



**FFESSM**

**TERRITOIRE  
BELFORT | 90**



# **LES EFFETS DU MILIEU SUBAQUATIQUE SUR LE PLONGEUR Niveau 3**



23 janvier 2020



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Introduction



Sur Terre, l'Homme subit les effets de son environnement, mais grâce à l'Evolution, il n'y prête pas attention.



Qu'en est-il lorsque cet Homme change de milieu et devient Plongeur ?

Et si ce Plongeur est Niveau 3 ?  
A quels phénomènes doit-il s'attendre entre la surface et 60 m de profondeur ?

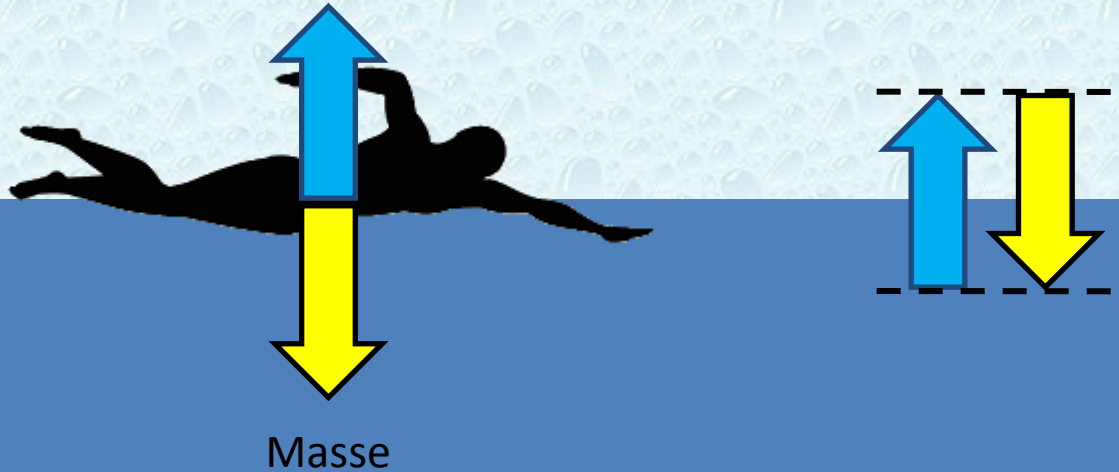


# Les effets du milieu – Niveau 3

## Flottabilité - Principe

Cas n°1

Poussée d'Archimède  
= réaction de l'eau



Ce baigneur, immobile, flotte naturellement  
Les forces qui s'exercent sur lui  
s'annulent  
il est équilibré.



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Flottabilité - Principe

Cas n°2



Gilet vide,  
ce plongeur flottera-t-il ?

ou  
descendra-t-il ?



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Flottabilité - Principe

Cas n°2



Flottabilité > somme masses  
-> le plongeur flotte.

+ lest  
Flottabilité < somme masses  
-> le plongeur coule.

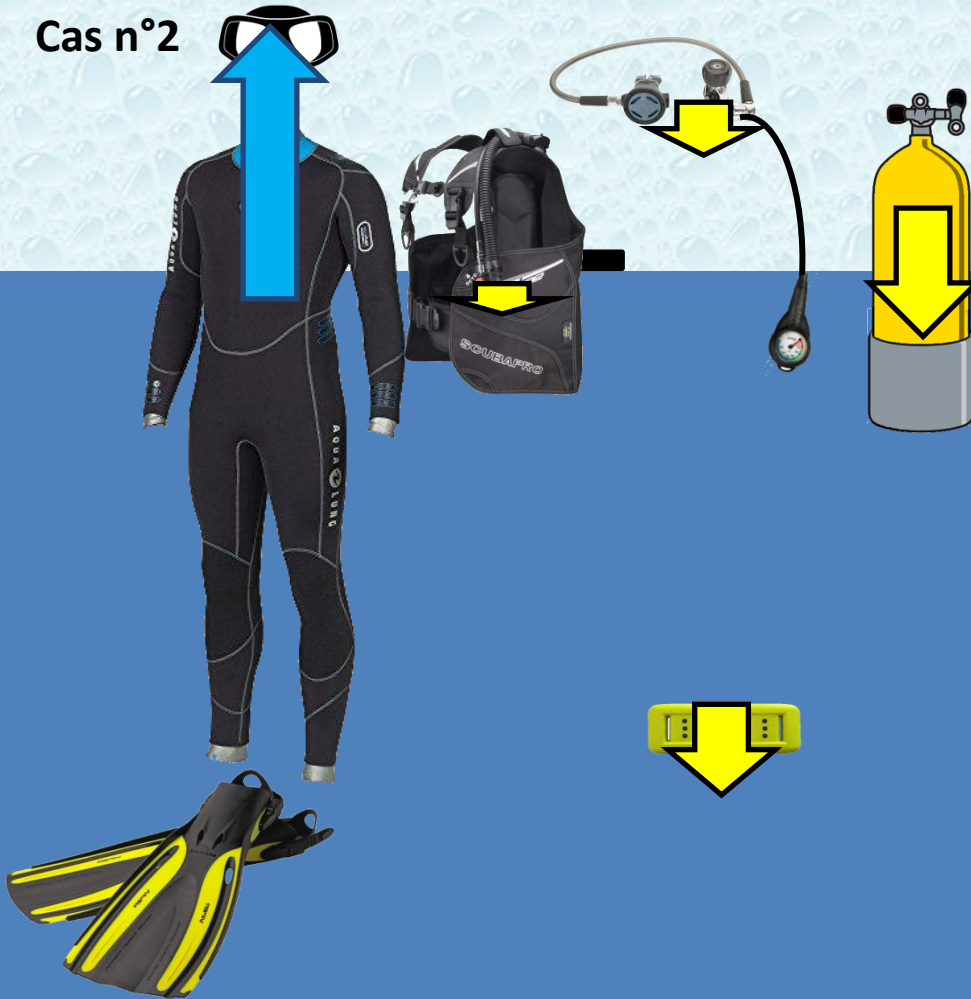
**!! Densité de l'eau (eau douce / eau de mer) !!**  
**Faites un test de test de lestage**



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Flottabilité - Principe

Cas n°2



Flottabilité > somme masses  
-> le plongeur flotte

+ lest  
Flottabilité < somme masses  
-> le plongeur descend

**!! Densité de l'eau (eau douce / eau de mer) !!**  
**Faites un test de test de lestage**



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Flottabilité - Principe



A la descente :  
Compression du néoprène  
-> Diminution de la flottabilité.

Position équilibrée par :  
poumon ballast  
gilet de stabilisation

**!! Attention au lestage !!**  
Surlestage + profondeur = danger



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Flottabilité - Surlestage

Conséquences / risques liés au surlestage :

- ❑ Couler dès la mise à l'eau
- ❑ Maintien en surface difficile (risque d'essoufflement)
- ❑ Difficulté de trouver puis maintenir son équilibre
- ❑ Mauvaise maîtrise du niveau d'immersion :  
Dépassement profondeur max (DP, Nitrox...)
- ❑ Mauvaise position : palmage important et risque d'essoufflement
- ❑ Complique l'assistance en cas de problème,  
(décollage, équilibre du couple)

**Un lestage adapté est essentiel :  
faites un test avant l'immersion**



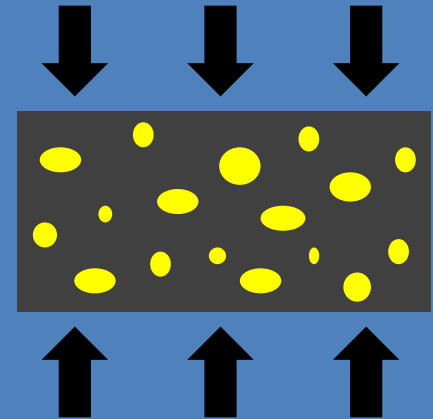
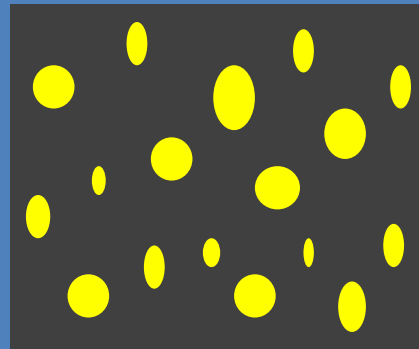


# Les effets du milieu – Niveau 3

## Relation entre Pression et Volume



A la descente :  
Compression du néoprène  
-> Diminution de la flottabilité.  
et de l'isolation thermique.



