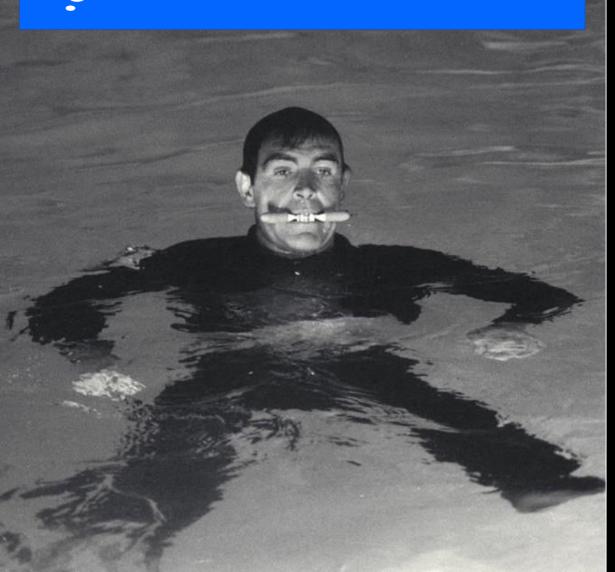


Saison 4 2021-2022



Cycle « Physique & Cinéma, édition spéciale 007 »

JAMES BOND SOUS PRESSION!



Mardi 21/09/2021, de 18h15 à 19h45, amphi Fresnel

Au programme ce soir

- 1. La notion de physique : qu'est-ce que la pression ?
 - 2. Technique classique de plongée sous-marine
 - 3. Techniques exotiques de plongée sous-marine
 - 4. La pression comme arme
 - 5. Les accidents de dépressurisation en avion



Disclamer

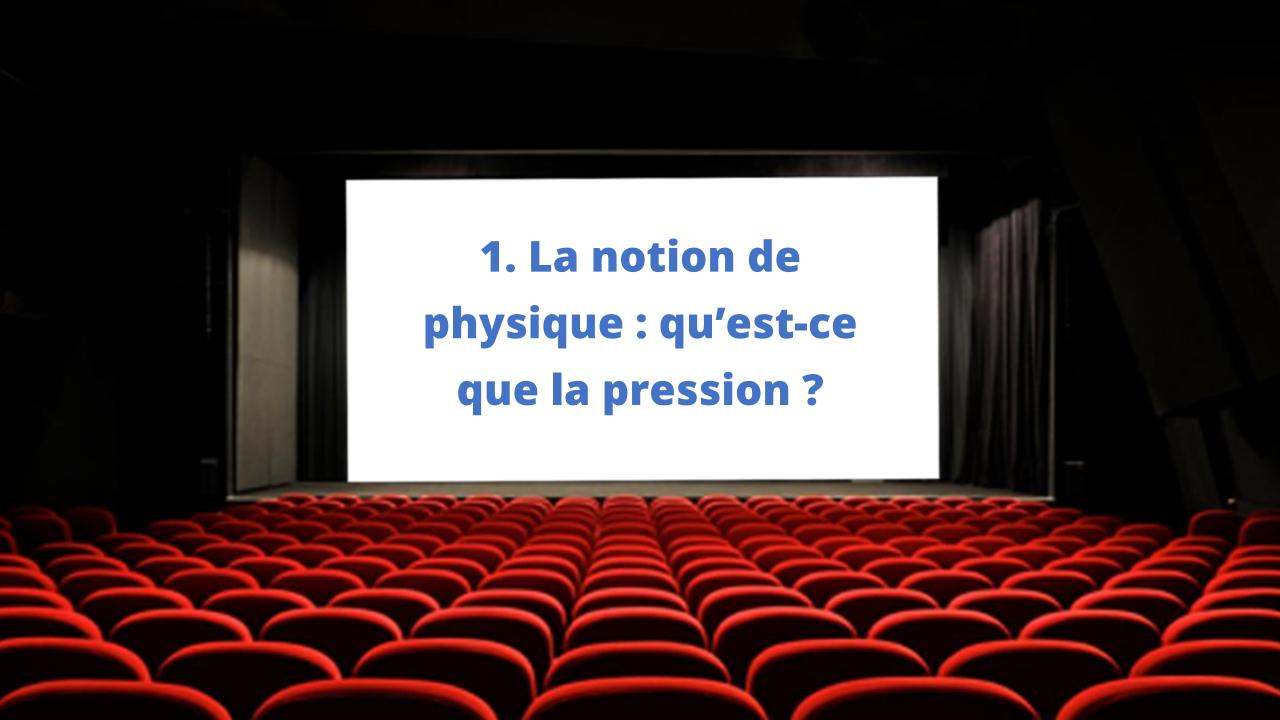
Toutes les cascades montrées dans les extraits de films ont

été réalisées par des professionnels

ou sont le fruit de la magie du cinéma.

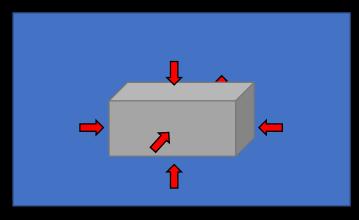
N'essayez surtout pas de les reproduire chez vous!



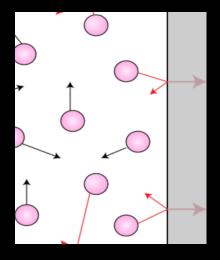


Définition de la pression

On considère un solide immergé dans de l'eau immobile.

