



DE LA RECHERCHE A L'INDUSTRIE

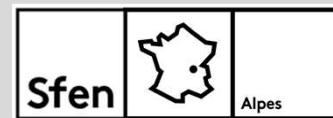
LE NUCLÉAIRE, SOURCE D'ÉNERGIE STRATÉGIQUE POUR L'EXPLORATION SPATIALE

Eric PROUST

Conférence-débat :

16 décembre 2025, Amphi M001, Grenoble-INP Phelma

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - www.cea.fr



Les Systèmes Nucléaires Spatiaux dans les News Récentes

INTERESTING ENGINEERING

NEWS IE PRO NEWSLETTERS EVENTS

INNOVATION MILITARY

China tests nuclear-powered 'shrinkable' engine for Mars spaceship

The new engine prototype could help a nuclear-powered spaceship slash the travel time to Mars to a few months.

Updated: Mar 29, 2024 06:44 EST

Forbes

CH

FORCES BUSINESS

BREAKING

Russia, China Planning For Joint Nuclear Power Plant On The Moon By 2055

rfi

Home News Politics

Lunar Exploration

India considers joining Russia, China to build nuclear plant on Moon

Rivals India and China are said to be keen on joining a Russian project to build an atomic power plant for a human base on the Moon.

Issued on: 14/09/2024 11:27 2 min



A view of the moon as seen by India's Chandrayaan-3 spacecraft on 5 August 2023. © Indian Space Research Organisation via REUTERS

SPACE NEWS

News More Categories Sponsored Video Stellar Dispatch More Media Kit

Military

Zeno Power gets \$30 million to build radioisotope-powered satellite for U.S. military

The startup develops RPS systems, a type of nuclear energy technology that converts heat from decaying nuclear materials into electricity

SPACE

Sign up to our newsletter

Space Exploration Astronomy Stargazing Entertainment Tech & Space

NASA aiming to build nuclear reactor on the moon by 2030

News By Mike Wall published August 5, 2025

Interim NASA chief Sean Duffy will announce the ambitious goal this week, according to Politico.

PR Newswire

News Products Contact

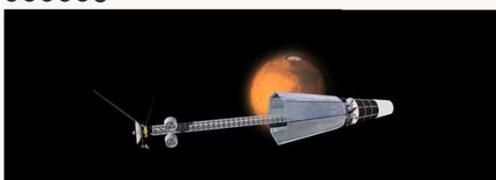
NEWS PROVIDED BY Space Nuclear Power Corporation → Dec 03, 2024, 09:00 ET

Military

Ad Astra Rocket Company and The Space Nuclear Power Corporation Forge Strategic Alliance to Pioneer High-Power Nuclear Electric Propulsion

Intuitive Machines, Lockheed Martin and Westinghouse Government Services will support AFRL's project known as Joint Emergent Technology Supplying On-orbit Nuclear Power

Sandra Erwin October 3, 2023



wnn

world nuclear news

Home Energy & Environment New Nuclear Regulation & Safety Nuclear Policies Corporate Uranium

Orano-Zeno deal aims to power space batteries from recycled nuclear 'waste'

Thursday, 25 September 2025

FINANCIAL POST

Home / PMH Business

Sections Search

News Economy Energy Mining Real Estate Finance Work Health Investor FP Comment Executive Women Puzzles Newsletters Financial Times Business Essentials

ROLLS-ROYCE SEEKS SPACE PARTNERSHIPS FOR LUNAR NUCLEAR REACTOR

Rolls-Royce Holdings Plc is seeking to establish partnerships across the space industry for its micro-nuclear reactor, which it plans to send to the moon in the early 2030s.

Bloomberg News

Nick Bartlett and Kate Duffy

Published Mar 20, 2023 1 minute read Join the conversation

CEA to propose

PROVIDING THE POWER TO EXPLORE

Payload

Business Launch Civil VC/PE Military Polaris All

ROCKETS

Lockheed Nabs \$500M to Build Nuclear Powered Rocket

By Jack Kuhn July 26, 2023

Westinghouse

News Releases Insights In the Headlines Media Relations

Westinghouse Awarded NASA-DOE Contract to Continue Development of Space Microreactor Concept

January 7, 2025 by Westinghouse Electric Company

Categories: News Releases

NASA and DOE Continue Collaboration with Westinghouse on Fission Surface Power Project

Cranberry Township, PA, January 7, 2025 - Westinghouse Electric Company announced today that NASA, working with the U.S. Department of Energy (DOE), has selected Westinghouse to continue development of a space microreactor design through the Fission Surface Power (FSP) project.