**Loi de Boyle-Mariotte**

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 = \text{Constante}$$

$P_1$  et  $P_2$  en bar

$V_1$  et  $V_2$  en Litre

valable à température constante

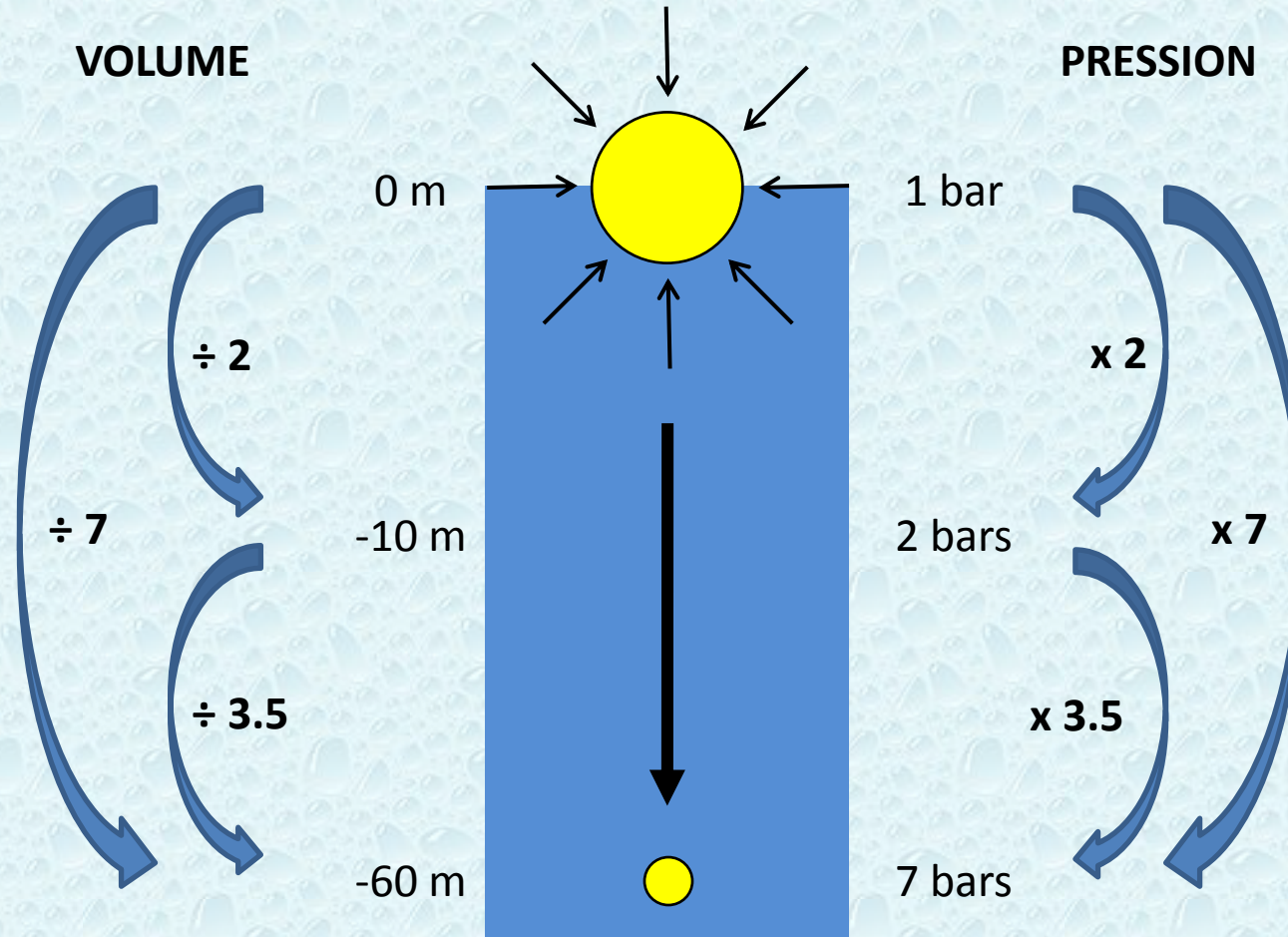


# Les effets du milieu – Niveau 3

## Relation entre Pression et Volume

Loi de Boyle-Mariotte :

Le volume évolue  
inversement et proportionnellement  
à la pression

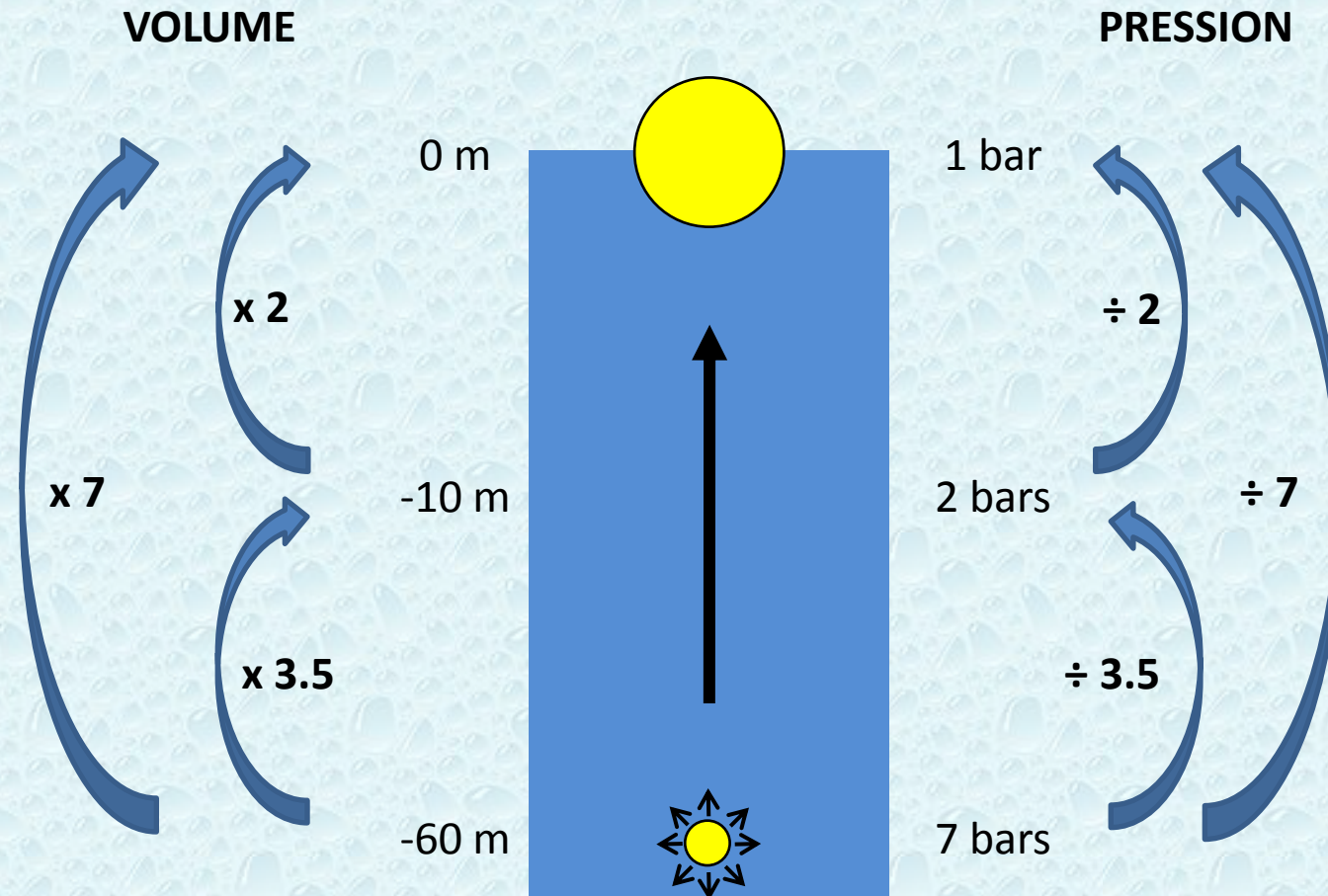


# Les effets du milieu – Niveau 3

## Relation entre Pression et Volume

Loi de Boyle-Mariotte :

Le volume évolue  
inversement et proportionnellement  
à la pression



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Relation entre Pression et Volume

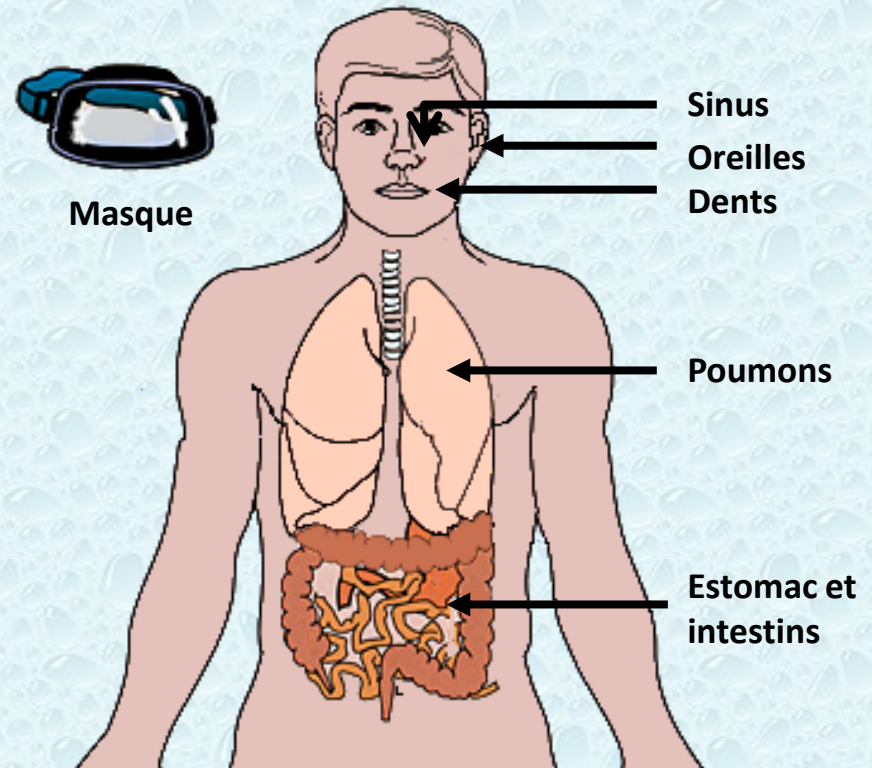
Application de la loi de Boyle-Mariotte en plongée :

