



## Lois physiques

Boyle et Mariotte  
Dalton

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 1

---

---

---

---

---

---

---

---



## Boyle et Mariotte

- Solides et liquides sont pratiquement incompressibles
- Les gaz sont aisément compressibles
- La loi de Boyle Mariotte décrit les effets de la pression sur les gaz

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 2

---

---

---

---

---

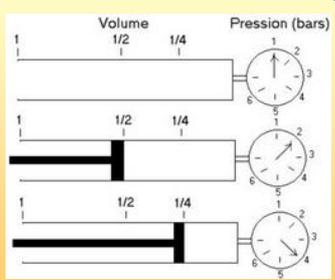
---

---

---



## Boyle et Mariotte



The diagram shows three cylinders of gas. The top cylinder has a volume of 1 and a pressure of 1 bar. The middle cylinder has a volume of 1/2 and a pressure of 2 bars. The bottom cylinder has a volume of 1/4 and a pressure of 4 bars. This illustrates that as volume decreases, pressure increases, and vice versa, for a fixed amount of gas at constant temperature.

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 3

---

---

---

---

---

---

---

---

**Boyle et Mariotte**

0 m	10 litres	X 1 bar	= 10
-10 m	5 litres	X 2 bars	= 10
-20 m	3,3 litres	X 3 bars	= 10
-30 m	2,5 litres	X 4 bars	= 10
-40 m	2 litres	X 5 bars	= 10

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 4

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Boyle et Mariotte**

- A température constante, le volume d'une masse gazeuse est inversement proportionnel à la pression qu'il subit.
- On peut aussi écrire :
  - $P \times V = \text{constante}$
  - $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 = \text{constante}$

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 5

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Boyle et Mariotte**

- Si  $T^\circ \text{ cste} = \text{Boyle et Mariotte}$
- Si  $P \text{ cste} = \text{Gay-Lussac} : V/T = \text{Cste.}$   
A pression constante, le volume occupé par une masse gazeuse est directement proportionnel à sa température exprimée en Kelvin.
- $T (\text{Kelvin}) = t^\circ (\text{Celcius}) + 273$

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 6

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Boyle et Mariotte

- En plongée, c'est plutôt le volume qui est constant
- **Loi de Charles** :  $P/T = Cste.$
- *A volume constant, la pression d'une masse gazeuse est directement proportionnelle à sa température exprimée en Kelvin.*

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 7

---

---

---

---

---

---

---

---



## Boyle et Mariotte

- Les conséquences pour la plongée
  - accidents barotraumatiques
  - effets sur la consommation d'air
  - effets sur l'équipement

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 8

---

---

---

---

---

---

---

---



## Boyle et Mariotte

### Accidents barotraumatiques

- Seulement si les cavités sont fermées
- A la descente ou remontée (variation P)
- Interne (poumon, oreille...) ou externe (masque)

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 9

---

---

---

---

---

---

---

---



## Boyle et Mariotte

### Consommation d'air

- On consomme +/- 20 l/min à 1 bar
- On doit respirer à une pression = à la pression ambiante (capacité effort inspiratoire faible)
- Volume poumons constant et pression augmente en profondeur => consommation augmente proportionnellement

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 10

---

---

---

---

---

---

---

---



## Boyle et Mariotte

### Effets sur l'équipement

- Utilisation du gilet
- Compression de la combinaison => variation du poids apparent
- Gonflage de la bouteille (loi de Charles) => échauffement => baisse de pression quand la bouteille refroidit

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 11

---

---

---

---

---

---

---

---



## Boyle et Mariotte

### Exercice 1 :

- Un plongeur consomme 20 litres d'air par minute en surface, sa bouteille, d'une capacité de 12 litres, est gonflée à 200 bars. Sa réserve est fixée à 40 bars. Combien de temps peut-il passer à 20 mètres ?
- $((200 - 40) \times 12) / (20 * (1 + (20 / 10))) = 32$  minutes.
- et à 50 mètres ?
- $((200 - 40) \times 12) / (20 * (1 + (50 / 10))) = 16$  minutes.

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 12

---

---

---

---

---

---

---

---



## Boyle et Mariotte

**Exercice 2 :**

- Grâce à votre bouteille de 18 litres à 200 bars, vous équilibrez la bouteille de secours de 4 litres qui se trouve à 85 bars. Quelle est la pression finale de chacune des bouteilles ?
- $(P1 \times V1) + (P2 \times V2) = (P_{\text{«équilibre»}} \times (V1 + V2))$
- $((P1 \times V1) + (P2 \times V2)) / (V1 + V2) = P_{\text{«équilibre»}}$
- $((18 \times 200) + (4 \times 85)) / (18 + 4) = 179.09$

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 13

---

---

---

---

---

---

---

---



## Boyle et Mariotte

**Exercice 3 :**

- Vous gonflez votre bloc à la Gombe à 10h, le manomètre affiche 220 bars et la bouteille est chaude (vous estimez 40°C). Vous laissez ensuite votre bouteille sur le sol, il fait 5°C. A 11h30 vous équipez votre bloc, quelle pression indique votre manomètre ?
- $220 \times (5 + 273) / (40 + 273) = 195 \text{ bars}$

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 14

---

---

---

---

---

---

---

---



## Boyle et Mariotte

**Exercice 4 :**

- Une ancre se trouve à 30 mètres de profondeur ; son poids réel est de 150 kilos et son volume de 20 litres. On possède un parachute de relevage (capacité 200 litres), de poids négligeable, qu'on gonfle avec 65 litres à 30 mètres. Quelle est la longueur de corde nécessaire entre le parachute et l'ancre pour remonter cette dernière ?
- Poids apparent :  $150 - 20 = 130$
- $V1 \times P1 = V2 \times P2 \Rightarrow 65 \times (1 + (30/10)) = 130 \times P2$
- $P2 = (65 \times 4) / 130 = 2 \text{ bars}$
- La parachute atteint un volume suffisant à 10m, il faut donc :  $30\text{m} - 10\text{m} = 20\text{m}$  de corde