The FSP project is focused on developing concept designs for small, electricity-generating nuclear fission reactors that could provide astronauts a reliable power supply for use on the moon and beyond. This contract, awarded by Idaho National Laboratory (INL), will build on the successful design work Westinghouse completed during Phase 1 to optimize its contributions to the design of FSP systems and

INTERESTING ENGINEERING

NEWS IE PRO NEWSLETTERS EVENTS

INNOVATION

ESA gears up to build nuclear-powered rockets for deep space exploration and moon settlements

The European Space Agency has announced that it will fund several scientific studies in order to test the use of nuclear propulsion for future exploratory missions.

Published: May 04, 2023 02:52 EST

The EurAsian Times

AMERICAS ASIA PACIFIC EURASIAN REGION EUROPE MIDDLE EAST

Home / EurAsian Region

Russia Sets 2030 Timeline To Launch Its Nuclear-Powered Zeus Tug That Can Clean Mounting Space Debris

By Barth Carlson - April 10, 2023

NUCLEAR ENGINEERING

News

General Atomics tests nuclear thermal propulsion fuel for space missions

GA-EMS and NASA tested NTP reactor fuel for fast cislunar travel and deep space missions, ensuring it meets performance standards for future Mars and space missions

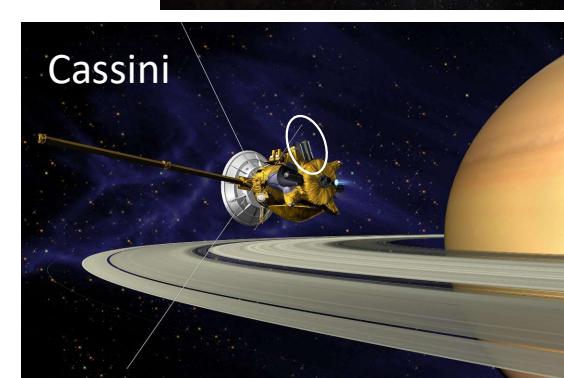
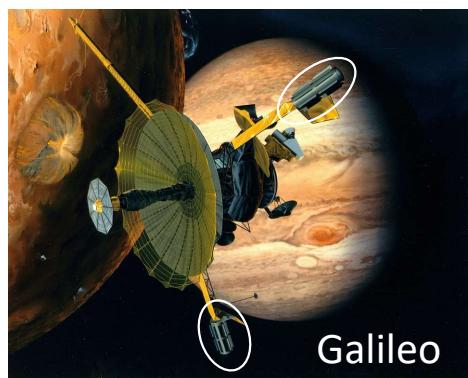
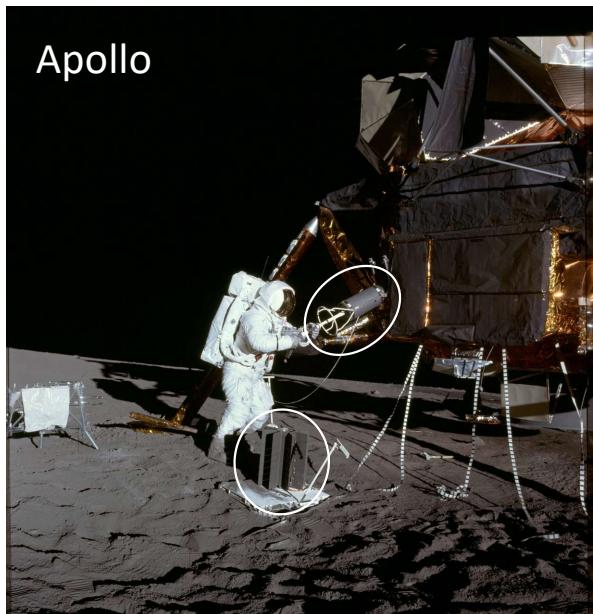
Manish Kumar January 21, 2025

