

Physique & Fiction

de Gulliver à Star Wars

Mardi 29 Janvier 2019

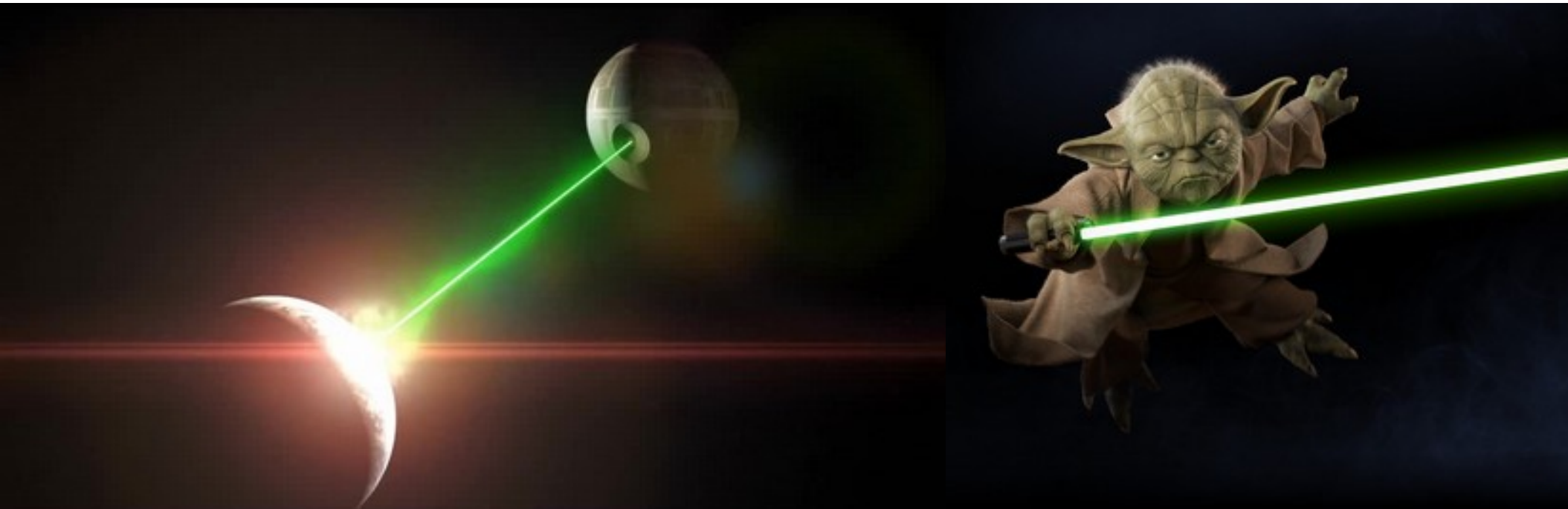


Cours 1 : Physique & Dimensions
Cours 2 : Des Schtroumpfs à Gargantua
Cours 3 : Les pouvoirs de Superman
Cours 4 : L'énergie dans Star Wars
Cours 5 : De Dante à Edgar Allan Poe



4- Que la Force soit avec nous !

Une enquête scientifique dans l'univers de Star Wars



- 1 – La Force et la Puissance des Jedi – le Sabre-Laser
- 2 – L'Energie de l'Empire – l'Etoile de la Mort
- 3 – Voyage au centre de Naboo

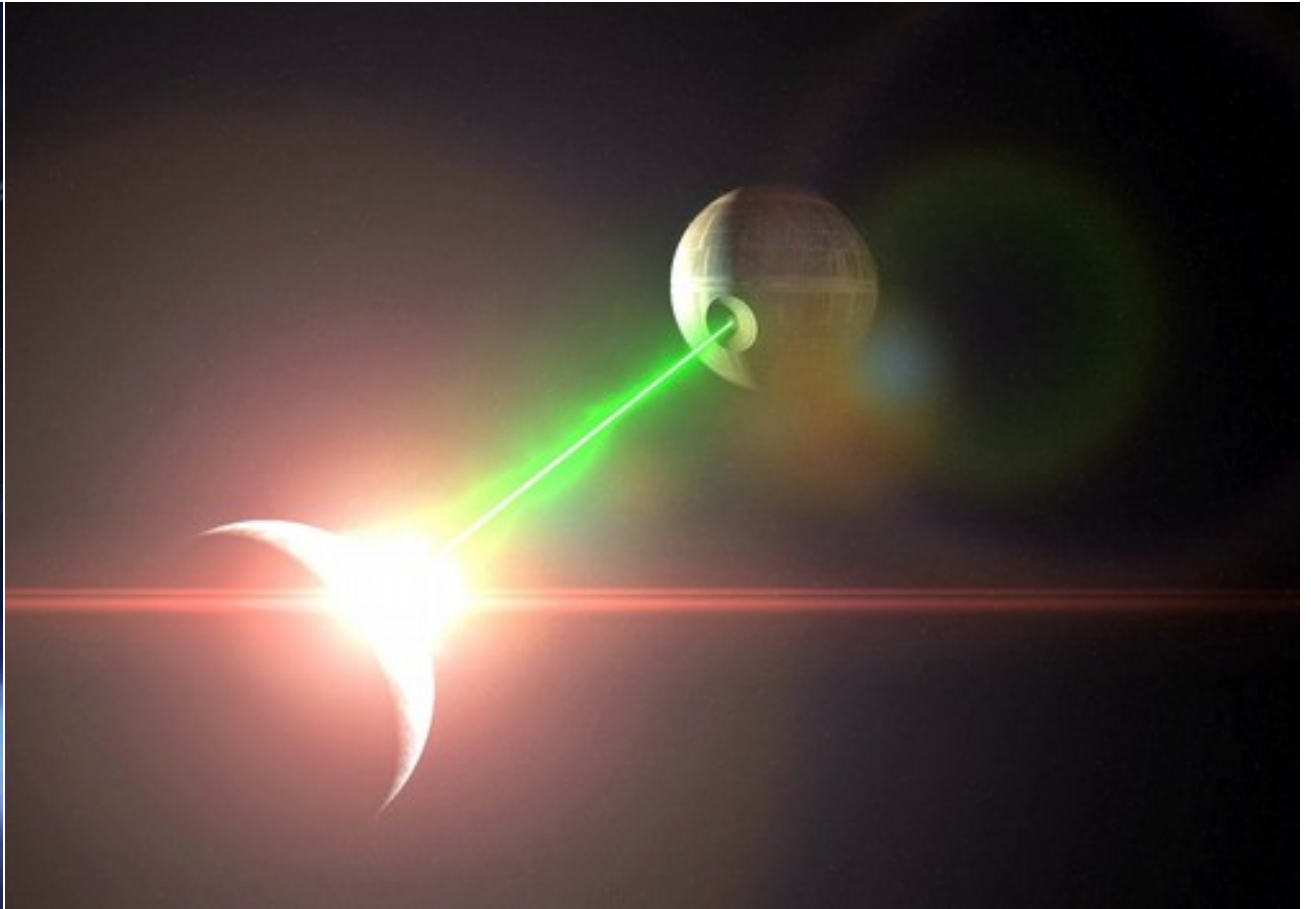
4- Que la Force soit avec nous !

Une enquête scientifique dans l'univers de Star Wars



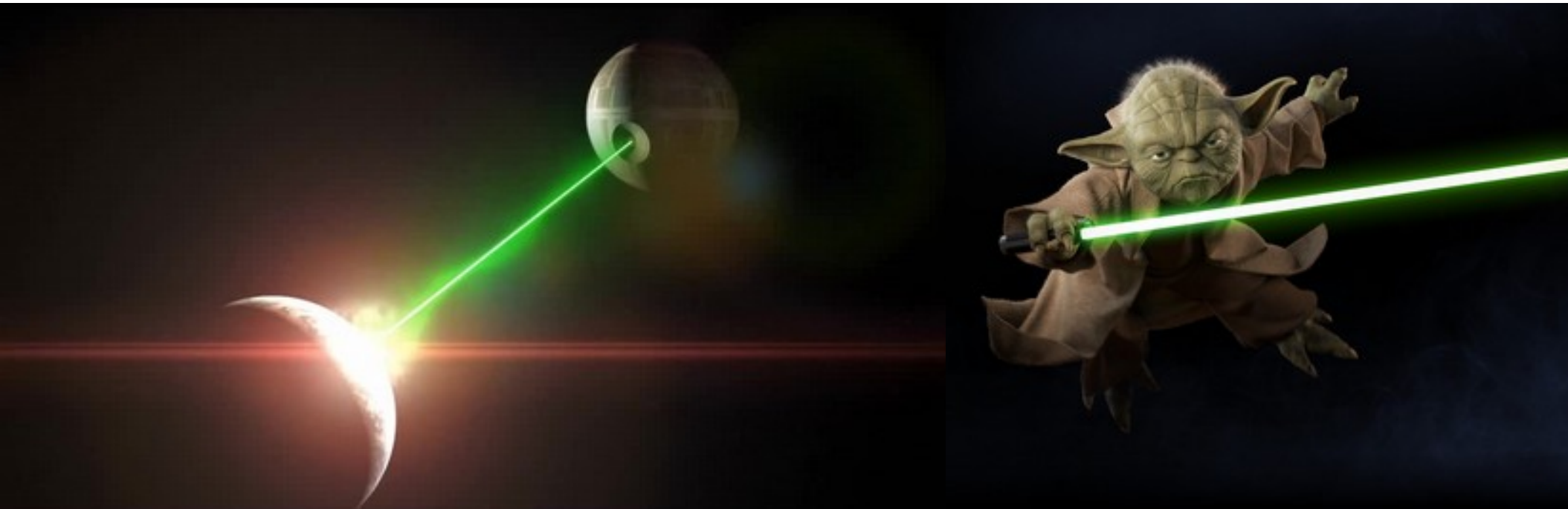
4- Que la Force soit avec nous !

Une enquête scientifique dans l'univers de Star Wars



4- Que la Force soit avec nous !

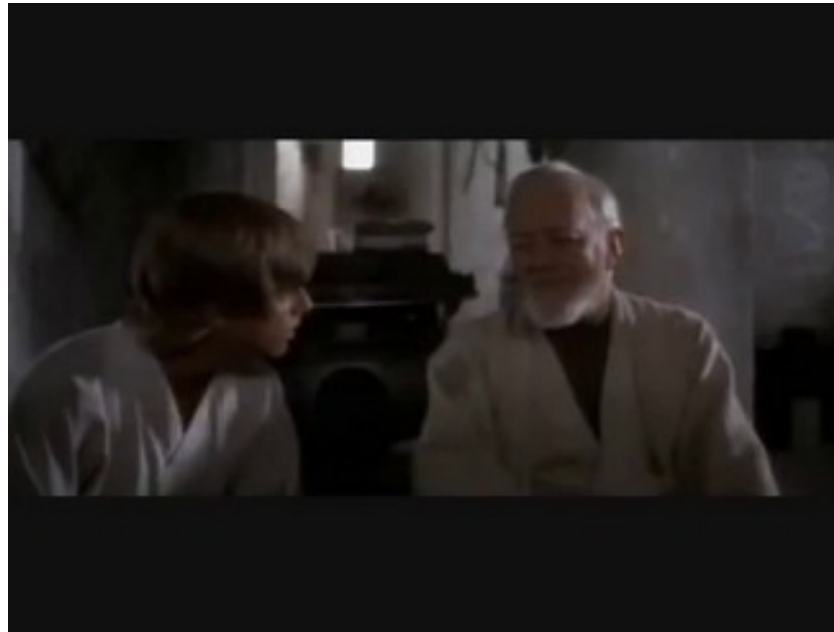
Une enquête scientifique dans l'univers de Star Wars



- 1 – La Force et la Puissance des Jedi
- 2 – L'Energie de l'Empire
- 3 – Voyage au centre de Naboo

1- La Force des Jedi

<https://www.youtube.com/watch?v=Rqv4VwPNQr4>



« La Force est ce qui rend le Jedi si puissant. C'est un champ d'énergie créé par tous les êtres vivants, il nous entoure et nous pénètre. Il lie la Galaxie toute entière » - *Obi-Wan Kenobi (SW Episode VI, Un nouvel espoir, 1977)*

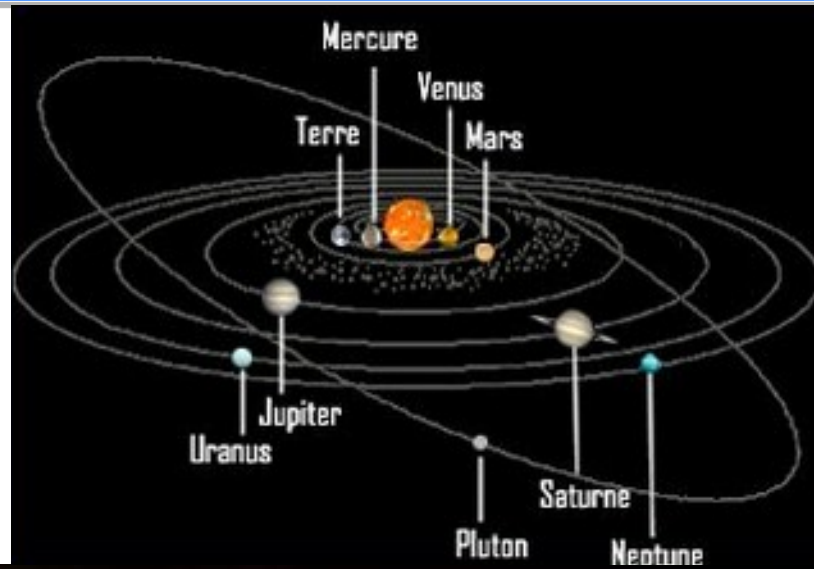
1- La Force des Jedi



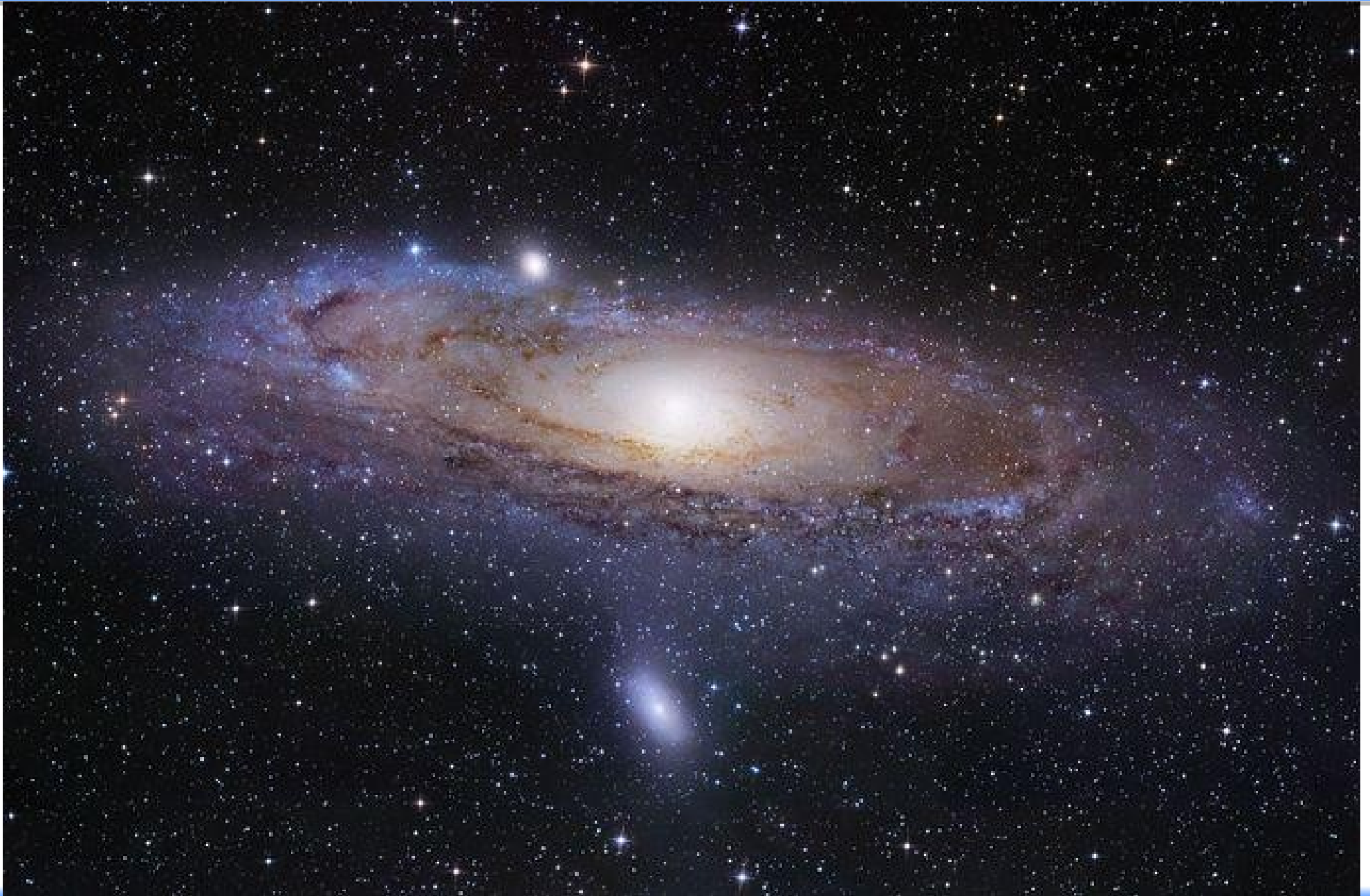
« Force » = Gravitation ?



1- La Force des Jedi



1- La Force des Jedi



1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force

SW Episode V, L'Empire contre-attaque, 1980

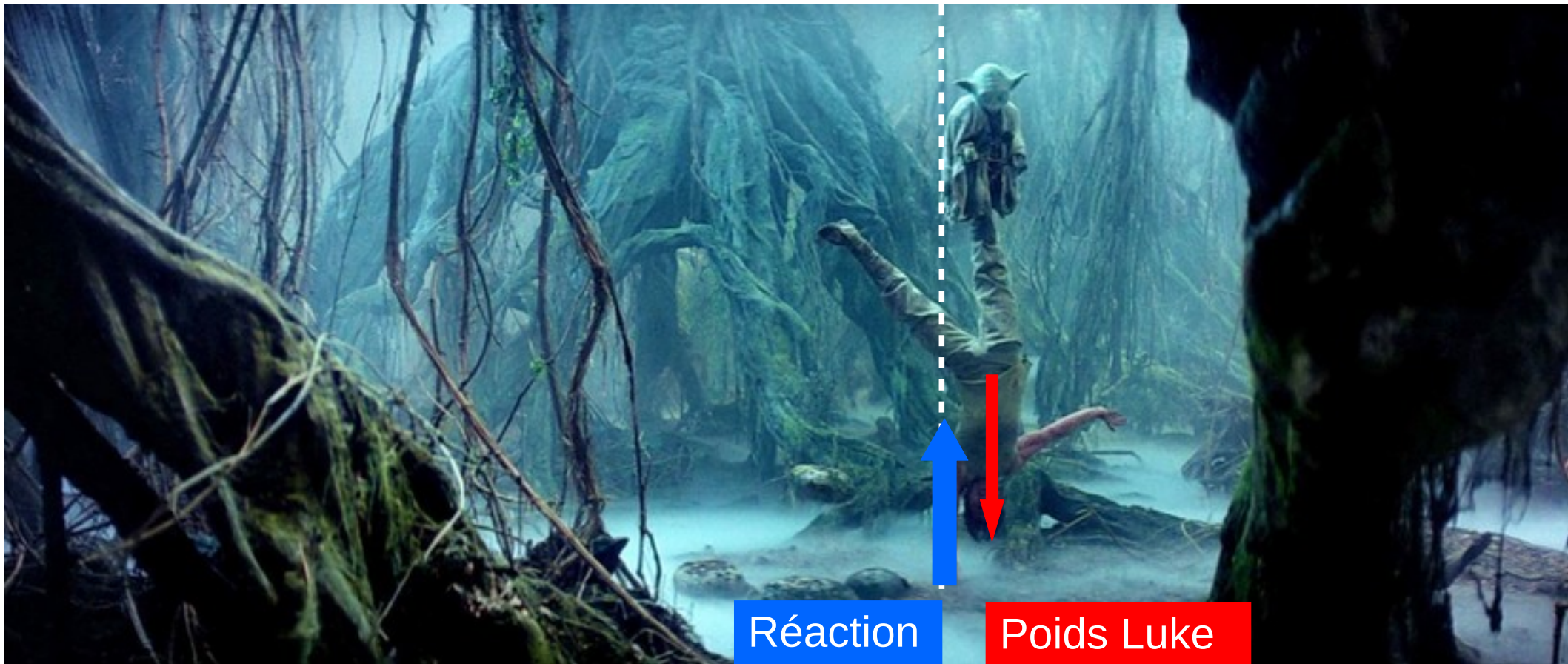


https://www.youtube.com/watch?v=WBDB_cO7lpA

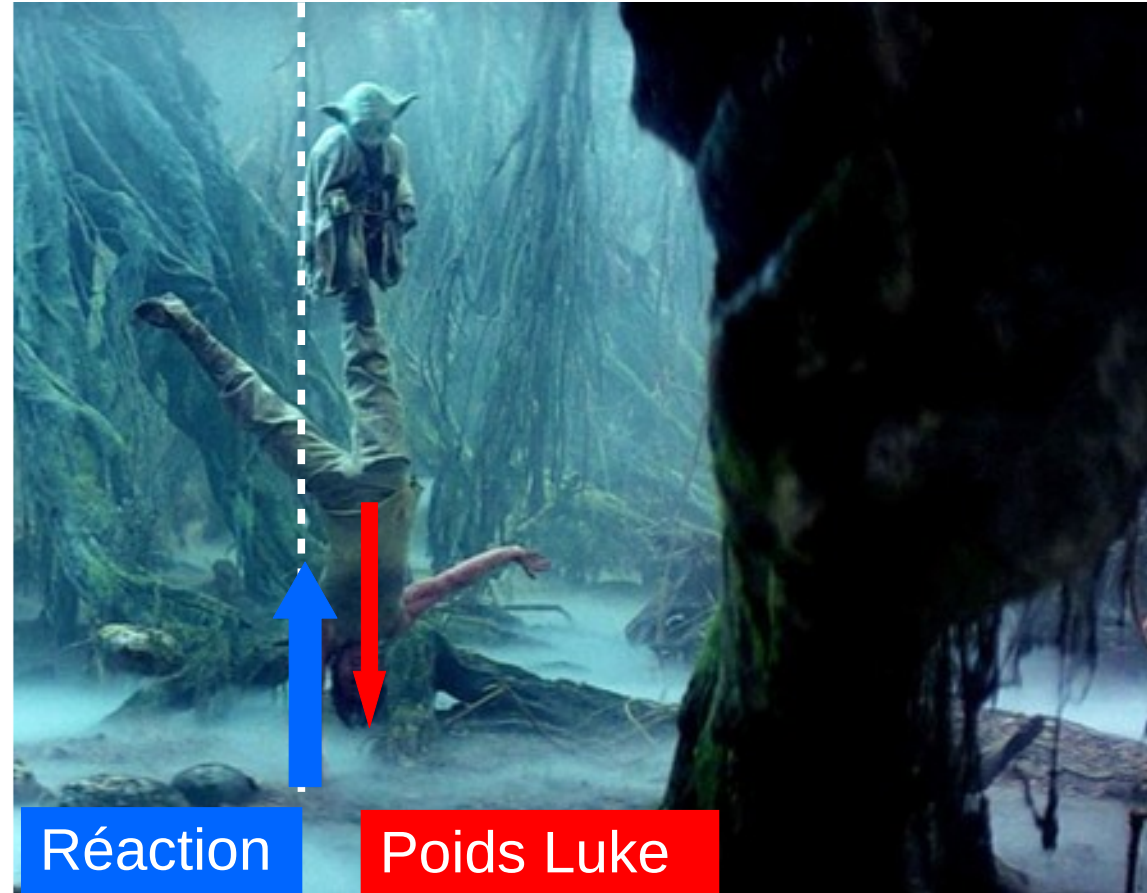
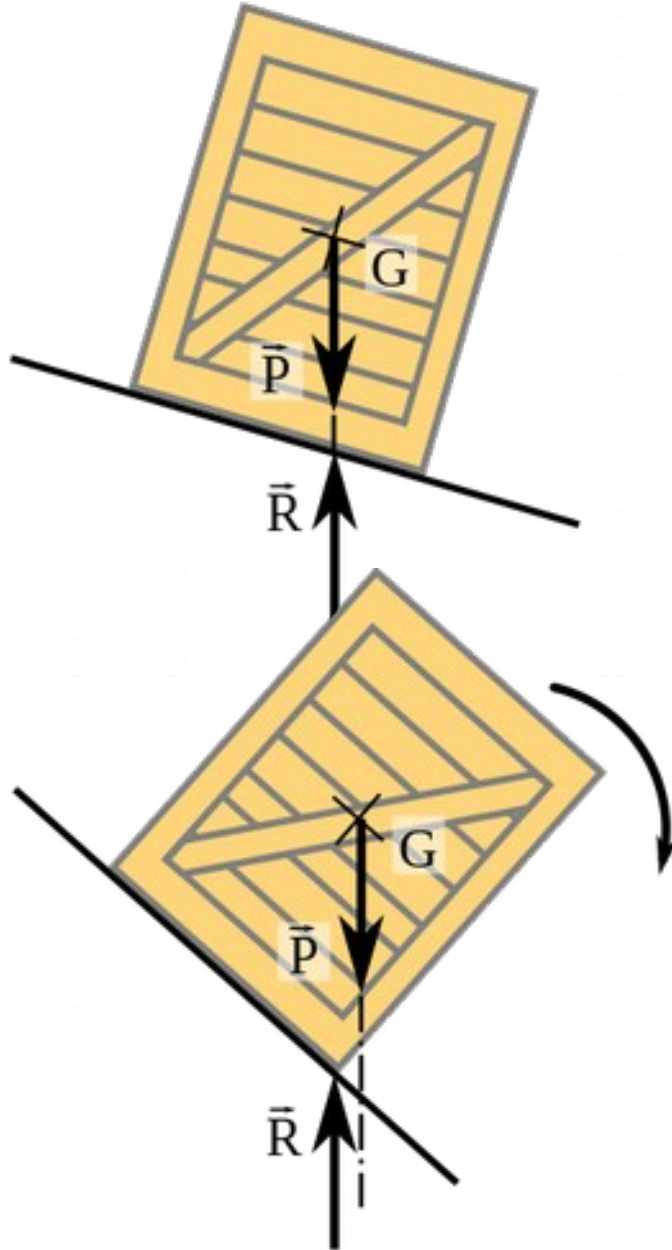
1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



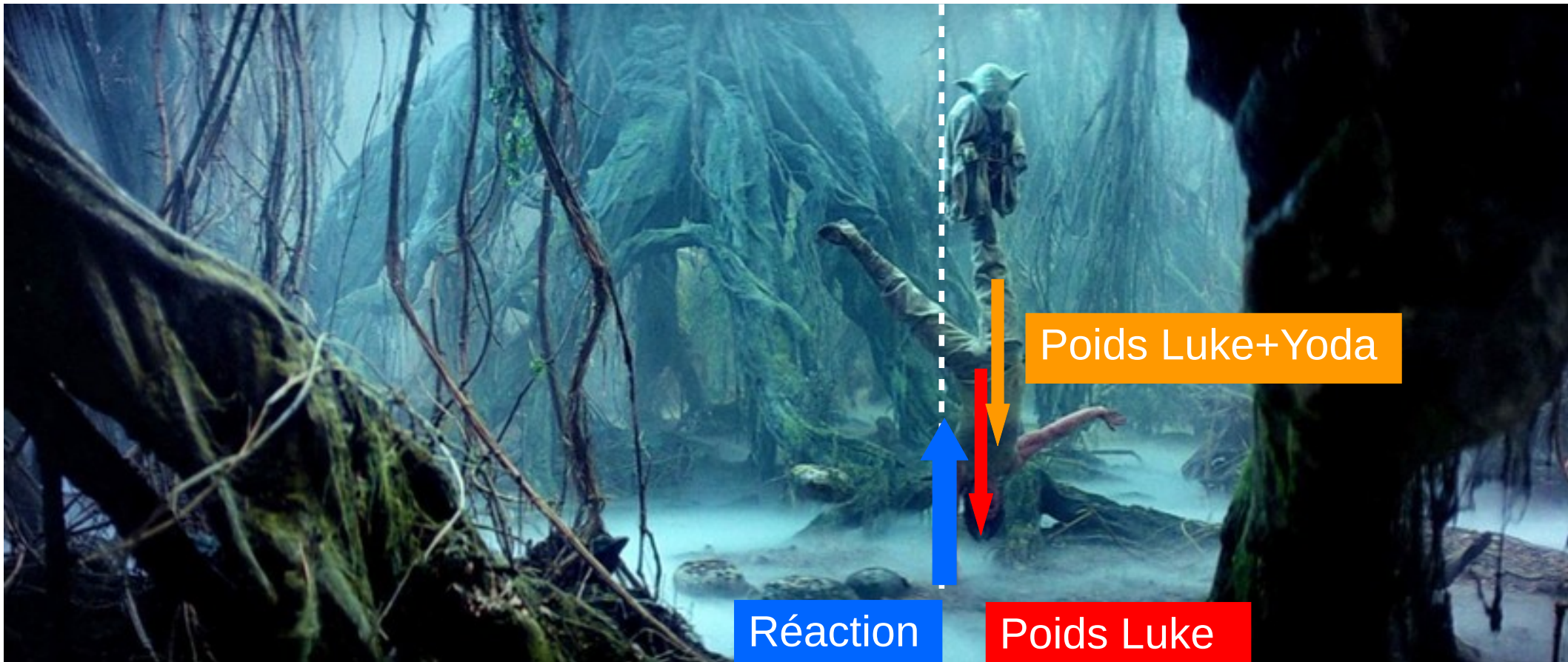
1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



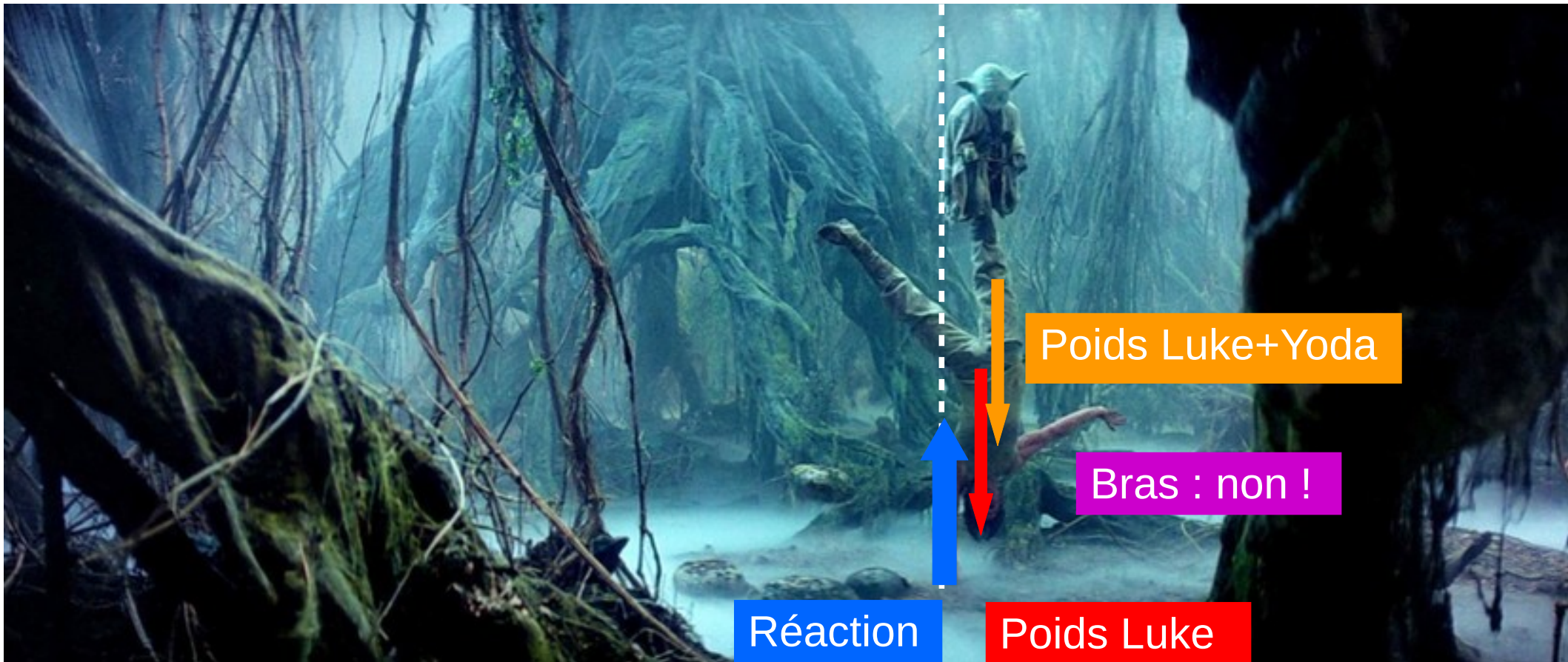
Masse de Yoda ?

→ Taille $\sim 0,66\text{m} = \text{Luke}/2,6$

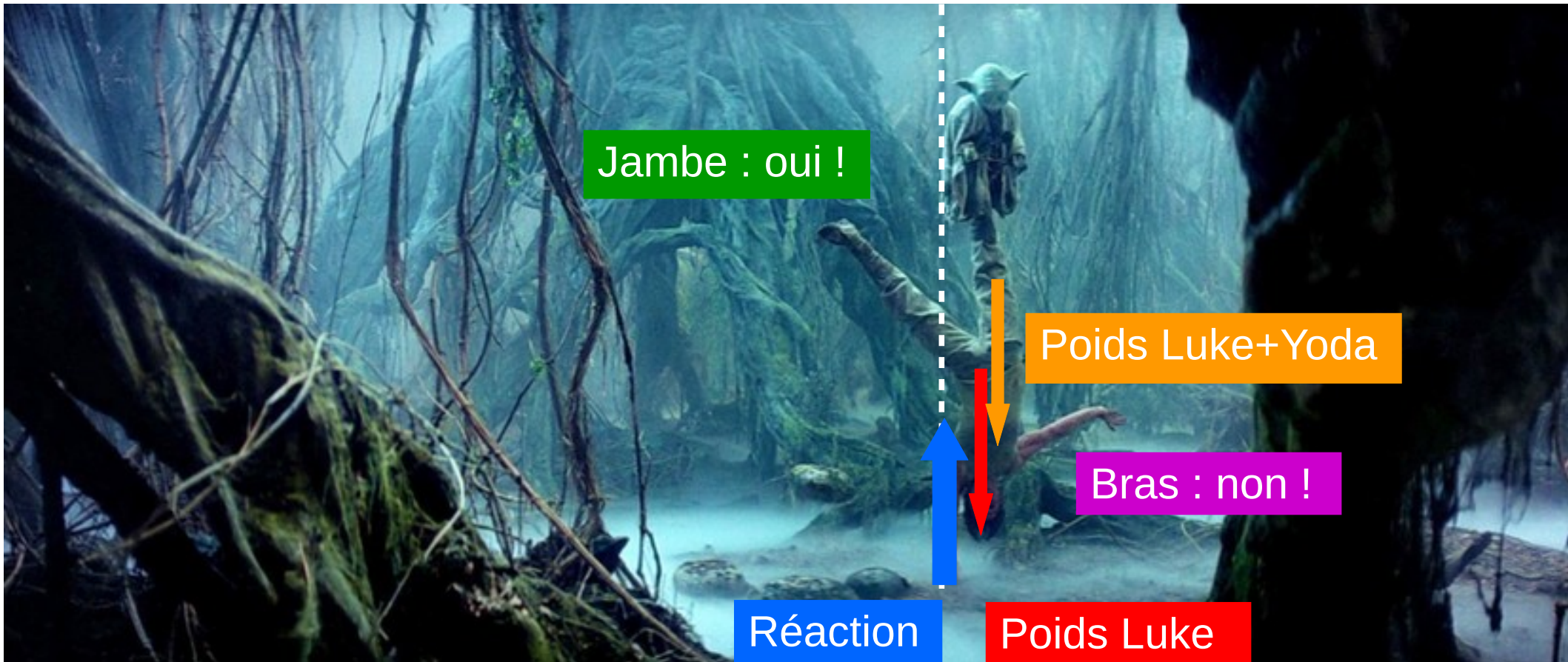
→ Masse $\propto L^3 \rightarrow$ Masse Yoda $\sim 30\text{-}40\text{ kg}$



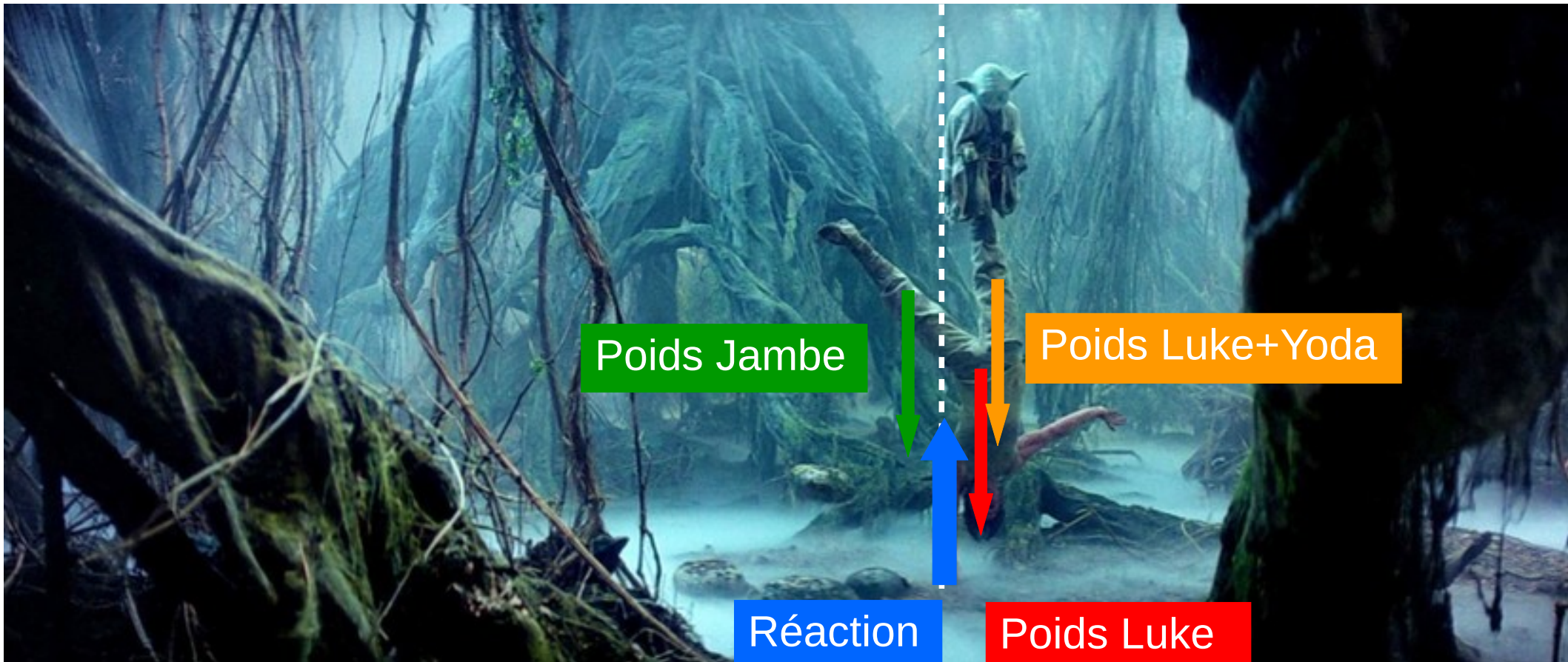
1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



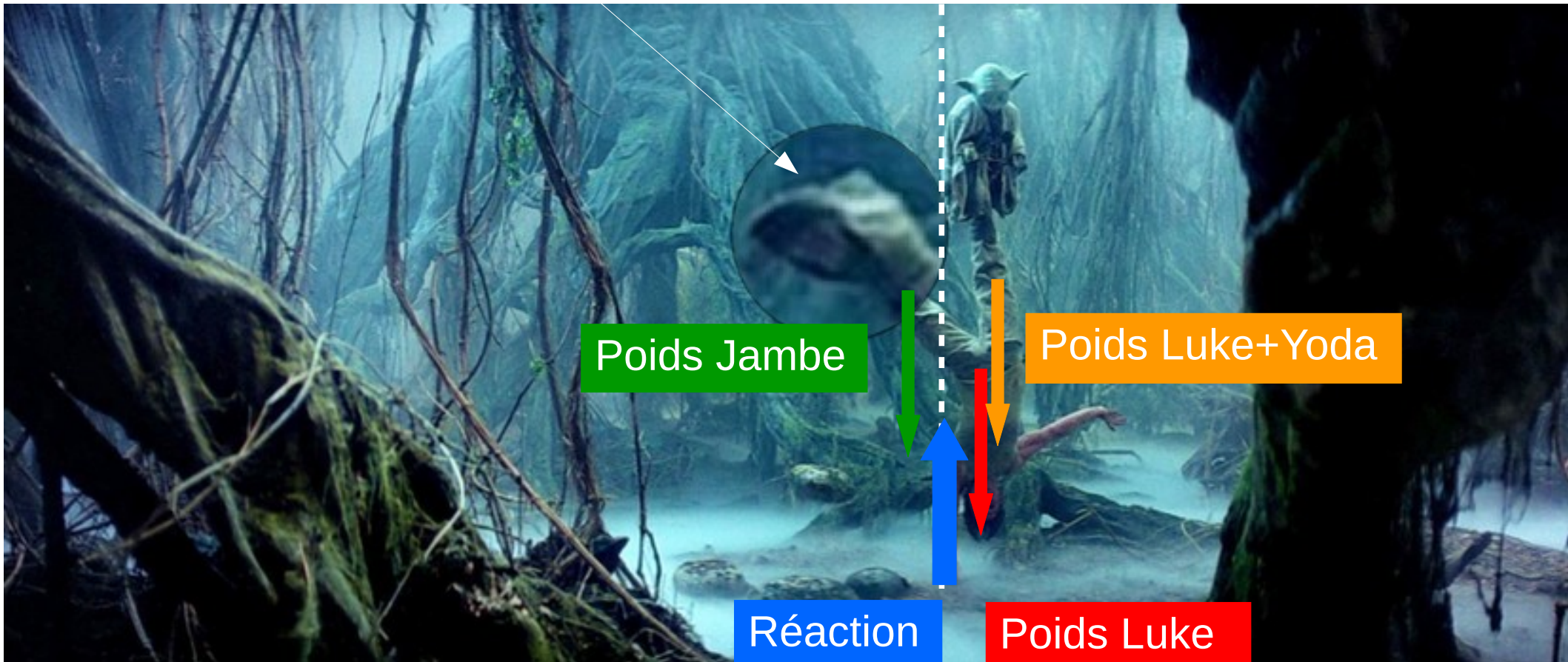
1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



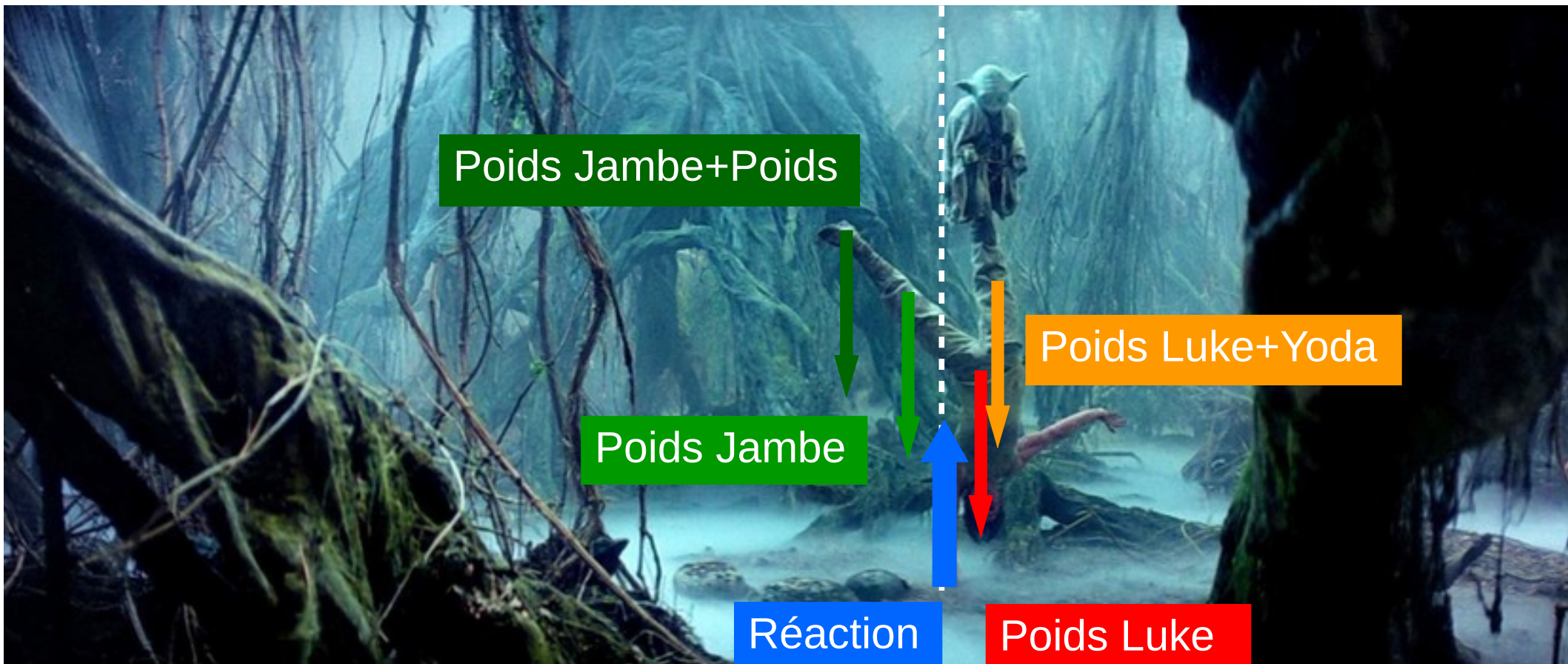
1 Jambe ~ 15 % Masse Totale
→ environ 10 kg

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force

Un poids dans la chaussure ?
→ il faut environ 20 kg !

