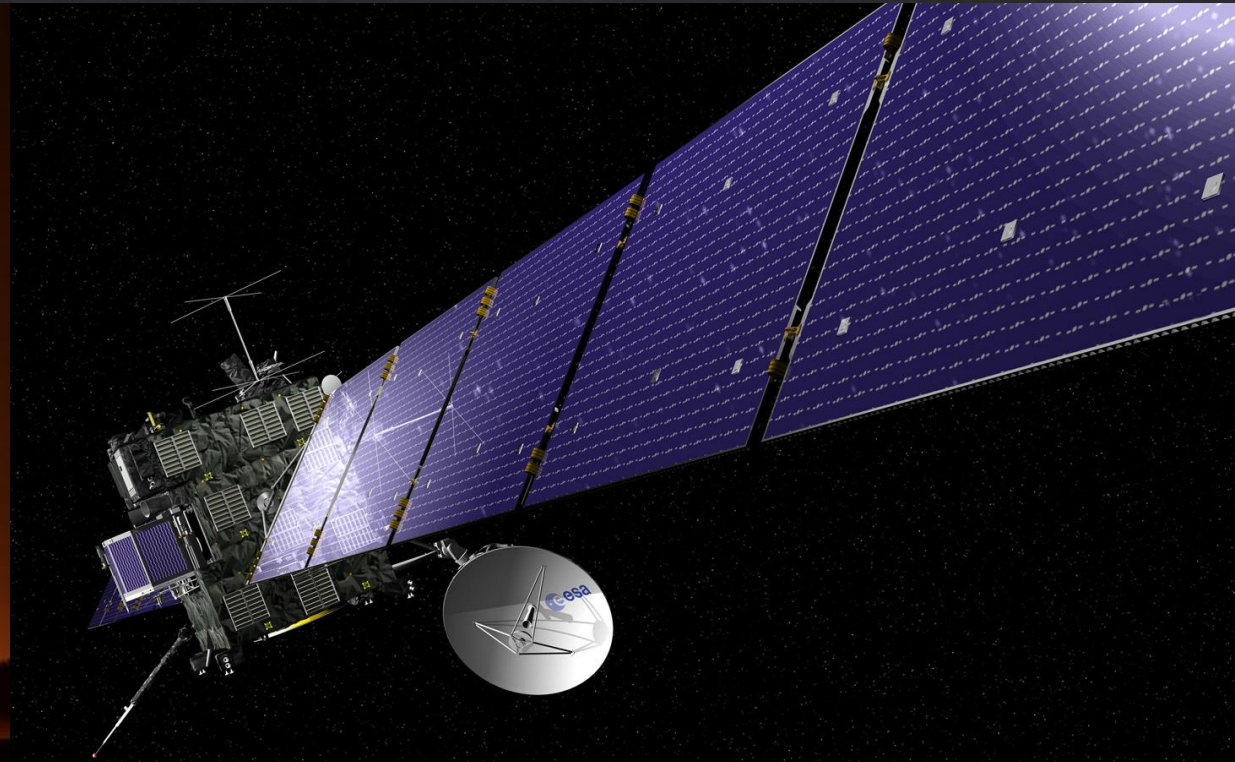


Le problème énergétique de la colonisation spatiale



Martin Laforest

Club d'astronomie de Rimouski

Article Radio-Canada

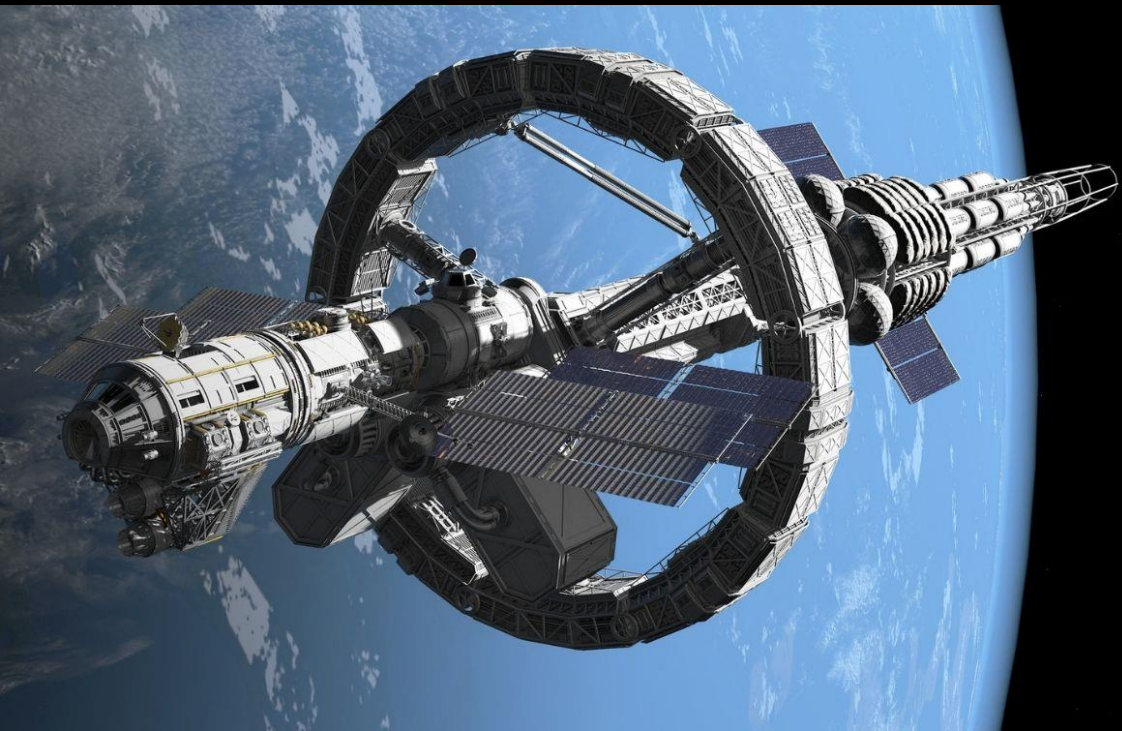
- ◇ Article du 2024-08-19
- ◇ Découverte de Gliese 12b
- ◇ <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2097766/gliese-12b-exoplanete-vie>
- ◇ « Outre la perspective de trouver un endroit ou relocaliser l'humanité, comme l'a dépeint Christopher Nolan dans son film Interstellaire, une planète similaire à la Terre telle que Gliese 12b permettrait de mieux comprendre notre propre monde. »





L'imaginaire collectif

- ◇ Il y a quelque chose dans l'imaginaire collectif qui fait que les gens croient que le problème de la colonisation des autres systèmes solaires n'est qu'une question de technologie
- ◇ Et donc ce n'est qu'une question de temps, le temps d'acquérir les technologies nécessaires



La théorie permet de...

- ◆ Déformer l'espace-temps pour avancer au-delà de la vitesse de la lumière
- ◆ Créer des trous de vers pour passer directement d'un endroit à l'autre de l'univers
- ◆ Terraformer une planète pour la rendre habitable comme la terre
- ◆ Cryogéniser les humaines pour faire de longs voyages spatiaux
- ◆ Créer des vaisseaux mondes



