

**JE VEUX  
FLOTTER DANS  
LES AIRS COMME  
TOM CRUISE !**

**Module « Physique & Cinéma »  
Leçon 3**

Physique  
pour Tous !

**P&I** Faculté

de **physique et ingénierie**

Université de Strasbourg

**Jardin des sciences**

Université de Strasbourg

A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large, bright white screen at the far end of the stage. The word "Introduction" is centered on the screen in a black, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall atmosphere is quiet and focused.

# Introduction

# Introduction

---



**La momie (2017)**



# Introduction

---



Qu'est-ce que l'apesanteur ou  
impesanteur ?



# Introduction

---



Qu'est-ce que l'apesanteur ou  
impesanteur ?

**Tentative de réponse : absence d'attraction gravitationnelle**



# Introduction

---



Qu'est-ce que l'apesanteur ou  
impesanteur ?

**Tentative de réponse : absence d'attraction gravitationnelle**

**Notre définition : état dans lequel on ne ressent pas son propre poids**



# Introduction



Dans quelle(s) situation(s) ne ressent on plus son propre poids ?



1. Dans la station spatiale internationale (ISS)
2. Dans un ascenseur en chute libre
3. En vol, propulsé par une catapulte
4. Dans une voiture en plein saut



# Introduction

## Plan de la leçon d'aujourd'hui

### Partie 1 :

L'homme en apesanteur

### Partie 2 :

Comment être en apesanteur sur Terre ?



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white projection screen at the far end. The screen displays the text 'Partie 1 : l'homme en apesanteur' in a bold, red, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall atmosphere is dimly lit, typical of a cinema or theater setting.

**Partie 1 :**  
**l'homme en apesanteur**

A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white screen at the front. The screen displays the text "1. Se déplacer en apesanteur" in a black, sans-serif font. The theater walls are dark, and the lighting is focused on the screen and seats.

1. Se déplacer en  
apesanteur

# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---

Bilan des forces

**SUR TERRE**



Pourquoi Tom ne s'enfonce pas dans le sol ?



Poids



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

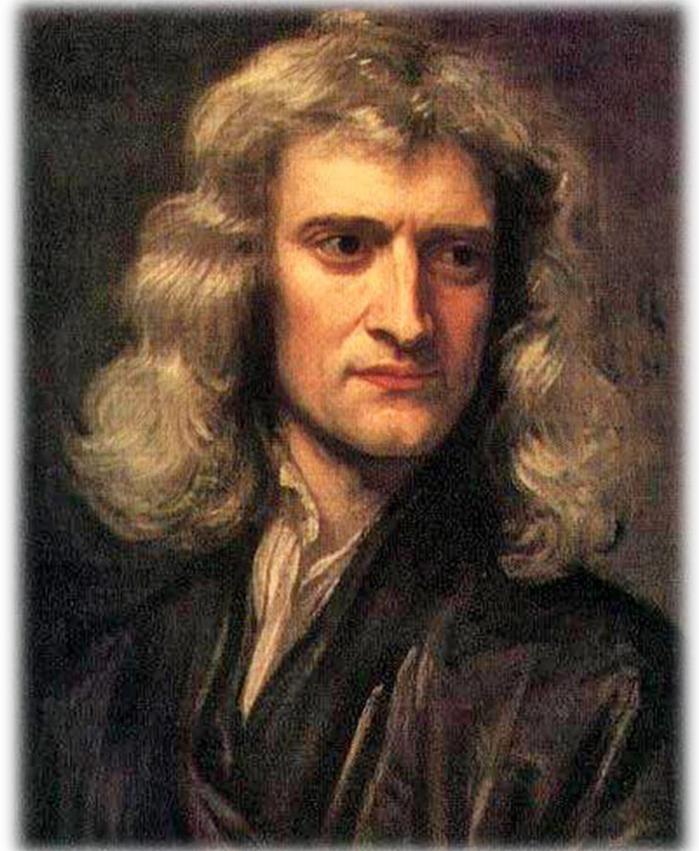
---

La loi d'action-réaction de Newton :

*« Tout corps A exerçant une force sur un corps B subit une force*

- de même direction,*
- de même intensité,*
- mais de sens opposé,*

*exercée par le corps B »*



Isaac Newton (1642 – 1727)



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---

Bilan des forces

**SUR TERRE**



Réaction du sol

Poids



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---

Bilan des forces

**EN APESANTEUR**



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---

Bilan des forces

**EN APESANTEUR**



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---

Marcher sur Terre

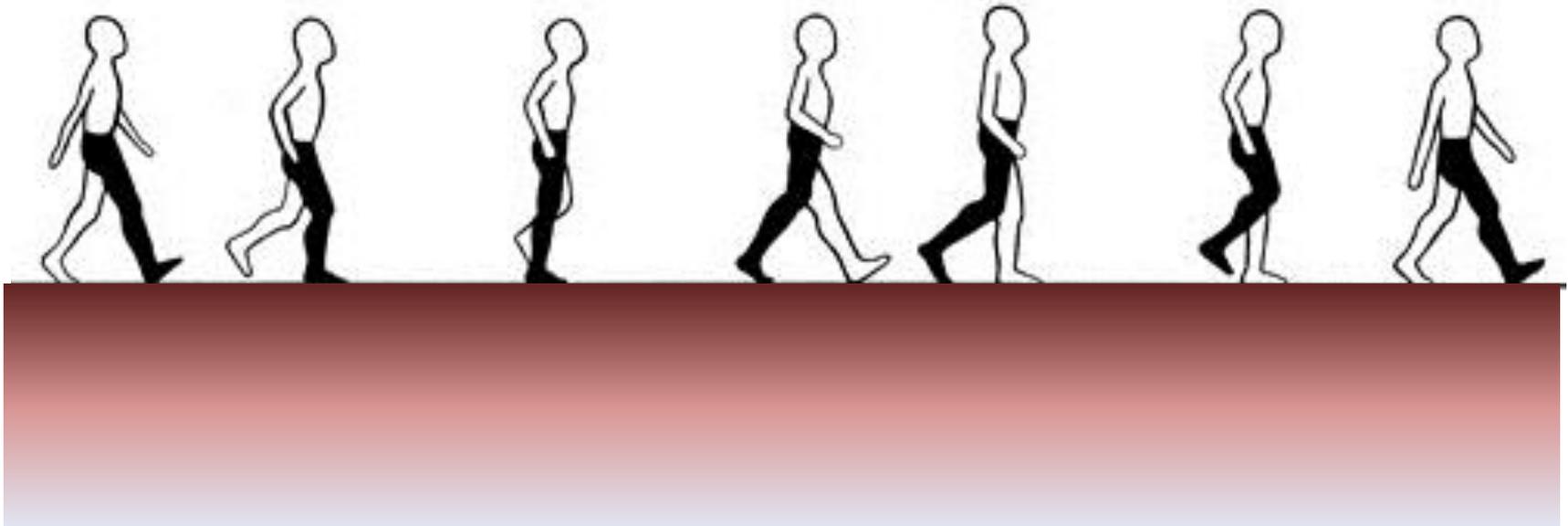


# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---

Marcher sur Terre

**SUR TERRE**

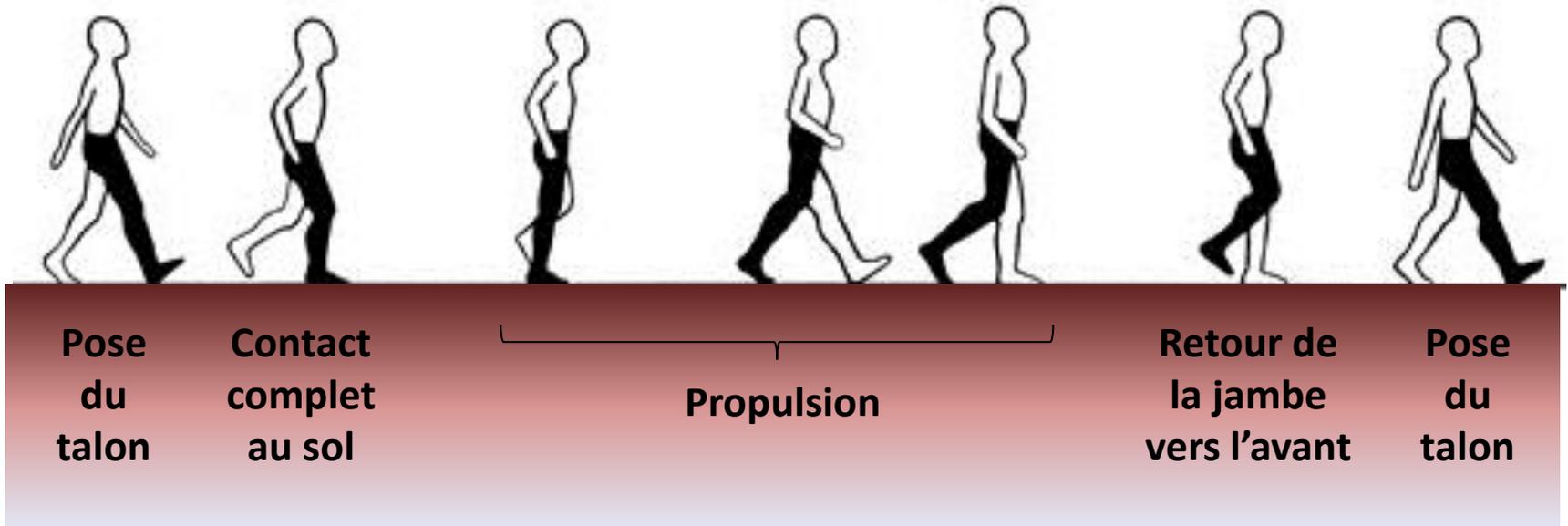


# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

Marcher sur Terre

**SUR TERRE**

Décomposition du mouvement :  
Les différentes phases pour la jambe droite

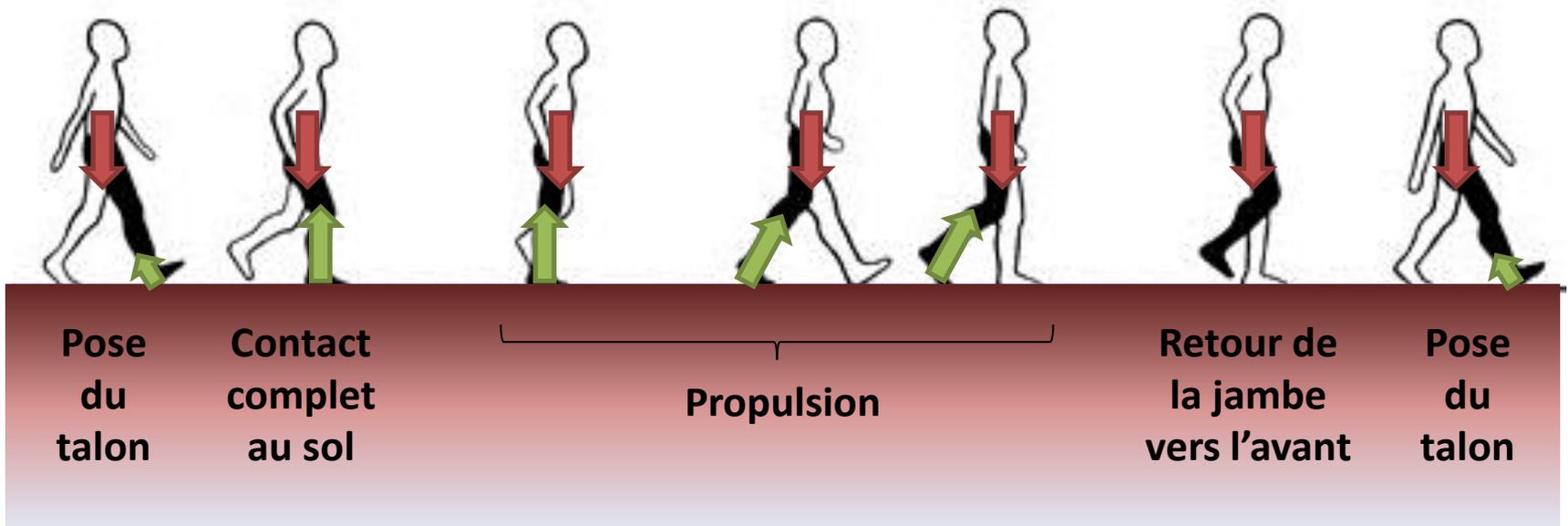


# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

Marcher sur Terre

**SUR TERRE**

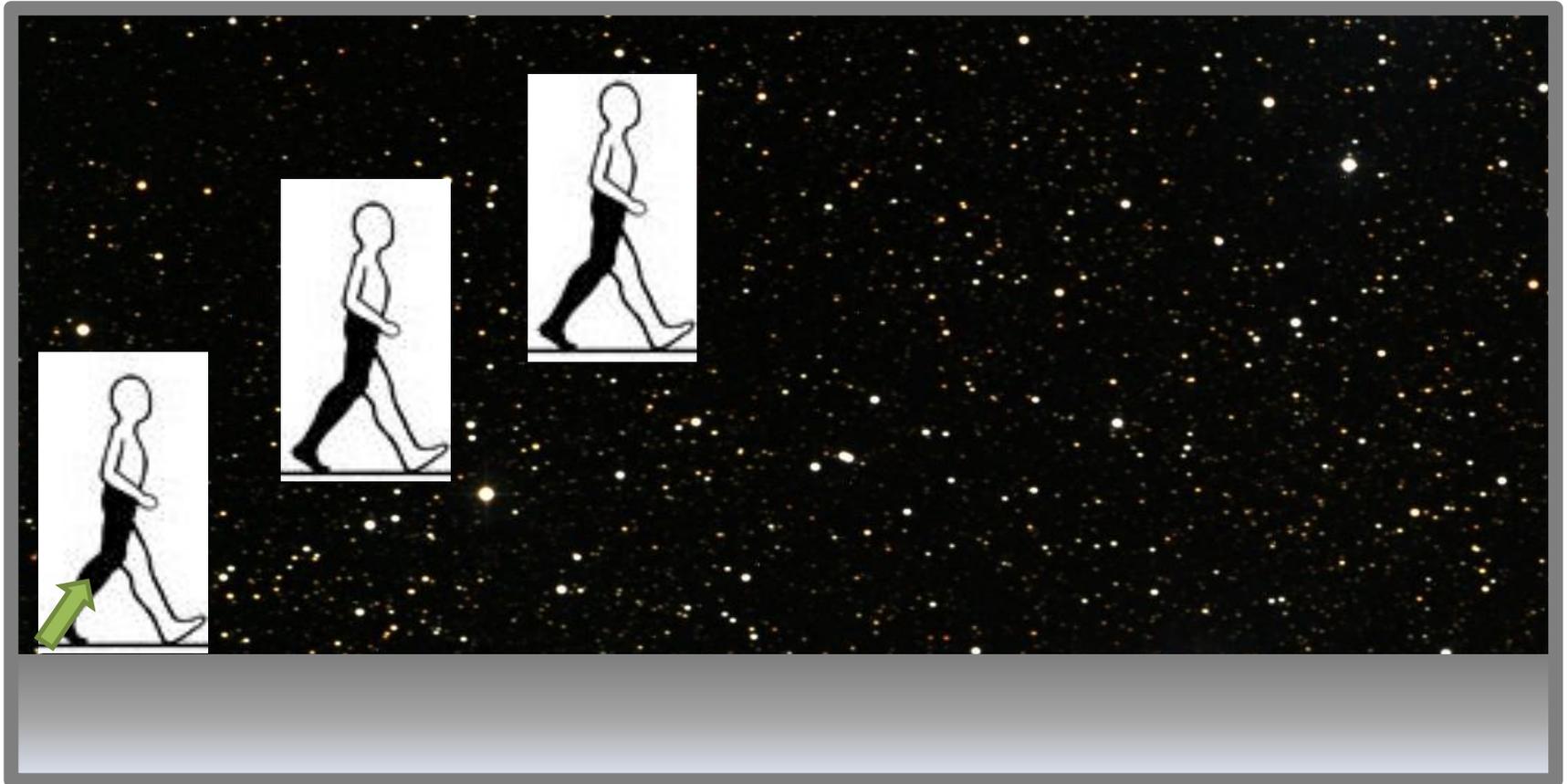
On utilise la réaction du sol et ses frottements  
+ gravité



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

Peut-on marcher en apesanteur ?

