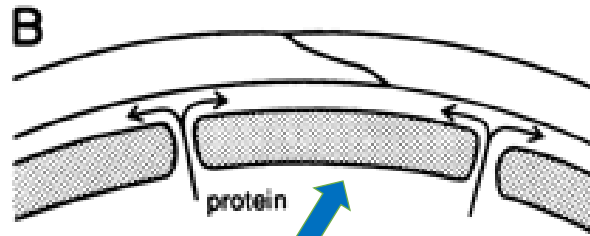
Stretched Pore

étirement des cellules
la P augmente



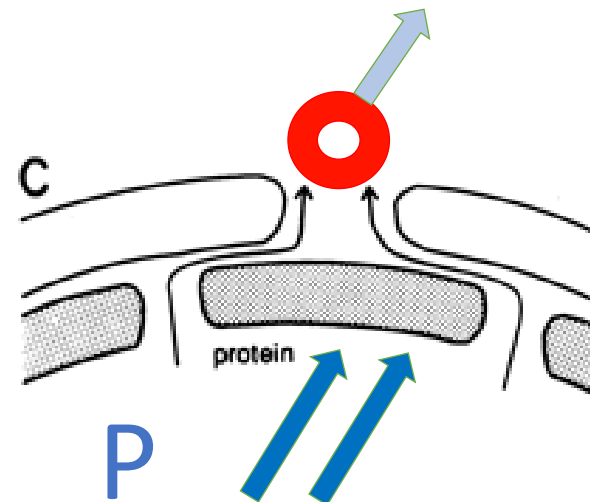
Normal

membrane alvéolo-capillaire



Stretched Pore

étirement des cellules
la P augmente



Disruption

la P augmente encore plus
rupture de la jonction des cellules

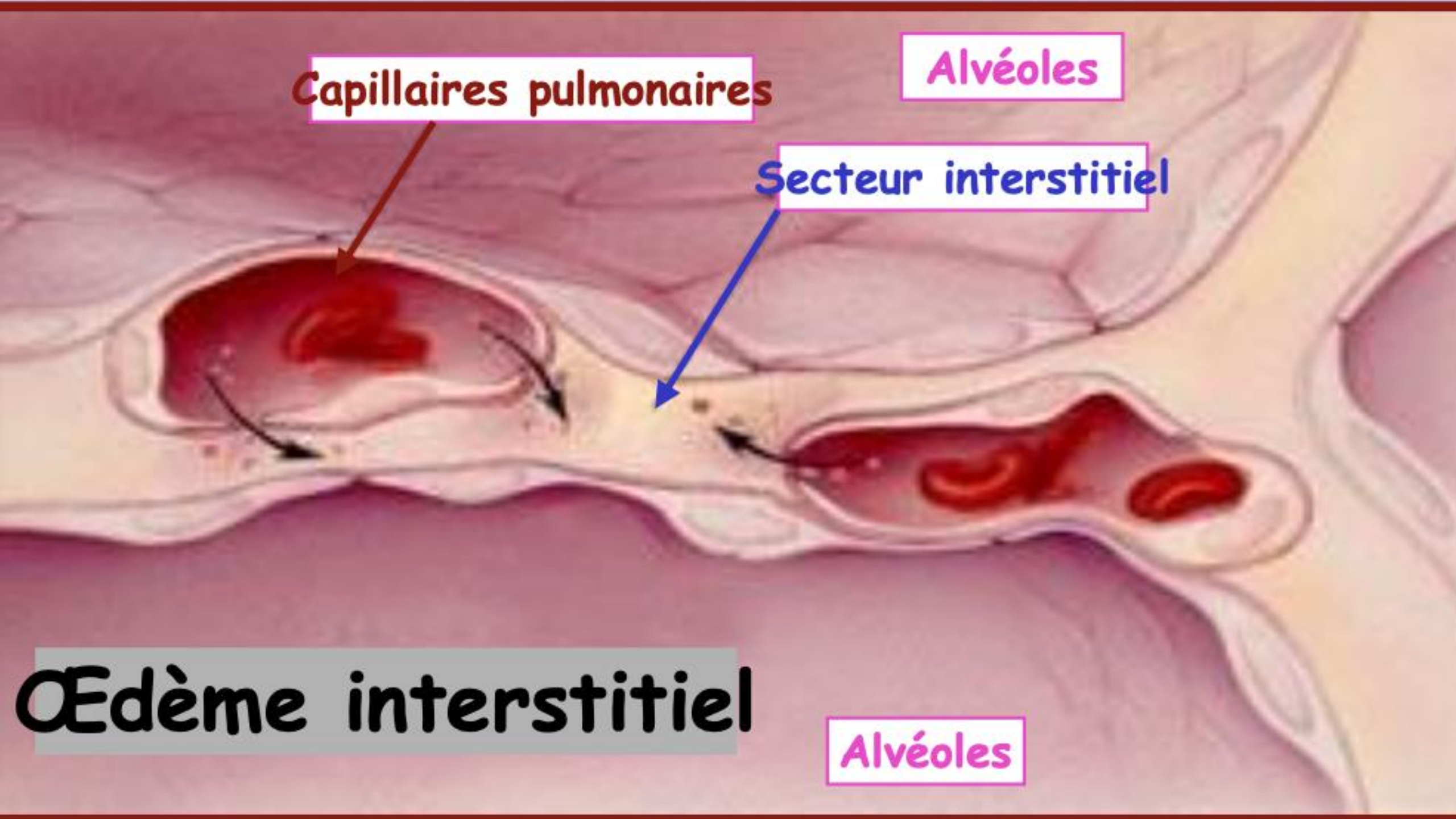
Capillaires pulmonaires

Alvéoles

Secteur interstitiel

Œdème interstitiel

Alvéoles





Œdème alvéolaire

Quelles sont les facteurs de risque ?

**Age > 40-45
ans**

Sexe féminin

**Facteurs de
risque CV**

HTA

Anti-inflammatoires,
Aspirine, Anti-agrégants
plaquettaires,
Viagra, Cialis ...

Quelles sont les facteurs de risque ?

- **sur le plan cardiaque :**
 - valvulopathie
 - IdM
 - angine de poitrine
 - HTA non contrôlée
- **sur le plan endocrinien :**
 - hyper ou hypothyroïdie non contrôlée
 - car diminue la force contractile



Quelles sont les facteurs de risque ?

Eau froide

Matériel respiratoire,
Combinaison serrée,
...