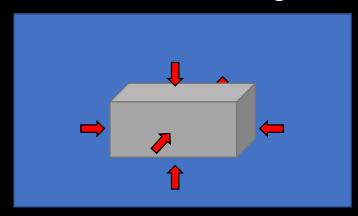


- L'eau exerce une force sur toutes les faces du solide.
- La force correspond aux chocs des molécules d'eau sur les faces du solides.
- Généralisable à tout solide immergé dans un fluide (liquide ou gaz)

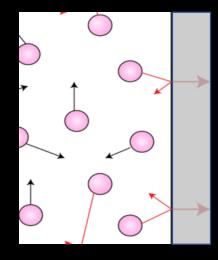


Définition de la pression

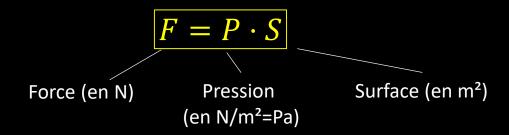
On considère un solide immergé dans de l'eau immobile.



- L'eau exerce une force sur toutes les faces du solide.
- La force correspond aux chocs des molécules d'eau sur les faces du solides.
- Généralisable à tout solide immergé dans un fluide (liquide ou gaz)



• L'intensité de la force exercée par l'eau est proportionnelle à la surface du solide. Le coefficient de proportionnalité est la pression (statique) de l'eau.

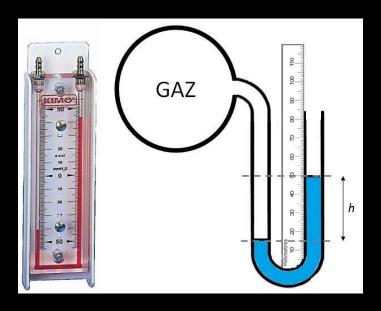


- Unité du SI : le Pascal (Pa)
- Multiples du Pa :
 - hectopascal (1 hPa = 100 Pa)
 - kilopascal (1 kPa = 1 000 Pa)
 - mégapascal (1 MPa = 1 000 000 Pa)
 - · ...

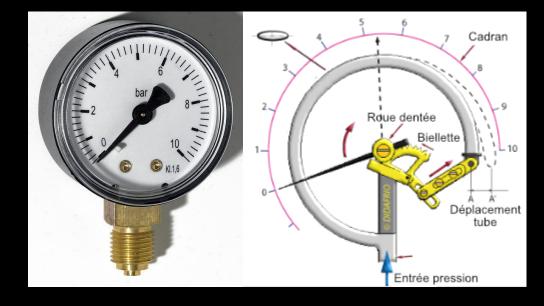


Comment mesurer la pression ?

3 exemples de manomètres :



Manomètre à colonne liquide



Manomètre à tube de Bourdon



Manomètre à membrane

Unités privilégiées :

- mmHg = 133,3 Pa
- $mmH_2O = mmCE = 9.8 Pa$



Unité privilégiée : 1 bar = 100 000 Pa

1 psi = pound-force per square inch = 0,069 bar

 $1 \text{ kp/cm}^2 = \text{kilo-pound per square centimeter} = 0.98 \text{ bar}$

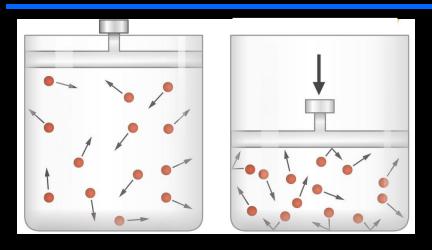


Quelques valeurs de pression

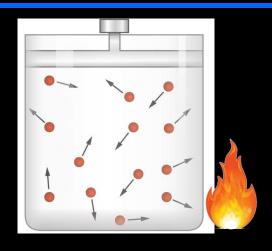
Exemple		Pression absolue
Pression du vide absolu		0 bar
Pression du vide interstellaire		10 ⁻²⁰ bar
Pression atmosphérique (moyenne au niveau moyen de la mer sur la latitude de Paris)		1 atm = 1,01 325 bar ≈ 1 bar
Pression artérielle chez l'homme	pression artérielle systolique	12 cmHg relatif = 1,016 bar
	pression artérielle diastolique	8 cmHg relatif = 1,011 bar
Pression à l'intérieur d'une cocotte minute		1,7 bar
Pression de la chambre à air d'un pneu de voiture		3,5 bar
Pression dans une bouteille de gaz (propane C ₃ H ₈)		7,5 bar
Pression dans une bouteille de plongée		201 bar
Pression dans le noyau du Soleil		$2,2 \times 10^{11}$ bar



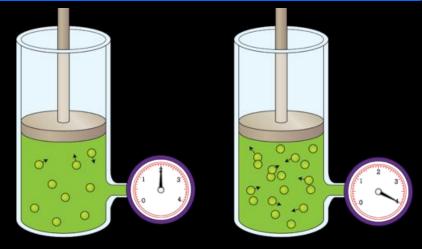
Facteurs qui influent sur la pression



Si je réduis très lentement le volume V du gaz, la pression P du gaz augmente.



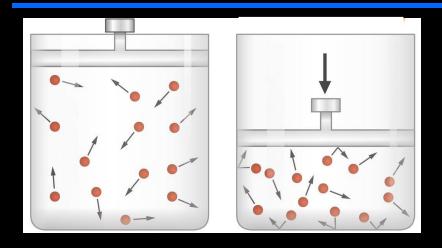
Si j'augmente la température T du gaz, la pression P du gaz augmente.