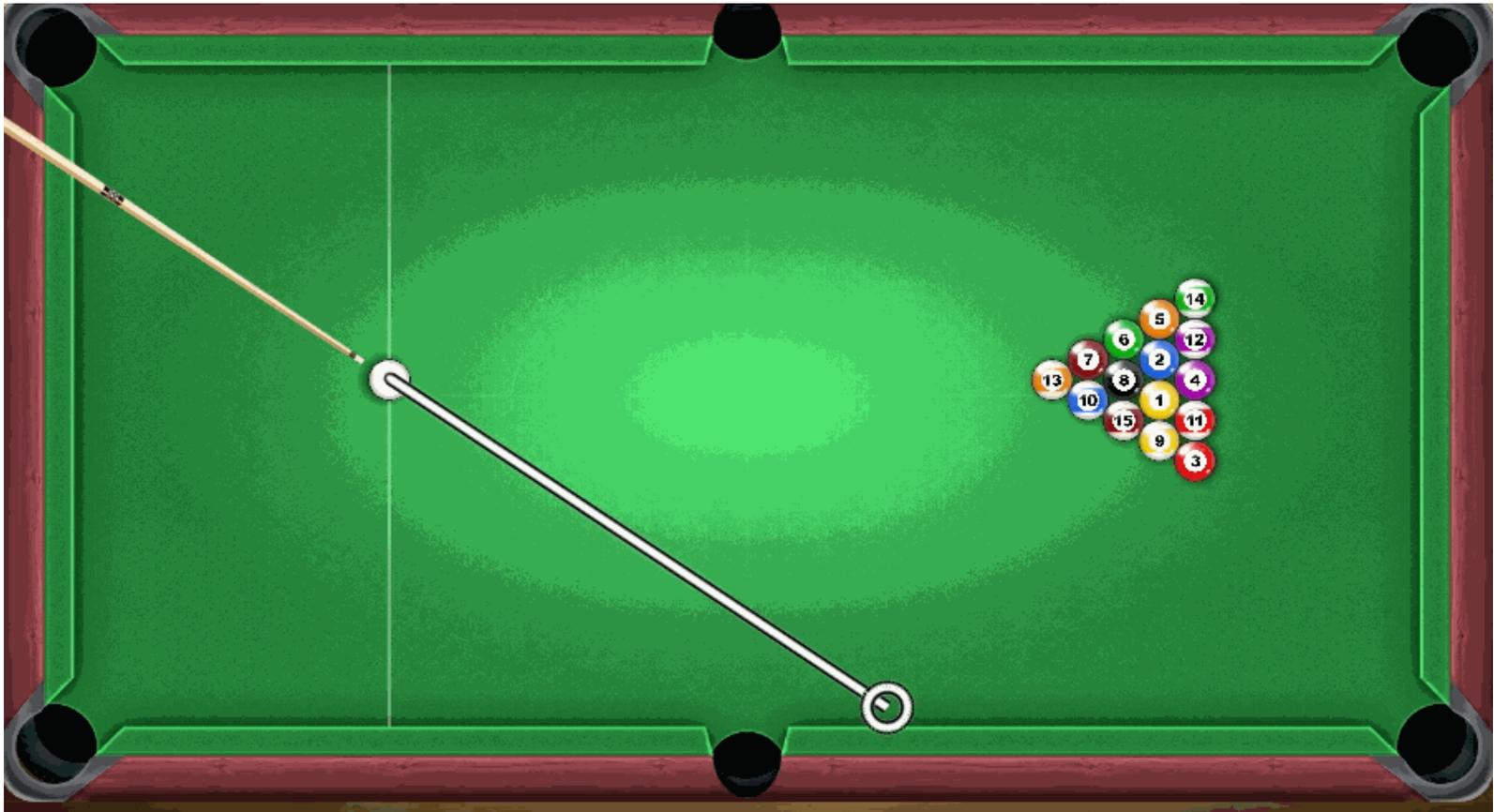
**EN APESANTEUR**



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---

Déplacement en état d'apesanteur



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---

## Déplacement en état d'apesanteur

On s'accroche à ce que l'on peut



Life (2017)



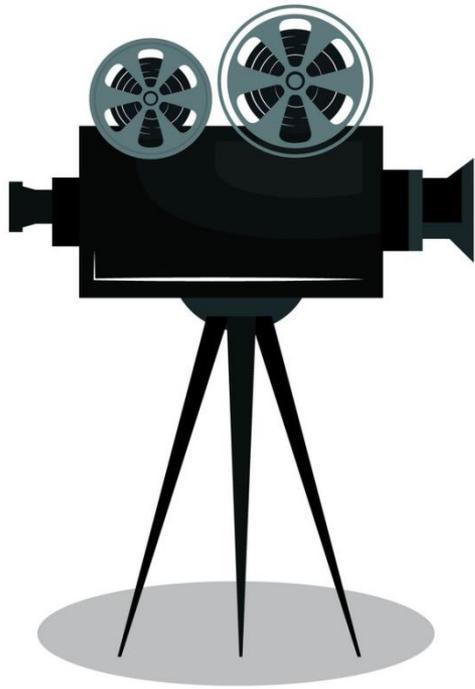
# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

S'immobiliser en état d'apesanteur



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---



Avatar (2009)



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---



**Pourquoi au cinéma, les personnages en apesanteur se déplacent au ralenti ?**



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---



**2001 l'odyssée de l'espace (1968)**



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---



**Moonraker (1979)**



# 1. Se déplacer en état d'apesanteur

---



**Les diamants sont éternels (1971)**



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a stage. A large, bright white screen is centered on the stage, displaying the text '2. Les liquides en apesanteur' in a black, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall lighting is dim, focusing on the screen.

## 2. Les liquides en apesanteur

## 2. Les liquides en apesanteur

---

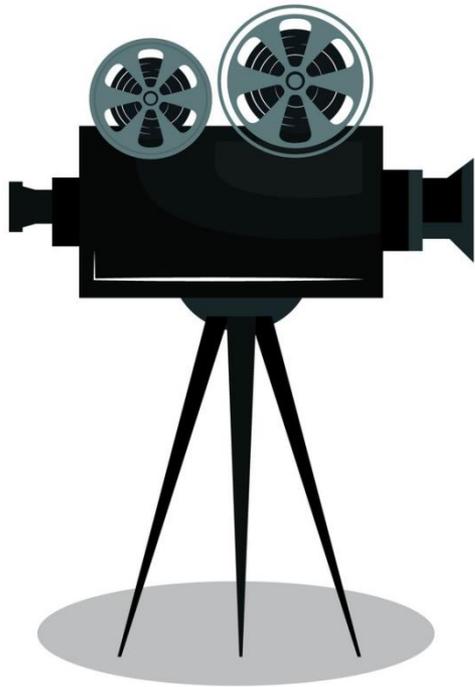


**Mission to Mars (2000)**



## 2. Les liquides en apesanteur

---



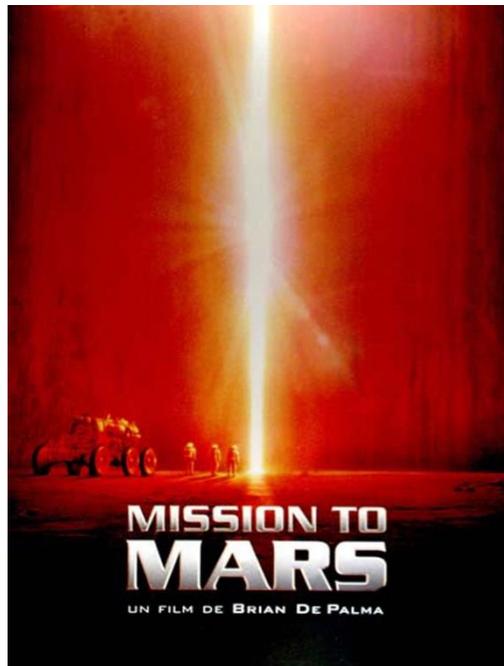
**Apollo 13 (1995)**



## 2. Les liquides en apesanteur

**QUIZZ!**

Parmi ces deux films lequel a été tourné en apesanteur ?



**Mission to Mars**

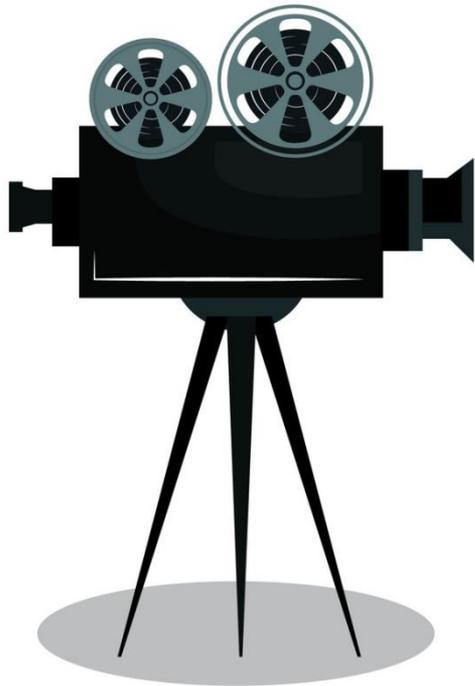


**Apollo 13**



## 2. Les liquides en apesanteur

---



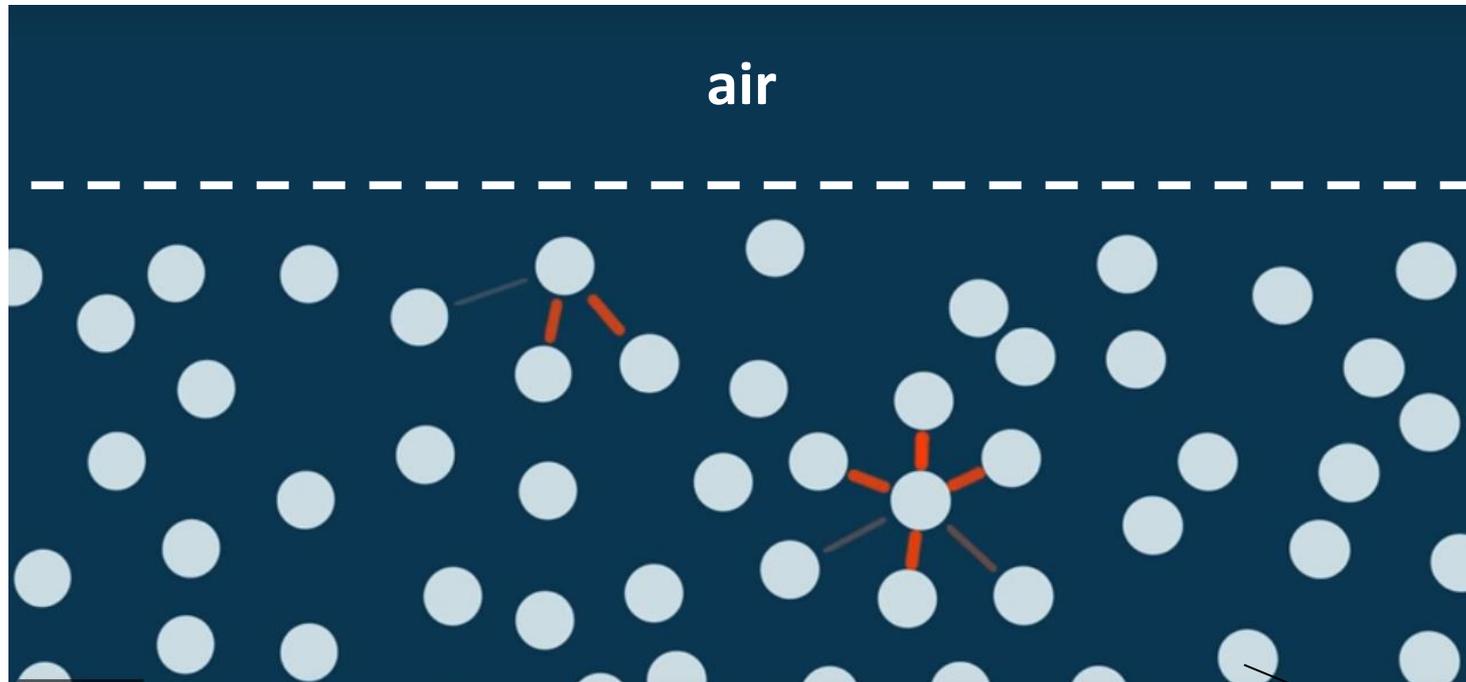
**Documentaire sur ISS, Scott Kelly (2016)**



## 2. Les liquides en apesanteur

---

Les molécules d'eau préfèrent être entourées de molécules d'eau.



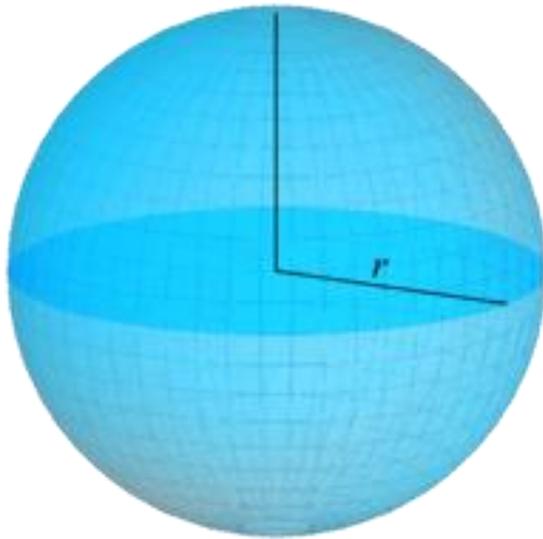
molécules d'eau



## 2. Les liquides en apesanteur

Les molécules d'eau vont occuper un volume qui minimise la surface avec l'air.

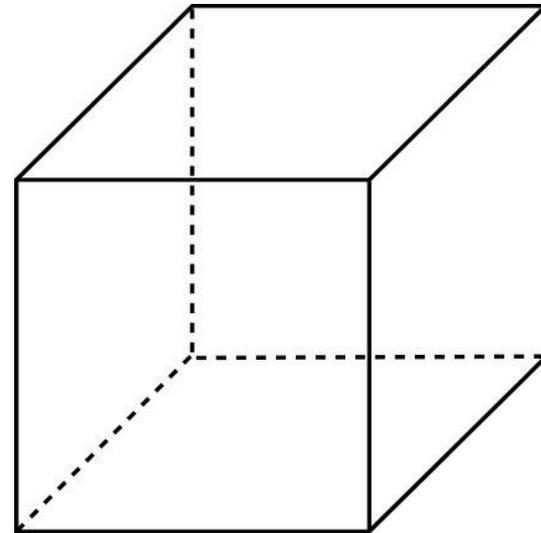
Pour un volume de  $1 \text{ cm}^3$



rayon =  $0,6 \text{ cm}$



surface =  $4,8 \text{ cm}^2$



côté =  $1,0 \text{ cm}$



surface =  $6,0 \text{ cm}^2$



## 2. Les liquides en apesanteur

---

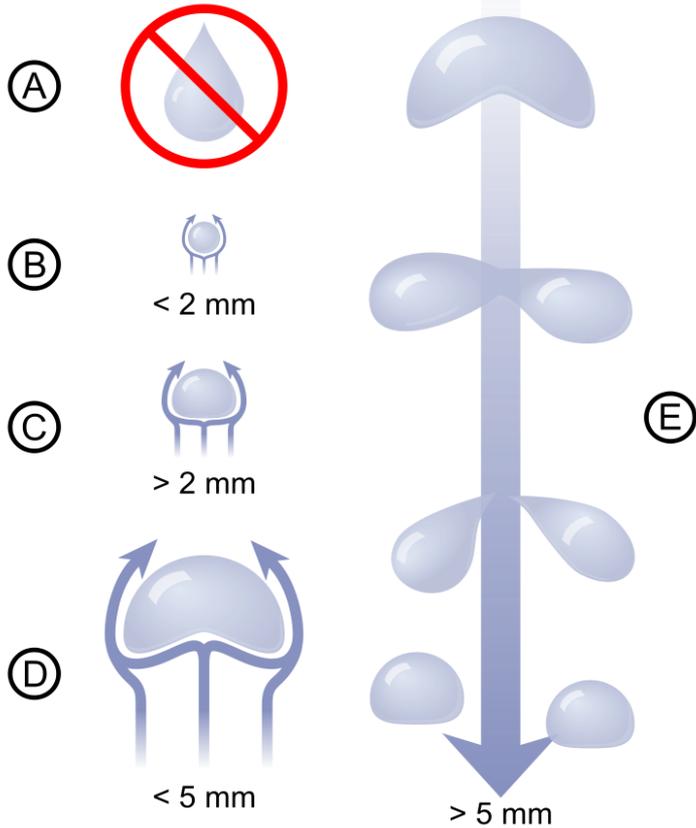
Du point de vue macroscopique, tout se passe comme si une force maintient la géométrie du liquide : **la tension superficielle**



