

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 qu'il faut réussir à maîtriser comme la **diminution des capacités cognitives** et un **stock d'air** diminuant rapidement
- Il y a un juste équilibre à trouver entre durée de la plongée et **durée des paliers** ainsi qu'une maîtrise des paramètres prévus et une **adaptation** constante aux conditions

L'objectif est d'éviter tout risque d'erreur et de plonger dans des conditions sécurisées

- Vous devrez donc être capables d'effectuer ces plongées en **sécurité**
 - ➔ *Connaissance des outils et procédures de décompression*
 - ➔ **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
- Méthode de calcul rapide

Que faire 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)

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

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 ?

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

P_{abs} à 60 m ?

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

P_{abs} à 5 m ?

$$P_{\text{abs}} = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ bar}$$



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 (voir plus loin)*

- 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 propre
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



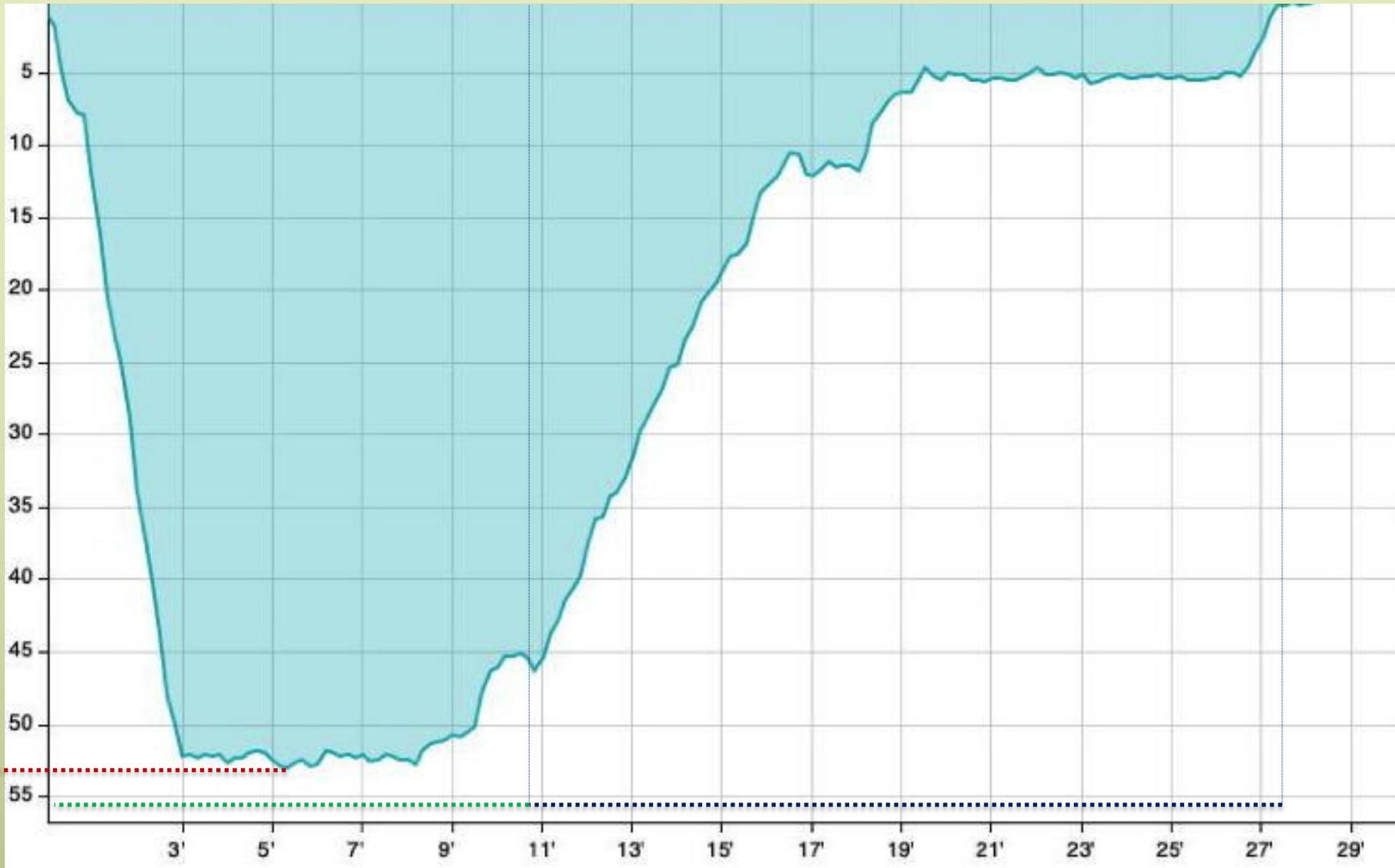
Facteurs influant sur la consommation

- **Physiologie** du plongeur : constante personnelle
- **Condition physique** : hygiène de vie, entraînement, fatigue
- **Équipement** : lestage \pm adapté, combi \pm ajustée, vêtement étanche
- **Comportement** : maîtrise du palmage, de la stabilisation et du gilet, gestes parasites
- **Stress** : envie de plonger, matériel non connu ou maîtrisé, conditions
- **Conditions** de plongée : profondeur, froid, courant, visibilité

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 ?

