

Plongées profondes et gestion de la décompression

Troisième partie : planification de la plongée

CASV – Préparation niveau 3



Ce que l'on attend de vous

- Les plongées profondes sont riches de contraintes :
 - **stock d'air** diminuant rapidement
 - juste équilibre à trouver entre durée de la plongée et **durée des paliers**
 - gestion constante des paramètres prévus et **adaptation** aux conditions
- ➔ *ceci afin d'éviter tout risque de remontée panique et de réduire les risques d'ADD*
- Vous devrez donc être capables d'effectuer ces plongées en **sécurité**
 - ➔ *Connaissance des outils et procédures de décompression* } *Dernier cours*
 - ➔ Gérer l'autonomie en air
 - ➔ Savoir planifier ses plongées*

Sommaire

Rappels du niveau 2

- Pression
- Compressibilité des gaz
- Consommation d'air en plongée
- Autonomie en air
- Facteurs influant sur la consommation

À quoi ressemble une plongée profonde ?

Gestion d'air

Planification de plongée

- Principes
- Plongée à 50 m
- Plongée à 60 m
- Méthodes de calcul rapide

Et si...



RAPPELS DU NIVEAU 2





Pression

- En plongée, nous sommes soumis à la pression ambiante (ou **pression absolue**), qui est la somme des pressions exercées
 - par l'air : **pression atmosphérique**
 - par l'eau : **pression relative** (ou hydrostatique)

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{rel}$$

P_{atm} dépend du lieu (1 bar au niveau de la mer)

P_{rel} augmente de 1 bar tous les 10 m

P_{abs} à la surface ?

$$P_{abs} = 1 + 0 = 1 \text{ bar}$$

P_{abs} à 60 m ?

$$P_{abs} = 1 + 6 = 7 \text{ bar}$$

P_{abs} à 5 m ?

$$P_{abs} = 1,5 \text{ bar}$$



Compressibilité des gaz

L'air est compressible et la relation entre la pression (P) et le volume (V) d'un gaz est :

$$PV = \text{constante} \text{ et donc } P_1V_1 = P_2V_2$$

Combien d'air détendu contient une bouteille de 15 l gonflée à 200 bar ?

$$P_1V_1 = P_2V_2 \rightarrow 200 \times 15 = 1 \times V_2 \rightarrow V_2 = 3000 \text{ l détendu à 1 bar}$$

Les poumons ont une contenance d'environ 5 l. Quelle quantité d'air cela représente t'il à 50 m ?

$$P_1V_1 = P_2V_2 \text{ où } P_2 = 6 \text{ bar, } V_2 = 5 \text{ l et } P_1 = 1 \text{ bar} \rightarrow 1 \times V_1 = 6 \times 5 = 30 \text{ l d'air (équivalent surface)}$$



Consommation d'air en plongée

- On considère qu'un plongeur consomme environ **20 l/min en surface**

C'est une évaluation apportant une marge de sécurité pour la plupart des plongeurs.

Elle doit être nuancée en fonction de la **consommation réelle des plongeurs**, des conditions de plongée et de la marge de sécurité désirée.

- La consommation à une profondeur donnée est : $C_x = C_0 \times P_x$

À 40 m, $P_{40} = 5$ bar et la consommation est $C_{40} = 20 \times 5 = 100$ l/min

À 60 m, $P_{60} = 7$ bar et $C_{60} = 20 \times 7 = 140$ l/min

- La quantité d'air consommée en plongée à une profondeur donnée est : **durée x C_x**

Si je reste 20 min à 40 m, je consomme $20 \times 100 = 2000$ l d'air

Si je reste 10 min à 60 m, je consomme $10 \times 140 = 1400$ l

- Avec une bouteille de 12 l gonflée à 200 bar et une conso de 20 l/min en surface on peut donc rester :

➤ À 40 m, $2400 / (20 \times 5) = 24$ min

➤ À 60 m, $2400 / (20 \times 7) = 17$ min

**Un plongeur niveau 3
doit apprendre à
connaître sa
consommation***

Mais c'est sans compter la descente, la remontée, les paliers...

Sans la réserve
Sans les paliers
Avec des conditions idéales

Quelle autonomie en air ?

Bouteille de 12 l à 200 bar
→ $Q = 2400$ l d'air disponible

Profondeur	P_{abs} (bar)	Consommation (Px20 en l/min)	Durée possible (Q/C en min)
Surface	1	20	120
20 m	3	60	40
40 m	5	100	24
60 m	7	140	17

Bouteille de 15 l à 200 bar
→ $Q = 3000$ l d'air disponible

Profondeur	P_{abs} (bar)	Consommation (Px20 en l/min)	Durée possible (Q/C en min)
Surface	1	20	150
20 m	3	60	50
40 m	5	100	30
60 m	7	140	21

Sans les paliers
Avec des conditions idéales

Quelle autonomie en air ?

Bouteille de 12 l à 200 bar
50 bar de réserve
→ Q = 1800 l d'air disponible

Profondeur	P _{abs} (bar)	Consommation (Px20 en l/min)	Durée possible (Q/C en min)
Surface	1	20	90
20 m	3	60	30
40 m	5	100	18
60 m	7	140	12

Bouteille de 15 l à 200 bar
50 bar de réserve
→ Q = 2250 l d'air disponible

Profondeur	P _{abs} (bar)	Consommation (Px20 en l/min)	Durée possible (Q/C en min)
Surface	1	20	112
20 m	3	60	37
40 m	5	100	22
60 m	7	140	16