**Explique les barotraumatismes**  
et oriente la conduite à tenir.

-> *Voir cours sur les barotraumatismes*

**Calcul de volumes d'air en fonction de**  
**la pression**

**Détermination de l'autonomie**



# Les effets du milieu – Niveau 3

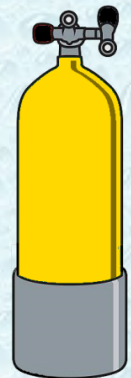
## Consommation - Autonomie - Planification

### Calcul de l'Autonomie

Définition :

**Temps maximum de plongée** calculé en fonction de la **quantité d'air disponible** dans la bouteille et de la **consommation** propre à chaque plongeur.

$$\text{Autonomie (min)} = \frac{\text{Volume d'air disponible (L)}}{\text{Consommation (L/min)}}$$



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

### Calcul du volume d'air disponible dans un bloc

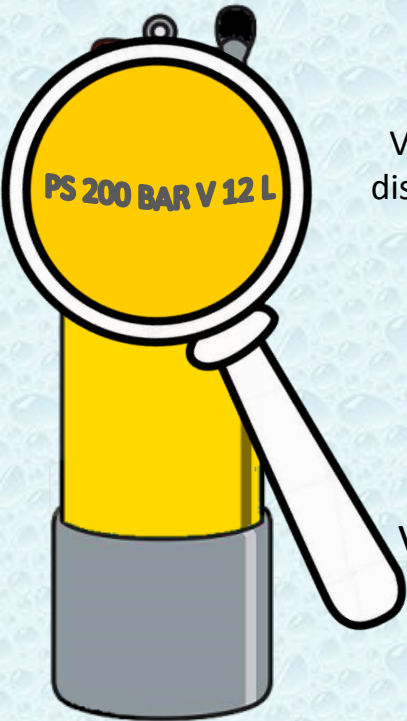
D'après La loi de Boyle-Mariotte :

$$V_{\text{air}} = P_{\text{bloc}} \times V_{\text{bloc}}$$

Volume d'air (L)  
disponible dans le  
bloc

Pression de Service (bar)

Volume physique  
du bloc (L)



Exemple n°1 :

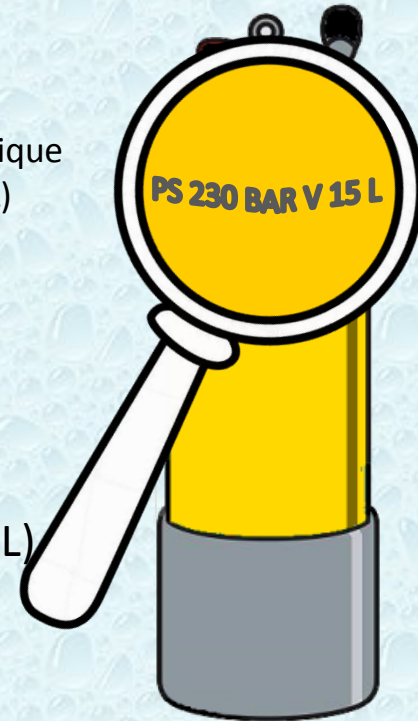
$$V_{\text{air}} = 200 \text{ (bar)} \times 12 \text{ (L)}$$

$$V_{\text{air}} = 2\,400 \text{ L}$$

Exemple n°2 :

$$V_{\text{air}} = 230 \text{ (bar)} \times 15 \text{ (L)}$$

$$V_{\text{air}} = 3\,450 \text{ L}$$



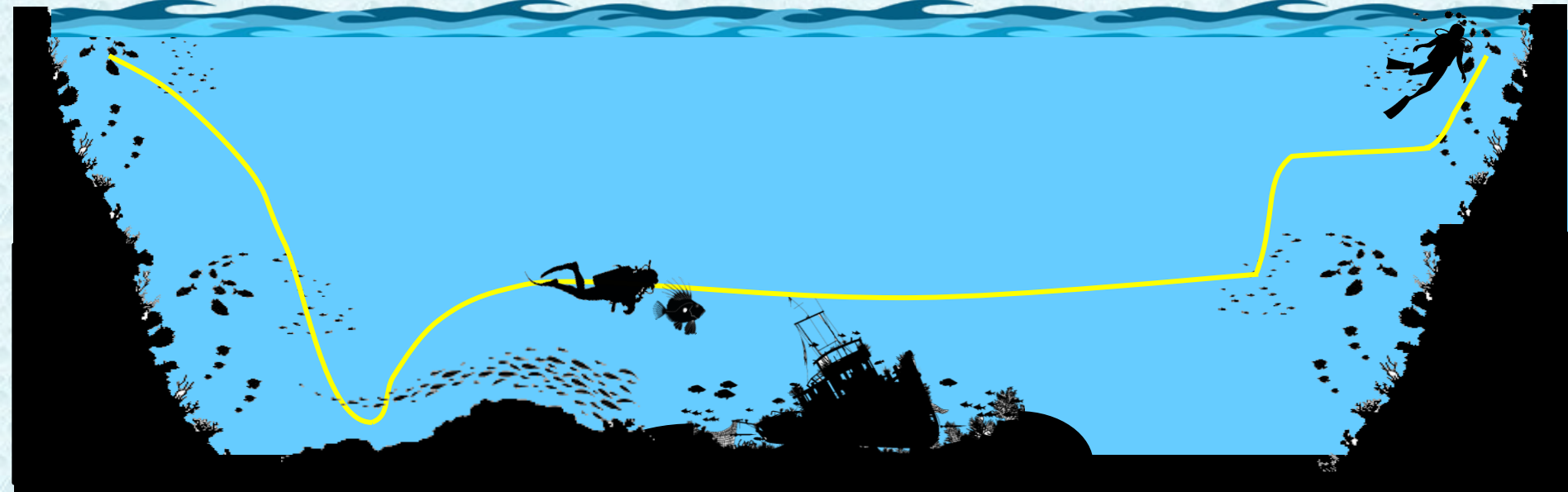
+ 43 %



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

Garder une  **marge de sécurité**  
Prendre en compte la valeur de la **réserve**  
annoncée par le DP ou définie entre les plongeurs N3.



# Les effets du milieu – Niveau 3



Généralement : réserve = 50 bars  
**peut et doit être adaptée**  
selon le type de plongée.

Volume d'air disponible :

$$V_{\text{air}} = P_{\text{bloc}} \times V_{\text{bloc}}$$

$$V_{\text{air}} = (200 - 50) \text{ bar} \times 12 \text{ L}$$

$$V_{\text{air}} = 1\ 800 \text{ L}$$





# Les effets du milieu – Niveau 3

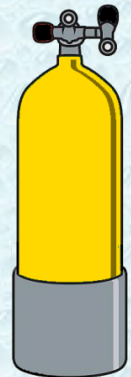
## Consommation - Autonomie - Planification

### Calcul de l'Autonomie

#### Définition :

**Temps maximum de plongée** calculé en fonction de la **quantité d'air disponible** dans la bouteille et de la **consommation** propre à chaque plongeur.

