

Compressibilité des gaz

Formation N4 2010

Codep 50

Objectif

- Résolution des problèmes types N4
 - Gonflages à l'aide de tampons
 - Introduction de la température
- Et en tant que guide palanquée ?

Sommaire

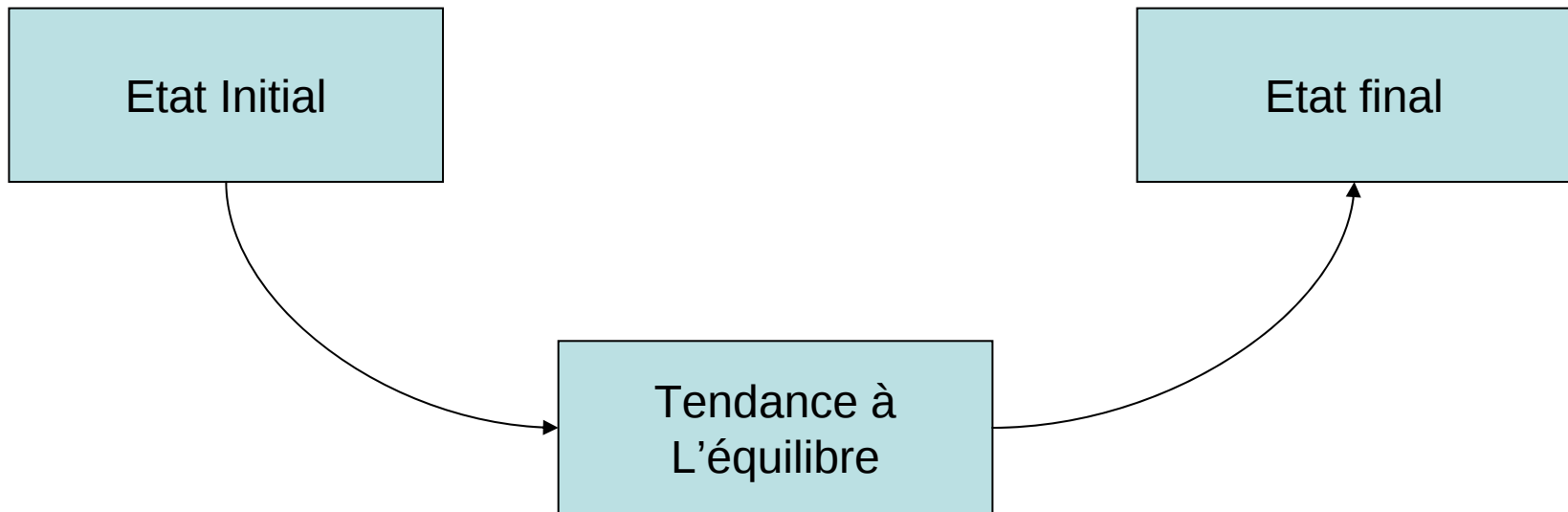
- Qu'est ce qu'un gaz ?
- L'équation de base
- Quelle autonomie ?
- Comment utiliser des tampons ?
- Et quand il refroidit ?

Qu'est ce qu'un gaz ?

- Un état de la matière
- Des propriétés étonnantes
 - Pas de forme propre
 - Occupe tout l'espace disponible
 - Est compressible
- Sa structure
 - Des molécules
 - libres
 - très éloignées
 - Se déplaçant très rapidement

L'équation de base ?

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$



A vous !

- Quel sera le volume d'un ballon d'un volume de 10 l à 30 m quand il atteindra la profondeur de 10 m ?

Le ballon !

10 m

? l

10 l

30 m

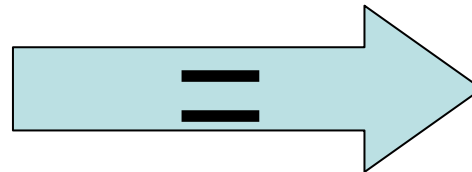
Patrice Patron 2009

Le ballon !

10 m

? l

$P_1 \times V_1$

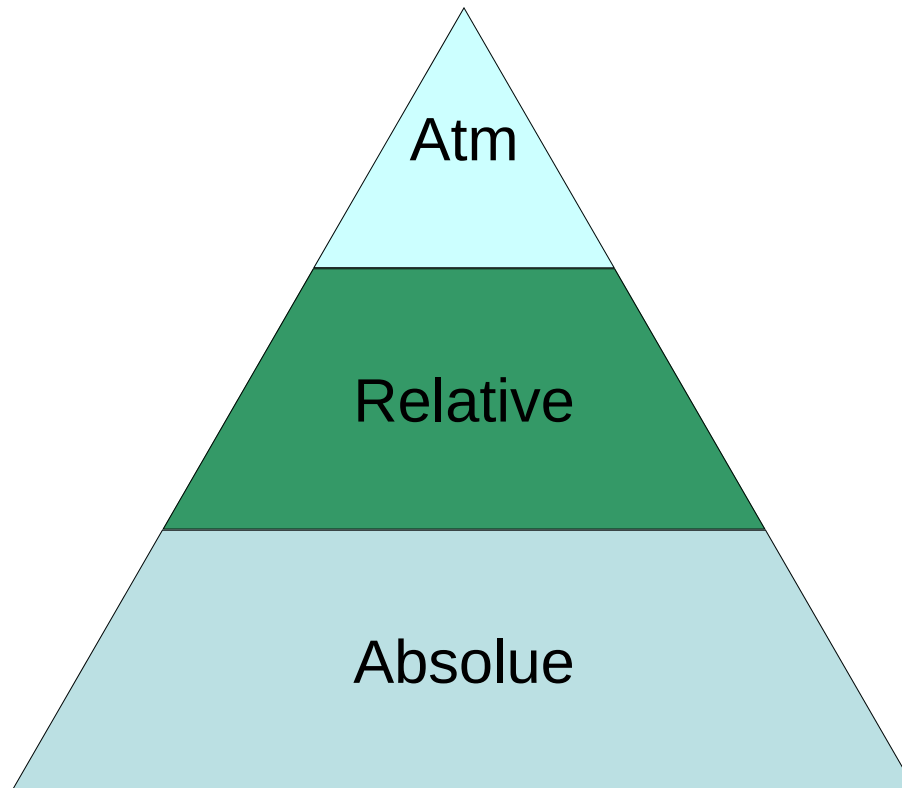


$P_2 \times V_2$

10 l

30 m

Quelles pressions ?

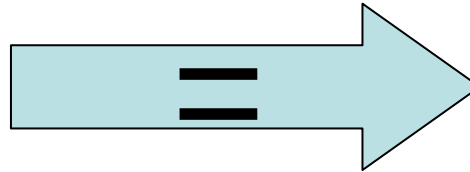


Le ballon !

10 m

? l

$$P_{1(b)} \times V_{1(l)}$$



$$P_{2(b)} \times V_{2(l)}$$

10 l

30 m

Le ballon suite et fin (1/2) !

$$P_{1(b)} \times V_{1(l)} = P_{2(b)} \times V_{2(l)}$$

$$P_{abs30m(b)} \times V_{ballon30m(l)} = P_{abs10m(b)} \times V_{ballon10m(l)}$$

$$\frac{P_{abs30m(b)} \times V_{ballon30m(l)}}{P_{abs10m(b)}} = \frac{\cancel{P_{abs10m(b)}} \times V_{ballon10m(l)}}{\cancel{P_{abs10m(b)}}}$$

$$\frac{P_{abs30m(b)} \times V_{ballon30m(l)}}{P_{abs10m(b)}} = V_{ballon10m(l)}$$

Le ballon suite et fin (2/2) !

$$V_{ballon10m(l)} = \frac{P_{abs30m(b)} \times V_{ballon30m(l)}}{P_{abs10m(b)}}$$

$$V_{ballon10m(l)} = \frac{4b \times 10l}{2b}$$

$$V_{ballon10m(l)} = \frac{4b \times 10l}{2b} = 20l$$

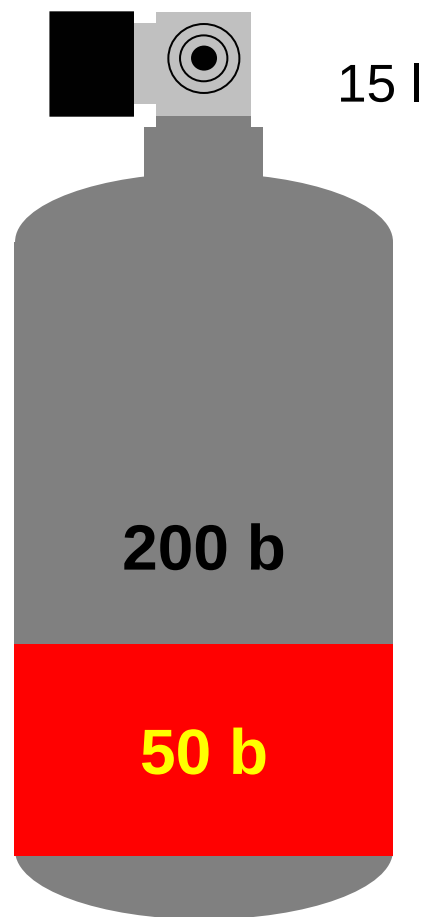
Quelle autonomie ?

- Vous ventilez 20 l / min vous disposez d'un bloc de 12 l gonflé à 200 b, quelle sera votre autonomie à 40 m en conservant une réserve de 50 b pour vos paliers ?