# 2. Les liquides en apesanteur

Sur Terre : gravité

En apesanteur



## 2. Les liquides en apesanteur



Erreur classique du  
cinéma :

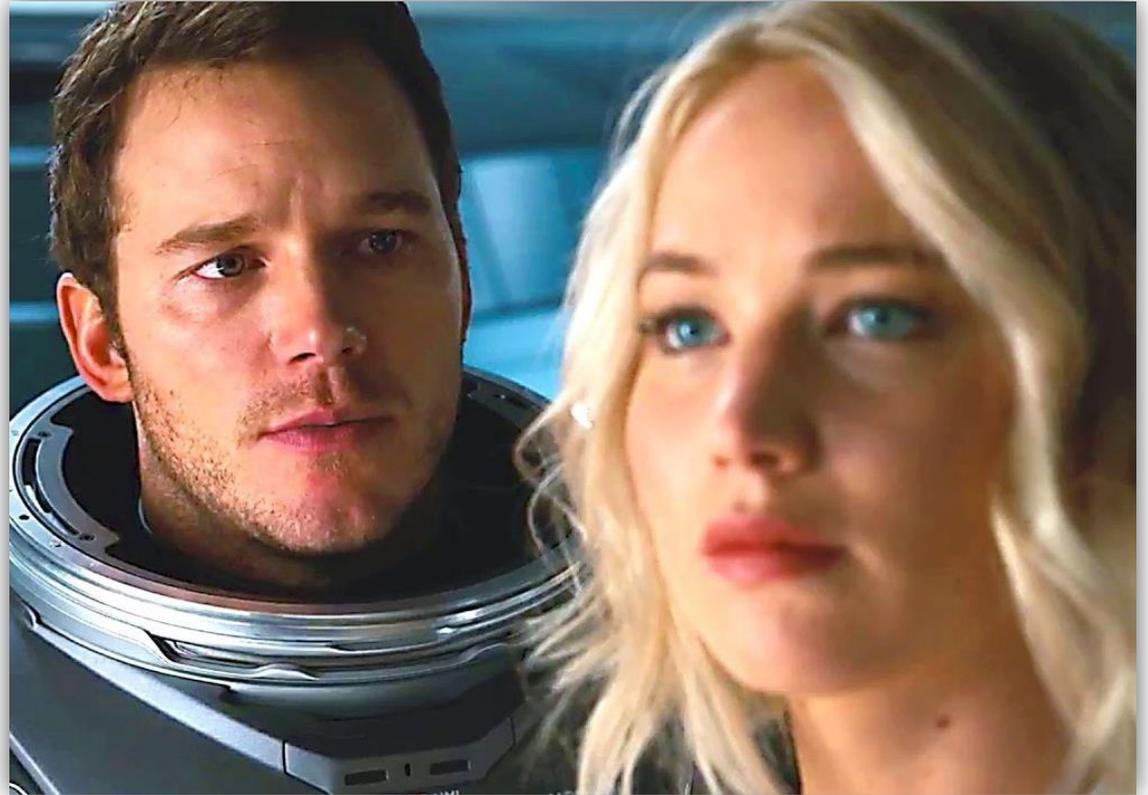
Pas de lévitation de  
liquide

On a marché  
sur la Lune  
(1953)



## 2. Les liquides en apesanteur

---

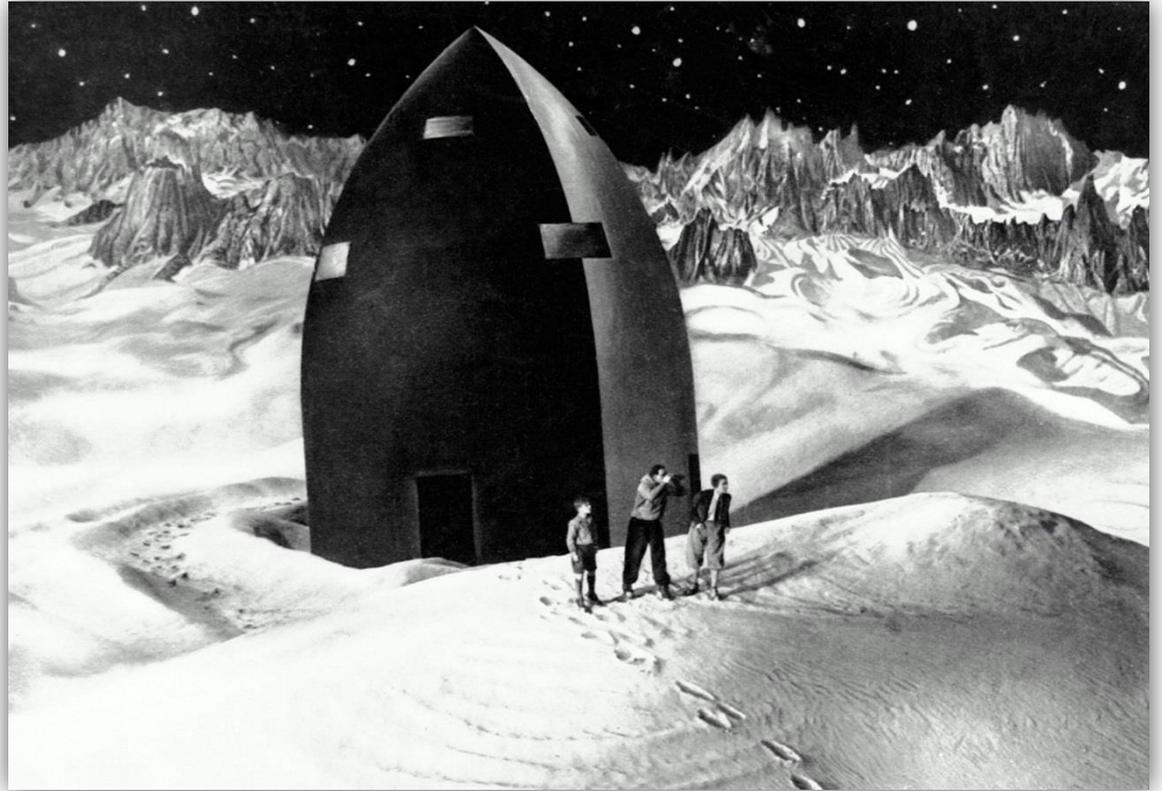
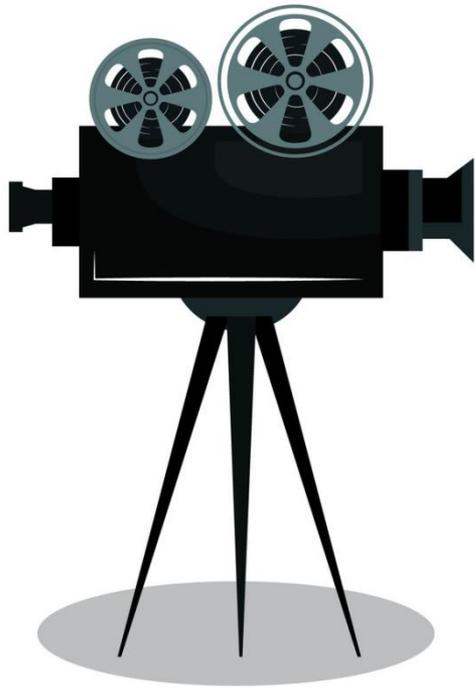


**Passengers (2016)**



## 2. Les liquides en apesanteur

---



**La femme sur la Lune (1929)**



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a stage. A large white screen is positioned at the front of the theater, displaying the text "3. Effets de l'apesanteur sur le corps humain" in black font. The theater walls are dark, and the lighting is focused on the screen and seats.

### 3. Effets de l'apesanteur sur le corps humain

# 3. Effets de l'apesanteur sur l'homme

---

**Brain-  
storming**

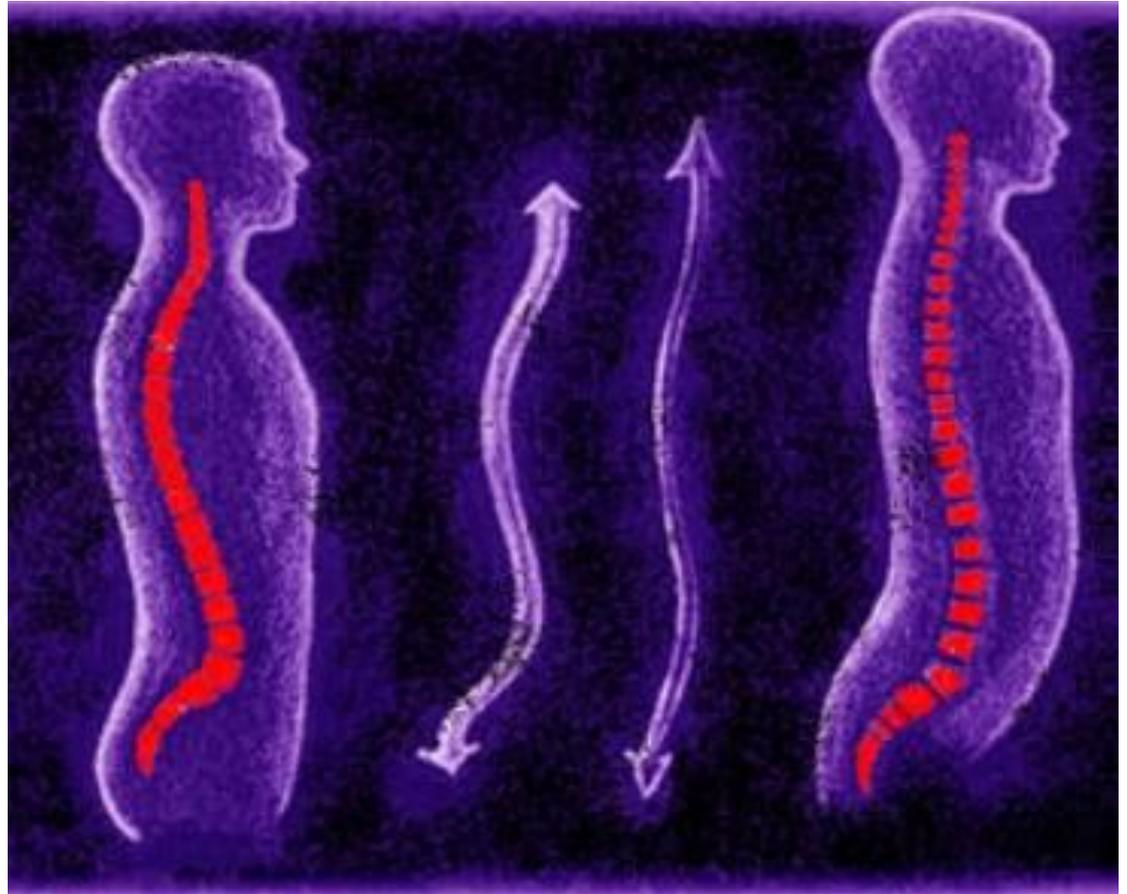
Quels sont les effets de  
l'apesanteur sur le corps humain ?



# 3. Effets de l'apesanteur sur l'homme

En apesanteur, on grandit !

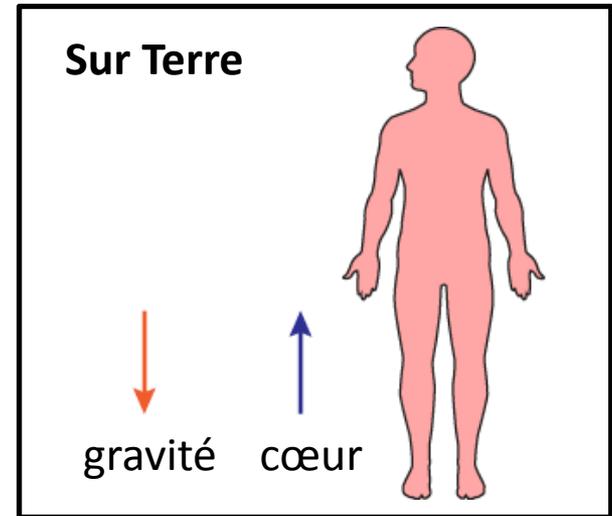
- La colonne vertébrale n'est plus soumise à la gravité.
- Elle s'étire
- Les astronautes gagnent quelques centimètres.



# 3. Effets de l'apesanteur sur l'homme

## Effets sur la circulation sanguine

- Sur Terre, le sang a naturellement tendance à rester en bas du corps. Le cœur pompe le sang pour l'envoyer dans la totalité du corps.



# 3. Effets de l'apesanteur sur l'homme

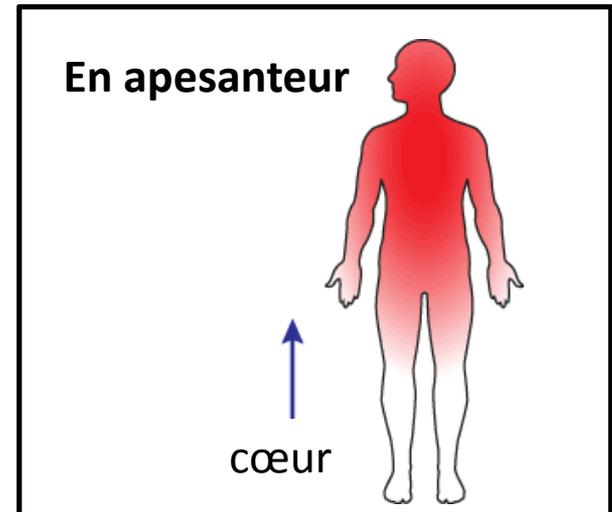
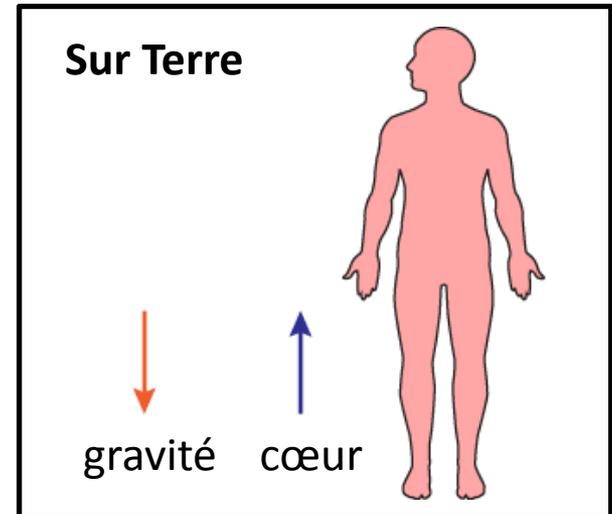
## Effets sur la circulation sanguine

- Sur Terre, le sang a naturellement tendance à rester en bas du corps. Le cœur pompe le sang pour l'envoyer dans la totalité du corps.
- En apesanteur, le sang a naturellement tendance à se répartir uniformément dans le corps. Le cœur continue son travail : 1 L et  $\frac{1}{2}$  de sang passe de la moitié inférieure à la moitié supérieure.

Le visage devient bouffi, le cou s'épaissit et malheureusement les jambes s'amincissent.

Le corps comprendra qu'il y a une augmentation du volume sanguin et réagira :

- Diminution de la production sanguine et des globules rouges (anémie)
- Elimination des excédents par l'urine



# 3. Effets de l'apesanteur sur l'homme

---

## Effets sur la structure musculaire

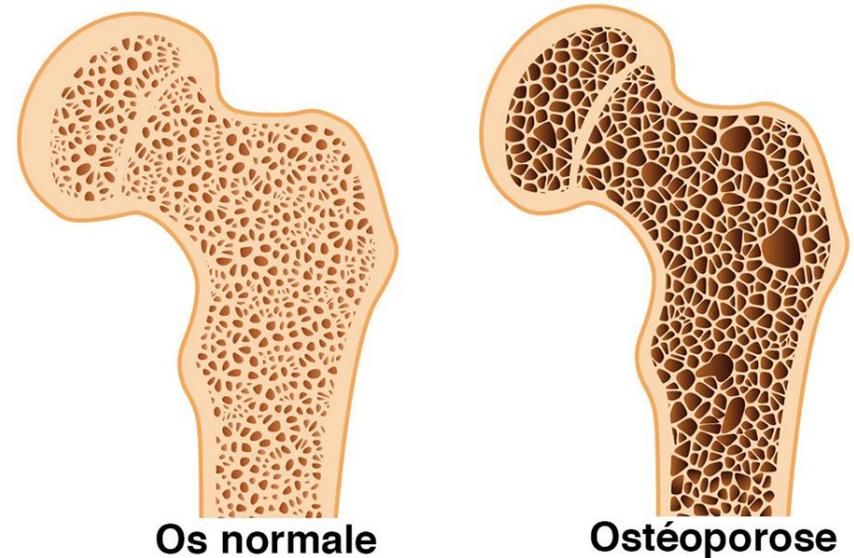
- Parmi les 639 muscles du corps humain, **60% de ces muscles** luttent en permanence contre la gravité.
- En apesanteur, ces muscles ne sont pas trop sollicités → ils s'atrophient : **perte de 20% de masse musculaire** en 10 jours si on ne fait rien.
- Un astronaute est obligé de faire des **exercices physiques réguliers**. Pendant un voyage de 6 mois, un astronaute perd 20% de sa masse musculaire.