Le raisonnement technologique



On a des cellulaires

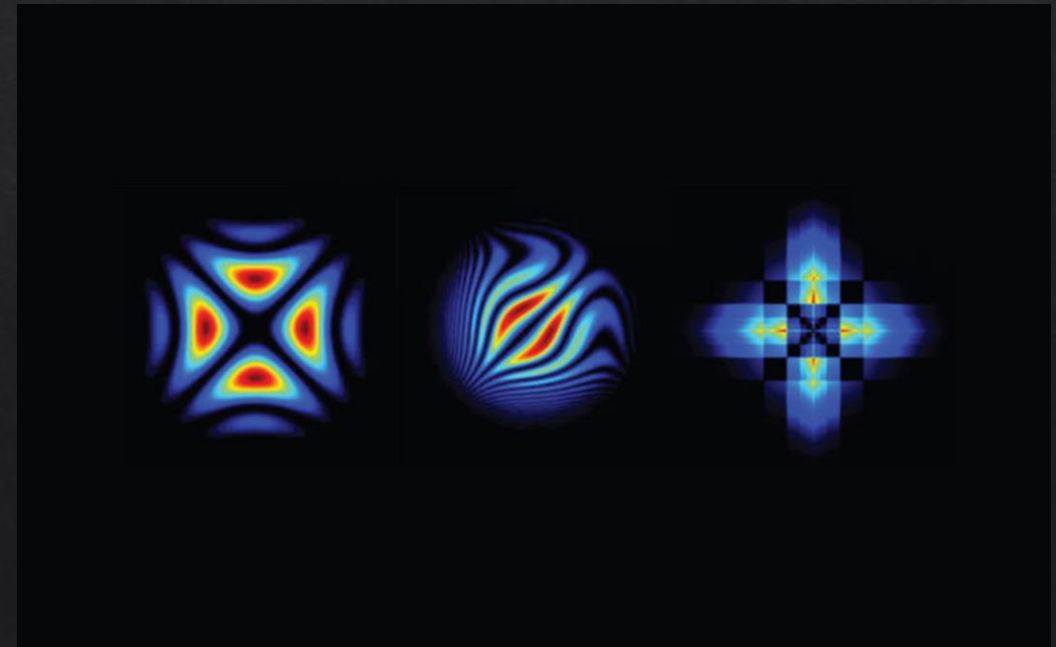


Le raisonnement technologique

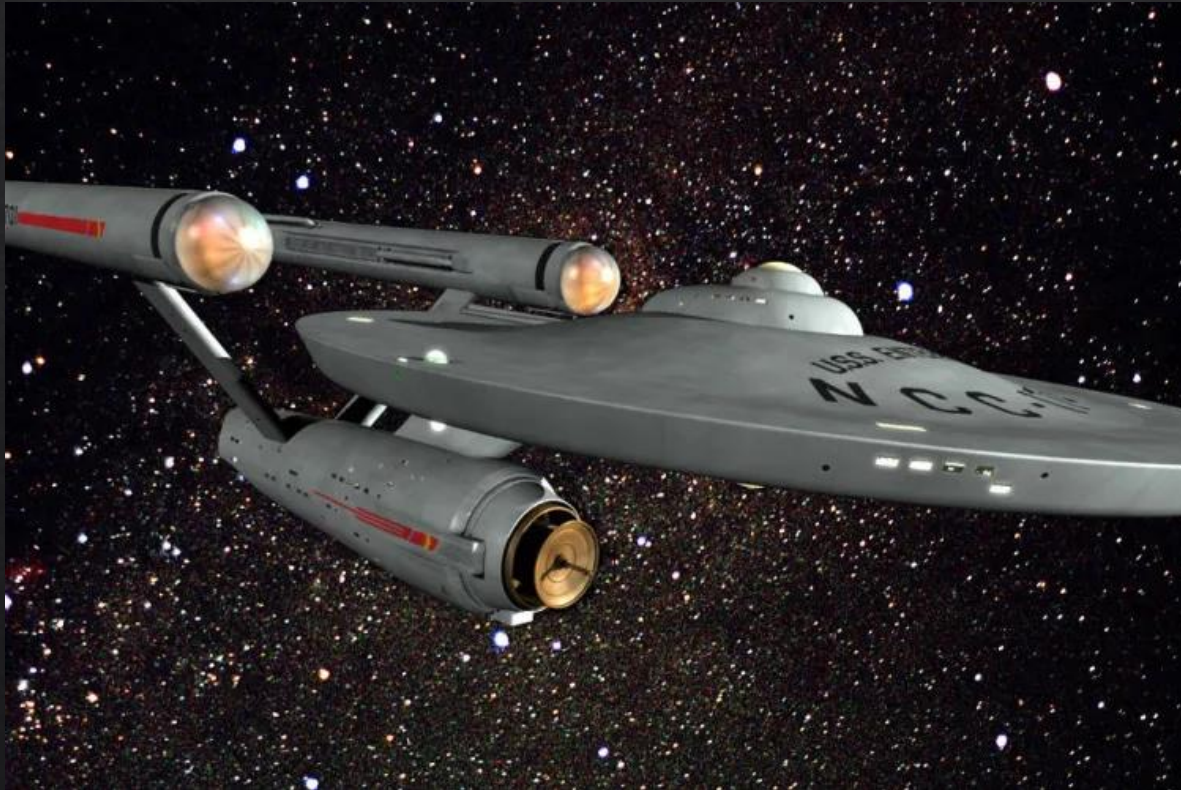


© c.Paramount/Everett / Rex Featur

On téléporte des photons



Le raisonnement technologique



C'est dans la poche !!!



D'un point de vue énergétique

Les lois de la physique permettent de calculer

Malgré la question technologique

On a maintenant des limites
mesurables



Laurend Lehoucq

- ◊ Astrophysicien
- ◊ Vulgarisateur et conférencier
- ◊ Intérêt pour la science-fiction et le voyage spatial
- ◊ Aborde la question énergétique dans ses conférences



Énergie et puissance formidables

Puissance du premier étage = 120 GW (pendant 165 s)
soit $\approx 1,7\%$ de la puissance mondiale de 1969...

- Un vaisseau de 1 000 tonnes voyageant à 0,1 c a une énergie cinétique :
 $E = 1/2 m v^2 = 4,5 \cdot 10^{20}$ Joules
- Production mondiale d'énergie primaire (2019) = $5,5 \cdot 10^{20}$ Joules.

Pour atteindre les étoiles, il faut disposer de **beaucoup** plus d'énergie !

Avec un taux de croissance de 1,5% par an,
il faut 310 ans pour multiplier par 100 notre production d'énergie...



Mais encore...

D'abord, refaire les calculs !

Poid (t)	1 000	tonnes
Poid (kg)	1 000 000	kg
Vitesse de la lumière	299 792 458	m/s
Cible (% de v)	10%	
Cible (m/s)	29 979 246	m/s
Énergie (joules)	4,49E+20	

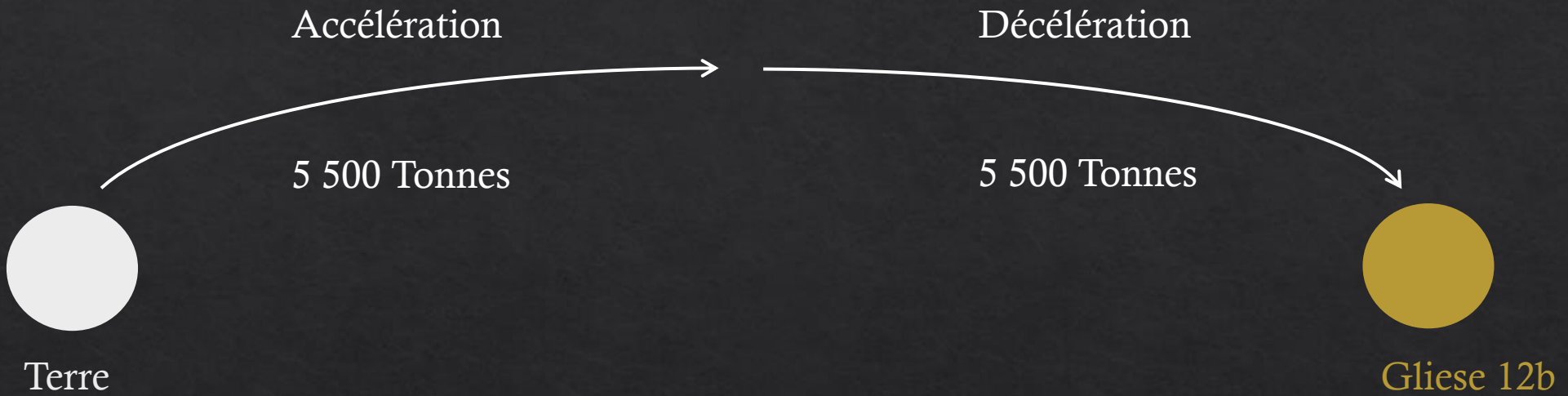
Combien d'uranium ça prendrait ?

Fission	Energie libérée (ordre de grandeur)		
	Electron-volt	Joules	kWh
Un atome d'Uranium 235	$203 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{-11}$	$9 \cdot 10^{-18}$
1 gramme d'Uranium 235	$5 \cdot 10^{29}$	$8 \cdot 10^{10}$	22 800



Poid (t)	1 000	tonnes
Poid (kg)	1 000 000	kg
Vitesse de la lumière	299 792 458	m/s
Cible (% de v)	10%	
Cible (m/s)	29 979 246	m/s
Énergie (joules)	4,49E+20	
1 gramme d'uranium	8,10E+10	
gramme nécessaire	5,55E+09	
tonnes nécessaires	5,55E+03	5 547,87

Donc l'énergie contenue dans 5 548 tonnes d'uranium pour accélérer 1000 tonnes à 10% de la vitesse de la lumière



Donc dans les faites, c'est 11 000 Tonnes pour une vitesse moyenne de 5% de la vitesse de la lumière

Ça ne comprend pas l'énergie pour trimbaler 11 000 tonnes d'uranium !

Et c'est un aller simple !

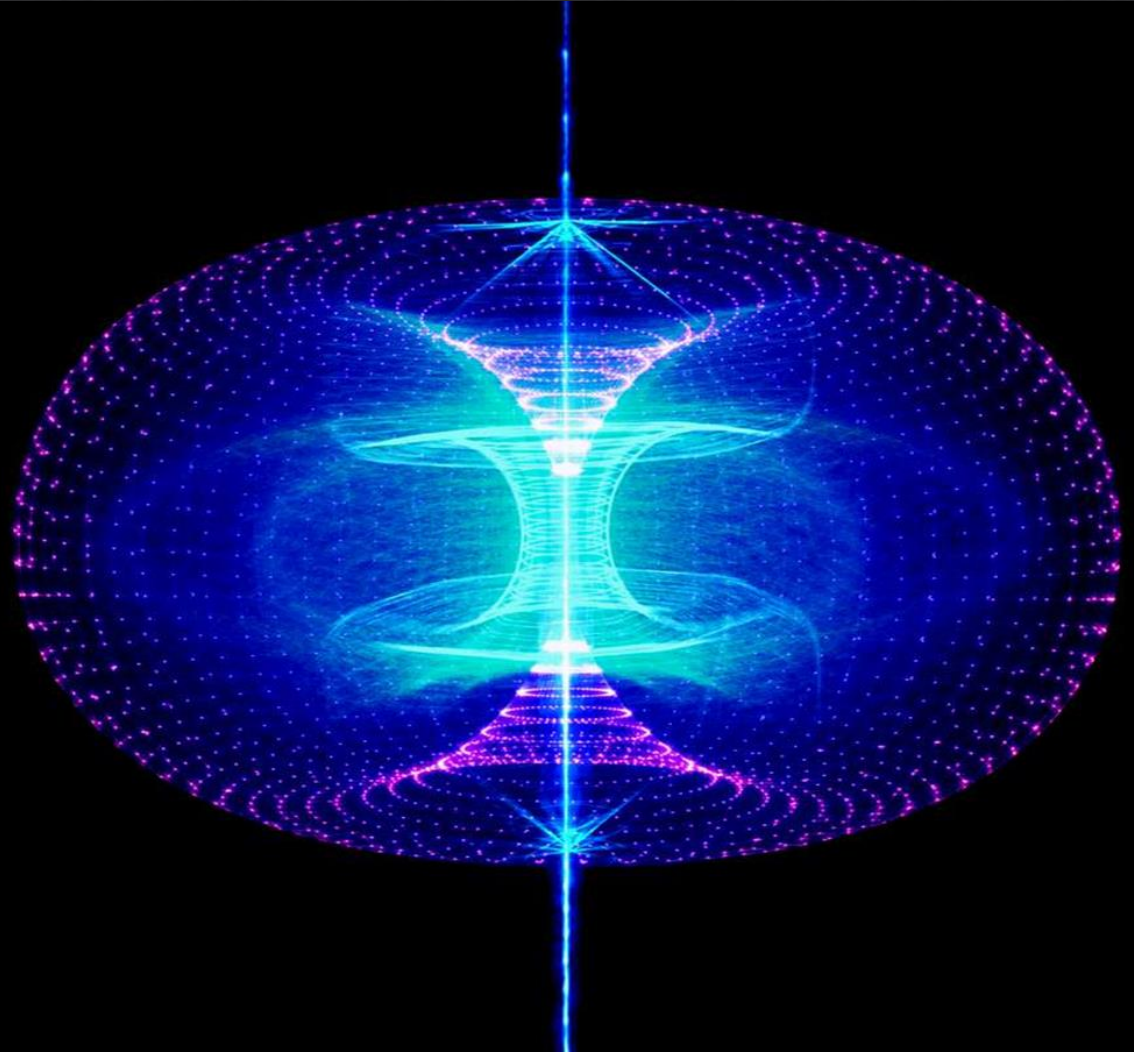
Où est l'énergie ?