Share this article



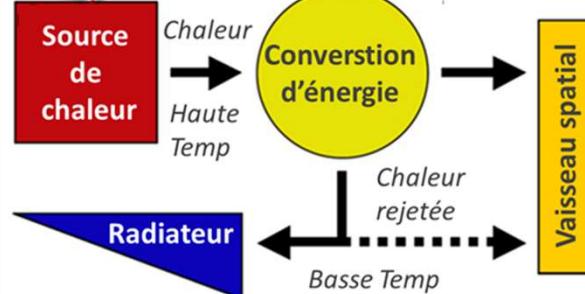
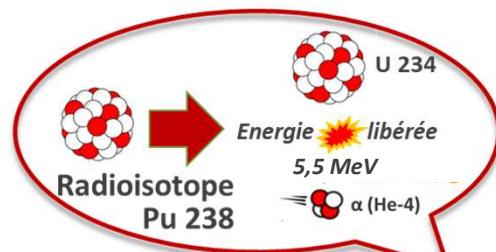
Quelques-unes des missions qui n'ont été possibles que grâce à l'énergie nucléaire / aux RTGs

Apollo



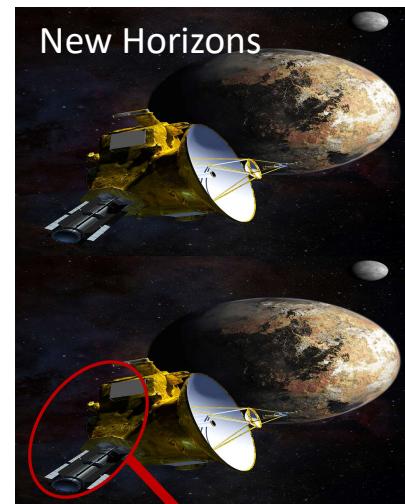
Les RTGs: Générateurs Radioisotopiques Thermoélectriques