# 3. Effets de l'apesanteur sur l'homme

## Effets sur la structure osseuse

- Sur Terre, les os sont soumis à la gravité et sont sans cesse renouvelés.
- En apesanteur, les os sont moins sollicités :
  - Décalcification des os
  - Réduction des tissus osseux en particulier dans la partie inférieure du corps : 1,5% en moins par mois.
- Les os deviennent fragiles et le risque de fracture augmente. Les astronautes souffrent alors d'ostéoporose.



Au retour sur Terre, les os mettent plusieurs années pour remettre en état.  
4 mois dans l'espace = 3 ans de rétablissement



# 3. Effets de l'apesanteur sur l'homme

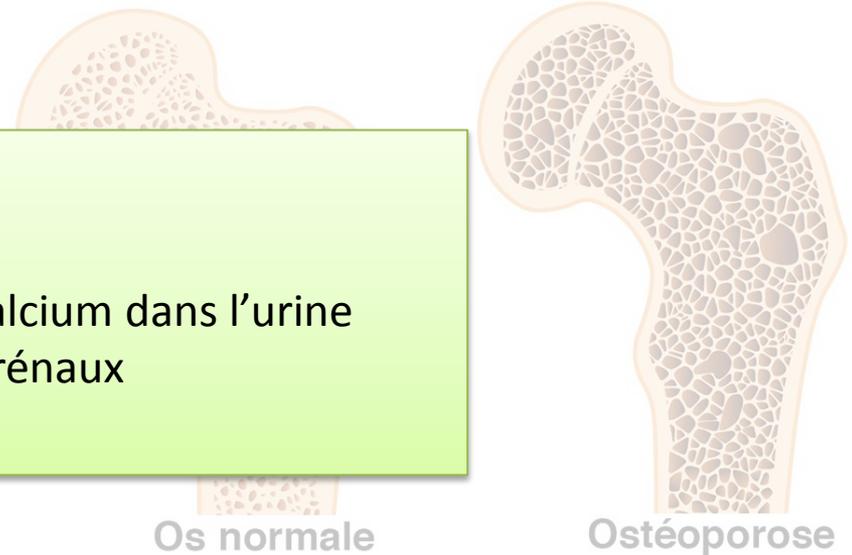
## Effets sur la structure osseuse

- Sur Terre, les os sont soumis à la gravité et sont sans cesse remodelés.
- En apesanteur,
  - Décalcification
  - Réduction de la densité osseuse, particulièrement dans les os du squelette axial : 1,5% par mois.

Décalcification rapide

→ grande quantité de calcium dans l'urine

→ possibilité de calculs rénaux



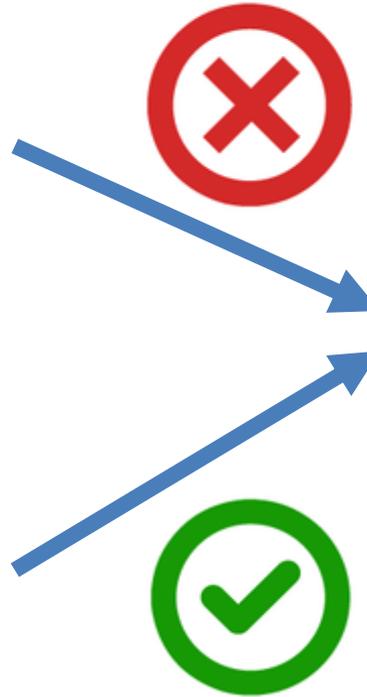
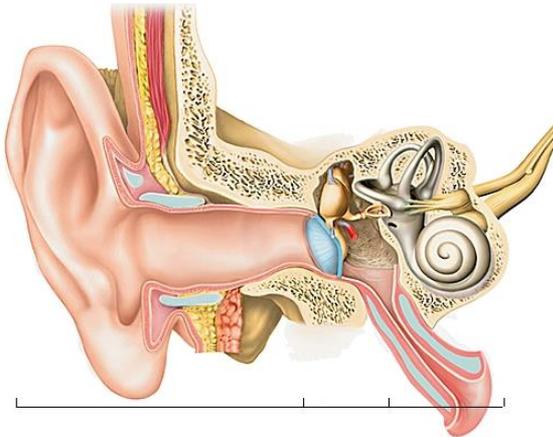
- Les os deviennent fragiles et le risque de fracture augmente. Les astronautes souffrent alors d'ostéoporose.

Au retour sur Terre, les os mettent plusieurs années pour remettre en état.  
4 mois dans l'espace = 3 ans de rétablissement

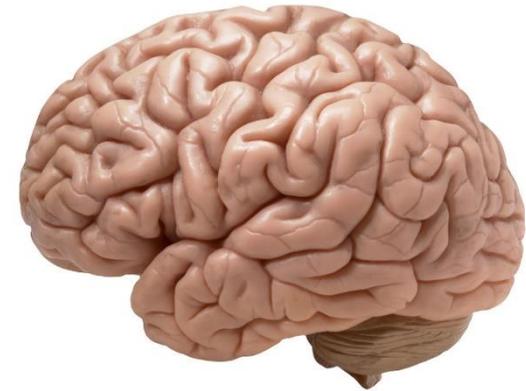


# 3. Effets de l'apesanteur sur l'homme

Mal de l'espace



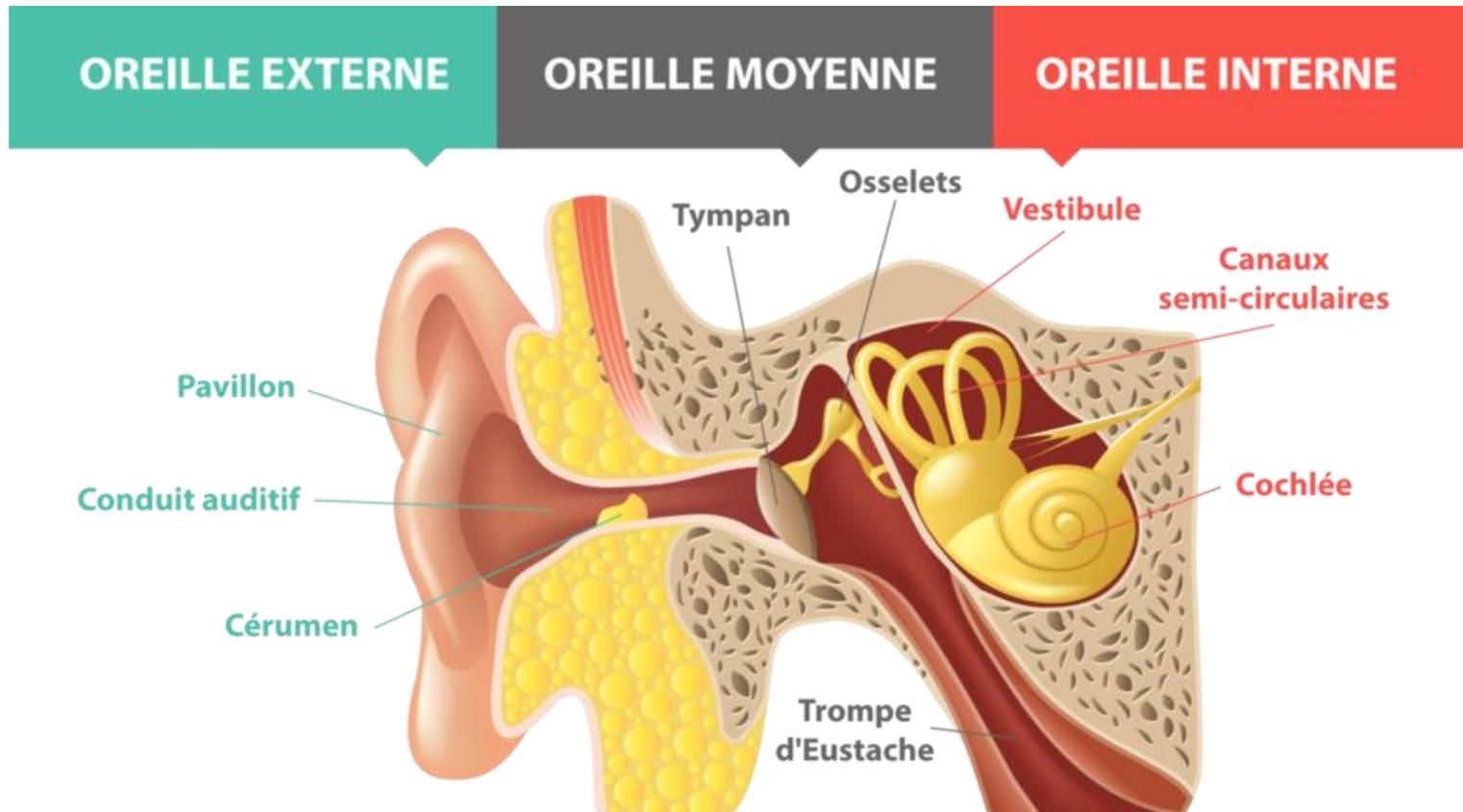
Phénomène similaire au mal des transports



# 3. Effets de l'apesanteur sur l'homme

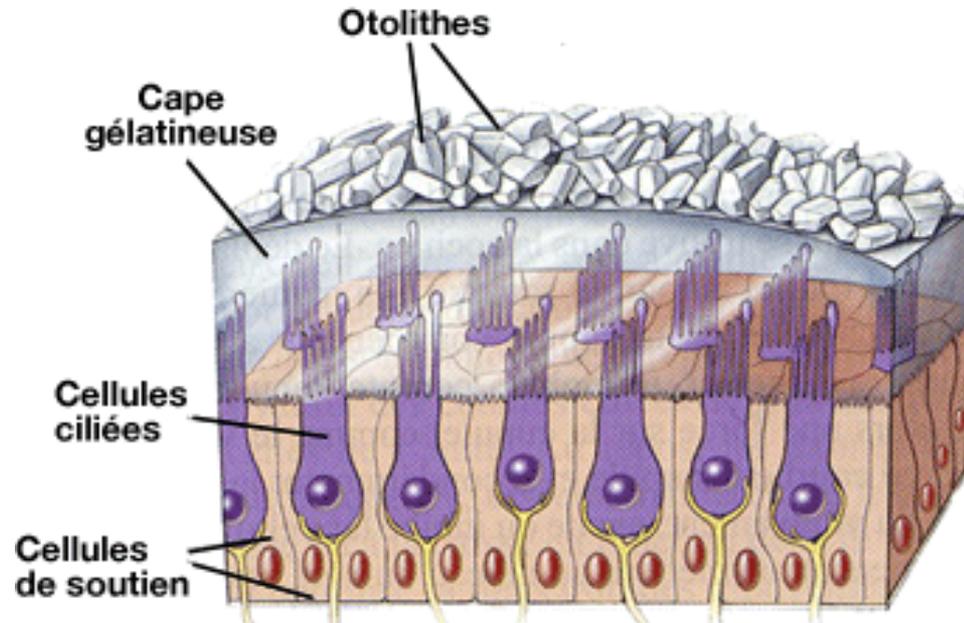
Mal de l'espace

**Organe de l'équilibre**  
= informe le cerveau sur la position  
et les déplacements de la tête



# 3. Effets de l'apesanteur sur l'homme

Mal de l'espace

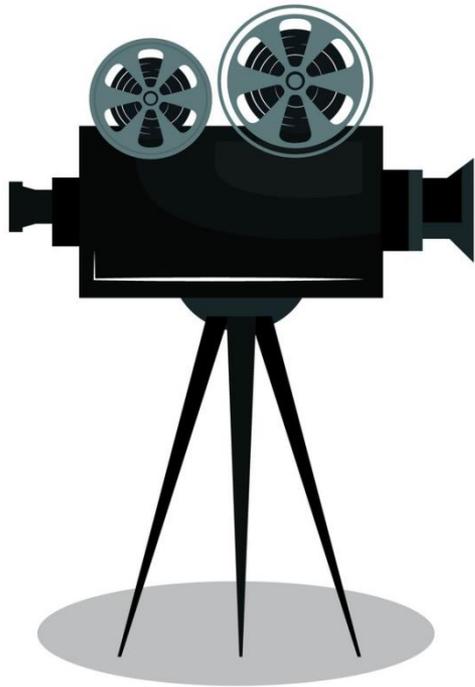


- Sur Terre, les cristaux prennent appui sur les cils.  
Tourner la tête → mouvement des cristaux → orientation des cils → envoi des infos au cerveau
- En apesanteur, les cristaux ne s'appuient plus sur les cils.  
Tourner la tête → les cristaux ne bougent pas



# 3. Effets de l'apesanteur sur l'homme

---



**Armageddon (1998)**



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of plush, red upholstered seats, receding towards a stage. The stage is dark, and a large, bright white screen is centered at the front. The screen displays the text 'Partie 2 : comment reproduire l'apesanteur sur Terre ?' in a bold, red, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall atmosphere is that of a quiet, empty cinema or lecture hall.

**Partie 2 :**  
**comment reproduire**  
**l'apesanteur sur Terre ?**

# Reproduire l'apesanteur sur Terre ?

Trouver une action contraire à la pesanteur



Il faut trouver une action mécanique qui s'oppose au poids et le compense.

Sur la photo : l'action du câble sur Tom Cruise permet de le faire flotter dans les airs.

Tournage de  
Mission  
Impossible 6

Peut-on faire mieux ?



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white projection screen at the far end. The screen displays the text '4. L'apesanteur en piscine' in a black, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall atmosphere is dimly lit, typical of a cinema or theater setting.

## 4. L'apesanteur en piscine

# 4. L'apesanteur en piscine

Souvenir de vacances ....