Énergie chimique

Fission

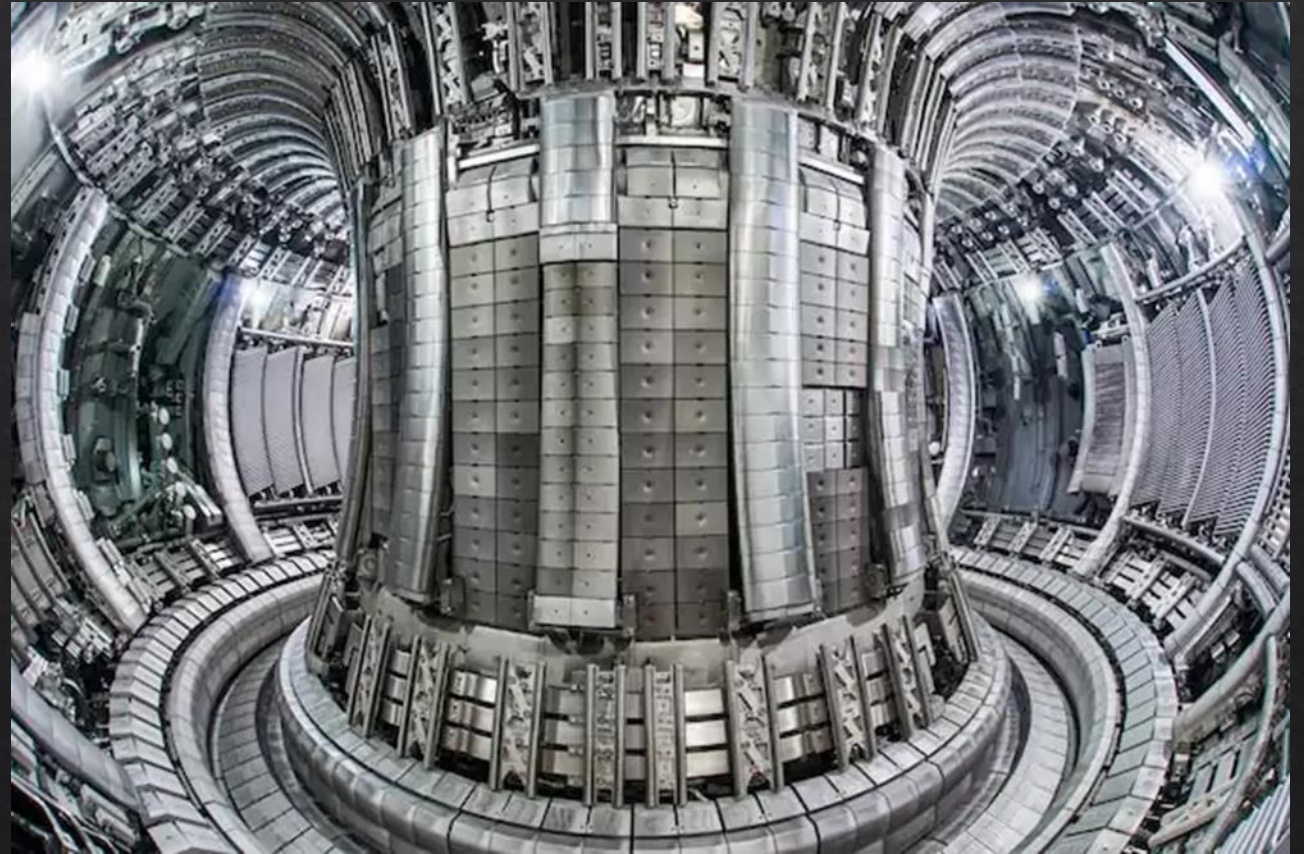
Fusion

Antimatière



La fusion

- ◇ Mythe de l'énergie infinie
- ◇ Encore une fois basée sur la technologie et la culture populaire
- ◇ 19 G de \$
- ◇ Repose sur la fusion Tritium – Hélium 2
- ◇ 150 millions de degrés



La fusion



Énergie



Énergie avec bonus

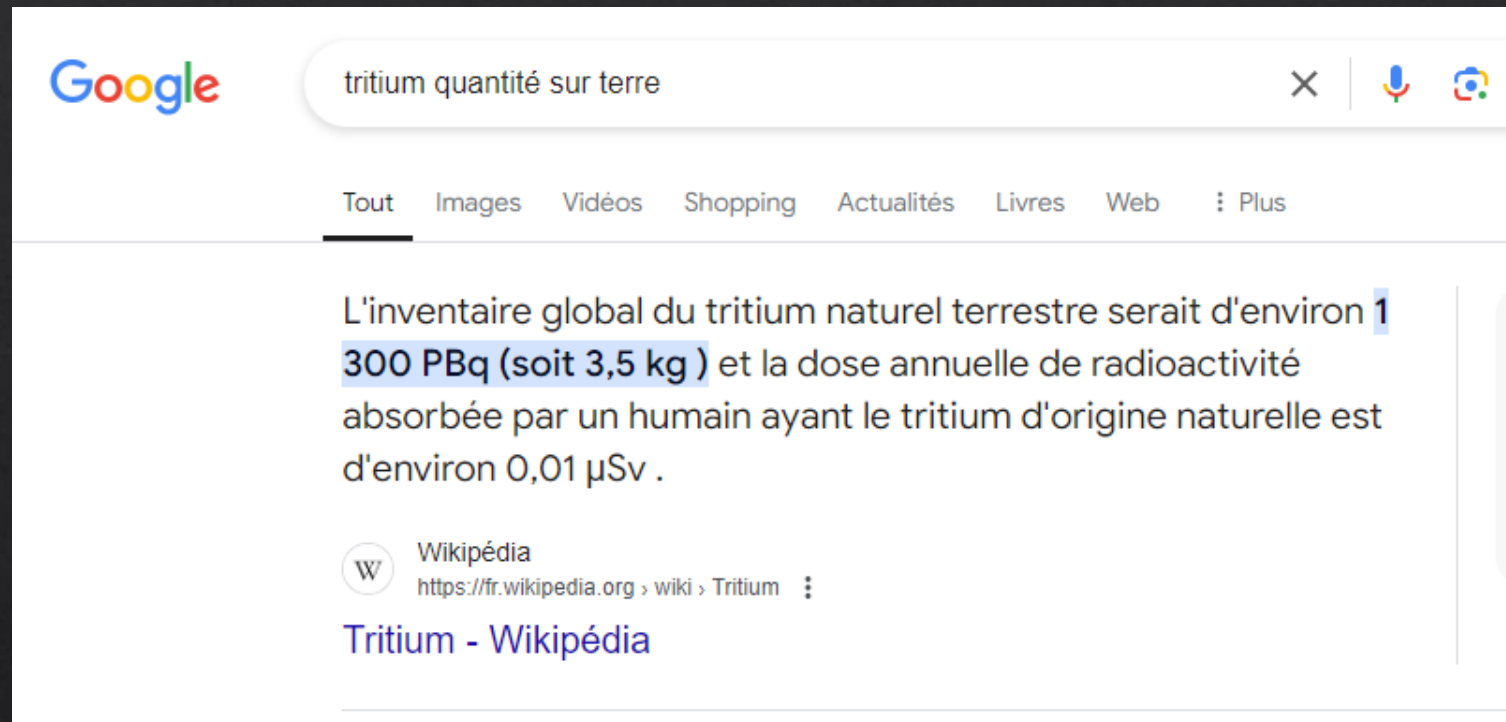


Infrastructure massive = Énergie

Infrastructure massive + infrastructure très massive = Énergie avec bonus

Plus l'énergie mise en cause est importante, plus les infrastructures nécessaires le sont aussi !

Le tritium



The image is a screenshot of a Google search interface. The search bar at the top contains the text "tritium quantité sur terre". Below the search bar, the "Tout" tab is selected. The search results display a snippet from Wikipedia stating: "L'inventaire global du tritium naturel terrestre serait d'environ 1 300 PBq (soit 3,5 kg) et la dose annuelle de radioactivité absorbée par un humain ayant le tritium d'origine naturelle est d'environ 0,01 μ Sv .". Below this snippet, the Wikipedia logo is visible, followed by the text "Wikipédia" and the URL "https://fr.wikipedia.org > wiki > Tritium". A blue link titled "Tritium - Wikipédia" is also present.