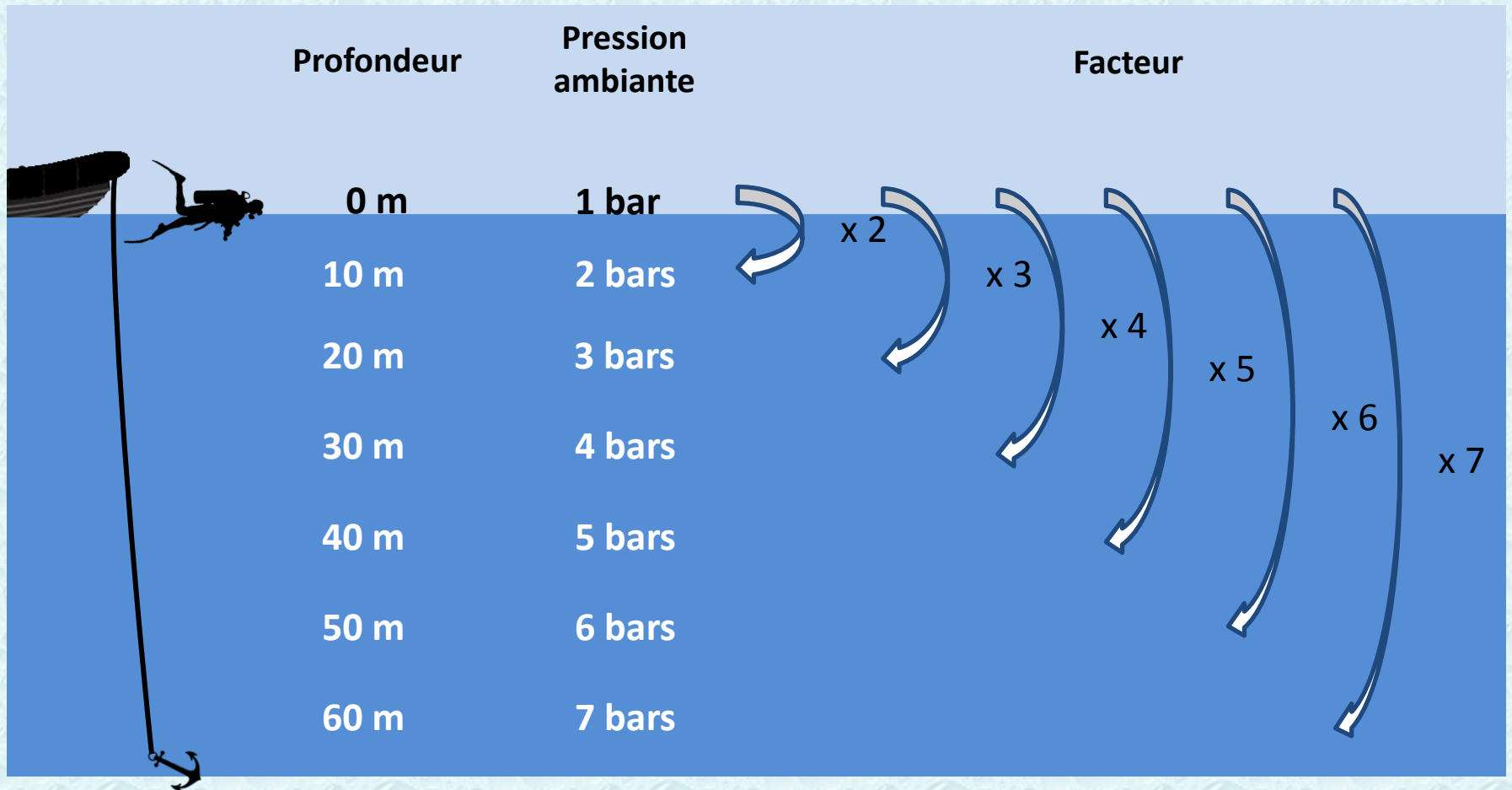
$$\text{Autonomie (min)} = \frac{\text{Volume d'air disponible (L)}}{\text{Consommation (L/min)}}$$



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

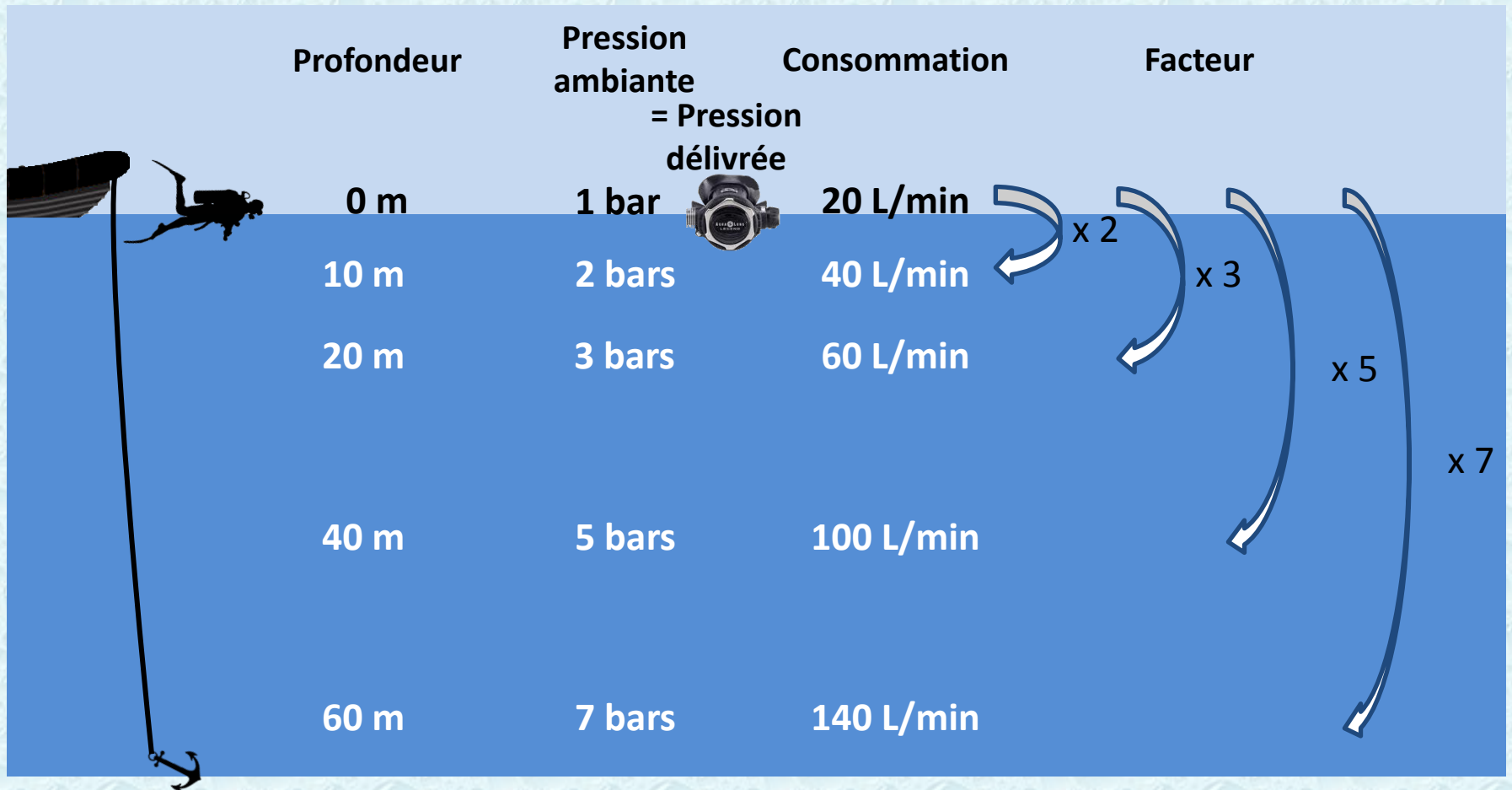
### Evolution de la Pression avec la Profondeur



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

Evolution de la Pression et de la Consommation avec la Profondeur



La consommation augmente avec la profondeur, proportionnellement à la pression.



# Les effets du milieu – Niveau 3

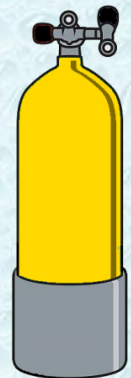
## Consommation - Autonomie - Planification

### Calcul de l'Autonomie

#### Définition :

**Temps maximum de plongée** calculé en fonction de la **quantité d'air disponible** dans la bouteille et de la **consommation** propre à chaque plongeur.

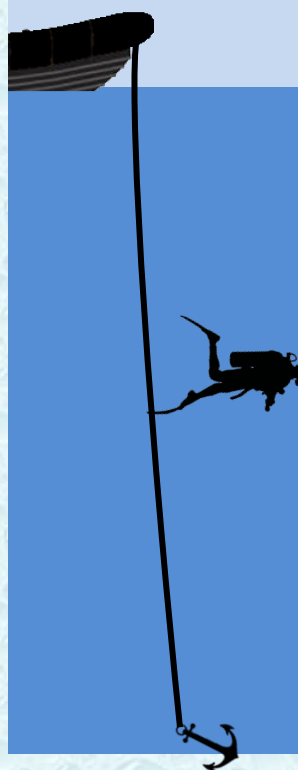
$$\text{Autonomie (min)} = \frac{\text{Volume d'air disponible (L)}}{\text{Consommation (L/min)}}$$




# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

### Evolution l'Autonomie avec la Profondeur



Profondeur	Pression ambiante	Consommation	Autonomie
0 m	1 bar	20 L/min	90 min
10 m	2 bars	40 L/min	45 min
20 m	3 bars	60 L/min	30 min
40 m	5 bars	100 L/min	18 min
60 m	7 bars	140 L/min	12 min