Si j'augmente progressivement la quantité n de gaz dans un même volume V, la pression P du gaz augmente.

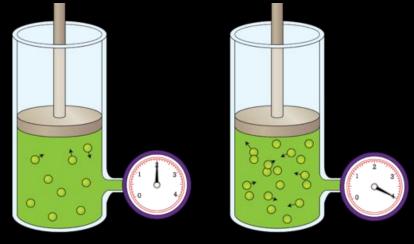


Facteurs qui influent sur la pression



Si je réduis très lentement le volume V du gaz, la pression P du gaz augmente.

Si j'augmente la température T du gaz, la pression P du gaz augmente.



Si j'augmente progressivement la quantité n de gaz dans un même volume V, la pression P du gaz augmente.

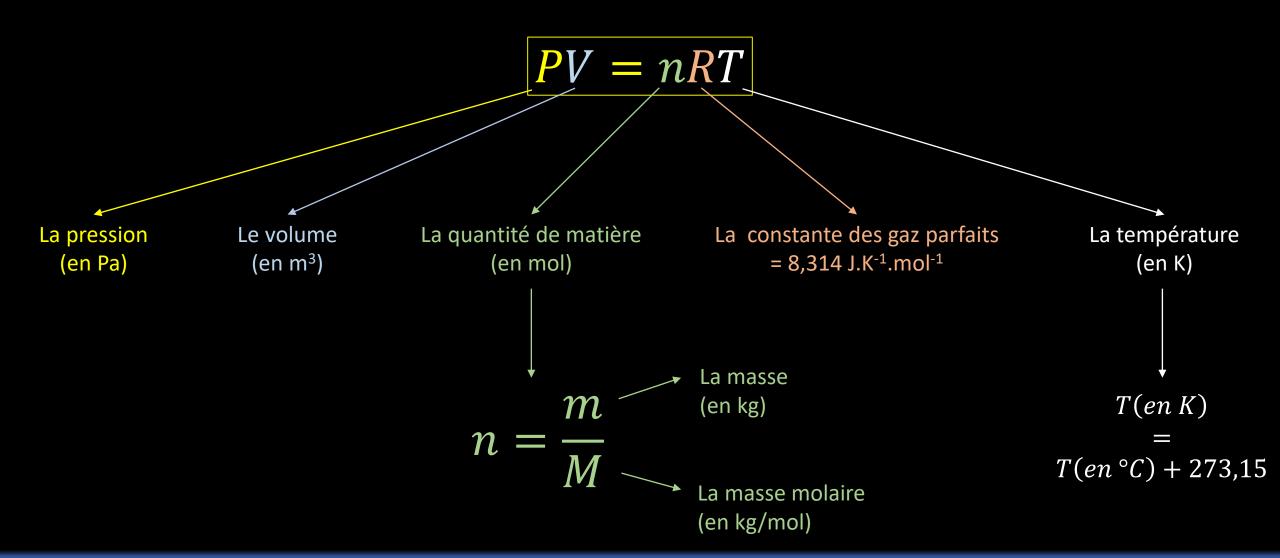
Il y a une relation entre la pression P, le volume V, la température T et la quantité de matière n. Relation la plus simple pour les gaz (valable aux températures et pressions mises en jeu dans les extraits vidéos) :

L'équation des gaz parfaits

$$|PV = nRT|$$



Facteurs qui influent sur la pression







Les limites de l'apnée



James Bond sous l'eau dans « Mourir peut attendre »

- Combien de temps peut-on être sous l'eau sans respirer ?
 proche de la surface, sans activité et sans entraînement,
 environ 2 à 3 minutes.
- Dans « Meurs un autre jour », James Bond à la capacité de réduire son rythme cardiaque et donc de rester plus longtemps en apnée.
- Record du monde en apnée statique : 11 min 35 s par Stéphane Mifsud en 2009
- Nécessité d'avoir une réservoir d'oxygène si on veut rester plus longtemps sous l'eau.



James Bond et la plongée sous-marine



- « Goldfinger » avec la scène du chapeau en forme de canard.
- « Opération tonnerre »
- « On ne vit que deux fois »
- « Rien que pour vos yeux »
- « Dangereusement votre »
- « Permis de tuer »
- « Demain ne meurt jamais »



Utilisation d'une bouteille d'air

Hypothèses :

- Gaz respiré = l'air (21% O₂, 78% N₂, 1% d'autres gaz)
- Respiration moyenne : 20 L d'air par minute à pression atmosphérique
- Profondeur de l'eau : quelques mètres (on considère que l'eau est à pression atmosphérique).

Durée	Volume d'air nécessaire en L (à pression atmosphérique = 1 bar)	
10 min	200	
30 min	600	
1h	1 200	
2h	2 400	
3h	3 600	
10h	12 000	



Bouteille de 1L



Utilisation d'une bouteille d'air sous pression

Hypothèses :

- Gaz respiré = l'air (21% O_2 , 78% N_2 , 1% d'autres gaz)
- Respiration moyenne : 20 L d'air par minute à pression atmosphérique
- Profondeur de l'eau : quelques mètres (on considère que l'eau est à pression atmosphérique).

Durée	Volume d'air nécessaire en L (à pression atmosphérique = 1 bar)	Volume d'air nécessaire en L à P=200 bar
10 min	200	1
30 min	600	3
1h	1 200	6
2h	2 400	12
3h	3 600	18
10h	12 000	60

On suppose l'équilibre thermique entre le gaz et le milieu extérieur.