Google

tritium quantité sur terre

Tout Images Vidéos Shopping Actualités Livres Web Plus

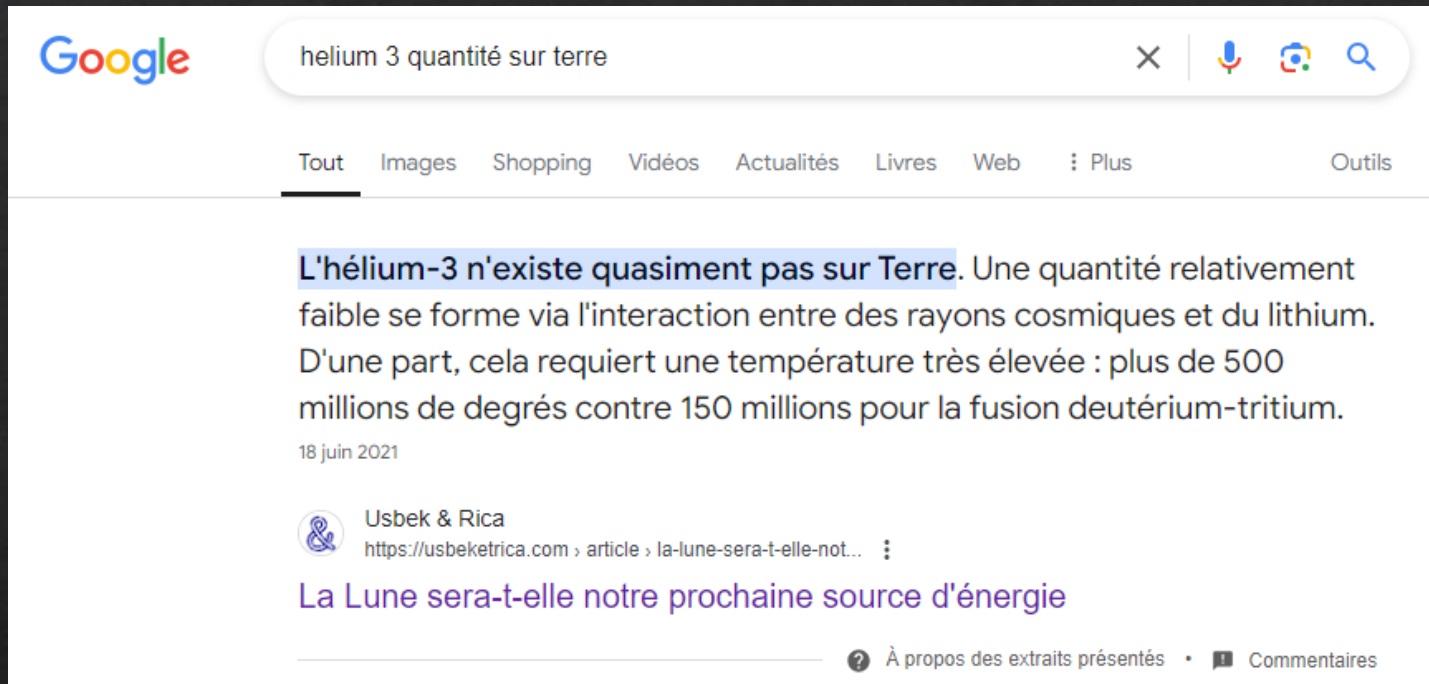
L'inventaire global du tritium naturel terrestre serait d'environ 1 300 PBq (soit 3,5 kg) et la dose annuelle de radioactivité absorbée par un humain ayant le tritium d'origine naturelle est d'environ 0,01 μ Sv .

Wikipédia
https://fr.wikipedia.org > wiki > Tritium

[Tritium - Wikipédia](#)

Donc on va devoir rapidement passer à l'étape suivante

Hélium 3



The screenshot shows a Google search interface. The search bar contains the text "helium 3 quantité sur terre". Below the search bar, the "Tout" tab is selected. The search results display a snippet from a website, with the first sentence highlighted in blue: "L'hélium-3 n'existe quasiment pas sur Terre." The snippet continues: "Une quantité relativement faible se forme via l'interaction entre des rayons cosmiques et du lithium. D'une part, cela requiert une température très élevée : plus de 500 millions de degrés contre 150 millions pour la fusion deutérium-tritium." The date "18 juin 2021" is shown below the snippet. The source is identified as "Usbek & Rica" with a URL starting with "https://usbeketrica.com". A purple headline reads "La Lune sera-t-elle notre prochaine source d'énergie". At the bottom, there are links for "À propos des extraits présentés" and "Commentaires".

Google

helium 3 quantité sur terre

Tout Images Shopping Vidéos Actualités Livres Web Plus Outils

L'hélium-3 n'existe quasiment pas sur Terre. Une quantité relativement faible se forme via l'interaction entre des rayons cosmiques et du lithium. D'une part, cela requiert une température très élevée : plus de 500 millions de degrés contre 150 millions pour la fusion deutérium-tritium.

18 juin 2021

Usbek & Rica
<https://usbeketrica.com> › article › la-lune-sera-t-elle-not... ⋮

La Lune sera-t-elle notre prochaine source d'énergie

À propos des extraits présentés • Commentaires

On passe de 150 à 500 millions de degrés pour une ressource qui n'existe pas sur la terre

Hélium 3

Abondance lunaire et source d'intérêt [[modifier](#) | [modifier le code](#)]

Selon les données enregistrées en 2009 par la sonde orbitale [chinoise Chang'e 1](#), les réserves en hélium 3 de la Lune s'élèveraient à 100 000 t⁸. Il est incorporé au [régolithe](#) ou enfoui en faible profondeur de la surface. Lorsqu'on sait que 200 tonnes permettraient de satisfaire les besoins énergétiques des [États-Unis](#) et de l'[Union européenne](#) pendant une année^a, que cette énergie permettrait aux Terriens de combler leurs besoins en énergie pour des siècles, cela incite les enthousiastes à y voir un moteur puissant à son exploitation. En effet, le coût d'exploitation d'une tonne d'hélium 3 serait de l'ordre de 1,5 milliard de dollars (2005)⁹, alors que la même quantité d'énergie en équivalent pétrole coûte 10 milliards de dollars¹⁰

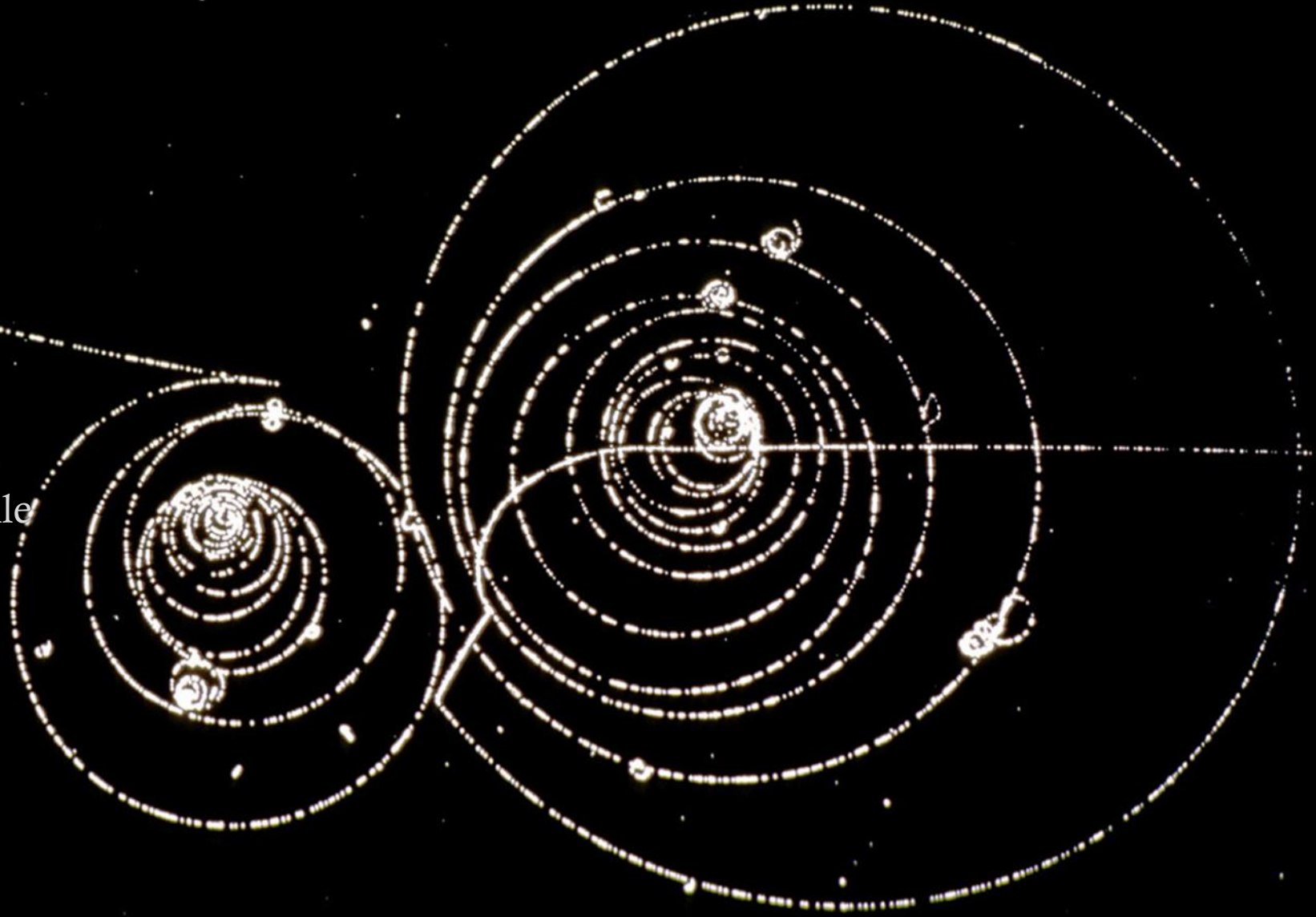
Cependant, la concentration en hélium 3 de la Lune est infime, de l'ordre d'une tonne pour cent millions de tonnes de régolithe^{[[réf. souhaitée](#)]}. La technologie permettant d'exploiter cette ressource est encore balbutiante.