Pu 238 :
demi-vie: 87,7 ans
0,57 W/g



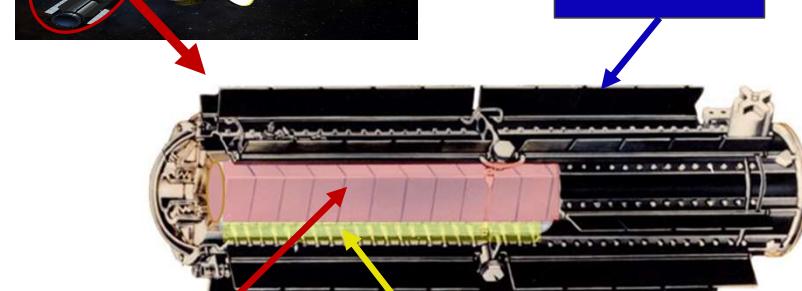
Le principe d'un RTG

Effet thermoélectrique :
très grande fiabilité, mais
rendement énergétique <8%



**L'exemple du RTG équipant
la sonde New Horizons**

L 1,14 m x Ø 0,4 m
56 kg dont 7,6 kg de Pu-238
(sous forme de PuO_2)
~300 We

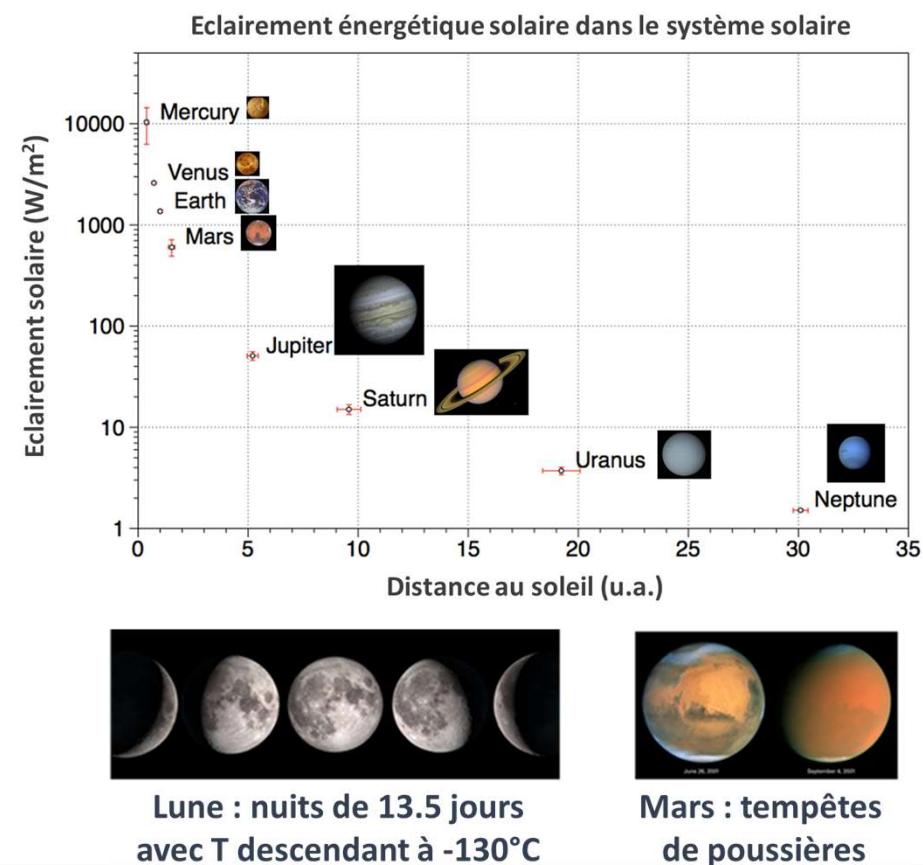


**Source de chaleur
radioisotopique**

**Conversion d'énergie
(couples thermoélectriques)**

Pas d'alternative pratique au nucléaire pour alimenter les missions visant à explorer les régions de l'espace où la lumière du soleil est trop faible

- Solaire PV et Nucléaire: les 2 seules options
- Coûts de lancement (./. masse) très élevés + Sources d'énergie: l'équipement le plus lourd
⇒ **forte puissance massique** privilégiée (We/kg)
- PV : We/kg décroît comme le carré de la distance au soleil : 100 We/kg en orbite terrestre, 2 We/kg à Jupiter ... + batteries
- Nucléaire : $300 \text{ We} / 56 \text{ kg} = 5 \text{ We/kg}$ avec RTG et $> 20 \text{ We/kg}$ avec un réacteur à fission de 100 kWe
⇒ RTGs surclassent PV + batteries quand le soleil est trop éloigné (\geq Jupiter), ou est éclipsé (Lune) ou obscurci (Mars) pendant de longues périodes



Les RTGs : stratégiques mais d'usage limité

Une puissance qui ne peut excéder qq centaines de We

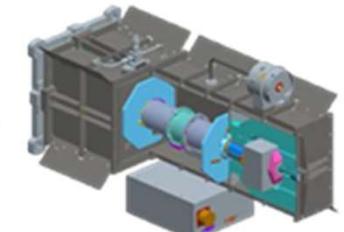
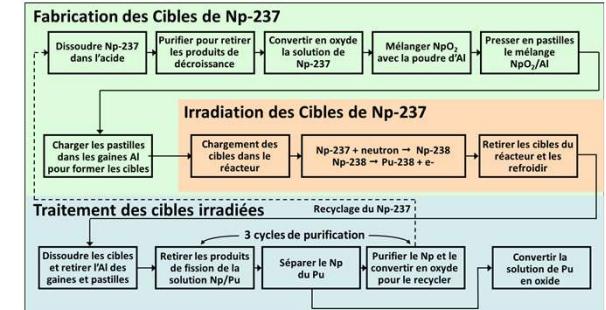
- Capacités de production de Pu-238 limitées
procédé complexe, capacité US : ~1,2 kg/an (1 RTG de 300 We = 7 ans)
⇒ usage actuel très parcimonieux

Alternative Am-241 en développement en Europe depuis 2010
moins onéreux à produire (stocks de Pu séparé), mais 5 x moins performant

- Maitrise des risques radiologiques : 300 We ~ 130 kCi (4 10^3 TBq) !
Accidents au lancement relativement fréquents et très endommageants