Quelle autonomie ?

- Quel est mon stock de gaz ?
- Quelle est ma consommation à la profondeur maximale ?
- Combien de temps je peux tenir 😊

Le stock de gaz ?



Le stock de gaz

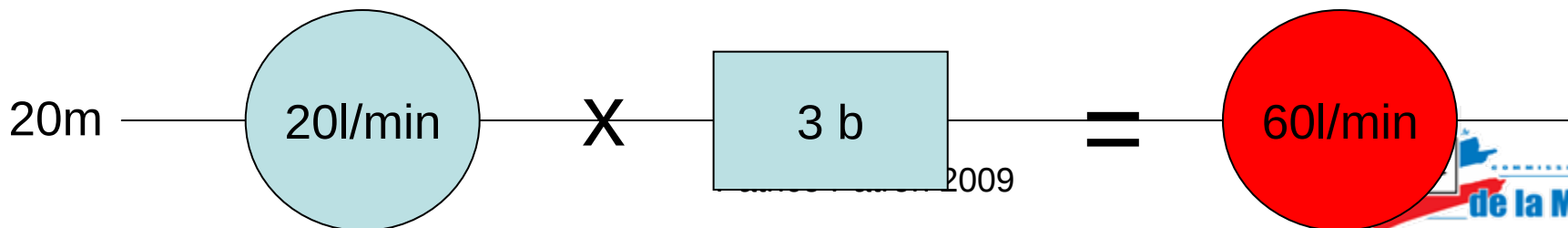
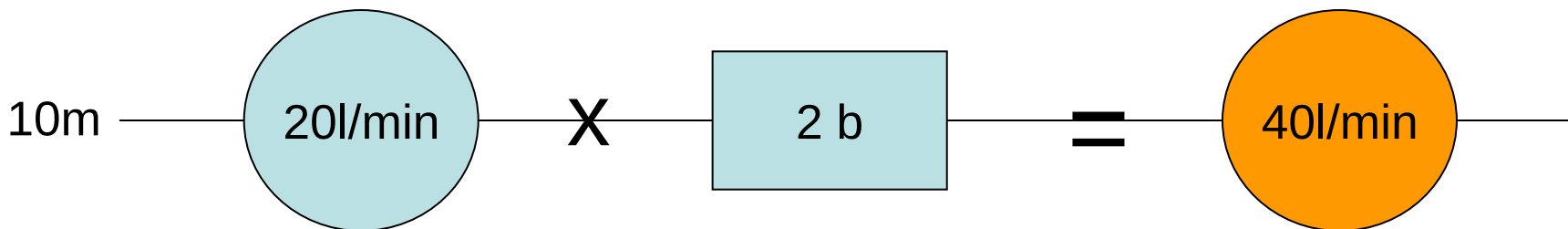
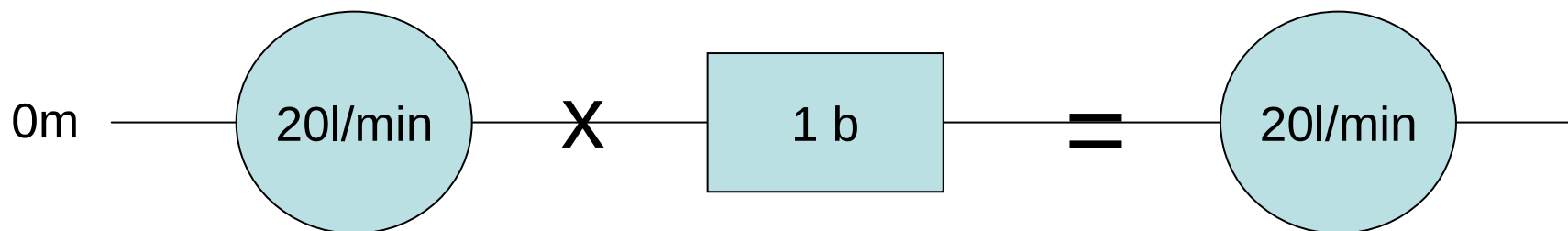
$$Q_{gaz(l)} = P_{utile(b)} \times V_{bloc(l)}$$

$$P_{utile(b)} = P_{bloc(b)} - P_{réserve(b)}$$

$$Q_{gaz(l)} = (P_{bloc(b)} - P_{réserve(b)}) \times V_{bloc(l)}$$

$$Q_{gaz} = (200b - 50b) \times 12l = 1800l$$

Quelle est ma consommation ?

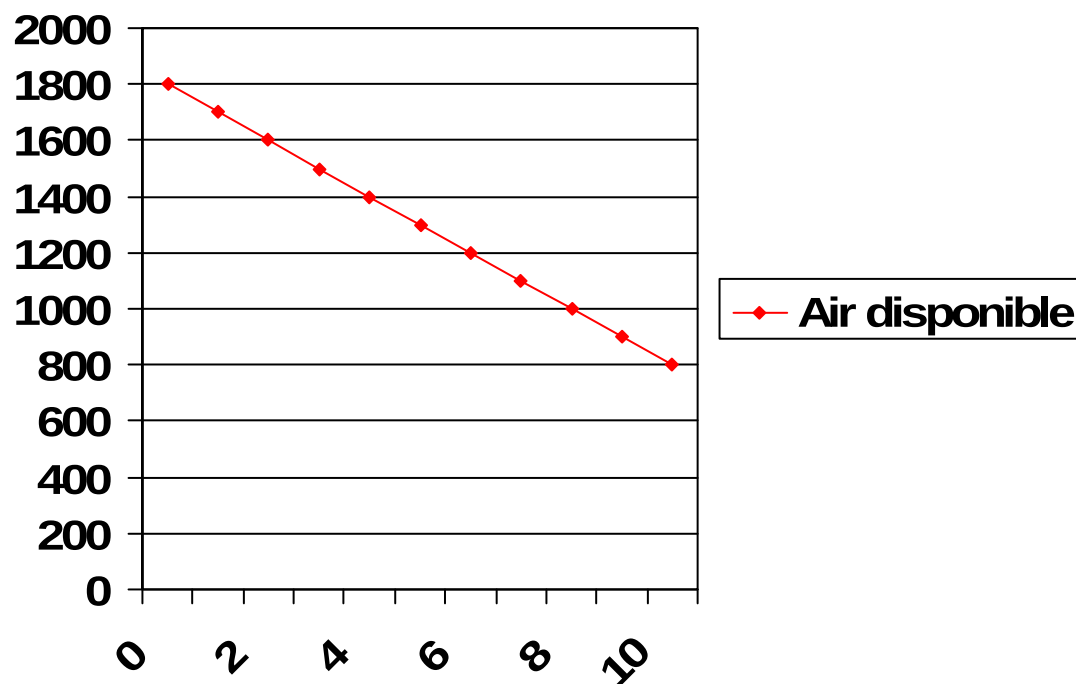
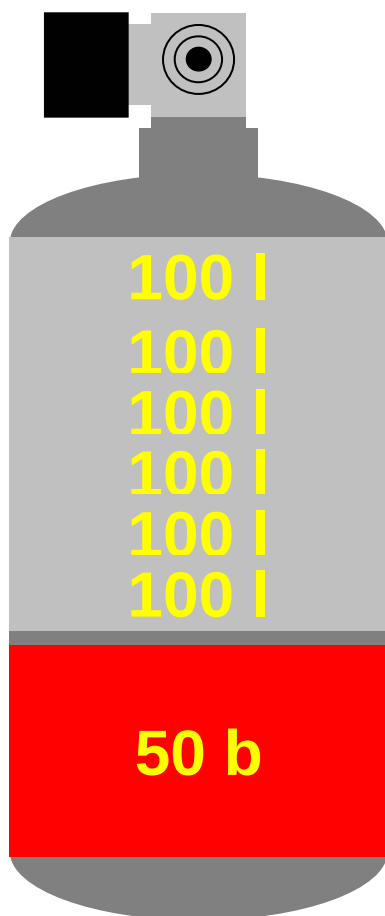


Ma consommation à 40 m ?

$$C_{fond}(l/\text{min}) = C_{surface}(l/\text{min}) \times P_{abs}(b)$$

$$C_{fond}(l/\text{min}) = 20 \text{ } l/\text{min} \times 5b = 100 \text{ } l/\text{min}$$

Et mon autonomie ?