1 kg pour 100 000 000 kg de roche lunaire

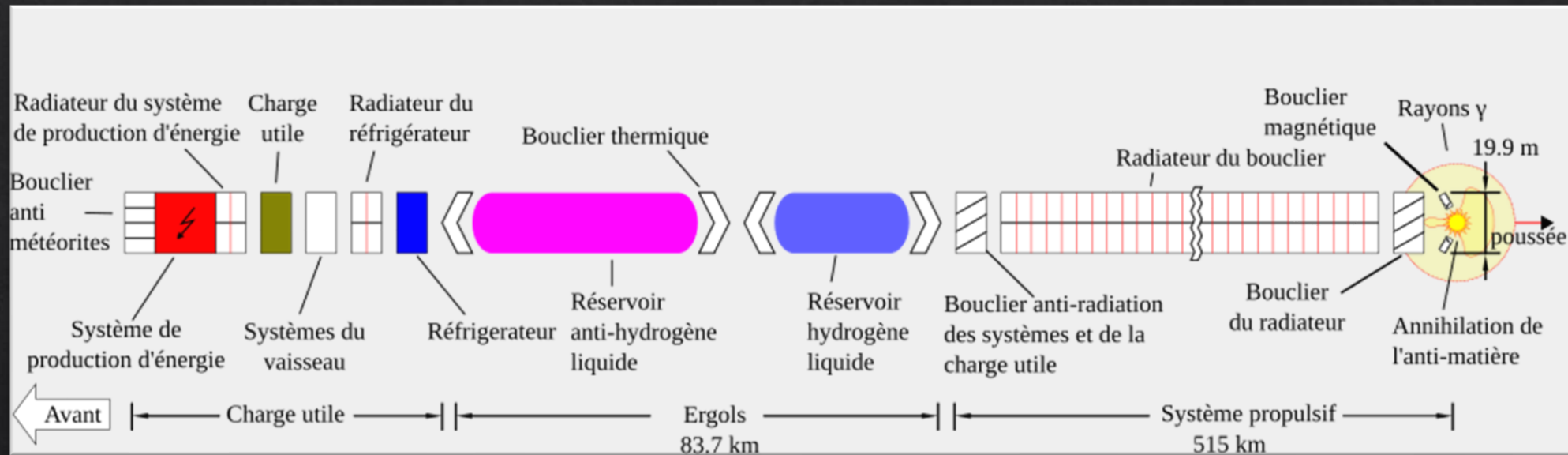
« Drill baby drill ! »

L'antimatière

- ◊ N'existe pas à l'état naturel
- ◊ Donc on doit le produire
- ◊ Donc on doit injecter la même quantité d'énergie que ce qu'elle dégage
- ◊ Donc c'est une méthode de stockage et non une source d'énergie
- ◊ Donc on doit produire cette énergie à partir d'une autre source

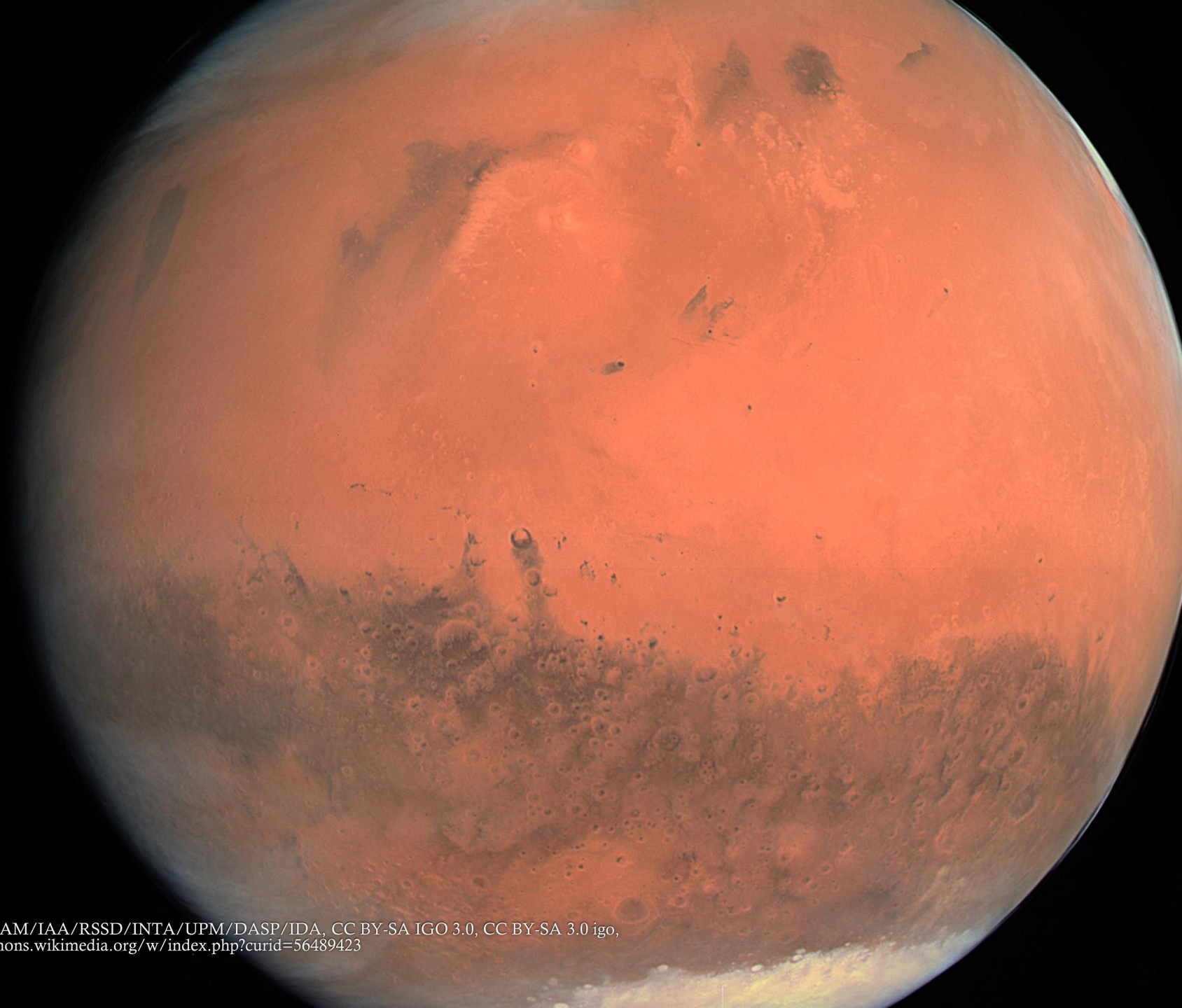


L'énergie résiduelle

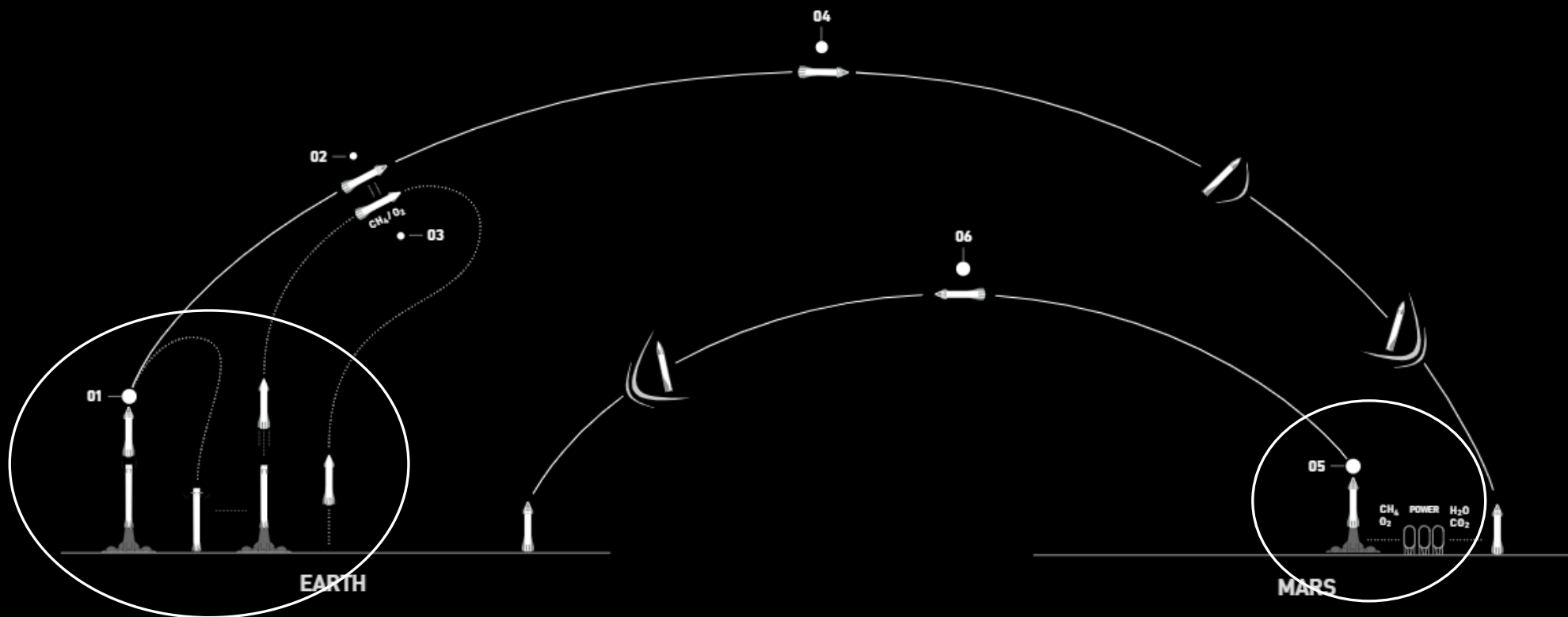




Et Mars ????



Par ESA & MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/UPM/DASP/IDA, CC BY-SA IGO 3.0, CC BY-SA 3.0 igo,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=56489423>



2 Starships + 2 boosters

1 Starship + Énergie

01. LAUNCH & BOOSTER RETURN

Starship launches with Starship Super Heavy booster. Booster separates, returning to Earth.

02. SHIP ARRIVES IN EARTH ORBIT

03. TANKERS REFILL SHIP AND RETURN TO EARTH

04. REFILLED SHIP TRAVELS TO MARS

Once Starship has been fully refueled, it will begin its journey from Earth orbit, around the Sun and onward to Mars.

05. SHIP REFILLED ON MARS USING LOCAL RESOURCES

06. SHIP PERFORMS MARS ASCEND & DIRECT RETURN TO EARTH

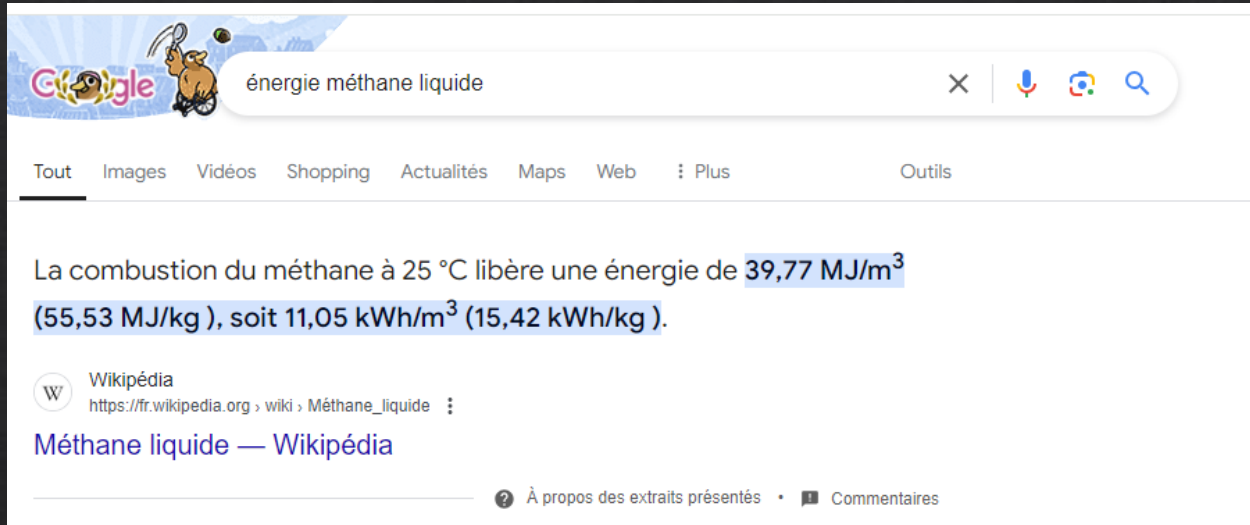
When Starship is fully refueled it will begin Mars ascent and direct return to Earth.