Au delà de ~500 We, d'autres technologies nucléaires sont nécessaires

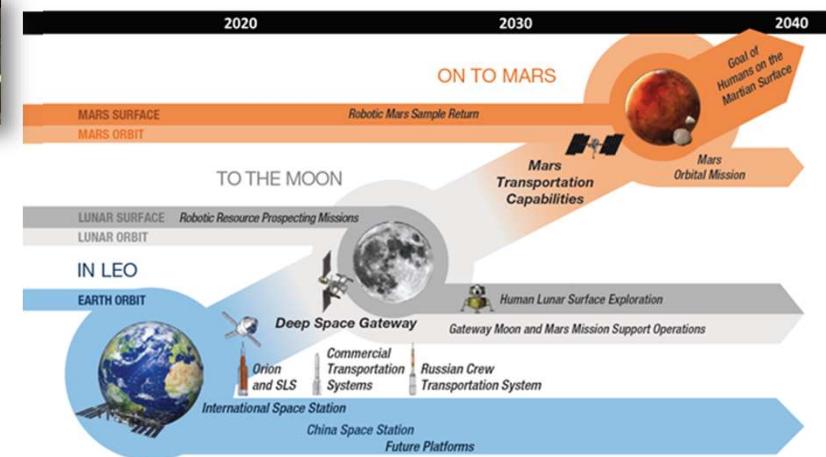
- Des générateurs radioisotopiques à **conversion dynamique**
(Stirling, Brayton) : ~4 x moins de radioisotope à We donnée mais moindre fiabilité
- Des **réacteurs à fission nucléaire électrogènes**
 - inventaire radioactif au lancement x $\sim 10^{-4}$
 - plus perforant en puissance massique au-delà de ~3 kW
~4 We/kg (3 kW); 20 We/kg (100 kW); 50 We/kg (1 MWe)



Le driver du développement de systèmes nucléaires à fission spatiaux : l'ouverture d'une nouvelle ère d'exploration humaine de l'espace

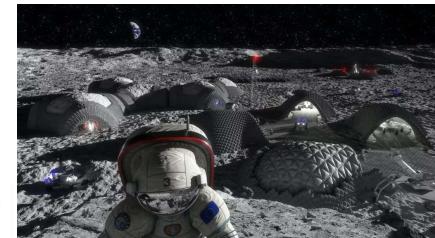
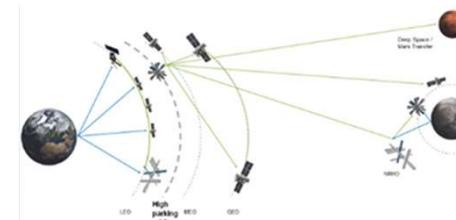
➤ De grandes ambitions :

- Retour des astronautes sur la lune: 2028
 - Présence humaine permanente sur la lune début 2030's
 - Première mission humaine sur Mars avant 2040
- ⇒ **systèmes plus performants (électricité, propulsion)**



➤ Les systèmes nucléaires à fission peuvent rendre possibles ces missions axées sur la "sustainability"

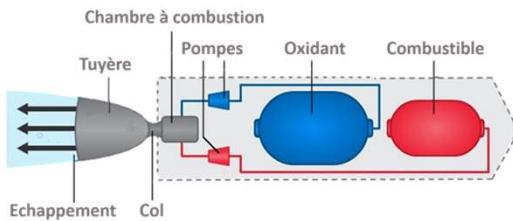
- Bases lunaires permanentes habitées (vers l'autosuffisance par utilisation des ressources locales), réduction des coûts par exploitation des ressources locales
 - ⇒ sources d'énergie de haute densité, robustes et sûres, "industrielles"
 - ⇒ **réacteurs à fission électrogènes**
- Transport spatial (cargo et habité) et logistique associée
 - ⇒ solutions avancées fiables à forte efficacité propulsive
 - ⇒ **systèmes de propulsion nucléaire**