« L'étoile de mer » à la piscine  
(**eau douce**)



Lecture du journal sur la mer Noire  
(**eau salée** avec une salinité de 27%)



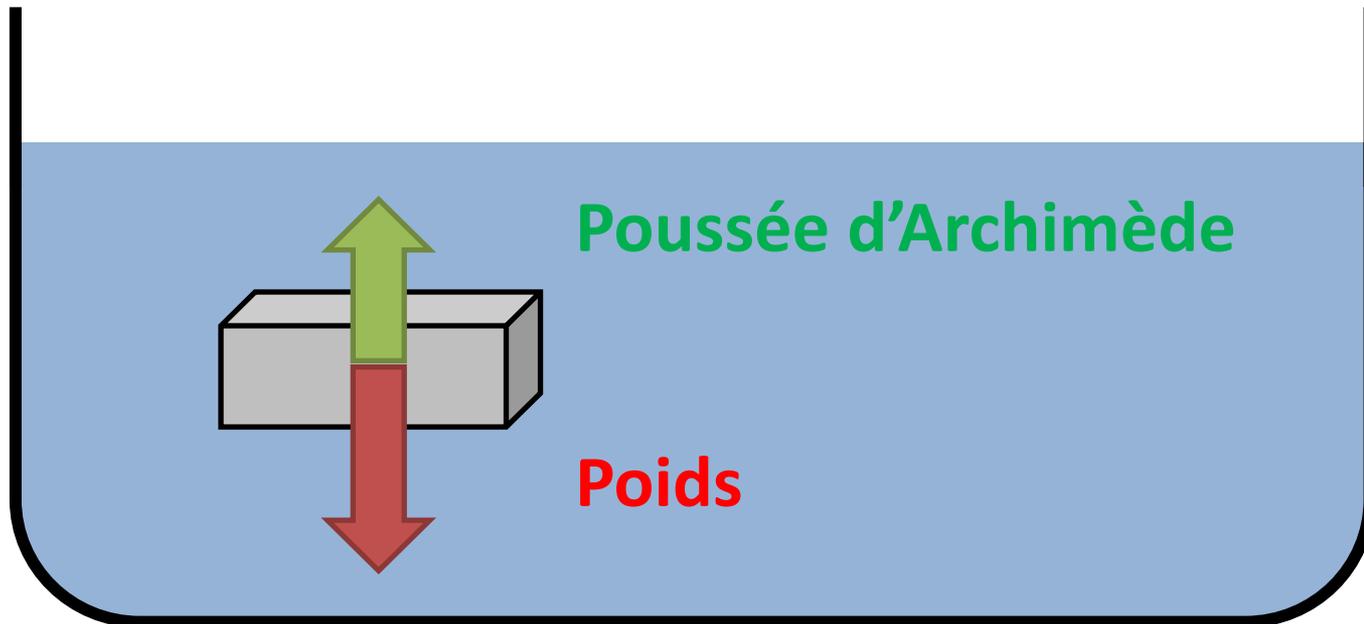
# 4. L'apesanteur en piscine

La poussée d'Archimède



# 4. L'apesanteur en piscine

La poussée d'Archimède

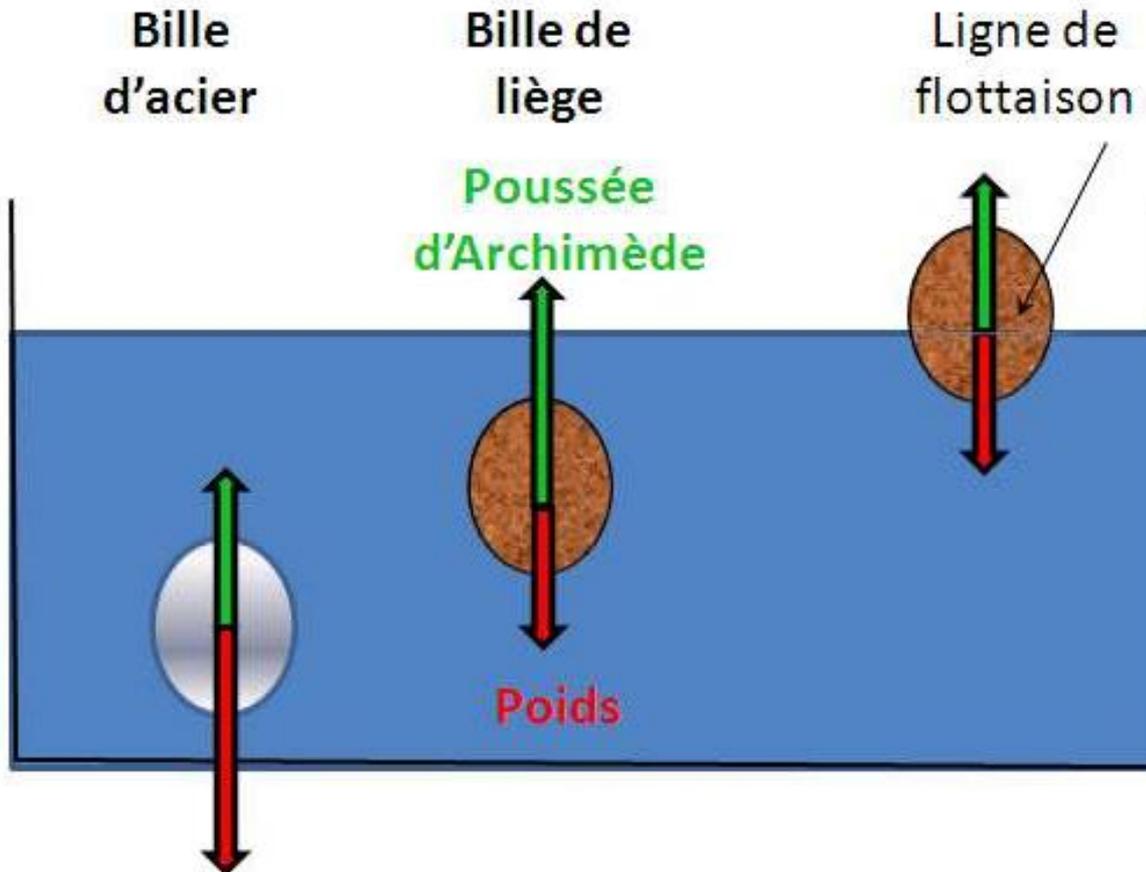


On peut définir le **poids apparent = poids – poussée d'Archimède**  
Pour simuler l'apesanteur, il faut un poids apparent nul.



# 4. L'apesanteur en piscine

La poussée d'Archimède et la flottaison : variation de la masse



Qu'est-ce qui diffère dans les 3 cas ?



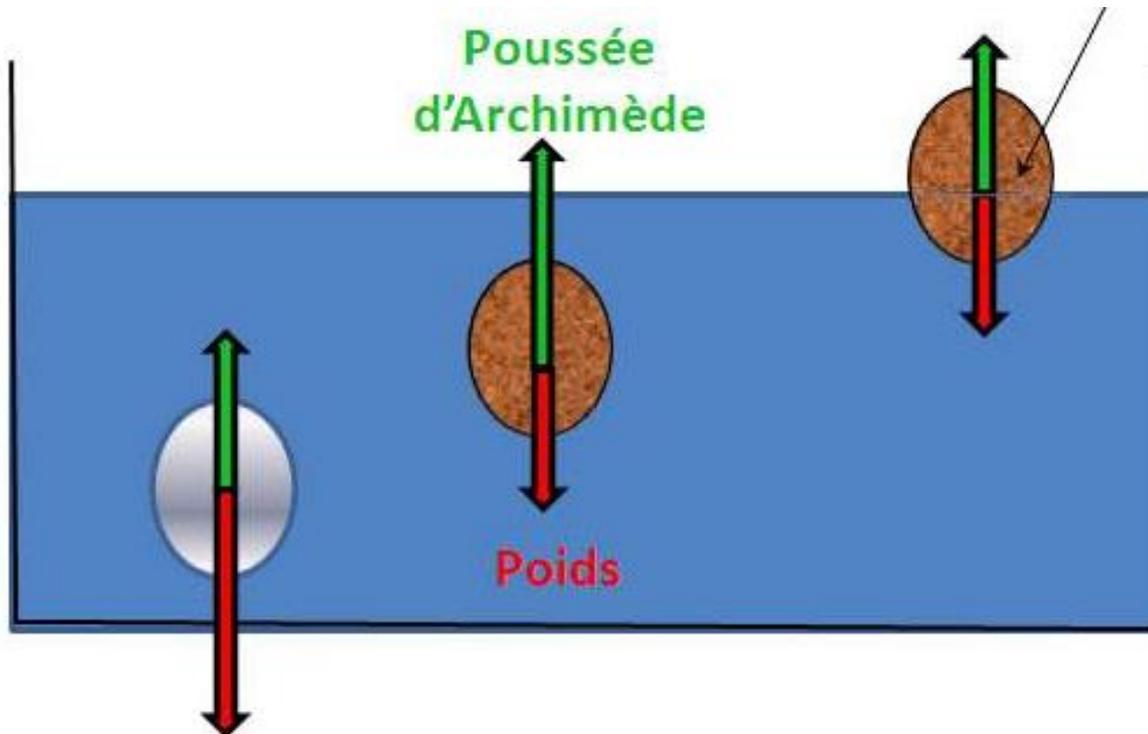
# 4. L'apesanteur en piscine

La poussée d'Archimède et la flottaison : variation de la masse

Densité de l'objet  
inférieure à la  
densité de l'eau

Densité de l'objet  
égale à la  
densité de l'eau

Densité de l'objet  
supérieure à la  
densité de l'eau



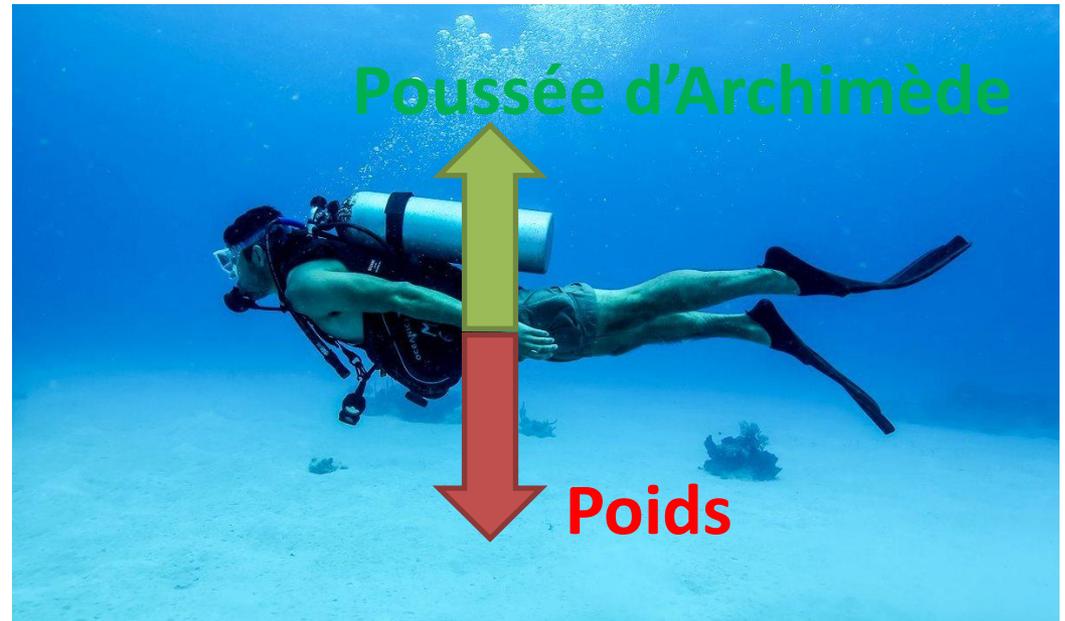
Qu'est-ce qui  
diffère dans les  
3 cas ?

La densité



# 4. L'apesanteur en piscine

Exemple d'un plongeur

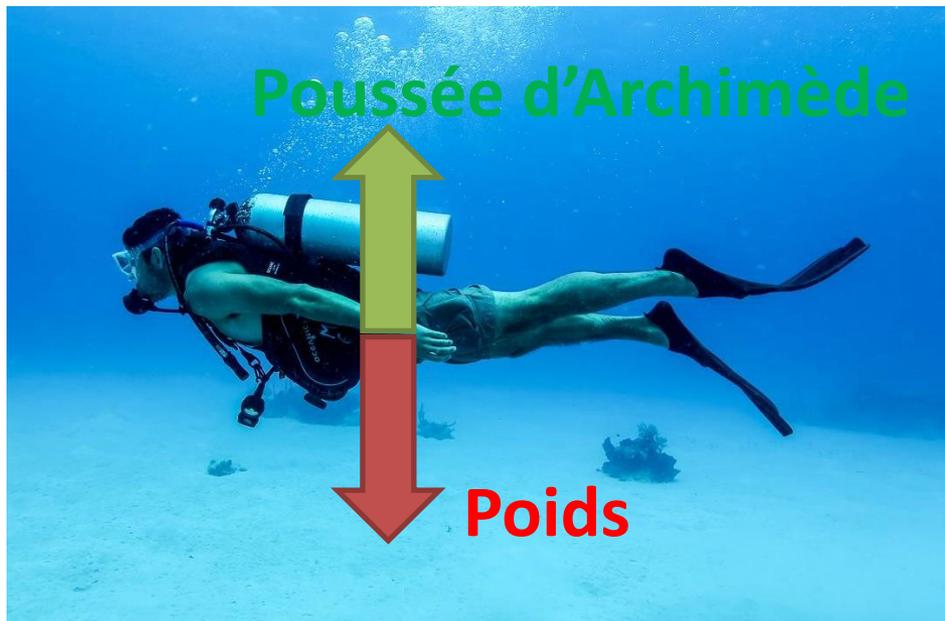


Poids apparent nul : équilibre



# 4. L'apesanteur en piscine

Exemple d'un plongeur



Poids apparent nul : équilibre

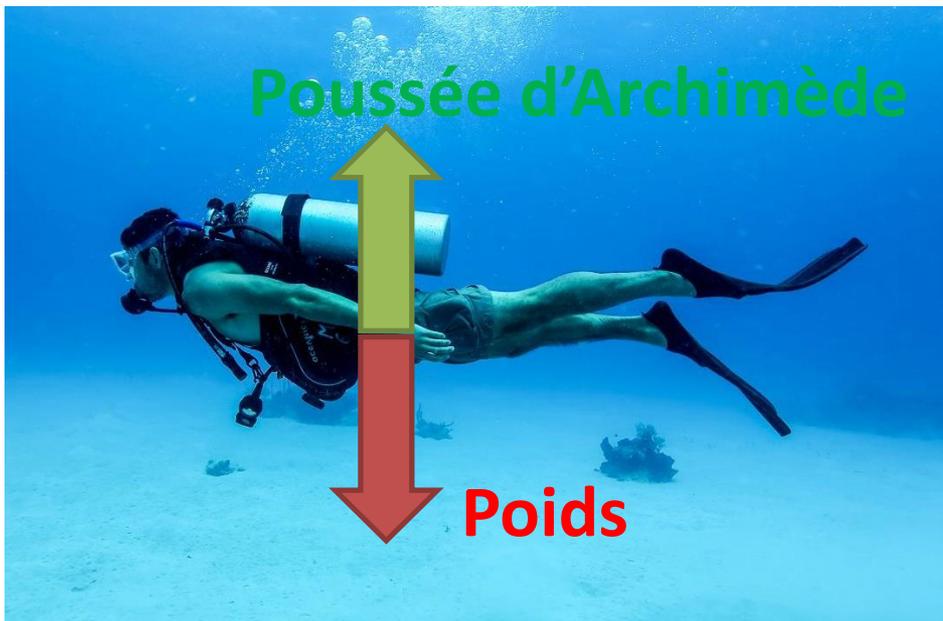
**Utilisation du gilet stabilisateur :**

- Gonflé : densité diminue  
→ poussée d'Archimède augmente
- Dégonflé : densité augmente  
→ poussée d'Archimède diminue



# 4. L'apesanteur en piscine

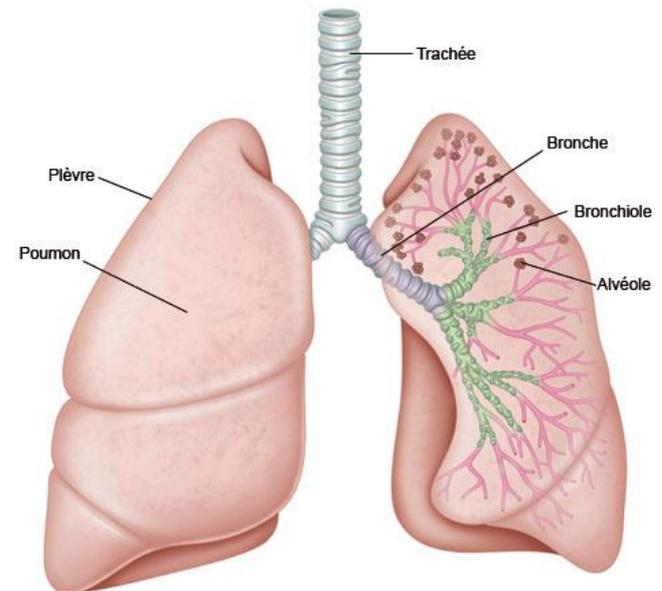
## Exemple d'un plongeur



Poids apparent nul : équilibre

## Utilisation des poumons

- Remplir ses poumons d'air : densité diminue  
→ poussée d'Archimède augmente
- Vider ses poumons d'air : densité augmente  
→ poussée d'Archimède diminue