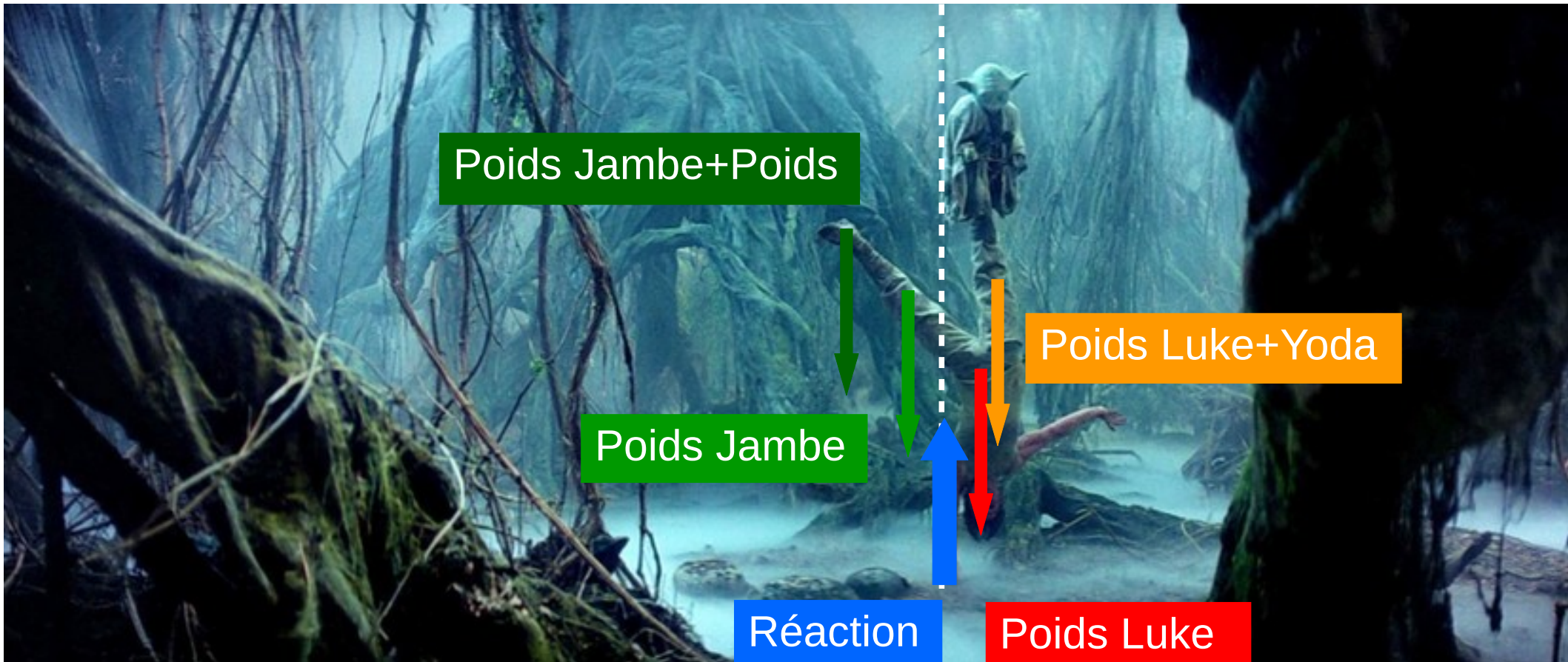


1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



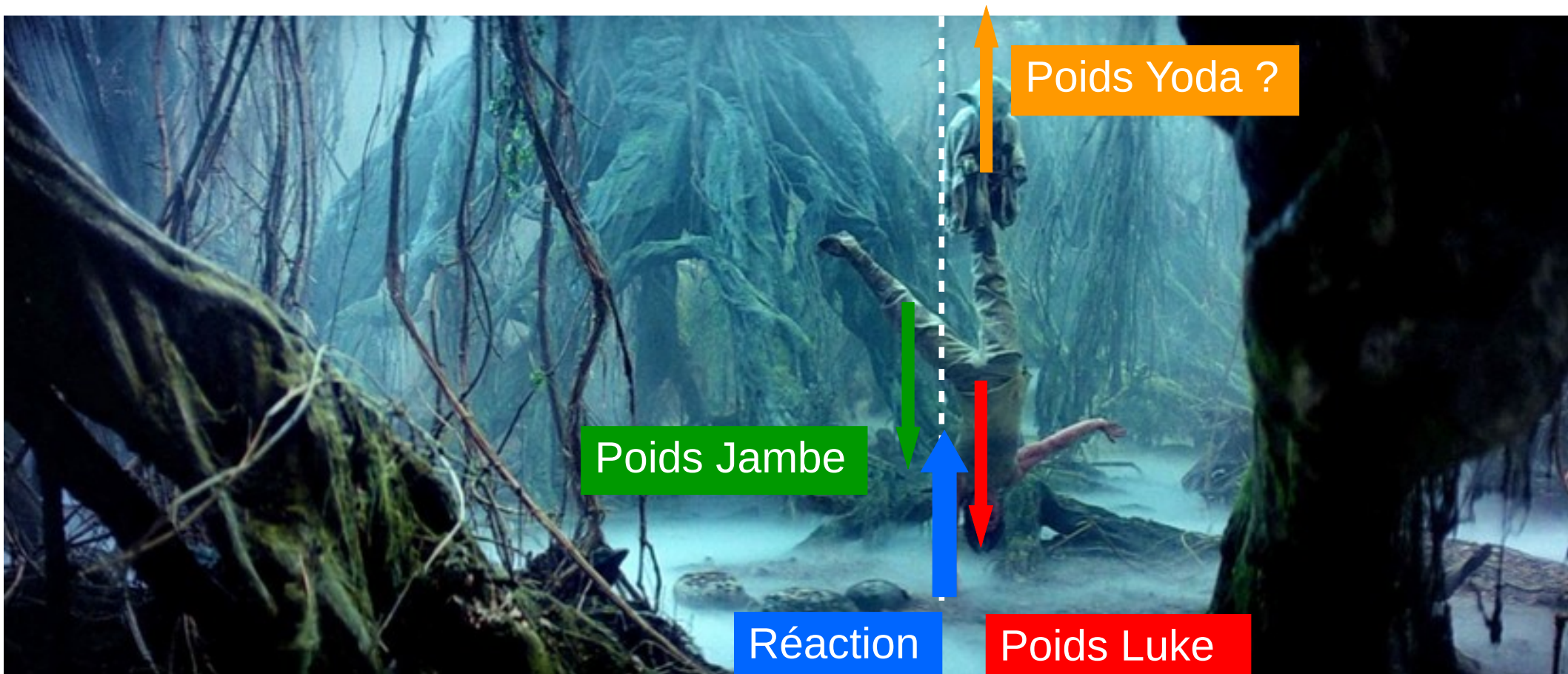
Avec du Plomb $\sim 11 \text{ kg/m}^3$
→ Semelles de 36cm !

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



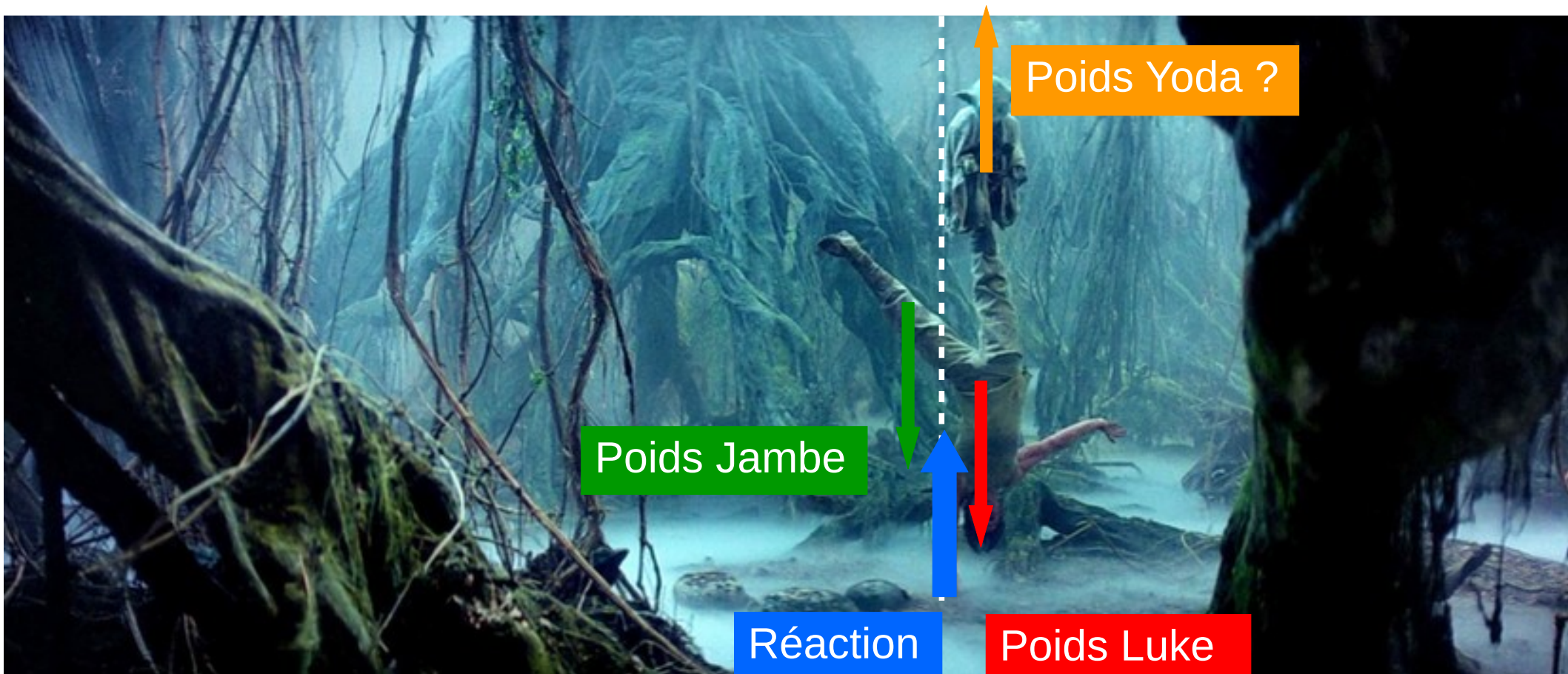
Avec du Platine $\sim 20 \text{ kg/m}^3$
→ Semelles de 20cm !

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



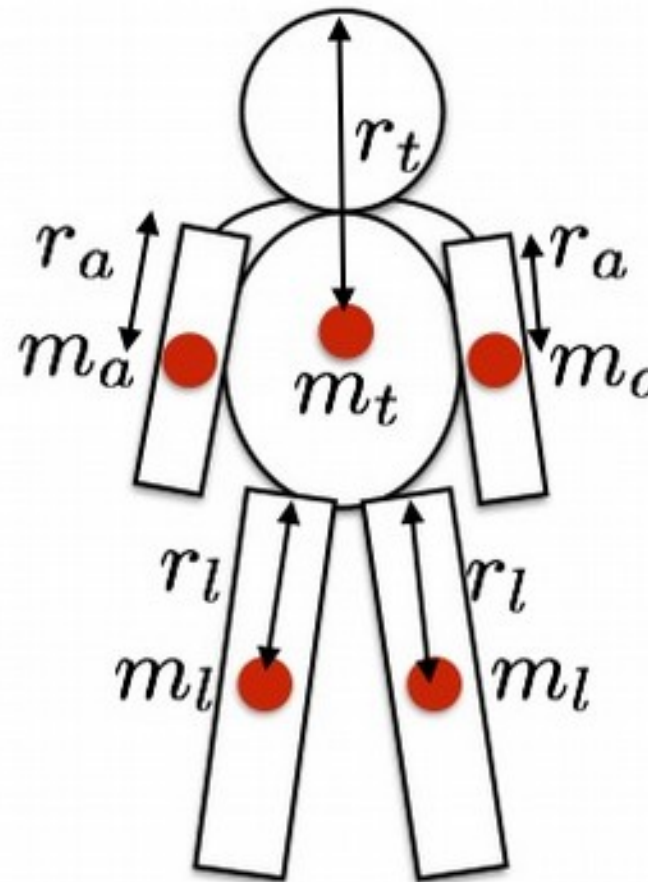
Un poids vers le haut pour Yoda ?

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



Un poids vers le haut pour Yoda ?
→ Il faudrait Masse = - 40 kg !

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



$$r_t = 0.3h$$

$$r_a = 0.15h$$

$$r_l = 0.2h$$

$$m_t = 0.56m_h$$

$$m_a = 0.048m_h$$

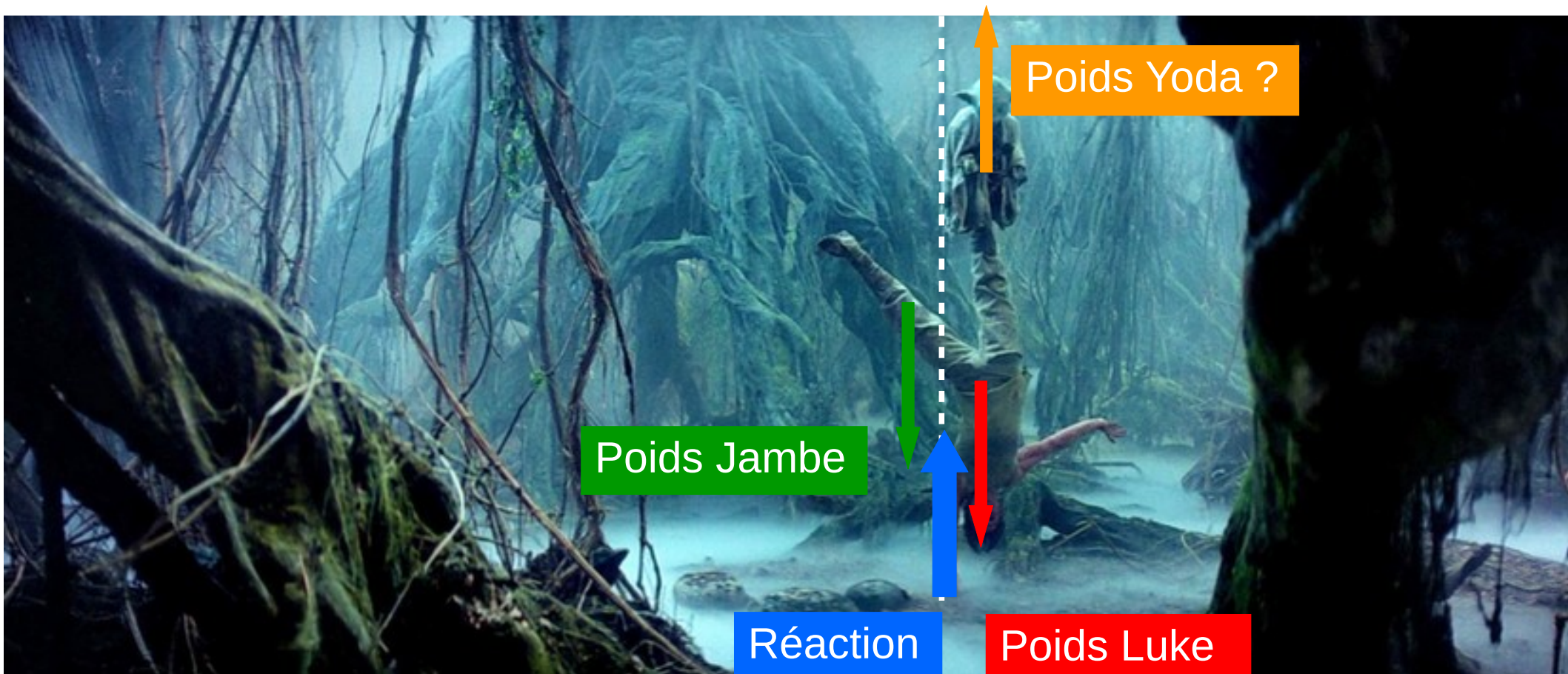
$$m_l = 0.155m_h$$

$$h = 1 \text{ human}$$

$$m_h = \text{human mass}$$

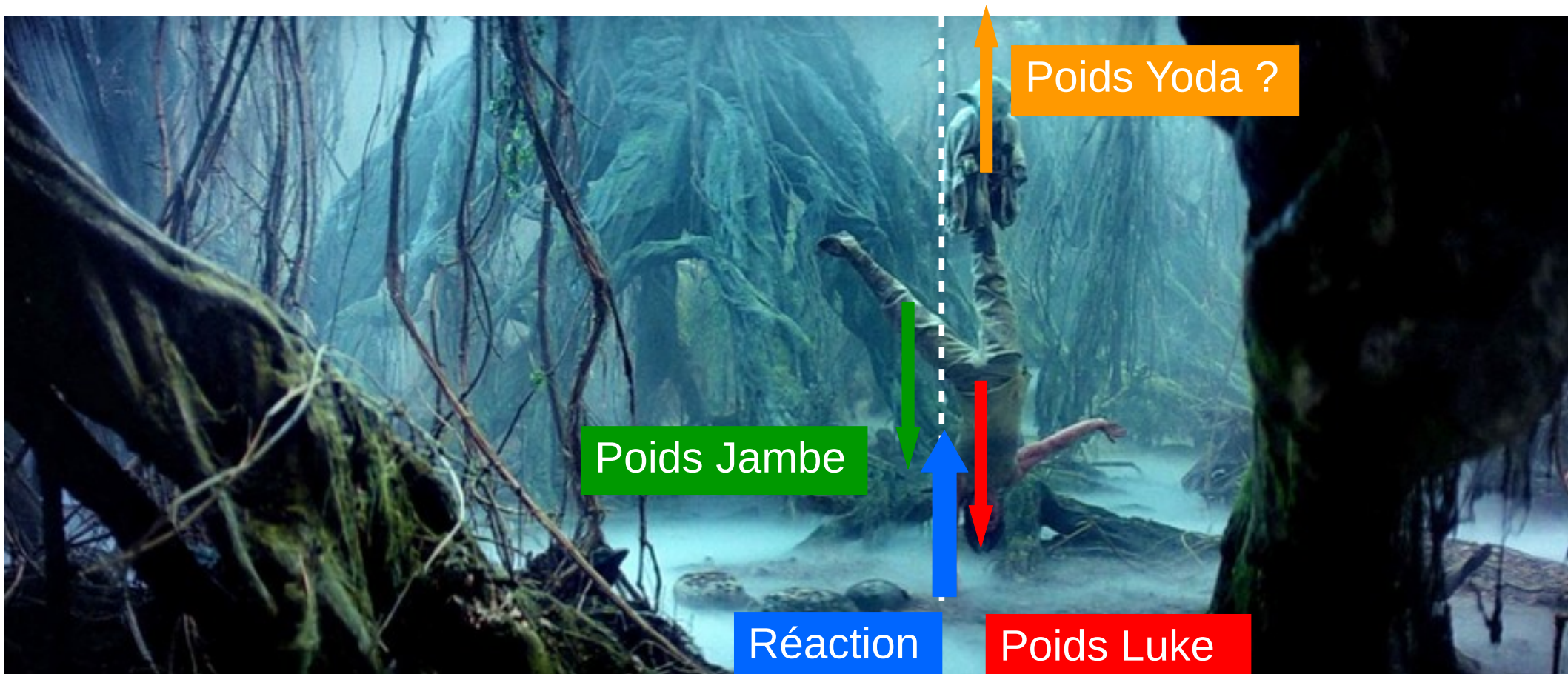
Calcul sur : <https://www.wired.com/2015/08/used-physics-calculate-much-yoda-weighs/>

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



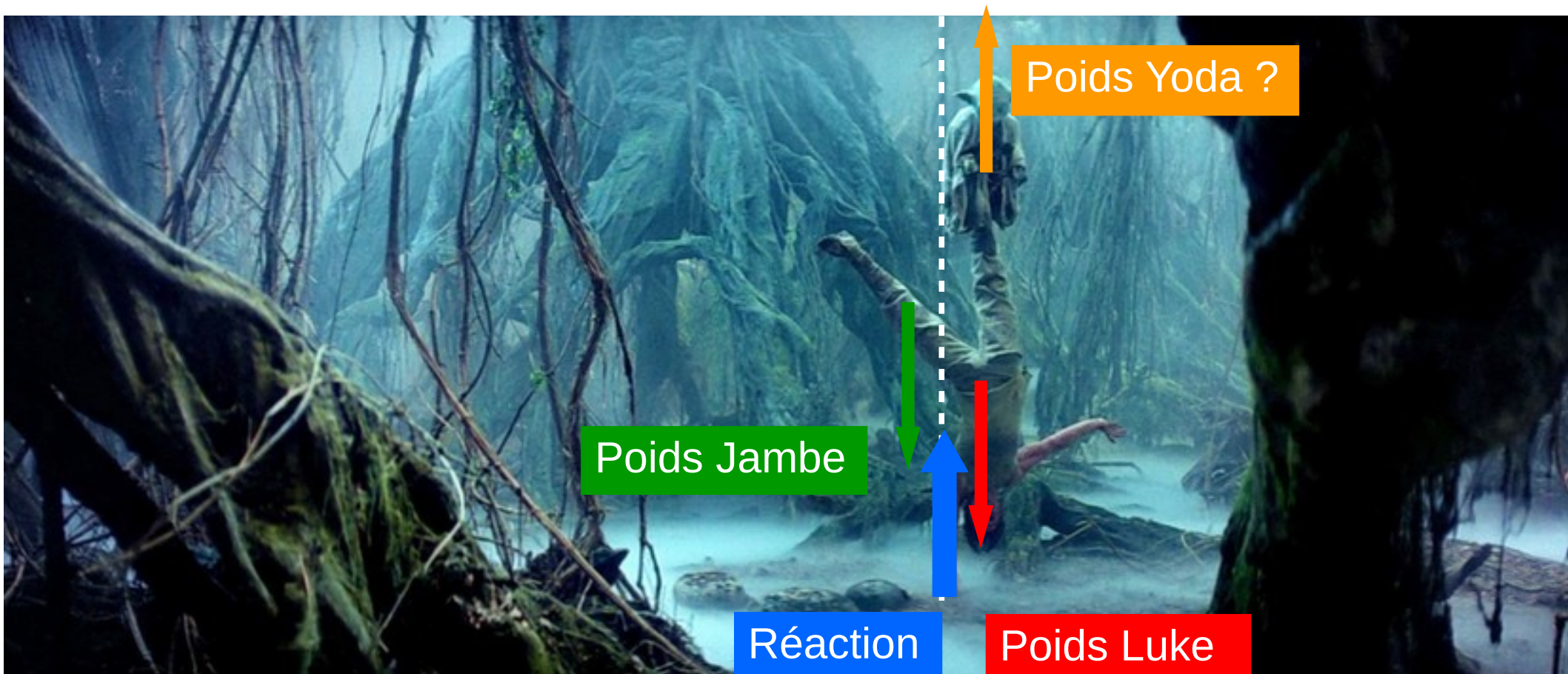
Un poids vers le haut pour Yoda ?
→ Il faudrait Masse = - 40 kg !

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



Conclusion : Yoda triche et aide Luke pour son entraînement

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force

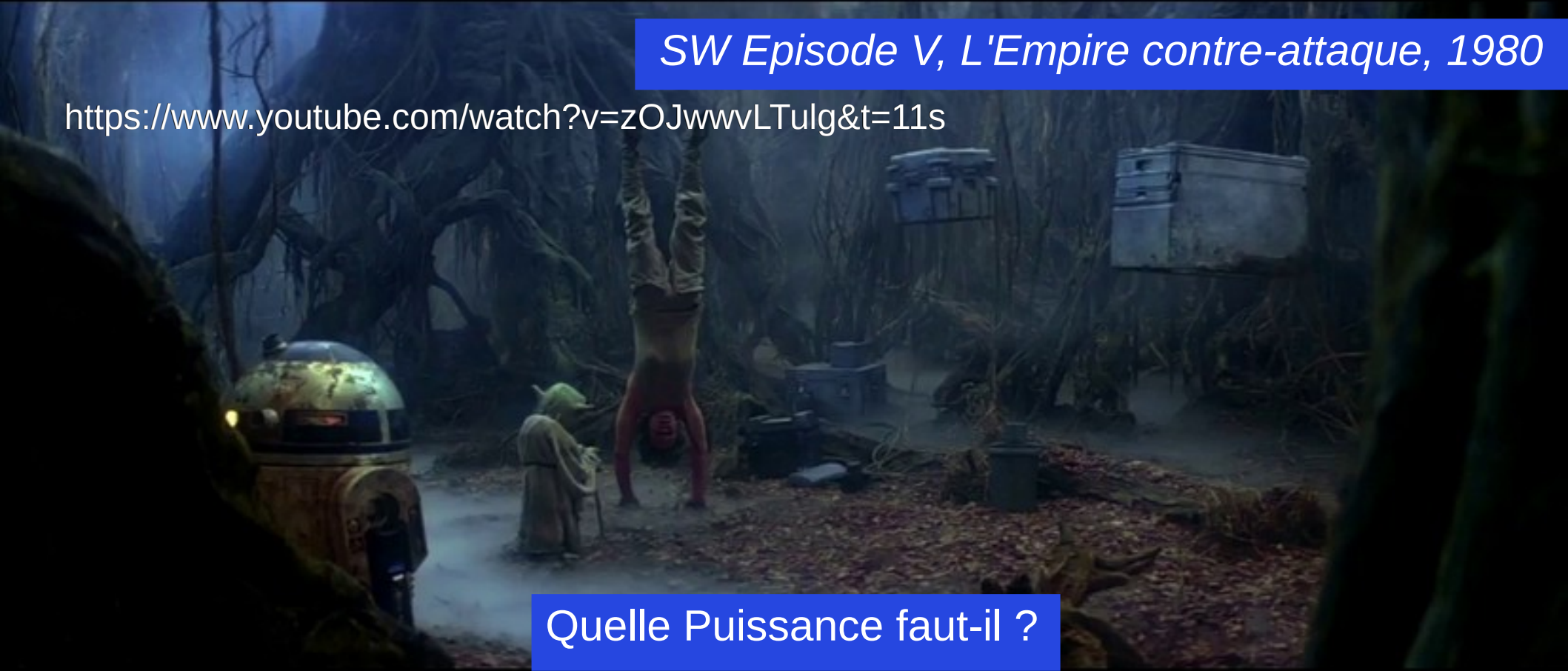


Conclusion : Yoda maîtrise la Gravitation...

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force

SW Episode V, L'Empire contre-attaque, 1980

<https://www.youtube.com/watch?v=zOJwwwLTulg&t=11s>



Quelle Puissance faut-il ?

Quelle gravité ?

→ Similaire à la Terre → $g \sim 10 \text{ m/s}^2$

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



Quelle énergie cela représente-t-il ?

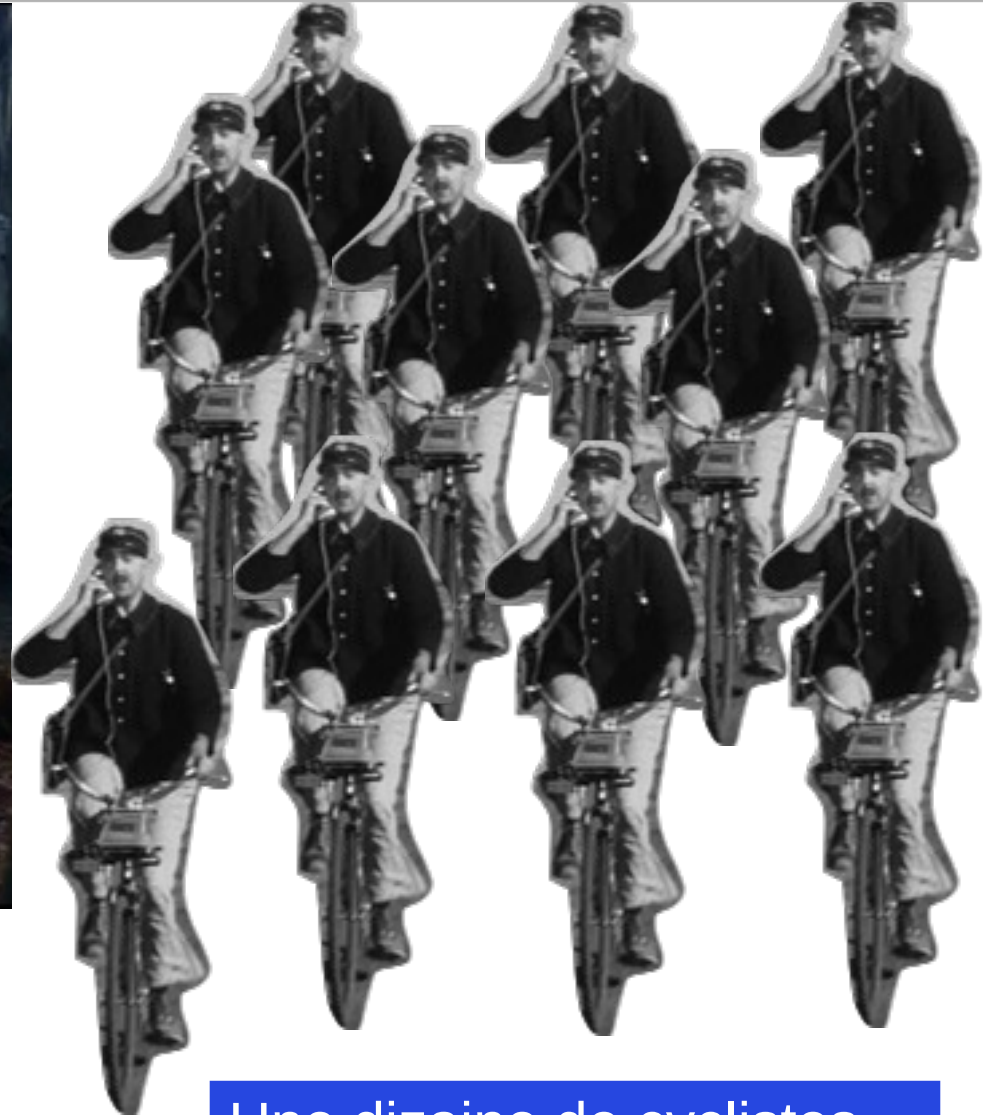
1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



Quelle énergie cela représente-t-il ?

- $E = m \times g \times h \sim 100 \times 10 \times 2 \sim 2 \text{ kJ}$
- Puissance pour $t=1\text{s} = E/t \sim \mathbf{2kW}$

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force

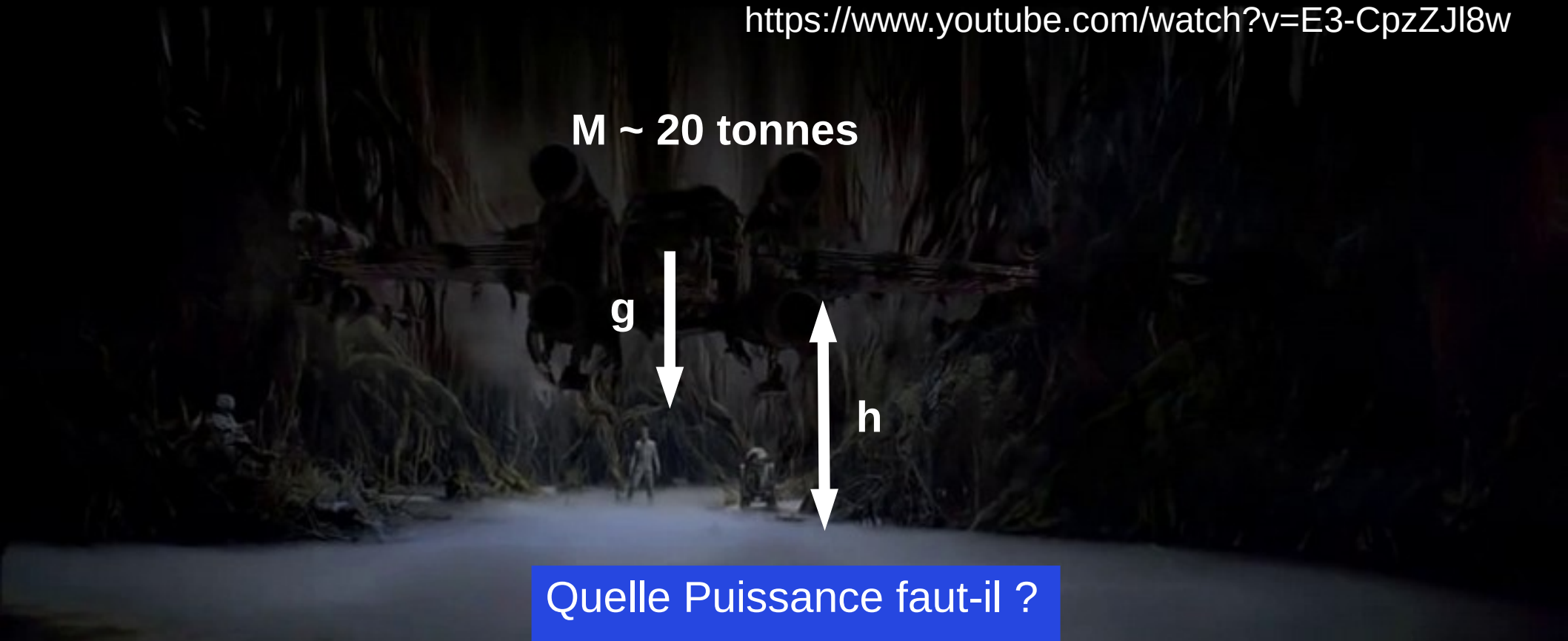


Une dizaine de cyclistes...



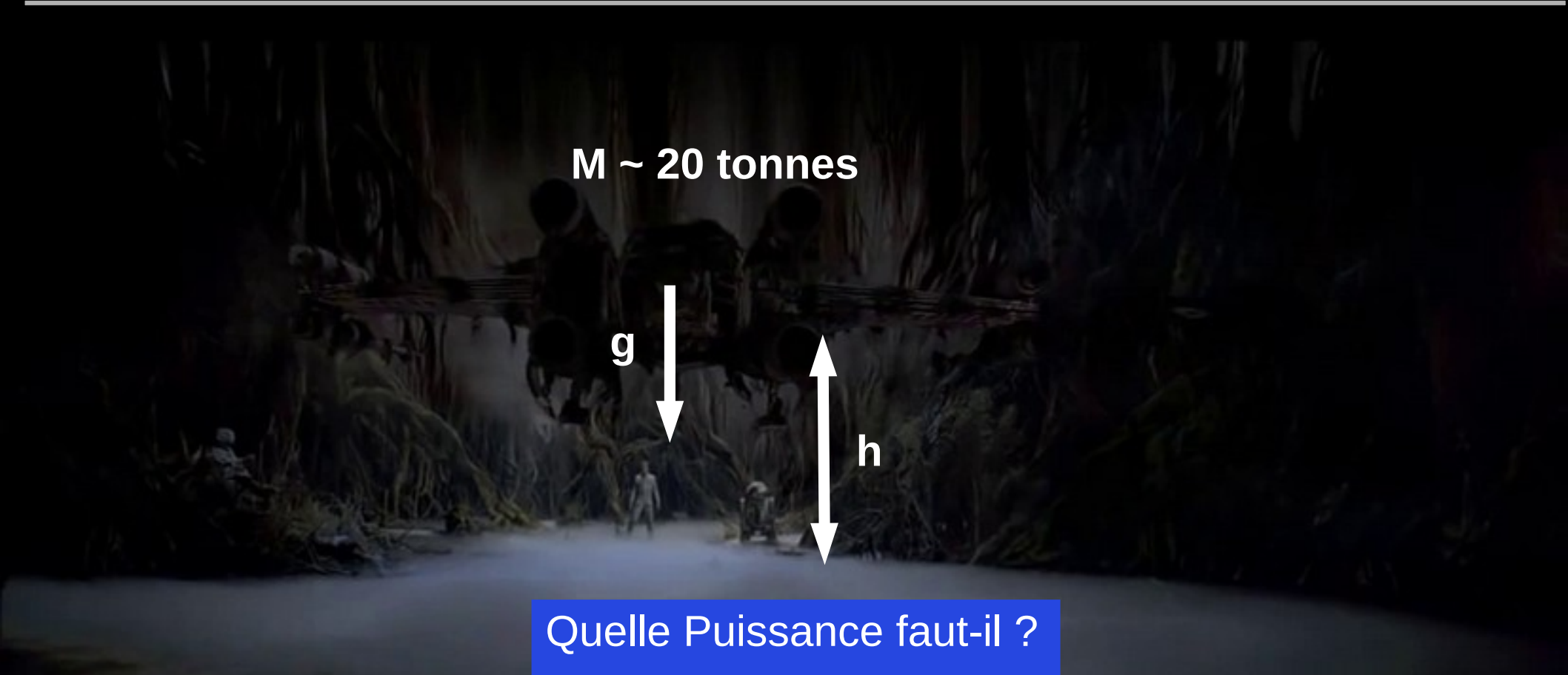
1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force

<https://www.youtube.com/watch?v=E3-CpzZJl8w>



Quelle énergie cela représente-t-il ?

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



Quelle énergie cela représente-t-il ?

- $E = m \times g \times h \sim 20\,000 \times 10 \times 5 \sim 1 \text{ MJ}$
- Puissance pour $t \approx 10$ secondes = $E/t \sim \mathbf{100kW}$

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



Un millier de cyclistes...

1- La Force des Jedi : l'équilibre de la Force



...ou une petite voiture...



1- La Force des Jedi : le saut

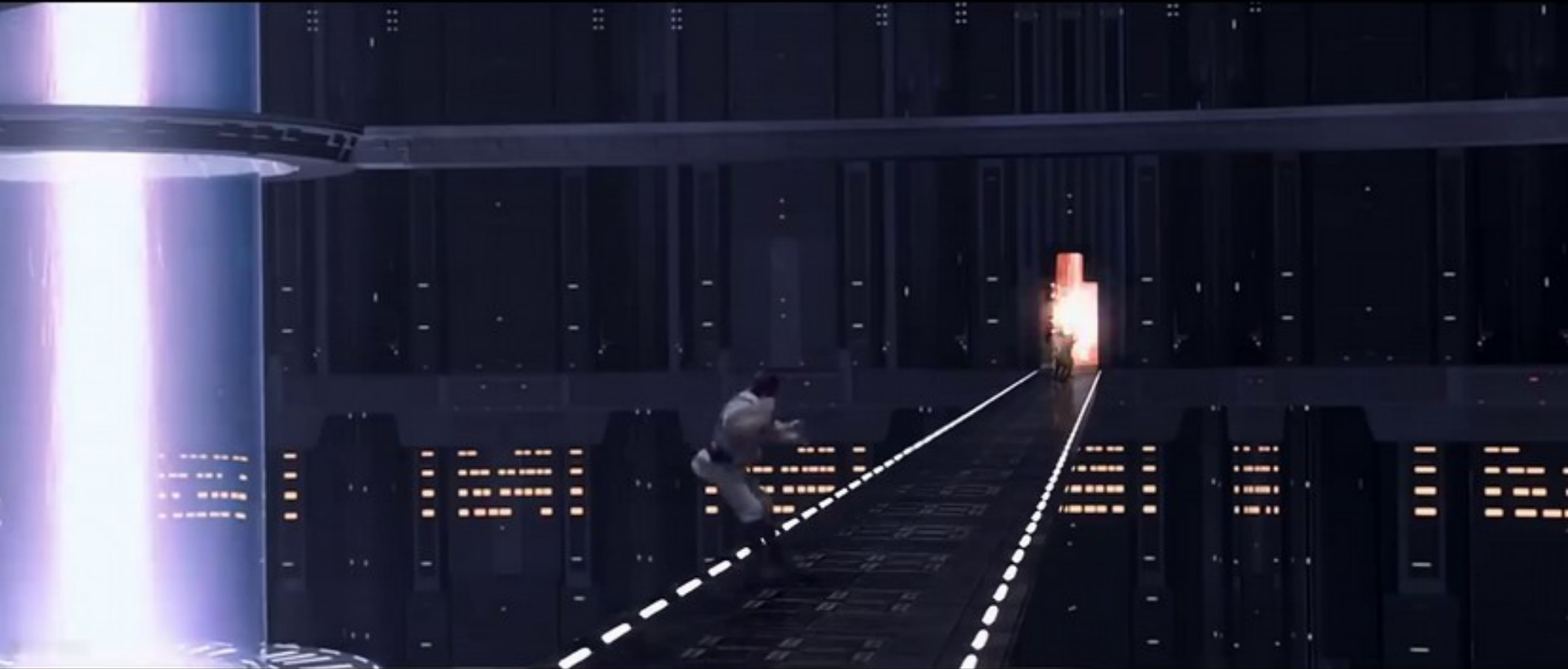
<https://www.youtube.com/watch?v=rgyitSIMtMY>



SW Episode V, L'Empire contre-attaque, 1980

1- La Force des Jedi : le saut

<https://www.youtube.com/watch?v=lezQw6dJs4I>



SW Episode I, La Menace fantôme, 1999



1- La Force des Jedi : le saut

<https://www.youtube.com/watch?v=lezQw6dJs4I>



SW Episode I, La Menace fantôme, 1999

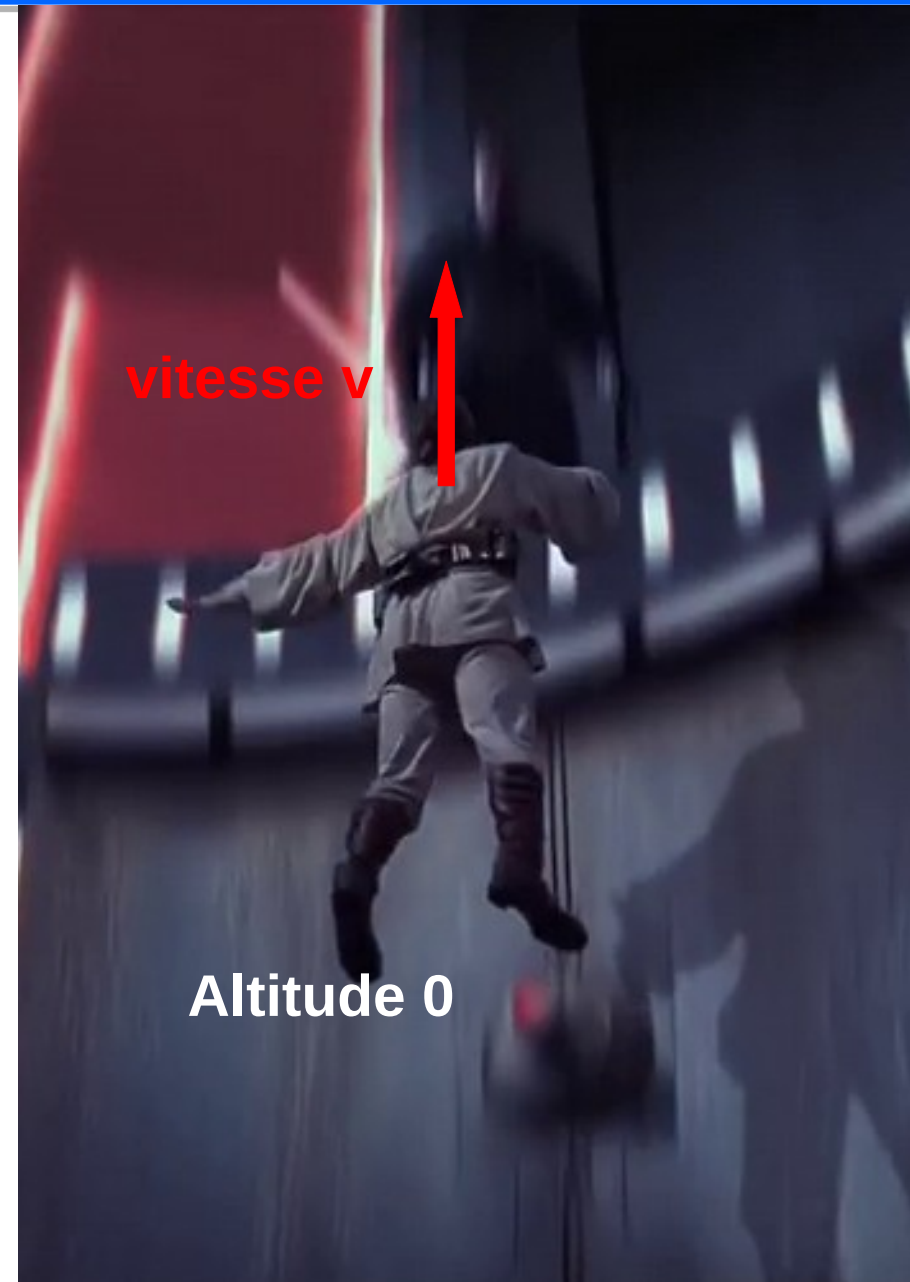


1- La Force des Jedi : le saut



Pour atteindre une hauteur h

Au sol : altitude = 0, vitesse v
→ Energie = $\frac{1}{2} m v^2$



1- La Force des Jedi : le saut



Pour atteindre une hauteur h

Au sol : altitude = 0, vitesse v
→ Energie = $\frac{1}{2} m v^2$

En haut : altitude h , vitesse nulle
→ Energie = mgh



1- La Force des Jedi : le saut



Pour atteindre une hauteur h

Au sol : altitude = 0, vitesse v

→ Energie = $\frac{1}{2} m v^2$

En haut : altitude h , vitesse nulle

→ Energie = mgh

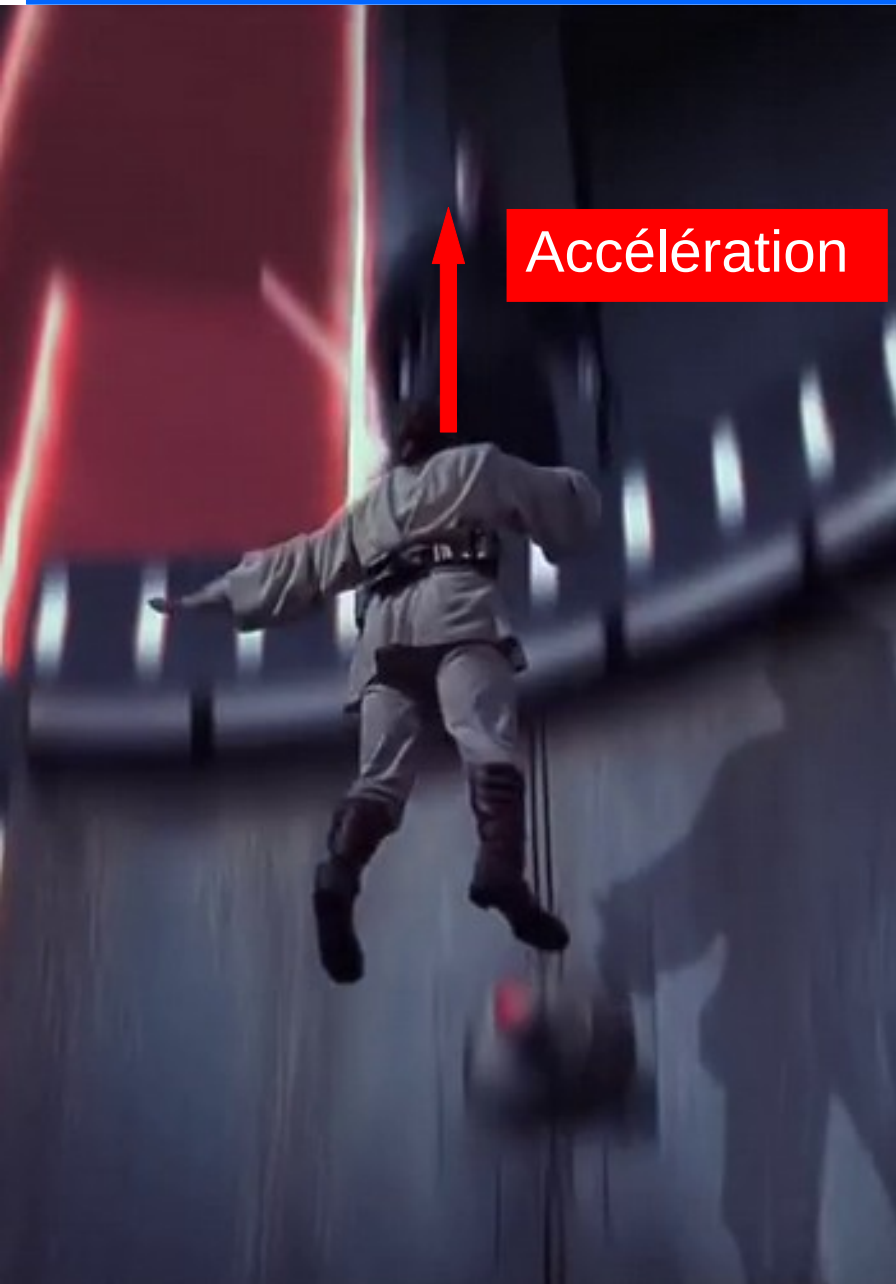
→ Vitesse minimale $\frac{1}{2} m v_{\min}^2 = mgh$