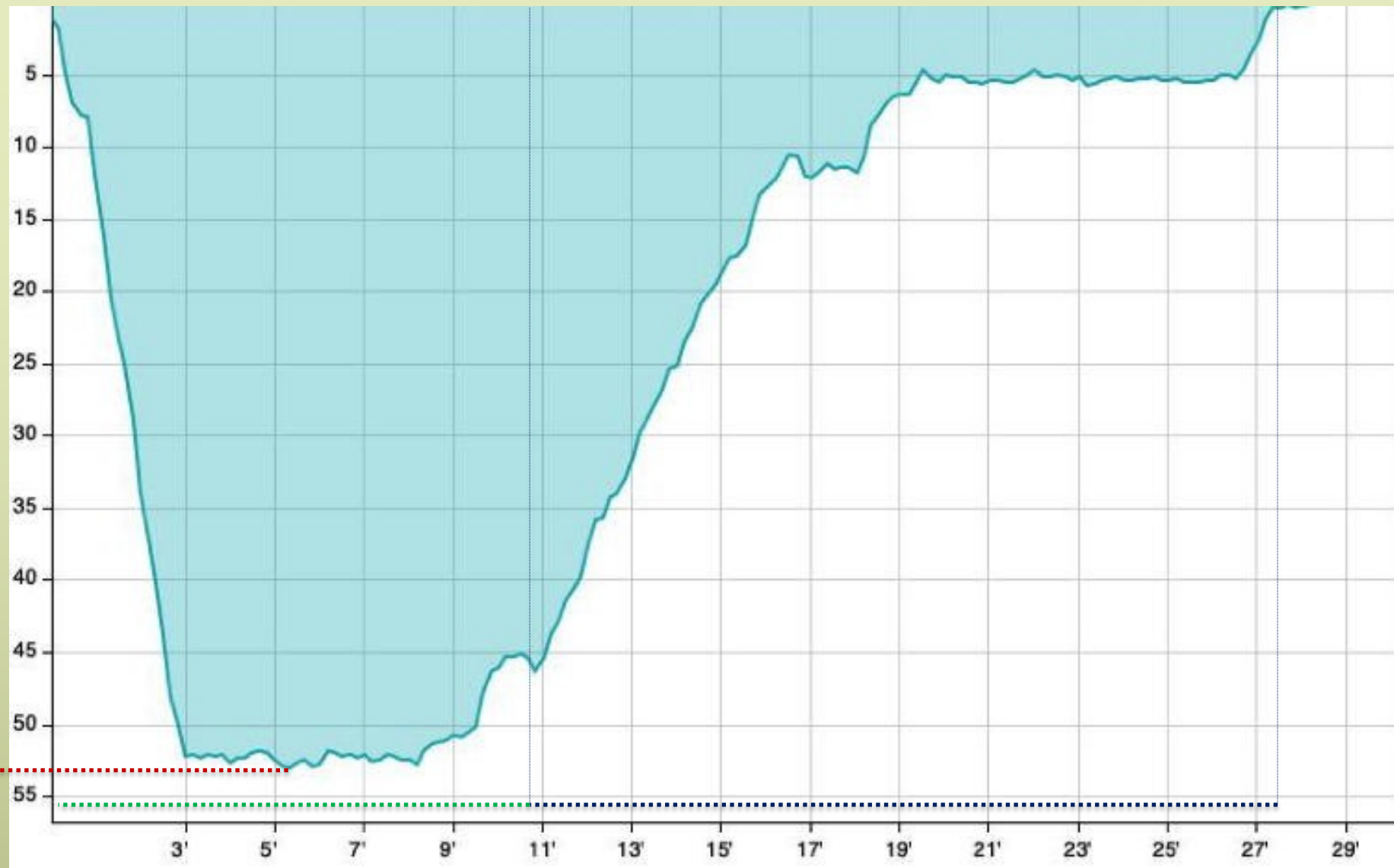
Facteurs influant sur la consommation

- **Physiologie** du plongeur : constante personnelle
- **Condition physique** : hygiène de vie, condition physique, entraînement
- **Équipement** : lestage $\pm$ adapté, combi $\pm$ ajustée...
- **Froid** : modifie la ventilation
- **Stress** : envie de plonger, froid, visibilité, courant, profondeur...
- **Efforts** : courant, palmage inefficace, mouvements parasites...

*Ces paramètres ont une influence significative sur la consommation en air.
Ils sont à prendre en compte, tant pour la planification d'une plongée, que
lors de son déroulement*

À QUOI RESSEMBLE UNE PLONGÉE PROFONDE ?