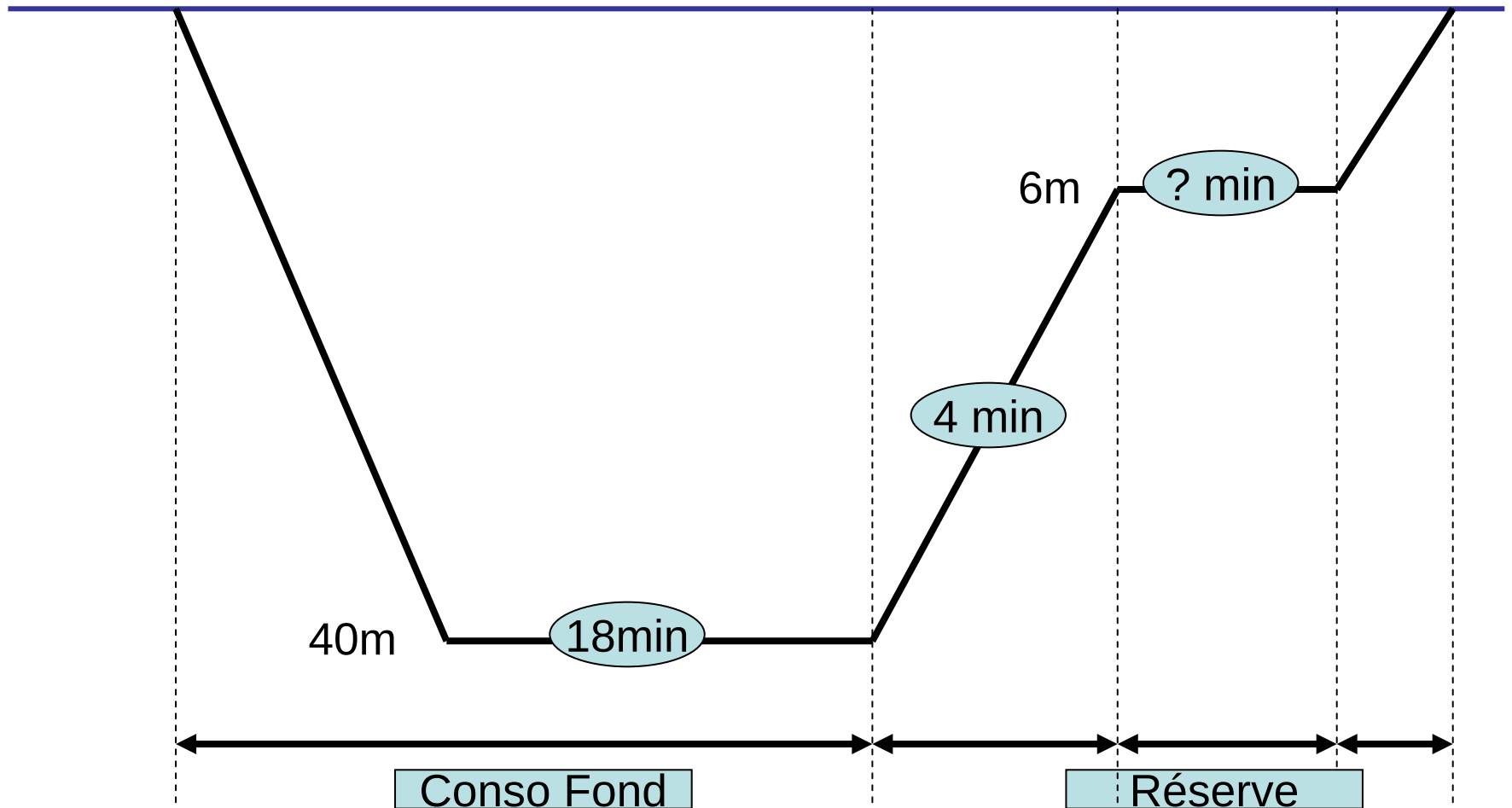


Mon autonomie

$$T_{fond}(\text{min}) = Q_{dispo}(l) / C_{fond}(l / \text{min})$$

$$T_{fond}(\text{min}) = 1800_l / 100(l / \text{min}) = 18 \text{ min}$$

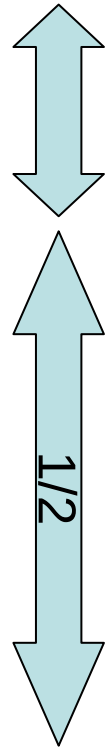
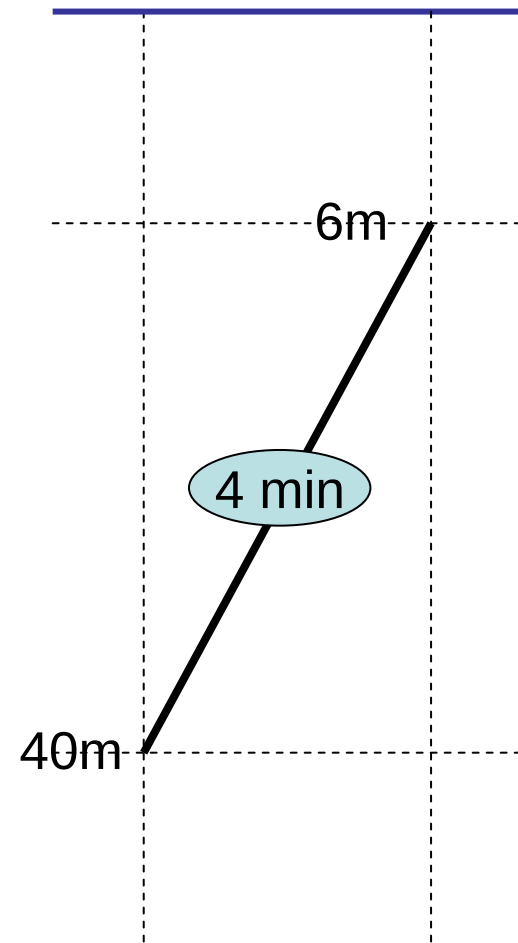
Et ma déco ?



Pour la remontée ?

- En supposant que je mette 4 minutes pour remonter à 6 m, quelle sera la quantité d'air consommée pour cette remontée ?
 - (on prend la moyenne de la profondeur entre 40 m et 6 m)

Profondeur moyenne de la remontée ?



$$P_{moyenne(m)} = P_{palier(m)} + \frac{(P_{fond(m)} + P_{palier(m)})}{2}$$

$$P_{moyenne(m)} = 6_m + \frac{(40_m + 6_m)}{2} = 23_m$$

Air consommé lors de la remontée

- Consommation à la profondeur moyenne ?
 - A 23 m, $P_{abs} = 3,3 \text{ b}$,
 - $\text{Conso} = 3,3 \text{ b} \times 20 \text{ l/min} = 66 \text{ l/min}$
- Quantité consommée ?
 - $Q_{air} = \text{Conso} \times \text{Temps}$
 - $Q_{air} = 66 \text{ l/min} \times 4 = 264 \text{ l}$

Et mes paliers ?

- Quelle est mon autonomie pour réaliser des paliers à 6 m ?

Et mes paliers

- Quantité disponible sur la réserve ?
 - $Q_{\text{dispo}}(l) = Q_{\text{réserve}}(l) - Q_{\text{remontée}}(l)$
 - $Q_{\text{dispo}}(l) = (50 \text{ b} \times 12 \text{ l}) - 264 \text{ l} = 336 \text{ l}$
- Consommation à 6 m
 - A 6m, $P_{\text{abs}} = 1,6 \text{ b}$
 - $\text{Conso (l/min)} = 20 \text{ l/min} \times 1,6 \text{ b} = 32 \text{ l/min}$
- Autonomie en paliers
 - $\text{Temps(min)} = Q_{\text{dispo}} / \text{Conso}$
 - $\text{Temps(min)} = 336 \text{ l} / 32 \text{ l/min} = 10,5 \text{ min}$

Que disent les tables MN90 ?

Prof.	Tps.	Paliers			DR	GPS
		9 m	6 m	3 m		
40	20		1	9	14	H
	25		2	19	25	J
	30		4	28	36	K
	35		8	35	47	L
	40		13	40	57	M
	45	1	18	45	68	N
	50	2	23	48	77	O
	55	5	26	52	87	O
	60	8	29	57	98	P

On fait le point ?

- La réserve c'est ce qu'on doit avoir en remontant sur le bateau !
- Est-ce raisonnable d'utiliser un 12 l à 40 m ?
- Est-ce que la réserve c'est toujours 50 b ?
- Évaluez votre consommation ! Ne la sous-estimez pas !
- Encadrement sur les plongées « profondes » ...