Méthane dans le Starship

	méthane	LOX	
Carburant booster	800	2 800	3 600
carburant starship	267	933	1 200

Environ 267 tonnes de méthane dans le Starship

Énergie dans le méthane



Google search results for "énergie méthane liquide". The search bar shows the query. Below the search bar, the first result is from Wikipedia, titled "Méthane liquide". The snippet states: "La combustion du méthane à 25 °C libère une énergie de 39,77 MJ/m³ (55,53 MJ/kg), soit 11,05 kWh/m³ (15,42 kWh/kg)." The Wikipedia logo and URL are also visible.

Tout Images Vidéos Shopping Actualités Maps Web Plus Outils

La combustion du méthane à 25 °C libère une énergie de 39,77 MJ/m³ (55,53 MJ/kg), soit 11,05 kWh/m³ (15,42 kWh/kg).

Wikipédia
https://fr.wikipedia.org › wiki › Méthane_liquide

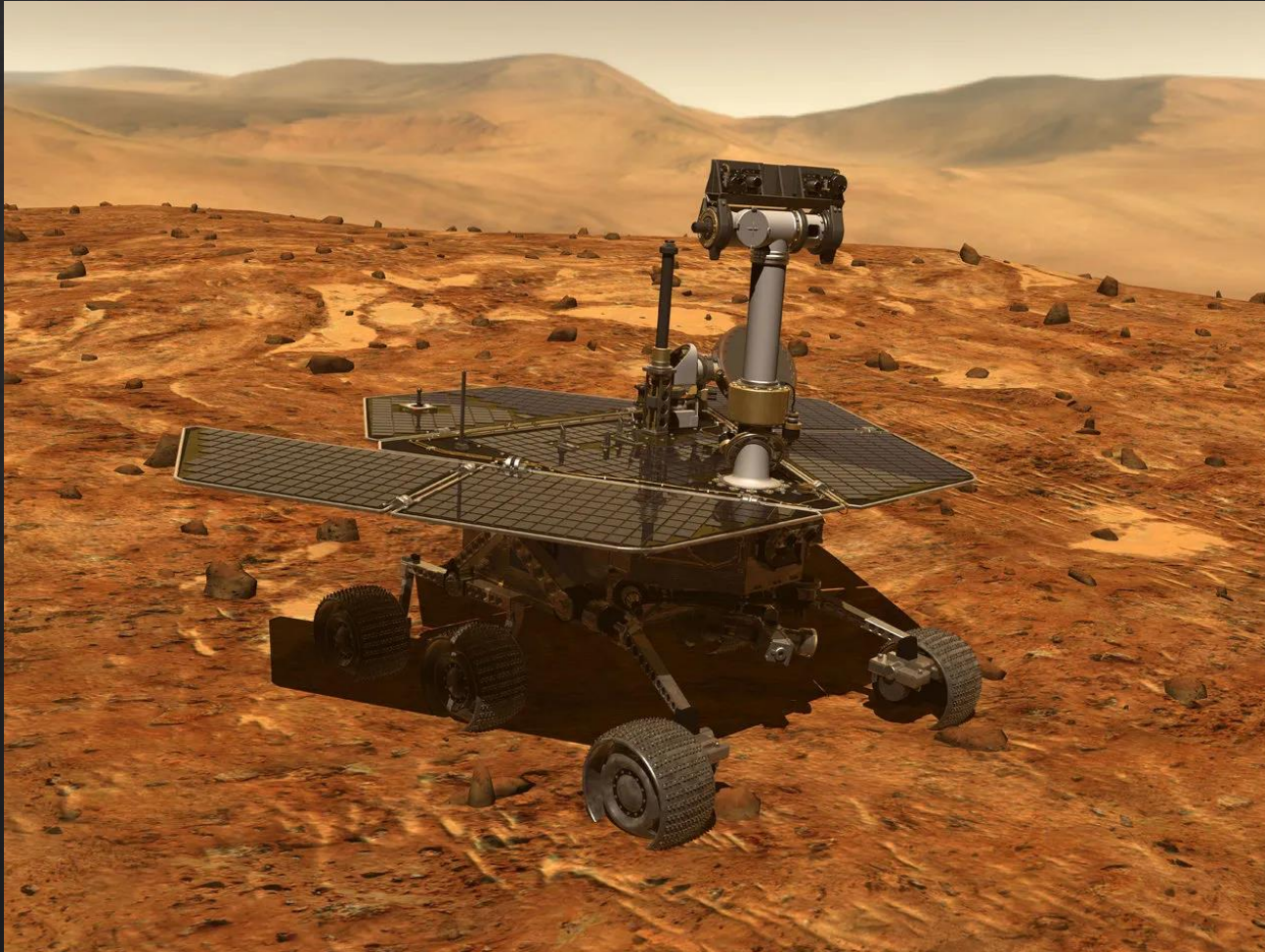
Méthane liquide — Wikipédia

À propos des extraits présentés Commentaires

Méthane		55,53 MJ par kg	
		5,55E+07 joules par kg	
		5,55E+10 joules par tonne	
nombre de tonnes	267		
Joules nécessaires pour recharger	1,48E+13		

$$55,53 \text{ MJ/kg} \times 267 \text{ tonnes} = 1,48 \times 10^{13} \text{ joules}$$

Les panneaux solaires



Panneaux solaires sur mars

ORIGINAL RESEARCH article

Front. Astron. Space Sci., 26 April 2022

Sec. Planetary Science

Volume 9 - 2022 | <https://doi.org/10.3389/fspas.2022.868619>

This article is part of the Research Topic
Advances in Mars Research and Exploration

[View all 7 articles >](#)

Photovoltaics-Driven Power Production Can Support Human Exploration on Mars



Anthony J. Abel^{1,2†}



Aaron J. Berliner^{1,3†}



Mia Mirkovic^{1,4}



William D. Collins^{5,6*}



Adam P. Arkin^{1,3,7*}



Douglas S. Clark^{1,2,8*}

¹ Center for the Utilization of Biological Engineering in Space (CUBES), Berkeley, CA, United States

² Department of Chemical and Biomolecular Engineering, University of California, Berkeley, Berkeley, CA, United States

³ Department of Bioengineering, University of California, Berkeley, Berkeley, CA, United States

⁴ Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California, Berkeley, Berkeley, CA, United States

⁵ Climate and Ecosystems Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, United States

⁶ Department of Earth and Planetary Sciences, University of California, Berkeley, Berkeley, CA, United States

⁷ Environmental Genomics and Systems Biology Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, United States

⁸ Molecular Biophysics and Integrated Bioimaging Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, United States

To evaluate the potential for solar cells to supply power and commodity chemicals, we determined the maximum practical production capacity for 3-junction PV (operating at 80% of the detailed balance limit) and 2-junction PEC devices (with a 700-mV overvoltage) over the course of a Martian year (Figure 3). Daily and seasonal variation in solar flux and temperature (Figures 3A,B) cause substantial (~27% deviation from the yearly average) changes in production rates (Figures 3C,D). We defined solar day (sol) 0 at a solar longitude (Ls) of 0° (vernal equinox) and assumed the solar cell operating temperature was equal to the surface temperature at all points. Dust storm season begins at sol ~372 (Ls ~ 180°) and is primarily responsible for the drop in production capacity from a peak of ~1.7 kWh/m²/day at Jezero Crater to a minimum of ~1.0 kWh/m²/day at the height of dust storm intensity around the winter solstice (Ls ~ 270°, sol ~514).

Figure 3

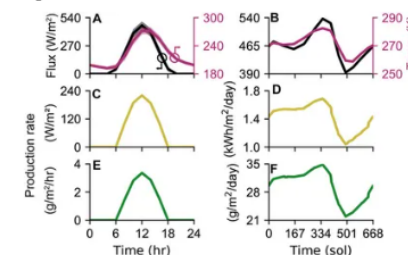


FIGURE 3. PV and PEC production rates. (A) Average and (B) daily maximum solar flux (black, left axis) and surface temperature (purple, right axis) as function of (A) time of day and (B) time of year. (C,E) average and (D,F) daily maximum production capacity of power (C,D) and H₂ (E,F) using 3-junction PV and 2-junction PEC cells as described in the main text. Solid lines in (A,C,E) correspond to averages; shaded areas represent the standard deviation due to seasonal variation. Jezero Crater is used as the location for plots.