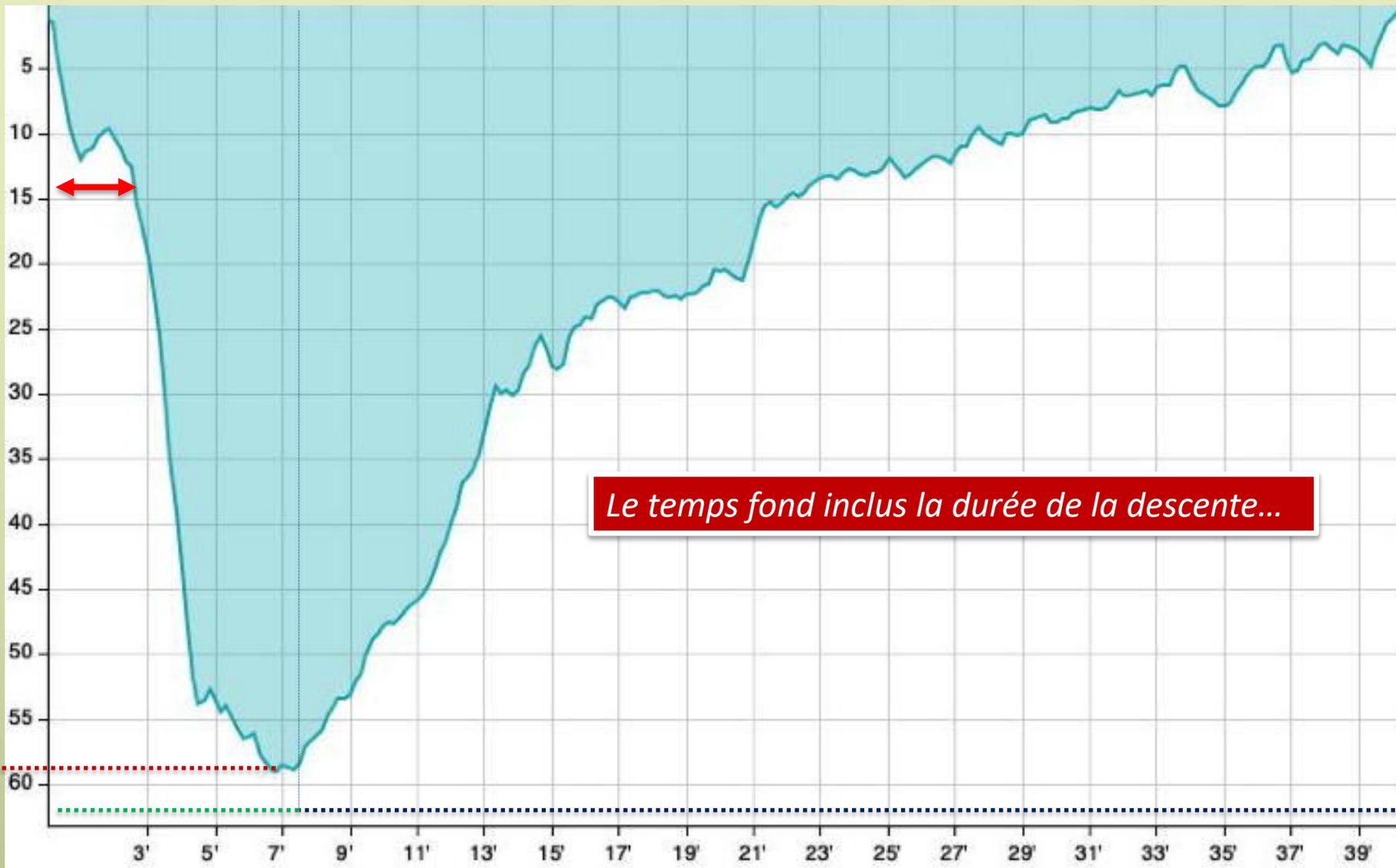


Profondeur max

Temps fond

DTR

Plongée carrée sur une épave



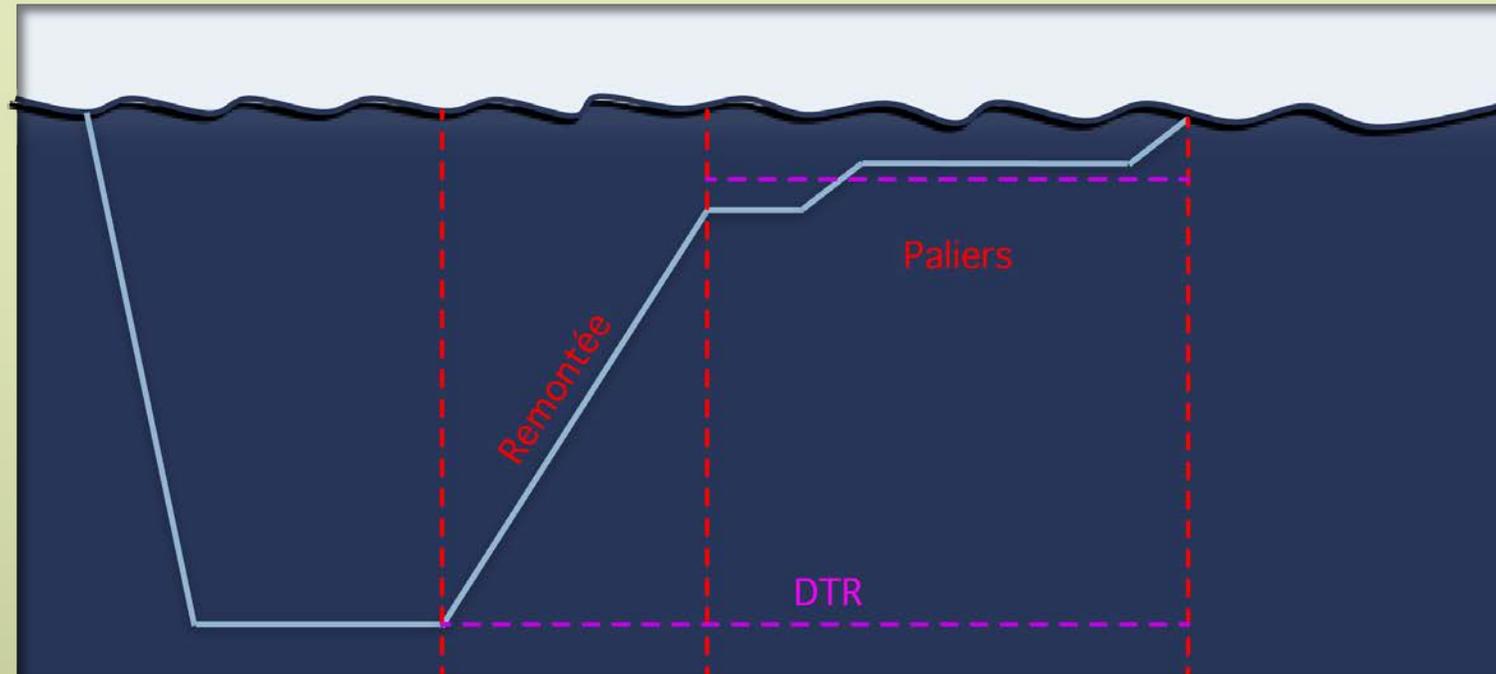
Profondeur max