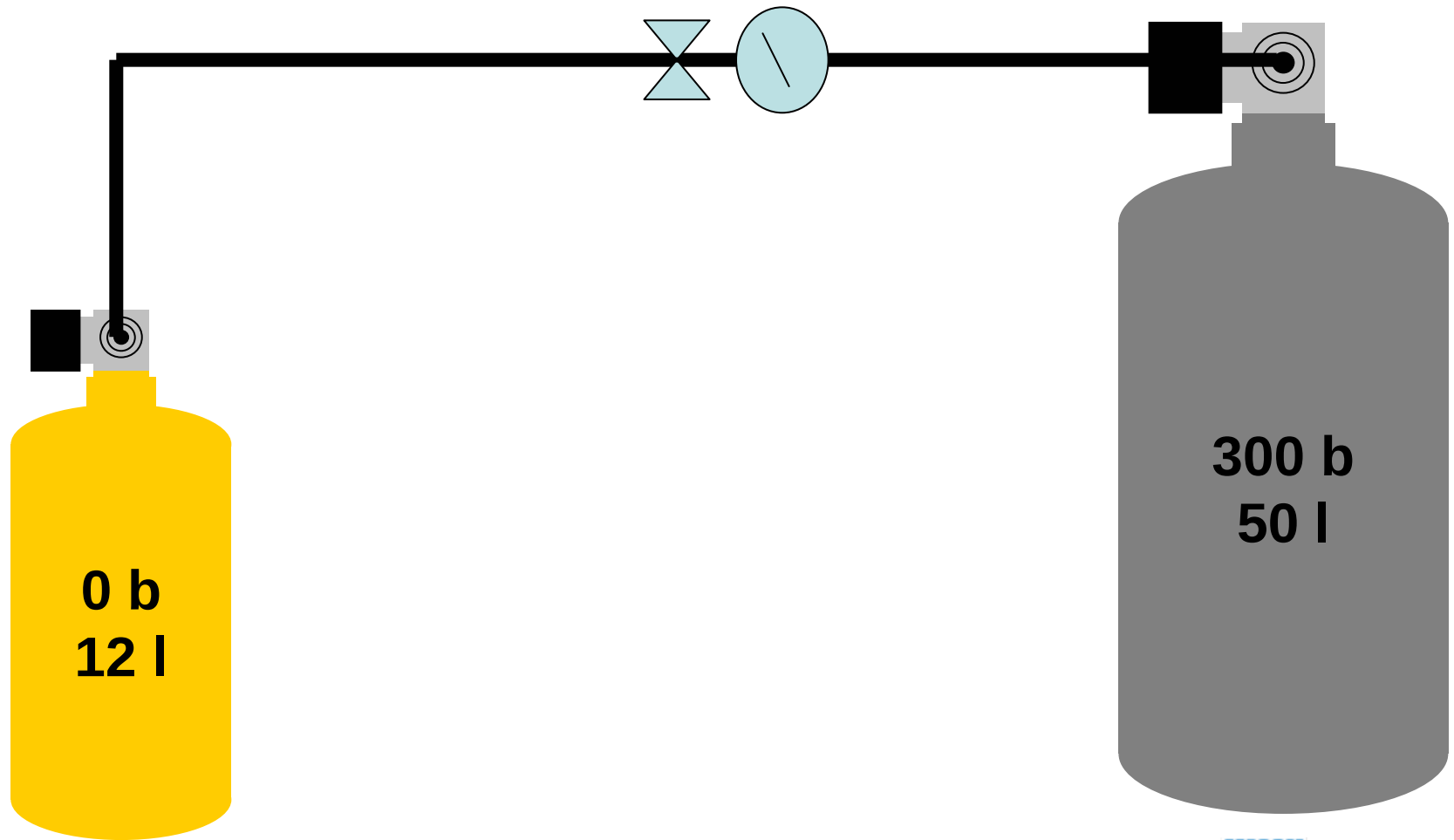
A faire chez vous ☺

- Pour une plongée identique mais réalisée avec un 15l (Profondeur 40m, Conso 20 l/min)
 - Calculez votre autonomie fond avec une réserve à 50 b
 - Calculez votre autonomie en paliers à 6 m
 - Regardez ce qu'indique les tables MN90

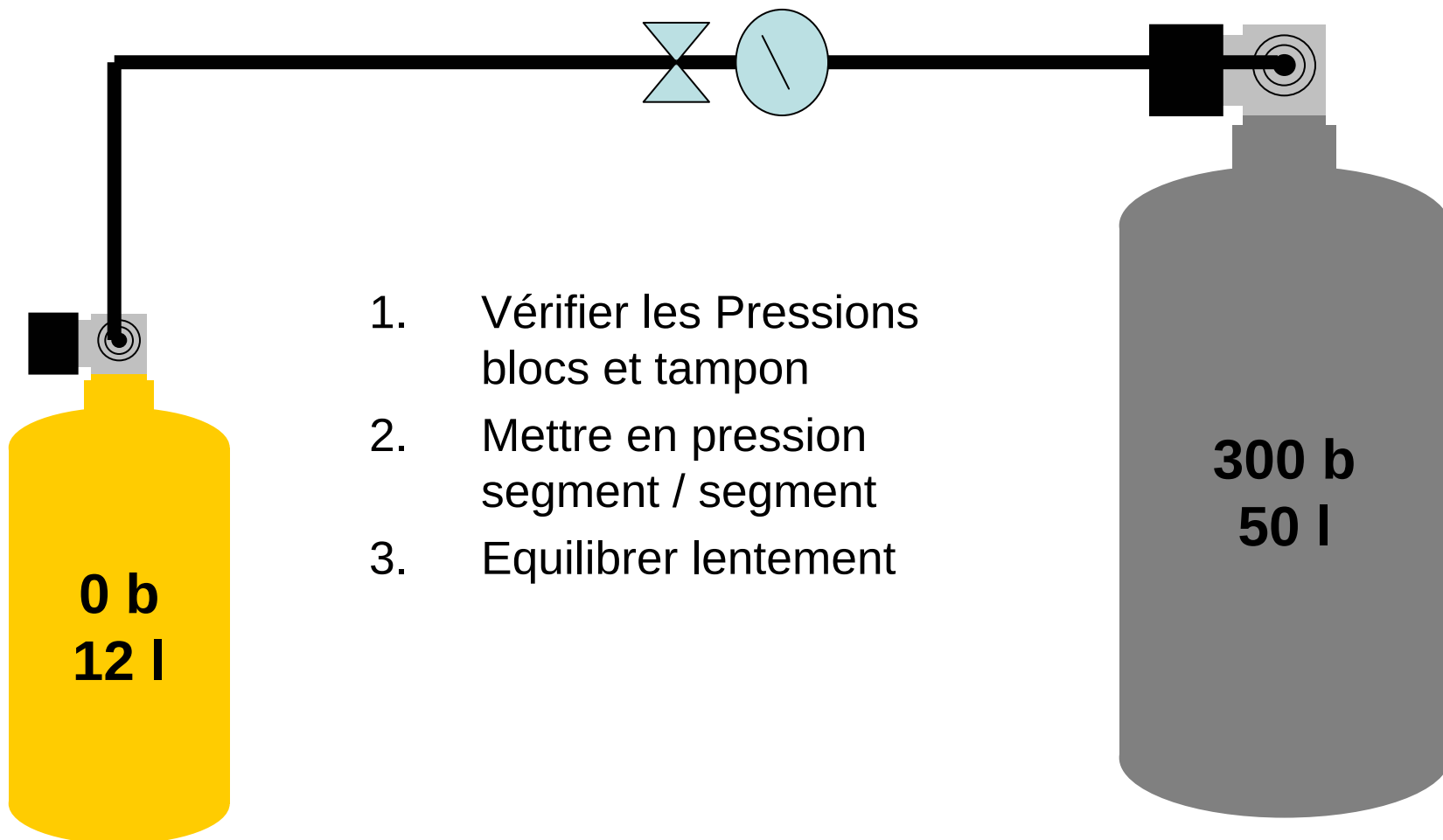
Comment utiliser des tampons ?

- Qu'est ce qu'un tampon ?
- Comment on les utilise ?
- Notion de quantité de gaz disponible

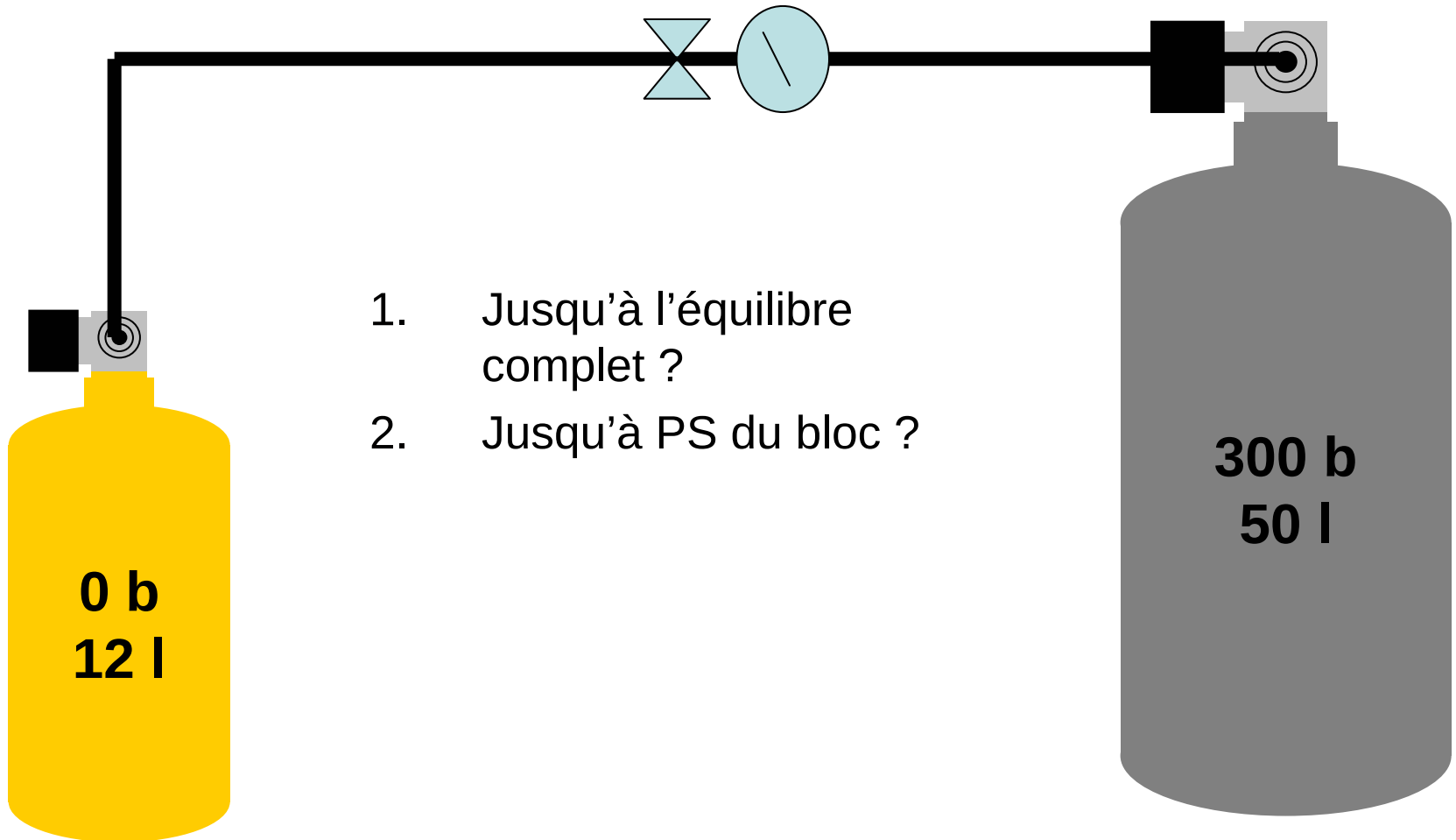
Qu'est ce qu'un tampon ?