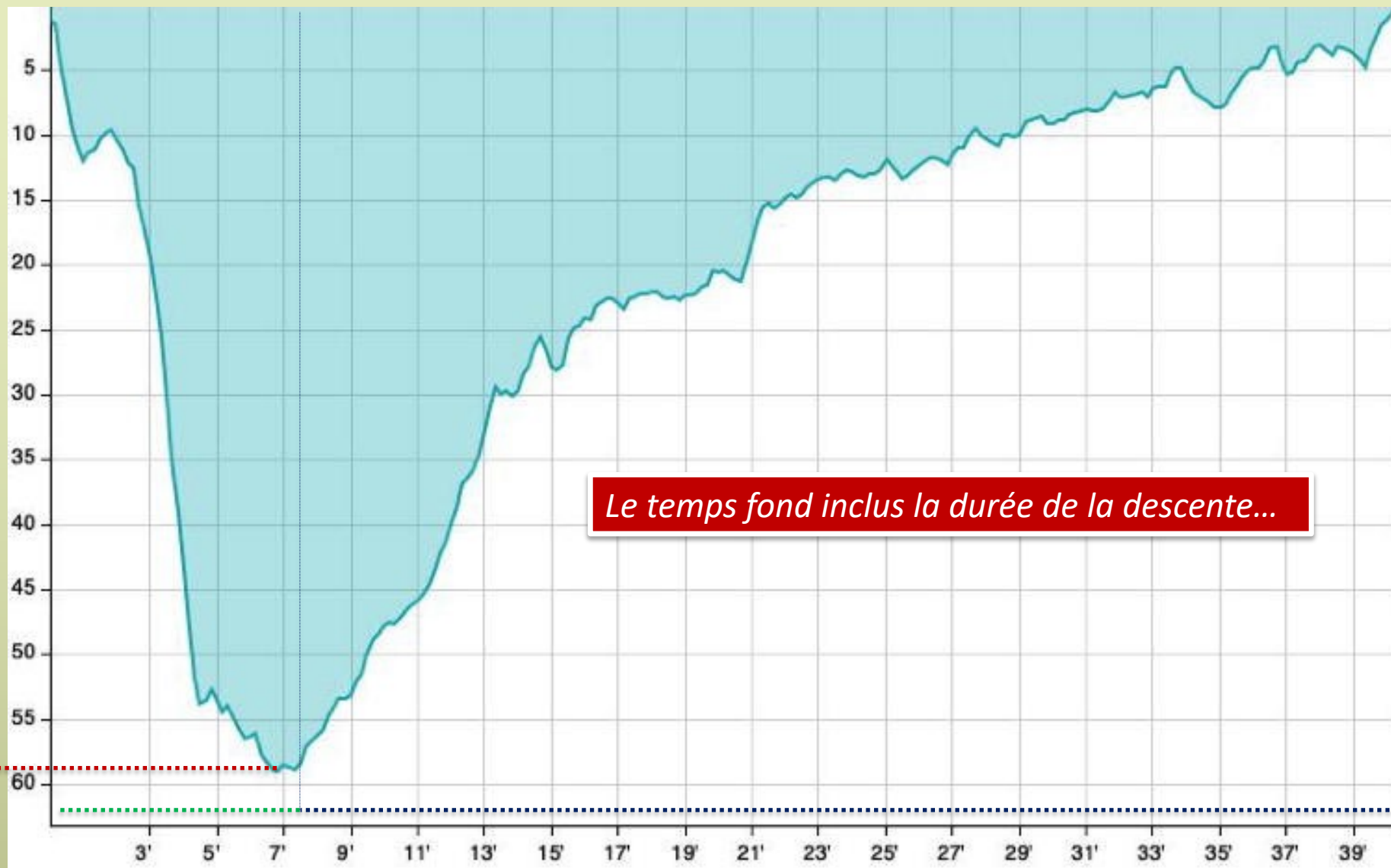
Profondeur max



Temps fond

DTR

Plongée carrée sur une épave



Le temps fond inclus la durée de la descente...

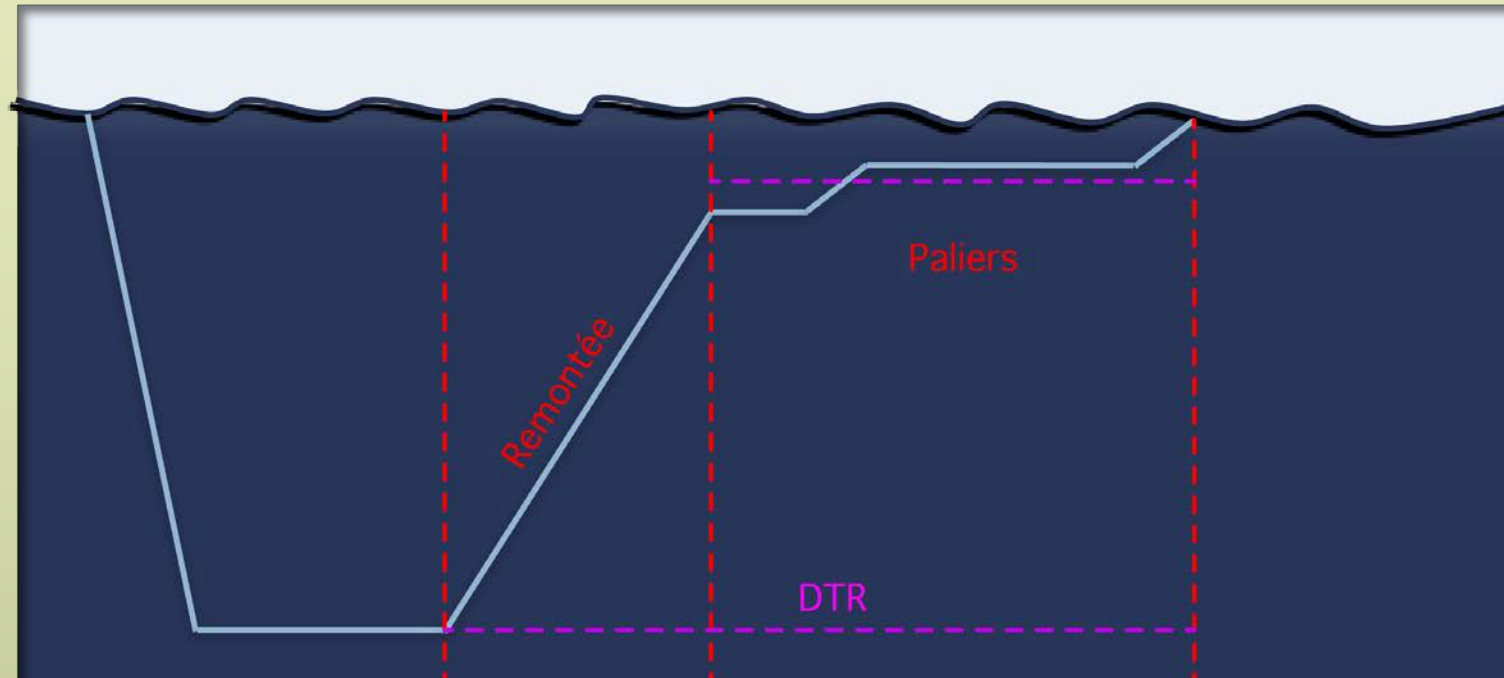
Profondeur max

Temps fond

DTR

Plongée le long d'un tombant

Ce qu'il faut prévoir = planification



Avant la plongée

- *Comportement : questionnement sur les conditions, son état...*
- Préparation du matériel individuel
- (Briefing DP)
- Briefing palanquée (toutes les étapes de la plongée)
- Préparation à la mise à l'eau