Tours fond

DTR

Plongée le long d'un tombant

La planification



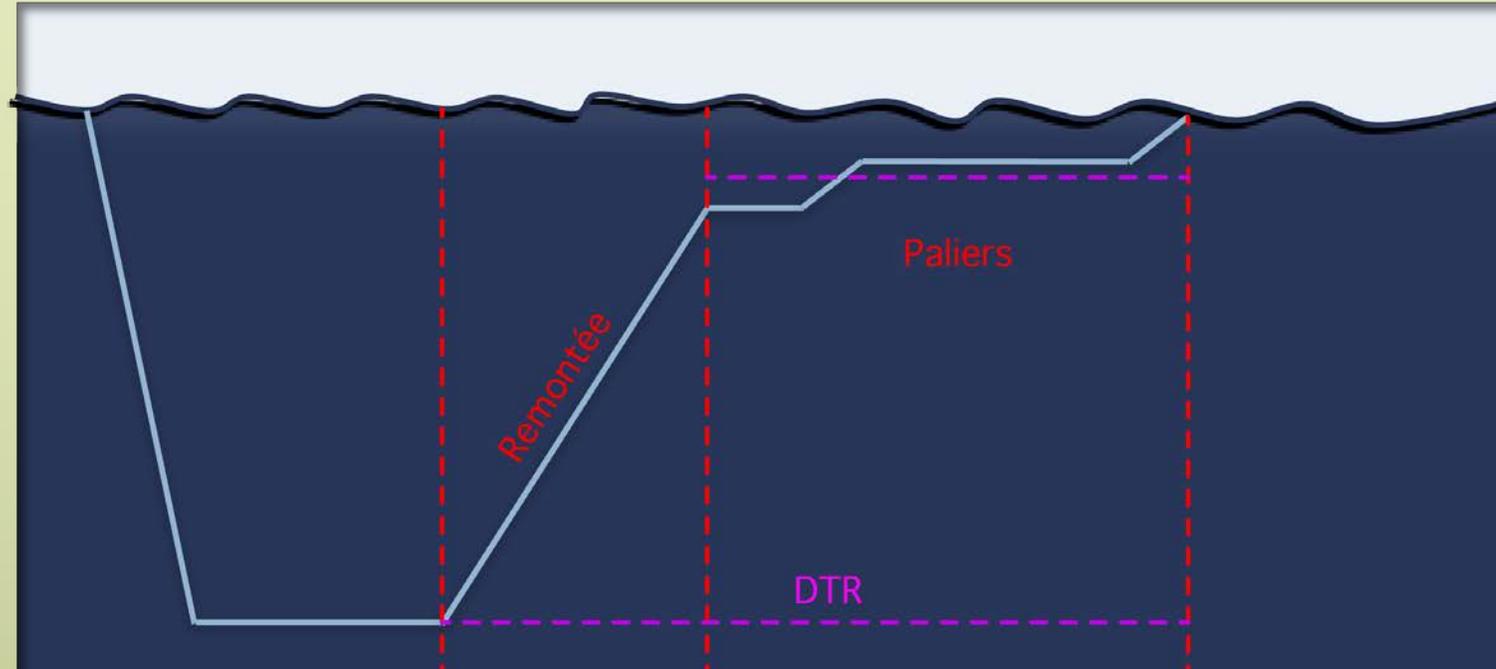
*Chacune de ces étapes doit être **anticipée***