**!! Dans ce calcul théorique, c'est bien le temps maximum qui est présenté !!**

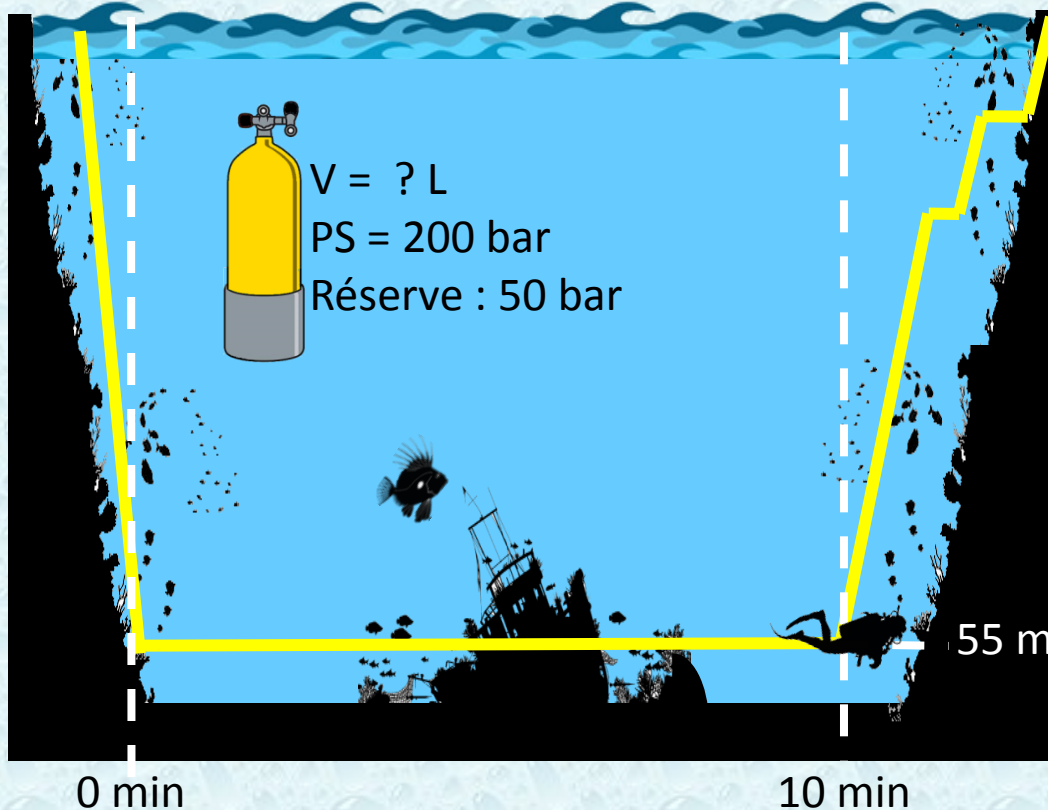


# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

Exemple n°1 : Quelle bouteille choisir pour une **plongée carrée, aux tables, à 55 m** pendant **10 min** pour un plongeur dont la conso surface est de **20 L/min** ?

Prof.	Durée	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m	DTR	GPS
55m	10 min				1	5	11	G



$$\text{Conso}_{\text{fond}} = 20 \times 6.5 = 130 \text{ L/min}$$

$$\text{Vol}_{\text{fond}} = 130 \times 10 = \mathbf{1300 \text{ L}}$$

Tables MN90 -> DTR : 11 min

$$\text{Prof moy} : 55/2 = 27.5 \text{ m}$$

$$\text{Conso}_{\text{DTR}} = 20 \times 3.75 = 75 \text{ L/min}$$

$$\text{Vol}_{\text{DTR}} = 75 \times 11 = \mathbf{825 \text{ L}}$$

$$\text{-> Total : } 1300 + 825 = \mathbf{2125 \text{ L}}$$

Bloc 12 L :

$$V = 12 \times (200-50) = 1800 \text{ L}$$



Bloc 15 L :

$$V = 15 \times (200-50) = 2250 \text{ L}$$



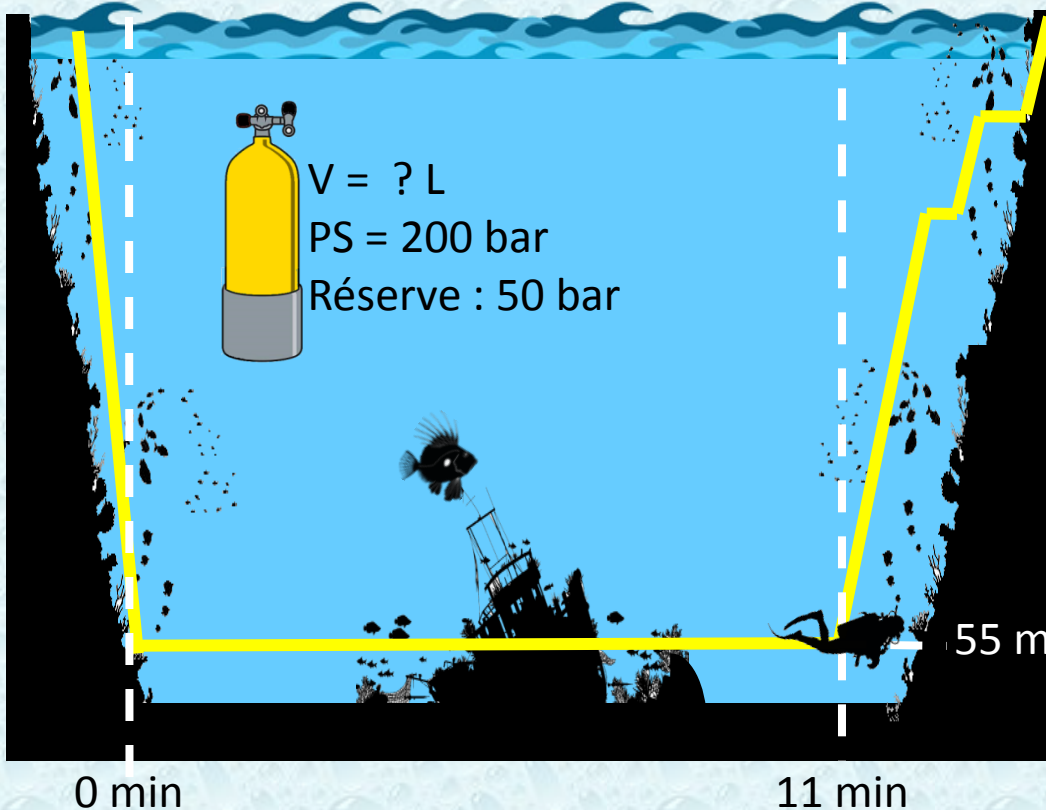
$$2250 - 2125 = 125 \text{ L soit } \approx 1 \text{ min}$$

# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

Exemple n°2 : Quelle bouteille choisir pour une **plongée carrée, aux tables, à 55 m** pendant **11 min** pour un plongeur dont la conso surface est de **20 L/min** ?

Prof.	Durée	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m	DTR	GPS
55m	15 min				4	13	22	1



$$\text{Conso}_{\text{fond}} = 20 \times 6.5 = 130 \text{ L/min}$$

$$\text{Vol}_{\text{fond}} = 130 \times 11 = 1430 \text{ L}$$

Tables MN90 -> DTR : 22 min

$$\text{Prof moy} : 55/2 = 27.5 \text{ m}$$

$$\text{Conso}_{\text{DTR}} = 20 \times 3.75 = 75 \text{ L/min}$$

$$\text{Vol}_{\text{DTR}} = 75 \times 22 = 1650 \text{ L}$$

$$\text{-> Total : } 1430 + 1650 = 3080 \text{ L}$$

Bloc 12 L :

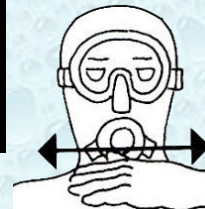
$$V = 12 \times (200-50) = 1800 \text{ L}$$