La loi des gaz parfaits devient :

PV = cst (loi de Boyle-Mariotte)



La pression est multipliée par 200 donc le volume est divisée par 200.



Utilisation d'une bouteille d'air sous pression

Hypothèses :

- Gaz respiré = l'air (21% O₂, 78% N₂, 1% d'autres gaz)
- Respiration moyenne : 20 L d'air par minute à pression atmosphérique
- Profondeur de l'eau : quelques mètres (on considère que l'eau est à pression atmosphérique).

Durée	Volume d'air nécessaire en L (à pression atmosphérique = 1 bar)	Volume d'air nécessaire en L à P=200 bar	Masse d'air nécessaire en kg (à une température de 20°C)
10 min	200	1	0,24
30 min	600	3	0,71
1h	1 200	6	1,43
2h	2 400	12	2,86
3h	3 600	18	4,28
10h	12 000	60	12,28



La loi des gaz parfaits avec la masse molaire de l'air : M = 29 g/mol.



Utilisation d'une bouteille d'air sous pression

Hypothèses :

- Gaz respiré = l'air (21% O₂, 78% N₂, 1% d'autres gaz)
- Respiration moyenne : 20 L d'air par minute à pression atmosphérique
- Profondeur de l'eau : quelques mètres (on considère que l'eau est à pression atmosphérique).

Durée	Volume d'air nécessaire en L (à pression atmosphérique = 1 bar)	Volume d'air nécessaire en L à P=200 bar	Masse d'air nécessaire en kg (à une température de 20°C)
10 min	200	1	0,24
30 min	600	3	0.71
1h	1 200	6	
2h	2 400	12	

18

60

Bouteille typique: 12 L à 200 bar (masse totale de 13 kg dont 2,86 kg pour l'air)

→ autonomie : 2 heures (il faut garder une réserve pour la sécurité)

3 600

12 000



3h

10h

Besoin d'un détendeur

- Pour remplir les bouteilles : utilisation d'un compresseur pour passer de 1 bar (pression atmosphérique) à 200 bar.
- Impossible de respirer de l'air à 200 bar
 Pour respirer: utilisation d'un détendeur pour passer de la pression de 200 bar à 1 bar (pression atmosphérique).

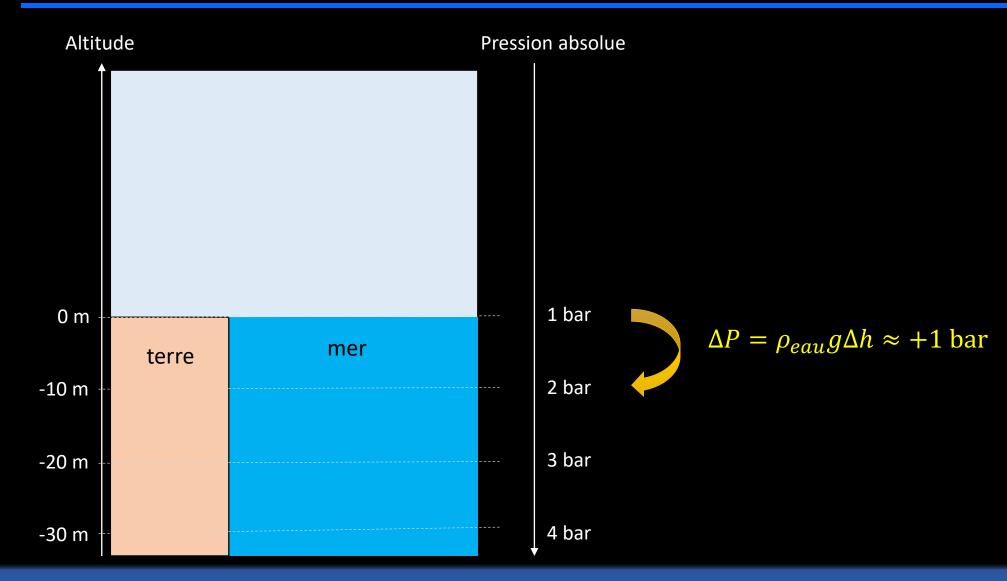


tuyau

1er étage du détendeur : passage de la haute pression à la moyenne pression

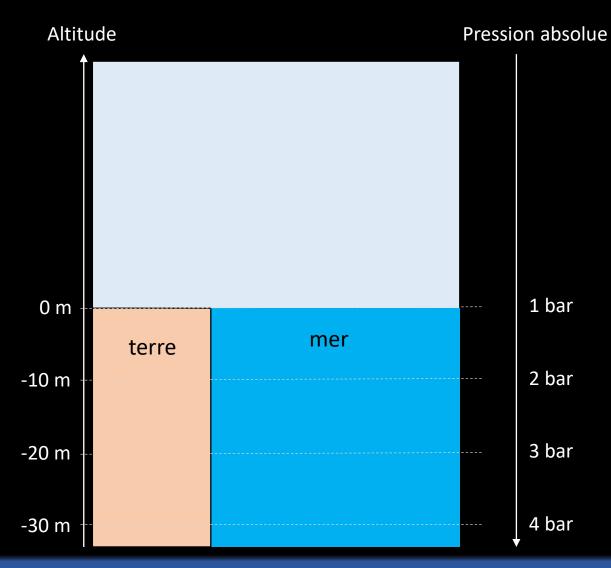
2ème étage du détendeur : passage de la moyenne pression à la basse pression