→ $v_{\min}^2 = 2gh$

Soit 10m/s pour $h = 5m$



1- La Force des Jedi : le saut



Accélération

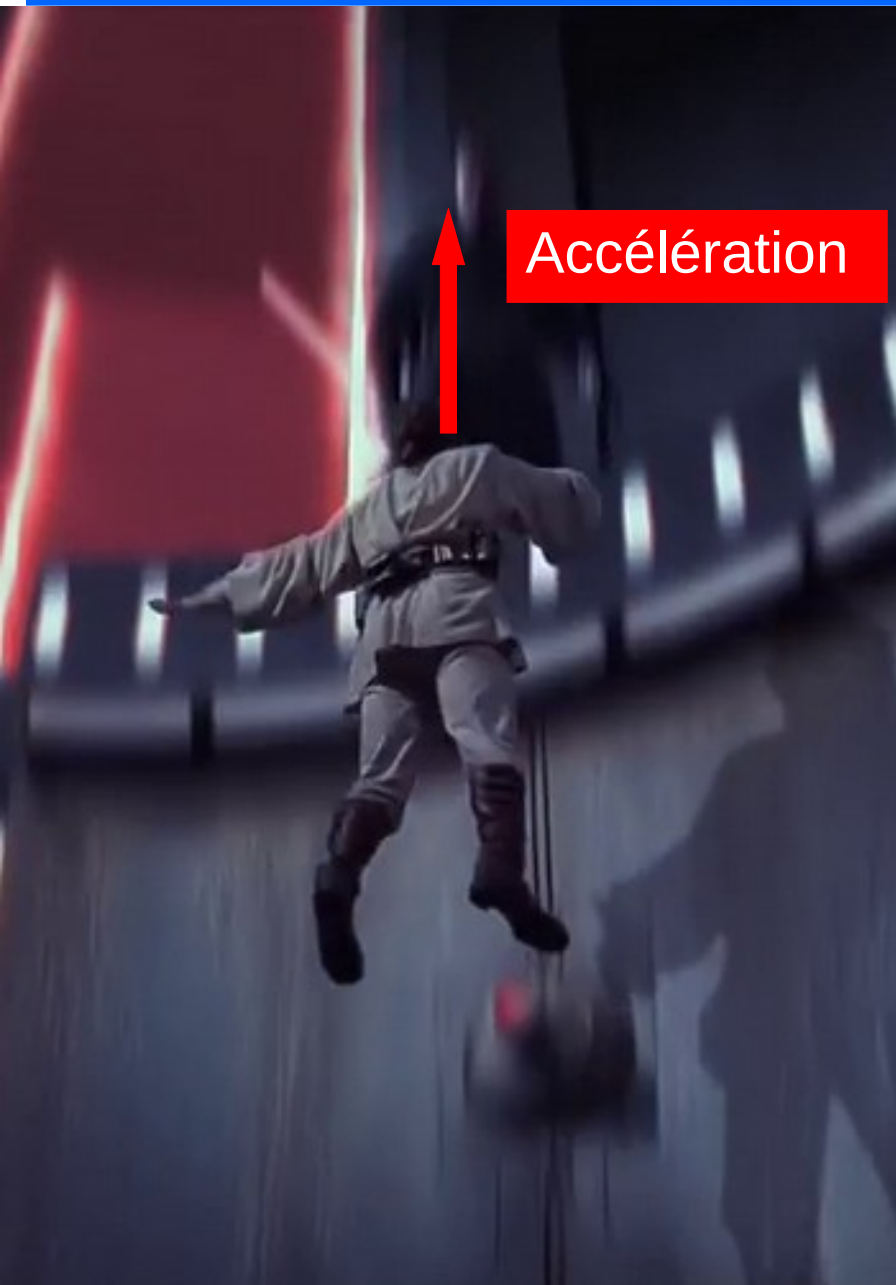
Pendant un temps court, $t \sim 0,1\text{s}$

et une accélération $\sim v/t = 100 \text{ m/s}^2$

Soit une force équivalente

→ **Force = $m \times a \sim 7 \times 10^3 \text{ N}$**

1- La Force des Jedi : le saut



Accélération

Pendant un temps court, $t \sim 0,1s$

et une accélération $\sim v/t = 100 \text{ m/s}^2$

Soit une force équivalente

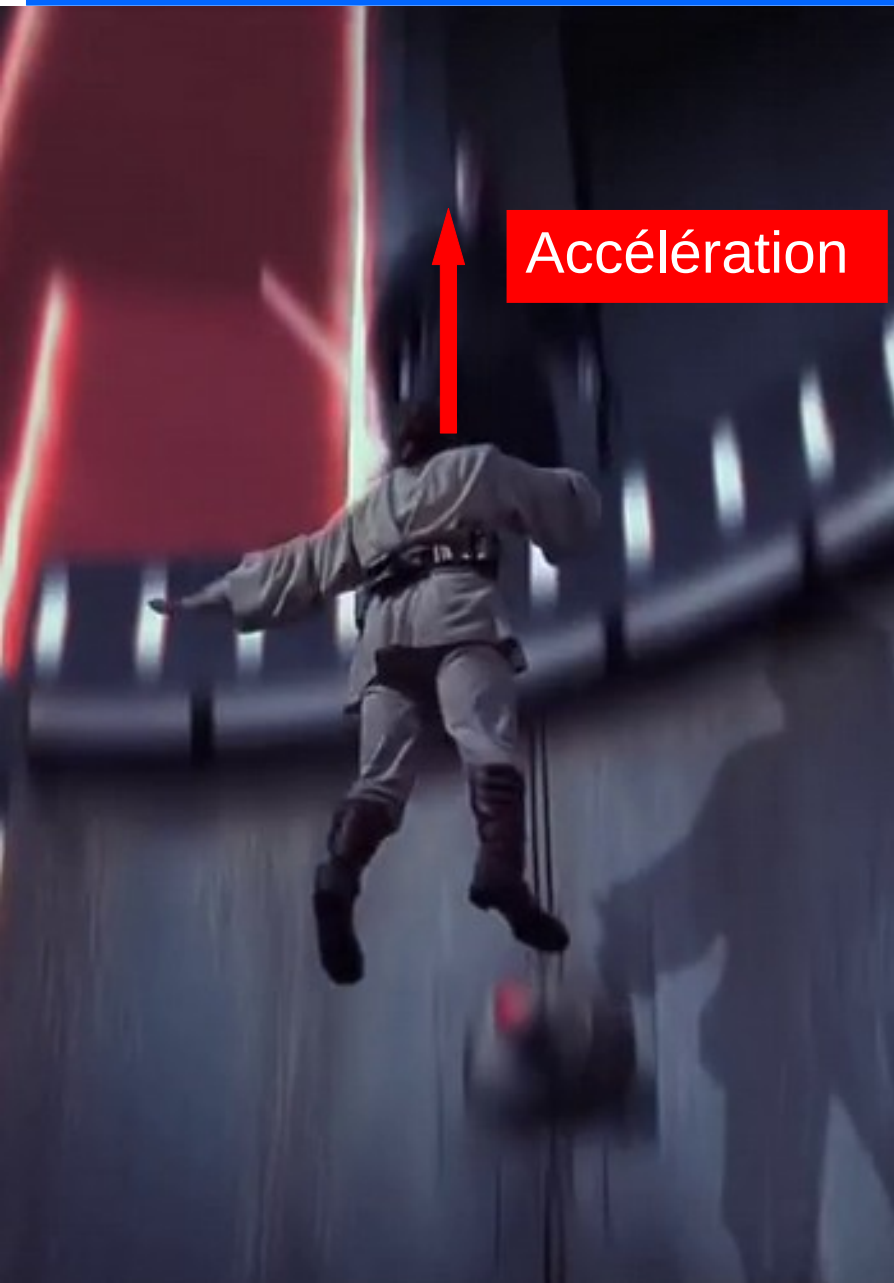
$$\rightarrow \text{Force} = m \times a \sim 7 \times 10^3 \text{ N}$$

La force est exercée sur ses pieds (ou bras)

$$\rightarrow S \sim 0,3 \times 0,1 \text{ m} \sim 0,05 \text{ m}^2$$

$$\text{Pression} \sim \text{Force}/S = 0,14 \text{ MPa}$$

1- La Force des Jedi : le saut



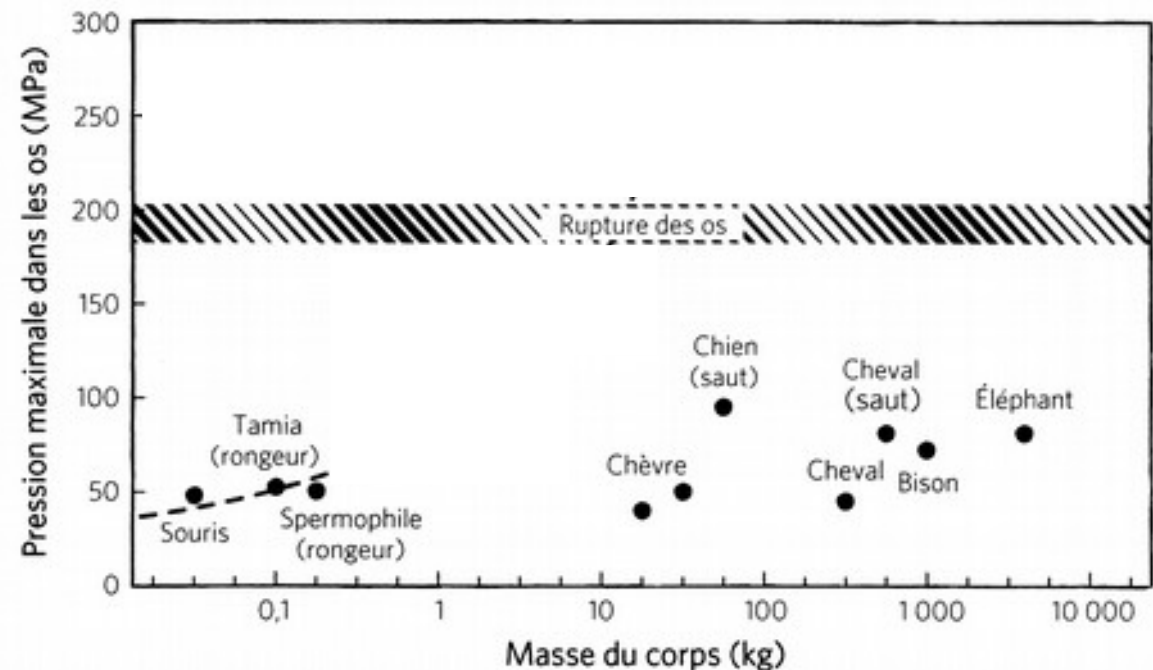
La force est exercée sur ses pieds

$$\rightarrow S \sim 0,3 \times 0,1 \text{ m} \sim 0,03 \text{ m}^2$$

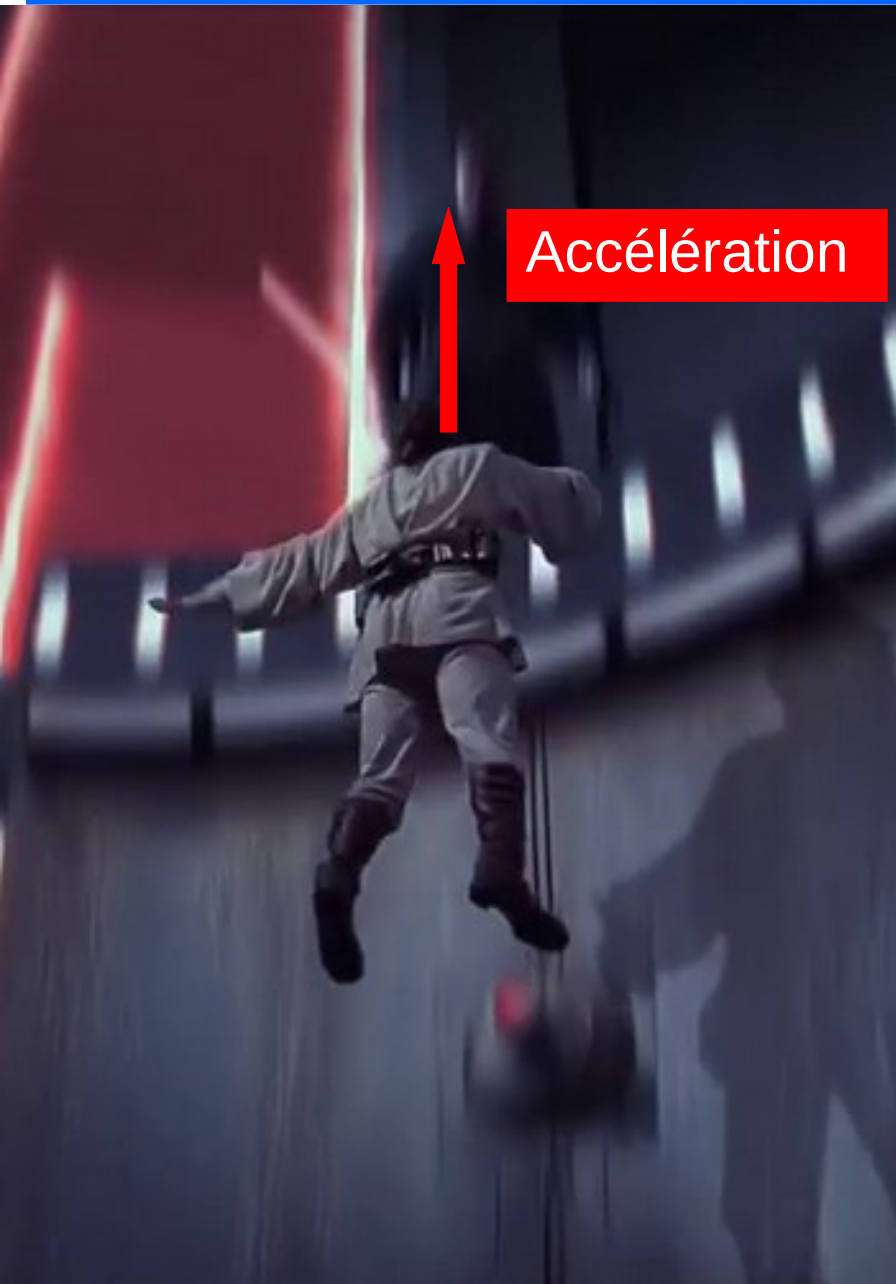
Pression $\sim 0,14 \text{ MPa}$

Pression Maximale $\sim 200 \text{ MPa}$

$\rightarrow$ Hauteur maximale $\sim 125 \text{ m}$



1- La Force des Jedi : le saut



Accélération $\sim 100\text{m/s}^2$

En terme de « g »
 $\rightarrow 1\text{ g} \approx 10\text{ m/s}^2$

Accélération subie $\sim 10\text{ g}$!

Pour un homme bien entraîné
 $\rightarrow$ accélération supportable $\sim 10\text{g}$!

1- La Force des Jedi : le saut



<https://en.wikipedia.org/wiki/G-LOC>



1- La Force des Jedi : le saut

La combinaison « anti-g » obligatoire pour les Jedi !



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

Le seul bien équipé :
Darth Vader !



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

Le seul bien équipé :
Darth Vader !



Combinaison
anti-g



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

<https://www.youtube.com/watch?v=VyyWiqdpY6M&t=4s>



SW Episode II, L'Attaque des clones, 2002



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

https://www.youtube.com/watch?v=F_ewMFdd34A



La lumière du Laser est invisible...
sauf la lumière diffusée !



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

Une lame invisible...



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

Une lame invisible...

Un Sabre un peu encombrant...et dangereux !



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

Une lame invisible...

Un Sabre un peu encombrant...et dangereux !



Pas de combat possible...



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

Le seul bien équipé :
Darth Vader !

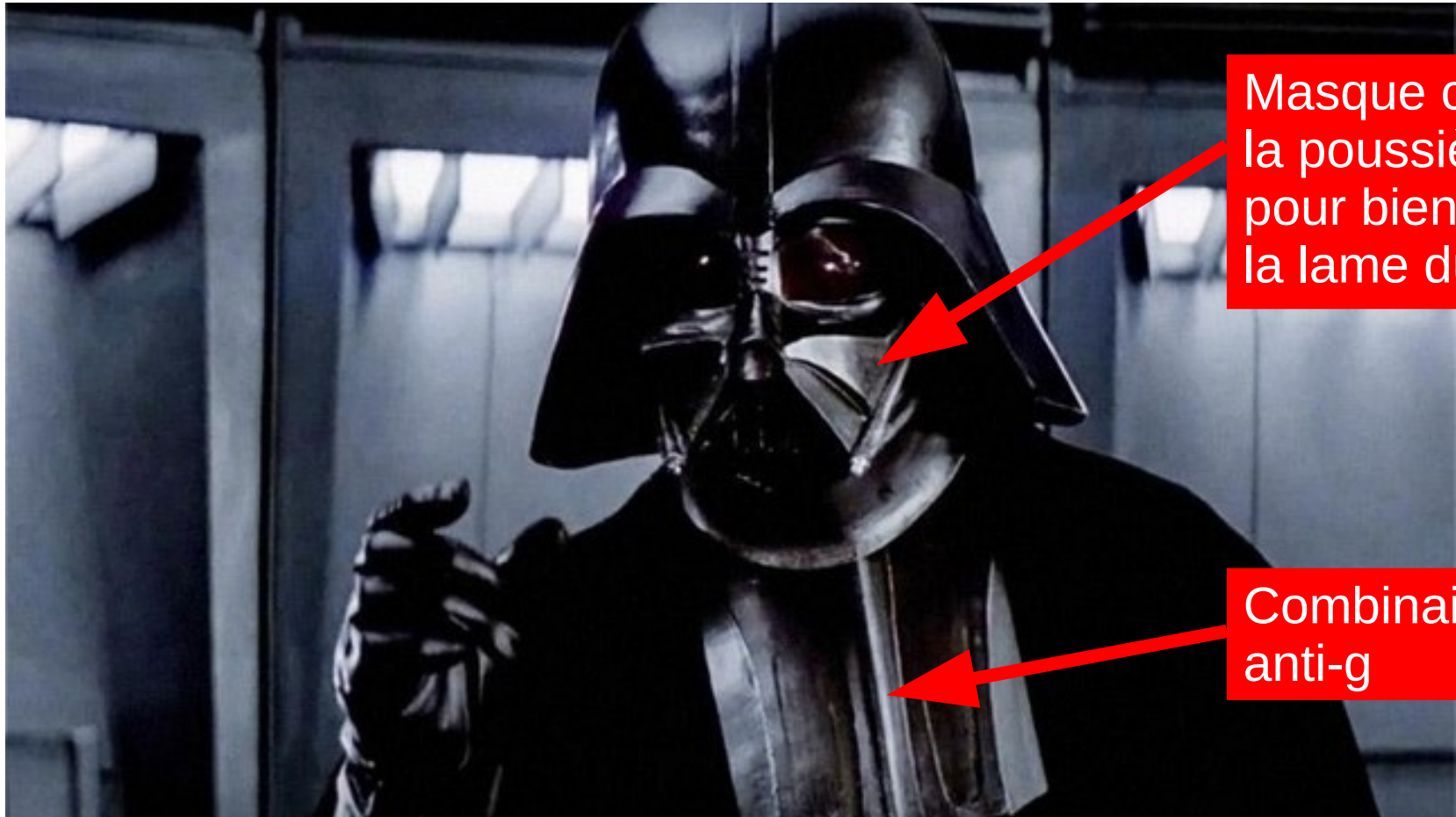


Combinaison
anti-g



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

Le seul bien équipé :
Darth Vader !



Masque contre
la poussière
pour bien voir
la lame du Sabre

Combinaison
anti-g



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

<https://www.youtube.com/watch?v=K48M2S7bkSA>



SW Episode I, La Menace fantôme, 1999

1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

SW Episode I, La Menace fantôme, 1999



Quelle énergie faut-il ?



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



Quelle énergie faut-il ?

Acier $\sim 8000 \text{ kg/m}^3$

→ Masse $\sim 8000 \text{ kg}$



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



Quelle énergie faut-il ?

Pour élever la température d'1K pour 1kg, il faut fournir une énergie « c »

→ Capacité Calorifique en J/kg/K → 500 J/kg/K pour l'Acier

500 J ~ énergie d'une balle de tennis à 460 km/h !!



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



Quelle énergie faut-il ?

Chaleur nécessaire pour porter une masse M d'acier à $T_{\text{fusion}} \sim 1500^{\circ}\text{C}$

$$\rightarrow Q_{\text{chauffage}} = M c (T_{\text{fusion}} - T_{\text{initiale}}) \sim 8000 \times 500 \times 1500 \sim \mathbf{6 \times 10^9 \text{ Joules}}$$



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



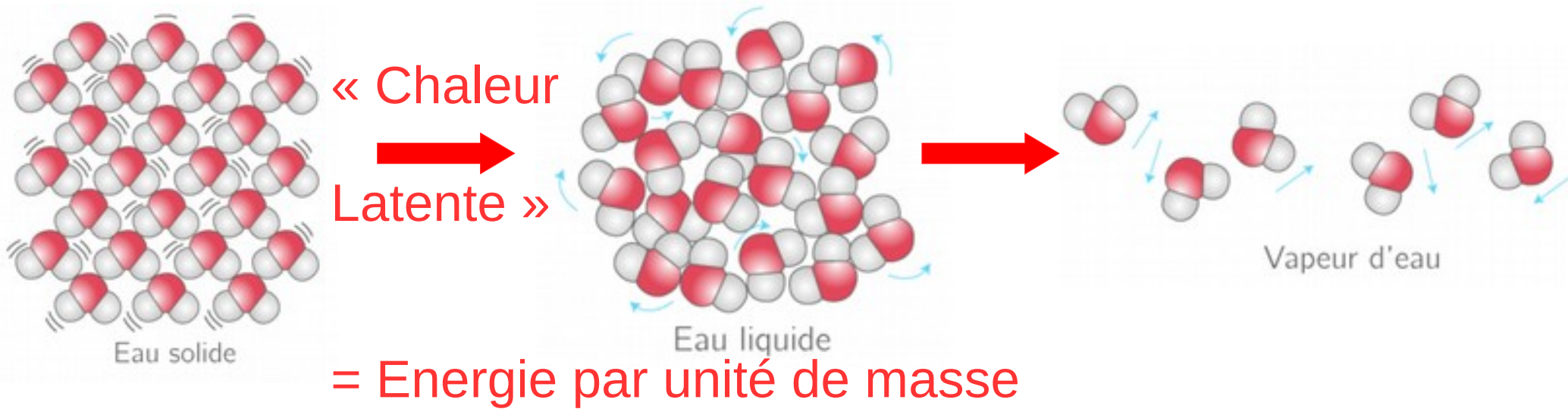
Quelle énergie faut-il ?

Chaleur nécessaire pour porter une masse M d'acier à $T_{\text{fusion}} \sim 1500^{\circ}\text{C}$

$$\rightarrow Q_{\text{chauffage}} = M c (T_{\text{fusion}} - T_{\text{initiale}}) \sim 8000 \times 500 \times 1500 \sim 6 \times 10^9 \text{ Joules}$$

Il faut ensuite faire fondre l'acier...

1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



$L_{\text{fusion/vaporisation}}$ Chaleur latente de fusion/vaporisation

Il faut ensuite faire fondre l'acier... **270kJ/kg d'Acier**

$$\rightarrow Q_{\text{fusion}} = M L_{\text{fusion}} \sim 8000 \times 270 \times 10^3 \sim \mathbf{2 \times 10^9 \text{ Joules}}$$

1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



Quelle énergie faut-il ?

Au final $\rightarrow Q_{\text{totale}} = Q_{\text{chauffage}} + Q_{\text{fusion}} \sim \mathbf{8 \times 10^9 \text{ Joules}}$

En 10 secondes $\rightarrow$ Puissance $\sim 8 \times 10^8 \text{ W} \sim 1 \text{ GW}$

1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

Fessenheim ~ 1,8 GW



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

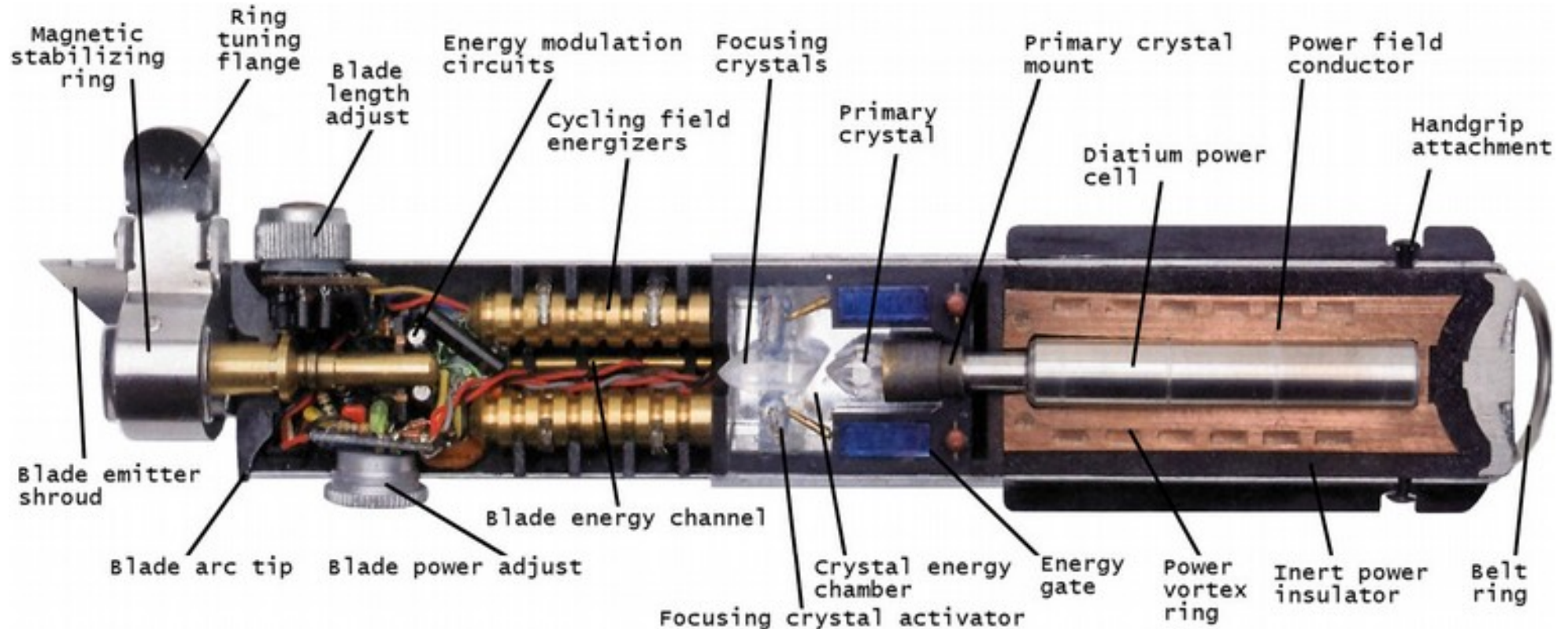
Fessenheim ~ 1,8 GW



Sacrément puissant, le Sabre-Laser !



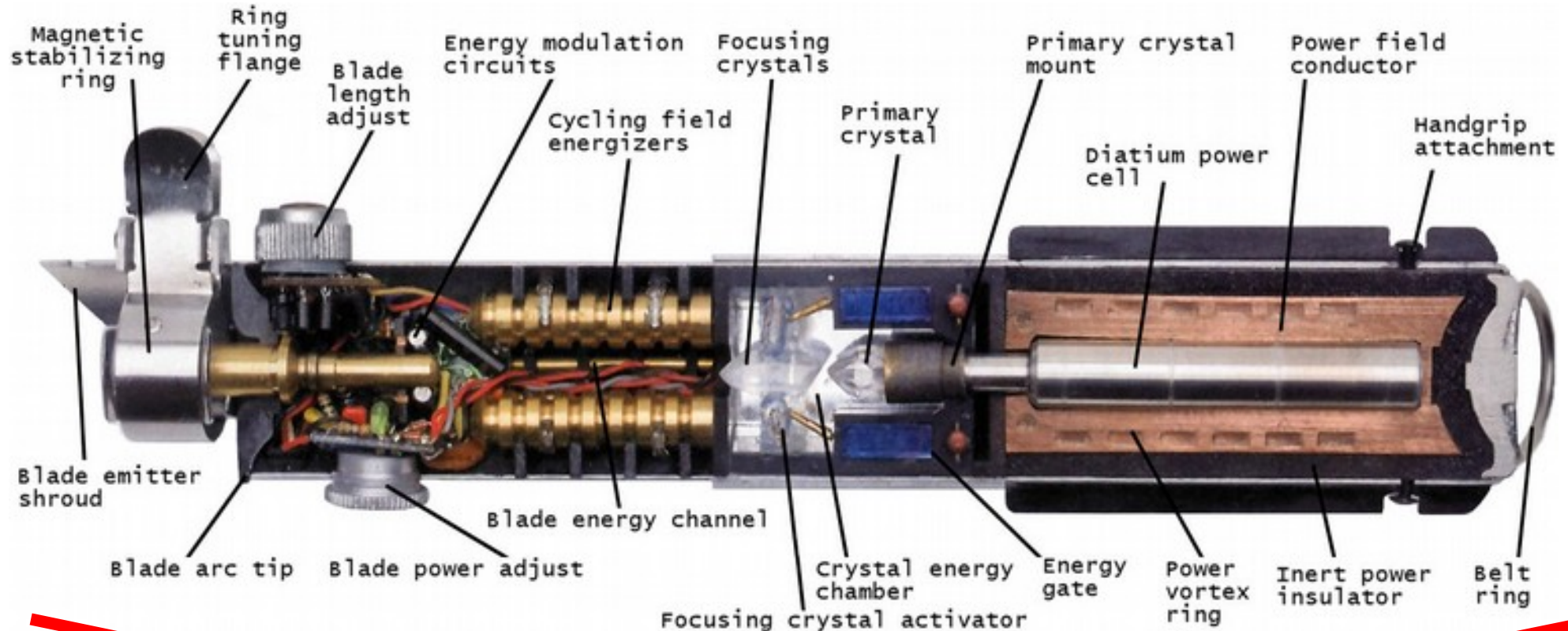
1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



Comment ça fonctionne ?

Le rayon d'énergie fonctionnant en circuit fermé, l'énergie émise par les éléments chargés positivement de l'arme retourne vers des éléments chargés négativement, ce cycle énergétique jouant sur des charges antagonistes. Une bobine supraconductrice vient compléter le dispositif en fournissant la puissance en retour à la cellule d'énergie interne

1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



Comment ça fonctionne ?

Le rayon d'énergie fonctionnant en circuit fermé, l'énergie émise par les éléments chargés positivement de l'anneau retourne vers des éléments chargés négativement, ce cycle énergétique jouant sur des charges antagonistes. Une bobine supraconductrice vient compléter le dispositif en fournissant la puissance en retour à la cellule d'énergie interne

1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



Ne pas mettre ses mains si près !

Rendement du Sabre-Laser ?

Quelle fraction de l'énergie est perdue... ?



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



Vélo → environ 90 %

1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



Vélo → environ 90 %



Auto → environ 50 %



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



Ne pas mettre ses mains si près !

Rendement du Sabre-Laser ?

Si rendement = 99,9 %, 0,1 % transformé en...chaleur ?

→ $P_{\text{chaleur}} \sim 0,001 \times 1 \text{ GW} \sim 1 \text{ MW} !$

1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



Ne pas mettre ses mains si près !

L'intérieur du Sabre-Laser va chauffer...

$$\rightarrow \text{Chaleur (J)} = m_{\text{sabre}} \times c_{\text{sabre}} \times \Delta T \rightarrow \Delta T \sim 10^6/500 = 2000^\circ\text{C/seconde...}$$

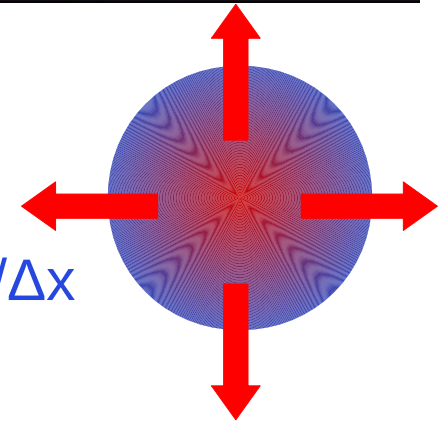
1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser



Ne pas mettre ses mains si près !

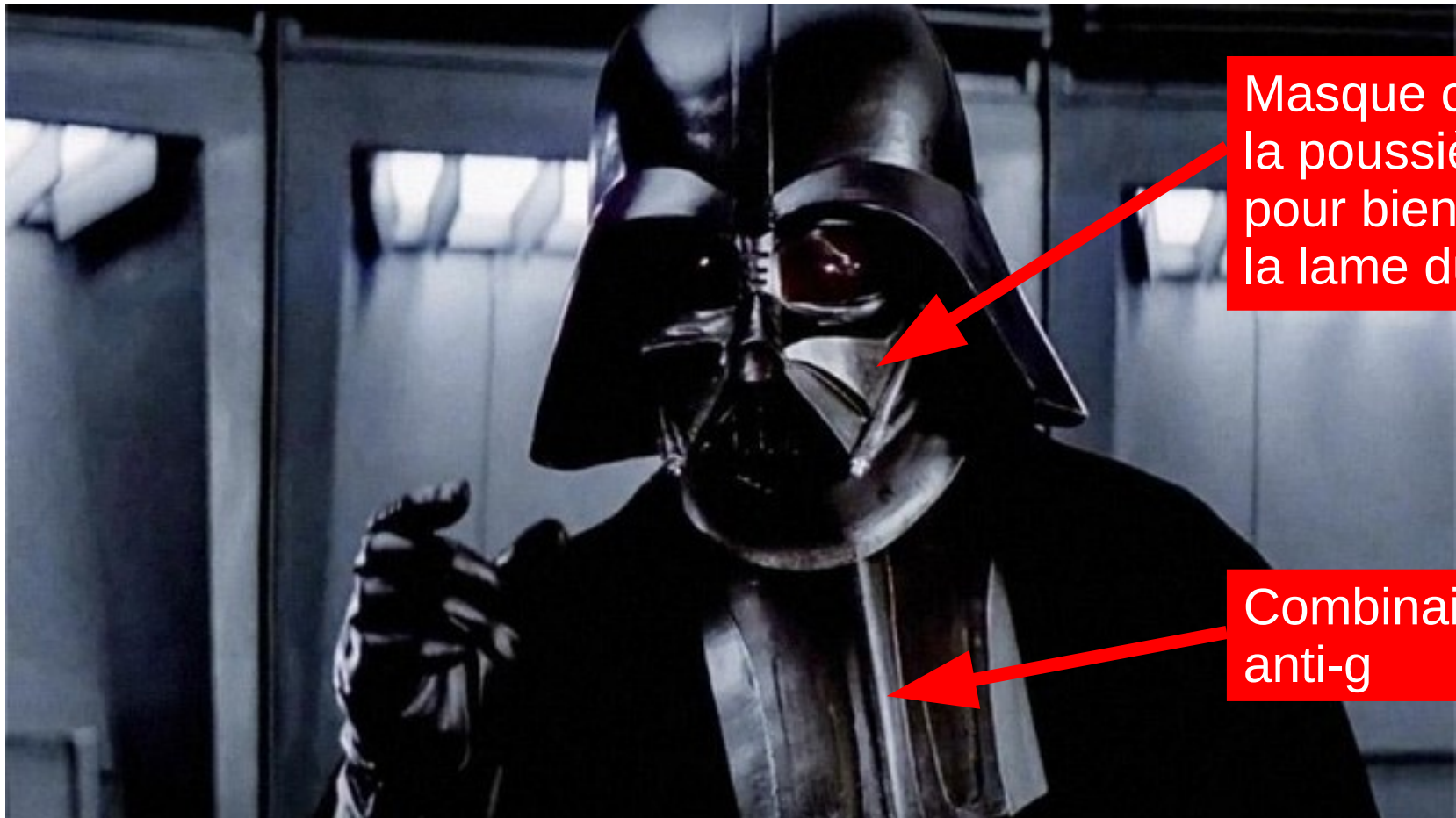
Le Sabre-Laser va conduire la Chaleur vers l'extérieur...

- Dans la poignée, $\text{Flux} = \text{Chaleur}/\text{m}^2/\text{s} = \text{Conductivité} \times \Delta T/\Delta x$
- $\Delta T/\Delta x \sim \text{Flux}/\lambda \sim 1000^\circ\text{C}/\text{cm}$ de poignée...



1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

Le seul bien équipé :
Darth Vader !



Masque contre
la poussière
pour bien voir
la lame du Sabre

Combinaison
anti-g

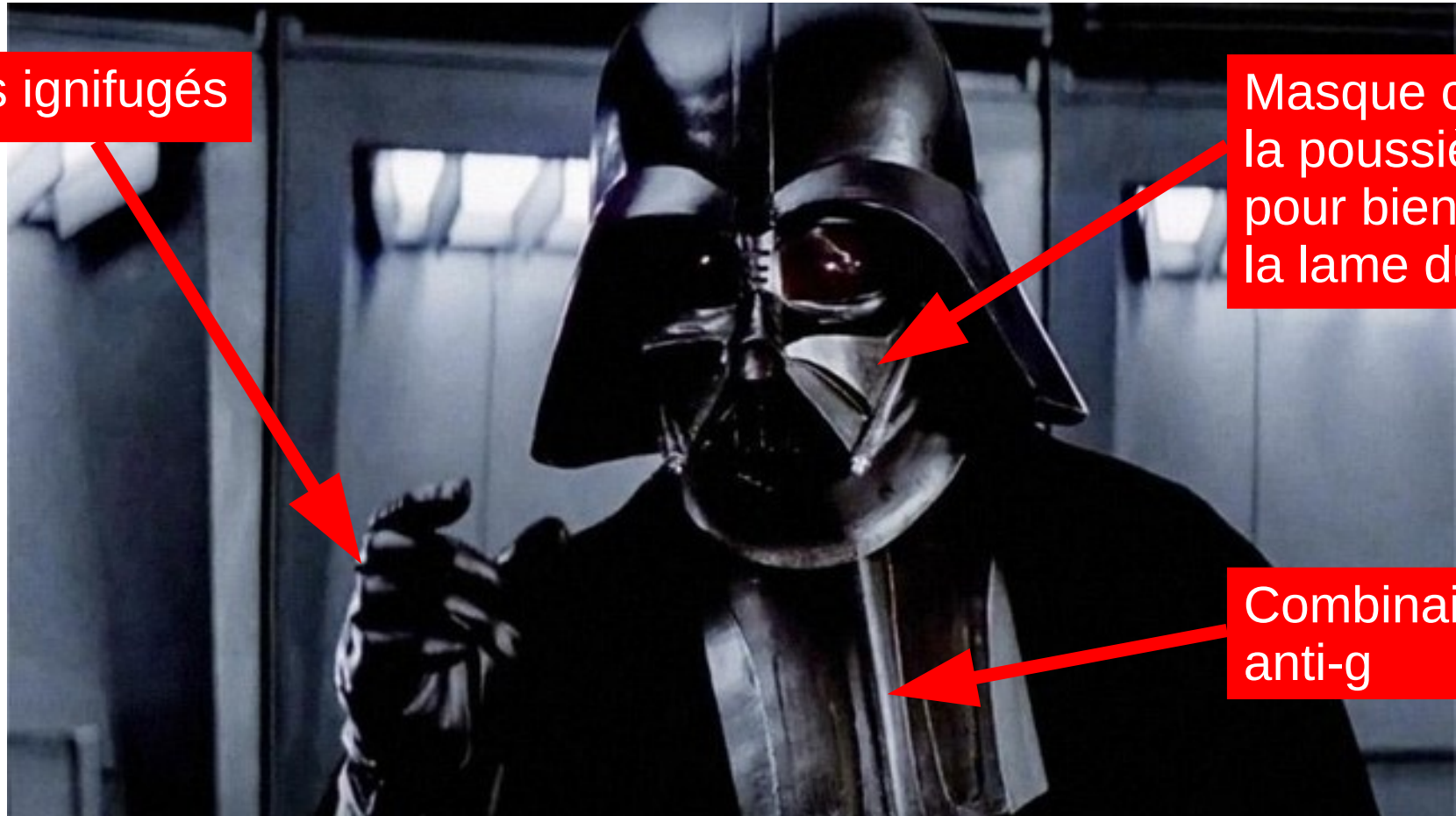
1- La Force des Jedi : le Sabre-Laser

Le seul bien équipé :
Darth Vader !

Gants ignifugés

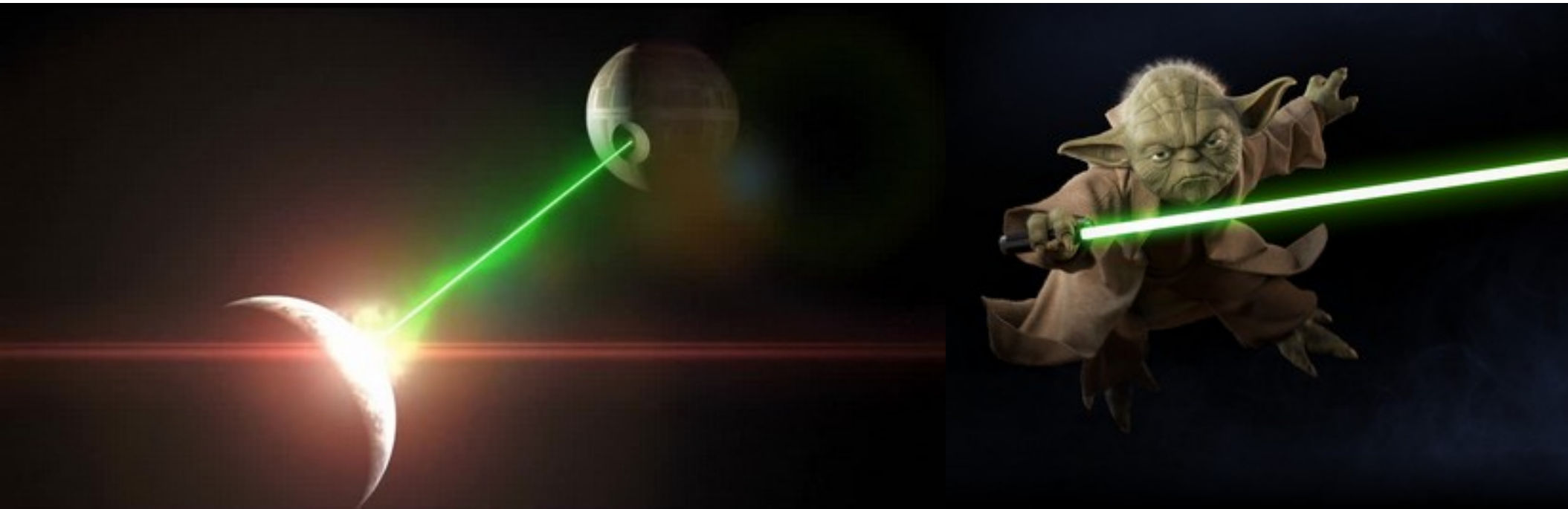
Masque contre
la poussière
pour bien voir
la lame du Sabre

Combinaison
anti-g



4- Que la Force soit avec nous !

Une enquête dans l'univers de Star Wars



1 – La Force et la Puissance des Jedi

2 – L'Energie de l'Empire

3 – Voyage au centre de Naboo

2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



SW Episode VI, Le Retour du Jedi, 1983



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur

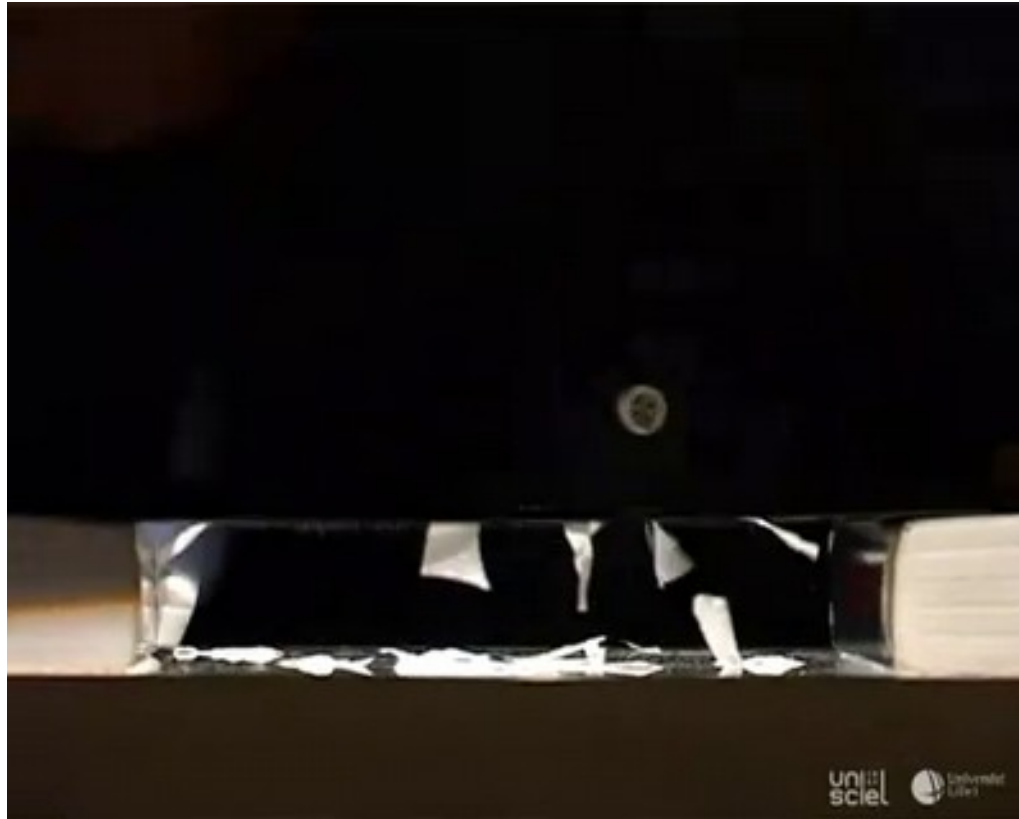


Des éclairs au bout des
doigts de l'Empereur ?