*Le **contrôle** doit être permanent*

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

Voir les cours pratiques

Ce qu'il faut prévoir = planification



Avant la plongée : préparation

- *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

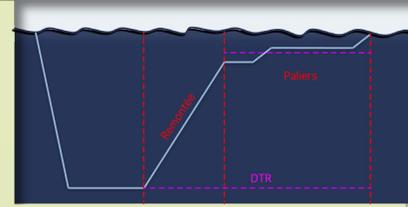
Pendant la plongée : contrôle

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

Après la plongée : débriefing

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

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 et les besoins en **air** importants

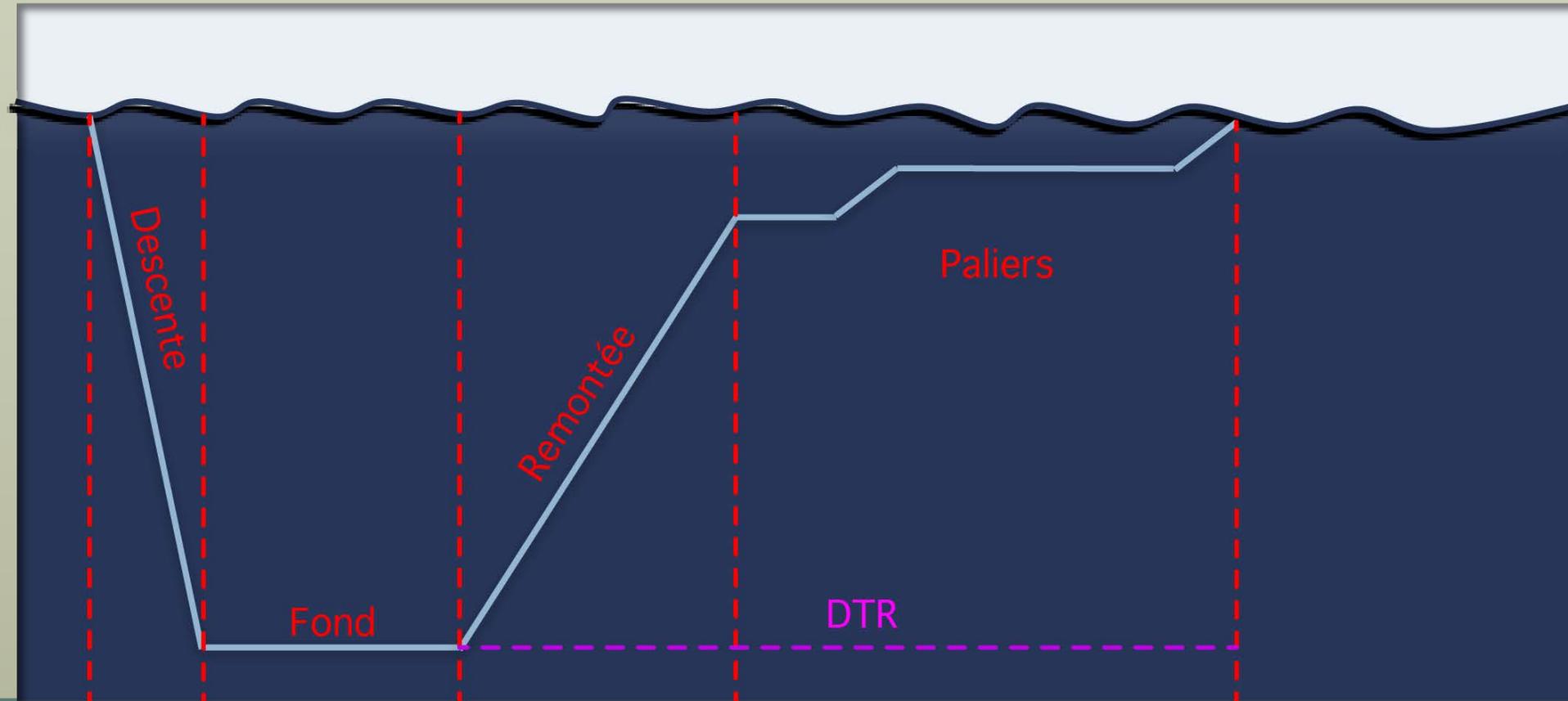
*La principale contrainte sera donc la gestion du **stock d'air** nécessaire à la réalisation de la **remontée** et des **paliers**, avec une marge de **sécurité** acceptable*