Comment l'utiliser ?

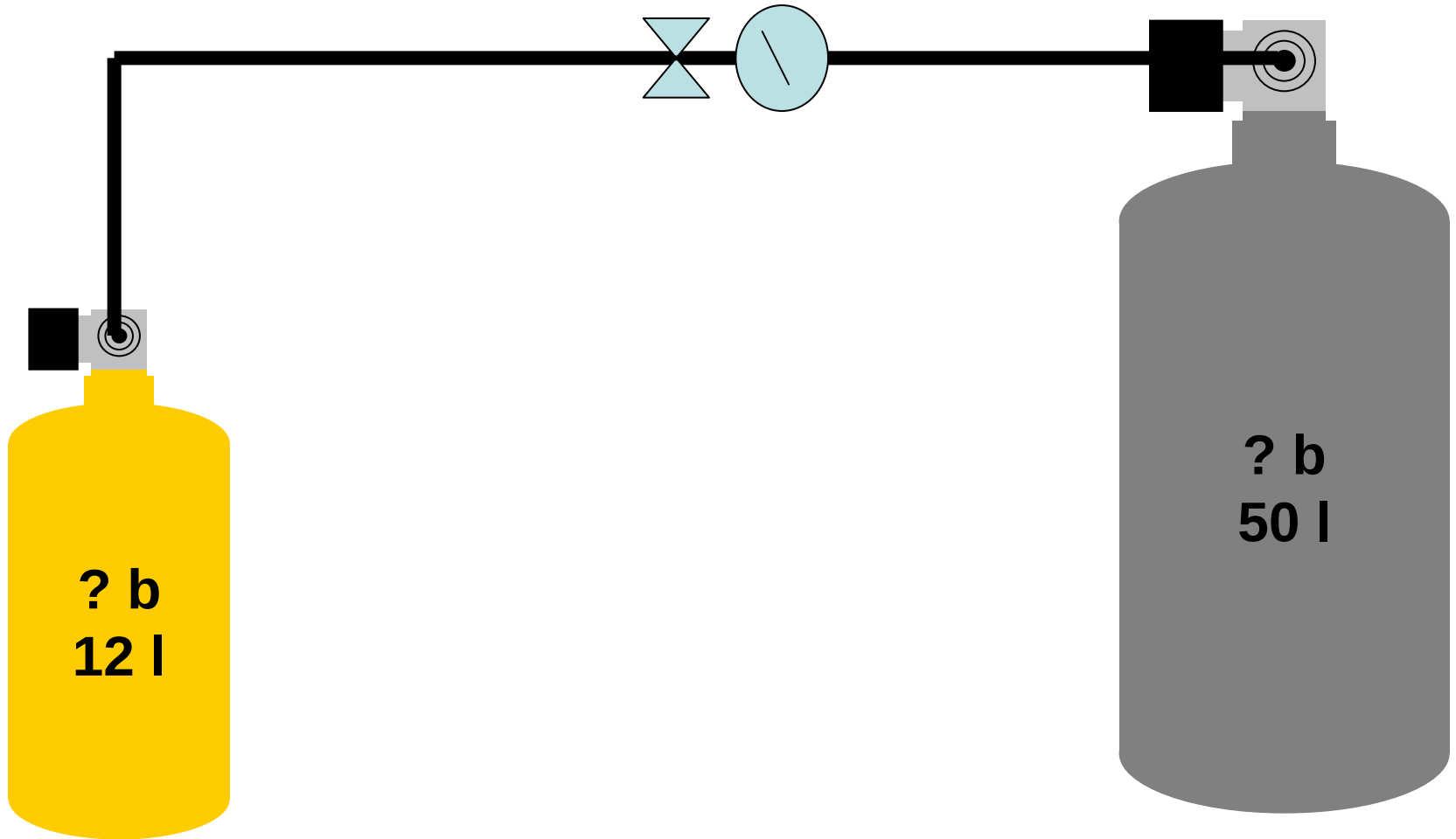


Comment l'utiliser ?



1. Jusqu'à l'équilibre complet ?
2. Jusqu'à PS du bloc ?

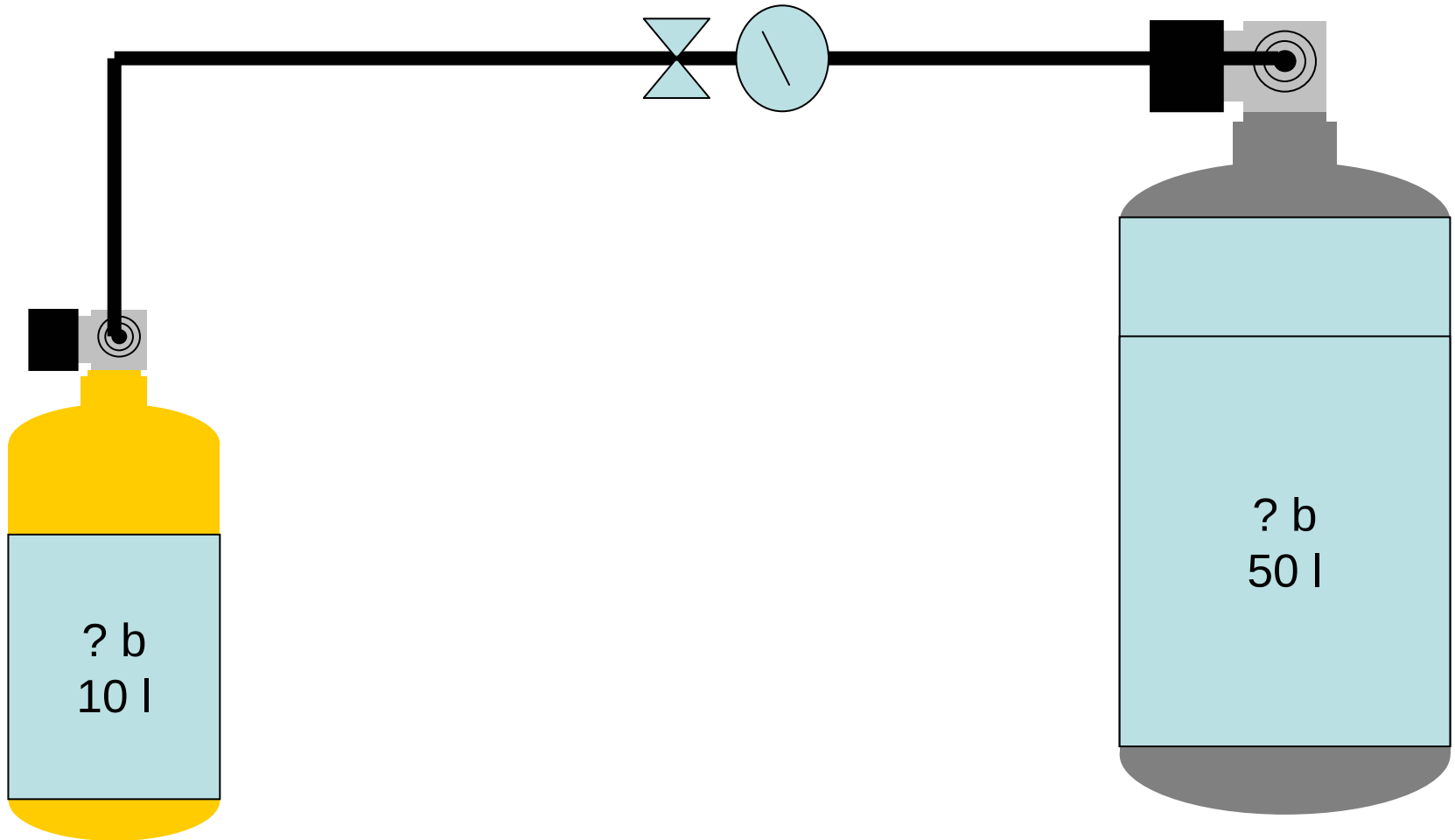
Jusqu'à équilibre



A vous

- Je désire gonfler un bloc de 10 l « vide » j'ai à ma disposition un tampon de 50 l, gonflé à 300 b à l'issue d'un équilibre complet, quelle sera la pression dans le bloc de 10 l et le tampon ?