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur

<https://www.youtube.com/watch?v=bTZ3r1MmIRc>



$$F_{\text{électrique}} > F_{\text{gravitationnelle}} !$$



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur

<https://www.youtube.com/watch?v=TZQGstTysYQ>



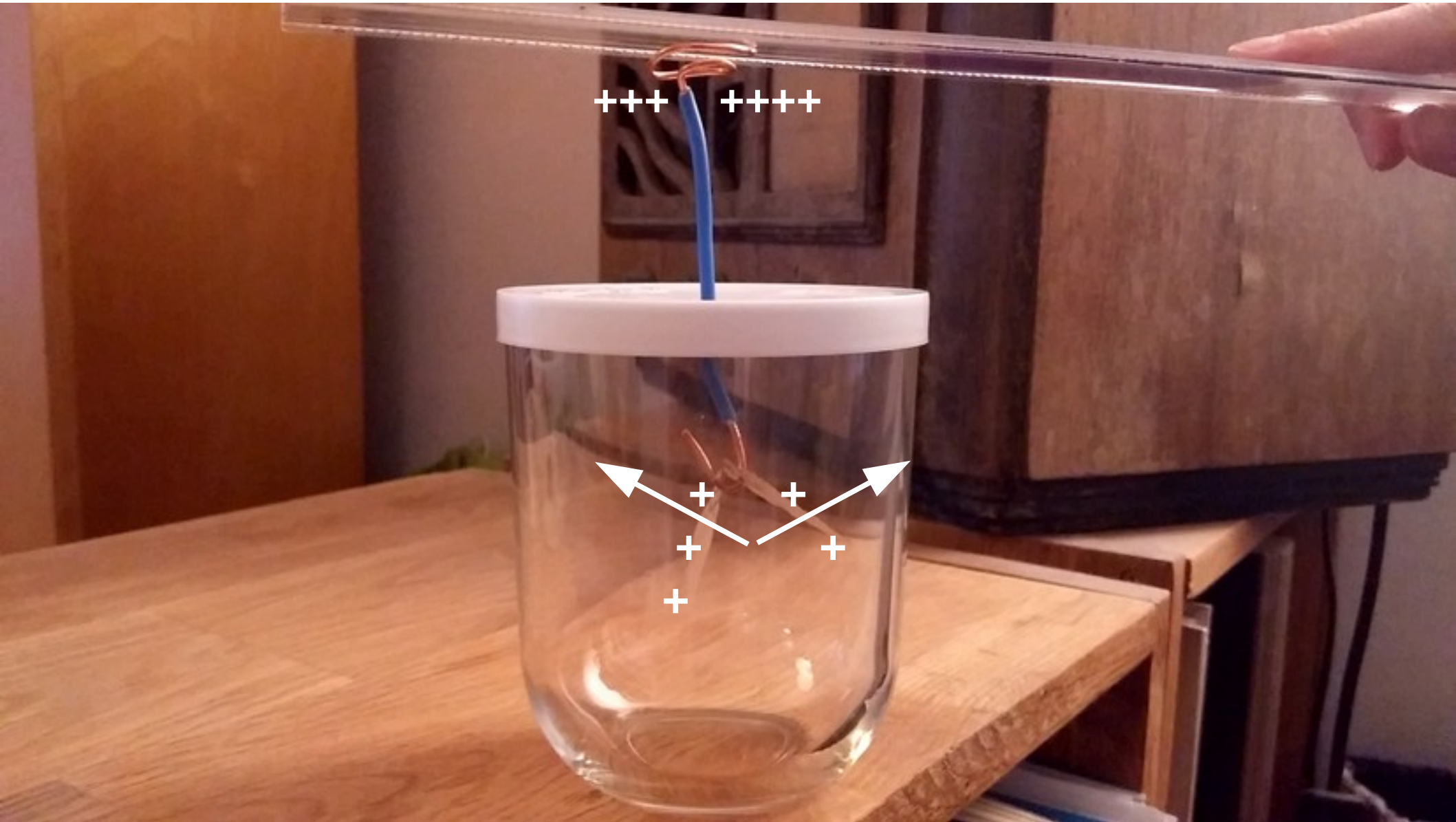
unil
sciel

Université
Lille 1

2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur

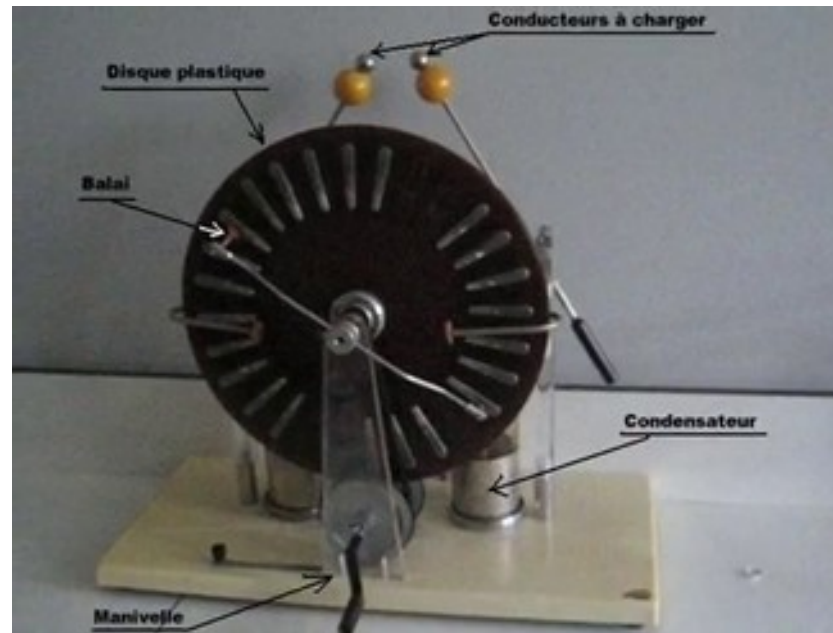


2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



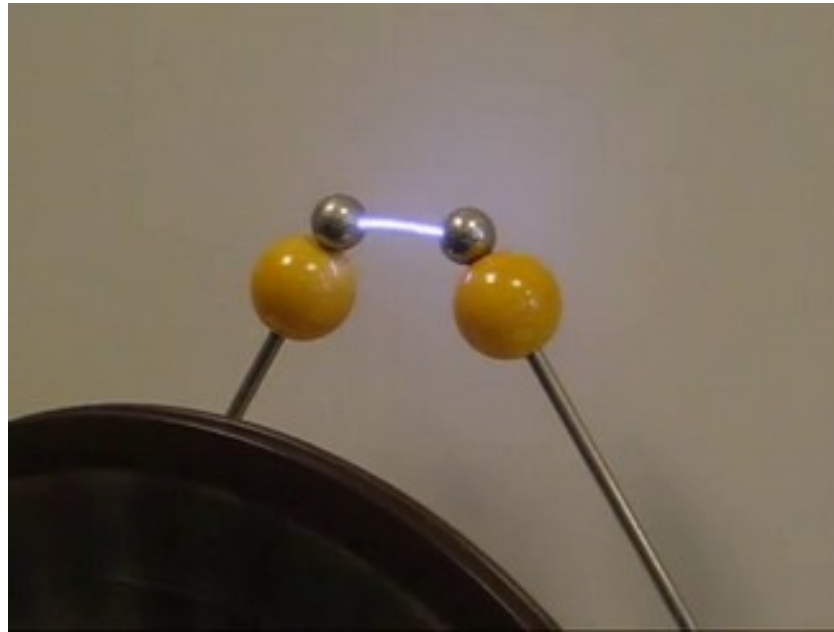
2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur

https://www.youtube.com/watch?v=pScJM_nd1fY&t=69s



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur

https://www.youtube.com/watch?v=pScJM_nd1fY&t=69s

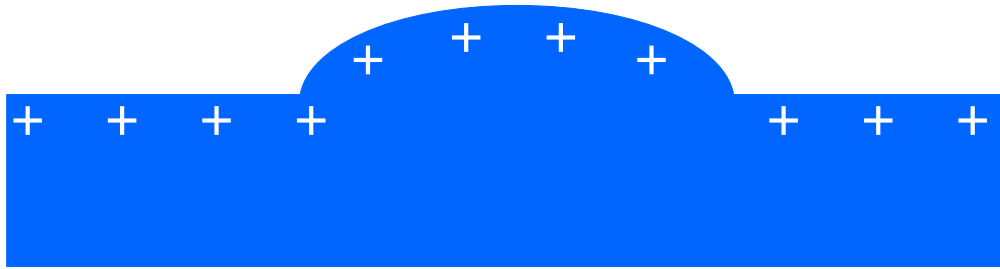


2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



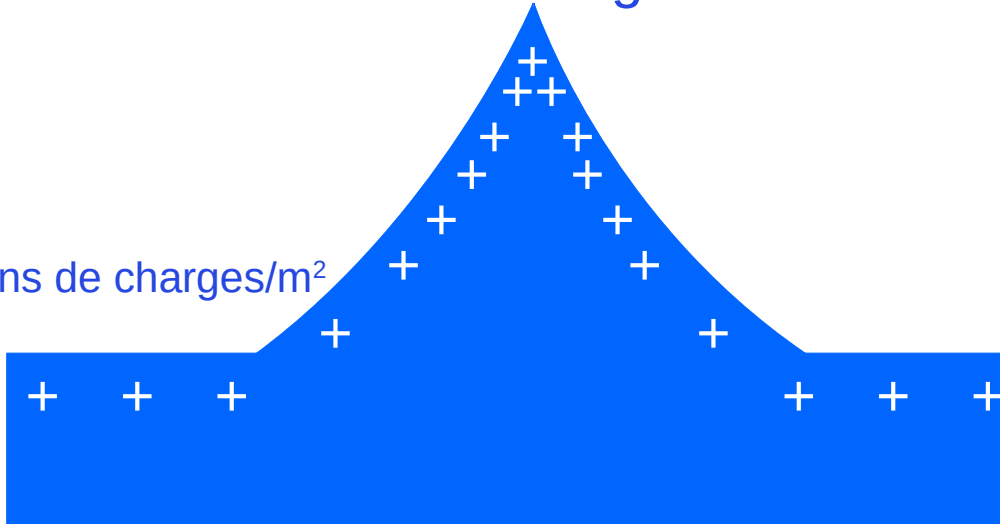
<https://www.youtube.com/watch?v=bblltptaeE0>

2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



Plus de charges/m²

Moins de charges/m²



« Pouvoir » des Pointes



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



Il faut $\sim 36\,000\text{ V/cm}$ dans l'air – Champ électrique de « claquage »

→ Ici $\sim 3\text{m}$, soit $36\,000 \times 300 = \mathbf{10 \times 10^6\text{ V}}$ au bout des doigts de l'Empereur...



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



Quel courant ?

→ un courant de 1A va déjà bien picoter...

→ Puissance électrique = **Tension x Courant = 10 000 000 x 1 = 10x10⁶ W !**



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



Puissance Electrique ?

Dans un champ électrique E en V/m , une charge électrique Q subit une force

$$\rightarrow F = Q.E$$

$$\rightarrow M.L.T^{-2} = [I \times T].U.L^{-1} = U \times I \times (T/L)$$

$$\rightarrow \text{Puissance} = \text{Energie/Temps} = M.L^2.T^{-2}/T = M.L.T^{-2} \times (L/T)$$

$$\rightarrow \text{Puissance Electrique} = U \times I \times (T/L) \times (L/T) = U \times I$$



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



Quel courant ?

→ un courant de 1A va déjà bien picoter...

→ Puissance électrique = **Tension x Courant = 10 000 000 x 1 = 10x10⁶ W !**

2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



10MW = 20 000 cyclistes
de très bon niveau

2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



10MW = 1 TGV



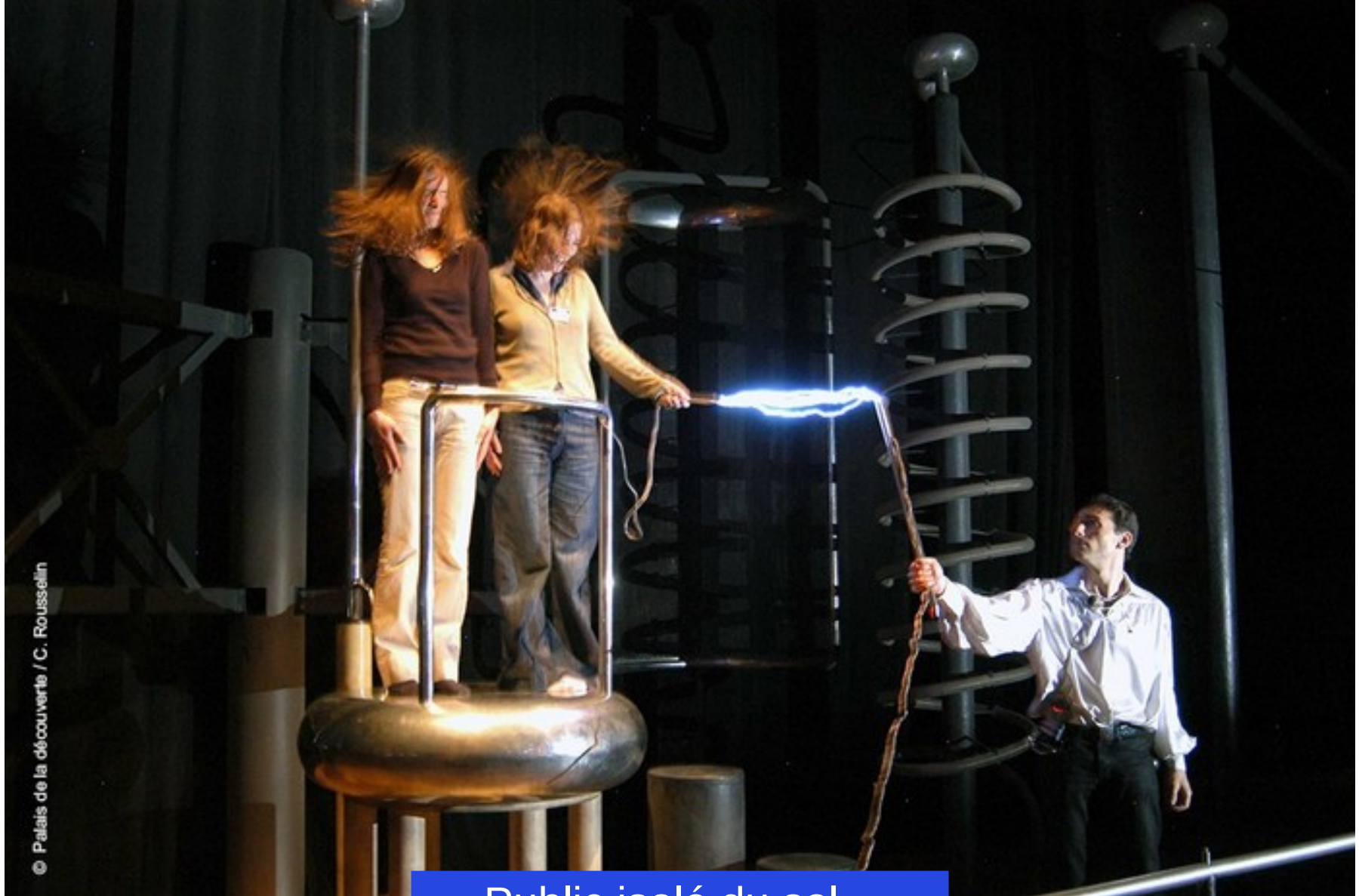
2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



Conclusion : L'Empereur maîtrise l'ElectroMagnétisme
« Force » = Gravitation + ElectroMagnétisme ?



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



© Palais de la découverte / C. Rousselin

Public isolé du sol...



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



En quoi sont ses chaussures ?

→ « Claquage » du Caoutchouc : champ électrique $\sim 500\,000\text{ V/cm}$



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur



En quoi sont ses chaussures ?

→ « Claquage » du Caoutchouc : champ électrique $\sim 500\,000\text{ V/cm}$

→ **Il faut des talons de plus de 20cm pour supporter 10 000 000 V!**



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur

Pourquoi l'Empereur porte une longue robe...



2- L'Energie de l'Empire : l'Empereur

Pourquoi l'Empereur porte une longue robe...

...pour cacher ses chaussures !



2- Classement des Jedi...

Bilan sur la « force » des gentils et des méchants

Luke Skywalker
→ environ 1 kW



Yoda
→ 100kW



Empereur
→ 10 MW



2- Classement des Jedi...

Bilan sur la « force » des gentils et des méchants

Luke Skywalker
→ environ 1 kW



Yoda
→ 100kW



Empereur
→ 10 MW



2- Classement des Jedi...

<https://www.youtube.com/watch?v=iu3qolsGzUM&t=7s>



SW Episode III, La Revanche des Sith, 2005



2- Classement des Jedi...

<https://www.youtube.com/watch?v=VyyWiqdpY6M&t=73s>



SW Episode II, L'Attaque des clones, 2002

2- Classement des Jedi...

Bilan sur la « force » des gentils et des méchants

Luke Skywalker
→ environ 1 kW



Yoda
→ 10 MW



Empereur
→ 10 MW



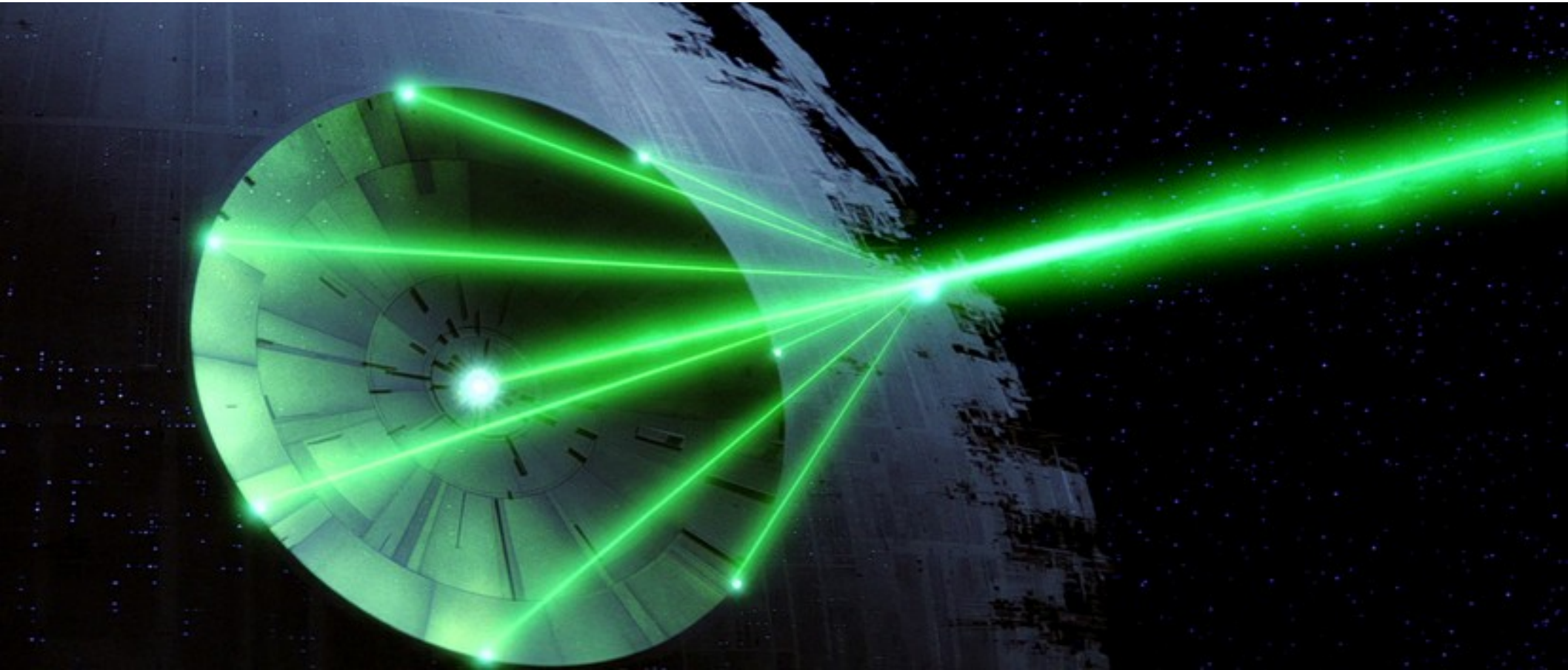
2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



Death Star II - SW Episode VI, Le Retour du Jedi, 1983



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



Etoile de la Mort - SW Episode VI, Un nouvel espoir, 1977

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort

<https://www.youtube.com/watch?v=p0qLzslhUMk>



Etoile de la Mort - SW Episode VI, Un nouvel espoir, 1977

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



La Gravitation maintient la planète liée...

Quelle énergie E ?

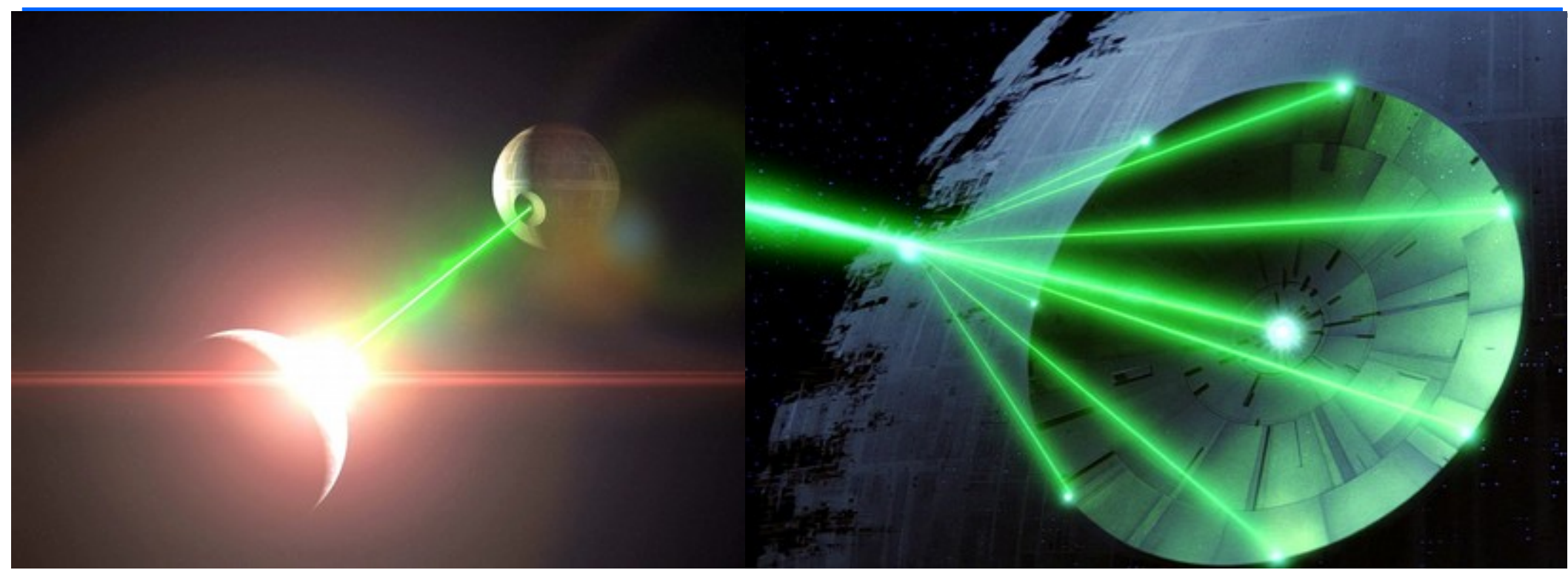
$$[E] = M.L^2.T^{-2}$$

Dépend de G , dans $[F] = M.L/T^2 = [G] \times M^2/L^2 \rightarrow [G] = M^{-1}.L^3.T^{-2}$

Dépend de la masse M $[M] = M$, et de sa taille R $[R] = L$



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



$$[E] = M.L^2.T^{-2}; [G] = M^{-1}.L^3.T^{-2}; [M] = M; [R] = L$$

$$M^1.L^2.T^{-2} = G^a.M^b.R^c = (M^{-1}.L^3.T^{-2})^a.M^b.L^c = M^{-a+b}.L^{3a+c}.T^{-2a}$$

$$\rightarrow -2 = -2a \rightarrow a = 1$$

$$\rightarrow -a+b = 1 \rightarrow b = a+1 = 2$$

$$\rightarrow 3a+c = 2 \rightarrow c = 2-3a = 2-3=-1$$



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



$$[E] = M.L^2.T^{-2}; [G] = M^{-1}.L^3.T^{-2}; [M] = M; [R] = L$$

$$M^1.L^2.T^{-2} = G^a.M^b.R^c = (M^{-1}.L^3.T^{-2})^a.M^b.L^c = M^{-a+b}.L^{3a+c}.T^{-2a}$$

$$\rightarrow -2 = -2a \rightarrow a = 1$$

$$\rightarrow -a+b = 1 \rightarrow b = a+1 = 2$$

$$\rightarrow 3a+c = 2 \rightarrow c = 2-3a = 2-3=-1 \rightarrow G \times M^2/R \text{ a les dimensions d'une énergie}$$



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



La Gravitation maintient la planète liée...
Energie de « cohésion » gravitationnelle

$$E \propto G \times M^2/R$$

Ici, avec $R_{\text{Alderande}} \sim R_{\text{Terre}} \sim 6400 \text{ km}$, $M_{\text{Alderande}} \sim M_{\text{Terre}} = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$

$$\rightarrow E_{\text{Liaison}} \sim 4 \times 10^{32} \text{ J}$$



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



La Gravitation maintient la planète liée...
Energie de « cohésion » gravitationnelle

$$E \propto G \times M^2/R$$

Ici, avec $R_{\text{Alderande}} \sim R_{\text{Terre}} \sim 6400 \text{ km}$, $M_{\text{Alderande}} \sim M_{\text{Terre}} = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$

$$\rightarrow E_{\text{Liaison}} \sim 4 \times 10^{32} \text{ J}$$

...en plusieurs dizaines de minutes...



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



On peut aussi la calculer en imposant que toute la planète doit atteindre la « **vitesse de libération** » de l'attraction gravitationnelle
→ dispersion de la planète entière

$$E \propto \frac{1}{2} M v_{\text{libération}}^2, \text{ avec } v_{\text{libération}} \approx 10 \text{ km/s}$$

$$\text{Ici, avec } M_{\text{Alderande}} \sim M_{\text{Terre}} = 6 \times 10^{24} \text{ kg} \rightarrow E_{\text{Libération}} \sim 3 \times 10^{32} \text{ J}$$



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



Communiquer à toute la Planète une **vitesse** ~ 1000 fois $v_{\text{Libération}}$ (10 000 km/s)

Energie de « dispersion » gravitationnelle

$$E \propto \frac{1}{2} M v^2$$

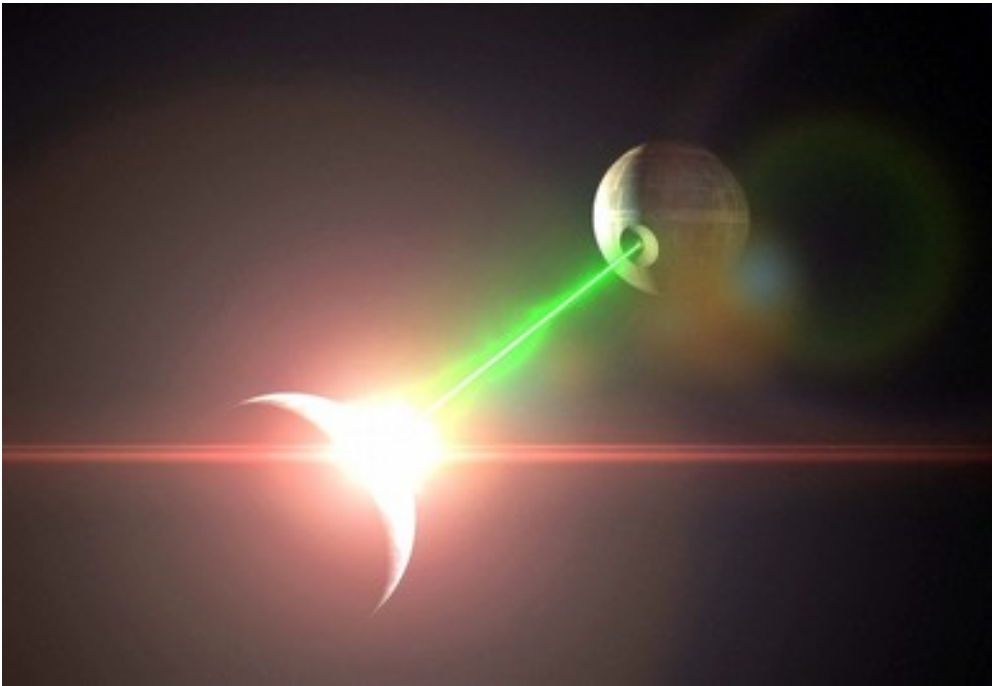
Avec $M_{\text{Alderande}} \sim M_{\text{Terre}} = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$

$$\rightarrow E_{\text{Dispersion}} \sim 3 \times 10^{38} \text{ J}$$

...à cause de l'Empereur qui veut aller vite



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



En prenant son temps

$$E \sim 3-4 \times 10^{32} \text{ J}$$

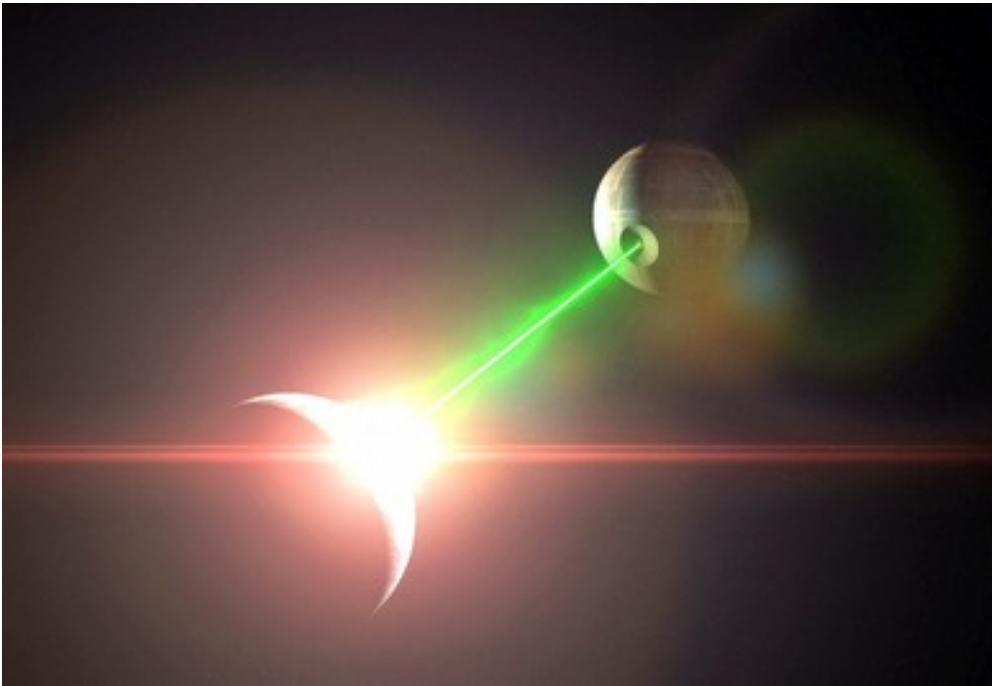
E_{Soleil} en 10^6 s
→ 11 jours

En voulant impressionner

$$E \sim 3 \times 10^{38} \text{ J}$$

E_{Soleil} en 10^{12} s
→ 30 000 ans

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



En prenant son temps
 $E \sim 3\text{--}4 \times 10^{32} \text{ J}$

E_{Soleil} en 10^6 s
→ 11 jours

En voulant impressionner
 $E \sim 3 \times 10^{38} \text{ J}$

E_{Soleil} en 10^{12} s
→ 30 000 ans

Conséquences énergétiques des décisions politiques !



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort

<http://www.atomicarchive.com/Photos/Trinity/index.shtml>



Trinity Test, Juillet 1945



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort

<https://www3.nd.edu/~powers/ame.90931/taylor.blast.wave.II.pdf>

The formation of a blast wave by a very intense explosion.

II. The atomic explosion of 1945

BY SIR GEOFFREY TAYLOR, F.R.S.

(Received 10 November 1949)

[Plates 7 to 9]

Photographs by J. E. Mack of the first atomic explosion in New Mexico were measured, and the radius, R , of the luminous globe or 'ball of fire' which spread out from the centre was determined for a large range of values of t , the time measured from the start of the explosion. The relationship predicted in part I, namely, that R^3 would be proportional to t , is surprisingly accurately verified over a range from $R=20$ to 185 m. The value of $R^3 t^{-1}$ so found was used in conjunction with the formulae of part I to estimate the energy E which was generated in the explosion. The amount of this estimate depends on what value is assumed for γ , the ratio of the specific heats of air.

Two estimates are given in terms of the number of tons of the chemical explosive T.N.T. which would release the same energy. The first is probably the more accurate and is 16,800 tons. The second, which is 23,700 tons, probably overestimates the energy, but is included to show the amount of error which might be expected if the effect of radiation were neglected and that of high temperature on the specific heat of air were taken into account. Reasons are given for believing that these two effects neutralize one another.

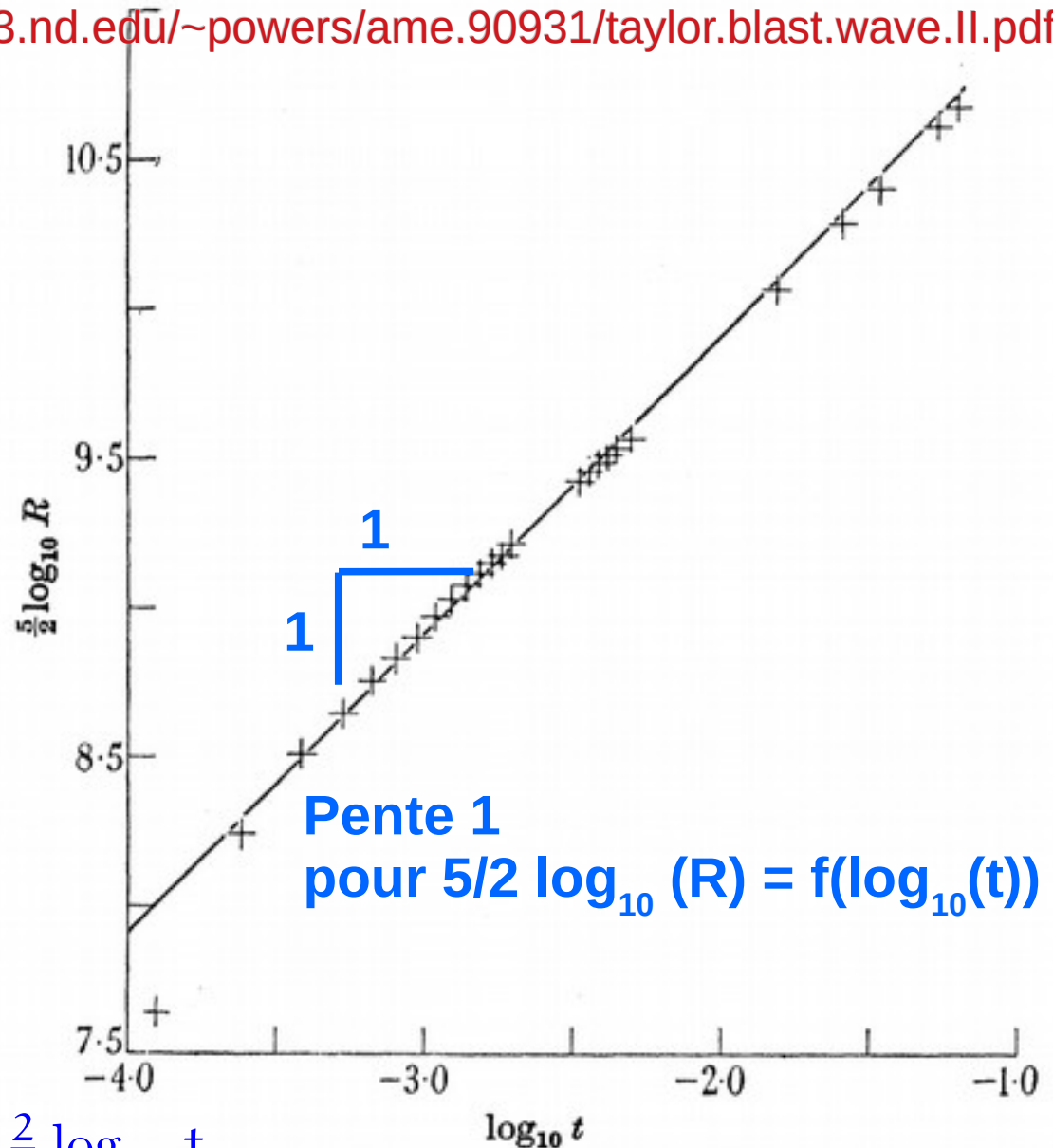
After the explosion a hemispherical volume of very hot gas is left behind and Mack's photographs were used to measure the velocity of rise of the glowing centre of the heated volume. This velocity was found to be 35 m./sec.

Until the hot air suffers turbulent mixing with the surrounding cold air it may be expected to rise like a large bubble in water. The radius of the 'equivalent bubble' is calculated and found to be 293 m. The vertical velocity of a bubble of this radius is $\frac{2}{3} \sqrt{g \cdot 29300}$ or 35.7 m./sec. The agreement with the measured value, 35 m./sec., is better than the nature of the measurements permits one to expect.

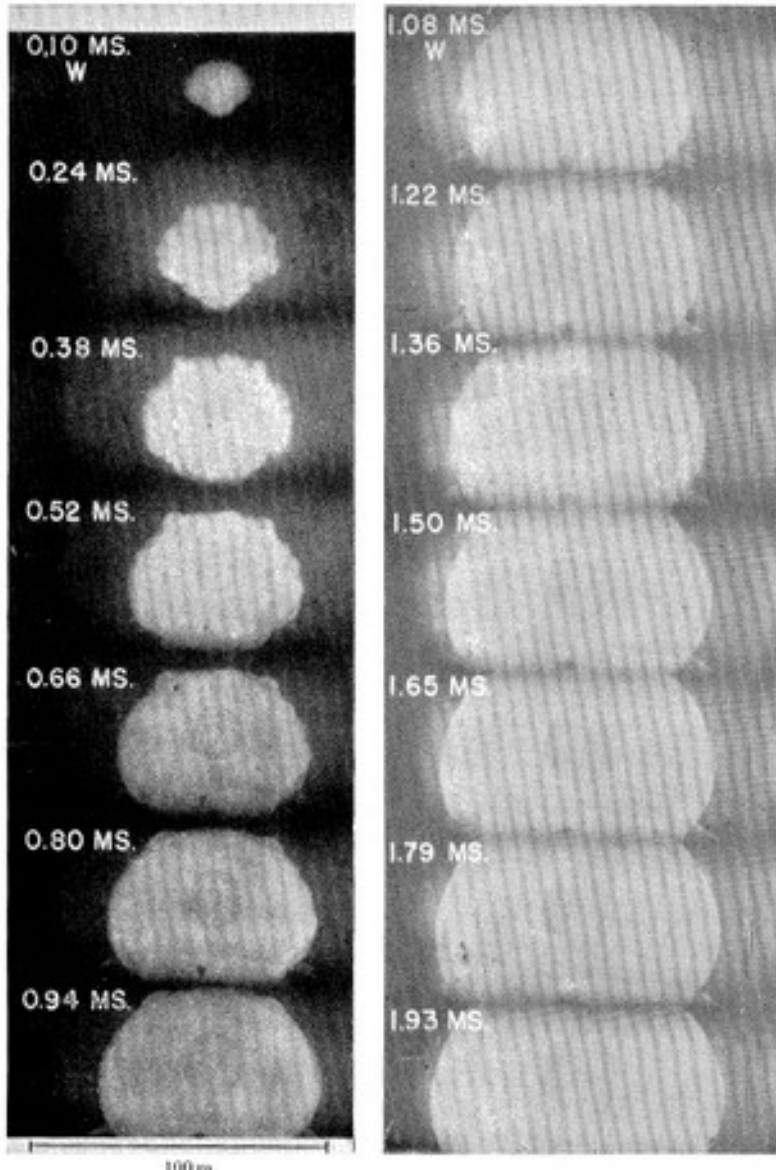
Publication de Taylor (1950)

$$R = k \left(\frac{E}{\rho} \right)^{1/5} t^{2/5}$$

$$\log_{10} R = \log_{10}(k) + \frac{1}{5} \log_{10}(E/\rho) + \frac{2}{5} \log_{10} t$$



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



Supposons l'explosion sphérique

Paramètres :

Energie E : $[E] = M.L^2.T^{-2}$

Masse volumique de l'air : $[\rho] = M.L^{-3}$

Rayon de la « boule de feu » : $[R] = L$

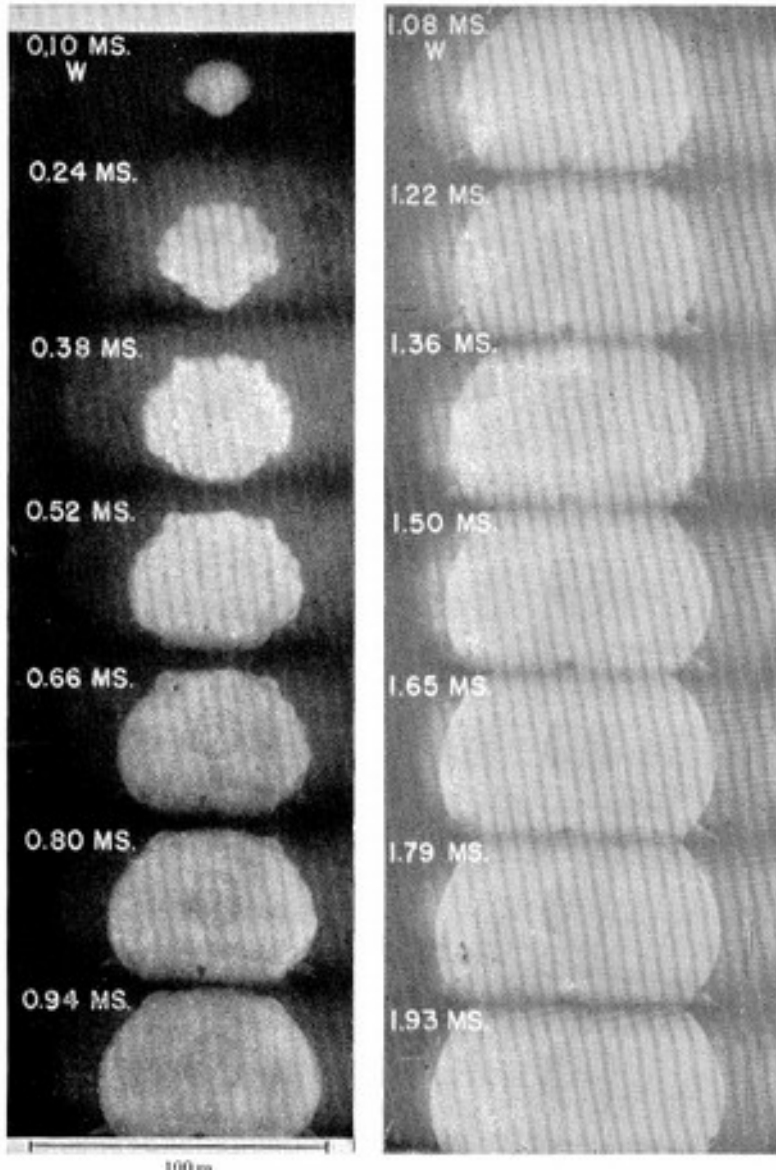
Temps $[t] = t$

→ 4 paramètres, pour 3 dimensions

→ On peut former **1 nombre sans dimensions**

$$R = k \times E^a \times \rho^b \times t^c$$

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



Supposons l'explosion sphérique

Paramètres :

Energie E : $[E] = M.L^2.T^{-2}$

Masse volumique de l'air : $[\rho] = M.L^{-3}$

Rayon de la « boule de feu » : $[R] = L$

Temps $[t] = t$

$$R = k \times E^a \times \rho^b \times t^c$$

$$[R] = M^0.L^1.T^0 = (M.L^2.T^{-2})^a (M.L^{-3})^b . T^c$$

$$M^0.L^1.T^0 = M^a.L^{2a}.T^{-2a}.M^b.L^{-3b}.T^c$$

$$M^0.L^1.T^0 = M^{a+b}.L^{2a-3b}.T^{c-2a}$$

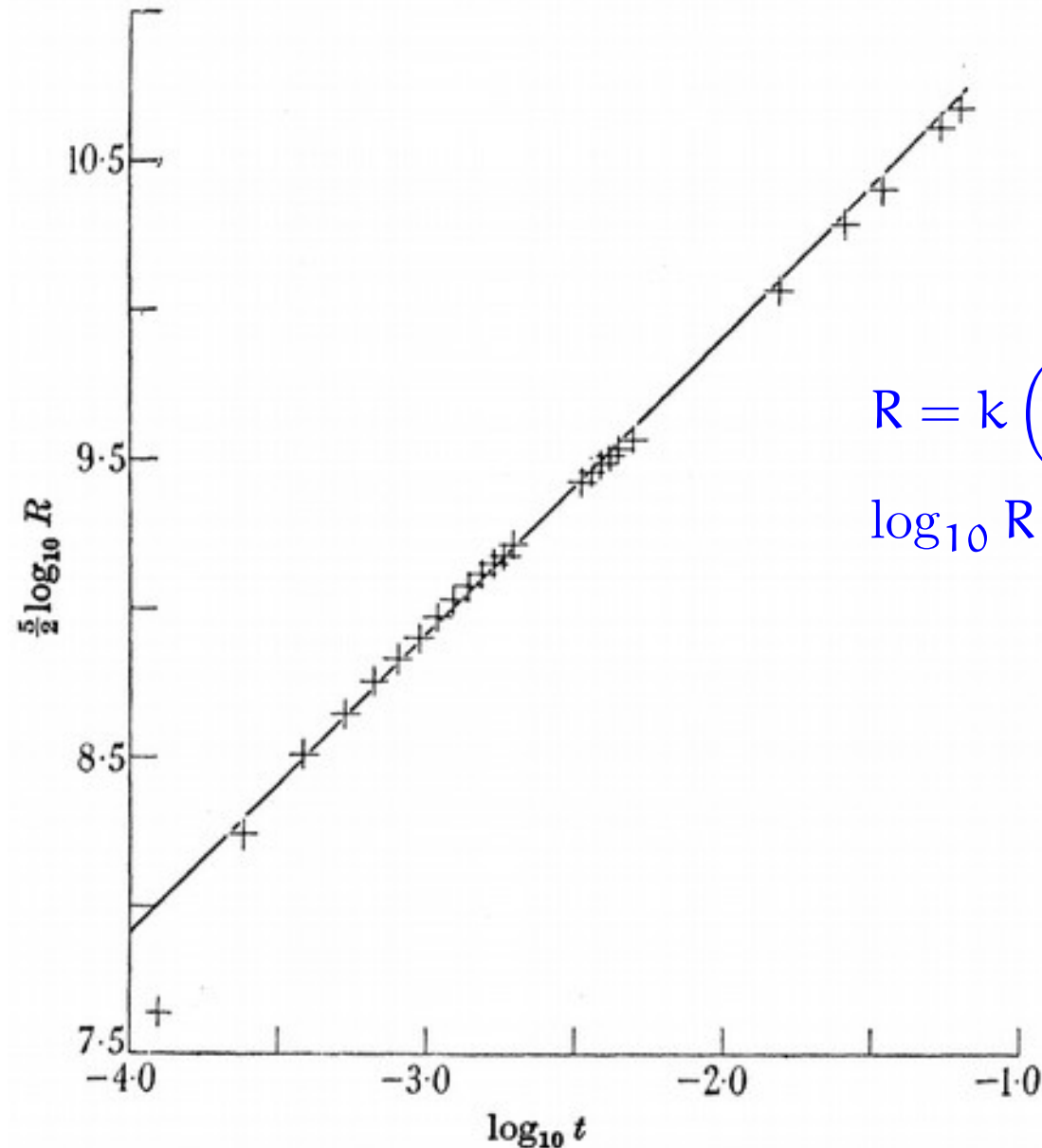
$$\rightarrow a+b = 0 \rightarrow b = -a$$

$$\rightarrow 2a - 3b = 1 = 2a - 3(-a) = 5a = 1 \rightarrow a = 1/5$$

$$\rightarrow c - 2a = 0 \rightarrow c = 2a = 2/5$$

$$\text{et } b = -a = -1/5$$

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



$$R = k \times E^a \times \rho^b \times t^c$$

avec $a = 1/5$, $b = -1/5$, $c = 2/5$

$$\rightarrow R = k \times E^{1/5} \times \rho^{-1/5} \times t^{2/5}$$

$$R = k \left(\frac{E}{\rho} \right)^{1/5} t^{2/5}$$

$$\log_{10} R = \log_{10}(k) + \frac{1}{5} \log_{10}(E/\rho) + \frac{2}{5} \log_{10} t$$

Donc $E \sim R^5 \rho / t^2$

$\rightarrow$ On en déduit $E \sim 10^{14} \text{ J}$

avec 1 kt TNT $\sim 4,18 \times 10^{12} \text{ J}$

$\rightarrow E$ équivaut à 25 kt de TNT !