Les Limites des technologies actuelles de propulsion dans l'espace 1/3

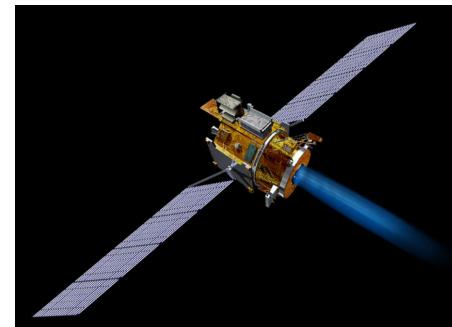
Les technologies actuelles approchent de leurs limites physique au delà desquelles tout accroissement de performance est impossible

Propulsion thermique chimique propergols stockables → cryogéniques



Vinci® : 130-180 kN
EP : ~4 500 m/s
(ArianeGroup)

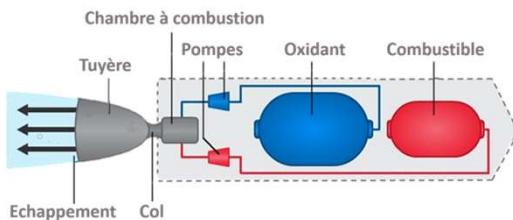
Propulsion solaire électrique propulseurs électriques alimentés par panneaux PV



PPS®5000 : 300 mN
EP : ~18 500 m/s
à 5 kWe (Safran)

Les technologies actuelles approchent de leurs limites physique au delà desquelles tout accroissement de performance est impossible

Propulsion thermique chimique propergols stockables → cryogéniques

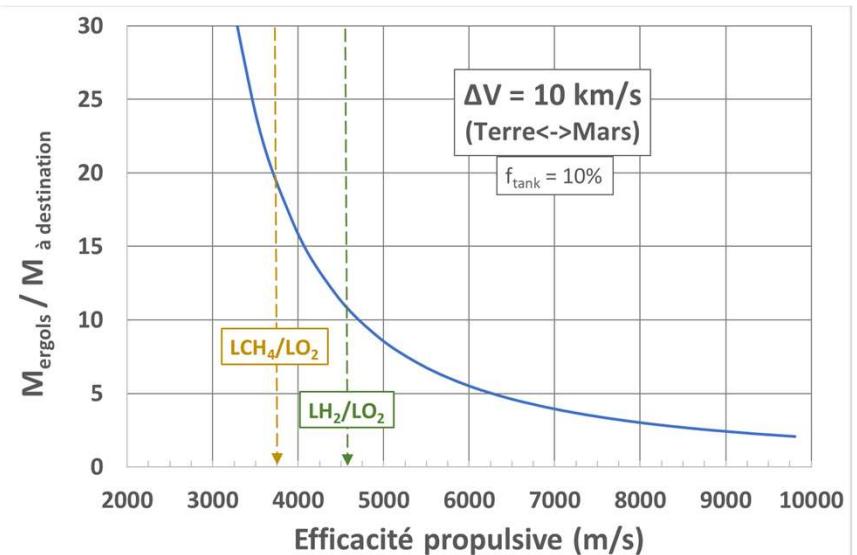


Vinci® : 130-180 kN
EP : ~4 500 m/s
(ArianeGroup)

Forte poussée
(= transfert rapide à destination)

Faible efficacité propulsive *EP**
(= forte consommation d'ergols)

*Efficacité propulsive *EP* = Poussée / Débit massique d'ergols

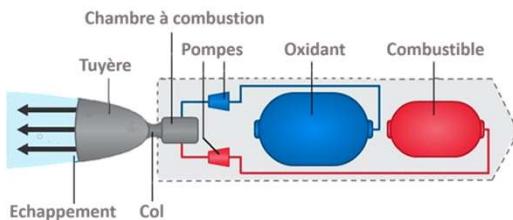


$$M_{ergols} \cong M_{\text{à destination}} (e^{\Delta V / EP} - 1)$$

Les Limites des technologies actuelles de propulsion dans l'espace 3/3

Les technologies actuelles approchent de leurs limites physique au delà desquelles tout accroissement de performance est impossible