Entre 1,0 et 1,7 kWh/m²/jour

Panneaux solaires

Superficie des panneaux solaires nécessaires pour recharger un Starship en 6 mois

joules nécessaires		1,48E+13		
1 watt/h =		3,6	kjoules	
Entre	1,7	kWh/m2/jour	13 442	m2
et	1	kWh/m2/jour	22 852	m2

Panneaux solaires nécessaire

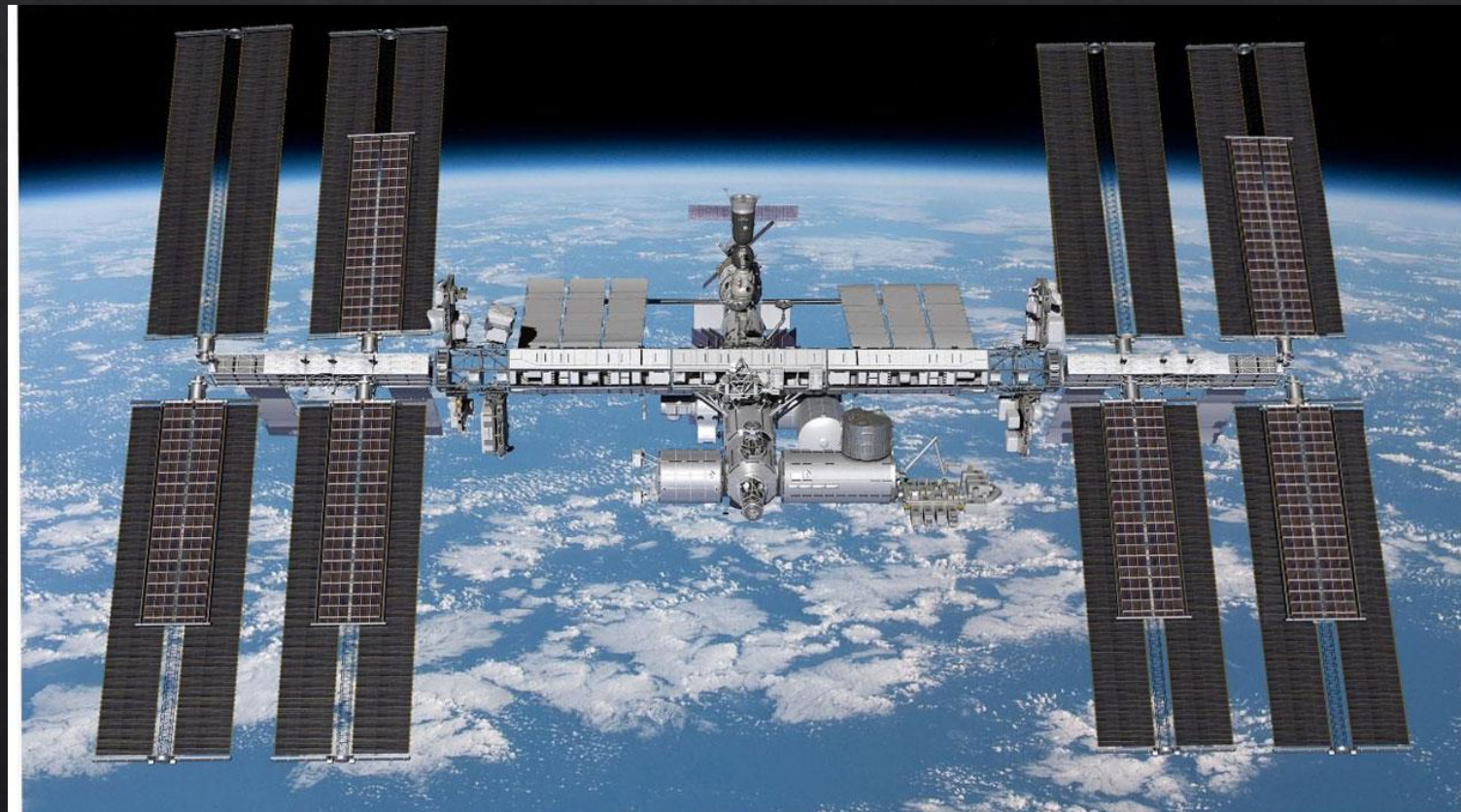
Retour	18 147
Habitat	2 500
Autres (15%)	3 097
	23 744

3,4 terrains de football

Près de 10 x la station spatiale

Capacité maximale actuelle des
capteurs solaires = environ 20%

Capacité maximale théoriques des
capteurs solaires = environ 30%

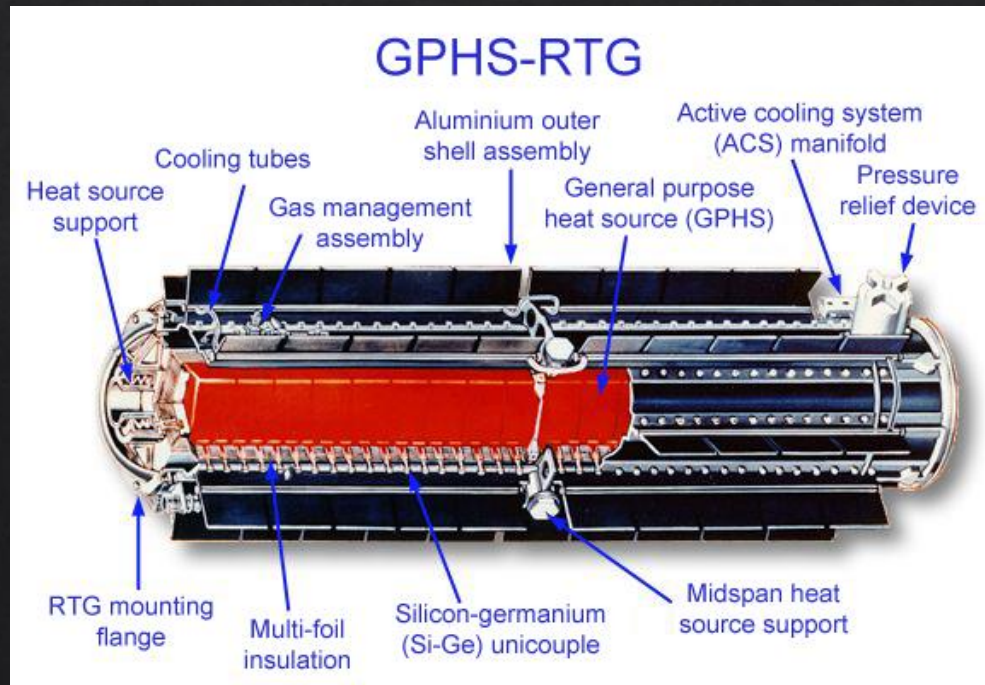


Pertes d'énergie

◇ Pertes d'ergols et maintien cryogénique



Les RTG



Combien de RTG ?

New Horizons	
Masse au lancement	478 kg
Δv	400 m/s
Contrôle d'attitude	Stabilisé 3 axes
Source d'énergie	Générateur thermoélectrique à radioisotope
Puissance électrique	255 watts

Avec des RTG de 300 Watts

Puissance		300	Watts
Énergie		7,2	kWh/jour
1 watt/h =		3,6	kjoules
Rendement		2,59E+07	Joules/jour
joules nécessaires		1,48E+13	
Nombre de RTG		3 174	

Donc 3 174 RTG pour recharger en 6 mois un Starship

J'ai certainement fait une erreur mais je ne trouve pas où !

Amener les ergols

1 200 tonnes d'ergols sur un starship

/ 100 tonnes de charge utile vers mars

= 12 starship

Donc 24 parce que
ça en prend 2 au
décollage!!!

25 867 tonnes de
méthane liquide

90 533 tonnes de
d'oxygène liquide

+ les installations de cryogénisation



C'est quoi l'énergie nécessaire ?



Conclusion

A close-up of E.T. the Extra-Terrestrial, a brown, wrinkled alien with large blue eyes, holding a glowing red finger. The background is a dark, cloudy sky.

Le paradoxe de Fermi

(Longue parenthèse)

Le paradoxe de Fermi

« Considérant le nombre d'étoiles dans la galaxie,
pourquoi n'avons-nous pas déjà été contacté par des
civilisations extraterrestres ? »

Le paradoxe de fermi

- ◇ Y'a des gens qui ont déjà la réponse



Le paradoxe de fermi

Ils sont parmi nous...



Ou par minous...



Le paradoxe de fermi

◊ D'autres explications



Le paradoxe de fermi

- ◆ Les quelques images sérieuses qui restent sont généralement des phénomènes naturels explicables
- ◆ D'autres cas sont plus difficiles à expliquer, mais ça ne veut pas dire que c'est nécessairement un vaisseau extraterrestre



Le paradoxe de fermi

◇ La vie est très très très rare...

Parce que les conditions
d'apparitions sont très précises

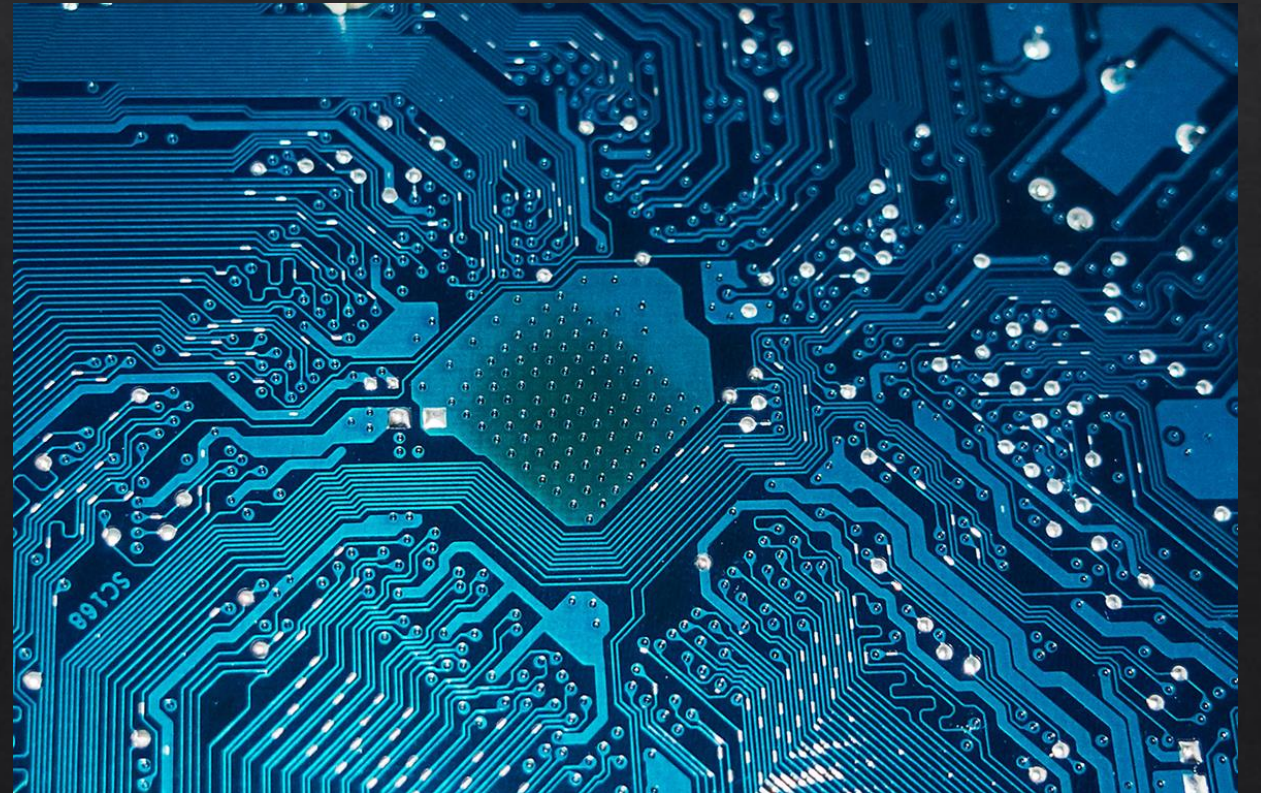


Et parce que les planètes propices
sont en réalité très très très rares



Paradoxe de Fermi

- ◆ Et les conditions d'apparition des civilisations technologiquement avancées tout aussi rare