Gestion d'air : principes de calculs

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

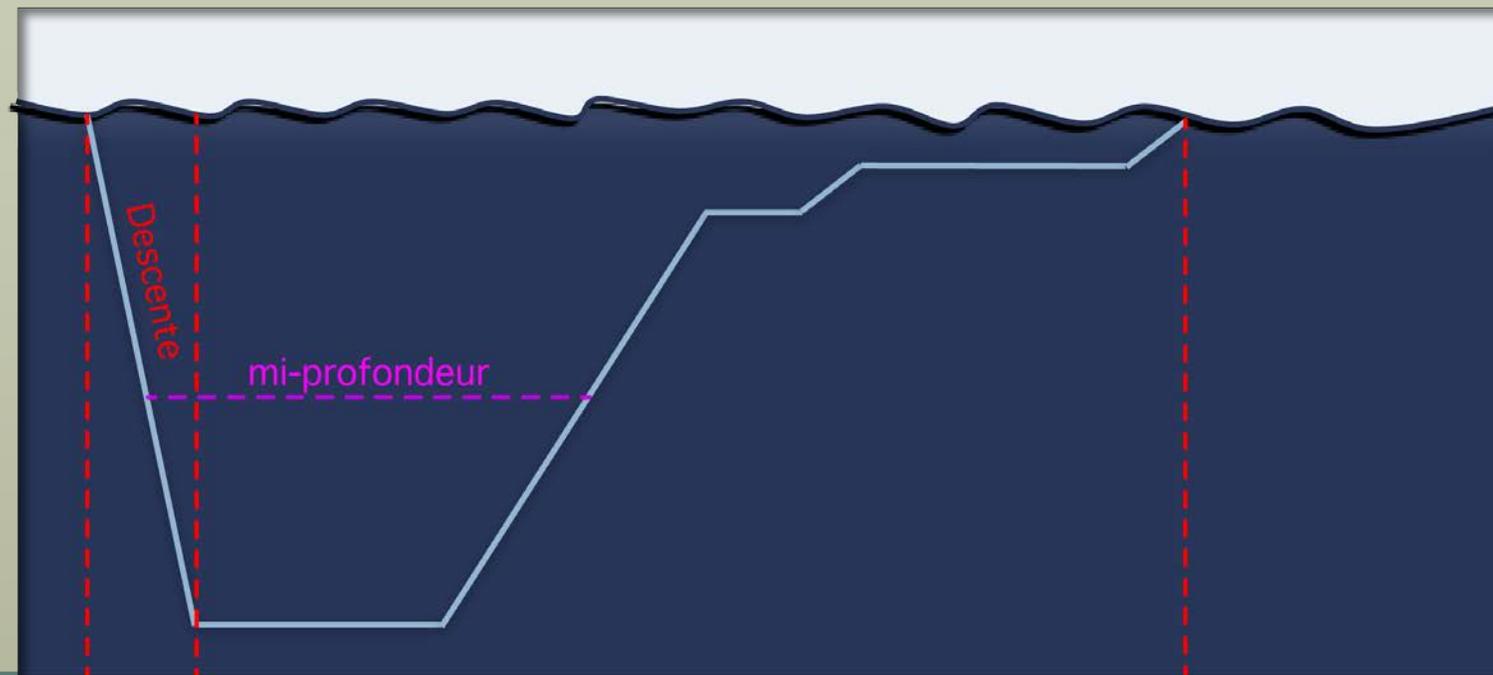
Les phases de la plongée





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)