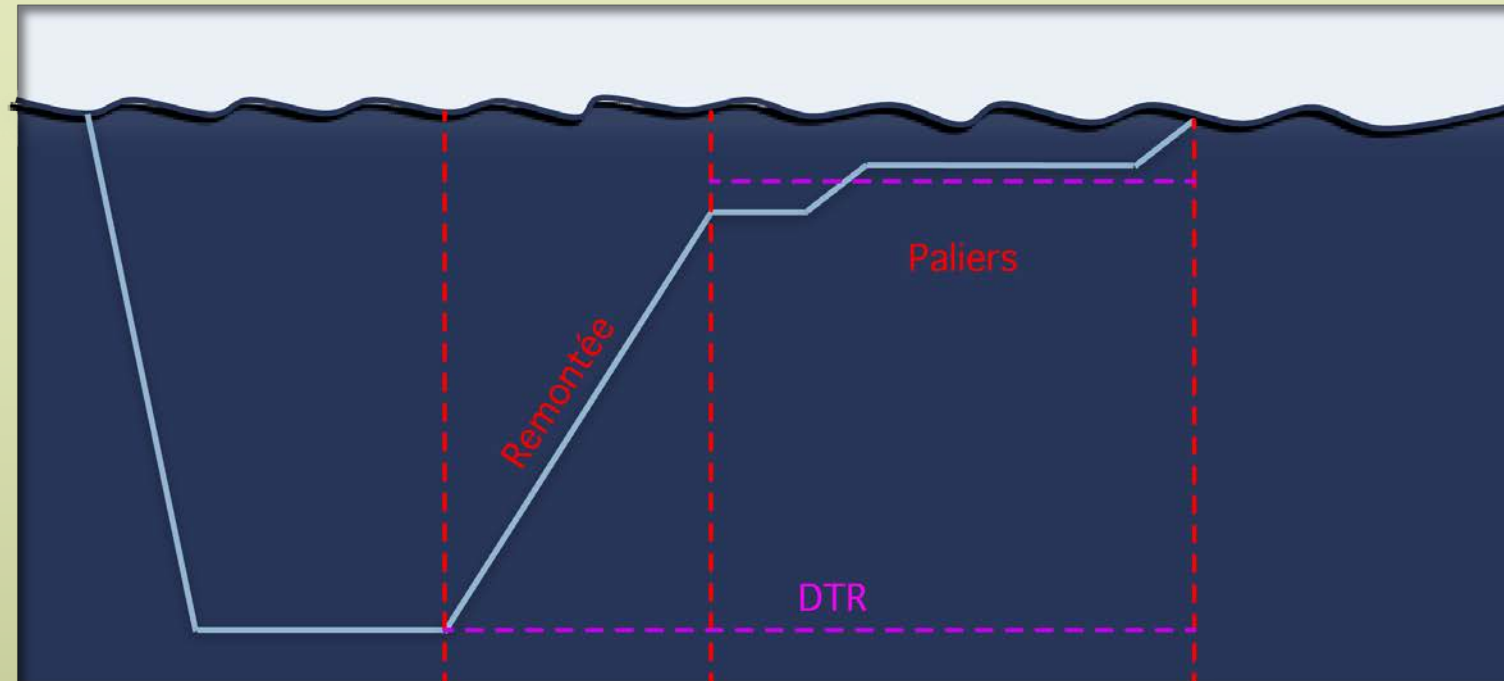
Pendant la plongée

- Mise à l'eau
- Regroupement
- Vérifications
- Descente
- Balade
- Fin de plongée :
 - remontée
 - paliers
 - sortie d'eau
 - retour au bateau

Après la plongée

- Déséquipement
- Fiche de sécu
- *Comportement : hydratation, calme, surveillance et auto-surveillance*

La planification

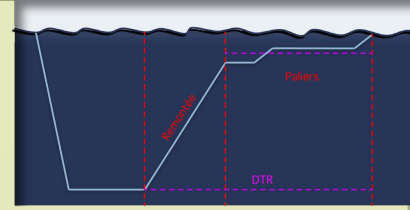


*Chacune de ces étapes doit être **anticipée***

*Le **contrôle** doit être permanent*

*Il faut savoir **s'adapter***

À quoi ressemble une plongée profonde ?



- Une plongée profonde inclura nécessairement des paliers
- Plus cette plongée sera profonde et longue, plus les paliers seront longs

*La principale contrainte sera donc la gestion du **stock d'air** nécessaire à l'exploration et la réalisation de la **remontée** et des **paliers** avec une marge de **sécurité***

GESTION D'AIR

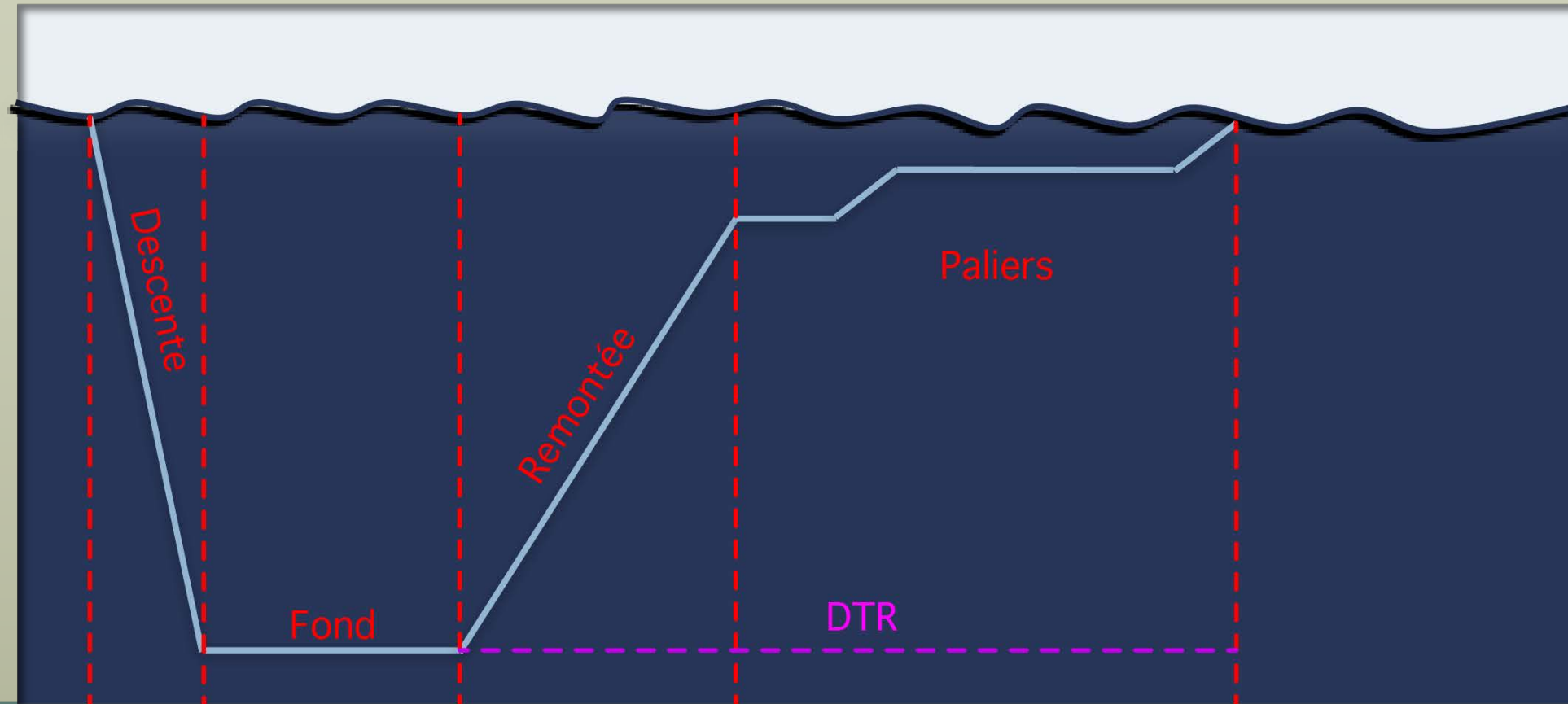




Gestion d'air : principes de calculs

On cherche ici à définir une méthode permettant de calculer les besoins en air pour les plongées profondes.