Pour aller + loin





Pour aller + loin



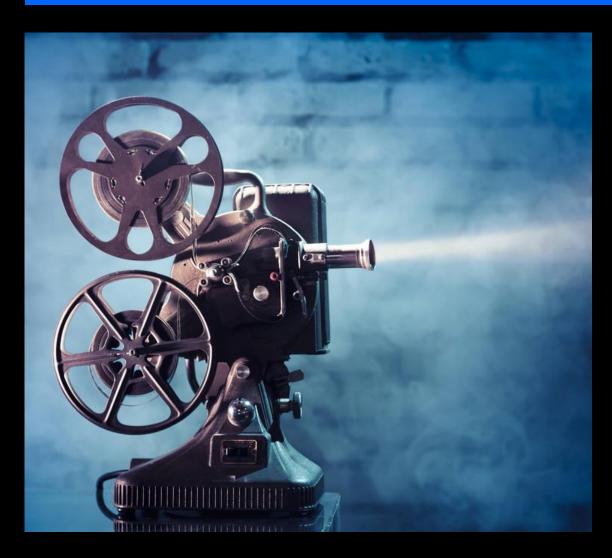
Consommation en air:

- L'air aspiré doit être à la pression de l'eau et le débit 20
 L / min doit être maintenu à la pression de l'eau.
- L'autonomie va varier en fonction de la profondeur.
 Exemple : bouteille de 12 L à 200 bar.

Profondeur (en m)	Pression de l'eau (en bar)	Volume d'air de la bouteille à pression de l'eau	Autonomie
0	1	2 400	2 heures
10	2	1 200	1 heure
20	3	800	40 minutes
30	4	600	30 minutes
40	5	480	24 minutes







Extrait de « *Dangereusement votre* » , 1985, EON Productions



Bond est laissé inconscient dans une Roll Royce. Les vilains jettent le véhicule dans un lac ...





- Rolls-Royce Silver II de 1962
- Pression (relative) des pneus avant : 24 psi = 1,65 bar
- Pression (relative) des pneus arrière : 29 psi = 2 bar



- Diamètre extérieur = 75 cm
- Diamètre intérieur = 40 cm
- Largeur = 23 cm





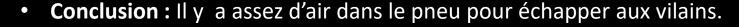
• Objectif: durée en immersion dans l'eau en respirant l'air d'un pneu arrière

Hypothèses :

- Respiration moyenne : 20 L d'air par minute à pression atmosphérique.
- Diamètre extérieur du pneu = 75 cm
- Diamètre intérieur du pneu = 40 cm
- Largeur du pneu = 23 cm
- Pression relative à l'intérieur de la chambre à air = 2 bar

Calcul:

- Volume disponible pour la chambre à air : 75 L
- Volume correspondant à pression atmosphérique : 225 L
- Autonomie : 11 minutes







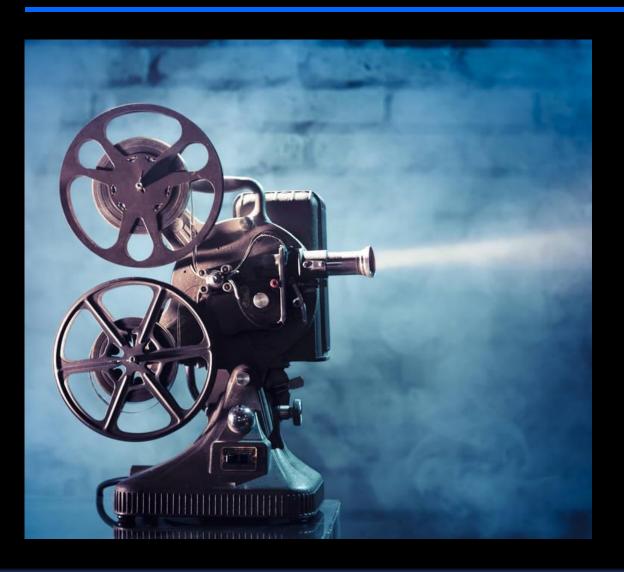
Questions:

- Comment ouvrir facilement la valve ?
- Comment faire la détente jusqu'à 1 bar ?

- Comment respirer l'air sortant du pneu ?
- Est-ce que l'air contenu dans un pneu reste pur ?







Extrait de « *Opération tonnerre* » , 1965, EON Productions



Bond a un nouveau gadget pour respirer sous l'eau et va le mettre à profit ...

https://www.youtube.com/watch?v=8RUu5ui9i_I https://www.youtube.com/watch?v=KyDGRZE6Jp0





Le gadget réapparait pour les 40 ans de James Bond dans « *Meurs un autre jour* », 2002, Eon Productions

Ce que l'on sait :

• Diamètre intérieur du tube à cigare : 2 cm

Longueur du tube à cigare : 17 cm

Autonomie : 4 minutes





 Objectif: calculer la pression de l'air contenu dans le réservoir

Hypothèses :

- Respiration moyenne : 20 L d'air par minute à pression atmosphérique.
- Diamètre intérieur du tube : 2 cm
- Longueur du tube : 17 cm
- Autonomie: 4 minutes



Calcul:

- Volume disponible dans le tube à cigare : 55 cm³
- Volume nécessaire à pression atmosphérique : 80 L
- Pression nécessaire : 1 500 bar







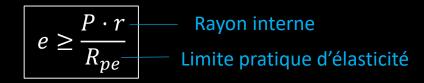
Pression nécessaire : 1 500 bar

REJETE!

Pourquoi rejeté?

Problème de résistance des matériaux

 épaisseur e nécessaire du cylindre pour résister à 1 500 bar ?