Equilibre avec un tampon



Equilibre avec un tampon

- Quel est l'état initial
 - Un bloc de 10 l « vide »
 - Un tampon de 50 l à 300 b
- Quel est l'état final
 - Un bloc de 10 l et un tampon à la même pression

Equilibre avec un tampon

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

$$P_{\text{bloc}(b)} \times V_{\text{bloc}(l)} + P_{\text{tampon}(b)} \times V_{\text{tampon}(l)} = P_{\text{finale}(b)} \times V_{\text{bloc}(l)} + P_{\text{finale}(b)} \times V_{\text{tampon}(l)}$$

$$O_b \times V_{\text{bloc}(l)} + P_{\text{tampon}(b)} \times V_{\text{tampon}(l)} = P_{\text{finale}(b)} \times V_{\text{bloc}(l)} + P_{\text{finale}(b)} \times V_{\text{tampon}(l)}$$

$$P_{\text{tampon}(b)} \times V_{\text{tampon}(l)} = P_{\text{finale}(b)} \times V_{\text{bloc}(l)} + P_{\text{finale}(b)} \times V_{\text{tampon}(l)}$$

$$P_{\text{tampon}(b)} \times V_{\text{tampon}(l)} = P_{\text{finale}(b)} \times (V_{\text{bloc}(l)} + V_{\text{tampon}(l)})$$

$$\frac{P_{\text{tampon}(b)} \times V_{\text{tampon}(l)}}{V_{\text{bloc}(l)} + V_{\text{tampon}(l)}} = \frac{P_{\text{finale}(b)} \times (V_{\text{bloc}(l)} + V_{\text{tampon}(l)})}{V_{\text{bloc}(l)} + V_{\text{tampon}(l)}}$$

$$\frac{P_{\text{tampon}(b)} \times V_{\text{tampon}(l)}}{V_{\text{bloc}(l)} + V_{\text{tampon}(l)}} = P_{\text{finale}(b)}$$

$$P_{\text{finale}(b)} = \frac{P_{\text{tampon}(b)} \times V_{\text{tampon}(l)}}{V_{\text{bloc}(l)} + V_{\text{tampon}(l)}} = \frac{300_b \times 50_l}{10_l + 50_l} = \frac{15000_l}{60_l} = 250_b$$

Patrice Patron 2009

Méthode plus rapide

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

$$P_{tampon(b)} \times V_{tampon(l)} = P_{finale(b)} \times (V_{bloc(l)} + V_{tampon(l)})$$

$$\frac{P_{tampon(b)} \times V_{tampon(l)}}{V_{bloc(l)} + V_{tampon(l)}} = \frac{P_{finale(b)} \times (V_{bloc(l)} + V_{tampon(l)})}{V_{bloc(l)} + V_{tampon(l)}}$$

$$\frac{P_{tampon(b)} \times V_{tampon(l)}}{V_{bloc(l)} + V_{tampon(l)}} = P_{finale(b)}$$

$$P_{finale(b)} = \frac{P_{tampon(b)} \times V_{tampon(l)}}{V_{bloc(l)} + V_{tampon(l)}} = \frac{300b \times 50l}{10l + 50l} = \frac{15000l}{60l} = 250b$$

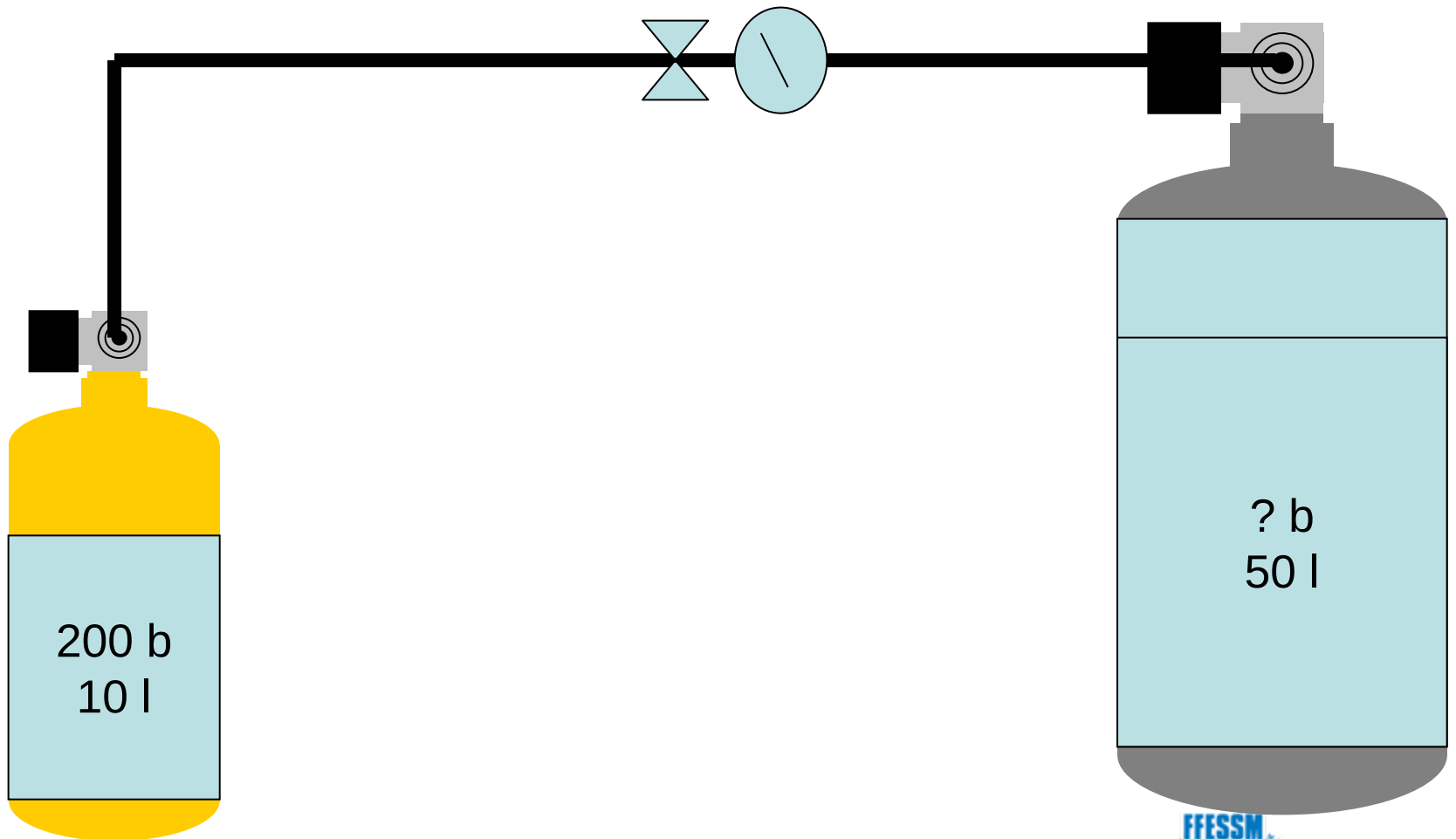
Attention

- Sauter des étapes => Plus rapide
 - Plus d'erreurs ☺
- La Pression Finale < Pression Initiale
 - Ne riez pas ☺

A vous

- Je désire gonfler un bloc de 10 l « vide » à 200 b j'ai à ma disposition un tampon de 50 l, gonflé à 300 b
 - Est-ce possible ?
 - Si oui, quelle sera la pression résiduelle dans le tampon

Jusqu'à une pression !



Patrice Patron 2009

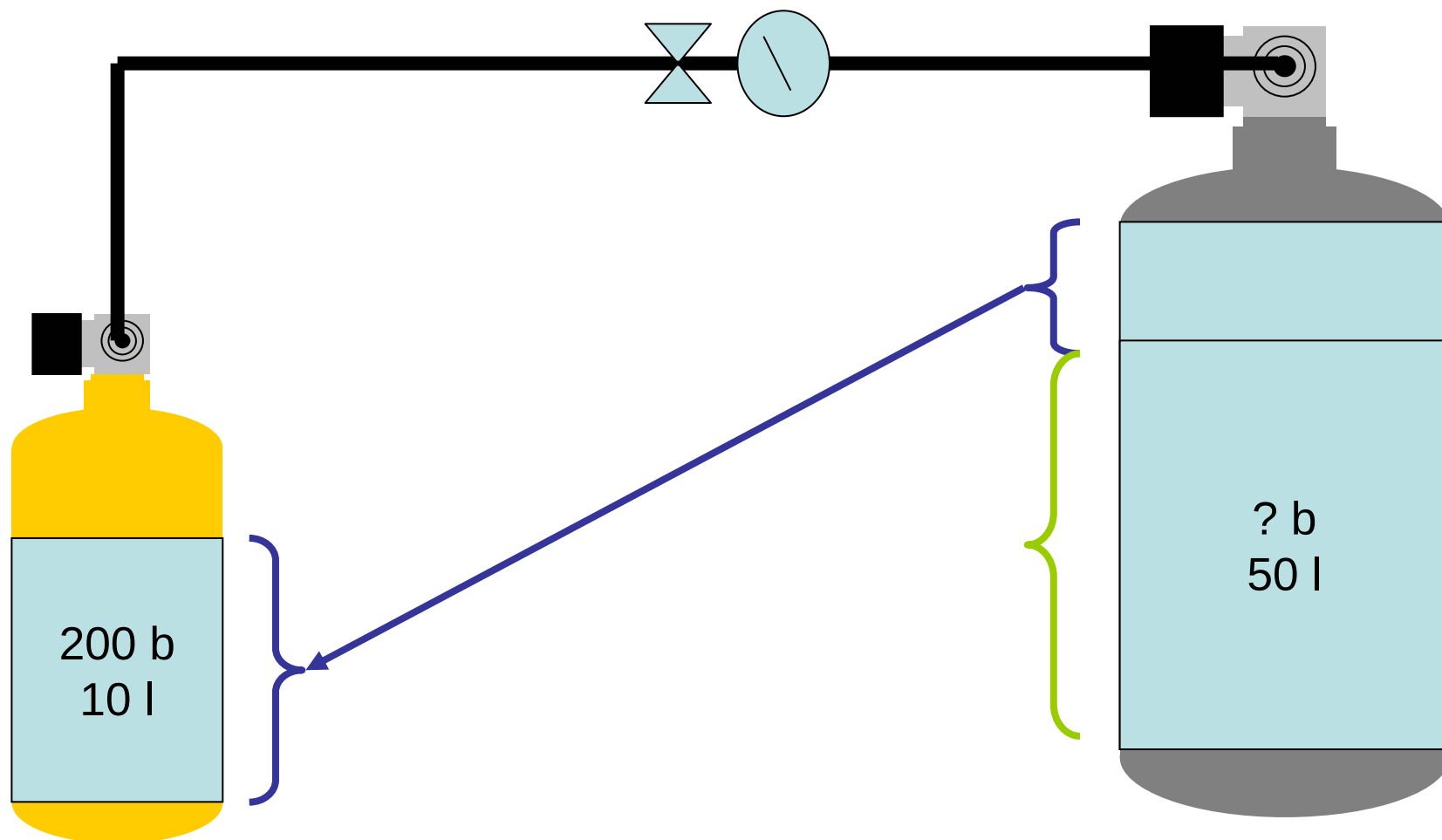
Est-ce possible ?