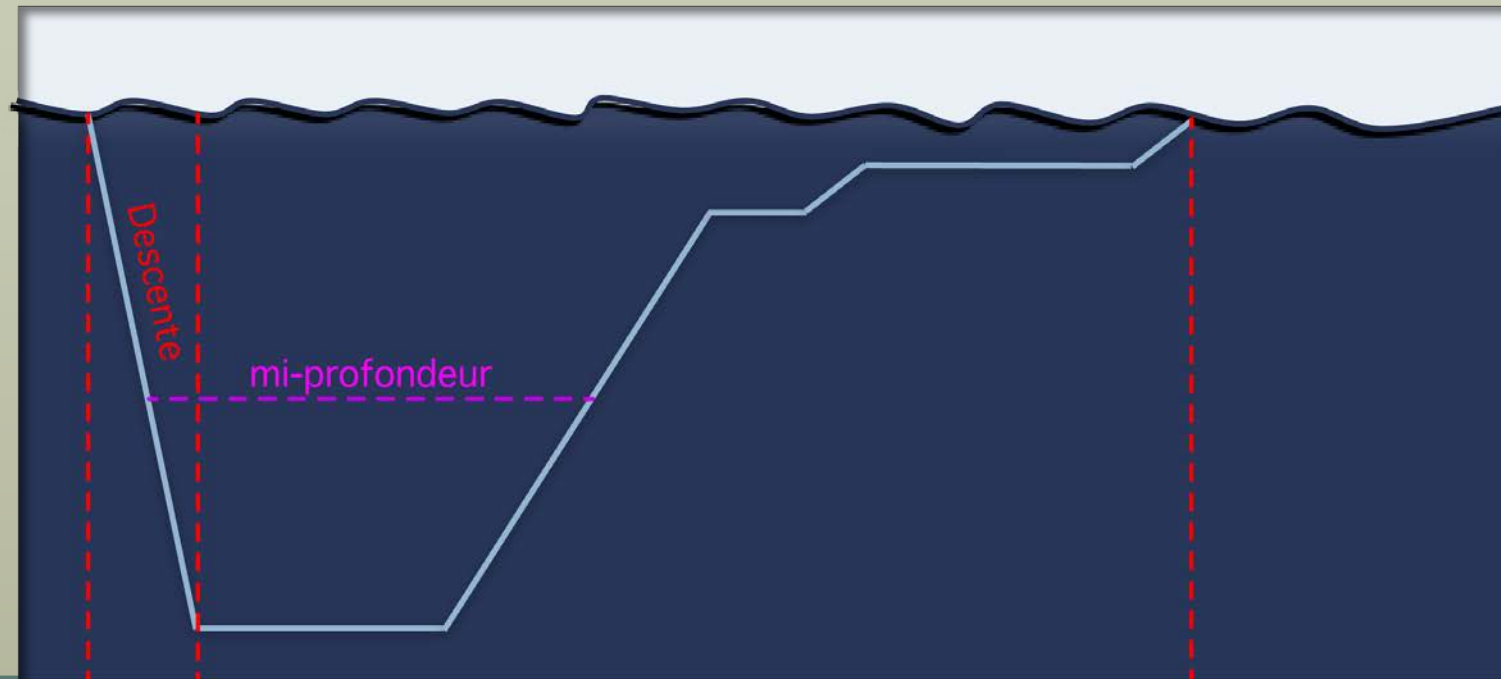
Les phases de la plongée





Consommation à la descente

- On considère une **consommation de 20 l/min** en surface
- Sur une **plongée carrée**, la déco proposée par les ordinateurs est similaire à celle des tables, on peut donc planifier nos plongées en utilisant les tables MN90-FFESSM
- On considère une vitesse de **descente de 20 m/min**
- Pour la consommation à la descente, on utilise la mi-profondeur (air consommé à 25 m pour une descente à 50 m)