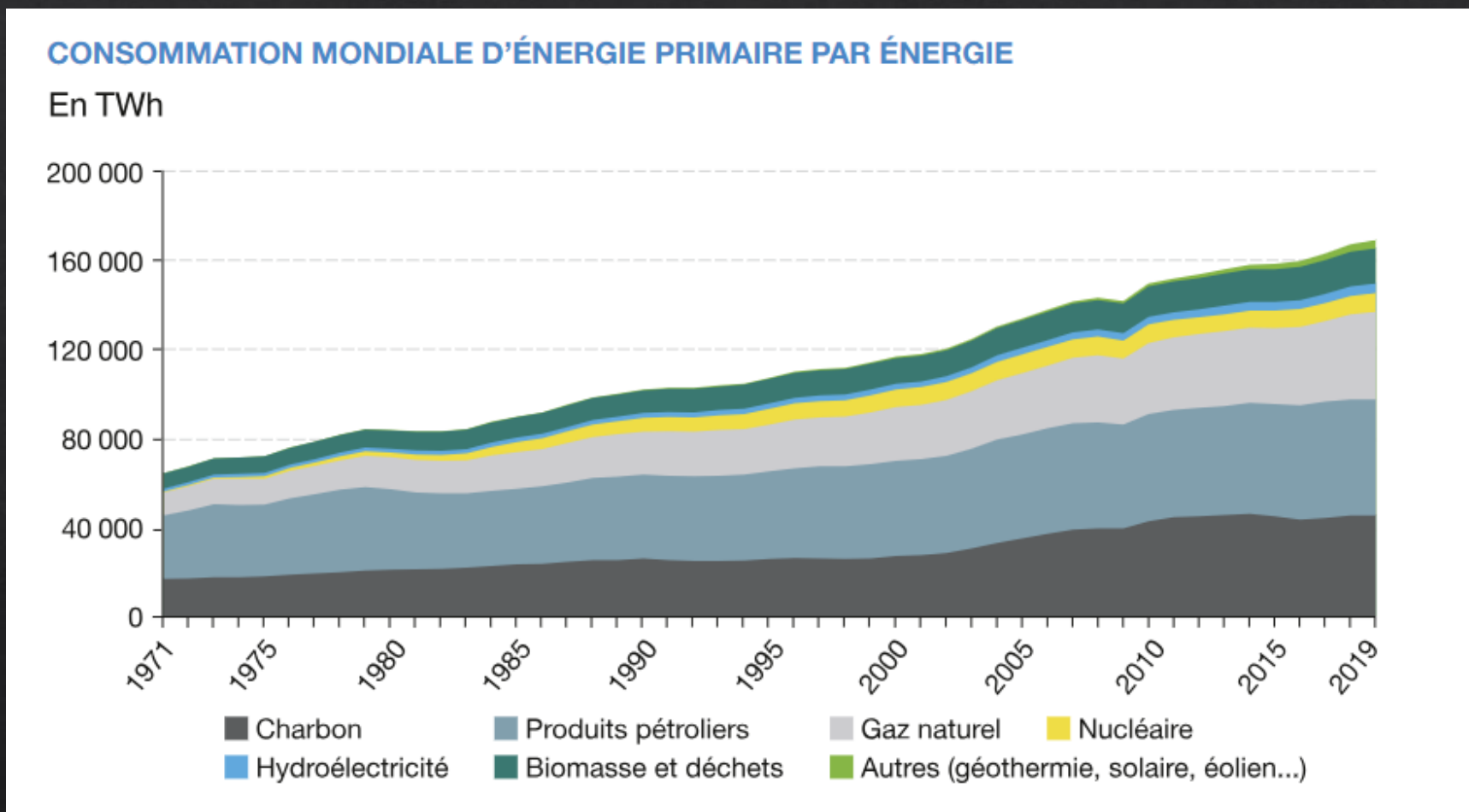


Le paradoxe de fermi

Et les quelques civilisations suffisamment avancées technologiquement dans la galaxie n'ont probablement tout simplement pas les ressources énergétiques nécessaires pour envisager la colonisation des autres systèmes solaires



L'énergie primaire mondiale



Environ 80% de l'énergie mondiale consommée est de l'énergie fossile

Pour éliminer les énergies fossiles il faudrait soit :

- ◇ Multiplier par 17 le nombre de centrales nucléaires
- ◇ Multiplier par 33 le nombre de centrales hydroélectriques
- ◇ Ou un mix des deux...



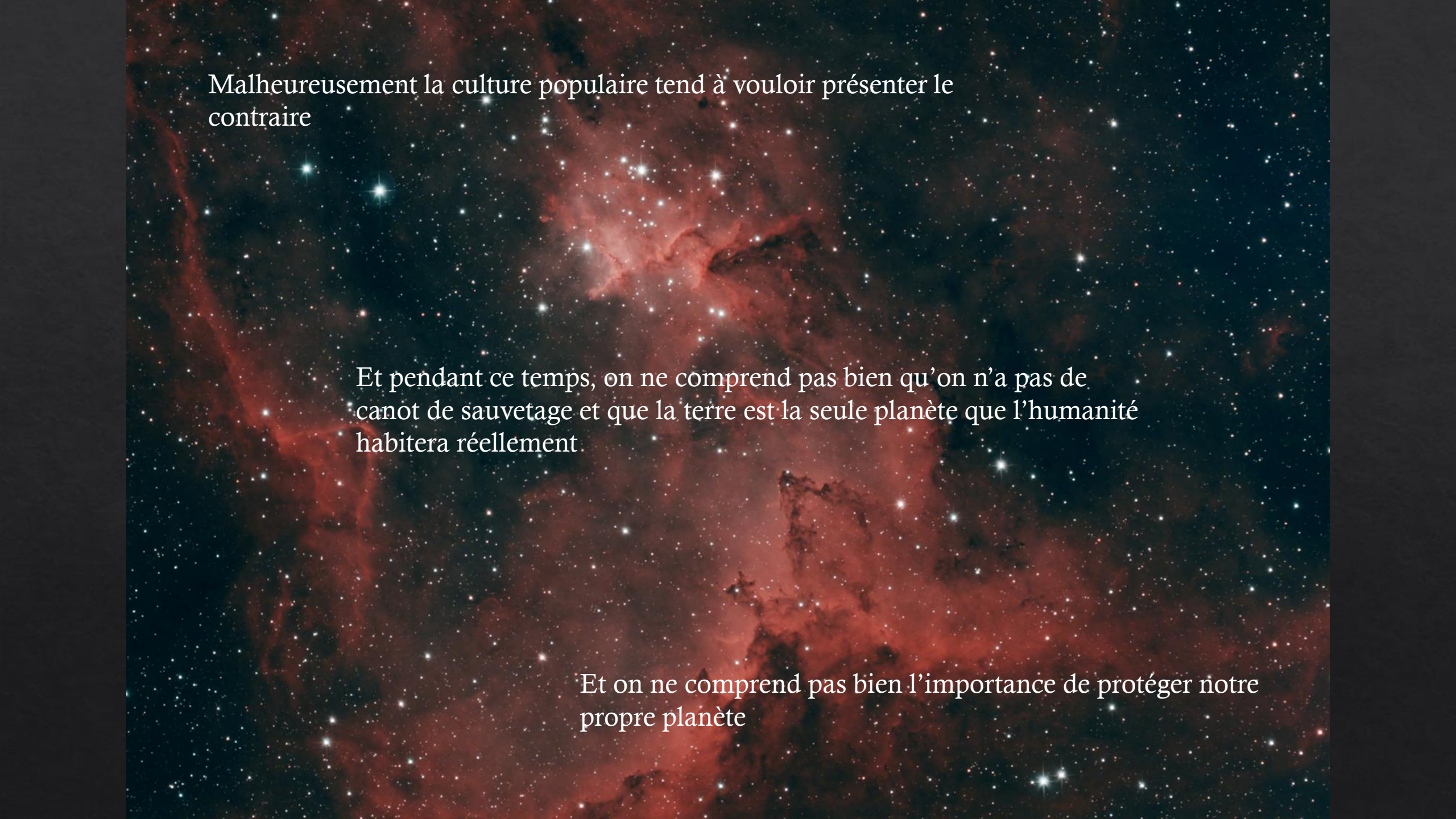
Donc avant tout, on va devoir faire la transition énergétique



En conclusion pour vrai...

Il n'est probablement pas possible de coloniser les autres systèmes solaires

La question peut paraître futile, mais pas tant que ça...



Malheureusement la culture populaire tend à vouloir présenter le contraire

Et pendant ce temps, on ne comprend pas bien qu'on n'a pas de canot de sauvetage et que la terre est la seule planète que l'humanité habitera réellement

Et on ne comprend pas bien l'importance de protéger notre propre planète

A wide-field astronomical photograph showing a large, complex nebula. The nebula consists of numerous glowing clouds of interstellar dust and gas, primarily in shades of deep red and orange, set against a dark, star-filled background. The clouds have intricate, filamentary structures and some darker, denser regions. Numerous stars of varying brightness are scattered throughout the field of view, some appearing as sharp points of light and others as slightly blurred discs. The overall composition is dynamic and captures the vastness and beauty of the cosmos.

Merci !