- On équilibre
 - Si $P_{finale} > P_{bloc}$... on vient de le faire ☺
- On calcule
 - La $Q_{nécessaire}$ pour le bloc
 - La $Q_{disponible}$ dans le tampon
 - Si $Q_{disponible} > Q_{nécessaire}$ ☺

Est-ce possible ?

- Quantité nécessaire ?
 - $Q_{nécessaire}(l) = P_{bloc}(b) \times V_{bloc}(l)$
 - $Q_{nécessaire}(l) = 200 \text{ b} \times 10 \text{ l} = 2000 \text{ l}$
- Quantité disponible ?
 - Quantité de gaz **au-delà des 200 b de la pression finale**
 - $P_{disponible}(b) = P_{tampon}(b) - P_{bloc}(b)$
 - $P_{disponible}(b) = 300 \text{ b} - 200 \text{ b} = 100 \text{ b}$
 - $Q_{disponible}(l) = P_{disponible}(b) \times V_{tampon}(l)$
 - $Q_{disponible}(l) = 100 \text{ b} \times 50 \text{ l} = 5000 \text{ l}$
- Est-ce possible ?
 - $Q_{disponible} > Q_{nécessaire}$

Ce qui reste ?



Ce qui reste ?

Ptampou x Vtampou

Pbloc x Vbloc

Ce qui reste ?

$$P_{\text{finale}} \times V_{\text{tampon}} = (P_{\text{tampon}} \times V_{\text{tampon}}) - (P_{\text{bloc}} \times V_{\text{bloc}})$$

$$P_{\text{finale}} \times 50 \text{ l} = (300 \text{ b} \times 50 \text{ l}) - (200 \text{ b} \times 10 \text{ l})$$

$$P_{\text{finale}} = ((300 \text{ b} \times 50 \text{ l}) - (200 \text{ b} \times 10 \text{ l})) / 50$$

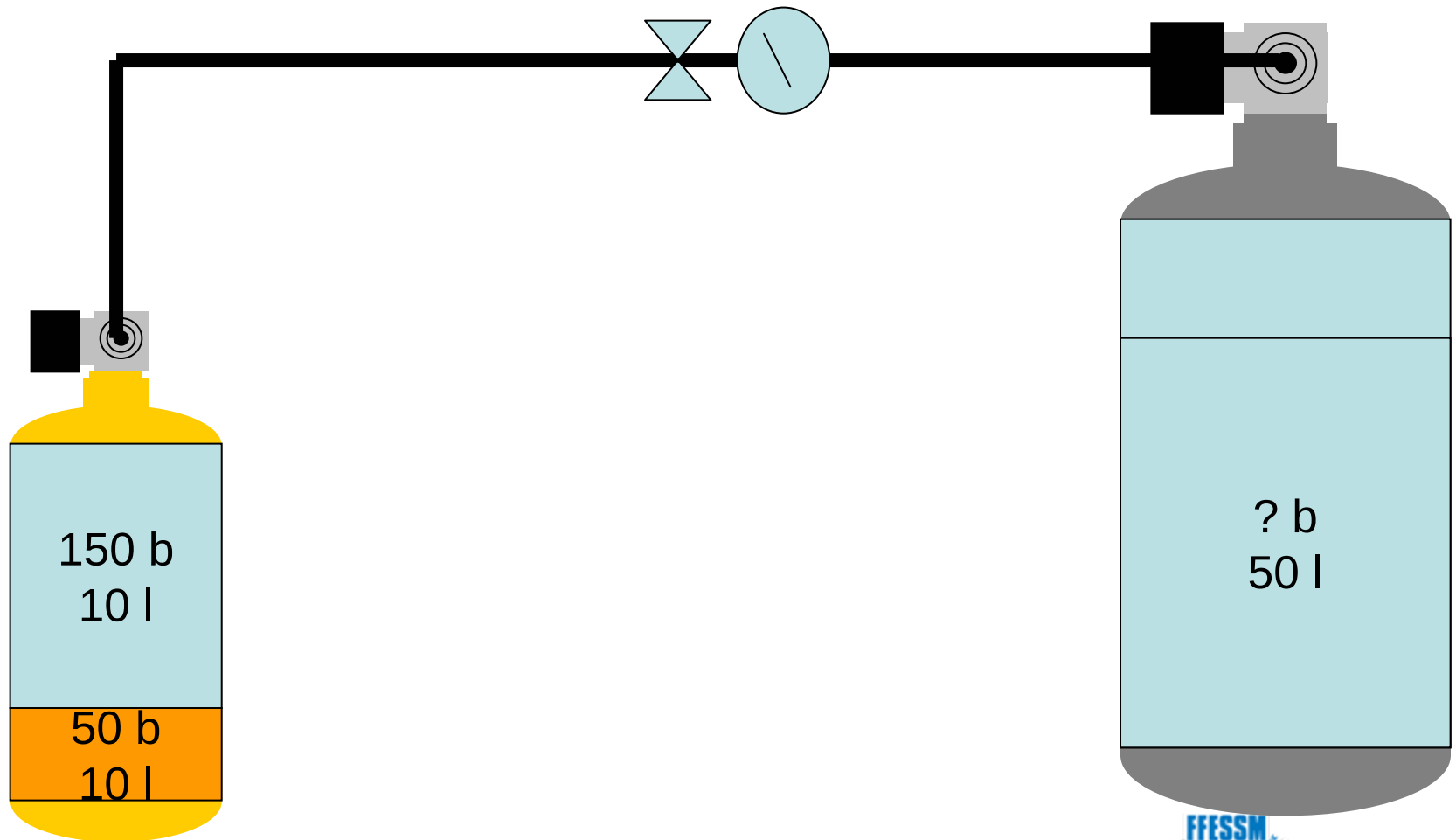
$$P_{\text{finale}} = (15000 - 2000) / 50 = 13000 / 50 = 260 \text{ b}$$

En répondant à la 2^{ème} question
on obtient la réponse pour la 1^{ère} 😊

A vous

- Je désire gonfler un bloc de 10 l contenant encore 50 b à 200 b j'ai à ma disposition un tampon de 50 l, gonflé à 300 b
 - Est-ce possible ?
 - Si oui, quelle sera la pression résiduelle dans le tampon

Jusqu'à une pression ! Il m'en reste un peu



Patrice Patron 2009

Il m'en reste !

- Etat initial
 - Fond du bloc + Tampon
- Etat final
 - Bloc à la pression désirée + Tampon à la pression recherchée !

Ce qui reste ?

$P_{\text{tampon}} \times V_{\text{tampon}}$

$P_{\text{prestante}} \times V_{\text{bloc}}$

$P_{\text{nécessaire}} \times V_{\text{bloc}}$

Ce qui reste ?

$$P_{\text{nécessaire}} = P_{\text{désirée}} - P_{\text{prestante}} = 200 - 50 = 150 \text{ b}$$

$$P_{\text{finale}} \times V_{\text{tampon}} = (P_{\text{tampon}} \times V_{\text{tampon}}) - (P_{\text{nécessaire}} \times V_{\text{bloc}})$$

$$P_{\text{finale}} \times 50 \text{ l} = (300 \text{ b} \times 50 \text{ l}) - (150 \text{ b} \times 10 \text{ l})$$

$$P_{\text{finale}} = ((300 \text{ b} \times 50 \text{ l}) - (150 \text{ b} \times 10 \text{ l})) / 50$$