« Vraie » valeur $\sim 22\text{kt}$

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



Faisons comme Taylor avec l'Etoile de la Mort ?



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort

<https://www.youtube.com/watch?v=p0qLzslhUMk>



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



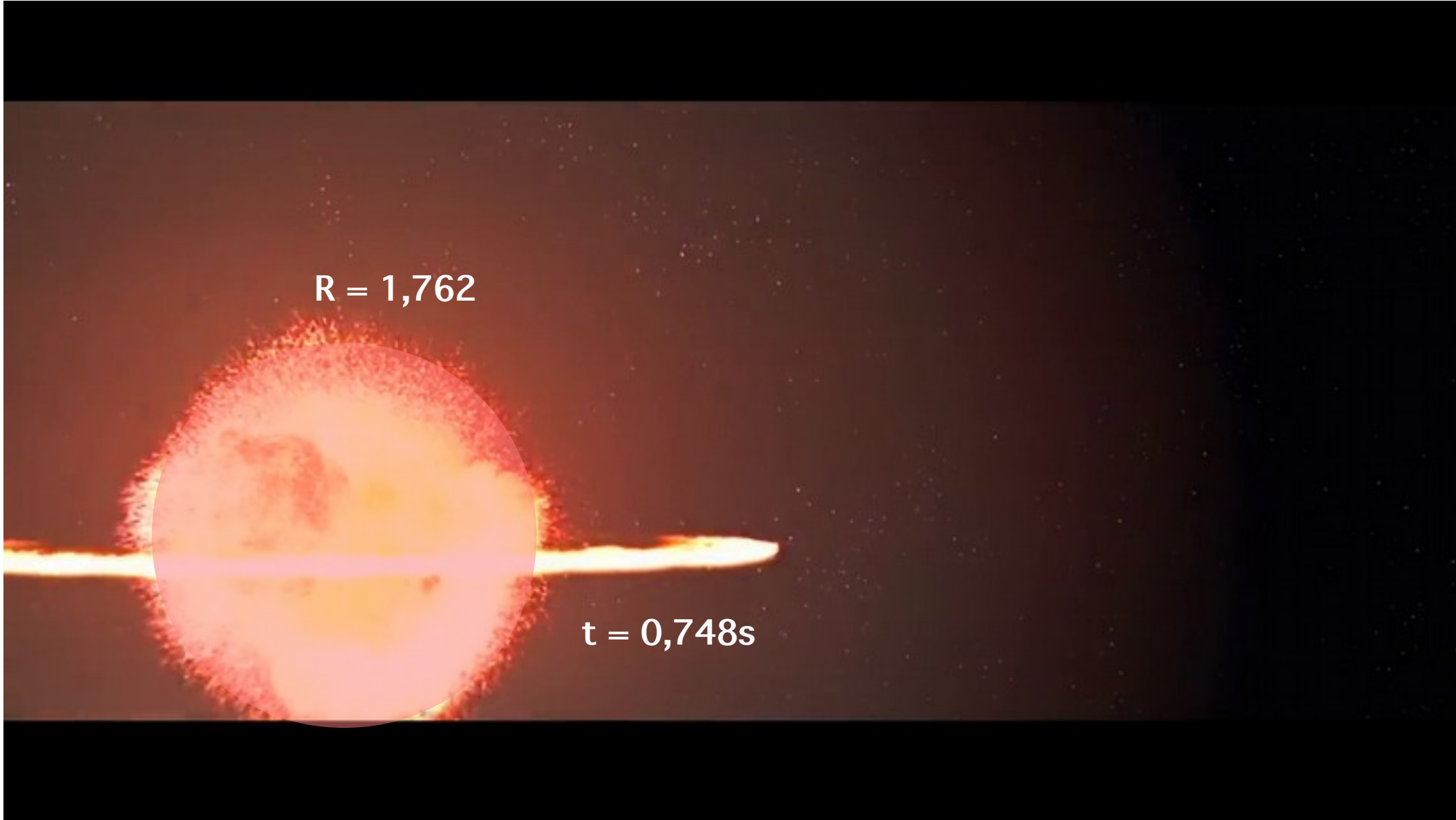
2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



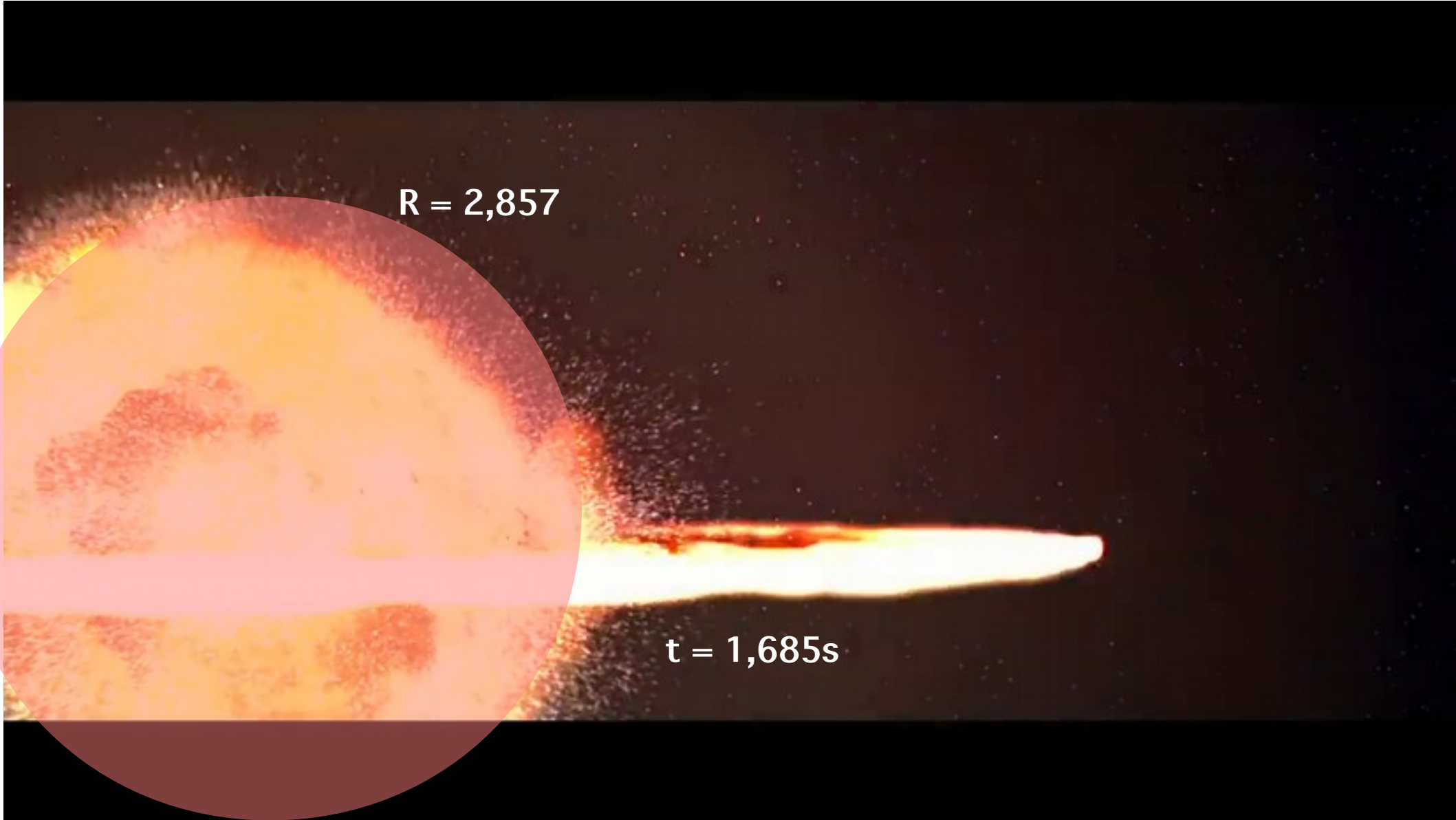
2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



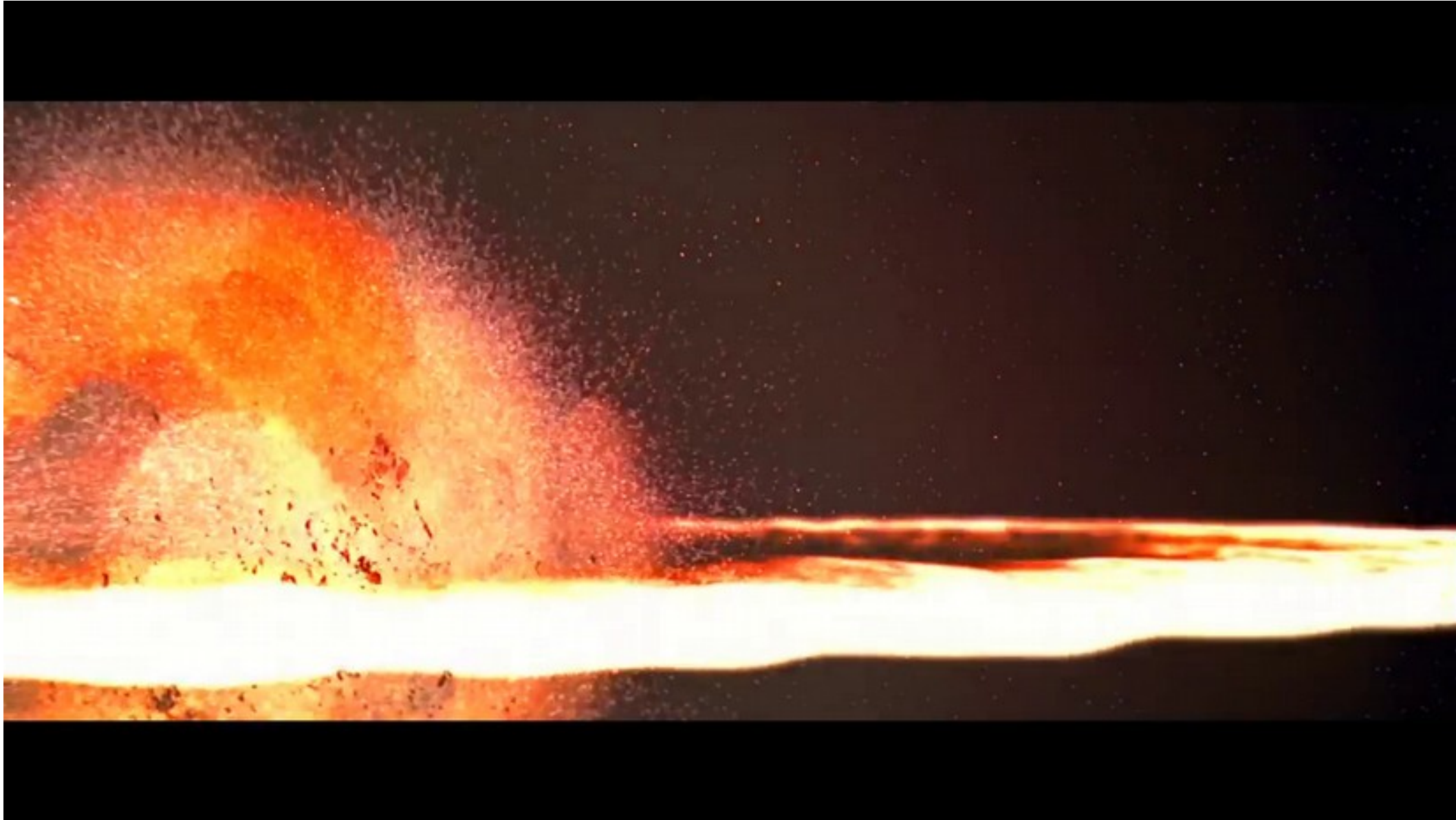
2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



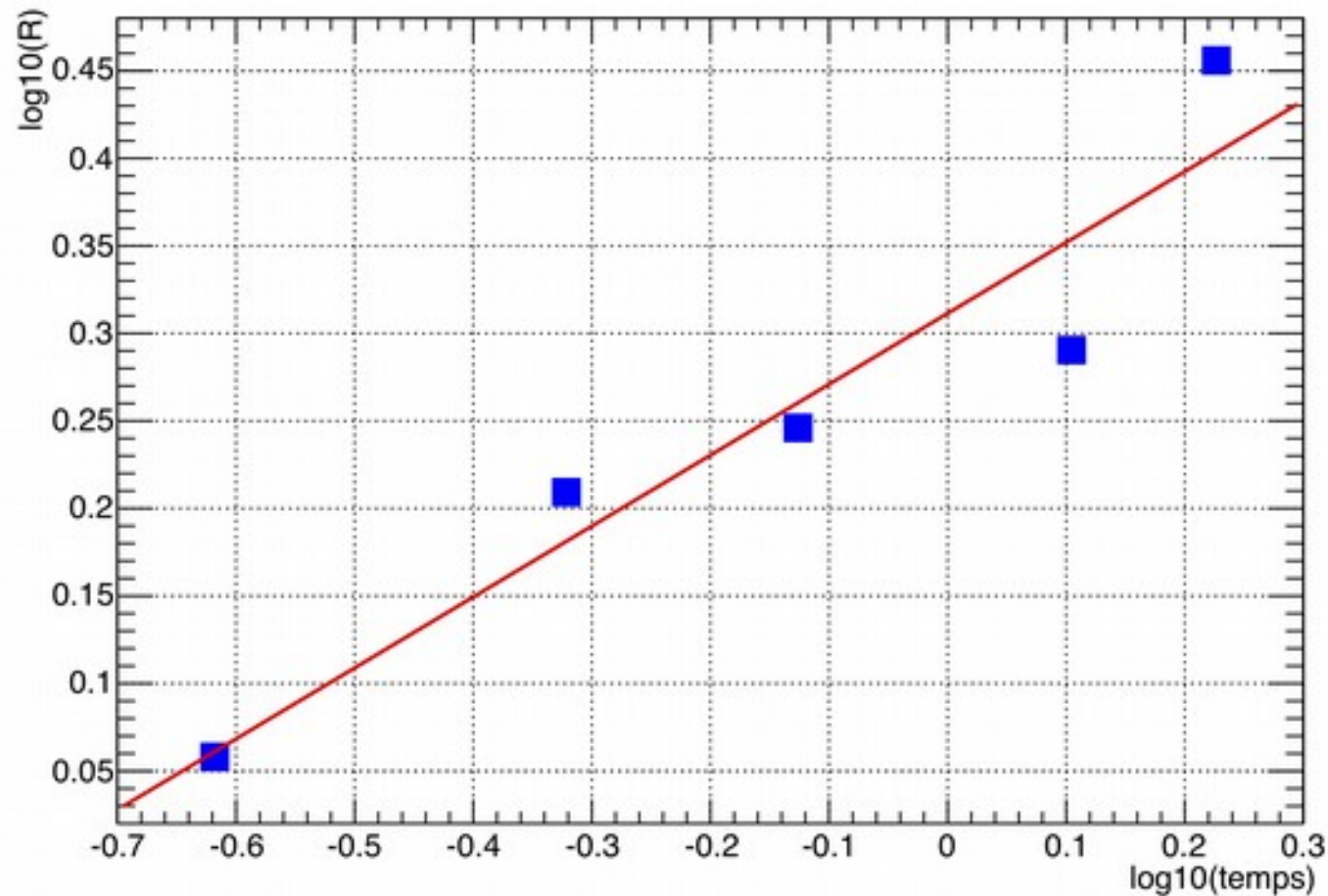
2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



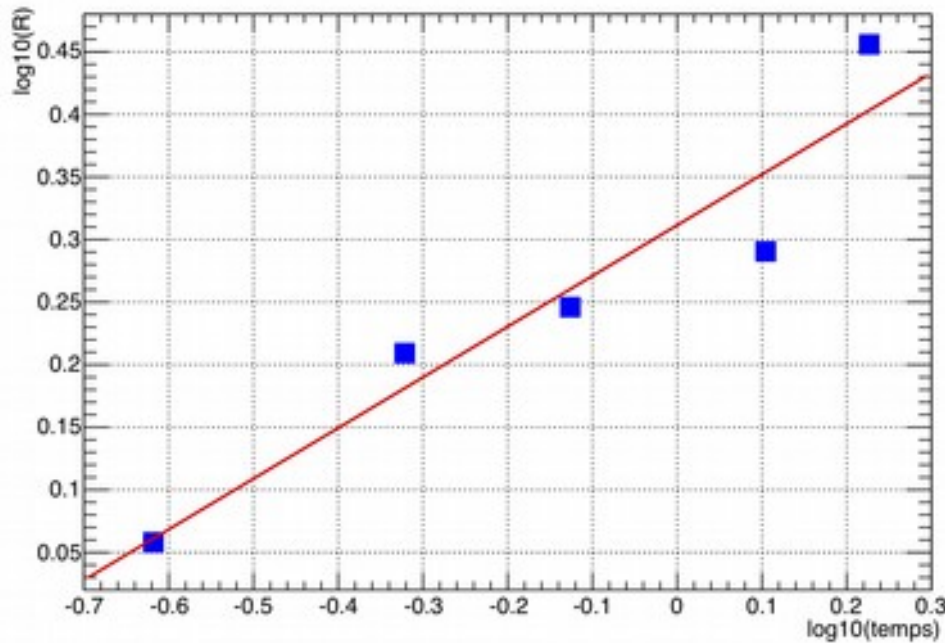
2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



$$\log_{10} R \approx \underbrace{\frac{1}{5} \log_{10}(E/\rho)}_{0.3} + \frac{2}{5} \log_{10} t$$

Etonnamment, ça marche...

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



$$\log_{10} R \approx \underbrace{\frac{1}{5} \log_{10}(E/\rho)}_{0.3} + \frac{2}{5} \log_{10} t$$

Avec R ici en «**Diamètre d'Aldérande** »...

Officiellement Diamètre de 12000 km

$$R = R_{\text{vrai}} / 12 \times 10^6$$

On calcule :

$$\rightarrow \log_{10}(E/\rho) \sim 38$$

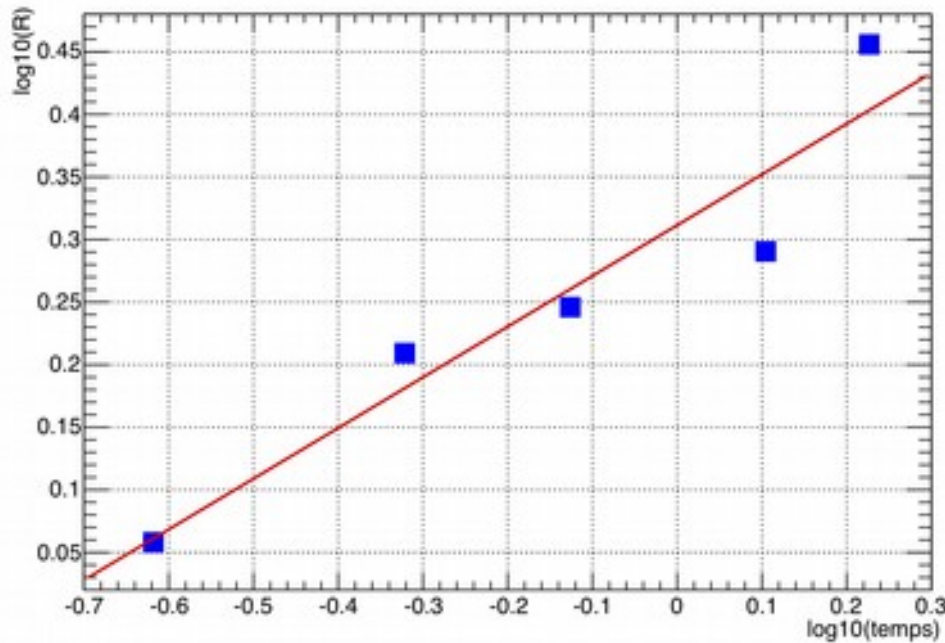
Normalement dans l'espace

$$\rightarrow \rho \sim 0 \text{ kg/m}^3 !$$

Pour retrouver $E \sim 3 \times 10^{38} \text{ J}$,

$\rightarrow$ il faut supposer $\rho \sim 1 \text{ kg/m}^3$...

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



$$\log_{10} R \approx \underbrace{\frac{1}{5} \log_{10}(E/\rho)}_{0.3} + \frac{2}{5} \log_{10} t$$

Avec R ici en «**Diamètre d'Aldérande** »...

Officiellement Diamètre de 12000 km

$$R = R_{\text{vrai}} / 12 \times 10^6$$

On calcule :

$$\rightarrow \log_{10}(E/\rho) \sim 38$$

Normalement dans l'espace

$$\rightarrow \rho \sim 0 \text{ kg/m}^3 !$$

Pour retrouver $E \sim 3 \times 10^{38} \text{ J}$,

$\rightarrow$ il faut supposer $\rho \sim 1 \text{ kg/m}^3$...

Domage on y était presque...

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



Ne serait-il pas plus efficace de lancer un gros caillou ?



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



L'astéroïde va soulever un volume $V \propto R^3$ de matière...
...à une hauteur $\approx R$ (pour un cratère sphérique)

→ Il faut fournir une énergie $E \propto \rho g R^3 \times R \approx \rho g R^4$

$$R \propto \left(\frac{E}{\rho \cdot g} \right)^{\frac{1}{4}}$$



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



Paramètres : Energie E , R , gravité g , Masse volumique de la roche ρ

$$[E] = M.L^2.T^{-2}$$

$$[g] = L.T^{-2}$$

$$[\rho] = M.L^{-3}$$

$$[R] = L$$

→ 4 paramètres, 3 dimensions !

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



On a donc $R = \rho^x \cdot g^y \cdot E^z \rightarrow M^0 \cdot L^1 \cdot T^0 = (M \cdot L^{-3})^x \cdot (L \cdot T^{-2})^y \cdot (M \cdot L^2 \cdot T^{-2})^z = M^{x+z} \cdot L^{-3x+y+2z} \cdot T^{-2y-2z}$

$$\rightarrow T : 2y = -2z \rightarrow y = -z$$

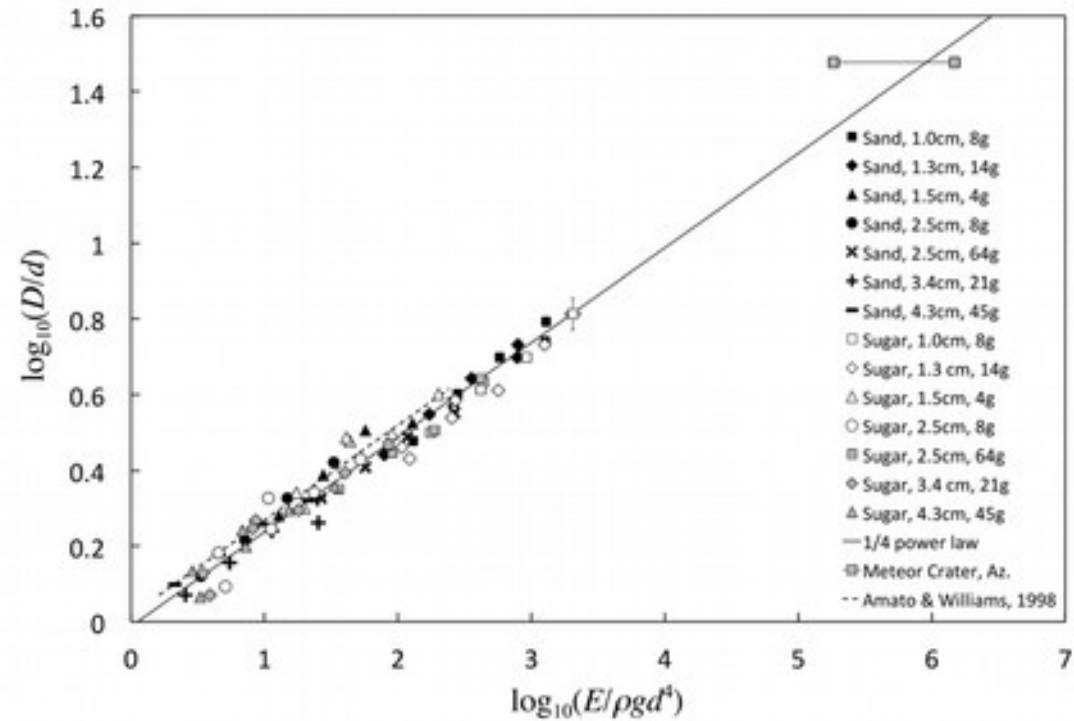
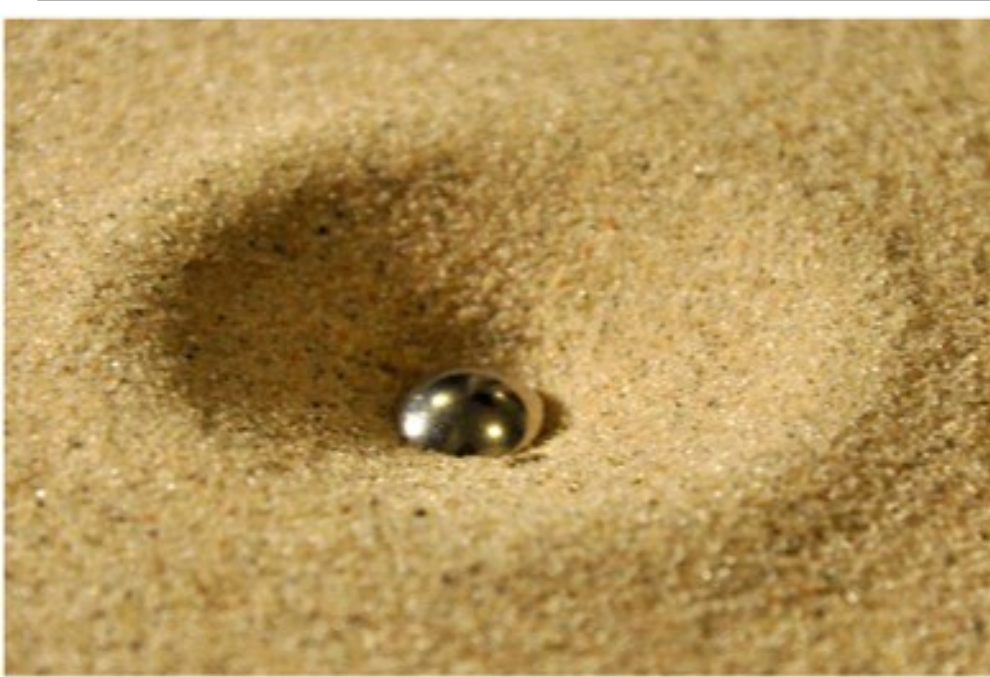
$$\rightarrow M : x+z = 0 \rightarrow x = -z$$

$$\rightarrow L : 1 = -3x + y + 2z = 3z - z + 2z = 4z \rightarrow z = 1/4$$

$$\rightarrow y = -z = -1/4 \text{ et } x = -z = -1/4$$

$$R \propto \rho^{-1/4} g^{-1/4} E^{1/4} = \left(\frac{E}{\rho \cdot g} \right)^{1/4}$$

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



Scaling of impact craters in unconsolidated granular materials

<http://dx.doi.org/10.1119/1.4817309>

Dans la cuisine, Energie = hauteur de chute du projectile $\rightarrow E = m.g.h$

$$R \propto \left(\frac{E}{\rho.g} \right)^{\frac{1}{4}} = \left(\frac{mgh}{\rho.g} \right)^{\frac{1}{4}} = \left(\frac{mh}{\rho} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Si h est x par 5, R est x par $5^{1/4} \approx 1,5$

A vérifier expérimentalement chez vous !

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort



Pour avoir $R \sim R_{\text{planète}}$

$$E \approx \rho g R^4 \approx 10 \times 5000 \times (6,4 \times 10^3)^4 \approx 8 \times 10^{31} \text{ J}$$

A comparer avec $E_{\text{liaison}} \sim 3-4 \times 10^{32} \text{ J}$

5 fois moins coûteux en énergie...

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort

En prenant son temps
 $E \sim 4 \times 10^{32} \text{ J}$



2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort

En prenant son temps
 $E \sim 4 \times 10^{32} \text{ J}$

Plusieurs minutes

Pour impressionner l'Empereur
 $E \sim 3 \times 10^{38} \text{ J}$

Quelques
secondes

2- L'Energie de l'Empire : l'Etoile de la Mort

En prenant son temps
 $E \sim 4 \times 10^{32} \text{ J}$

Plusieurs minutes

Pour impressionner l'Empereur
 $E \sim 3 \times 10^{38} \text{ J}$

Quelques secondes

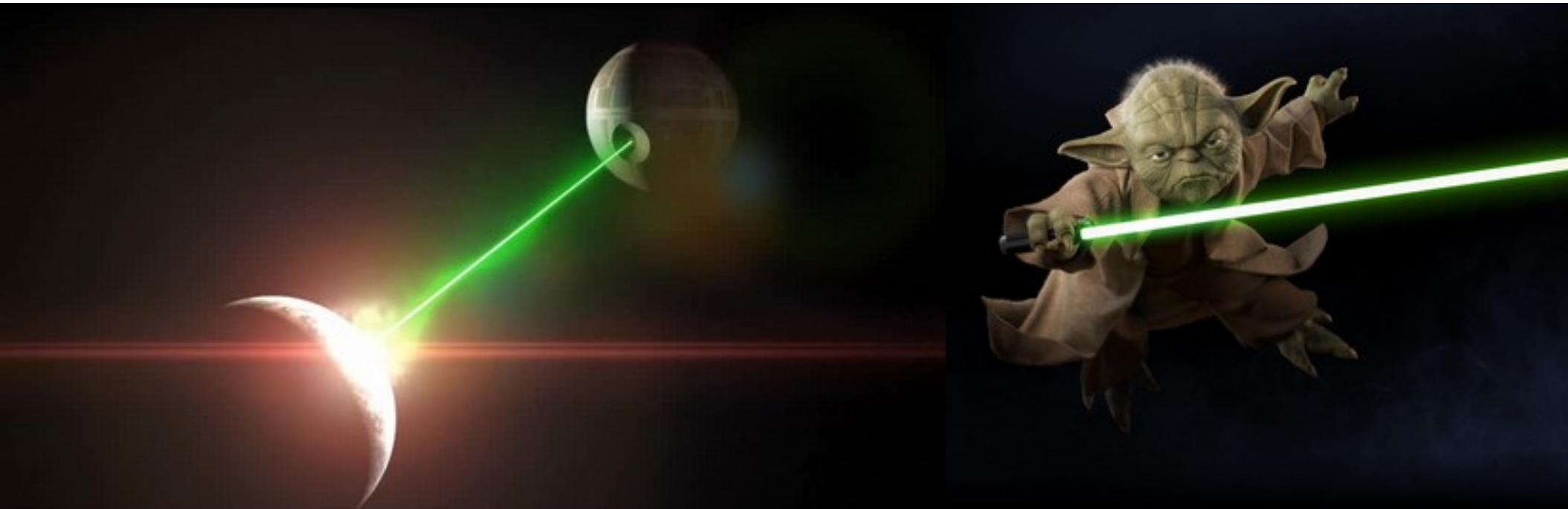
Lancer
un gros caillou
 $E \sim 8 \times 10^{31} \text{ J}$

Plusieurs heures ?



4- Que la Force soit avec nous !

Une enquête dans l'univers de Star Wars



- 1 – La Force et la Puissance des Jedi
- 2 – L'Energie de l'Empire
- 3 – Voyage au centre de Naboo

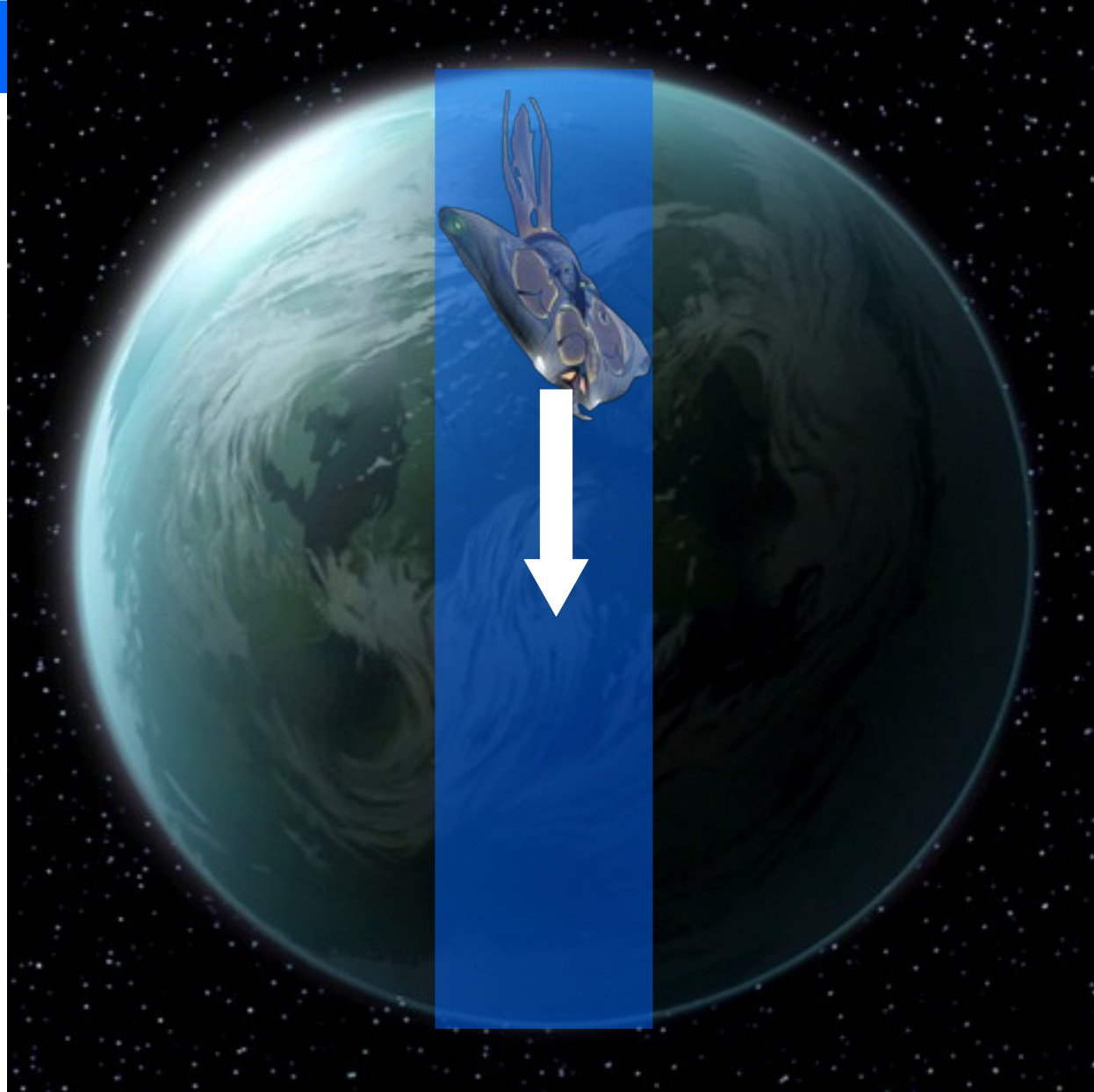
3- Voyage au centre de Naboo

Naboo



3- Voyage au centre de Naboo

Naboo



3- Voyage au centre de Naboo

<https://www.youtube.com/watch?v=IIQVAShJzLo>



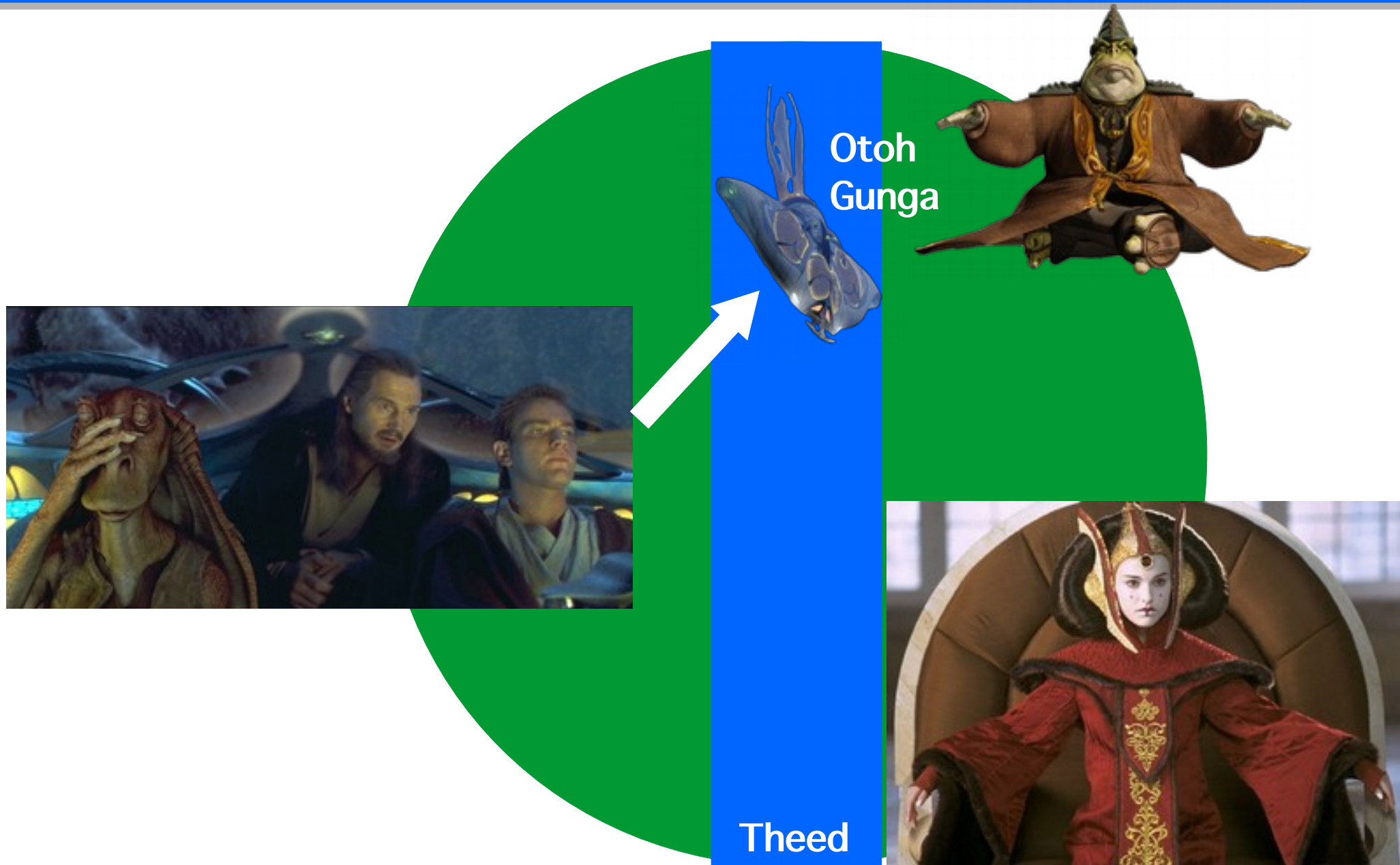
SW Episode I, La Menace fantôme, 1999

3- Voyage au centre de Naboo

<https://www.youtube.com/watch?v=IIQVAShJzLo>



3- Voyage au centre de Naboo



3- Voyage au centre de Naboo

Que se passe-t-il
en s'enfonçant dans l'eau ?



Otoh
Gunga

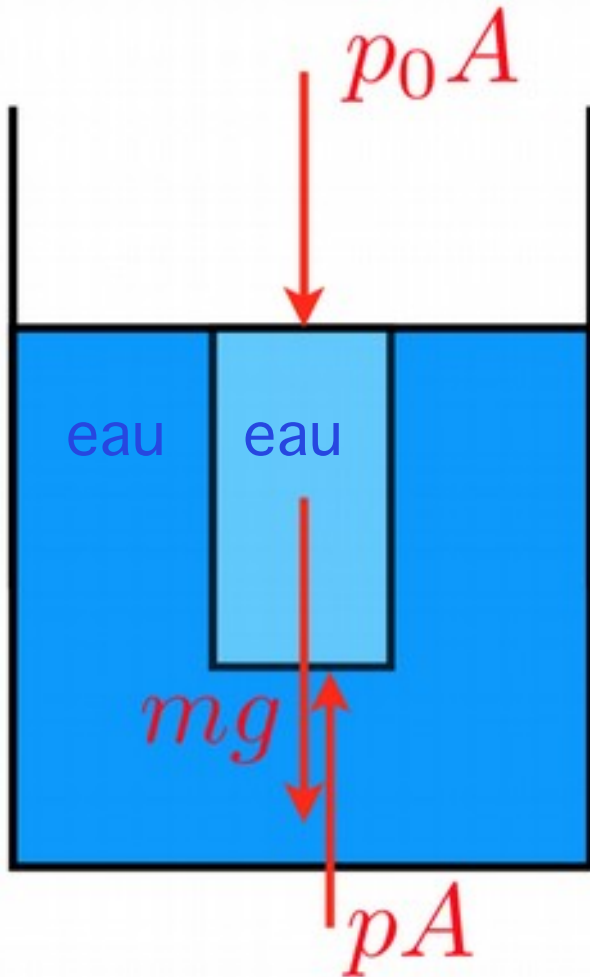


Theed



3- Voyage au centre de Naboo

Que se passe-t-il en s'enfonçant dans l'eau ?