**X**

Bloc 15 L :

$$V = 15 \times (200-50) = 2250 \text{ L}$$

**X**



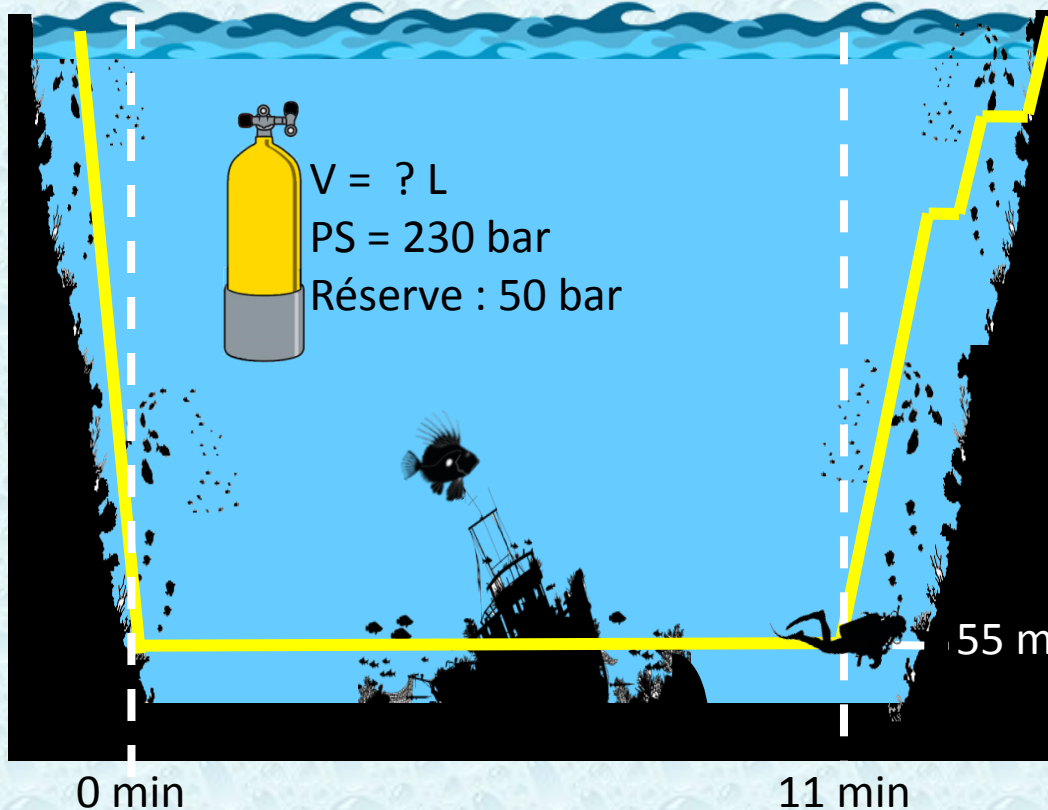
Pour 1 minute de plus !

# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

Exemple n°3 : Quelle bouteille choisir pour une **plongée carrée, aux tables, à 55 m** pendant **15 min** pour un plongeur dont la conso surface est de **20 L/min** ?

Prof.	Durée	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m	DTR	GPS
55m	15 min				4	13	22	1



$$\text{Conso}_{\text{fond}} = 20 \times 6.5 = 130 \text{ L/min}$$

$$\text{Vol}_{\text{fond}} = 130 \times 15 = 1950 \text{ L}$$

Tables MN90 -> DTR : 22 min

$$\text{Prof moy} : 55/2 = 27.5 \text{ m}$$

$$\text{Conso}_{\text{DTR}} = 20 \times 3.75 = 75 \text{ L/min}$$

$$\text{Vol}_{\text{DTR}} = 75 \times 22 = 1650 \text{ L}$$

$$\text{-> Total : } 1950 + 1650 = 3600 \text{ L}$$

Bloc 15 L :

$$V = 15 \times (230 - 50) = 2700 \text{ L}$$

**X**

Bloc bi-10 L :

$$V = (2 \times 10) \times (230 - 50) = 3600 \text{ L}$$



ou

**X** ?



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

55 m	Tps fond (min)	V fond (L)	Tps DTR (min)	V DTR (L)	Tps tot (min)	V tot (L)
Ex 1	10	1300	11	825	21	2125
Ex 2	11	1430	22	1650	33	3080
Ex 3	15	1950	22	1650	37	3600



Choix des paramètres  
Choix du matériel  
Sécurité

# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

**Vous devez connaître votre consommation.**

Plongée « carrée » + caractéristiques un bloc

Pression initiale + heure de départ

Profondeur

Pression résiduelle + heure

Différence de pression et de temps

Volume total d'air consommé

Volume d'air détendu à 1 bar

Consommation

200 bar / 12 L

200 bar / 10h00

20 m

80 bar / 10h30

120 bar / 0h30

$120 \times 12 = 1440$  L

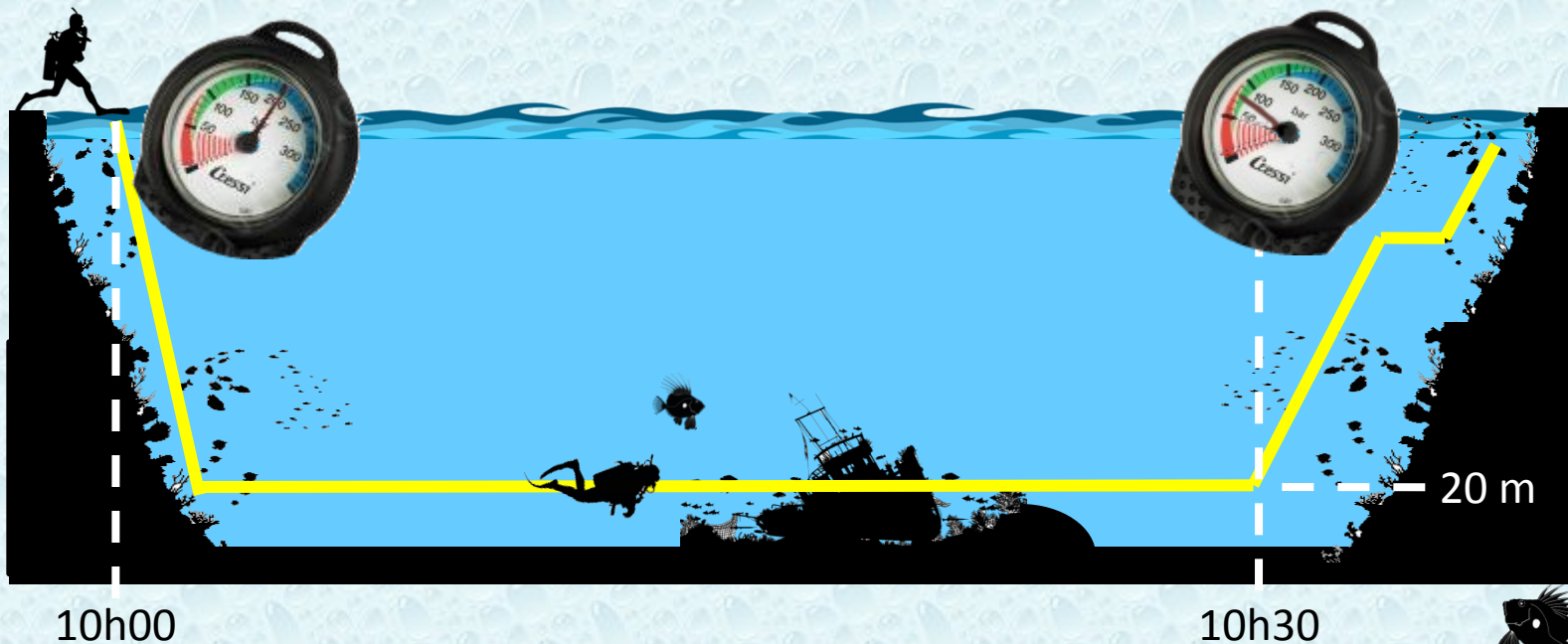
20 m = 3 bar donc  $1440 / 3 = 480$  L

$480 / 30 = 16$  L/min



$V = 12$  L

PS = 200 bar



10h00

10h30

20 m



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

### Remarques

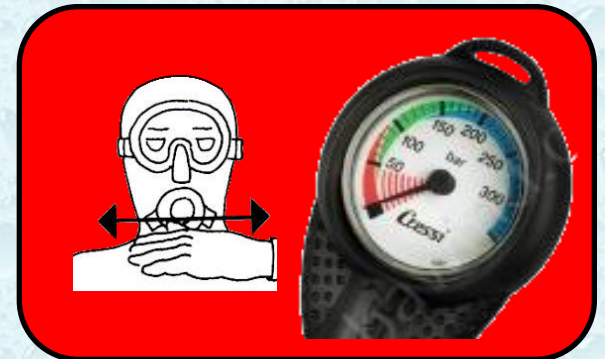
La consommation peut être augmentée par différents facteurs (fatigue, froid, stress, mal de mer...)



Tout effort augmente la consommation (x2 à 3),  
et impacte directement l'autonomie.

Attention à l'**essoufflement**, (consommation x 5 -> 100 L/min !!)

Risque le plus important : **panne d'air**  
(risque de noyade, de surpression pulmonaire,  
d'ADD...)




# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

### Remarques

Profondeur	Pression ambiante	Consommation « normale »	Autonomie « normale »	Consommation essoufflement	Autonomie essoufflement
0 m	1 bar	20 L/min	90 min	100 L/min	18 min
10 m	2 bars	40 L/min	45 min	200 L/min	9 min
20 m	3 bars	60 L/min	30 min	300 L/min	6 min
40 m	5 bars	100 L/min	18 min	500 L/min	3.5 min
60 m	7 bars	140 L/min	12 min	700 L/min	2.5 min




# Les effets du milieu – Niveau 3

## Consommation - Autonomie - Planification

Les N3 (avec ou sans DP) plongent en **co-responsabilité**.

**Contrôler sa consommation**  
**et celle des autres** membres de sa palanquée  
très régulièrement tout au long de la plongée



-> **Communiquer et adapter la plongée si besoin**

**La plongée doit être planifiée avant la mise à l'eau**  
consommation de chacun, stock d'air, profil envisagé, paliers nécessaires,  
conditions météo (courant, froid...)