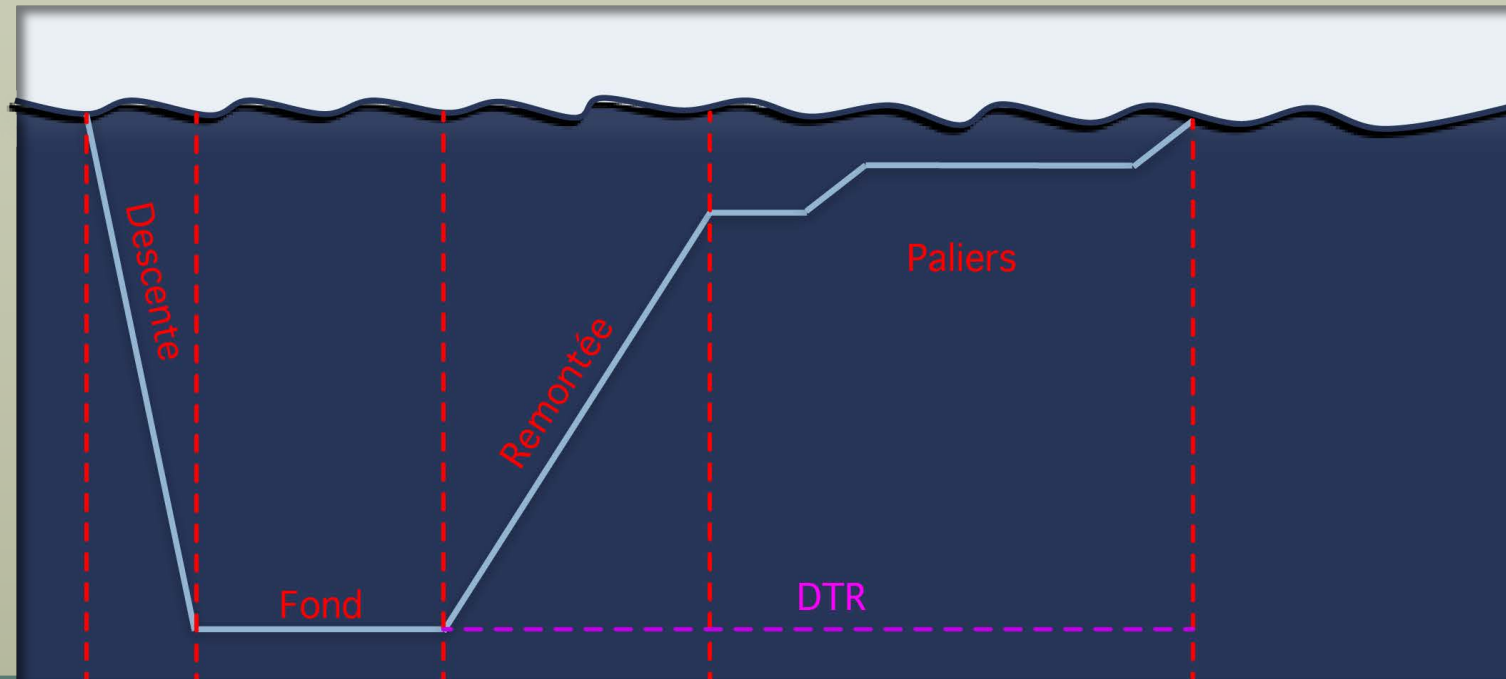




Consommation au fond

- Consommation de surface : $C_0 = 20 \text{ l/min}$ (à adapter à sa propre consommation et aux conditions)
- Consommation au fond : $C_{\text{abs}} = C_0 \times P_{\text{abs}}$ par minute de plongée

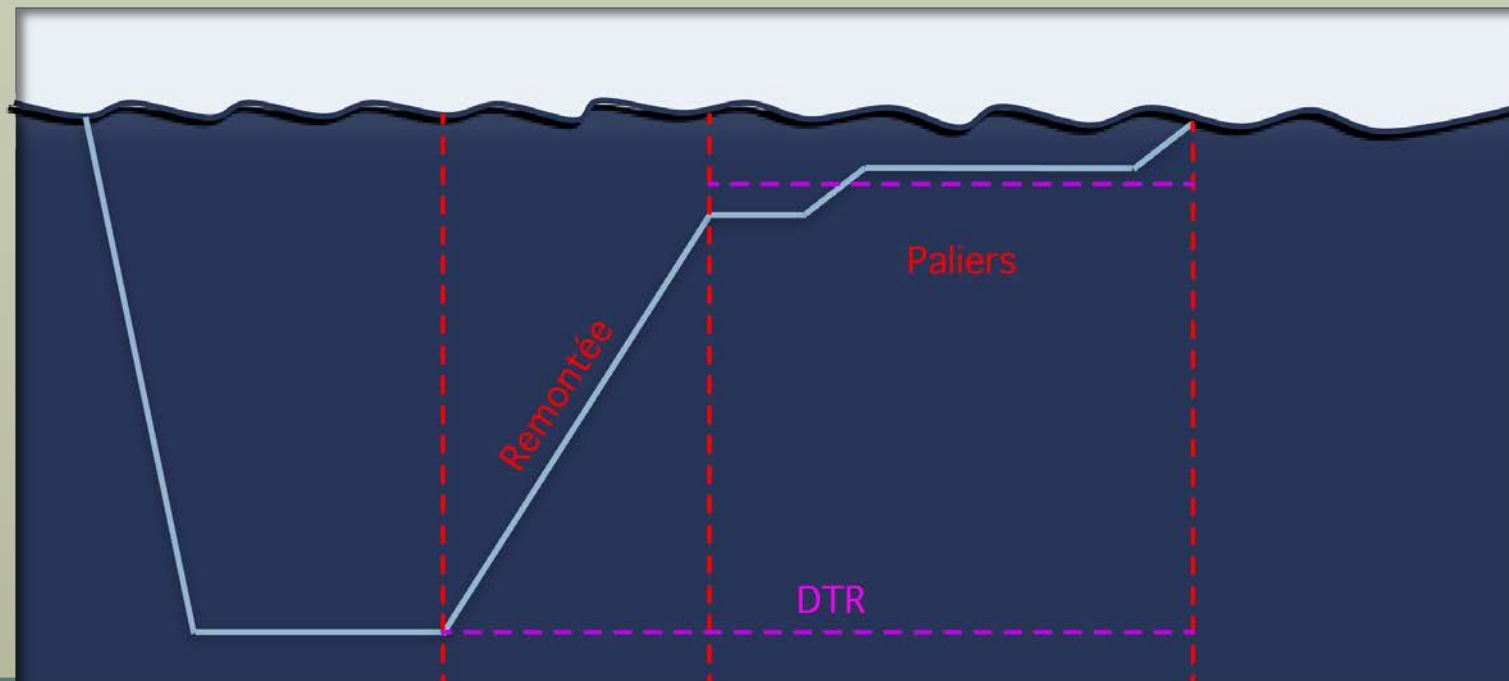
ex. : à 50 m la conso est de $20 \times 6 = 120 \text{ l}$ d'air par minute de plongée





Consommation à la remontée

- La vitesse de remontée est de **10 m/min**. Comme on ralentit dans les derniers mètres, la durée de remontée est d'environ $(\text{Prof}/10)+1$, ou **la durée de remontée est égale à la P_{abs} max de la plongée** (ex. : 5 min de remontée pour une plongée à 40 m)
- Pour la consommation à la remontée, on utilise aussi la mi-profondeur (air consommé à 25 m pour une plongée à 50 m)
- Pour simplifier les calculs de consommation, on considèrera que l'ensemble des paliers se fait à 5 m (1,5 bar)



*La **durée totale de remontée (DTR)** comprend le temps de remontée et celui des paliers*



Gestion d'air : plongée à 20 m avec 40 min de temps fond

- 20 m / 40 min → pas de palier
- Bloc 12 l à 200 bar → 2400 l d'air disponible

	Profondeur (m)	Durée (T en min)	Pression absolue (P en bar)	Conso (TxPx20 en l)	Air restant (Q en l)	Pression lue (Q/12 en bar)
Surface			1		2400	200
Descente	10	1	2	40	2360	196
Fond	20	39	3	2340	20	1
Remontée	10	3	2	120	-100	-8
Paliers		0				