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 15

---

---

---

---

---

---

---

---

**Dalton**

**Composition de l'air**

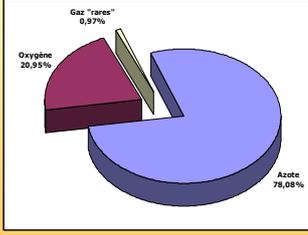
Air = mélange de gaz

- Azote (N<sub>2</sub>) : 78.08 %
- Oxygène (O<sub>2</sub>) : 20.95 %
- CO<sub>2</sub> : 0.038 %
- Autres : 0.93 %

Pour simplifier :

- Azote : 80 %
- Oxygène : 20 %

Masse volumique de l'air : 1,293 g/dm<sup>3</sup>.



M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 16

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Dalton**

**Expérience de Bertholin**

En T1 : 1 litre de chacun des 2 gaz dans chacun des balons

On ouvre le robinet : la pression reste à 1 bar

En T2 : on ferme le robinet :

- La pression est à 1 bar
- Le mélange est uniforme
- Chaque gaz occupe la moitié du volume et est responsable de la moitié de la pression



M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 17

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Dalton**

En conséquence, la loi de Dalton s'énonce :

*A température donnée, la pression d'un mélange gazeux est égale à la somme des pressions qu'aurait chacun des gaz s'il occupait seul le volume total*

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 18

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Dalton

**Notion de pression partielle :**  
 La pression partielle d'un gaz dans un mélange gazeux est la pression qu'aurait ce gaz s'il occupait seul le volume total occupé par ce mélange.

**Loi de Dalton (formulation 2) :**  
*A température donnée, la pression d'un mélange gazeux (pression absolue) est égale à la somme des pressions partielles des gaz qui le composent*

M. Dorys - MF1046      Boyle et Mariotte - Dalton      19

---

---

---

---

---

---

---

---



## Dalton

**Calcul de pression partielle :**  
 Puisque :  
*Pression absolue =  $\Sigma$  des pressions partielles*

Alors :  
*Pression partielle d'un composant =  
 pression absolue X pourcentage du  
 composant dans le  
 mélange*

M. Dorys - MF1046      Boyle et Mariotte - Dalton      20

---

---

---

---

---

---

---

---



## Dalton

- Les conséquences pour la plongée
  - Calcul de l'effet de chaque gaz indépendamment et toxicité des gaz
  - Calcul des profondeurs limite lors des plongées « mélanges » (nitrox, trimix...)

M. Dorys - MF1046      Boyle et Mariotte - Dalton      21

---

---

---

---

---

---

---

---

**Dalton**

- Toxicité des gaz (accident biochimiques)  
(calculé pour l'air)

Gaz impliqué	Nom	P partielle seuil	Prof. seuil
Oxygène	Hyperoxie	PP > 1.6 bars	70 mètres
Azote	Narcose	De PP > 3.2 bars à PP > 6.4 bars	De 30 mètres à 60 mètres
CO2	Essoufflement	PP > 0.02 bar	Production endogène => suivant effort

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 22

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Dalton**

**Exercice 1 :**

- L'air étant composé de 80 % d'azote et de 20 % d'oxygène, quelle sera la pression absolue et les pressions partielles de chacun de ses composants à 40m de profondeur ?
- Absolue :  $1 + (40 / 10) = 5$  bars
- O2 :  $5 \text{ bars} \times 20\% = 1$  bar
- N2 :  $5 \text{ bars} \times 80\% = 4$  bars

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 23

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Dalton**

**Exercice 2 :**

- A quelle profondeur atteint-on le seuil de 1,6 de PpO2 en plongée à l'air ? (Air = 20% O<sub>2</sub> et 80% N<sub>2</sub>)
- $1,6 / (20 / 100) = 8$  bars donc 70 mètres

M. Dorys - MF1046 Boyle et Mariotte - Dalton 24

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Dalton

**Exercice 3 :**

- Pour quel mélange  $O_2 / N_2$  a-t-on  $PPO_2 = 1,6$  bars à 40 m de fond?
- $1,6 / (1 + (40/10)) = 0,32$   
càd un mélange à 32% d' $O_2$  et 68% d' $N_2$   
on appelle cela un Nitrox 32

M. Dorys - MF1046      Boyle et Mariotte - Dalton      25

---

---

---

---

---

---

---

---



## Dalton

**Exercice 4 :**

- Un plongeur PADI vous rejoint pour une plongée à 40m et vous annonce qu'il souhaite plonger au Nitrox 32 (32% d' $O_2$ ). Sachant que le PADI a fixé la  $PpO_2$  à 1,4 bars, qu'en tirez-vous comme conclusion ?
- $1,4 / 0,32 = 4,38$  bars de Pabs soit 34m maximum
- Avec quel mélange doit-il plonger s'il veut atteindre les 40 mètres ?
- $1,4 / (1 + (40/10)) = 0,28$  càd un Nitrox à 28% d' $O_2$

M. Dorys - MF1046      Boyle et Mariotte - Dalton      26

---

---

---

---

---

---

---

---



Merci pour votre attention

Je reste à votre disposition :

marc@dorys.be

M. Dorys - MF1046      Boyle et Mariotte - Dalton      27

---

---

---

---

---

---

---

---