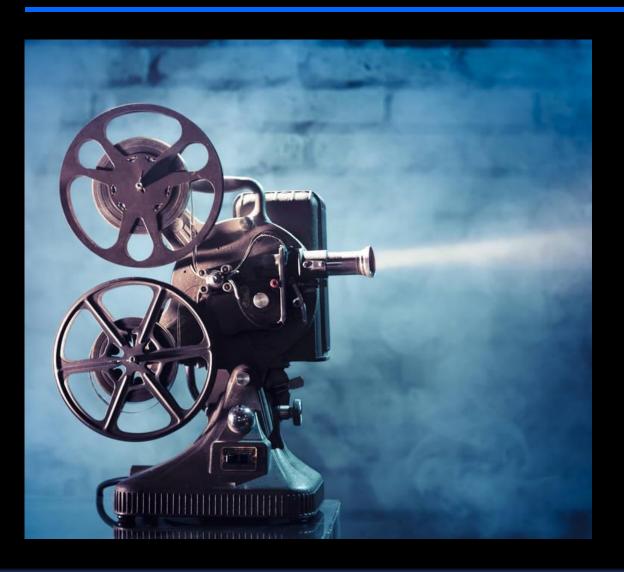


Pour de l'acier S235 : e ≥ 3 cm
 → masse de l'objet : 6 kg

 Création d'un détendeur permettant de détendre de 1 500 bar à 1 bar ?







Extrait de « *Vivre et laisser mourir* » , 1973, EON Productions



https://www.youtube.com/watch?v=wqdX4Yv-E38

Le vilain teste la nouvelle arme de James Bond







Ce que nous savons sur la capsule de gaz :

- CO₂ sous pression
- Diamètre : 0,75 inches = 1,9 cm
- Longueur : 2,25 inches = 5,7 cm
- → Estimation du volume occupé par le gaz : V = 16 cm³





Volume du canapé semble être multiplié par un facteur 5 avant d'exploser.

V = le volume de la cartouche

P = inconnue



V = 5 × le volume du canapé

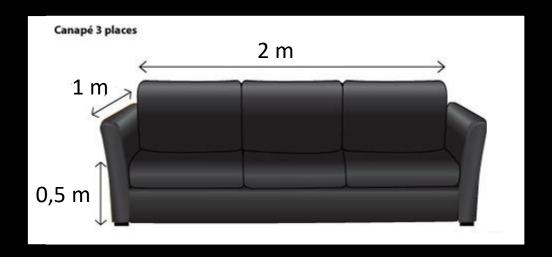
P = la pression atmosphérique = 1 bar



• **Objectif**: calculer la pression du CO₂ contenu dans la capsule

Hypothèses :

- Canapé ≈ ballon de baudruche
- Volume initial du canapé : 1 m³
- Volume final du canapé : 5 m³
- Volume de la capsule : 16 cm³

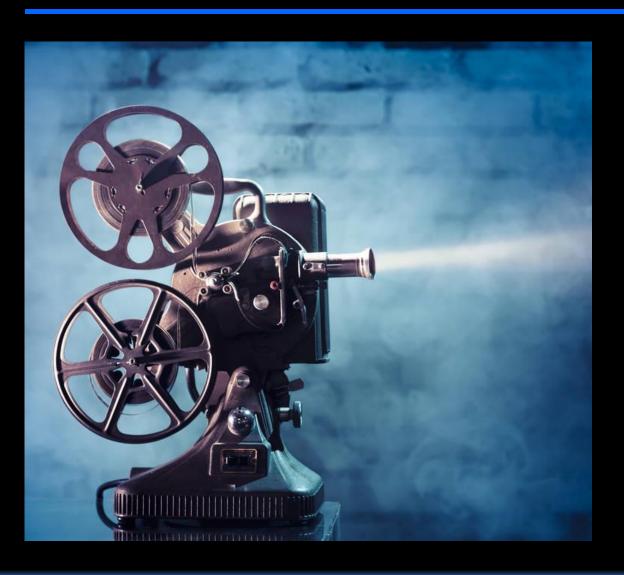


Calcul:

- Hypothèse d'une transformation isotherme (PV = cst): 250 000 bar
- Masse de la capsule : 7 kg







Extrait de « Vivre et laisser mourir » , 1973, EON Productions



James Bond étudie l'impact de la cartouche de gaz comprimé sur le corps humain

https://www.youtube.com/watch?v=JetalVyl6zs





Les questions soulevées par l'extrait :

Le corps humain est un ballon de baudruche ?



Pourquoi le corps humain remonte à la surface ?