Le temps de plongée ne suffit pas à la planification, on a besoin de gérer la quantité d'air nécessaire



Gestion d'air : plongée à 40 m avec 20 min de temps fond

- 40 m / 20 min → 1 min à 6 m et 9 min à 3 m
- Bloc 15 l à 200 bar → 3000 l d'air disponible

	Profondeur (m)	Durée (T en min)	Pression absolue (P en bar)	Conso (TxPx20 en l)	Air restant (Q en l)	Pression lue (Q/15 en bar)
Surface			1		3000	200
Descente	20	2	3	120	2880	192
Fond	40	18	5	1800	1080	72
Remontée	20	5	3	300	780	52
Paliers	5	10	1,5	300	480	32

*On peut réaliser cette plongée mais sans avoir une réserve de 50 bar
→ Il faut planifier*

PLANIFICATION





Planification des plongées profondes

- Le temps de plongée ne suffit pas à la planification
- On doit évaluer la quantité d'air nécessaire pour effectuer les paliers et remonter en sécurité, c'est à dire avoir suffisamment d'air pour la durée totale de la remontée (DTR) et une réserve de sécurité

La planification de plongée repose donc sur :

- la **profondeur** max de la plongée avec le **temps fond** (et donc les paliers nécessaires)
- la **DTR** (remontée et paliers) et la quantité d'air nécessaire pour la réaliser
- la **pression de décollage** du fond (quantité d'air nécessaire pour faire la DTR)
- en incluant la **réserve**, marge de sécurité qui permet de s'adapter aux aléas



Planification des plongées profondes

- La **planification** consiste à fixer les paramètres et à préciser toutes les étapes de la plongée *
- S'il y a un DP (plongées au-delà de 40 m), il peut imposer une profondeur max, une DTR max, une durée maximale de plongée...
- Avant la plongée, la palanquée doit s'entendre sur la **profondeur max** et
 - le **temps fond**
 - la **DTR**
 - la **pression de décollage**

*La palanquée remontera au
premier des paramètres atteint*

Il faut aussi définir en groupe **toutes les phases de la plongée** (préparation, mise à l'eau, vérifications à 5 m, remontée, parachute, récupération...) *



Planification : plongée à 50 m

On veut faire une **plongée à 50 m** avec un bloc de 15 l gonflé à 200 bar sans faire plus de 20 min de DTR

- La durée de remontée depuis 50 m est de 6 min environ
- Donc on ne doit pas faire plus de 14 min de paliers.
Sur les tables, une plongée de 15 min à 50 m impose 2 min à 9 m et 9 min à 3 m (soit 11 min de paliers)
- Pour cette **DTR de 17 min**, il nous faut : 50 bar d'air
 - pour la remontée : $3,5 \times 20 \times 6 = 420$ l (28 bar sur un 15 l)
 - pour les paliers : $1,5 \times 20 \times 11 = 330$ l (22 bar)
- Si l'on veut conserver une **réserve de 50 bar** en surface, on doit remonter à une **pression de décollage de 100 bar**
- Il nous reste donc 100 bar pour la descente et le séjour au fond, soit environ **12 min de temps fond** (et pas les 15 min des tables)
 $((100 \times 15) / 20) / 6 = 12$



Planification : plongée à 50 m

- 50 m / 15 min → 2 min à 6 m et 9 min à 3 m
- **Bloc 15 l à 200 bar** → 3000 l d'air disponible
- **Temps fond** → 12 min
- **Pression de décollage** → 100 bar
- **DTR** → 17 min

	Profondeur (m)	Durée (min)	Pression (bar)	Conso (l)	Air restant (l)	Pression (bar)
Surface					3000	200
Descente	25	2,5	3,5	175	2825	188
Fond	50	9,5	6	1140	1685	112
Remontée	25	6	3,5	420	1265	84
Paliers	5	11	1,5	330	935	62



Planification : plongée à 60 m

- 60 m / 10 min →
- Bloc 15 l à 200 bar →
- Pression de décollage →
- DTR →

Air pour la remontée :

Air pour les paliers :

	Profondeur (m)	Durée (min)	Pression (bar)	Conso (l)	Air restant (l)	Pression (bar)
Surface						
Descente						
Fond						
Remontée						
Paliers						



Planification : plongée à 60 m

- 60 m / 10 min → 2 min à 6 m et 6 min à 3 m
- Bloc 15 l à 200 bar → 3000 l d'air disponibles
- Pression de décollage → 110 bar
- DTR → 15 min

Air pour la remontée : $4 \times 7 \times 20 = 560$ l ou 38 bar

→ 54 bar de DTR + 50 bar de réserve = 104 bar

Air pour les paliers : $1,5 \times 8 \times 20 = 240$ l ou 16 bar

→ pression de décollage lue : 110 bar

	Profondeur (m)	Durée (min)	Pression (bar)	Conso (l)	Air restant (l)	Pression (bar)
Surface					3000	200
Descente	30	3	4	240	2760	184
Fond	60	7	7	980	1780	119
Remontée	30	7	4	560	1220	81
Paliers	5	8	1,5	240	980	65

PLANIFICATION : MÉTHODE DE CALCUL RAPIDE

Planification : méthode de calcul rapide

- Les paliers les plus longs sont ceux à 3 m
- Plus la DTR est longue et plus ces paliers à 3 m durent longtemps
10'@50 m → 4'@3m pour une DTR de 10'
15'@50 m → 2'@6 m ; 9'@3m pour une DTR de 17'
25'@50 m → 1'@9m ; 8'@6 m ; 32'@3m pour une DTR de 47'
- Le barycentre des profondeurs des paliers peut être approximé à 5 m
- Pour la consommation de la remontée, on peut considérer alors que l'on a besoin de :

3 bar par minutes de DTR sur un bloc de 15 l*
(ou 4 bar par minute de DTR sur un bloc de 12 l)