Ce volume d'eau étant à l'équilibre

$$\rightarrow p.A - p_0.A = mg$$

avec $m = A \times h$

$$\rightarrow (p - p_0).A = \rho g A h$$

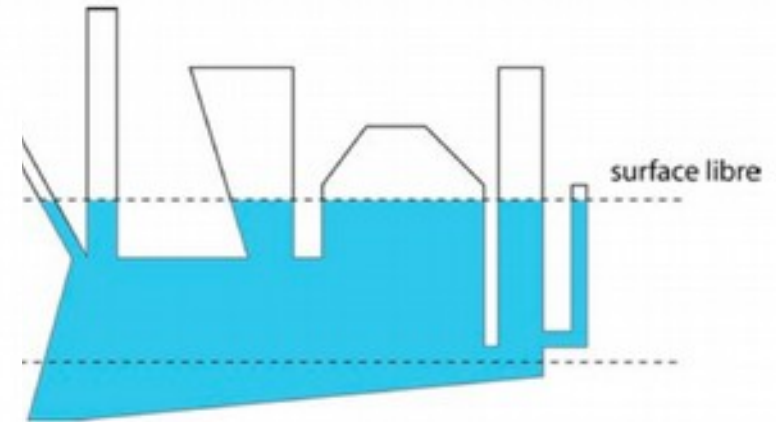
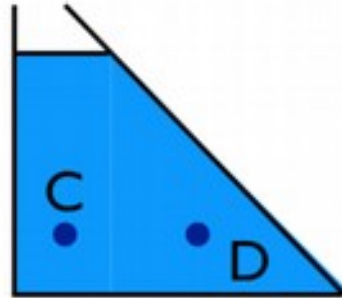
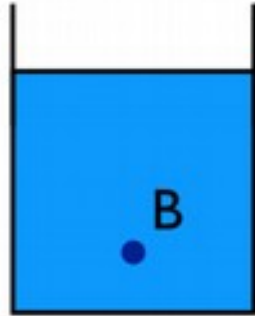
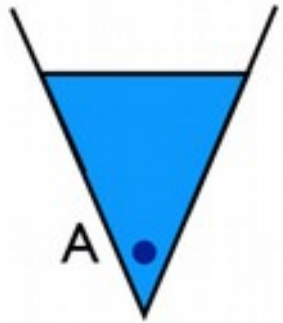
$$\rightarrow p - p_0 = \rho g h$$

→ La pression augmente lorsque l'on descend



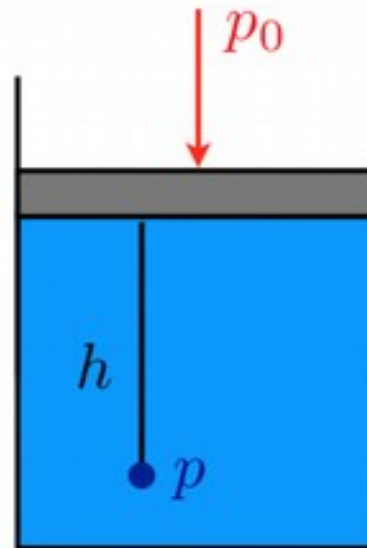
3- Voyage au centre de Naboo

Conséquences :



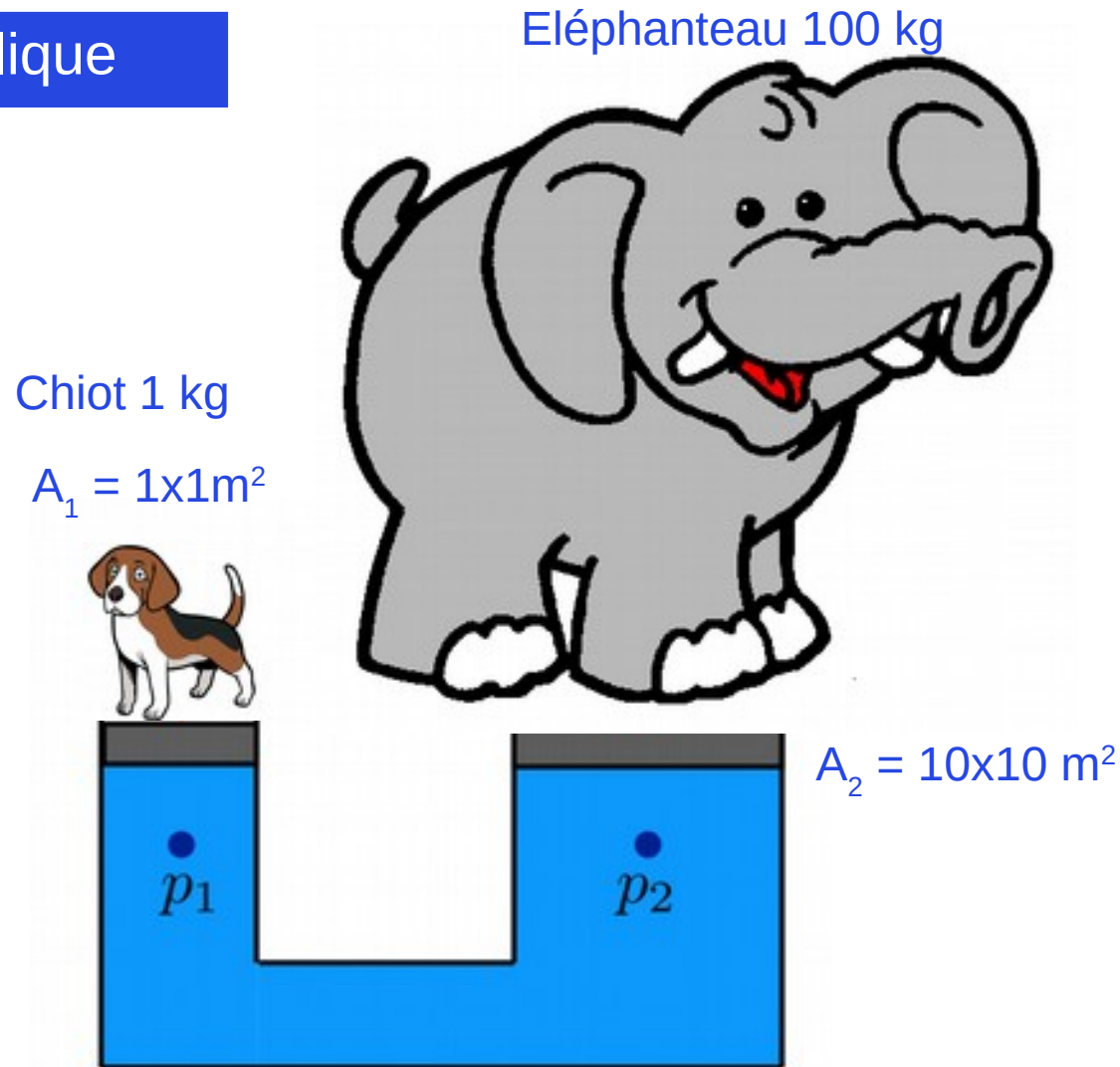
$$p_A = p_B = p_C = p_D$$

$$p = p_0 + \rho gh$$



3- Voyage au centre de Naboo

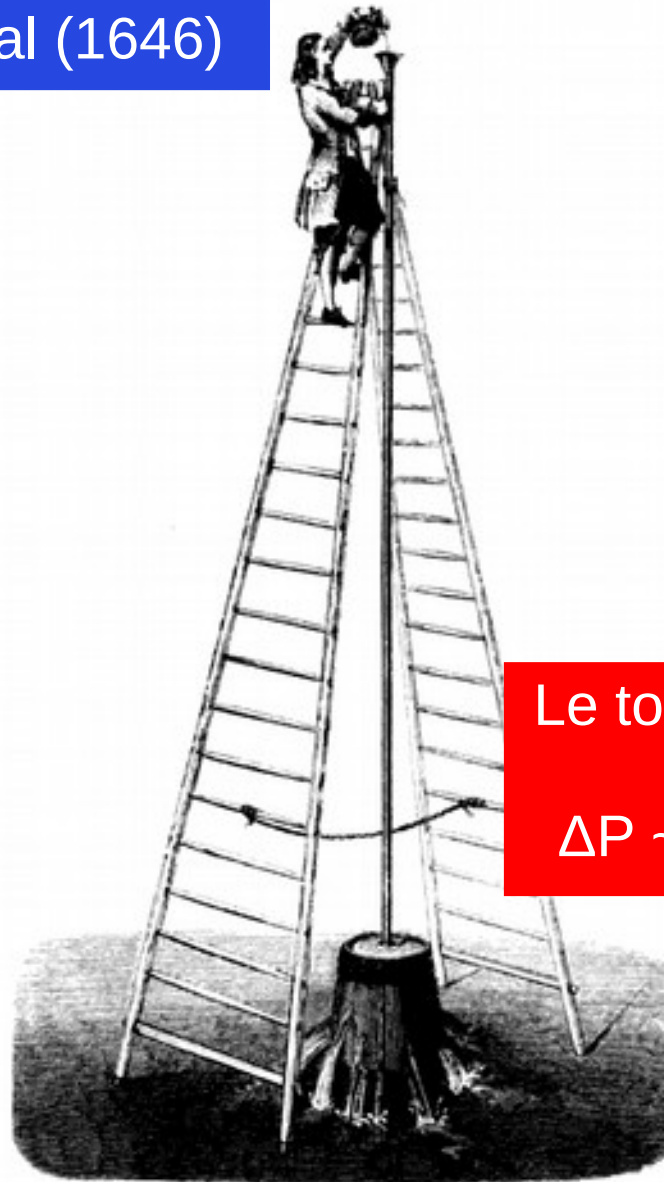
Vérin hydraulique



$$p_1 = \frac{\text{Poids(Chiot)}}{A_1} = p_2 = \frac{\text{Poids(Éléphanteau)}}{A_2}$$

3- Voyage au centre de Naboo

Crève-tonneau de Pascal (1646)

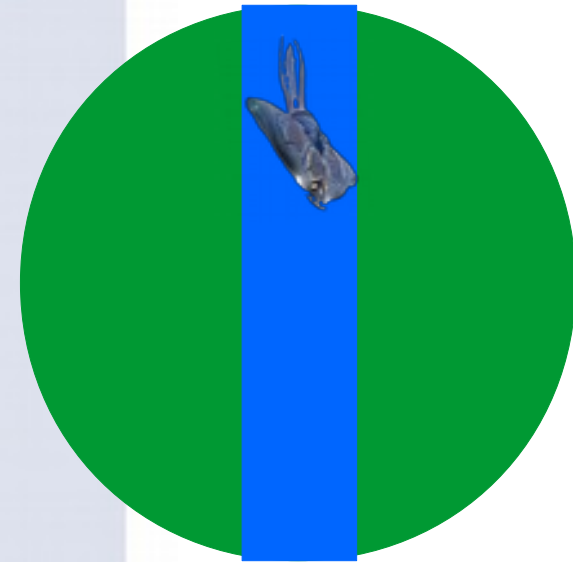
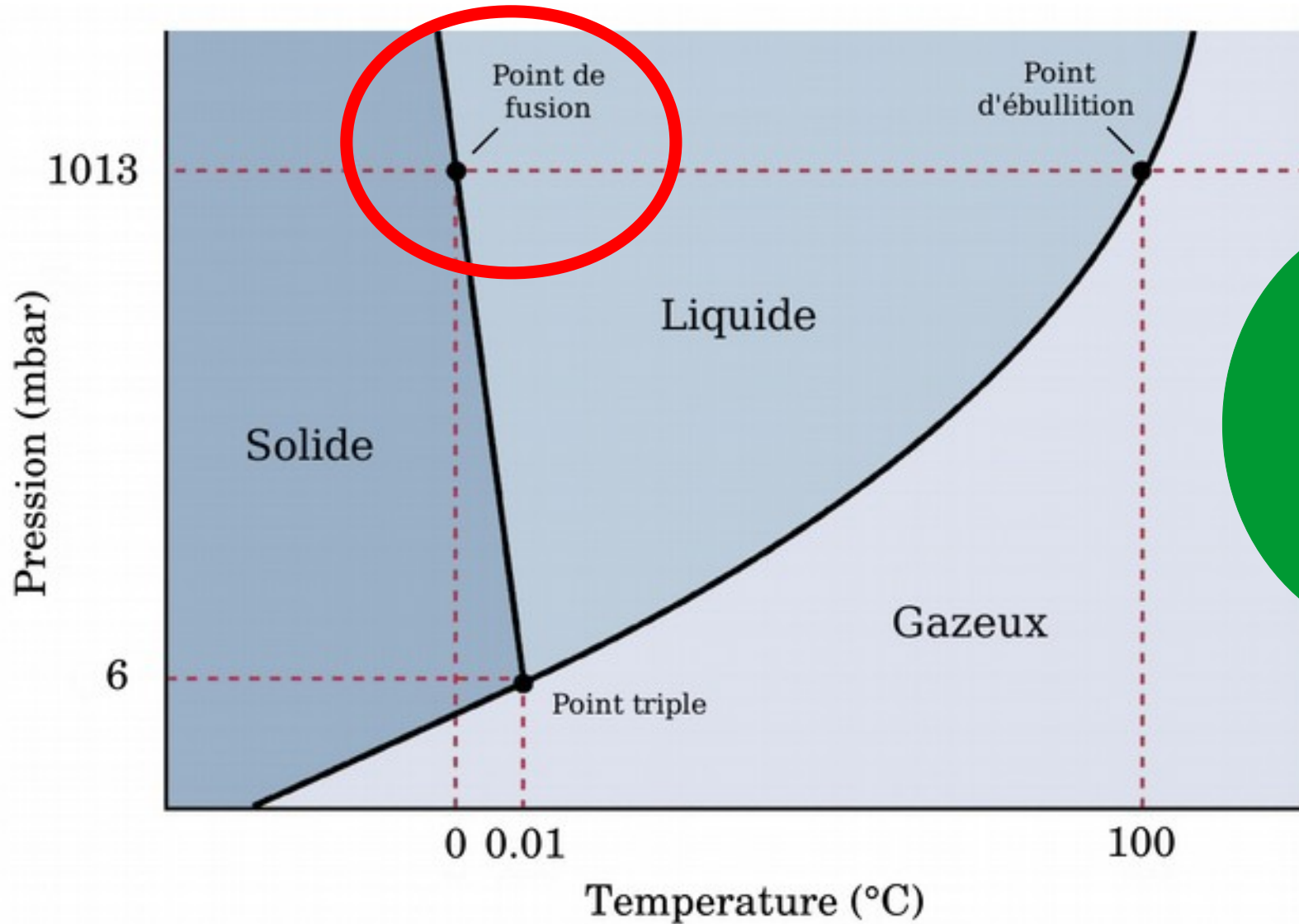


Le tonneau explose à cause de la surpression
 $\Delta P \sim 1000 \times 10 \times 10 = 10^5 \text{ Pa}$

FIG. 45.—Hydrostatic paradox. Pascal's experiment.

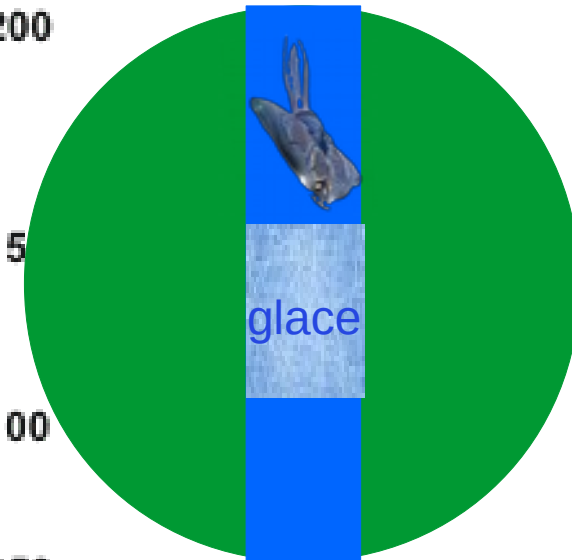
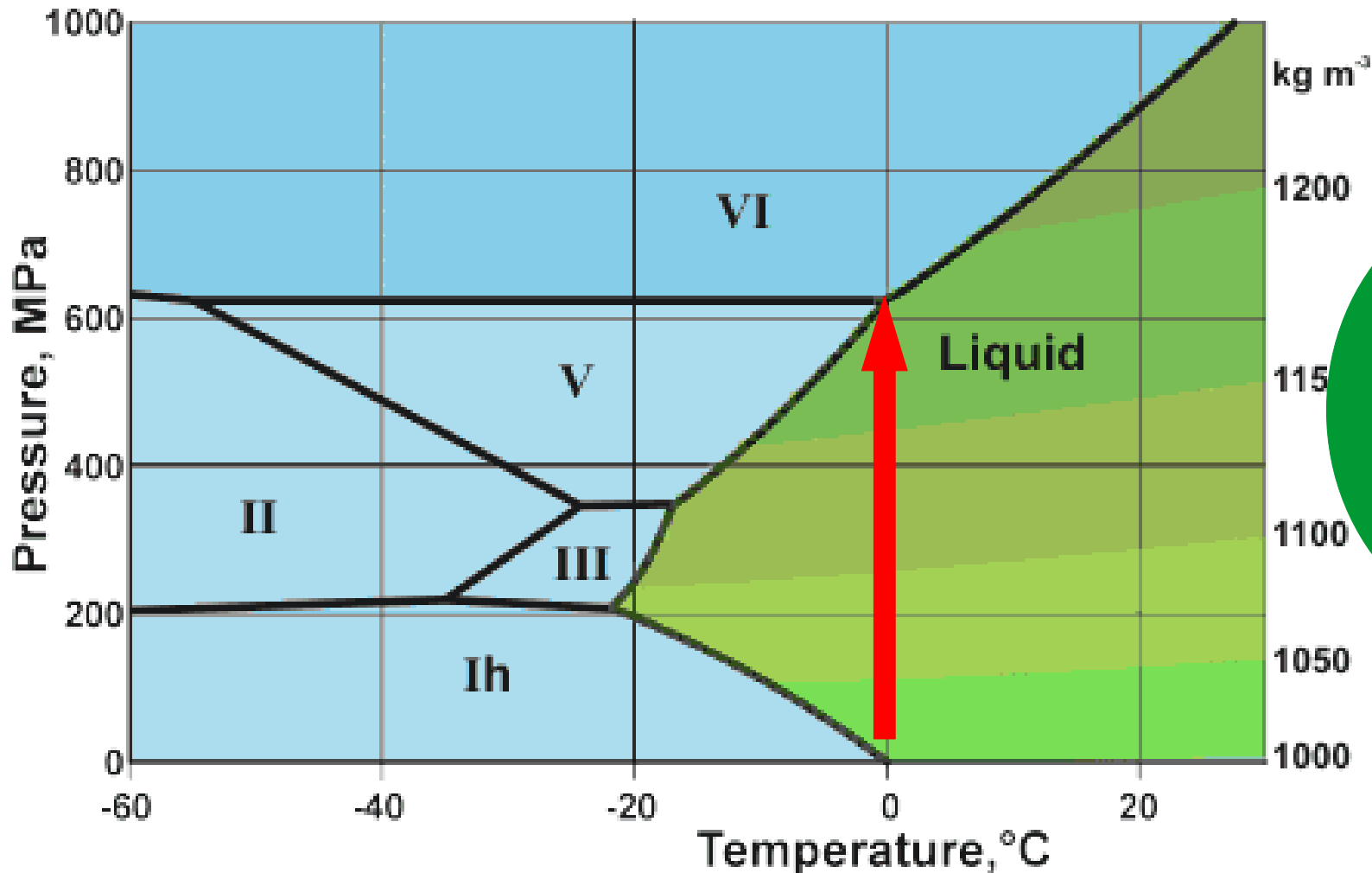
3- Voyage au centre de Naboo

1 bar = 10^5 Pa



3- Voyage au centre de Naboo

1 bar = 10^5 Pa



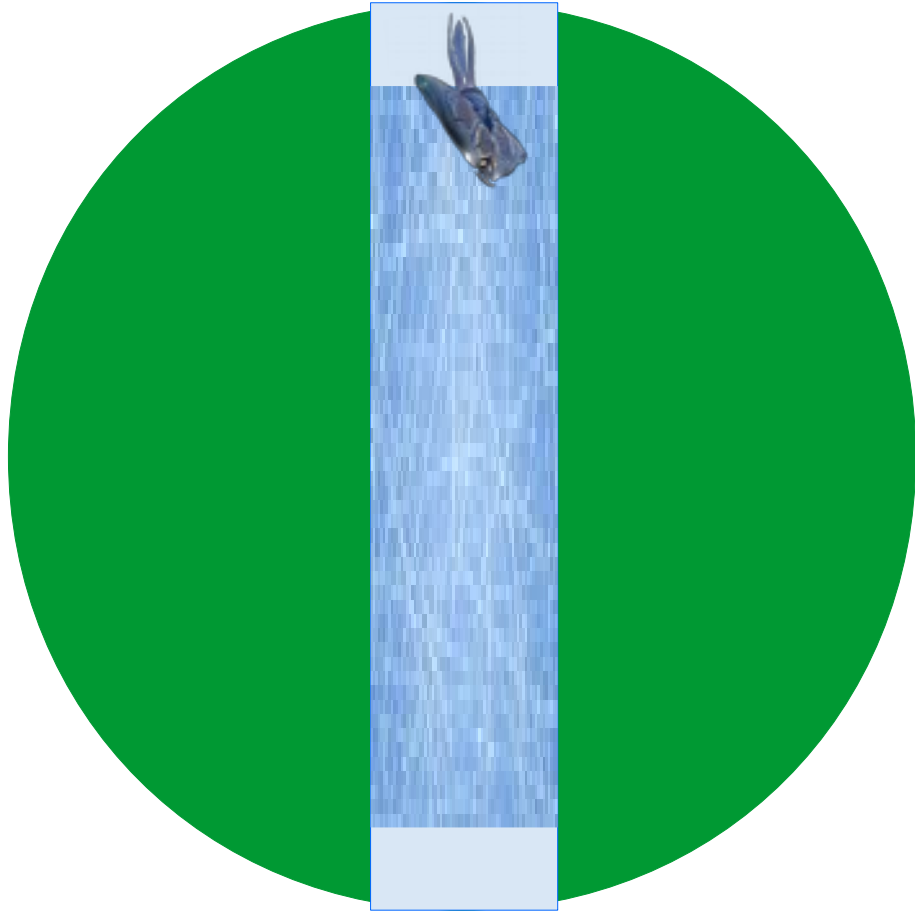
A 600 MPa, l'eau liquide devient solide (glace)...

Soit 6000 x Pression Atmosphérique ($\sim 10^5$ Pa) → $\Delta h = \Delta P / \rho g \sim 60$ km...



3- Voyage au centre de Naboo

Un coeur de glace ?



au bout de $\Delta h = \Delta P / \rho g \sim 60 \text{ km} \dots$



$R \sim 6000 \text{ km} ?$

Traversée impossible !



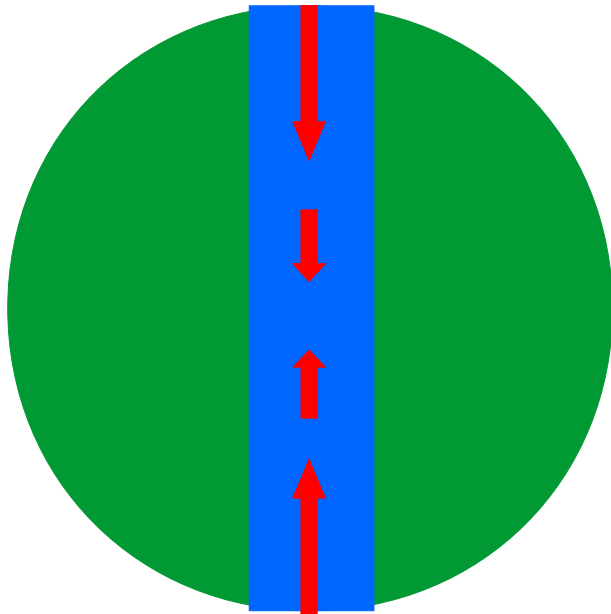
3- Voyage au centre de Naboo

Mais le champ de gravitation varie dans la Planète, et s'inverse au centre

$$g = \frac{GM}{h^2}$$

$$\text{Avec } M = \frac{4\pi}{3}\rho \times h^3$$

$$\Rightarrow g = \frac{4\pi}{3}\rho Gh$$



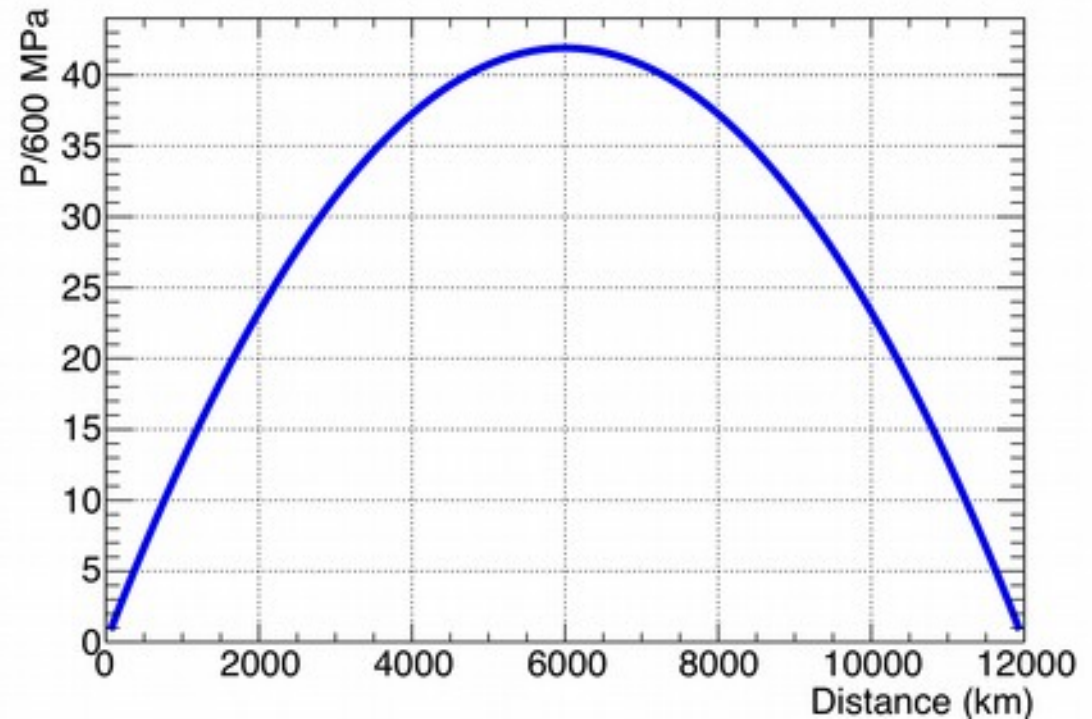
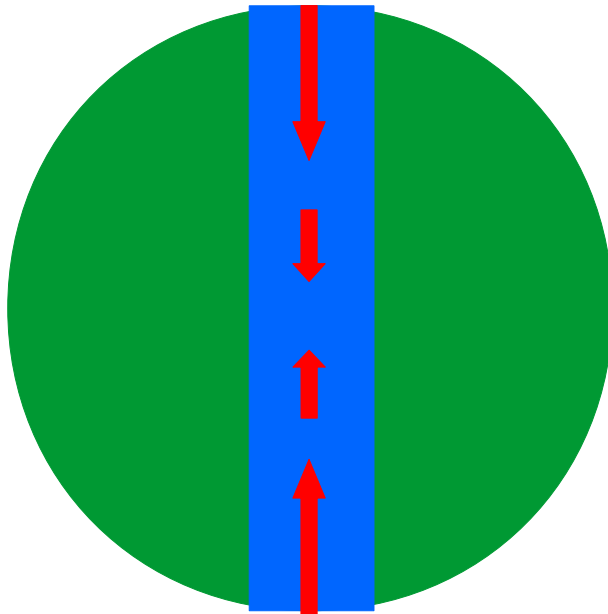
3- Voyage au centre de Naboo

Mais le champ de gravitation varie dans la Planète, et s'inverse au centre

$$g = \frac{GM}{h^2}$$

$$\text{Avec } M = \frac{4\pi}{3}\rho \times h^3$$

$$\Rightarrow g = \frac{4\pi}{3}\rho Gh$$

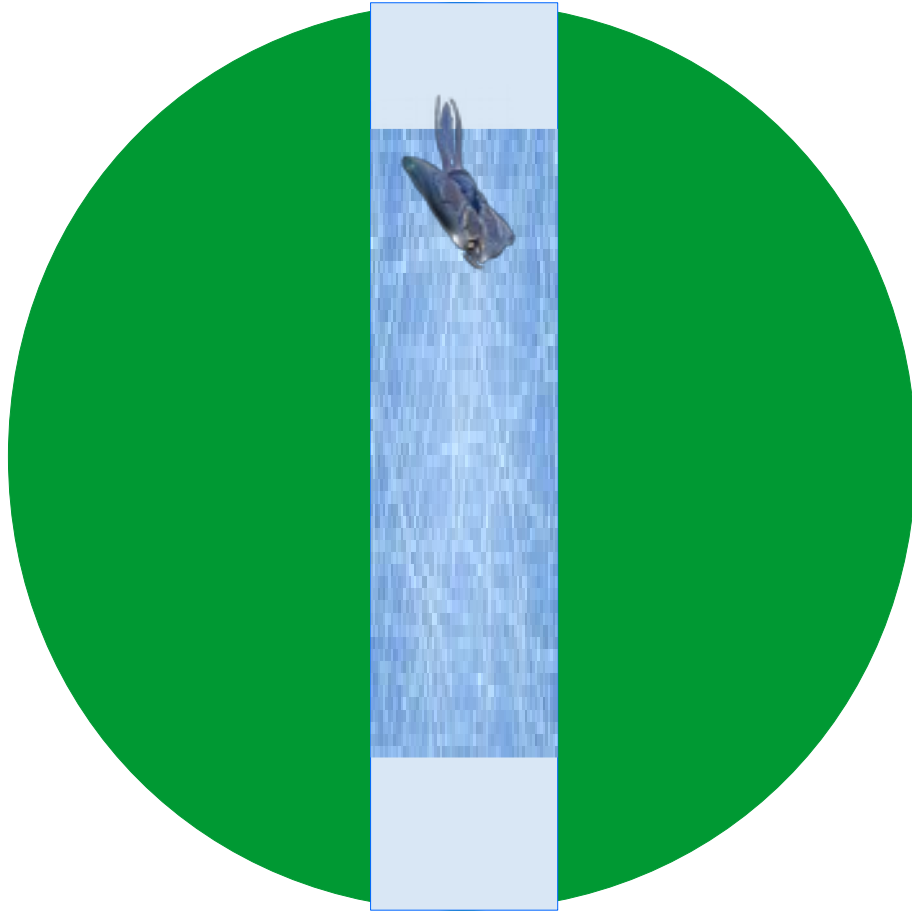


Calcul plus complet :
nécessite le calcul intégral...

Soit **6000 x Pression Atmosphérique**
pour $\Delta h \approx 100$ km

3- Voyage au centre de Naboo

Un coeur de glace ?



au bout de $\Delta h \approx 100 \text{ km}$

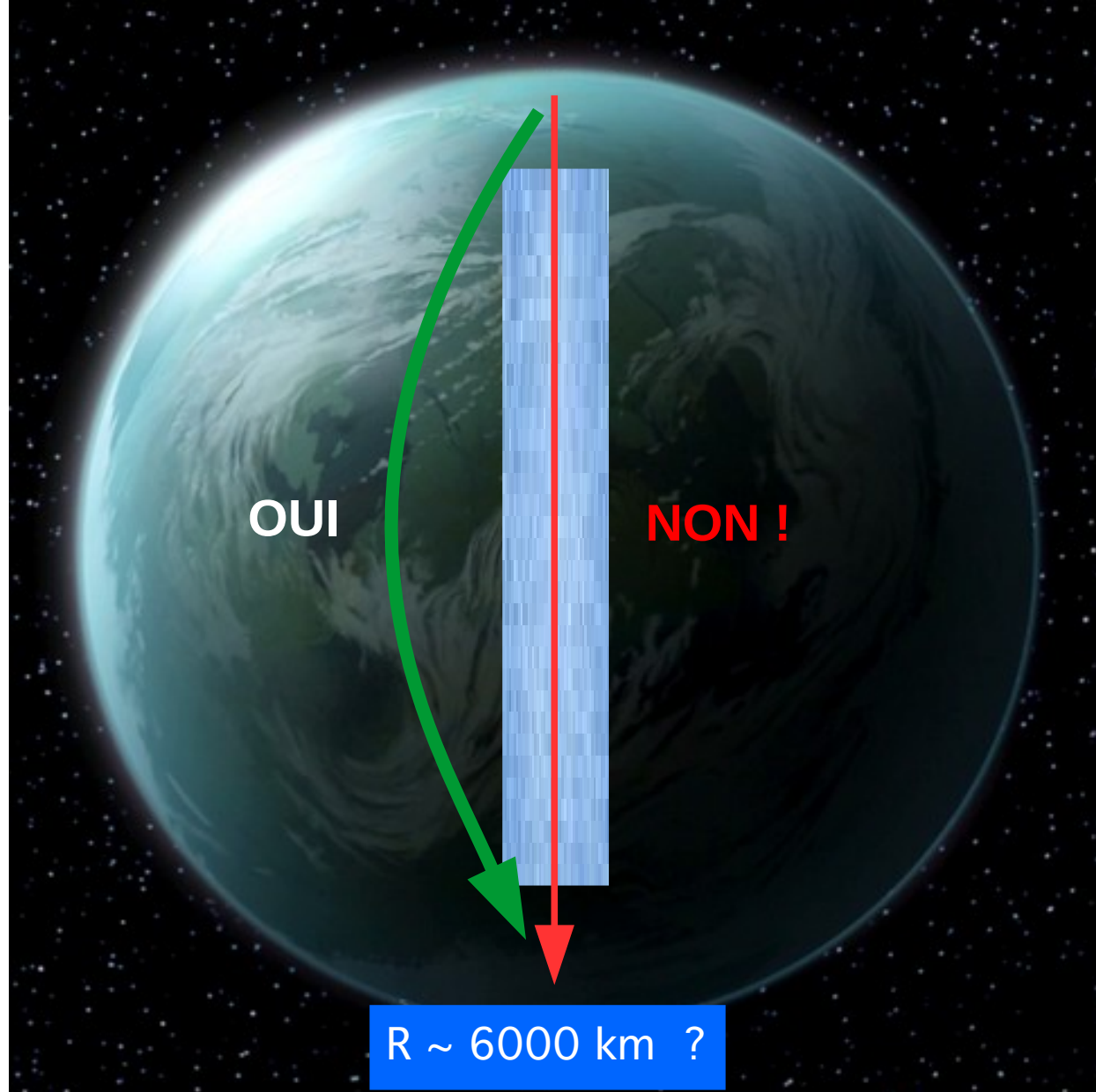


$R \sim 6000 \text{ km} ?$

Traversée impossible !



3- Voyage au centre de Naboo



3- Voyage au centre de Naboo

Au centre de la Planète...



<https://www.youtube.com/watch?v=9AJG9vHlajI>

Total Recall, 2012

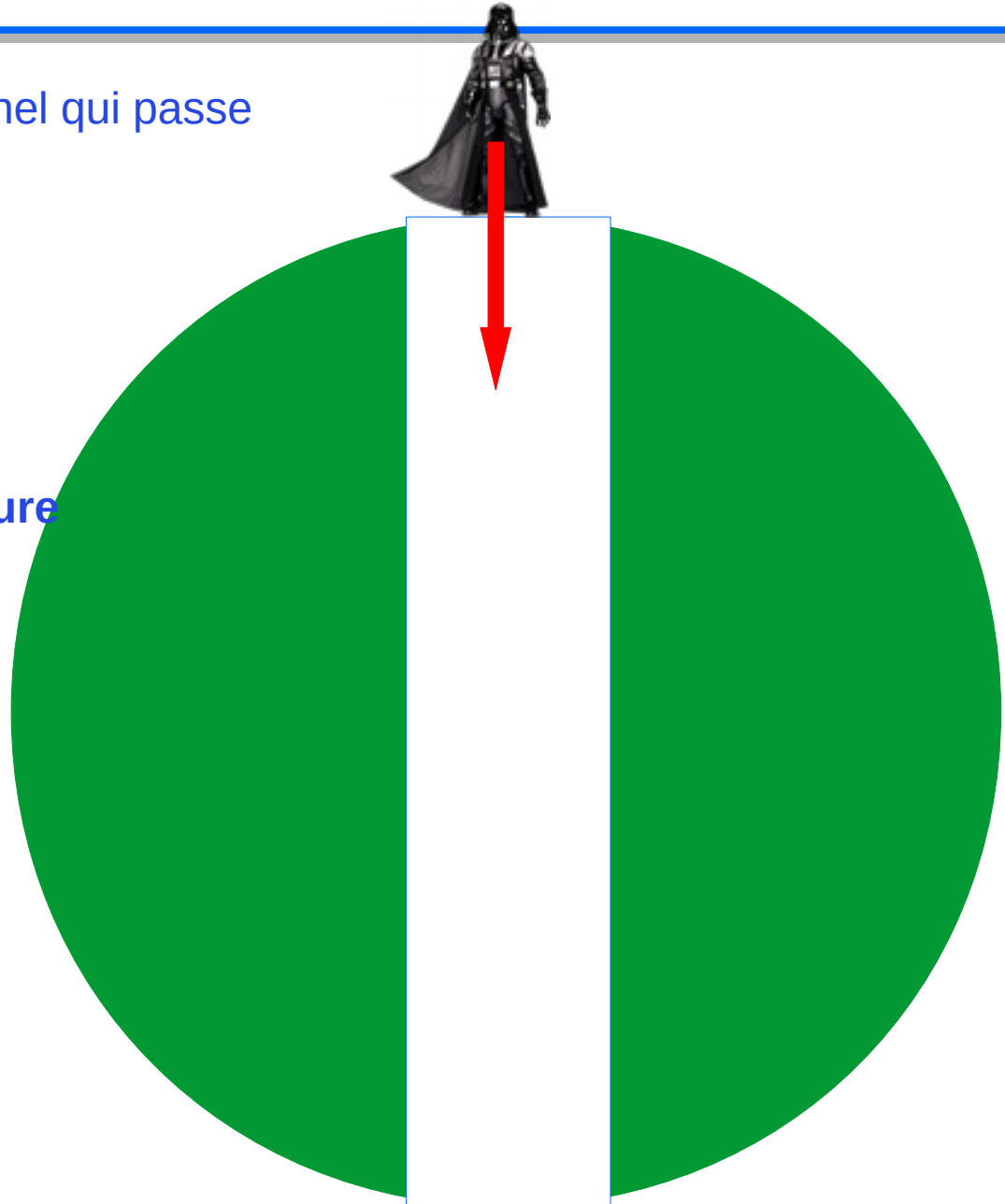
3- Voyage au centre de Naboo

Que se passe-t-il dans un long tunnel qui passe par le centre de la Planète ?

$$g = \frac{GM}{h^2}, \text{ avec } M = \frac{4\pi}{3}\rho \times h^3$$

$$\Rightarrow F = mg = \frac{4\pi}{3}\rho G h m$$

La force diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche du centre...



3- Voyage au centre de Naboo

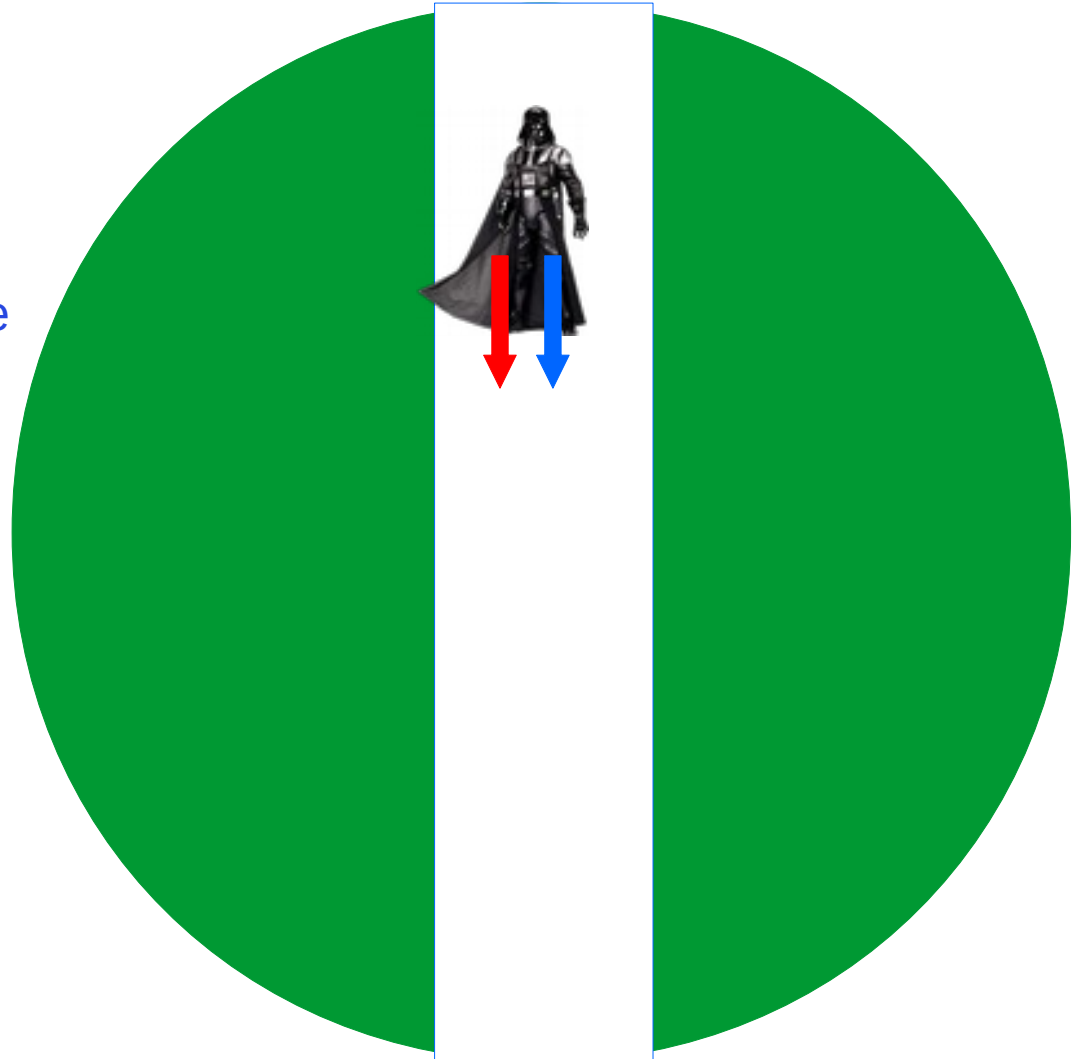
Que se passe-t-il dans un long tunnel qui passe par le centre de la Planète ?

$$g = \frac{GM}{h^2}, \text{ avec } M = \frac{4\pi}{3}\rho \times h^3$$

$$\Rightarrow F = mg = \frac{4\pi}{3}\rho G h m$$

La force diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche du centre...

...la vitesse augmente...



3- Voyage au centre de Naboo

Que se passe-t-il dans un long tunnel qui passe par le centre de la Planète ?

$$g = \frac{GM}{h^2}, \text{ avec } M = \frac{4\pi}{3}\rho \times h^3$$

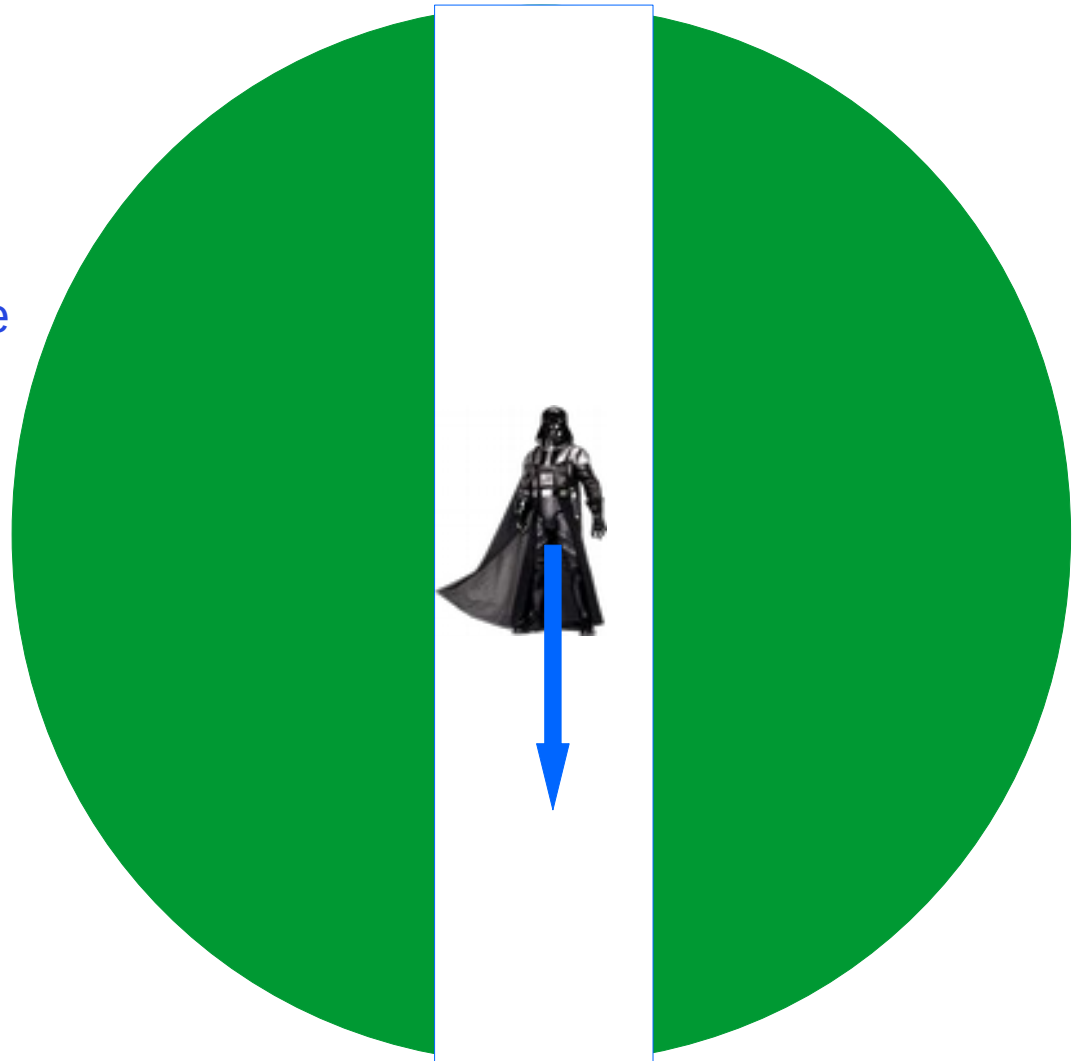
$$\Rightarrow F = mg = \frac{4\pi}{3}\rho G h m$$

La force diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche du centre...

...la vitesse augmente...

Au centre, la gravité s'annule...

mais pas la vitesse !



3- Voyage au centre de Naboo

Que se passe-t-il dans un long tunnel qui passe par le centre de la Planète ?

$$g = \frac{GM}{h^2}, \text{ avec } M = \frac{4\pi}{3}\rho \times h^3$$

$$\Rightarrow F = mg = \frac{4\pi}{3}\rho G h m$$

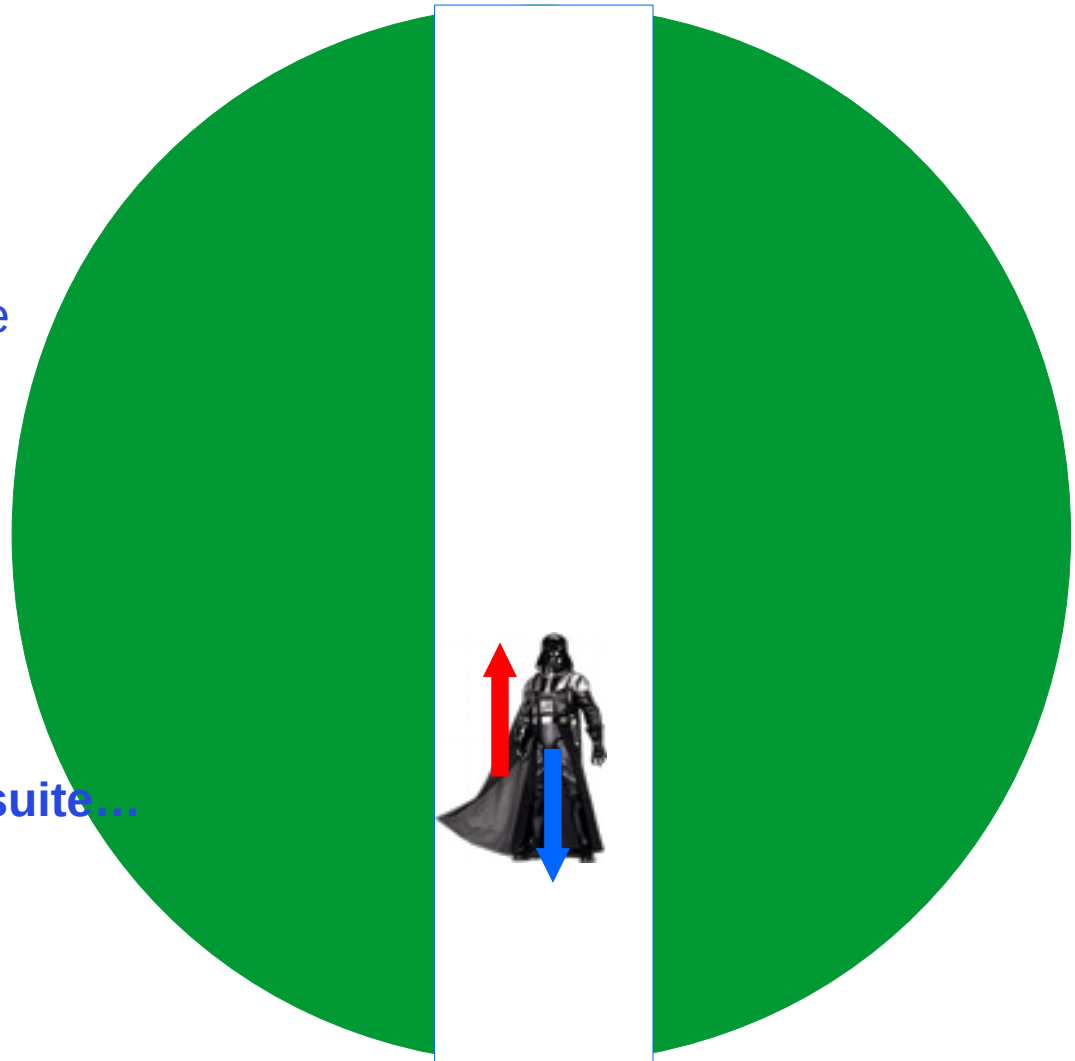
La force diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche du centre...

...la vitesse augmente...

Au centre, la gravité s'annule...

mais pas la vitesse !

**La Force de gravité s'inverse ensuite...
et la vitesse diminue...**



3- Voyage au centre de Naboo

Que se passe-t-il dans un long tunnel qui passe par le centre de la Planète ?

$$g = \frac{GM}{h^2}, \text{ avec } M = \frac{4\pi}{3}\rho \times h^3$$

$$\Rightarrow F = mg = \frac{4\pi}{3}\rho G h m$$

La force diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche du centre...

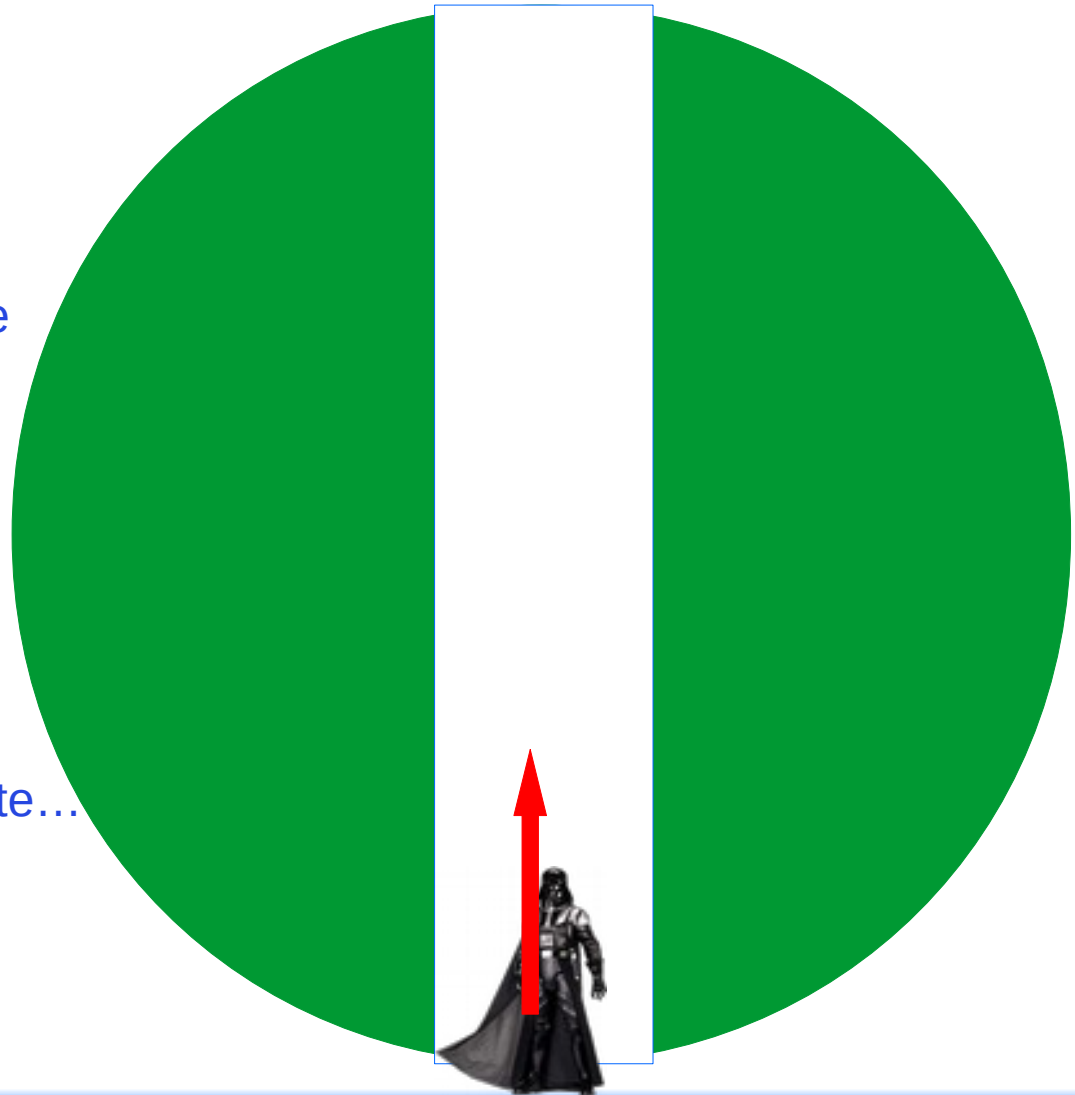
...la vitesse augmente...