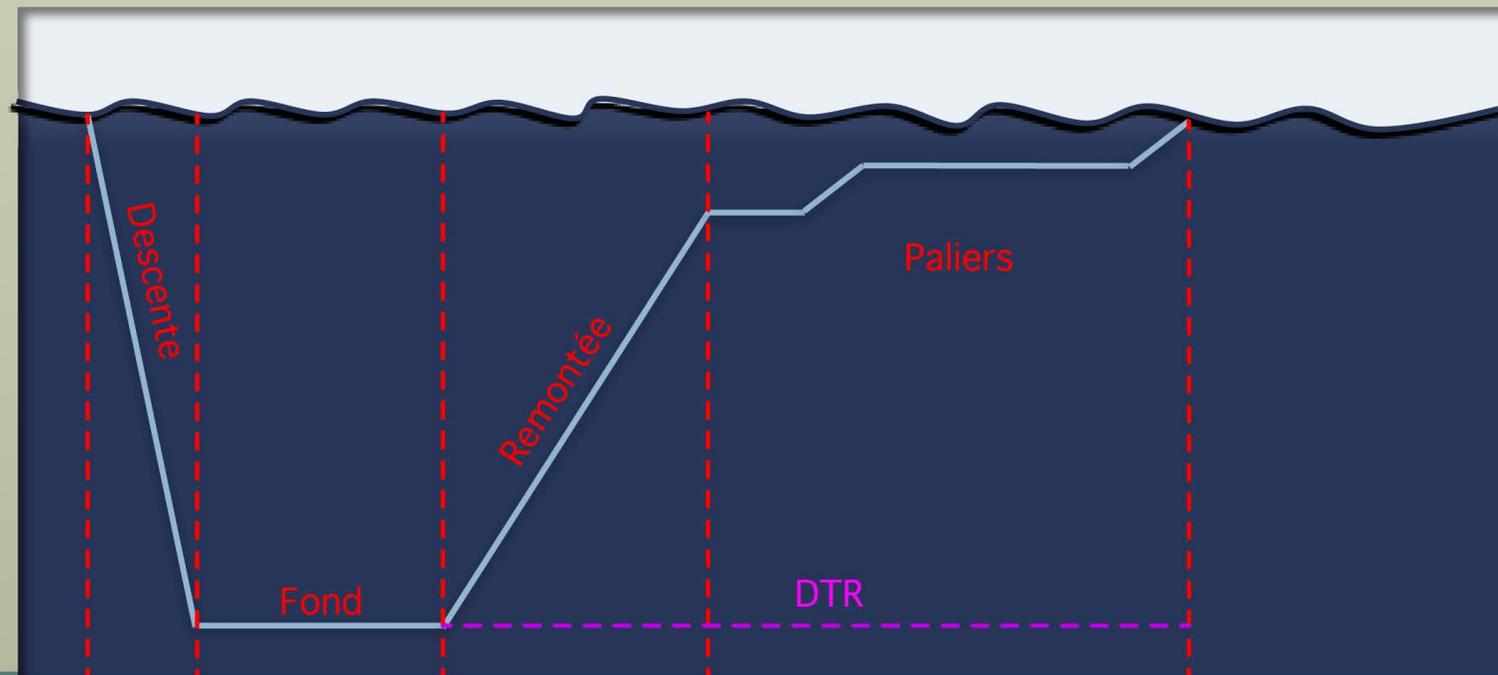




Consommation au fond

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

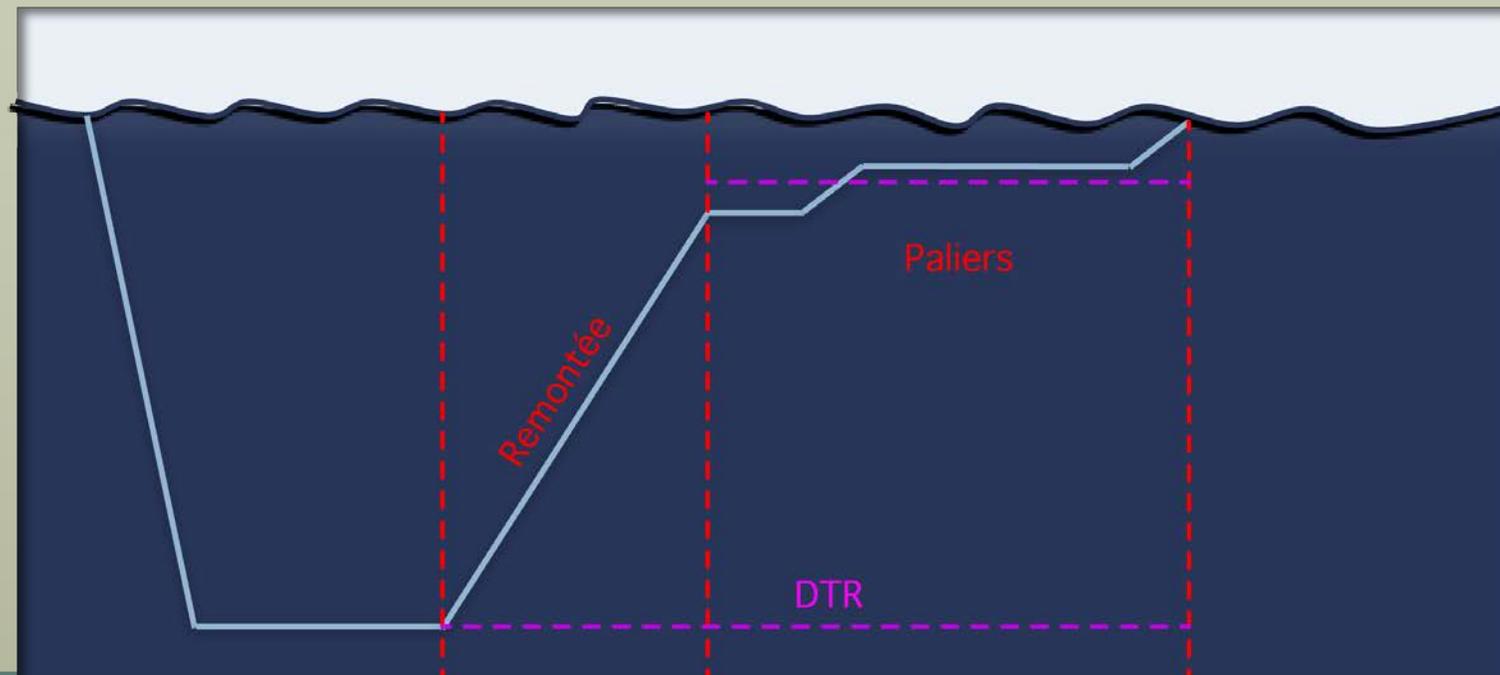
*ex. : à 50 m la conso est de $20 \times 6 = 120$ l d'air par minute de plongée
soit 8 bar/min sur un 15 l ou 10 bar/min sur un 12 l*