Planification : méthode de calcul rapide

Exemple pour une **plongée de 10 min à 60 m**

Lecture des tables : 2'@6 m et 6'@3m

➤ **Temps fond : 10 min**

Paliers : 8 min

Durée de la remontée : 7 min

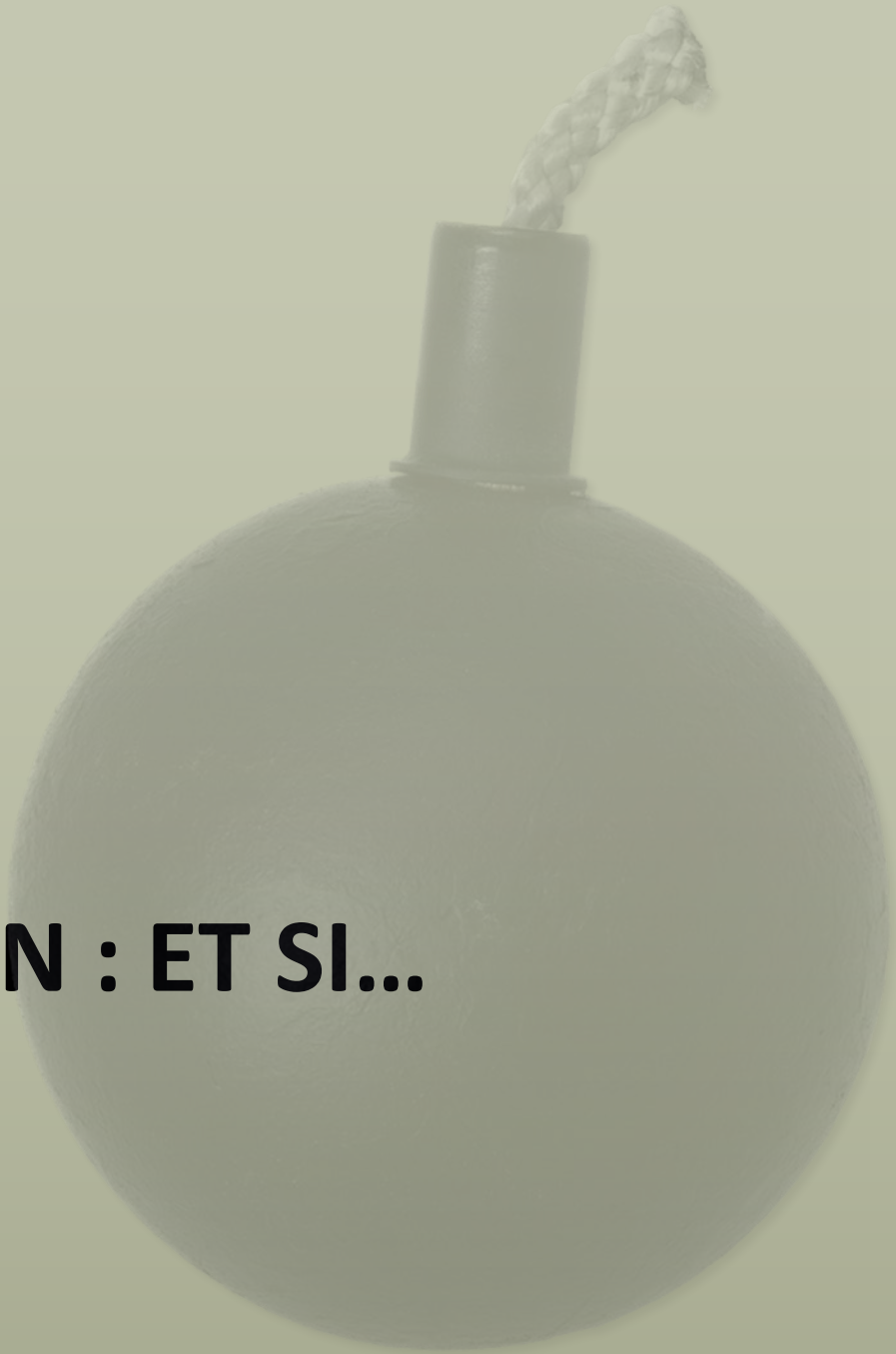
➤ **DTR : 15 min**

Conso pour la DTR : $3 \times 15 = 45$ bar

Réserve prévue : 50 bar

➤ **Pression de décollage : 95 bar**

On décollera des 60 m à la première des limites atteinte : temps fond, DTR, pression de décollage



PLANIFICATION : ET SI...

Planification : et si...

- ✓ Temps fond
- ✓ DTR max
- ✓ Pression de décollage

- **On descend plus profond que prévu**

C'est une violation de la planification, donc bien entendu interdit.

Cependant, comme la saturation sera plus rapide, la DTR max prévue sera atteinte plus tôt, donc on remontera avant le temps fond prévu et avec assez d'air pour faire toute la DTR.

- **On descend moins profond**

On saturera moins, on aura donc moins de paliers. On pourra alors rester plus longtemps à cette profondeur pour une même DTR.

C'est par conséquent le temps fond qui sera limitant.

Planification : et si...

- ✓ Temps fond
- ✓ DTR max
- ✓ Pression de décollage

- **On consomme plus que prévu**

La consommation devient limitante.

On atteindra plus tôt la pression de décollage.

On aura par conséquent moins de paliers à effectuer et la DTR sera plus courte.

- **Le DP a fixé un temps total de plongée max**

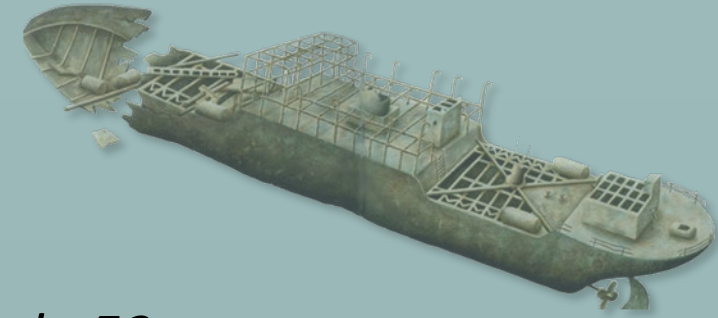
Il veut planifier précisément la récupération des plongeurs.

En cours de plongée, on additionne le temps de plongée et la DTR planifiée ou lue.

On sera amené à rester moins longtemps au fond.

La DTR sera plus courte que celle planifiée.

Exercices



Vous allez plonger sur l'épave du Donator qui repose sur un fond de 52 m

- 1. Planifiez votre plongée pour ne pas faire plus de 15 min de temps de palier
Indiquez le temps fond, la DTR, la pression de décollage*
- 2. De quel bloc et quelle pression avez-vous besoin pour réaliser cette plongée ?*
- 3. Il y a eu du courant au fond et votre consommation moyenne est passée à 22 l/min
Quelles conséquences ?
Qu'en concluez-vous ?*



Ben voilà !