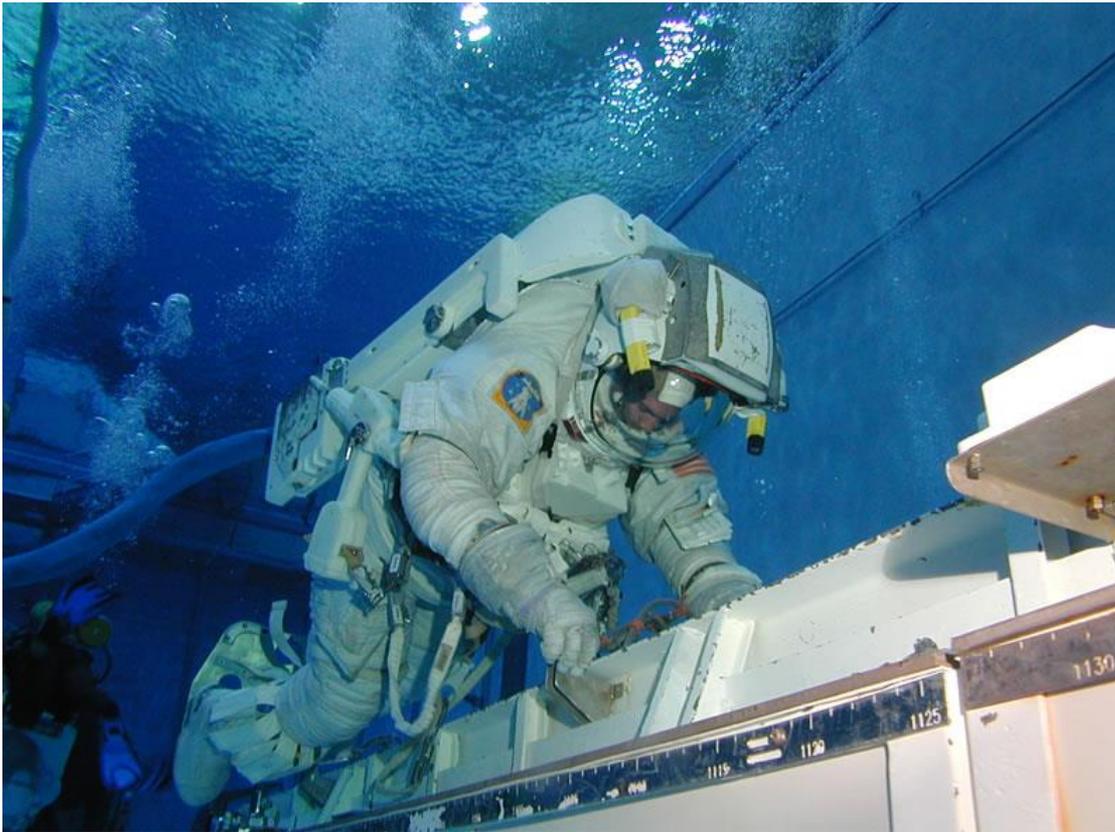
# 4. L'apesanteur en piscine

Entraînement de la NASA : Houston Texas



# 4. L'apesanteur en piscine

Entraînement de la NASA : Houston Texas



**Dimension de la piscine :**

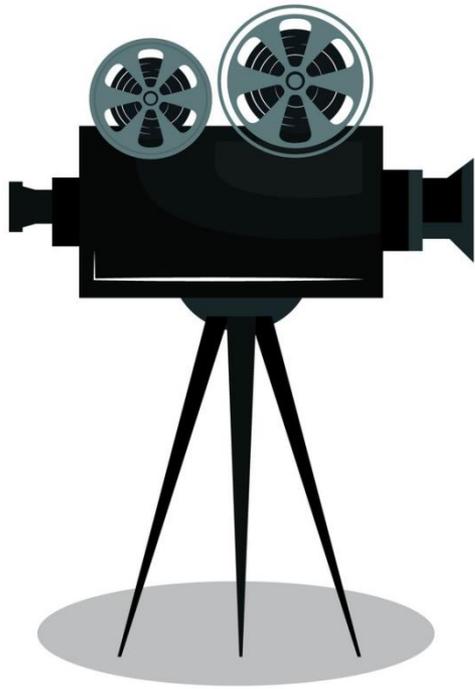
- 61 m de largeur
- 31 m de longueur
- 12 m de profondeur

*Surface légèrement plus grande qu'une piscine olympique mais plus profonde*

**23,5 millions de litres d'eau maintenue entre 27 et 30°C**



# 4. L'apesanteur en piscine



Armageddon (1998)



## 2. Les liquides en apesanteur



Que faut il donner aux astronautes qui s'entraînent en piscine pour compenser leur poids ?



1. Un gilet stabilisateur
2. Du lest
3. Une bouée
4. Un tuba



# 4. L'apesanteur en piscine

## Entraînement de la NASA : Houston Texas



- Un astronaute en combinaison a une masse de **200 kg**. Il est inséré dans le bassin à l'aide d'un palan.
- La combinaison de l'astronaute comporte de **l'air pressuré** : naturellement sa densité est plus faible que celle de l'eau donc l'astronaute flotte.
- Il faut l'alourdir avec **des poids** pour avoir un poids apparent nul.



# 4. L'apesanteur en piscine

## Inconvénients de la méthode de la « piscine » :

- **Aucun effet de l'apesanteur sur le corps humain ressenti (circulation du sang, mal de l'espace, ...)**
- **Présence du poids des objets à manipuler**
- **Présence d'une force de frottement plus importante**



## Utilisation pour dans le tournage de film de cinéma ?

**Non pas vraiment**



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white screen at the back. The screen displays the text '5. L'apesanteur dans un ascenseur' in a black, sans-serif font. The theater walls are dark, and the lighting is focused on the screen and seats.

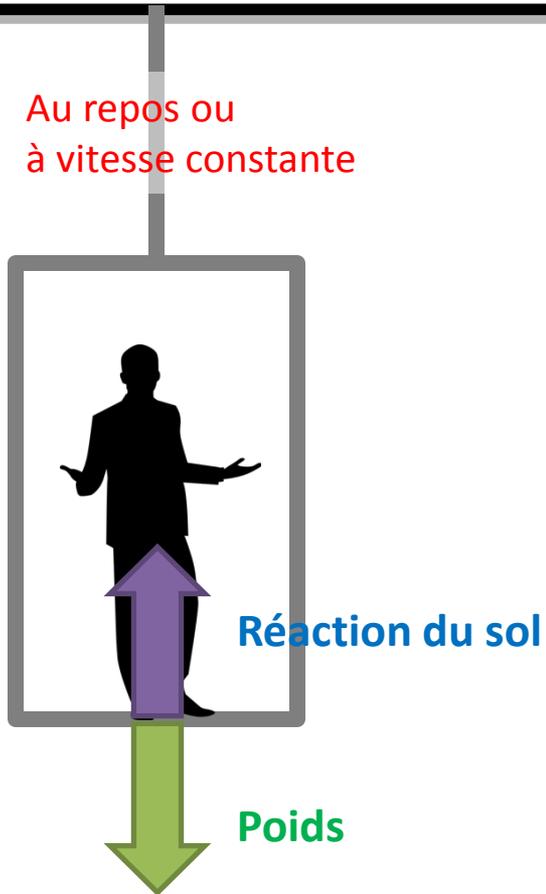
## 5. L'apesanteur dans un ascenseur

# 5. L'apesanteur dans un ascenseur

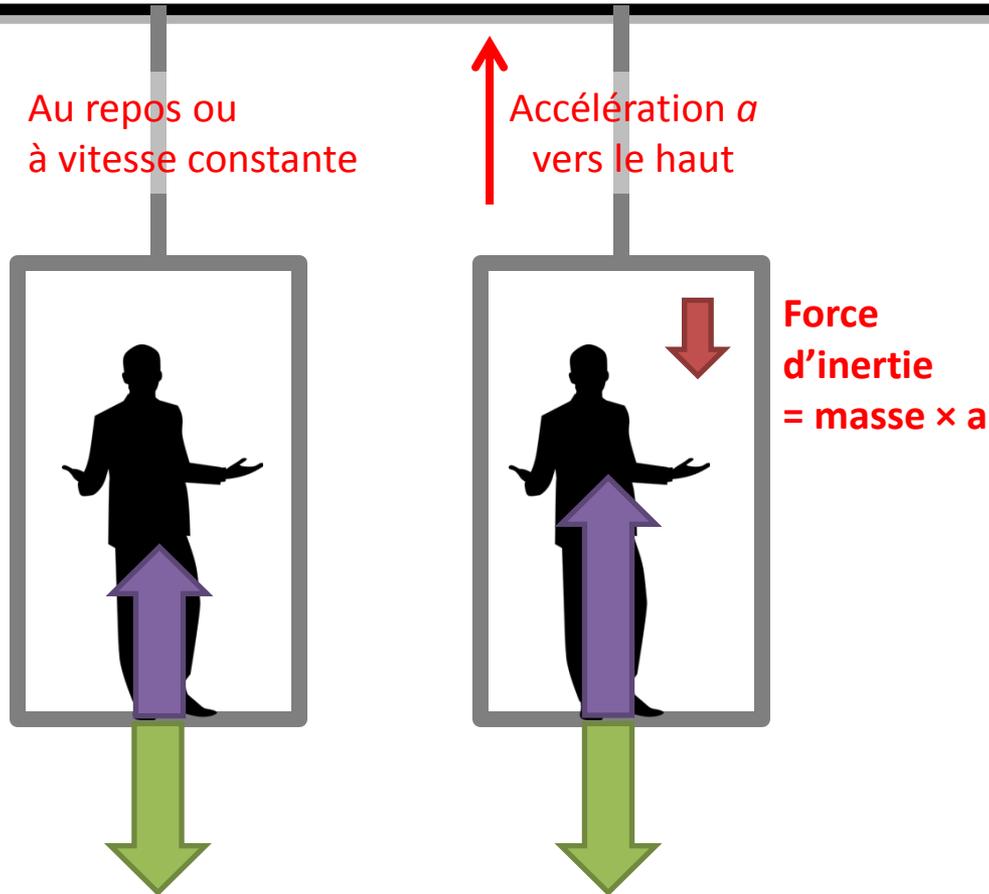
Au repos ou  
à vitesse constante



# 5. L'apesanteur dans un ascenseur



# 5. L'apesanteur dans un ascenseur



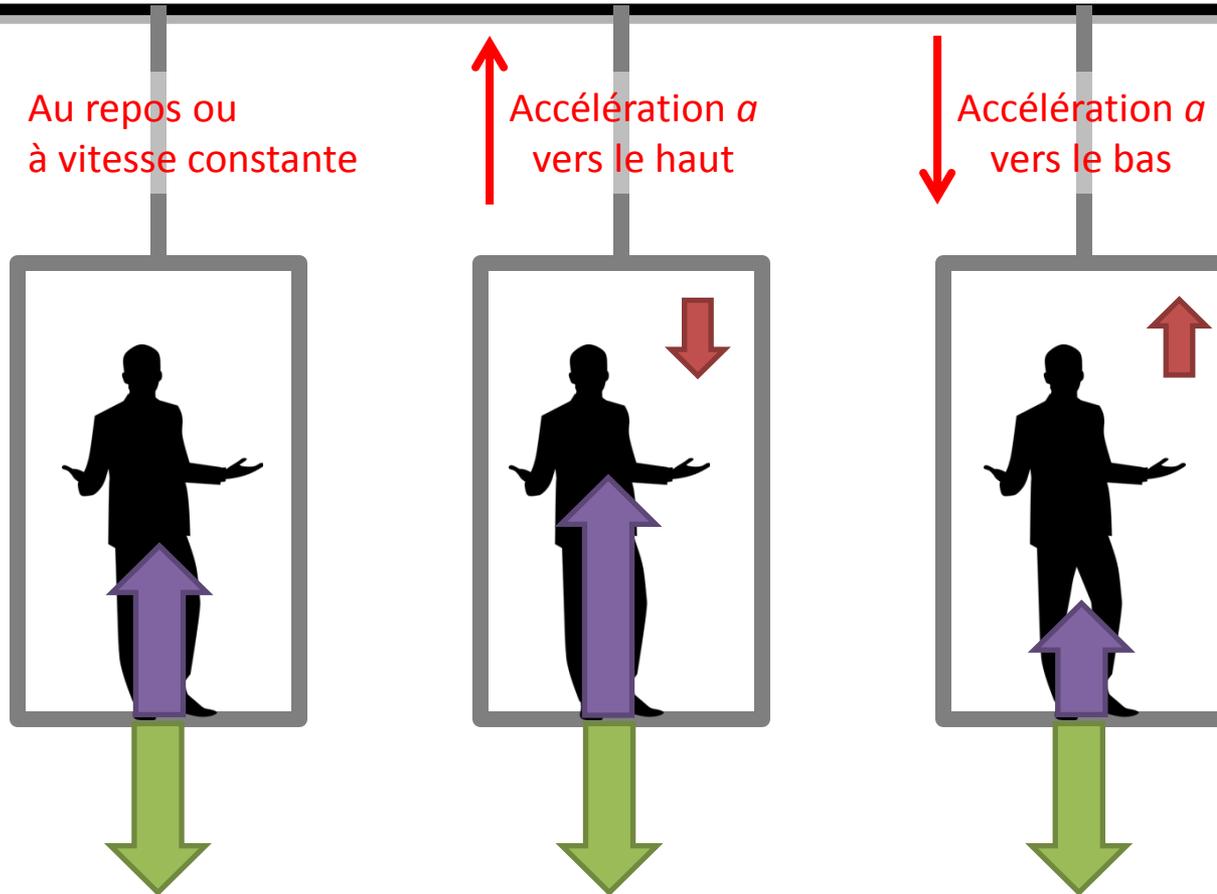
Poids apparent = poids + masse  $\times$   $a$

La force d'inertie apparaît quand le lieu où l'on se trouve est en accélération (ou décélération).

Elle est opposée au sens de l'accélération subie.



# 5. L'apesanteur dans un ascenseur

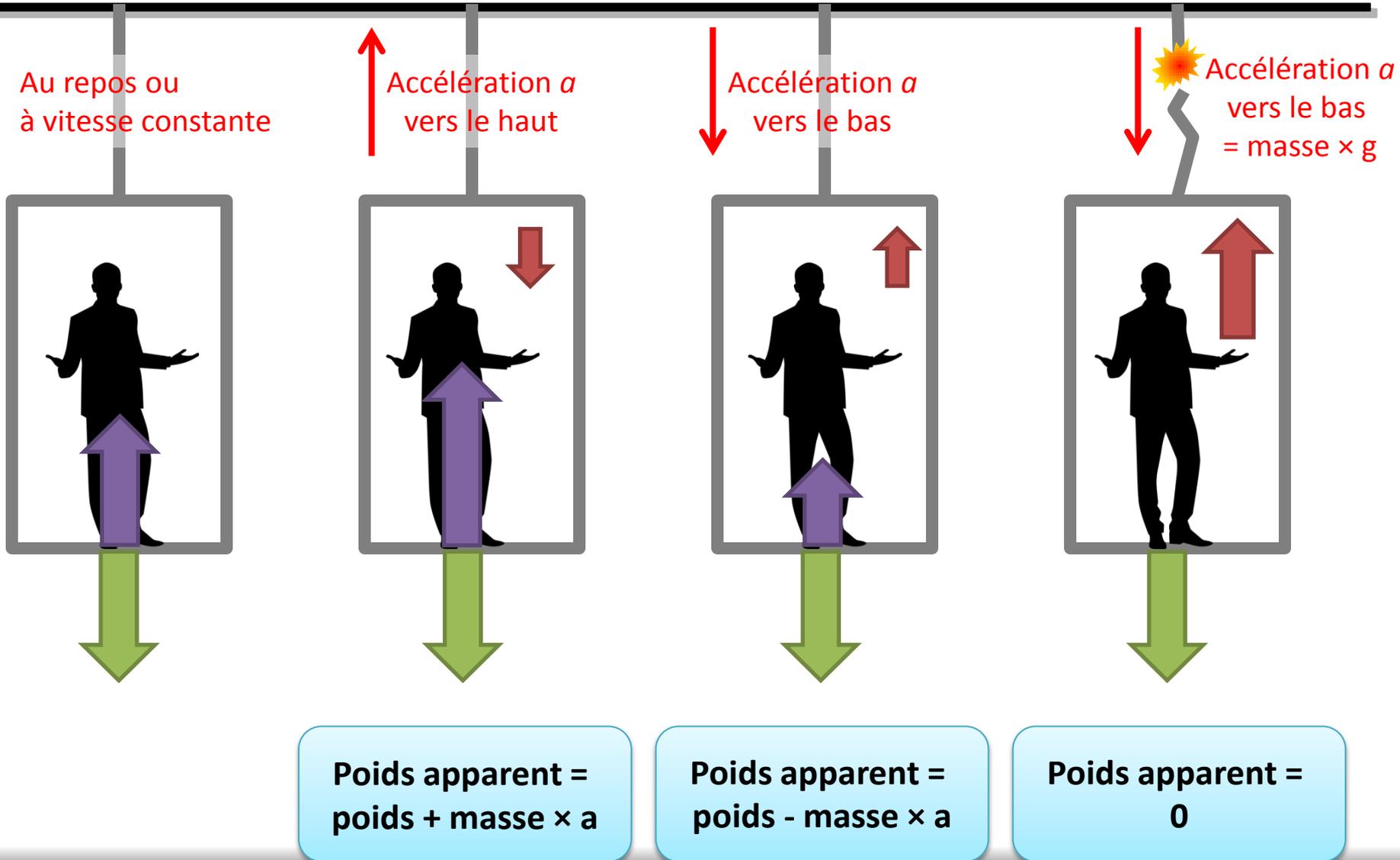


Poids apparent =  
poids + masse  $\times$  a

Poids apparent =  
poids - masse  $\times$  a

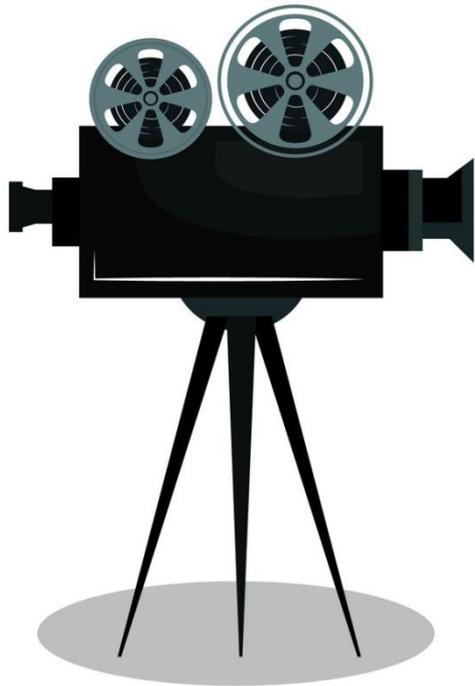


# 5. L'apesanteur dans un ascenseur



# 5. L'apesanteur dans un ascenseur

---



La maison de l'horreur (1999)



# 5. L'apesanteur dans un ascenseur

**N'ayez pas peur  
des accidents  
d'ascenseur !!**

Les ascenseurs sont équipés  
d'un système de secours  
appelé  
« frein parachute » inventé  
en 1854 par Elisha Otis.