Consommation à la remontée

- La vitesse de remontée de la plupart des moyens de déco est de **10 m/min**. Comme on ralentit dans les derniers mètres, la durée de remontée est d'environ $(Prof/10)+1$, 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	197
Fond	20	39	3	2340	20	2
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 n'est pas un paramètre suffisant pour effectuer une plongée en sécurité
- Il faut évaluer la quantité d'air nécessaire pour **remonter et réaliser les paliers**
- On y inclut une **réserve** de sécurité permettant de s'adapter aux aléas

La **planification** consiste à déterminer les **paramètres** qui vont contrôler le déroulement de la plongée :

- la **profondeur** max
 - le **temps fond**
 - la **DTR** *Permet de calculer la quantité d'air nécessaire pour remonter en incluant une réserve*
 - la **pression de décollage** du fond
- Permettent de calculer les paliers et la DTR*



Planification des plongées profondes

- S'il y a un **DP** (plongées au-delà de 40 m), il peut imposer un ou plusieurs de ces paramètres : profondeur, temps fond, DTR, durée de la plongée
- La palanquée ne devra pas les dépasser, mais peut choisir de les restreindre
- Avant l'immersion, la palanquée doit donc s'entendre sur la **profondeur max** choisie et
 - le **temps fond**
 - la **DTR**
 - la **pression de décollage**

*La palanquée remontera au
premier des paramètres atteint*

*Les membres de la palanquée devront aussi s'entendre sur **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 11 min de paliers (2 min à 9 m et 9 min à 3 m)

- Pour cette **DTR de 17 min**, il nous faut : 50 bar d'air
 - pour la remontée : $6 \times 20 \times 3,5 = 420$ l (28 bar sur un 15 l)
 - pour les paliers : $11 \times 20 \times 1,5 = 330$ 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**

$$((100 \times 15) / 20) / 6 = 12,5$$



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 lue (bar)
Surface			1		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** →
- **Temps fond** →

Air pour la remontée :

Air pour les paliers :

→ **pression de décollage lue :**

	Profondeur (m)	Durée (min)	Pression (bar)	Conso (l)	Air restant (l)	Pression lue (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**
- **Temps fond** → **10 min**

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

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

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

→ **pression de décollage lue : 110 bar**

	Profondeur (m)	Durée (min)	Pression (bar)	Conso (l)	Air restant (l)	Pression lue (bar)
Surface			1		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

L'objectif est de calculer la **quantité d'air nécessaire pour réaliser la DTR** (donc pour la durée de la remontée + durée des paliers)

- On sait que les paliers les plus longs sont ceux de 3 m
 - Plus la DTR est longue et plus ces paliers à 3 m durent longtemps
- 10'@50 m → 4'@3m pour une durée de remontée de 6' et une DTR de 10'
- 15'@50 m → 2'@6 m ; 9'@3m pour une durée de remontée de 6' et une DTR de 17'
- 20'@50 m → 4'@6 m ; 22'@3m pour une durée de remontée de 6' et une DTR de 32'
- 10'@60 m → 2'@6 m ; 6'@3m pour une durée de remontée de 7' et une DTR de 15'
- 15'@60 m → 1'@9 m ; 4'@6 m ; 19'@3 m pour une durée de remontée de 6' et une DTR de 31'
- Plus la plongée est longue, et plus la quantité d'air consommée durant la phase de remontée s'efface devant celle consommée durant les paliers

Planification : méthode de calcul rapide

- Le barycentre pondéré des profondeurs des paliers peut alors être approximé à 5 m
- On considère une consommation d'air de 20 l/min
- Pour la **consommation d'air durant la DTR** (phase de remontée et phase de paliers), on peut considérer 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 15 min à 50 m

Lecture des tables : 2'@6 m et 9'@3m

➤ Temps fond : 15 min

Durée des paliers 11 min

Durée de la remontée 6 min

➤ DTR : 17 min

Conso pour la DTR 50 bar

Réserve de sécurité 50 bar

➤ Pression de décollage : 100 bar

On décollera des 50 m à la première des limites atteinte :

- **temps** de plongée lu 15 min
- **DTR** lue 17 min
- **pression** lue 100 bar

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**

Durée des paliers 8 min

Durée de la remontée 7 min

➤ **DTR : 15 min**

Conso pour la DTR 45 bar

Réserve de sécurité 50 bar

➤ **Pression de décollage : 100 bar**

On décollera des 60 m à la première des limites atteinte :

- **temps** de plongée lu 10 min
- **DTR** lue 15 min
- **pression** lue 100 bar



PLANIFICATION : QUE FAIRE SI...

Planification : que faire si...

- Toute plongée à paliers doit être minutieusement **planifiée**
- En plus du respect de la profondeur d'évolution prévue, les **paramètres** déclenchant la remontée doivent être **mémorisés et respectés**
- On doit être capable de les **adapter** aux conditions réelles de la plongée

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

Planification : que faire si...