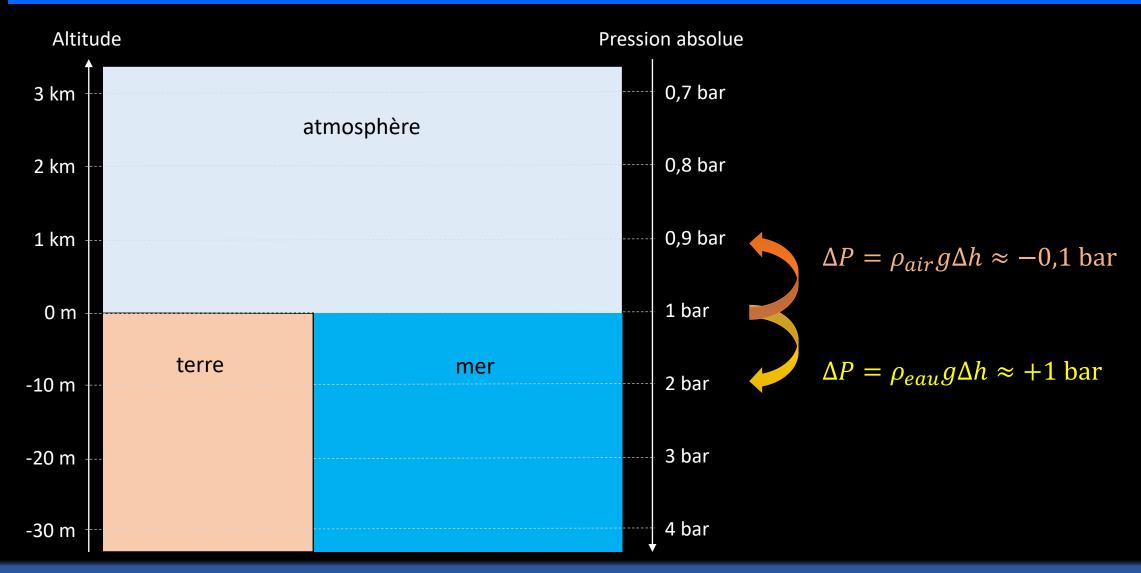


REJETE!





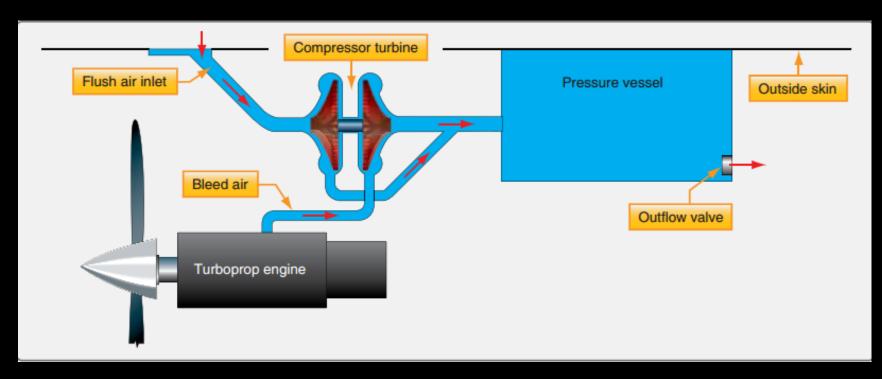
Evolution de la pression selon l'altitude





Pourquoi les avions sont pressurisés ?

L'ai respiré par les voyageurs doit être conditionné.

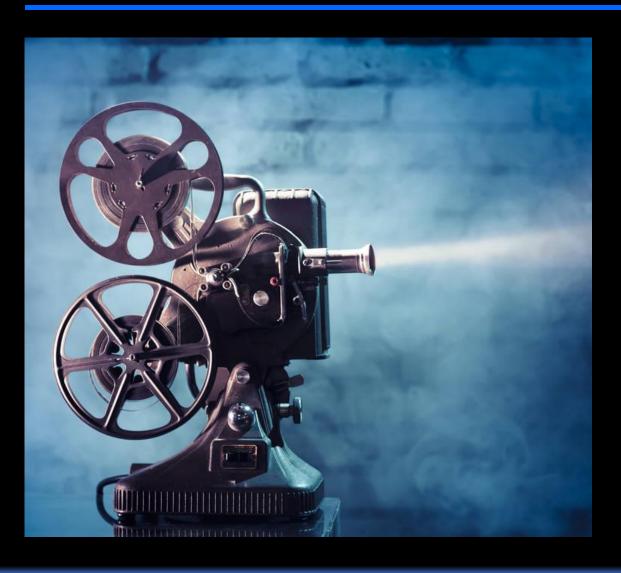


Plusieurs paramètres à gérer :

- Température
- Humidité
- Pression :
 - A haute altitude : la teneur en oxygène est plus faible → risque d'hypoxie
 - Variation de pression au décollage et atterrissage → risque de barotraumatisme



Accident de dépressurisation



Extrait de « Goldfinger » , 1964, EON Productions



James Bond et Goldfinger sont dans un avion. Goldfinger sort une arme à feu. Que se passe-t-il ?

https://www.youtube.com/watch?v=HHyQBqb9g5w



Dépression explosive

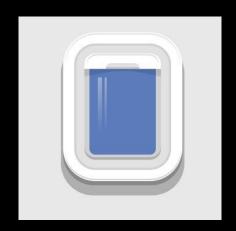


- Avion : Lockheed US VC-140B
- Altitude de croisière = celle d'un avion long-courrier : 10 km
- Vitesse maximum: 922 km/h

• **Objectif**: calculer de la force qui s'exerce sur un hublot

Hypothèses :

- Hublot carré : 35 cm de côté
- Pression de l'air à l'extérieur : 0,26 bar
- Pression de l'air à l'intérieur : 1 bar



Calcul:

- Surface du hublot : 1 225 cm²
- Différence de pression : 0,74 bar
- Force exercée sur le hublot : 9 065 N