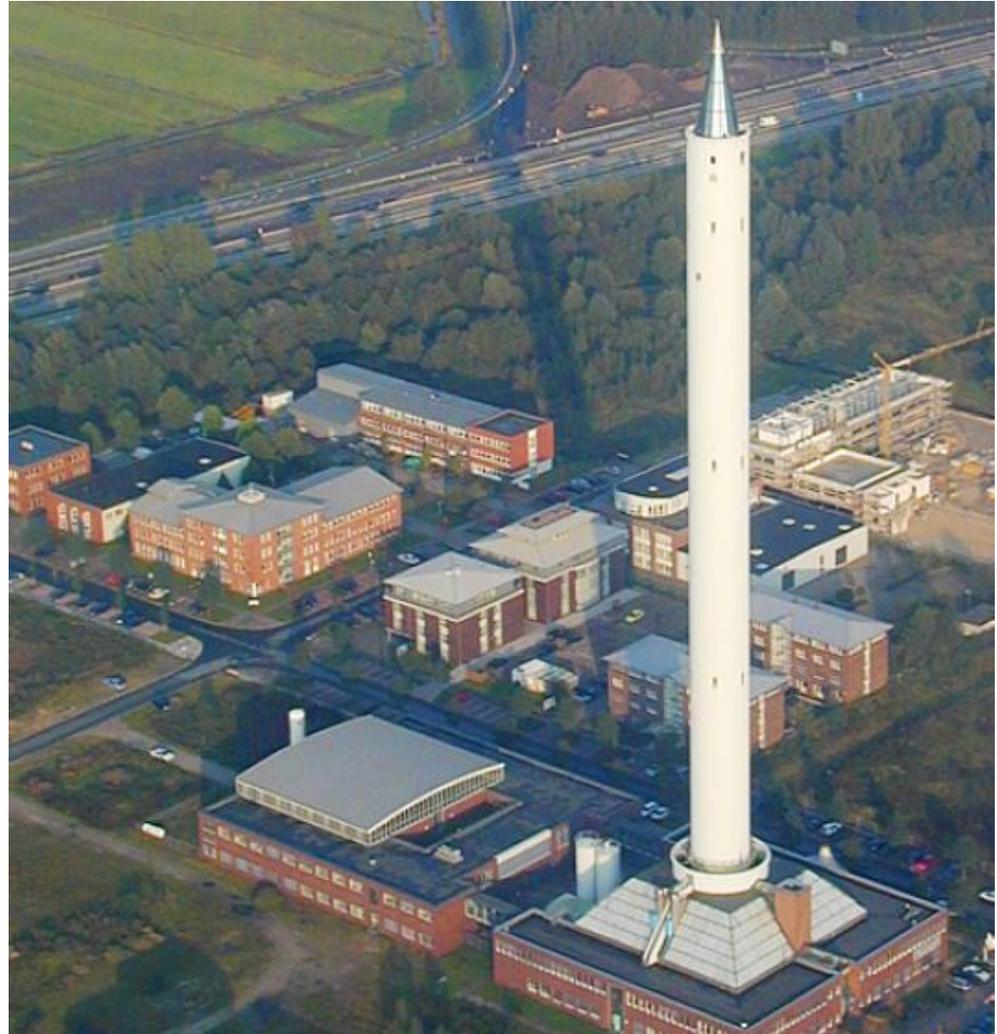
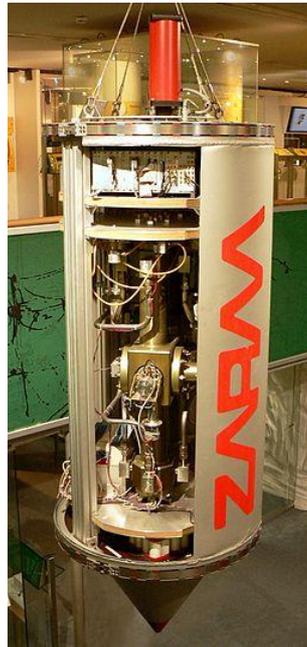
A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a stage. A large, bright white screen is positioned at the front of the theater, displaying the text "6. L'apesanteur avec une tour" in a black, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall lighting is dim, focusing on the screen.

6. L'apesanteur  
avec une tour

# 6. L'apesanteur avec une tour

## Tour d'impesanteur de Brême

- Construction entre 1988 et 1990
- Hauteur : 110 m
- Vide de 0,1 mbar
- Chute libre d'une capsule :
  - longueur : 2,5 m
  - largeur : 80 cm



# 6. L'apesanteur avec une tour

## Tour d'impesanteur de Brême

### La chute libre :

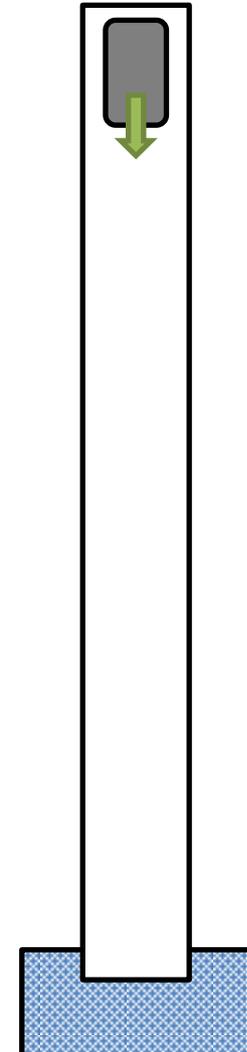
- Chute de 4,7 s
- Vitesse maximale de 170 km/h

### L'état d'apesanteur n'est pas parfait :

- Présence d'un champ de pesanteur résiduel de :  $10^{-6}$  g  
→ microgravité

### Freinage de la chute:

- Unité remplie de granulés de polystyrène
- La capsule subie une décélération pouvant aller jusqu'à 50 g.



# 6. L'apesanteur avec une tour

## Tour d'impesanteur de Brême

### La chute libre :

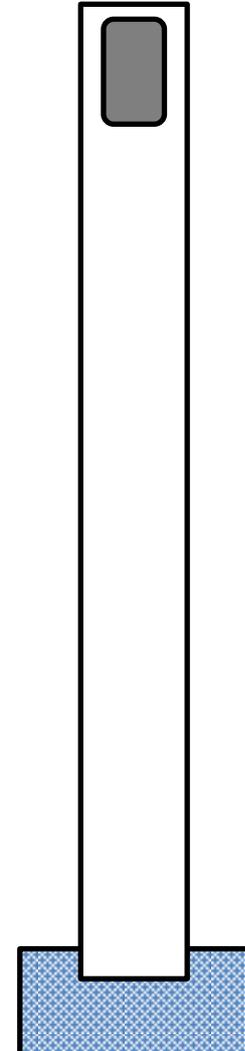
- Chute de 4,7 s
- Vitesse maximale de 170 km/h

### L'état d'apesanteur n'est pas parfait :

- Présence d'un champ de pesanteur résiduel de :  $10^{-6}$  g  
→ microgravité

### Freinage de la chute:

- Unité remplie de granulés de polystyrène
- La capsule subie une décélération pouvant aller jusqu'à 50 g.

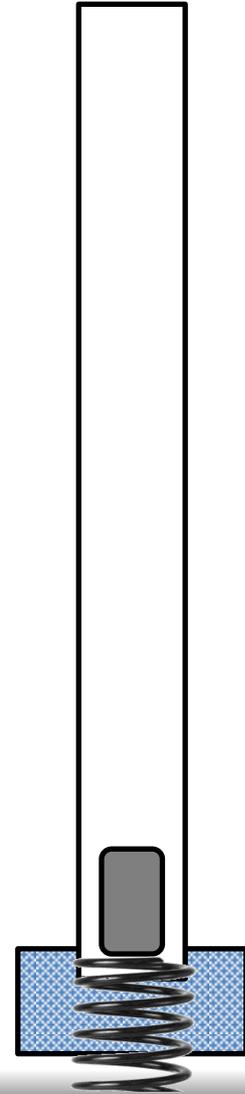


# 6. L'apesanteur avec une tour

---

## Tour d'impesanteur de Brême

Depuis 2007, la tour est équipée d'un mode catapulte :  
durée de la « chute libre » passe à 9,3 s.

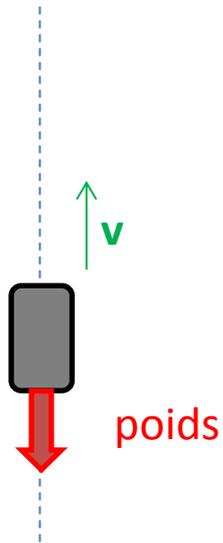


# 6. L'apesanteur avec une tour

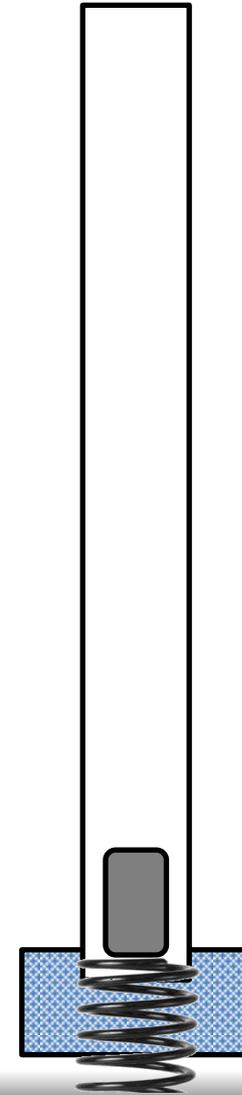
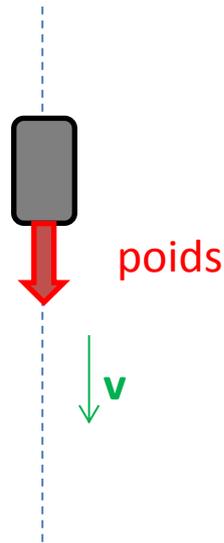
## Tour d'impesanteur de Brême

Depuis 2007, la tour est équipée d'un mode catapulte :  
durée de la « chute libre » passe à 9,3 s.

montée

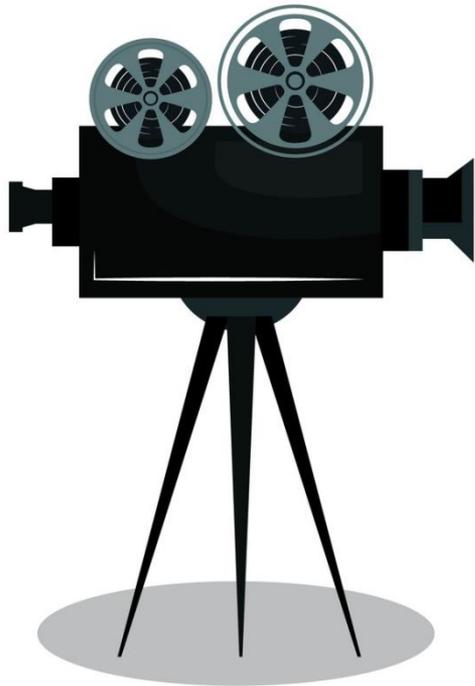


descente



# 6. L'apesanteur avec une tour

---



Reportage « Weightless in Bremen » – The Guardian (2011)



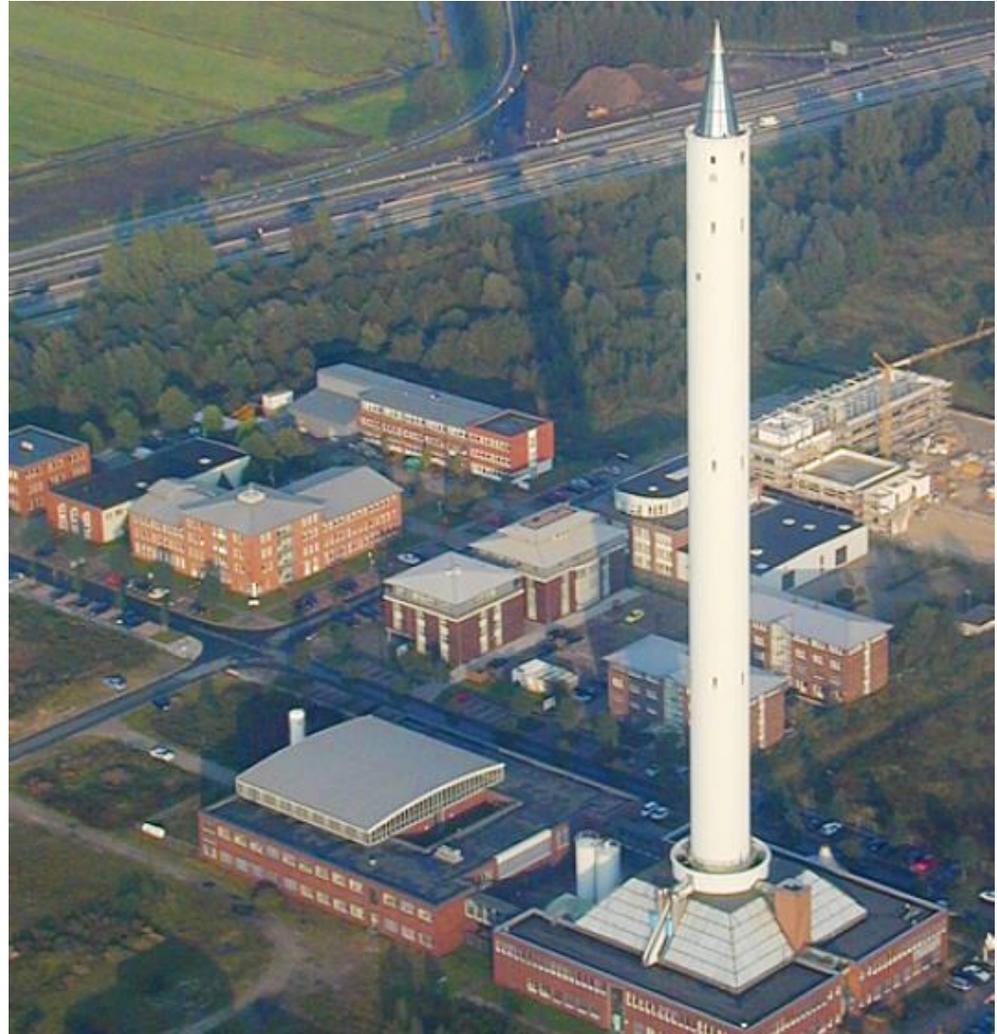
# 6. L'apesanteur avec une tour

## Inconvénients de la méthode de la tour d'impesanteur :

- Taille de la capsule est très limitée
- Décélération brutale pour les organismes vivants

Utilisation pour dans le tournage de film de cinéma ?

Non pas vraiment



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large white projection screen at the far end. The screen displays the text '7. L'apesanteur avec un avion' in a black, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall lighting is dim, focusing attention on the screen.

7. L'apesanteur avec  
un avion

# 7. L'apesanteur avec un avion

---

Comment créer la « chute libre »  
avec un avion ?