Effort intense par
exemple recycleur

Difficultés à compenser

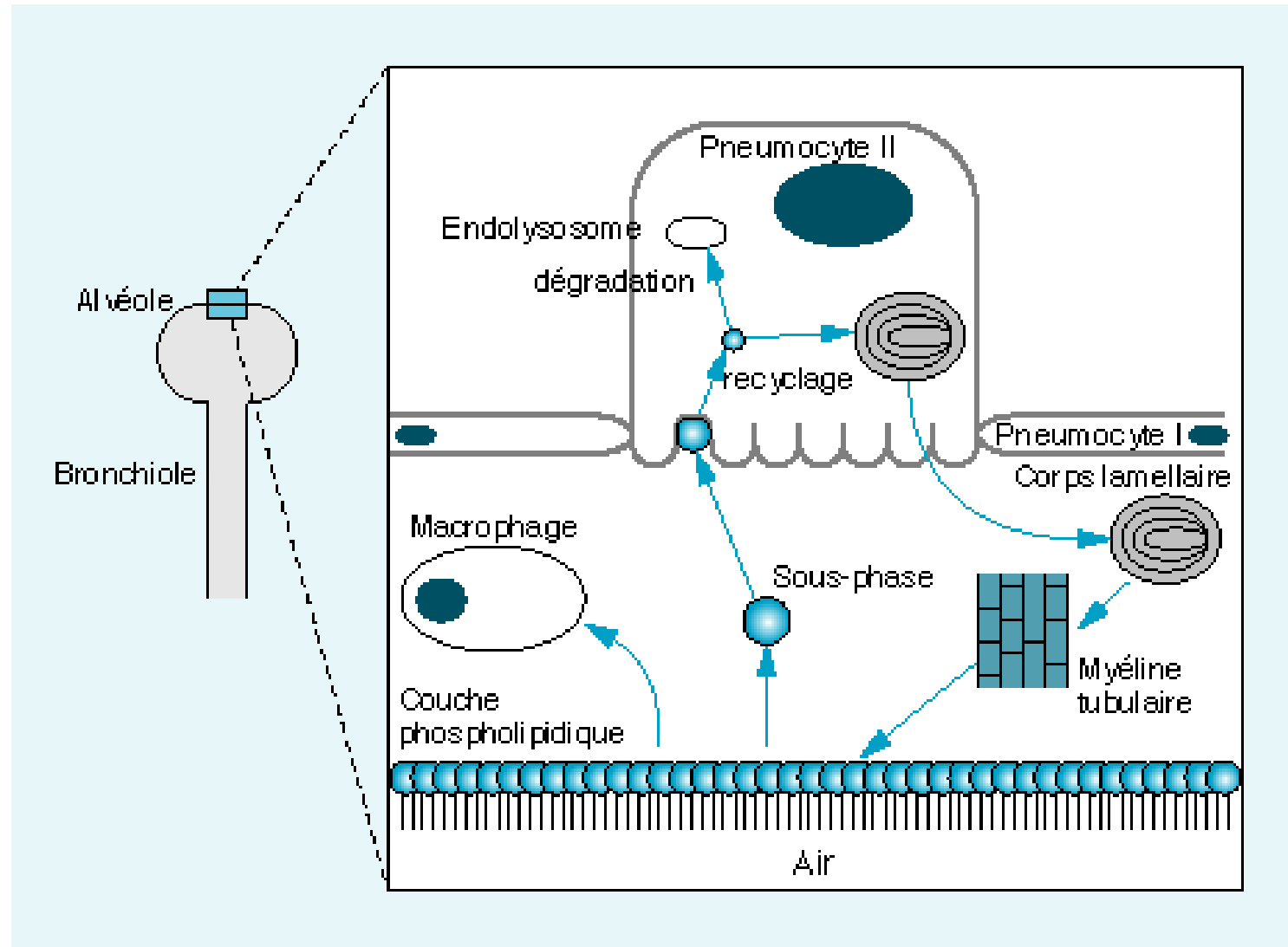
Stress

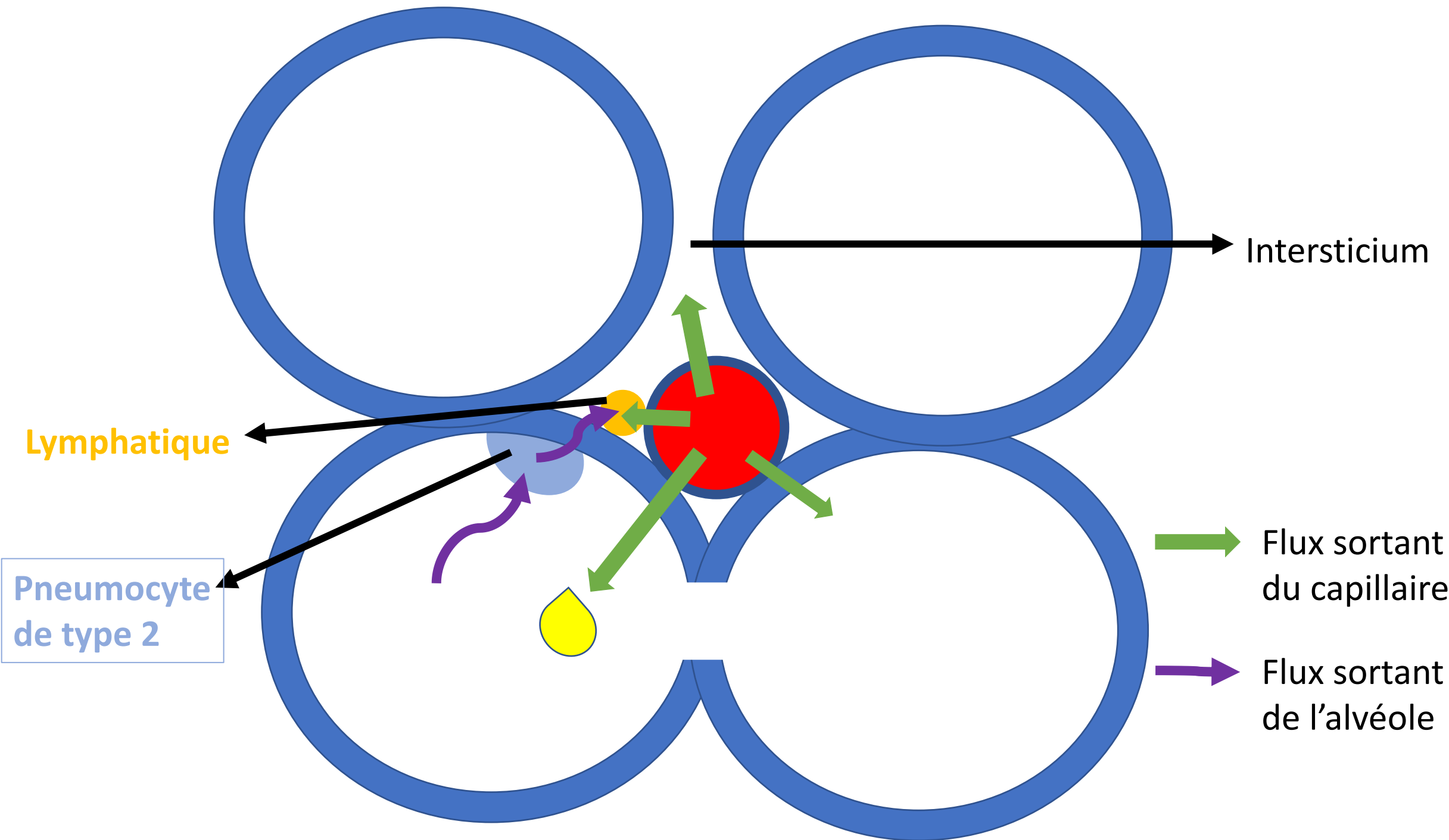
Contraintes
respiratoires

Mécanismes de l'OPI chez le plongeur

- **dans le deuxième type de population**
 - jeunes, en pleine forme physique
 - triathlètes, plongeurs, nageurs de combat ...
- **ce mécanisme est totalement inconnu**
- probablement génétique

Comment ce liquide alvéolaire va t'il disparaître ?





Prise en charge chez le plongeur

- sortir rapidement de l'eau et retirer la combinaison :
=> amélioration +/- rapide
- mise sous O₂
- appel des secours immédiat et évacuation
 - indiquer si faute de procédure et combien de plongeurs ...

Avez vous des questions ?

Après la mort, l'esprit quitte
le corps... Sauf chez les
cons chez eux ça se passe
de leur vivant !

Philippe Geluck
Le Chat, tome 21 : Chacun son chat