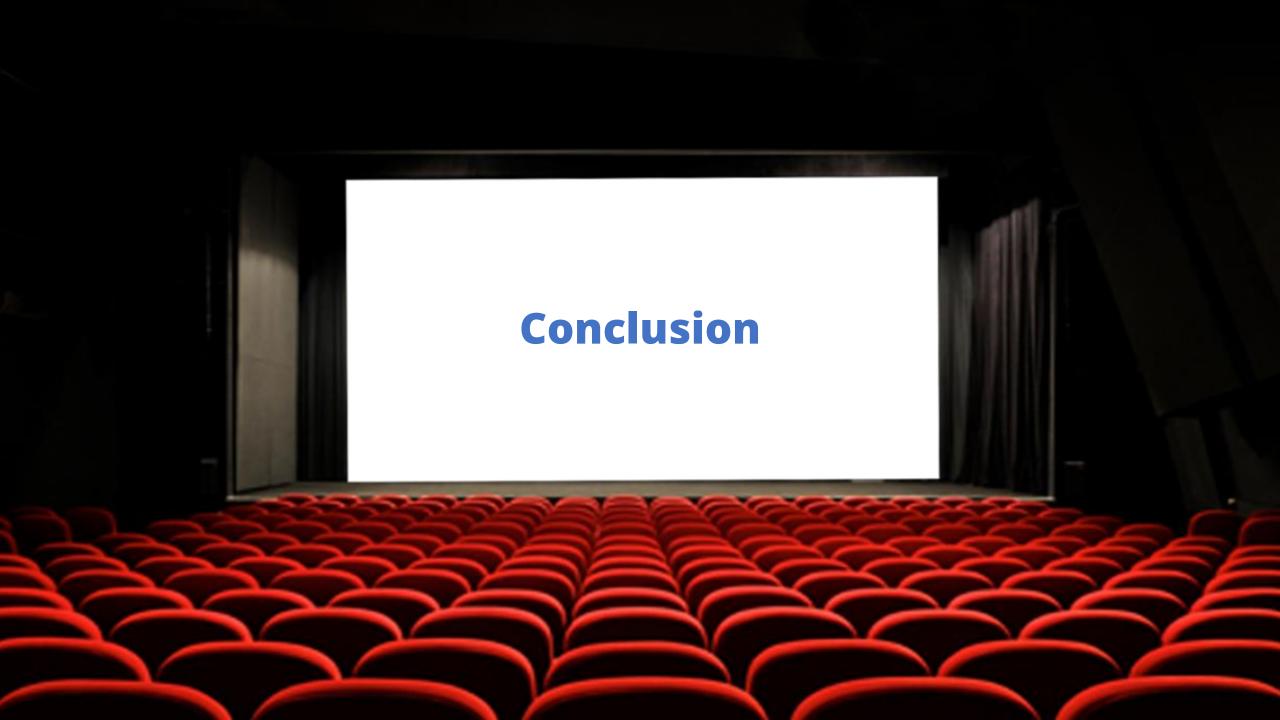


Dépressurisation explosive

- Lorsque la fenêtre casse, une force de 9 000 N est exercée localement et crée un phénomène d'aspiration.
- Mais très rapidement les pressions entre intérieur et extérieur s'équilibre :
 - Le compresseur ne parvient plus à maintenir une pression de 1 bar à l'intérieur.
 - L'air extérieur impose sa pression à l'intérieur (ainsi que sa température).
- Le phénomène d'aspiration localisé au niveau de la fenêtre ne dure qu'une fraction de secondes.



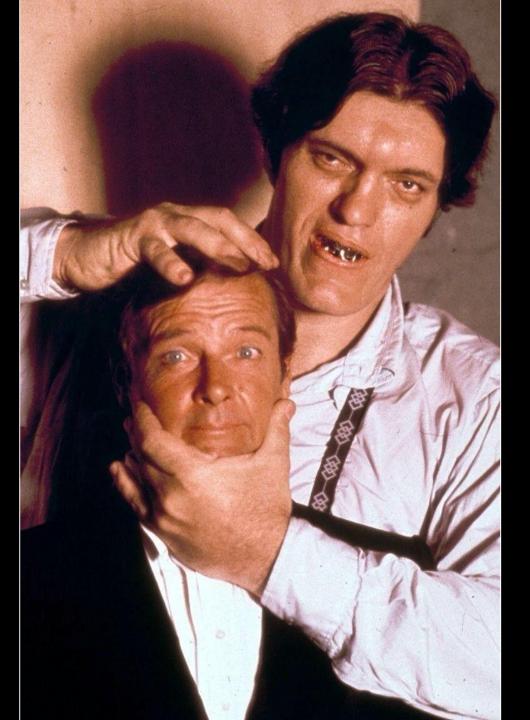




Conclusion

- Notion de physique étudiée : la pression
- La pression dans les films de James Bond :
 - La plongée sous-marine avec des bouteilles d'air sous pression.
 - Il est possible de rester une dizaine de minutes sous l'eau en respirant l'air contenu dans le pneu d'une voiture.
 - Les inventions du département Q sont inconcevables :
 - Le cigare oxygène
 - Le pistolet anti-requin pression beaucoup trop importante
 - L'accident de dépressurisation en avion dans Goldfinger n'est pas réaliste.
 - → Goldfinger ne devrait pas être aspiré et l'avion ne devrait pas se crasher.
- Sujets relatifs à la pression non traités dans cette présentation :
 - Accident de décompression en plongée sous-marine (scène du caisson hyperbare dans « Permis de Tuer »)
 - Utilisation des pipe-lines comme moyen de transport (« *Tuer n'est pas joué* »).







Saison 4 2021-2022

Cycle « Physique & Cinéma, édition spéciale 007 »

QUAND LES MÉCHANTS DE JAMES BOND FONT LEUR DÉMONSTRATION DE FORCE ...





Mardi 28/09/2021, de 18h15 à 19h45, amphi Fresnel