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

- **On descend plus profond que prévu**

C'est une violation de la planification, donc bien entendu à proscrire

La saturation sera plus rapide donc la **DTR max** prévue apparaîtra plus tôt

On remontera avant le temps fond max prévu et, si l'on respecte la **pression de décollage**, avec assez d'air pour faire toute la DTR

- **On descend moins profond**

On saturera moins, on aura donc moins de paliers

On pourra rester plus longtemps à cette profondeur pour une même DTR

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

Planification : que faire si...

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

- **On consomme plus que prévu**

La consommation devient limitante et l'on atteindra plus tôt la **pression de décollage**

On aura 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** lus afin de ne pas dépasser le temps de plongée fixé

On sera peut être amené à rester moins longtemps au fond et 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 et dont le pont est à 42 m

- 1. Planifiez votre plongée pour ne pas faire plus de 15 min de palier
Indiquez le temps fond prévu, la DTR, la pression de décollage*
- 2. Combien de temps allez vous effectivement passer au fond ?
Qu'en concluez-vous ?*
- 3. Il y a du courant au fond et votre consommation moyenne est passée à 22 l/min
Quelles conséquences ?*

Exercices



52 m / ?? min → ??

➤ Temps fond prévu : ?? min

Durée des paliers ?? min

Durée de la remontée ?? min

➤ DTR : ?? min

Conso pour la DTR ?? bar

Réserve de sécurité 50 bar

➤ Pression de décollage : ?? bar

Vous allez plonger sur l'épave du Donator qui repose sur un fond de 52 m et dont le pont est à 42 m

- 1. Planifiez votre plongée pour ne pas faire plus de 15 min de palier
Indiquez le temps fond prévu, la DTR, la pression de décollage*
- 2. Combien de temps allez vous effectivement passer au fond ?
Qu'en concluez-vous ?*
- 3. Il y a du courant au fond et votre consommation moyenne est
passée à 22 l/min
Quelles conséquences ?*

Exercices



52 m / 15 min → 3 min à 6 m et 10 min à 3 m

➤ Temps fond prévu : 15 min

Durée des paliers 13 min

Durée de la remontée 6 min

➤ DTR : 19 min

Conso pour la DTR 57 bar

Réserve de sécurité 50 bar

➤ Pression de décollage : 110 bar

- Bloc 15 l à 200 bar

Air disponible pour le temps fond : $200 - 110 = 90$ bar

Temps probable au fond à 52 m : $(90 * 15) / (6,2 * 20) = \sim 11$ min

Exercices



- 52 m / 15 min → 3 min à 6 m et 10 min à 3 m
- Bloc 15 l à 200 bar → 3000 l d'air disponible
- Temps fond → prévu 15 min (estimé par les calculs : 13')
- Pression de décollage → 110 bar
- DTR max → 19 min

	Profondeur (m)	Durée (min)	Pression (bar)	Conso (l)	Air restant (l)	Pression lue (bar)
Surface					3000	200
Descente	26	2,5	3,5	175	2825	188
Fond	52	10,5	6	1260	1565	104
Remontée	26	6	3,5	420	1145	76
Paliers	5	13	1,5	390	755	50

Exercices



Vous allez plonger sur l'épave du Donator qui repose sur un fond de 52 m et dont le pont est à 42 m

1. *Planifiez votre plongée pour ne pas faire plus de 15 min de temps de palier
Indiquez le temps fond prévu, la DTR, la pression de décollage*

52 m max, 15' de temps fond, DTR max 19', pression de décollage 110 bar

2. *Combien de temps allez vous effectivement passer au fond ?*

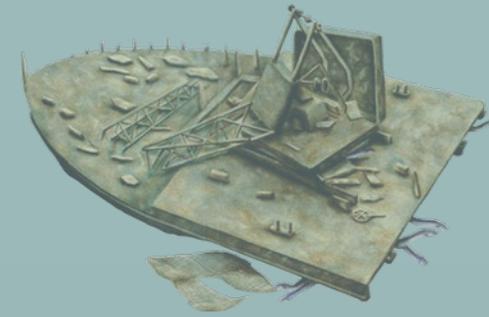
Qu'en concluez-vous ?

Avec la quantité d'air disponible, sans doute pas plus de 11' ; il vaut mieux ne pas rester trop longtemps à 52 m et plutôt profiter du pont

3. *Il y a eu du courant au fond et votre consommation moyenne est passée à 22 l/min
Quelles conséquences ?*

Pression de décollage atteinte plus rapidement donc moins de paliers et DTR plus courte ; il vaut mieux ne pas traîner au fond ; ne pas plonger avec un bloc insuffisamment gonflé

Exercice



Vous allez plonger sur la barge aux congrès qui repose sur un fond de 49 m

- 1. Planifiez votre plongée pour ne pas faire plus de 20 min de DTR
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. Qu'en concluez-vous ?*

A person wearing a dark, pinstriped suit jacket is holding a large, blank white rectangular sign in front of their face. The sign is centered and contains the text "Ben voilà !" in a bold, black, sans-serif font. The person's hands are visible at the edges of the sign, and they are wearing rings on their fingers. The background is a solid, light green color.

Ben voilà !