Au centre, la gravité s'annule...

mais pas la vitesse !

La Force de gravité s'inverse ensuite...
et la vitesse diminue...

jusqu'à s'annuler...



3- Voyage au centre de Naboo

Que se passe-t-il dans un long tunnel qui passe par le centre de la Planète ?

$$g = \frac{GM}{h^2}, \text{ avec } M = \frac{4\pi}{3}\rho \times h^3$$

$$\Rightarrow F = mg = \frac{4\pi}{3}\rho G h m$$

La force diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche du centre...

...la vitesse augmente...

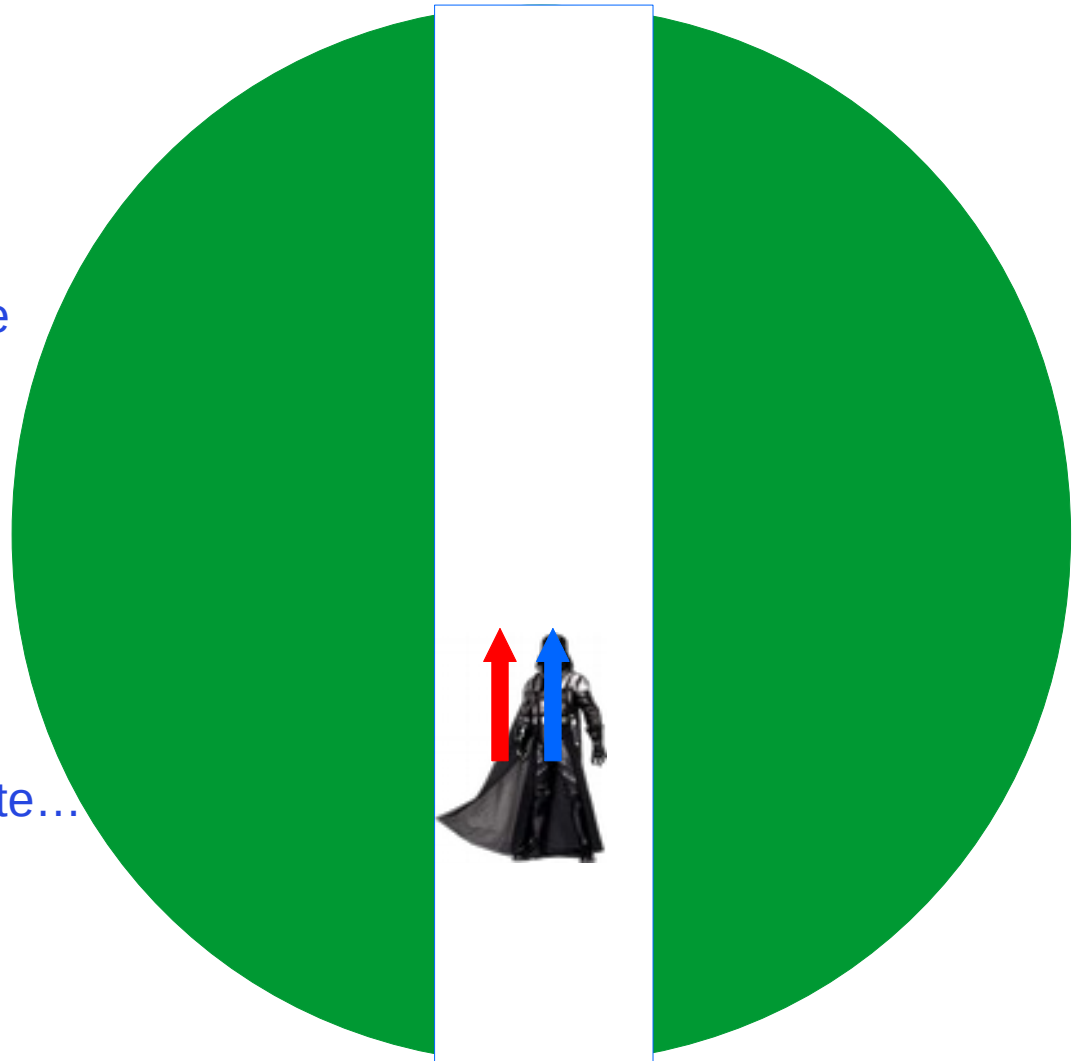
Au centre, la gravité s'annule...

mais pas la vitesse !

La Force de gravité s'inverse ensuite...
et la vitesse diminue...

jusqu'à s'annuler...

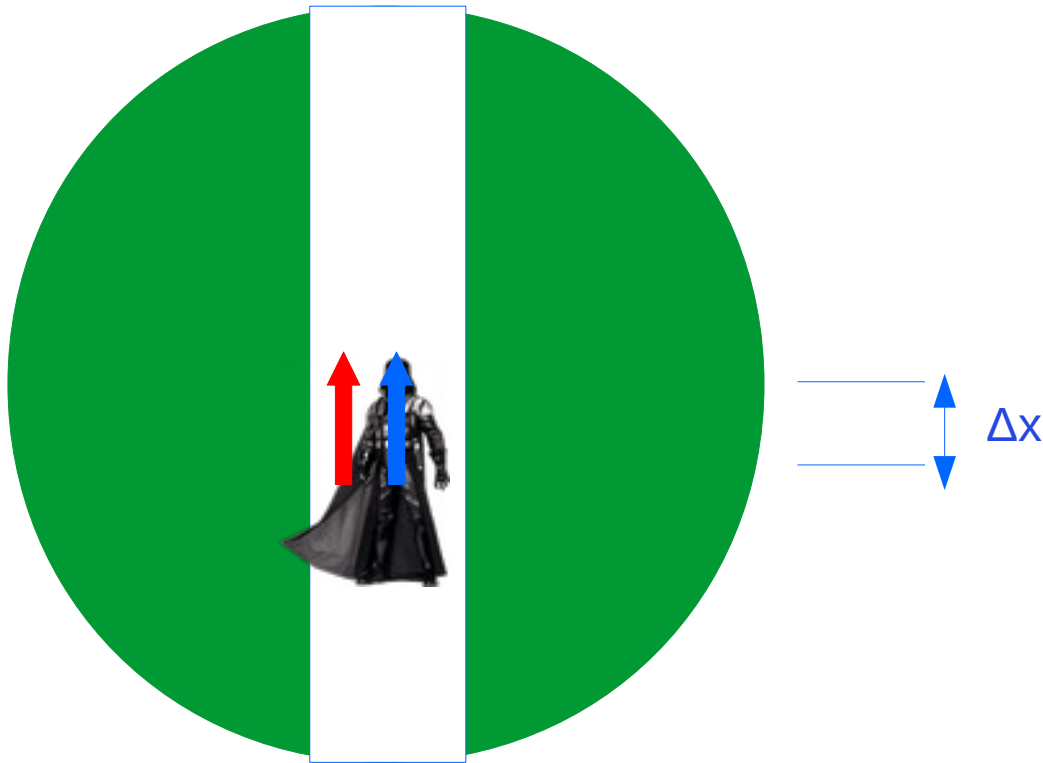
...et c'est reparti pour un tour !



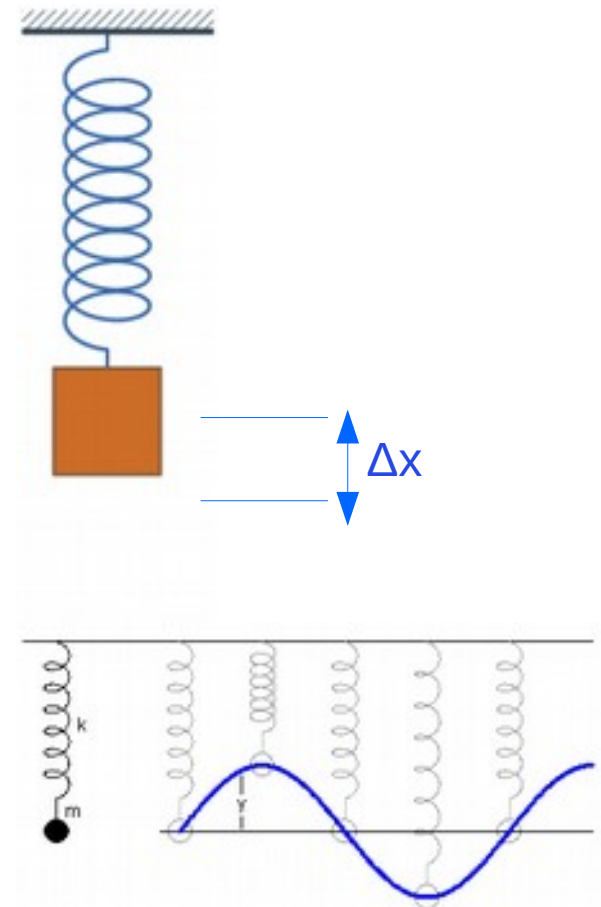
3- Voyage au centre de Naboo

Même comportement que pour une masse m attachée à un ressort

$$\Rightarrow F = mg = \frac{4\pi}{3}\rho G m h = \frac{4\pi}{3}\rho G m \Delta x$$



$$\Rightarrow F = k\Delta x$$



3- Voyage au centre de Naboo

Même comportement que pour une masse m attachée à un ressort

Dans le cas du ressort, si on cherche la période T

$$[T] = T$$

$$\Delta x \text{ initial} : [\Delta x] = L$$

$$\text{Coefficient } k : [k] = F/L = M.T^{-2}$$

$$\text{Masse } m [m] = M$$

4 paramètres pour 3 dimensions

→ 1 nombre sans dimensions

$$\text{On écrit } T = M^0.L^0.T^1 = \Delta x^a.k^b.m^c = L^a.(M.T^{-2})^b.M^c$$

$$\rightarrow T = M^0.L^0.T^1 = M^{b+c}.L^a.T^{-2b}$$

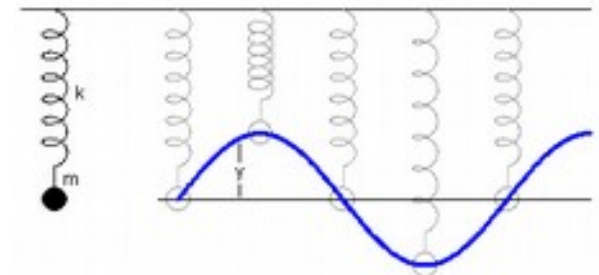
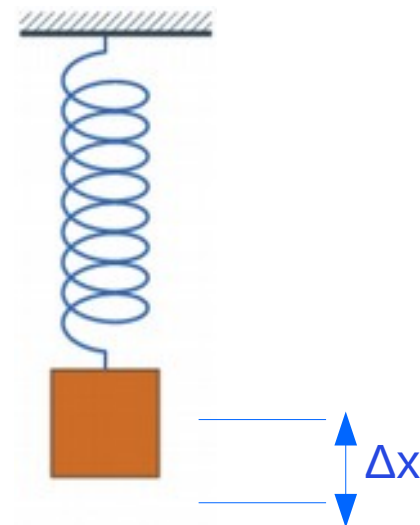
$$\rightarrow a = 0$$

$$\rightarrow -2b = 1 \rightarrow b = -1/2$$

$$\rightarrow b+c = 0 \rightarrow c = -b = 1/2$$

$$\Rightarrow T \propto \Delta x^0.k^{-1/2}.m^{1/2} = \sqrt{\frac{m}{k}}$$

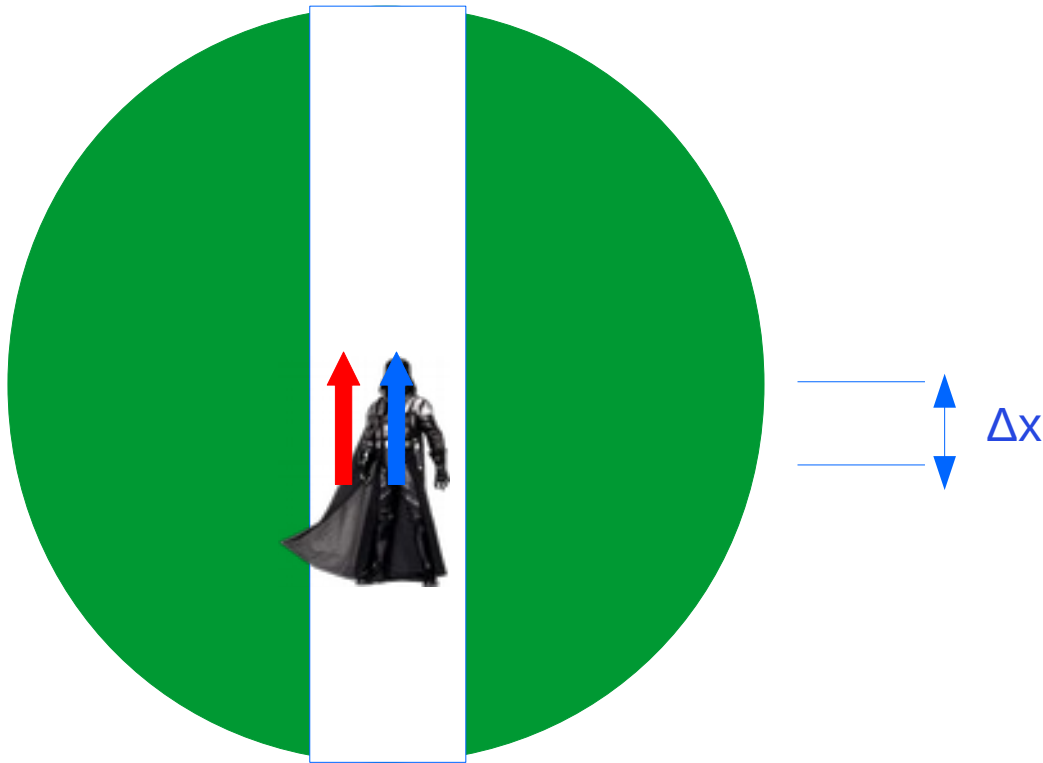
$$\Rightarrow F = k\Delta x$$



3- Voyage au centre de Naboo

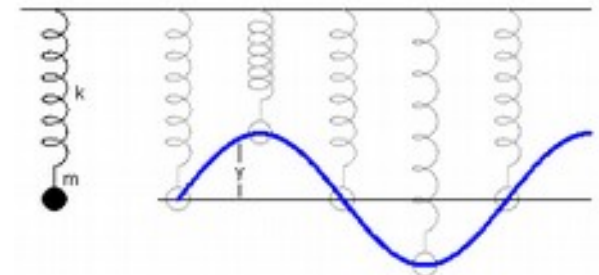
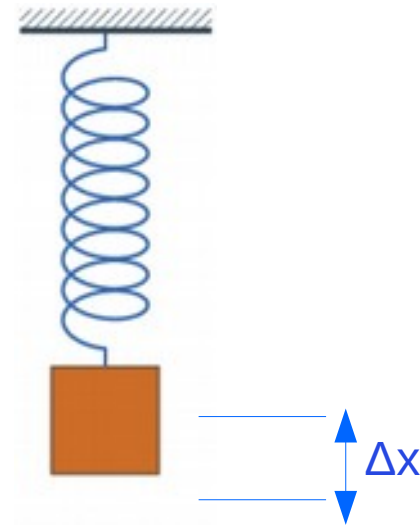
Même comportement que pour une masse m attachée à un ressort

$$\Rightarrow F = mg = \frac{4\pi}{3} \rho G m h = \boxed{\frac{4\pi}{3} \rho G m} \Delta x$$



$$\text{Ici } k = \frac{4}{3} \pi \rho G m \Rightarrow T \propto \sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} \pi \rho G}}$$

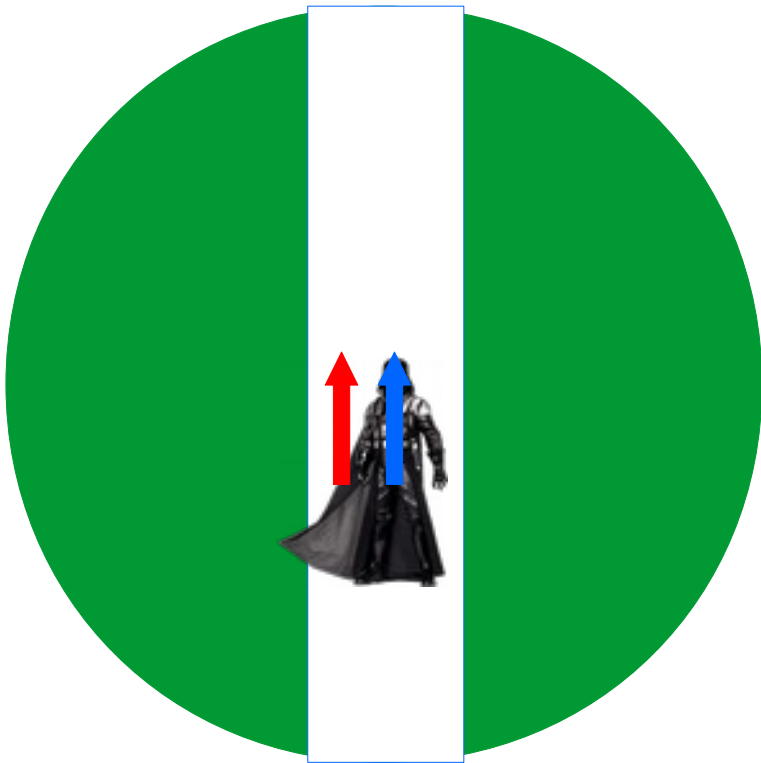
$$\Rightarrow F = k \Delta x$$



3- Voyage au centre de Naboo

On a calculé le temps de traversée de la Planète !

$$\Rightarrow T \propto \sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi}{3} \rho G}}$$

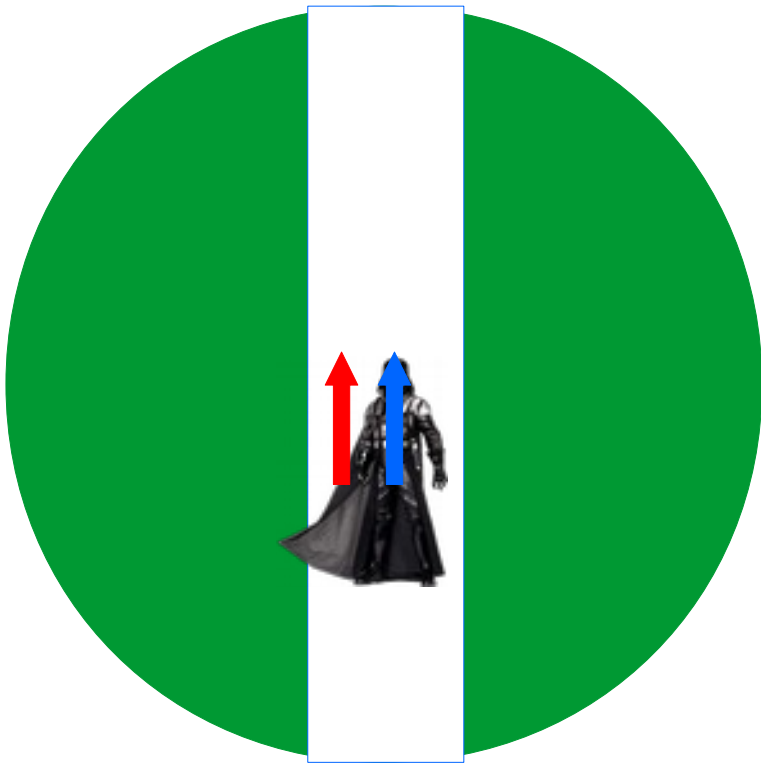


Le temps recherché est la moitié de T...

3- Voyage au centre de Naboo

On a calculé le temps de traversée de la Planète !

$$\Rightarrow T \propto \sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4\pi}{3} \rho G}} \quad \longrightarrow \quad T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{4\pi}{3} \rho G}}$$

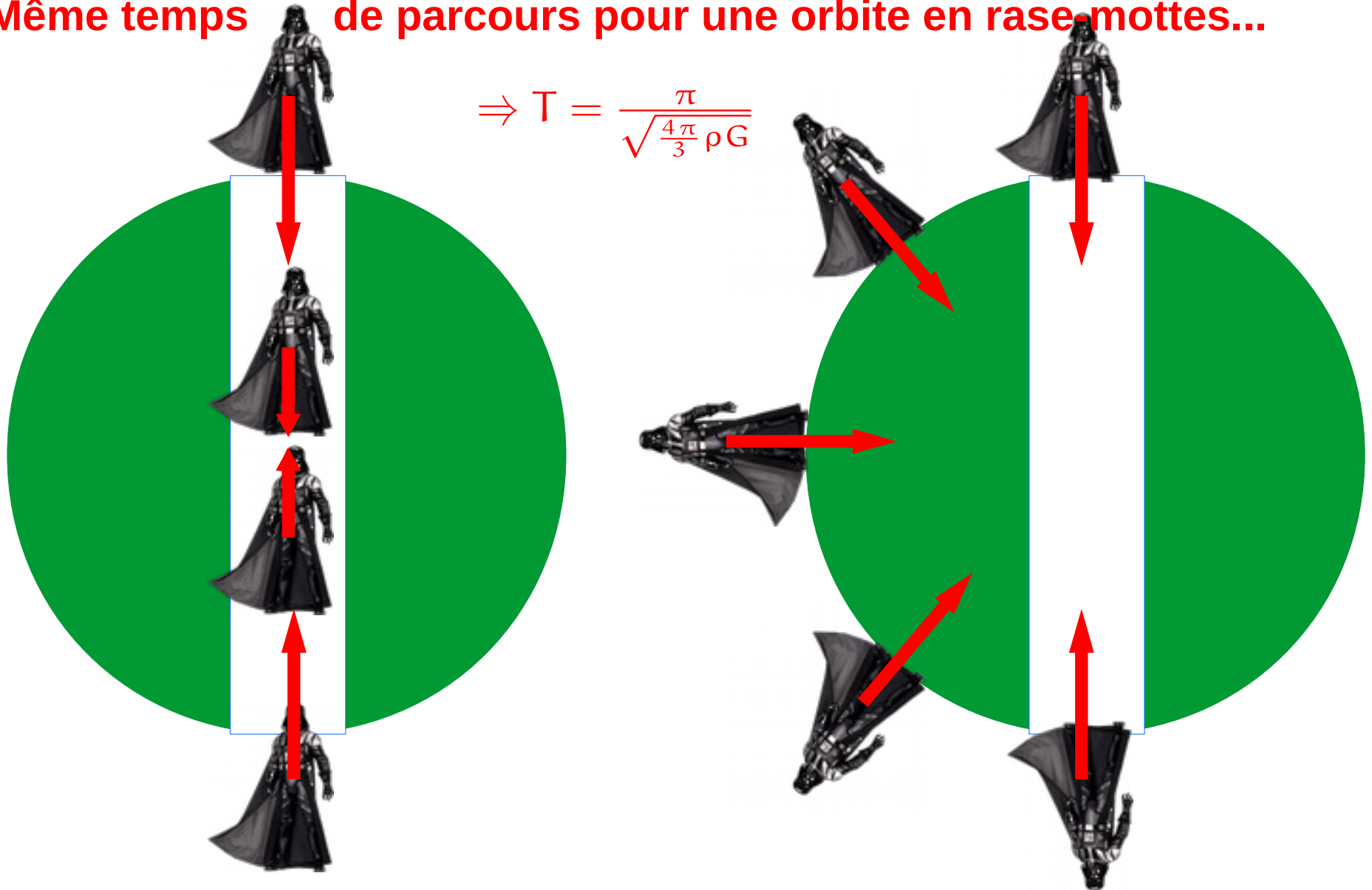


Le temps recherché est la moitié de T... $\Rightarrow T = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{4\pi}{3} \rho G}}$

3- Voyage au centre de Naboo

Même temps de parcours pour une orbite en rase-mottes...

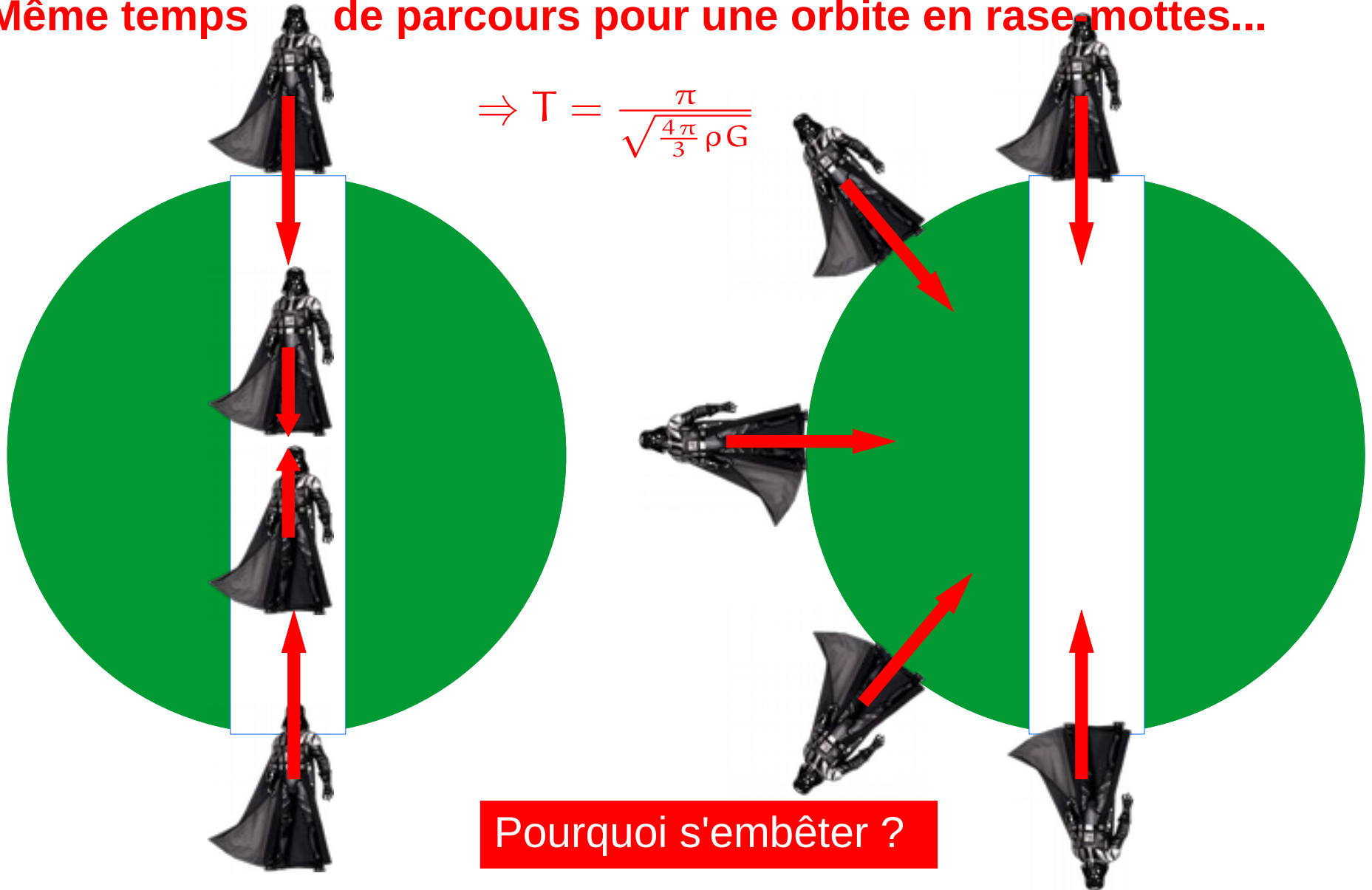
$$\Rightarrow T = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{4\pi}{3}\rho G}}$$



3- Voyage au centre de Naboo

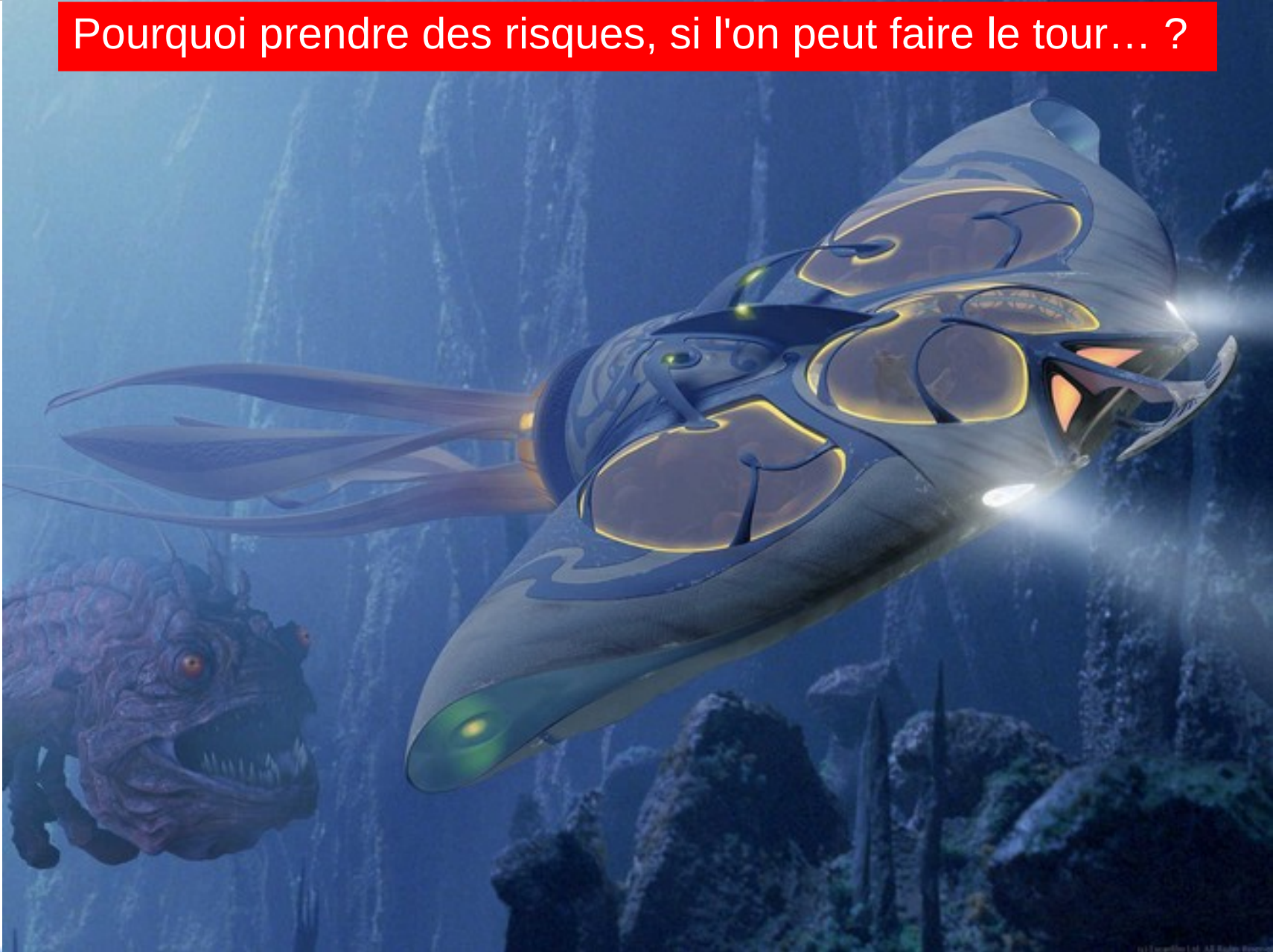
Même temps de parcours pour une orbite en rase-mottes...

$$\Rightarrow T = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{4\pi}{3}\rho G}}$$



3- Voyage au centre de Naboo

Pourquoi prendre des risques, si l'on peut faire le tour... ?



3- Voyage au centre de Naboo

Pourquoi prendre des risques, si l'on peut faire le tour... ?



...parce que c'est moins spectaculaire !



Physique & Fiction

de Gulliver à Star Wars

Mardi 05 Février 2019



Cours 1 : Physique & Dimensions
Cours 2 : Des Schtroumpfs à Gargantua
Cours 3 : Les pouvoirs de Superman
Cours 4 : L'énergie dans Star Wars
Cours 5 : De Dante à Edgar Allan Poe



5- De l'Enfer et du Ciel

Une enquête sur l'Enfer de Dante, l'Univers de Poe...



- 1 – L'Enfer de Dante vu par Galilée
- 2 – L'Univers vu par Edgar Allan Poe
- 3 – De la Terre Creuse à la Terre Plate...

4- La Force : Electricité & Gravitation



Interaction
Magnétique



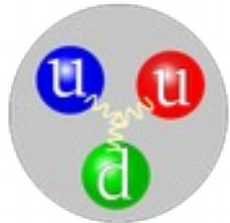
Interaction
Electrique

Electro-
Magnétisme

**Maxwell
(1864)**



Interaction
faible



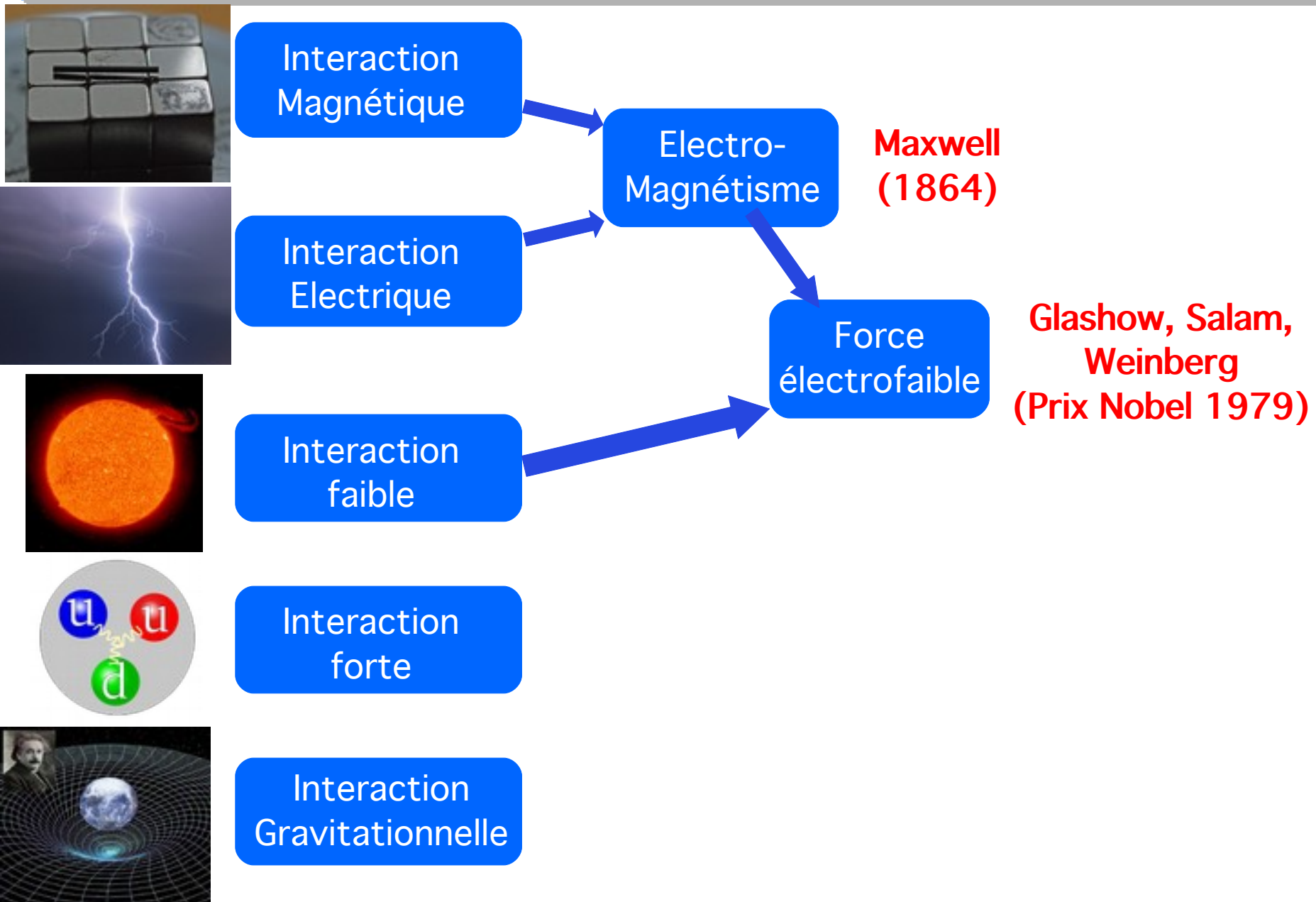
Interaction
forte



Interaction
Gravitationnelle



4- La Force : Electricité & Gravitation



4- La Force : Electricité & Gravitation



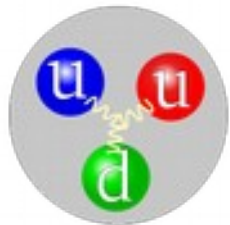
Interaction
Magnétique



Interaction
Electrique



Interaction
faible



Interaction
forte



Interaction
Gravitationnelle

Electro-
Magnétisme

**Maxwell
(1864)**

Force
électrofaible

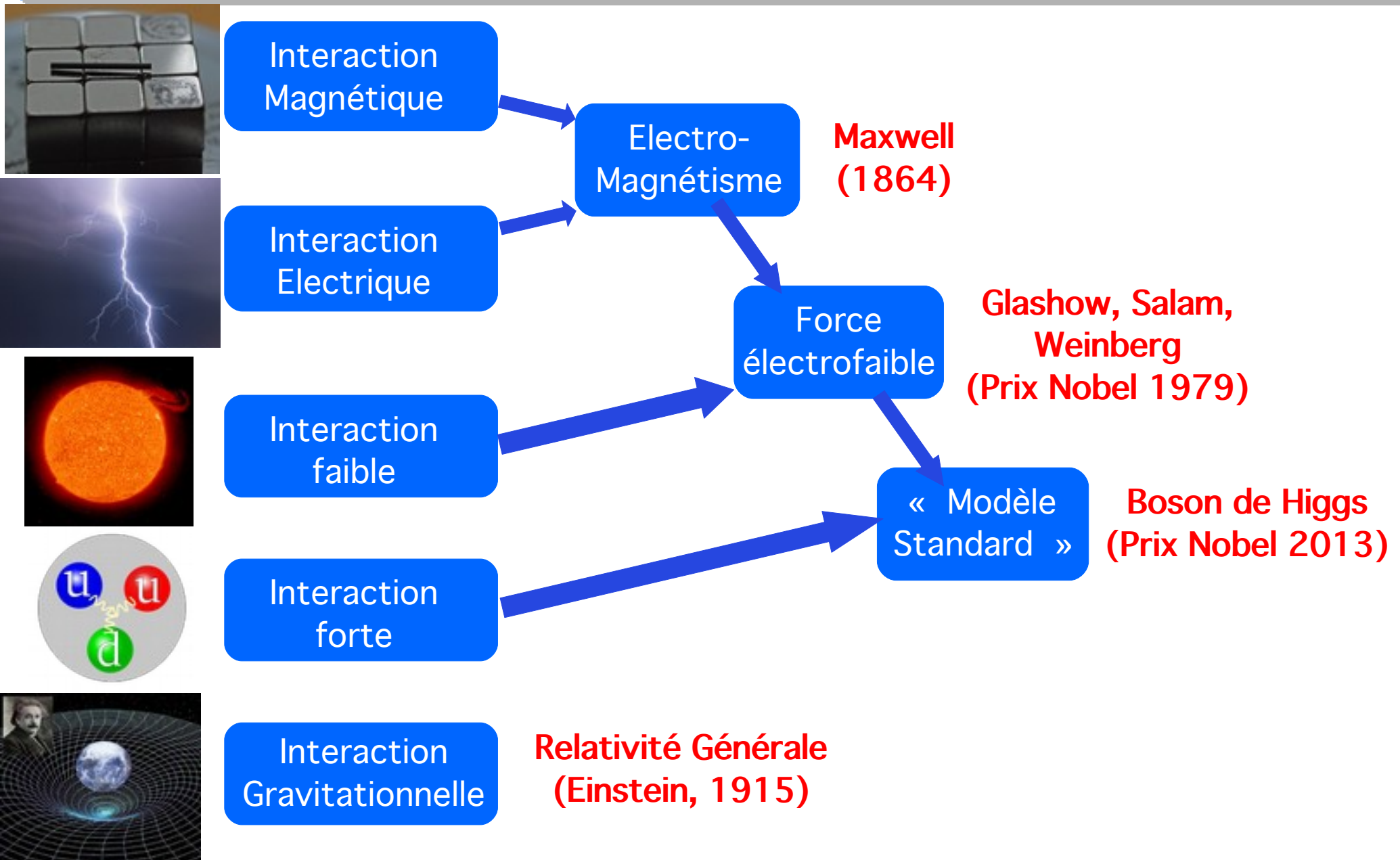
**Glashow, Salam,
Weinberg
(Prix Nobel 1979)**

« Modèle
Standard »

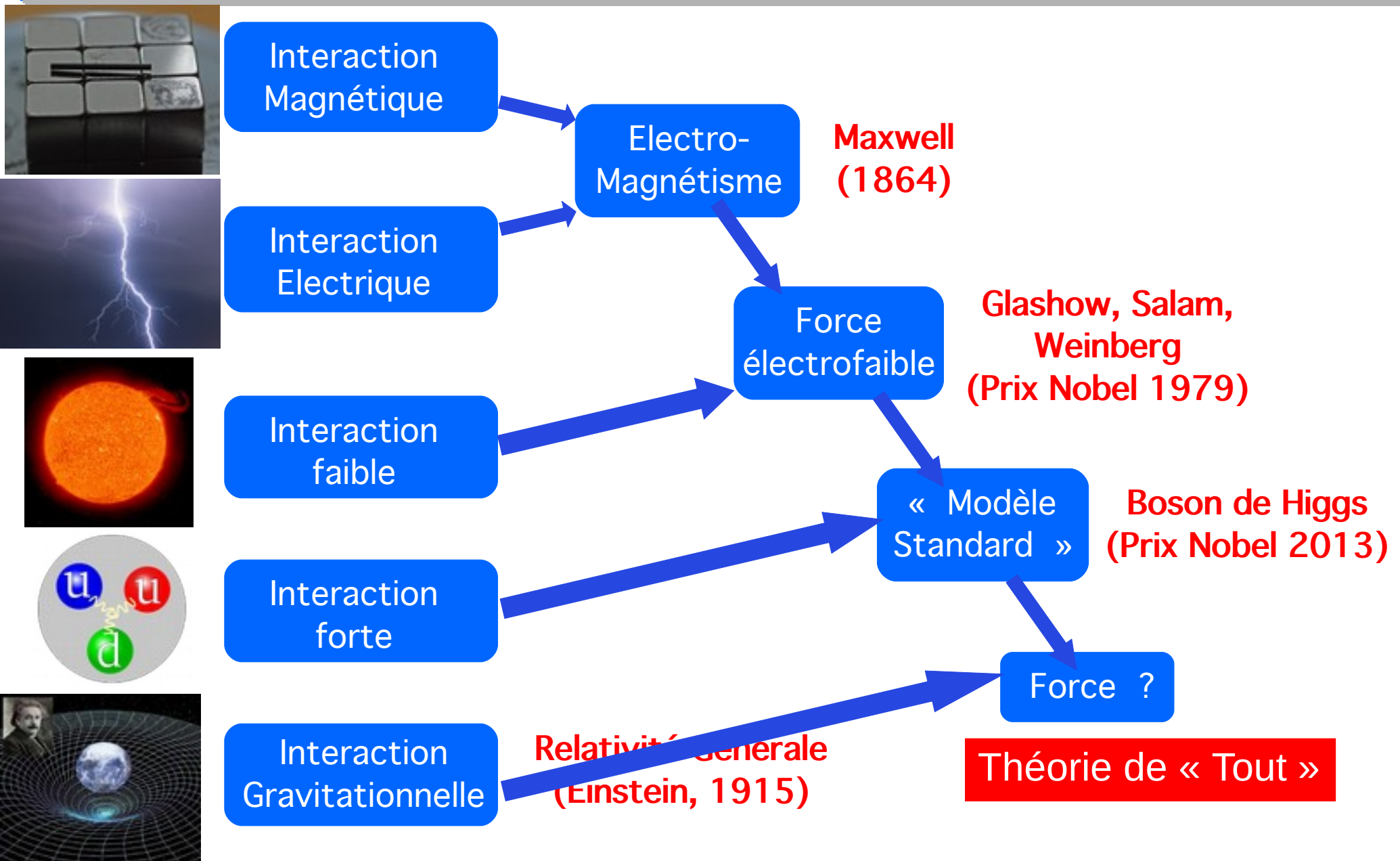
**Boson de Higgs
(Prix Nobel 2013)**



4- La Force : Electricité & Gravitation



4- La Force : Electricité & Gravitation



4- Un Sabre-Plasma ?

<https://www.youtube.com/watch?v=SKILMRuOx10>



SW Episode I, La Menace fantôme, 1999



4- Un Sabre-Plasma ?