**Conservez toujours une marge de sécurité**  
(valeur mi-pression et réserve)

**Restez vigilants et anticipez.**



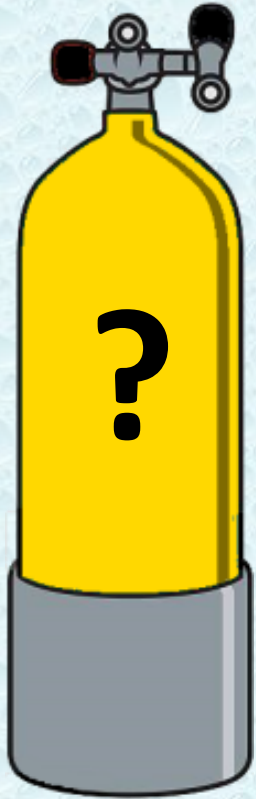
# Les effets du milieu – Niveau 3

## Dissolution des gaz

Plongée loisir : même **air** que l'atmosphère.

Composition :

21 % d'oxygène ( $O_2$ ) + 79 % d'azote ( $N_2$ )



Diffusés dans l'organisme  
par le sang

Utilisé par le métabolisme



Non-utilisé ,  
mais présent sous forme dissoute



# Les effets du milieu – Niveau 3

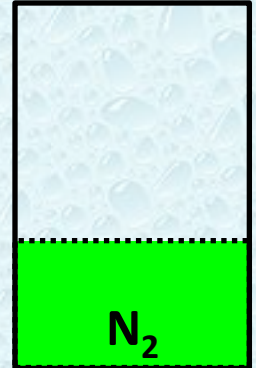
## Dissolution des gaz

### Principe :

Quantité d'Azote dissous  
tend vers l'équilibre avec pression ambiante

En surface :

-> Saturation normale



En immersion :

-> Azote dissous augmente

Si temps de plongée suffisant : équilibre atteint

A la remontée :

-> Azote dissous diminue

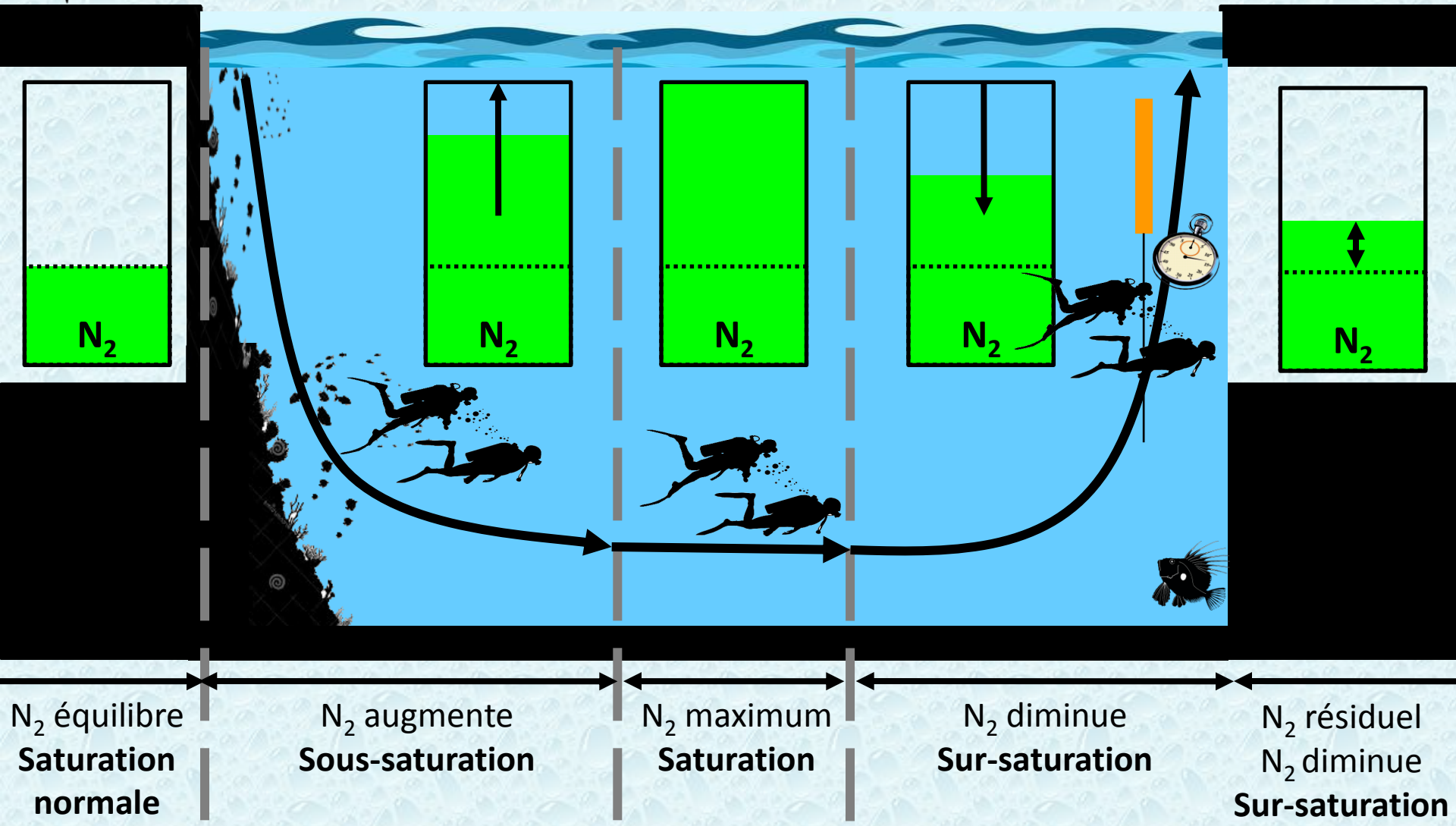
Ce phénomène est décrit par la **Loi de Henry**



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Dissolution des gaz

Représentation schématique de la loi de Henry  
Cas d'une plongée « maîtrisée »





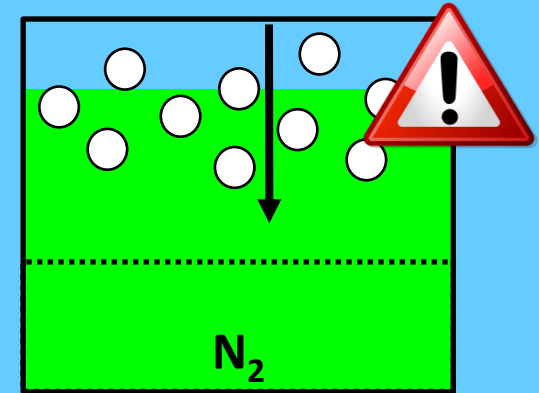
# Les effets du milieu – Niveau 3

## Dissolution des gaz

Représentation schématique de la loi de Henry  
Cas d'une plongée avec remontée rapide



Risque  
ADD



Sous-  
saturation  
 $N_2$

Saturation  
 $N_2$   
maximum

Sur-saturation critique  
 $N_2$  bulle

# Les effets du milieu – Niveau 3

## Dissolution des gaz

Application de la loi de Henry en plongée

Compréhension des **ADD** (**A**ccident **D**e **D**ésaturation) et de leur traitement

-> Voir cours sur les ADD

Modèles mathématiques pour les tables et les algorithmes des ordinateurs de plongée

-> Voir cours sur les outils de décompression

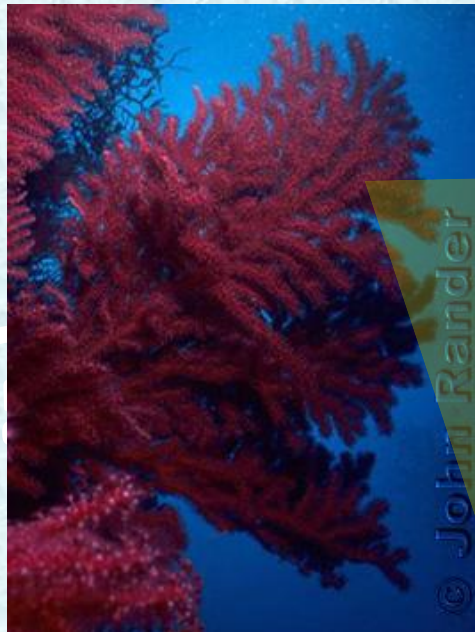
Tables MN90 - FFESSM (plongée à l'air)