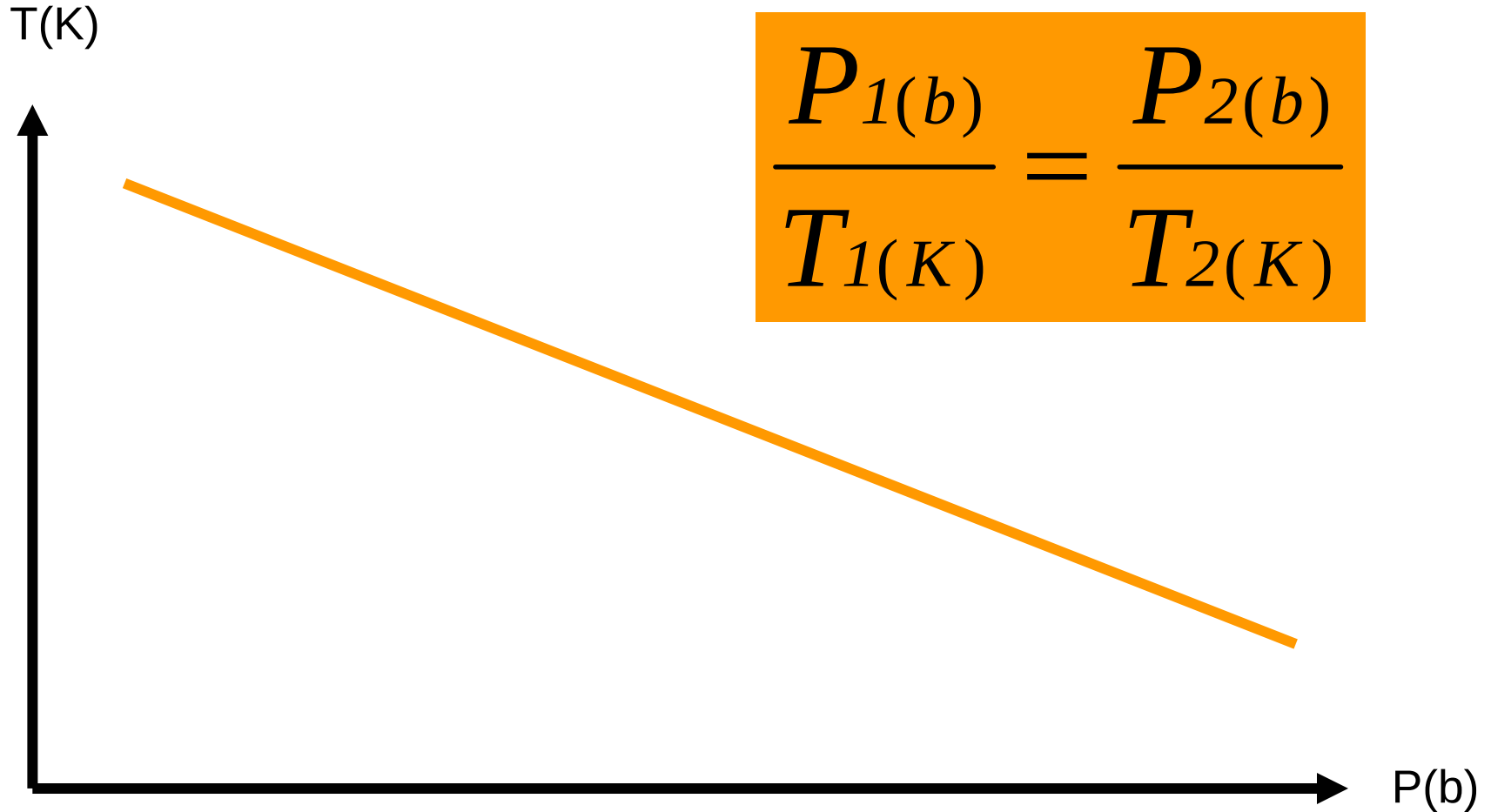
$$P_{\text{finale}} = (15000 - 1500) / 50 = 13000 / 50 = 270 \text{ b}$$

En répondant à la 2^{ème} question
on obtient la réponse pour la 1^{ère} 😊

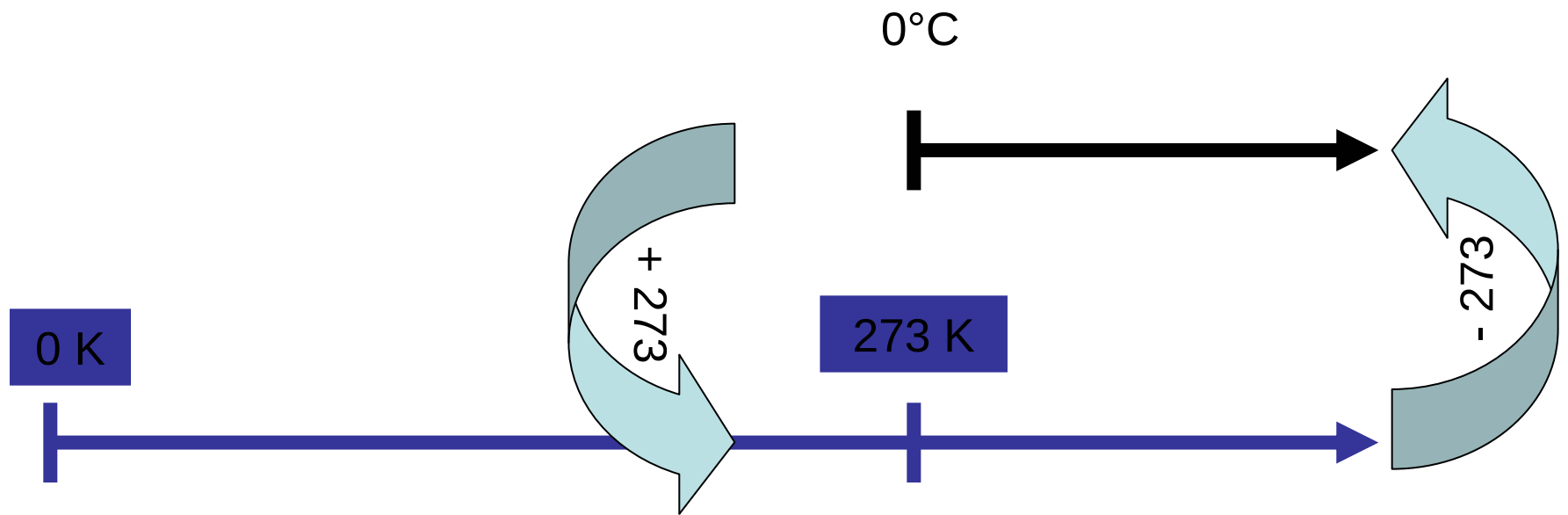
Pour vous préparer !

- On peut tout combiner :
 - Des blocs vides
 - Des blocs moitié vides ou moitié pleins
 - Un tampon
 - Plusieurs tampons à des pressions et des volumes différents ...
 - Voir même la température

Et quand il refroidit ?



Une nouvelle unité de température



A vous

- Convertissez en Kelvin la température de 35 °C
- Convertissez en °C la température de 300 K

A moi 😊

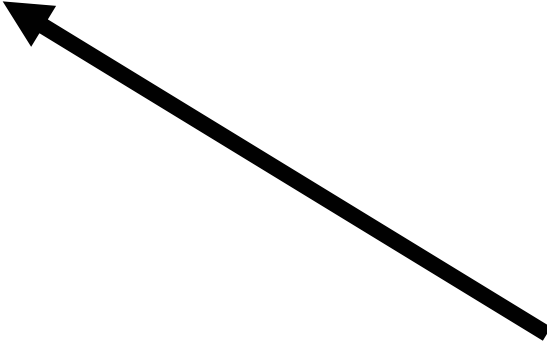
- $35\text{ }^{\circ}\text{C} = (273 + 35)\text{ K} = 308\text{ K}$
- $300\text{ K} = (300 - 273)\text{ }^{\circ}\text{C} = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$

A vous

- En fin de gonflage, un bloc est à 200 b et 35 °C, quelle sera sa pression quand il aura refroidit et que sa température sera à 10 °C

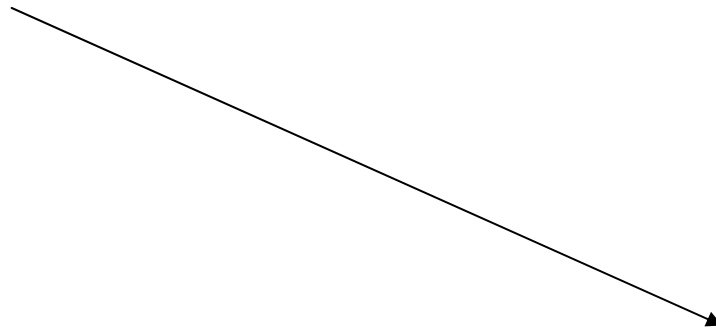
Quand il refroidit

$$\frac{P_{1(b)}}{T_{1(K)}} = \frac{P_{2(b)}}{T_{2(K)}}$$


$$T_K = T^{\circ C} + 273$$

Quand il refroidit

$$\frac{P_{1(b)}}{T_{1(^{\circ}C)} + 273} = \frac{P_{2(b)}}{T_{2(^{\circ}C)} + 273}$$



$$P_{2(b)} = \frac{P_{1(b)}}{T_{1(^{\circ}C)} + 273} \times (T_{2(^{\circ}C)} + 273)$$

Quand il refroidit

$$P_{2(b)} = \frac{P_{1(b)}}{T_{1(^{\circ}C)} + 273} \times (T_{2(^{\circ}C)} + 273)$$

$$P_{froid(b)} = \frac{P_{chaud(b)}}{T_{chaud(^{\circ}C)} + 273} \times (T_{froid(^{\circ}C)} + 273)$$

$$P_{froid(b)} = \frac{200b}{(35 + 273)K} \times (10 + 273)K$$

$$P_{froid(b)} = \frac{200b}{308K} \times 283K \approx 183,76b$$

Pour conclure

- La meilleure solution
 - Travailler peu mais souvent
 - Alternier les « matières »
- Faites et refaites les annales
 - www.ctrbpl.org
- Quelques livres
 -
- Bonne Pause bien méritée!