Première idée ...



- Délai trop court
- Dangereux



# 7. L'apesanteur avec un avion

---



**Les Aventures de Tintin : Le Secret de La Licorne (2011)**

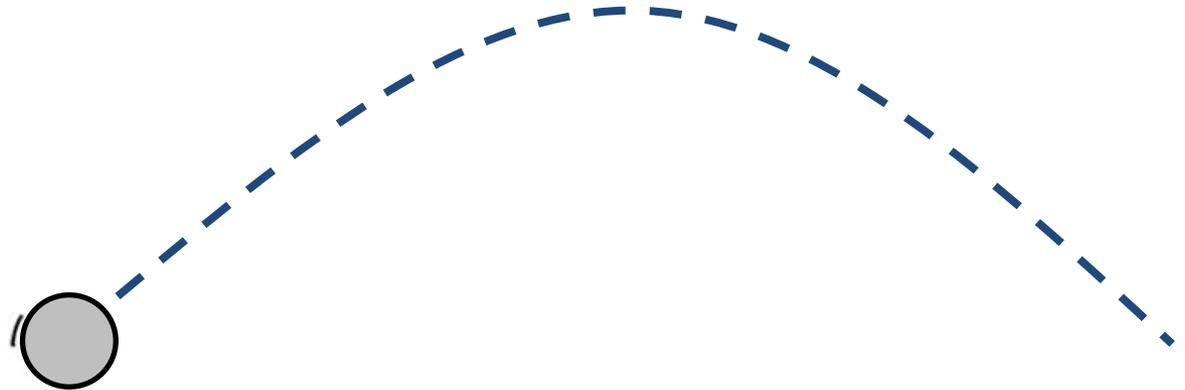
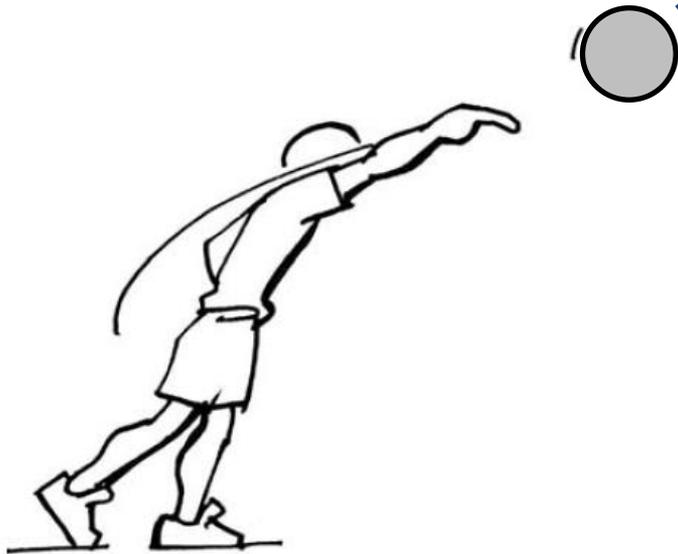


# 7. L'apesanteur avec un avion

---

Comment créer la « chute libre »  
avec un avion ?

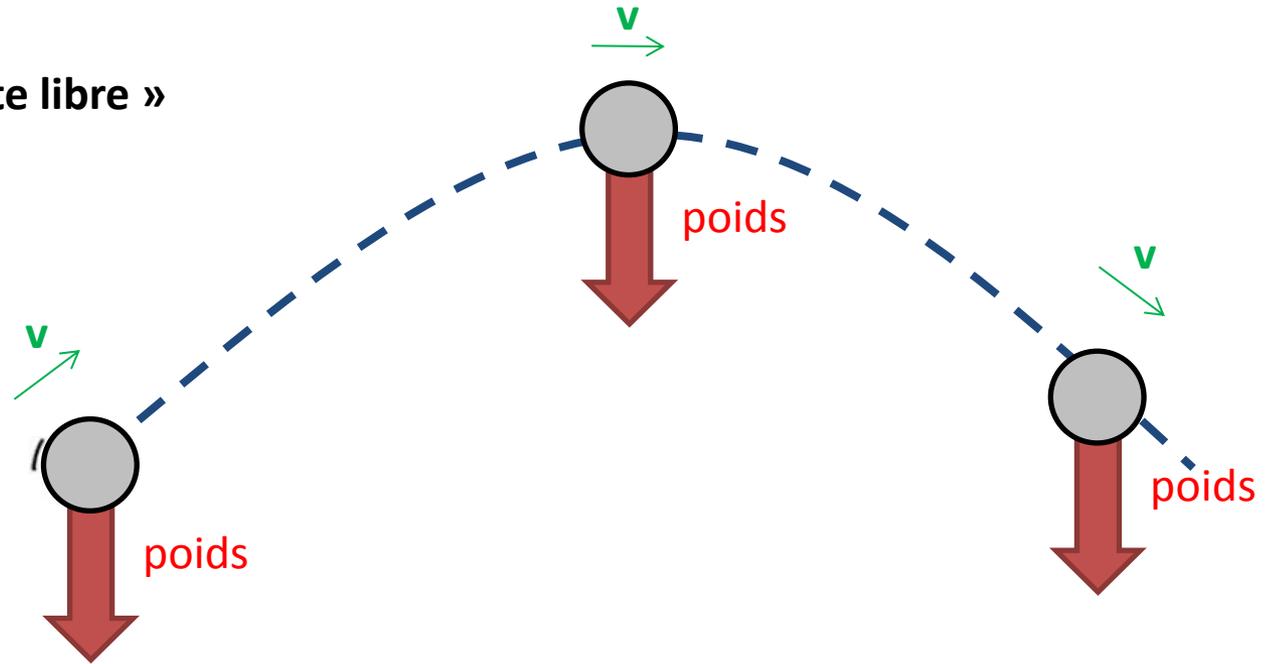
La bonne idée



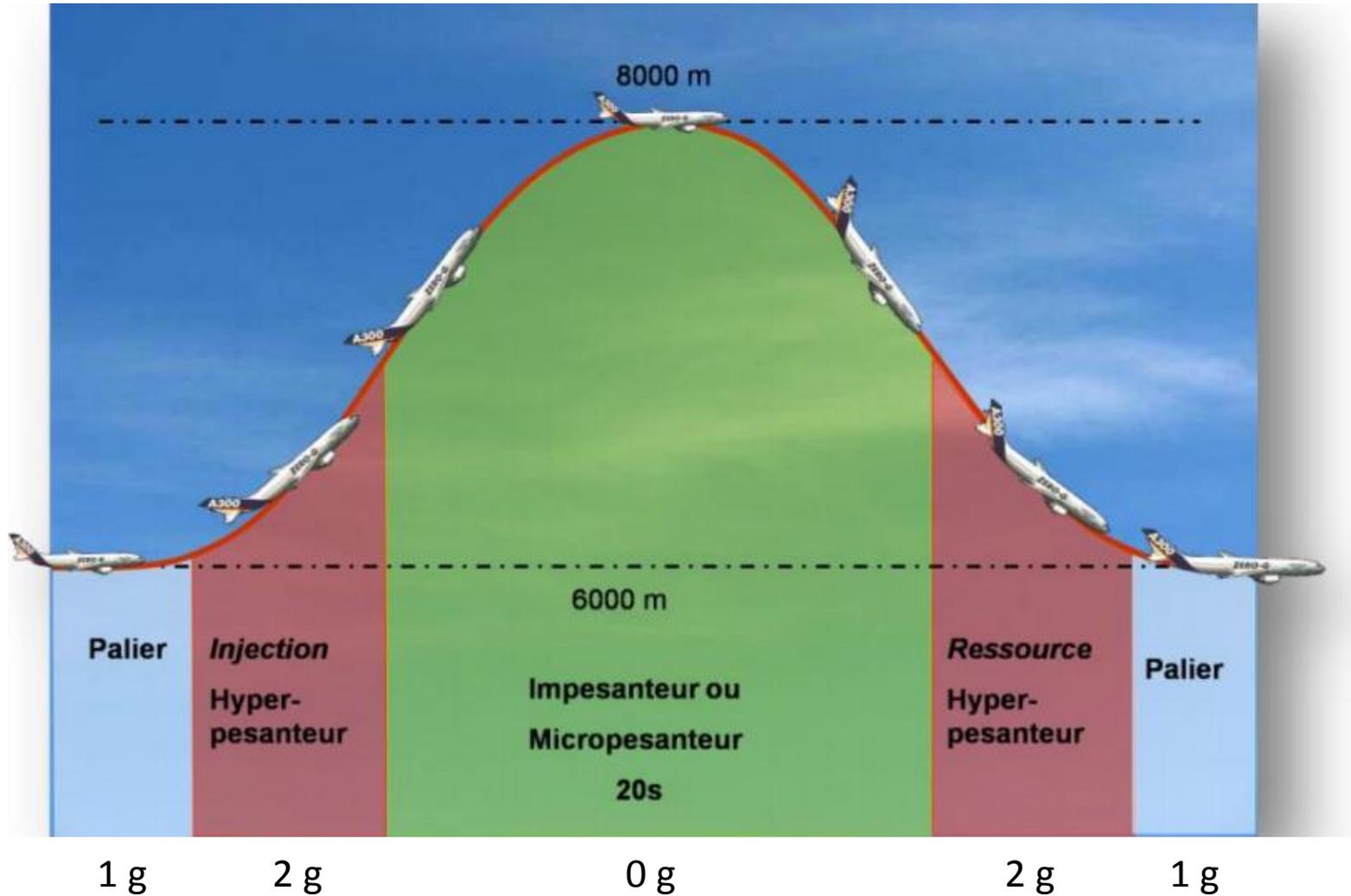
# 7. L'apesanteur avec un avion

Comment créer la « chute libre »  
avec un avion ?

La bonne idée



# 7. L'apesanteur avec un avion



# 7. L'apesanteur avec un avion

## Vol parabolique

- **22 s** d'apesanteur
- Pendant la période où l'avion doit être en apesanteur, les réacteurs d'avion tournent au ralenti pour compenser les forces de frottement  
Malgré cela, l'état d'apesanteur n'est pas parfait : **micro-gravité**
- **Avantage** : le personnel peut être en état d'apesanteur



# 7. L'apesanteur avec un avion

---

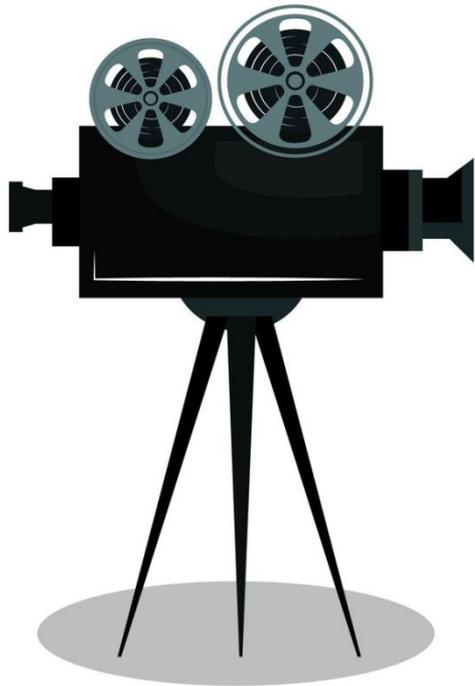


**“Air Zero G” reportage de Figaro Sciences (2015)**



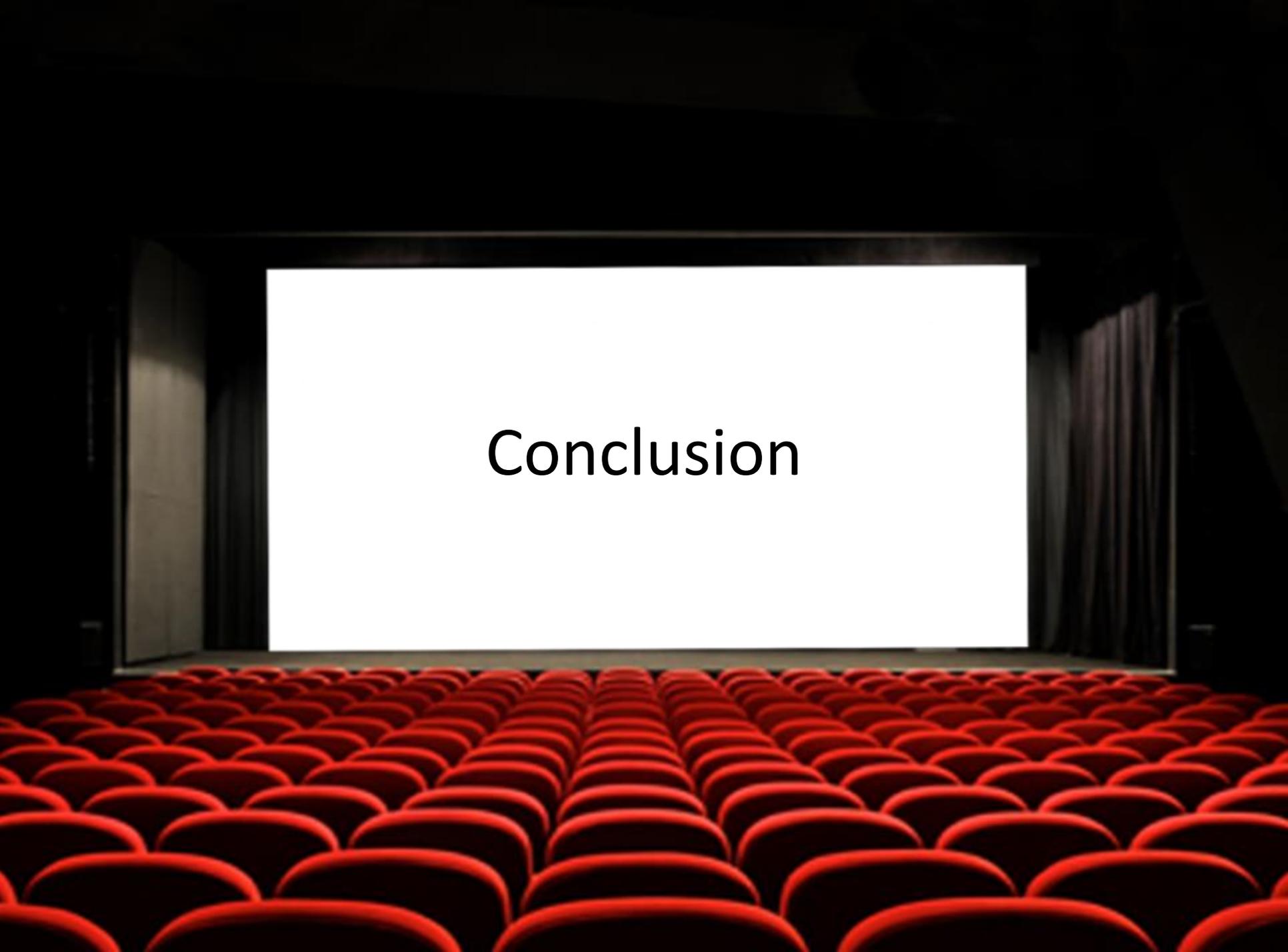
# 7. L'apesanteur avec un avion

---



**Bullitt (1968)**



A photograph of a theater interior. The foreground is filled with rows of red upholstered seats, receding towards a large, bright white screen at the far end of the stage. The word "Conclusion" is centered on the screen in a black, sans-serif font. The theater walls are dark, and the overall atmosphere is quiet and focused.

Conclusion

# Conclusion

---

## **JE VEUX FLOTTER DANS LES AIRS COMME TOM CRUISE !!!**

**L'état d'apesanteur / impesanteur :  
on ne ressent plus les effets de la gravitation**

- **On ne peut pas marcher : apprendre à se déplacer**
- **Les liquides prennent la forme sphérique**
- **Le corps humain n'est pas adapté à l'apesanteur**



# Conclusion

---

## **JE VEUX FLOTTER DANS LES AIRS COMME TOM CRUISE !!!**

Comment se mettre en état d'apesanteur ?

- **La poussée d'Archimède** : simulation pour les entraînements
- **Chute libre** :
  - Tour de pesanteur
  - Vol parabolique
  - Saut en automobile (si on néglige frottement)
  - Satellite autour de la Terre (**voir la semaine prochaine**)



# Annnonce de la prochaine leçon

---



**Gravity (2013)**



**POURQUOI  
LA GRAVITÉ  
S'ACHARNE-  
T-ELLE SUR  
SANDRA  
BULLOCK ?**



**Ne manquez pas la prochaine leçon  
Mardi 9 octobre**