Solide

Liquide

Gaz

Plasma



Energie



Energie



Energie

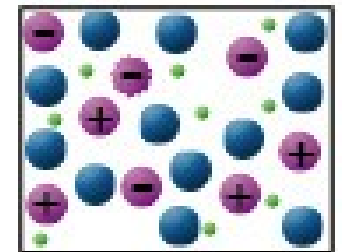
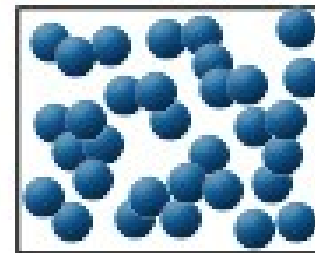
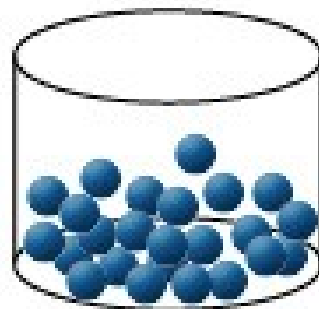
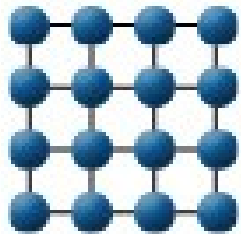


Glace

Eau
liquide

Vapeur
d'eau

Gaz
ionisé



● Molecules

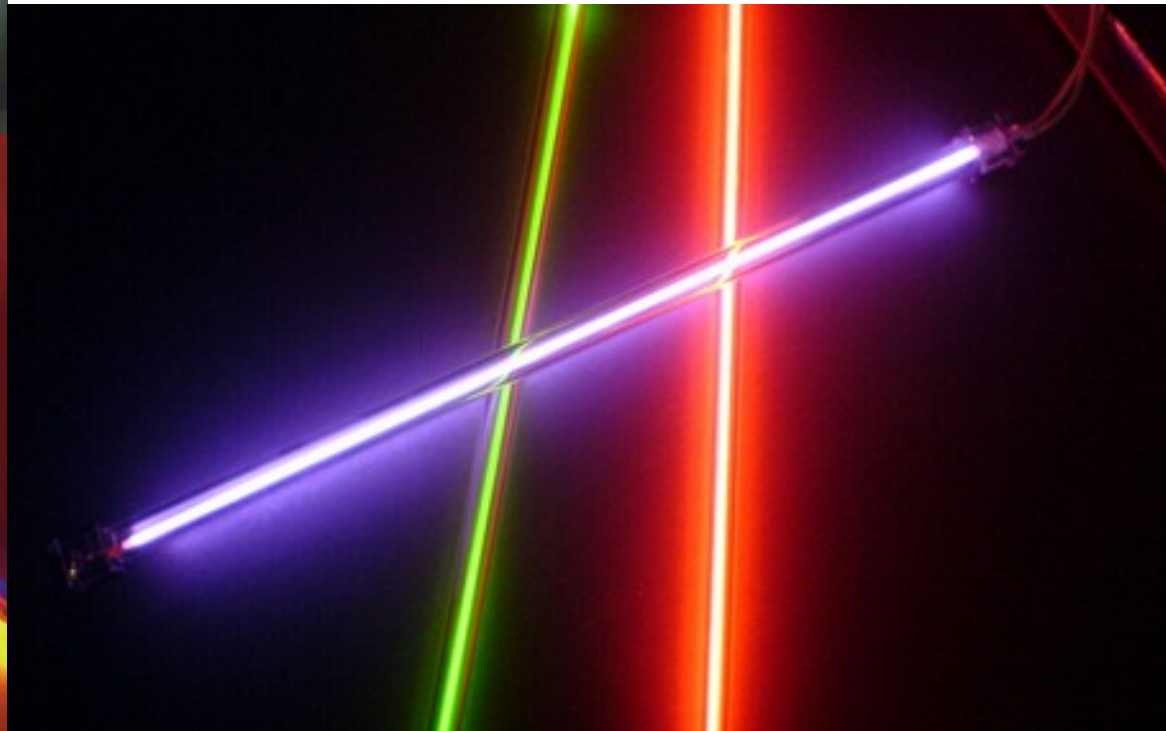
● ● Ions

● Electrons

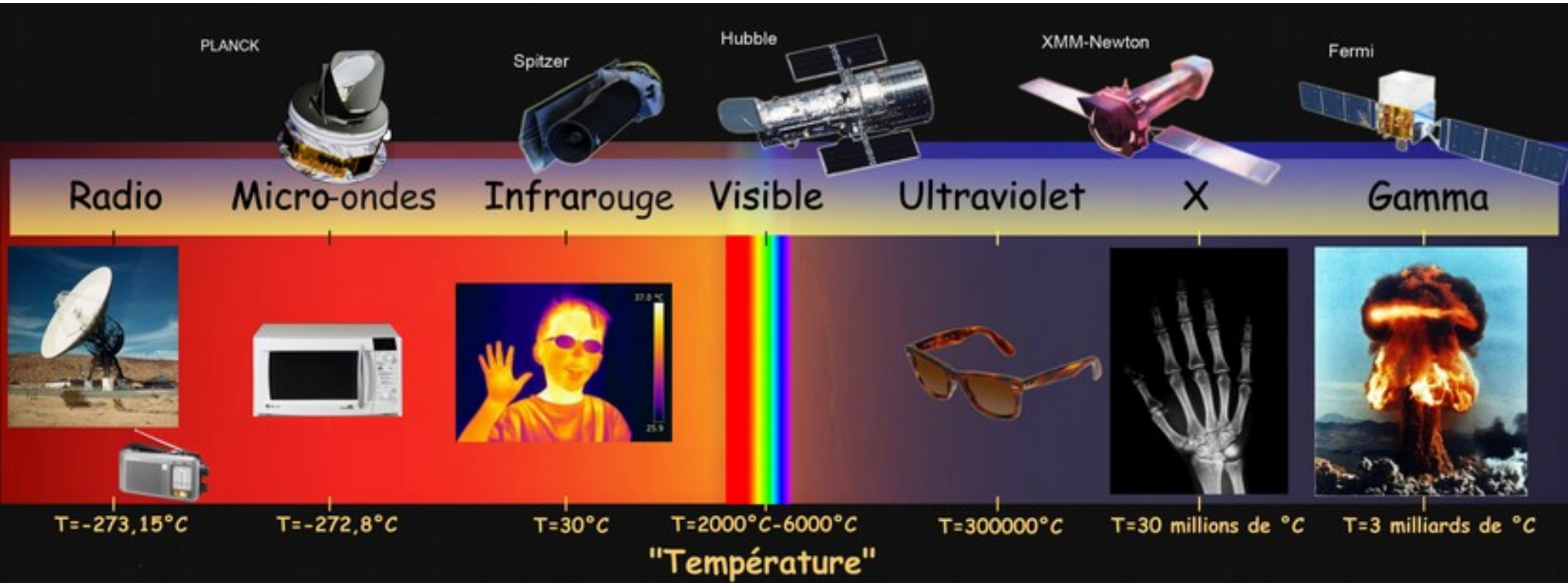
4- Un Sabre-Plasma ?



De beaux Sabres-Plasma !

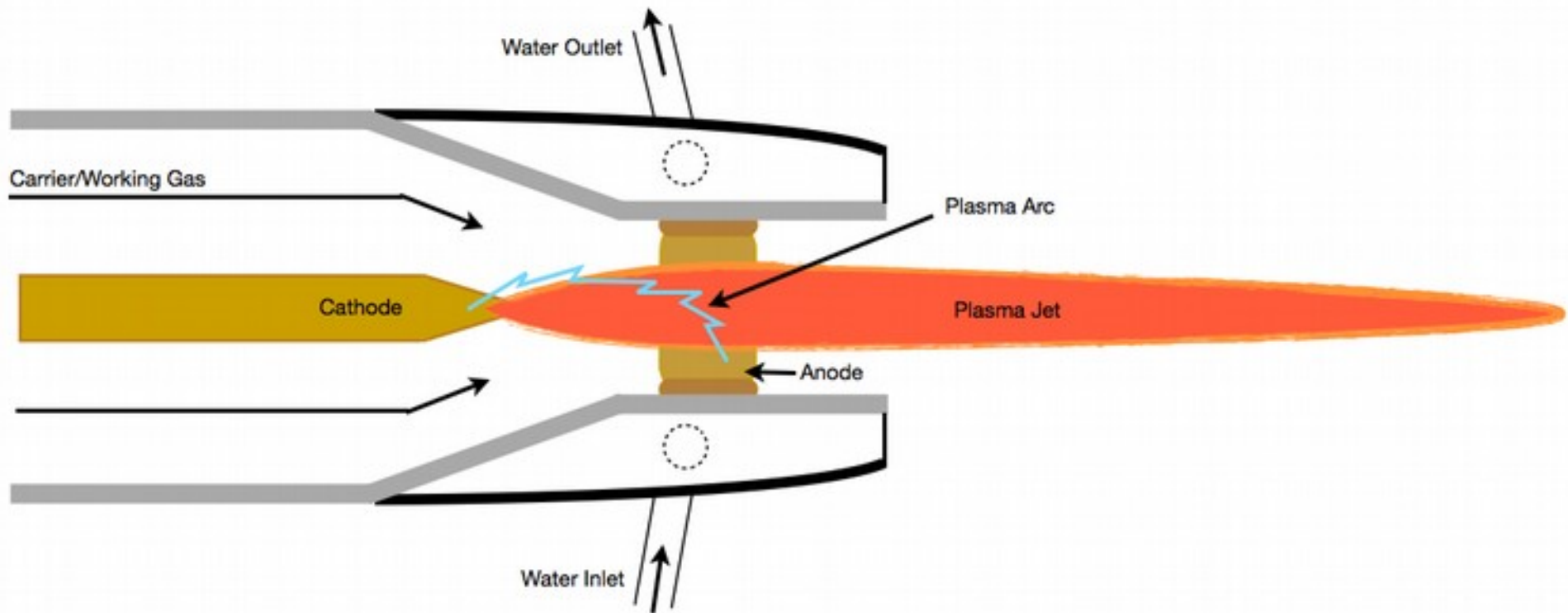


4- Un Sabre-Plasma ?



Une couleur ajustable en partie...

4- Un Sabre-Plasma ?



Principe d'une « torche-plasma »



4- Un Sabre-Plasma ?



Quelques 10 kW pour 10cm de lame

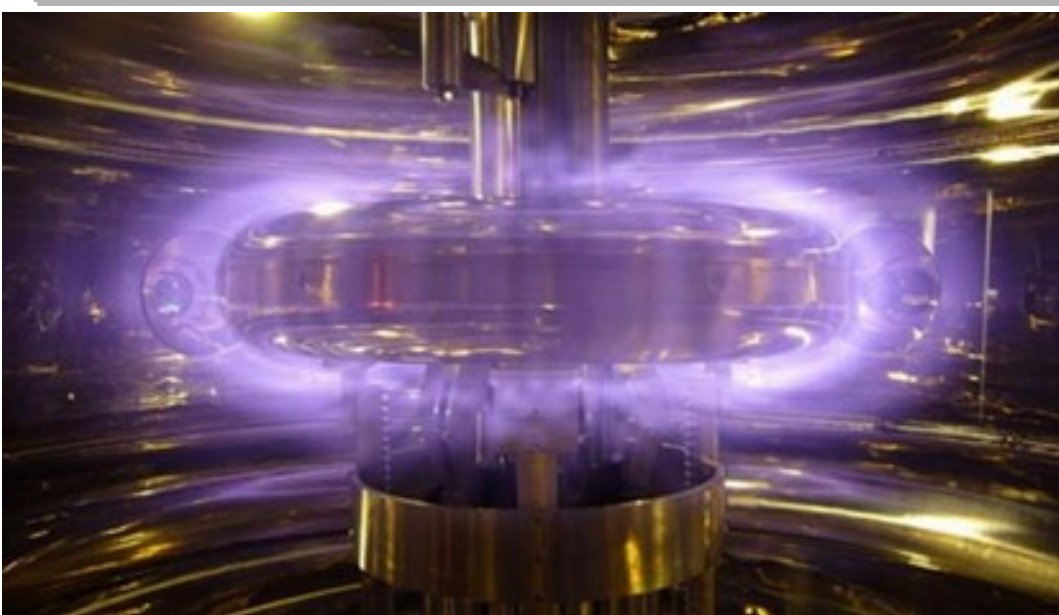


4- Un Sabre-Plasma ?

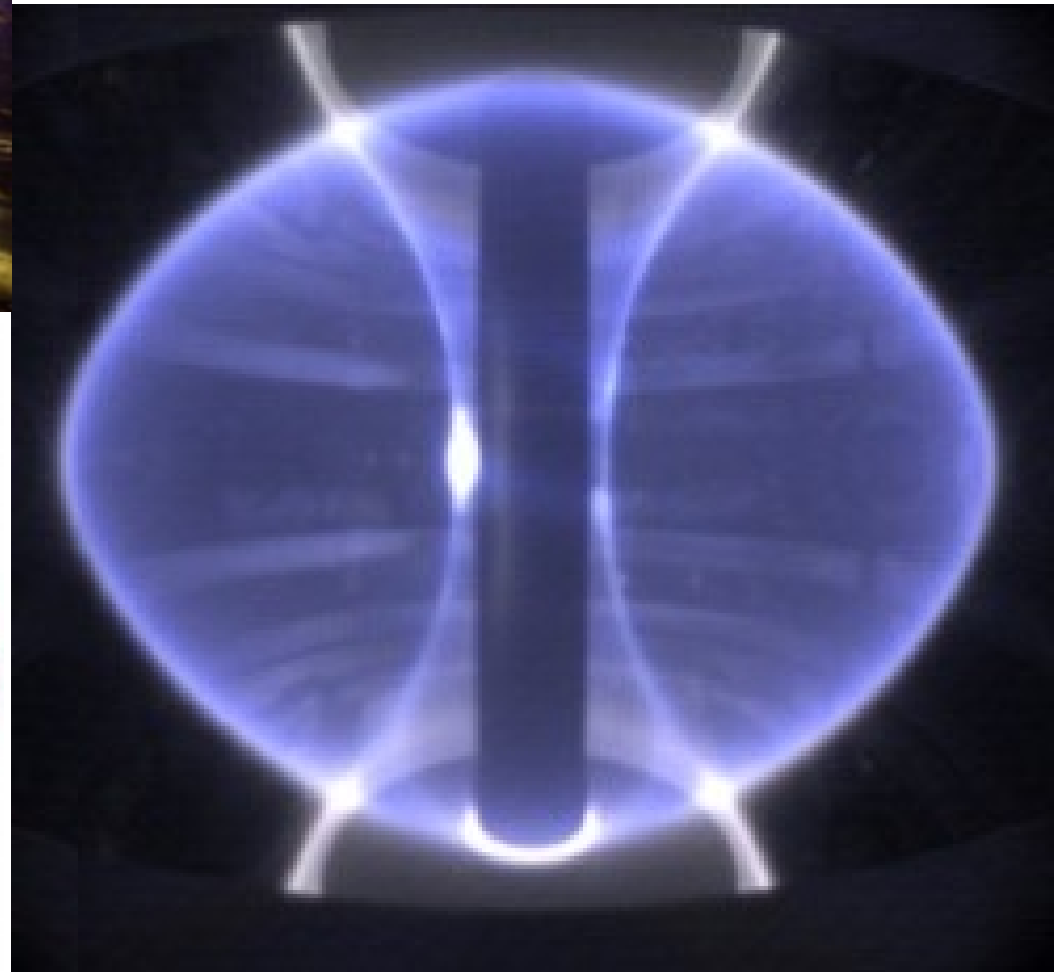
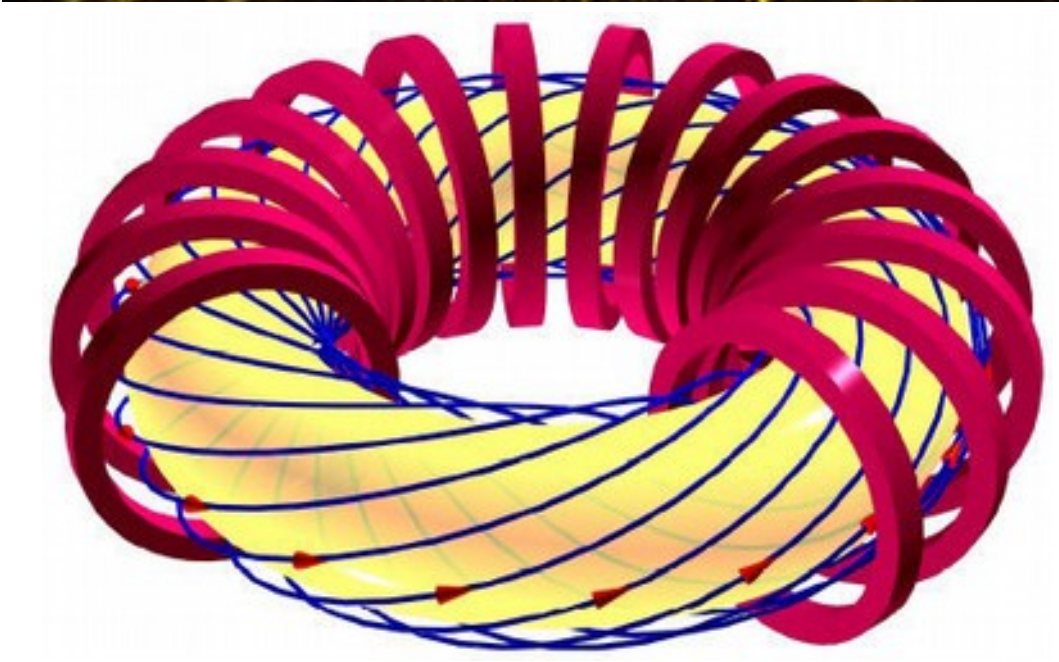


Quelques 10 kW pour 10cm de lame → 10 MW pour 1m

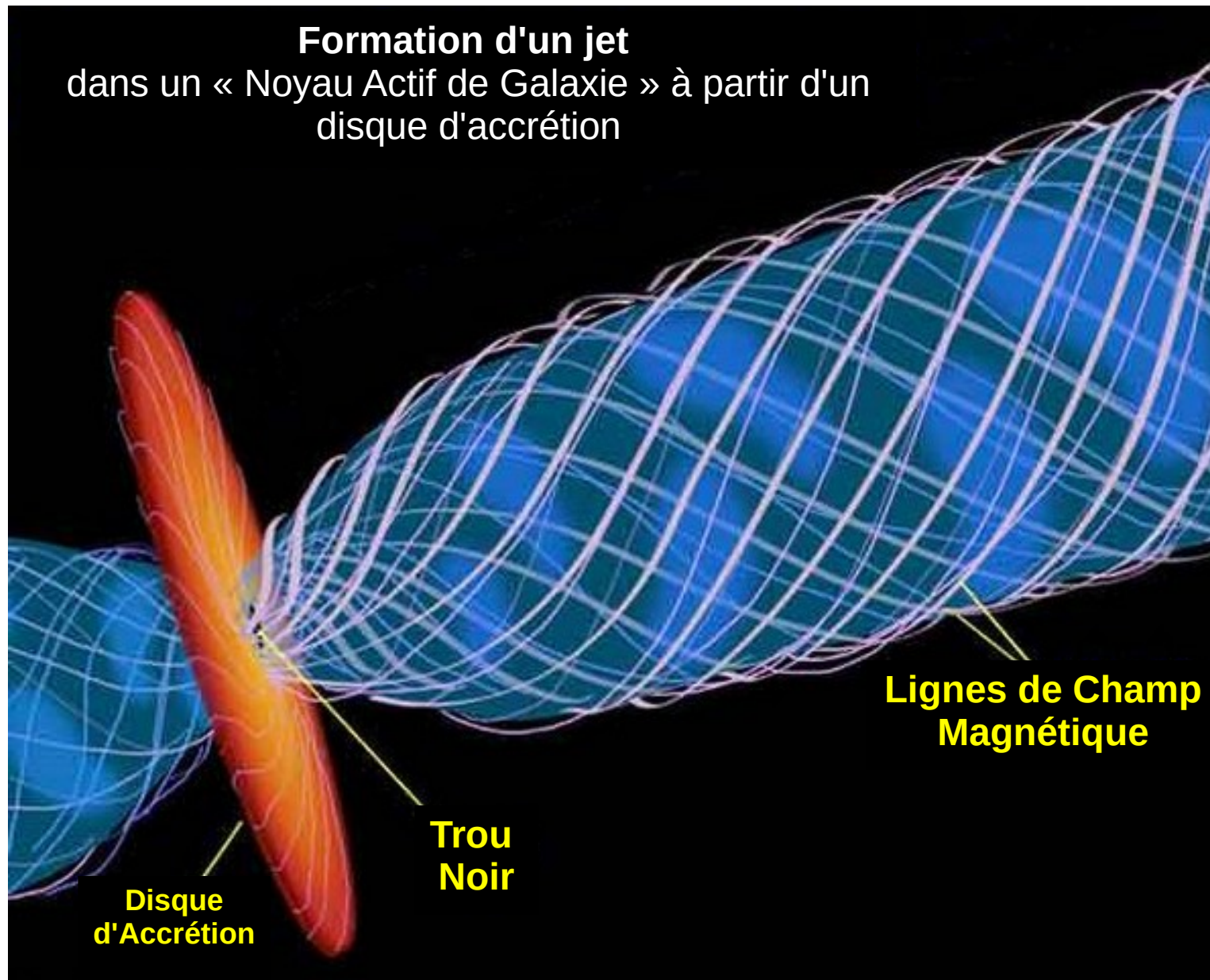
4- Un Sabre-Plasma ?



Tokamak
(*toroïdalnaïa kamera s magnitnymi katushkami* - chambre toroïdale avec bobines magnétiques)

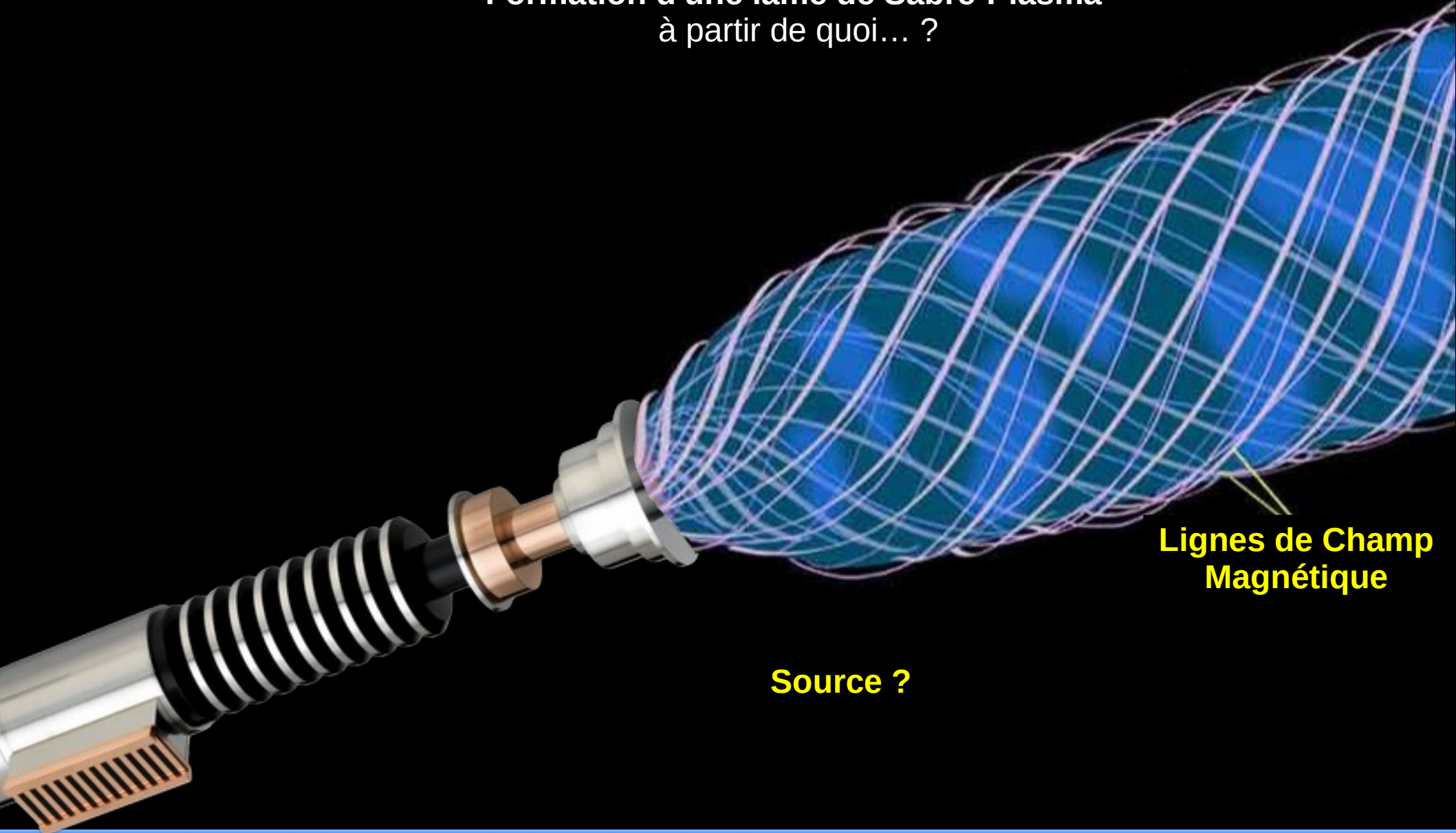


4- Un Sabre-Plasma ?



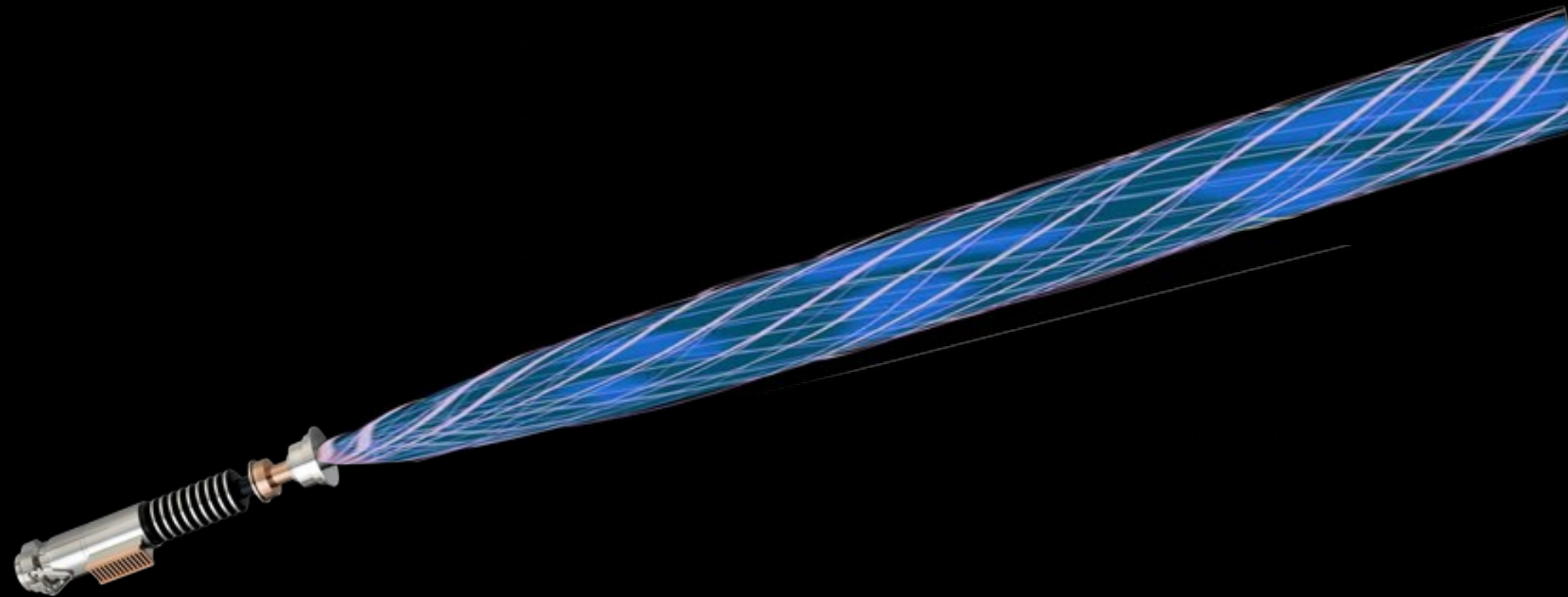
4- Un Sabre-Plasma ?

Formation d'une lame de Sabre-Plasma
à partir de quoi... ?



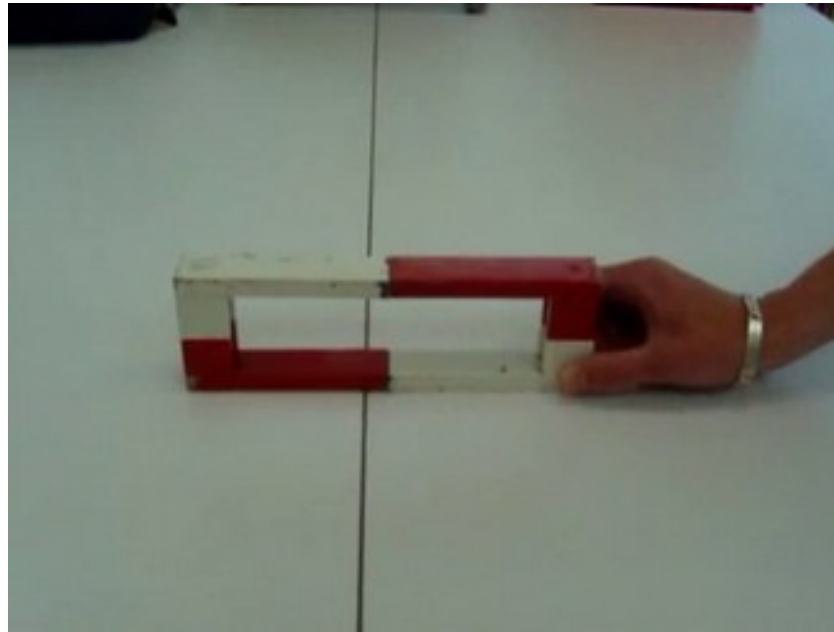
4- Un Sabre-Plasma ?

Une lame sans fin ?



4- Un Sabre-Plasma ?

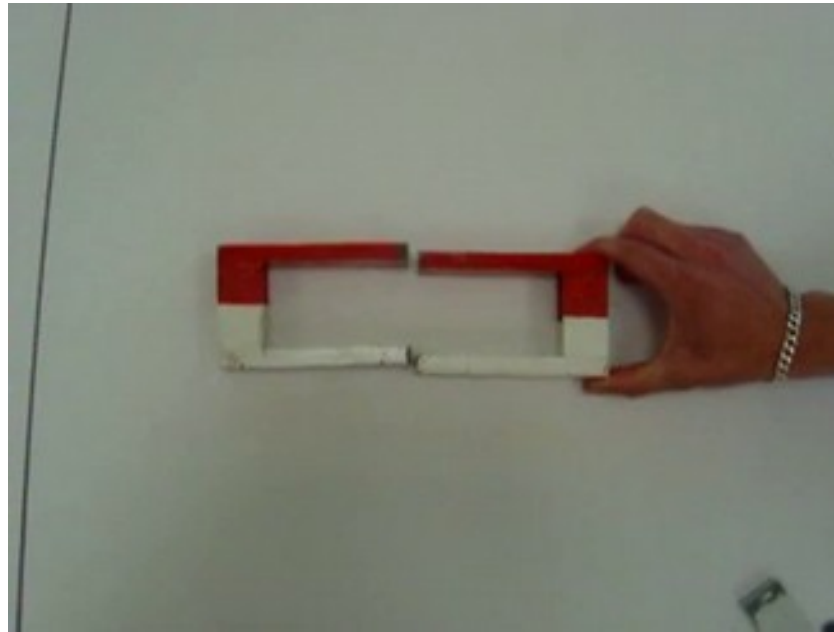
<https://www.youtube.com/watch?v=bap0ZKG3t-o>



Les pôles Nord et Sud
s'attirent...

4- Un Sabre-Plasma ?

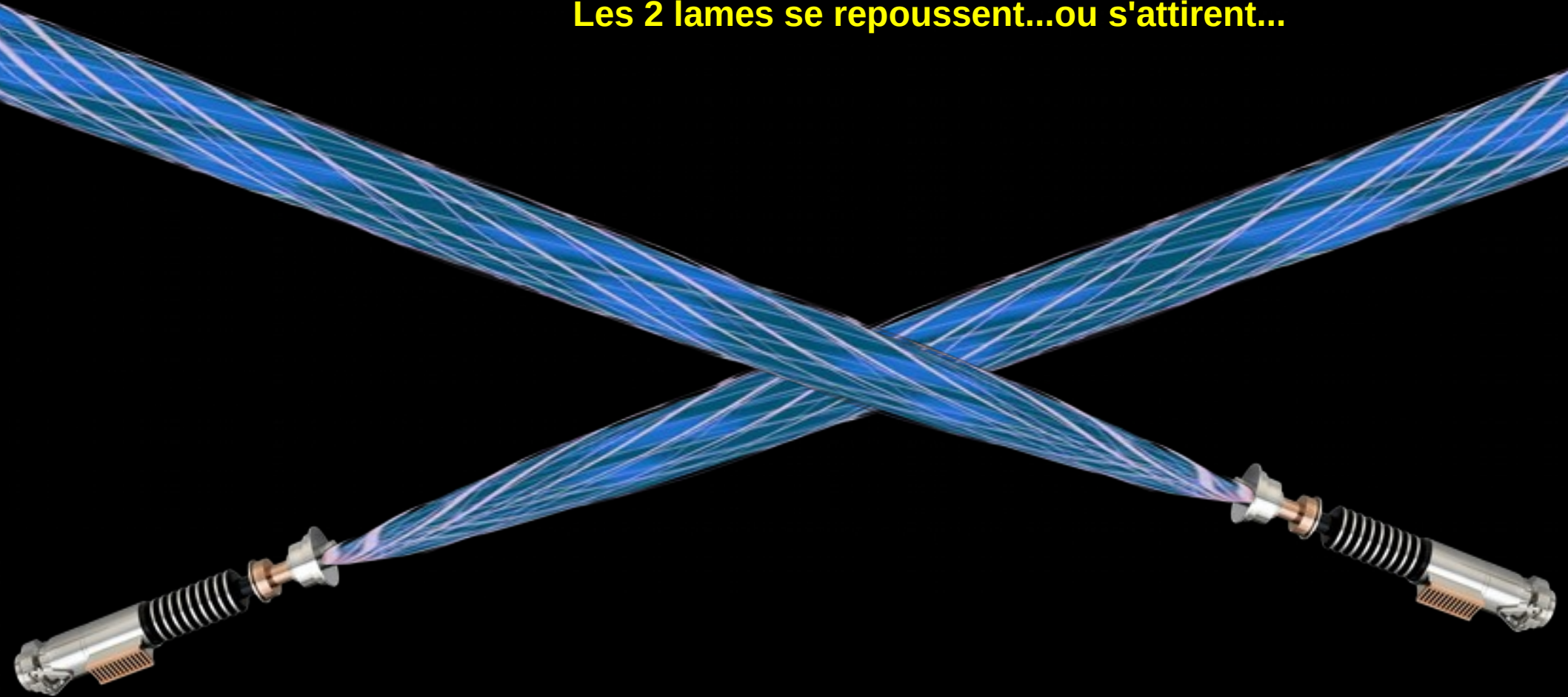
<https://www.youtube.com/watch?v=8SxR6F-Bldg>



Les 2 pôles Nord (ou Sud)
se repoussent...

4- Un Sabre-Plasma ?

Les 2 lames se repoussent...ou s'attirent...



4- Hyperspace



SW Episode VI, Un nouvel espoir, 1977

4- Hyperspace

Temps, distance et Vitesse de la lumière dans le vide c

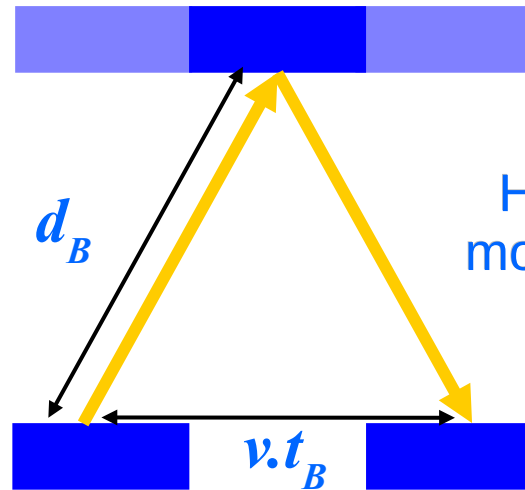
Vitesse = Distance / Temps

Mais Einstein (1905) → **vitesse de la lumière = constante !**

PISTE EINSTEIN



Horloge au repos A



Horloge en mouvement B

$$t_A = t_B \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

A la même vitesse c , distance à parcourir dans B plus grande
→ temps plus long entre 2 « ticks » de l'horloge dans B

Impossibilité de l'action instantanée à distance
(Relativité Restreinte)

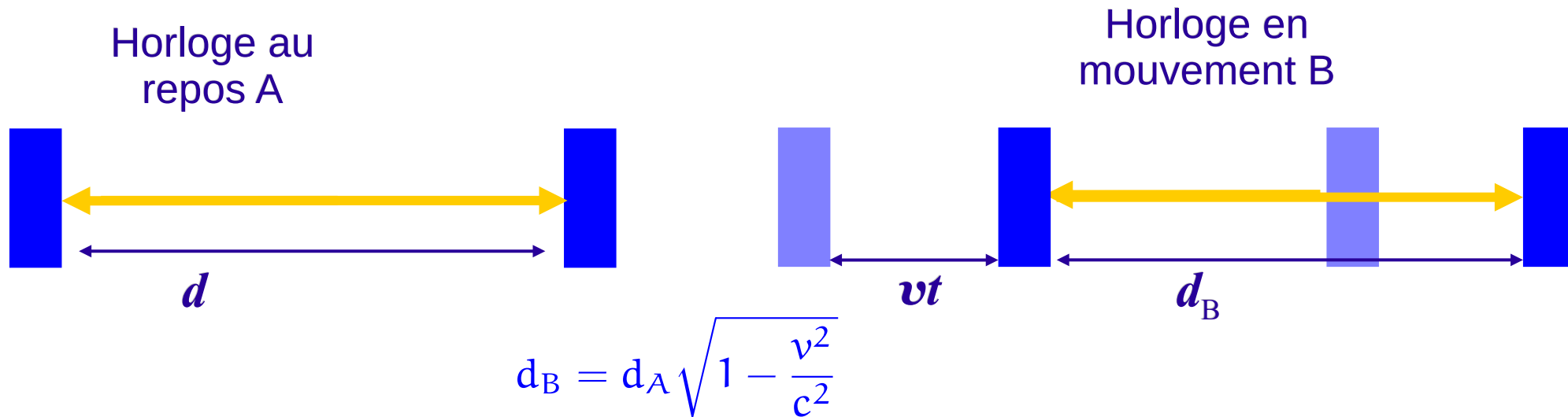
4- Hyperspace

Temps, distance et Vitesse de la lumière dans le vide c

Vitesse = Distance / Temps

Mais Einstein (1905) → **vitesse de la lumière = constante !**

PISTE EINSTEIN



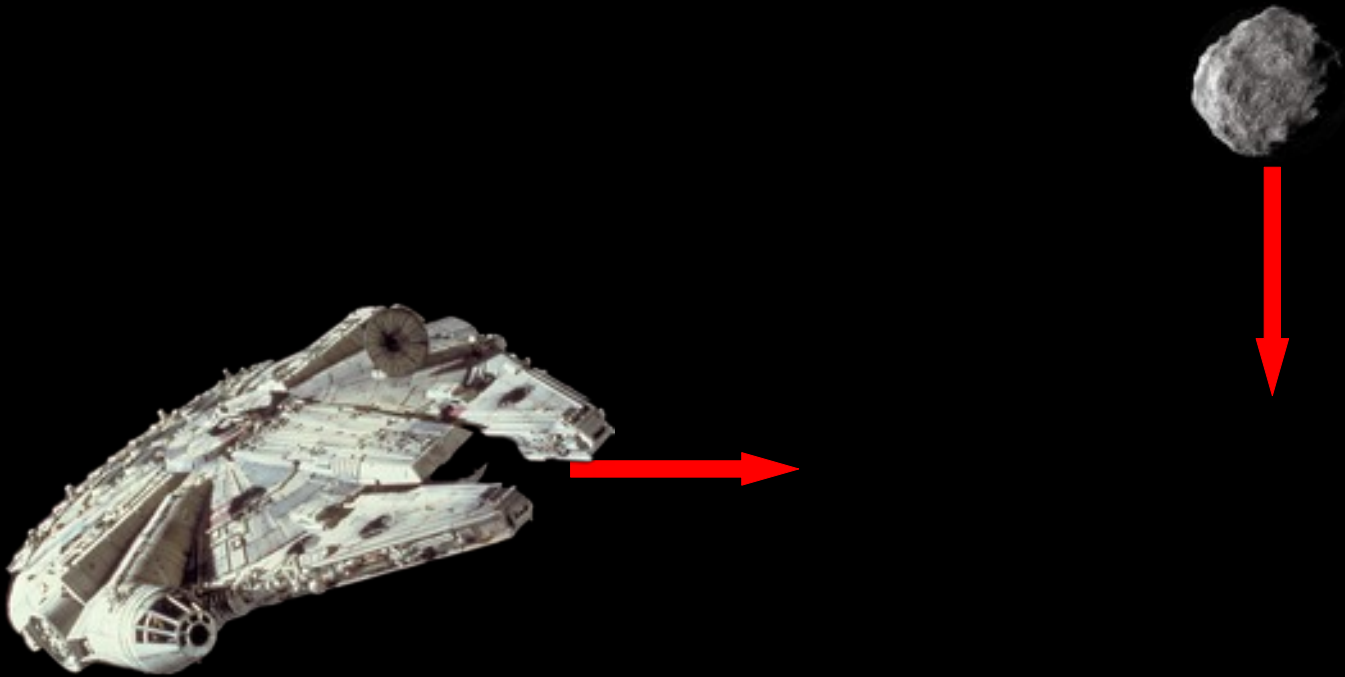
A la même vitesse, distance à parcourir dans B plus petite
→ Contraction des longueurs

Impossibilité de l'action instantanée à distance
(Relativité Restreinte)

4- Hyperspace



4- Hyperspace



4- Hyperspace



4- Hyperspace



4- Hyperspace

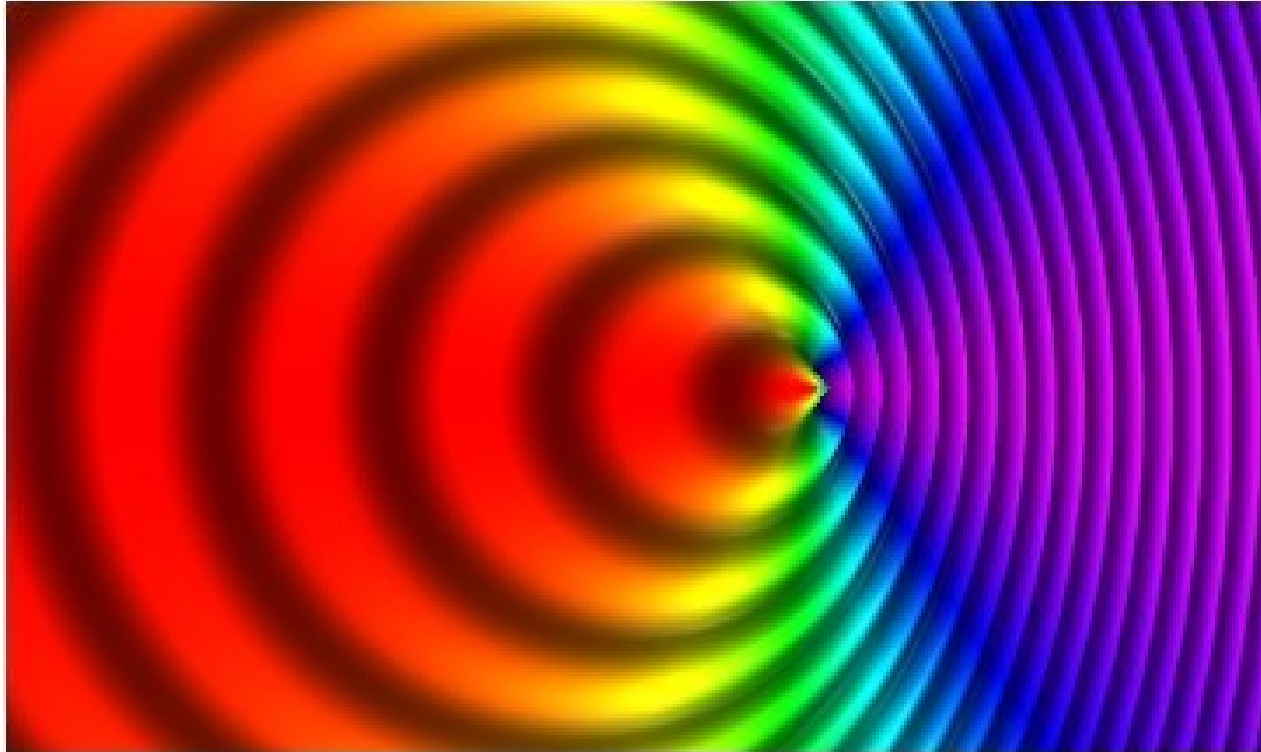


4- Hyperspace



Phénomène d'Aberration

4- Hyperspace

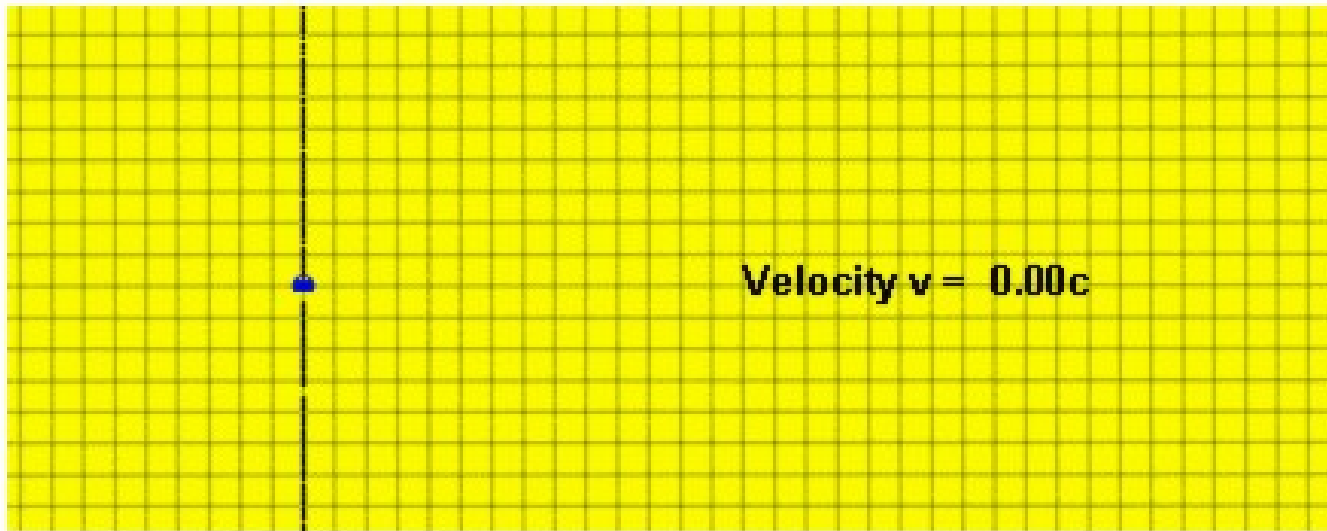


https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Doppler_relativiste

Effet Doppler

4- Hyperspace

https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Doppler_relativiste



Aberration + Effet Doppler

4- Hyperspace



Immobile

Images : Alain Riazuelo

4- Hyperspace



1% de c : 3 000 km/s

Images : Alain Riazuelo



4- Hyperspace



4- Hyperspace



4- Hyperspace



20% de c : 60 000 km/s

Images : Alain Riazuelo

4- Hyperspace



4- Hyperspace



4- Hyperspace



4- Hyperspace



4- Hyperspace



4- Hyperspace



4- Hyperspace



4- Hyperspace



Alain Riazuelo (IAP)

<http://www.ca-se-passe-la-haut.fr/2012/01/voyage-la-vitesse-de-la-lumiere-ou.html>