Prof.	Durée	3m	DTR	GPS	Prof.	Durée	3m	DTR	GPS	Prof.	Durée	3m	DTR	GPS	Prof.	Durée	6m	3m	DTR	GPS		
6m	15 min		1	A	12m	1h20		1	H	18m	35 min		2	F	25m	5 min		2	B			
	30 min		1	B		1h25		1	I		40 min		2	G		10min		2	C			
	45 min		1	C		1h30		1	J		45 min		2	H		15min		2	D			
	1h15		1	D		1h35		1	J		50 min		2	H		20min		1	3	F		
	1h45		1	E		1h40		1	J		55 min	1	3	I		25min		2	E			
	2h15		1	E		1h45		1	J		60 min	5	7	J		30min		1	3	F		
	3h00		1	F		1h50		1	J		1h05	8	10	J		35min		2	4	H		
	4h00		1	G		1h55		1	K		1h10	11	13	K		40min		5	7	I		
	5h15		1	H		2h00		1	K		1h15	14	16	K		45min		10	12	J		
	6h00		1	I		2h10		1	K		1h20	17	19	L		50min		16	18	J		
			1	J		2h15		1	L		1h25	21	23	L		55min		21	23	K		
						2h20	2	4	L		1h30	23	25	M		60min		27	29	L		
						2h30	4	6	M		1h35	26	28	M								
						2h40	6	8	M		1h40	28										
						2h50	7	9	N													
						3h00																



# Les effets du milieu – Niveau 3

## La lumière sous l'eau

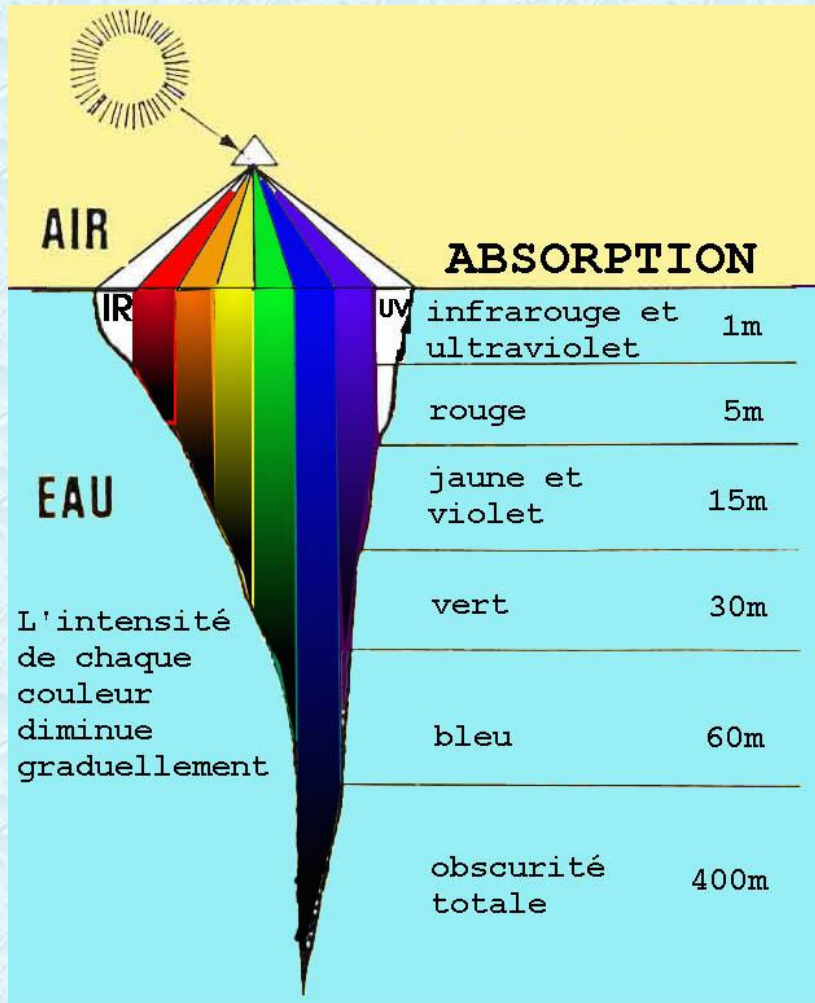


© John Rander



# Les effets du milieu – Niveau 3

## La lumière sous l'eau



Eau = filtre  
Absorption des couleurs

Le rouge d'abord  
Le bleu persiste en dessous de 30 m.

Luminosité décroissante

Intérêt d'avoir un éclairage pour des N3 ?

Restitution des couleurs  
Exploration  
Sécurité



# Les effets du milieu – Niveau 3

## La lumière sous l'eau

Effet loupe

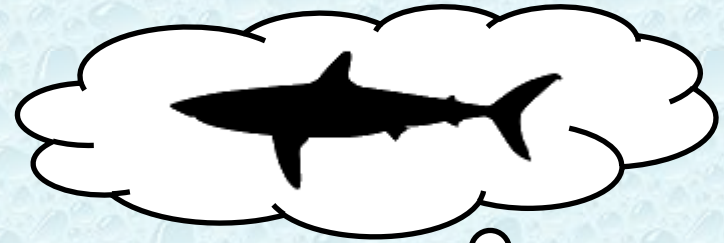


Sujet réel



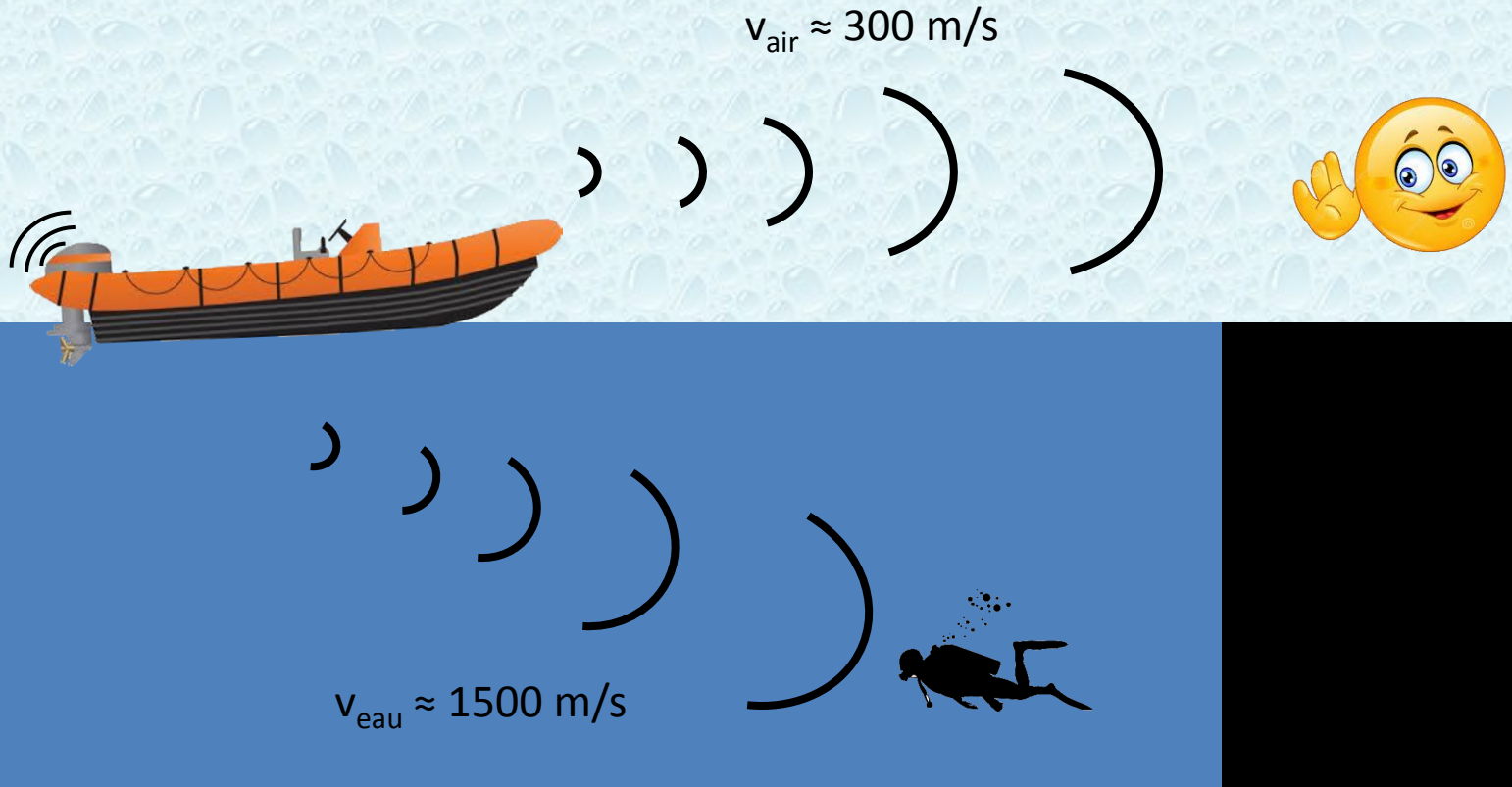
Image perçue

1/4 plus près, 1/3 plus grand



# Les effets du milieu – Niveau 3

## Le son



Le son : **5 x plus rapide dans l'eau** que dans l'air  
Perte de la stéréo :  
incapacité de déterminer l'origine du bruit  
**!! Restez vigilants !!**



# Les effets du milieu – Niveau 3

**Avez-vous des questions ?**

**Nicolas LITSCHIG**

**[nicolas.litschig@gmail.com](mailto:nicolas.litschig@gmail.com)**

**06 77 14 35 18 (18h30-22h00)**