Propulsion thermique chimique propergols stockables → cryogéniques



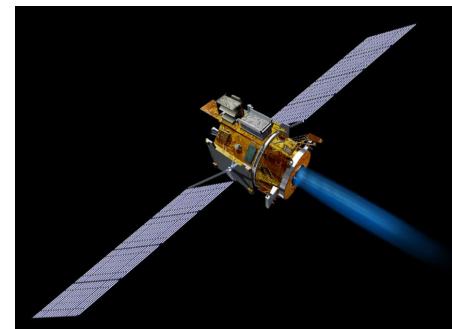
Vinci® : 180 kN
EP : ~4 500 m/s
(ArianeGroup)

Forte poussée
(= transfert rapide à destination)

Faible efficacité propulsive*
(= forte consommation d'ergols)

*Efficacité propulsive **EP** = Poussée / Débit massique d'ergols

Propulsion solaire électrique propulseurs électriques alimentés par panneaux PV



PPS®5000 : 300 mN
EP : ~18 500 m/s
à 5 kWe (Safran)

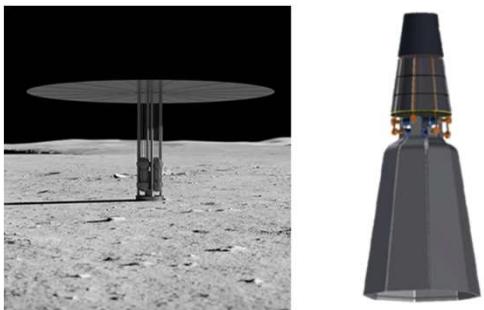
Très faible poussée (chimique x ~10⁻⁶)
(= transfert lent à destination)

Forte efficacité propulsive* (chimique x 2-20)
(= faible consommation de fluide propulsif)

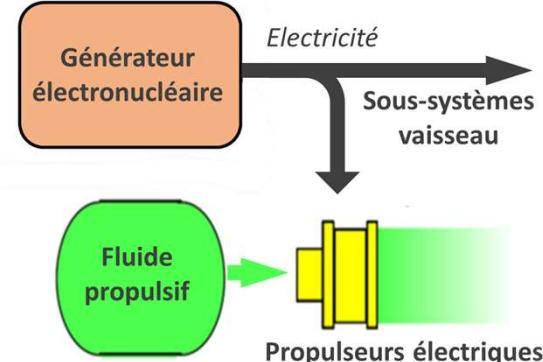
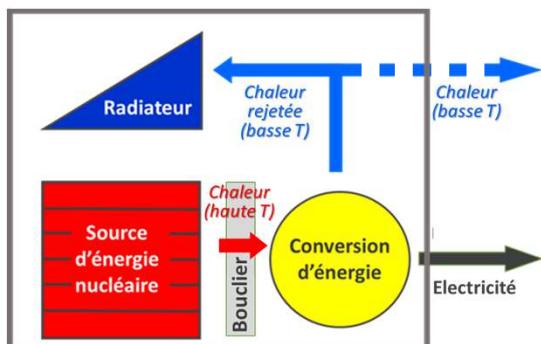
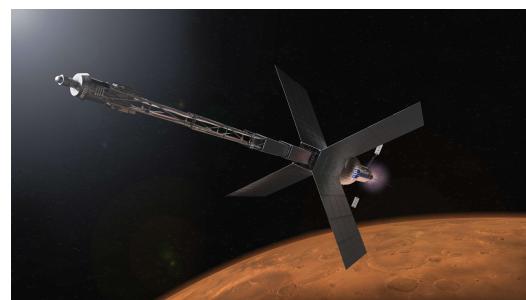
$M_{ergols} \cong M_{\text{à destination}} (e^{\Delta V / EP} - 1)$

Systèmes nucléaires spatiaux à fission : de quoi parle-t-on ?

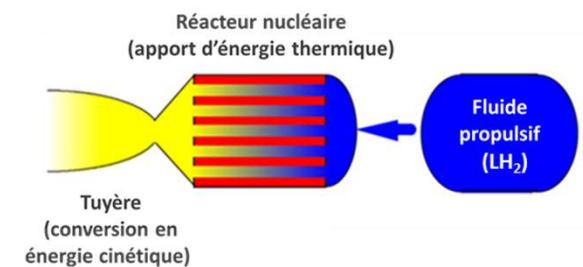
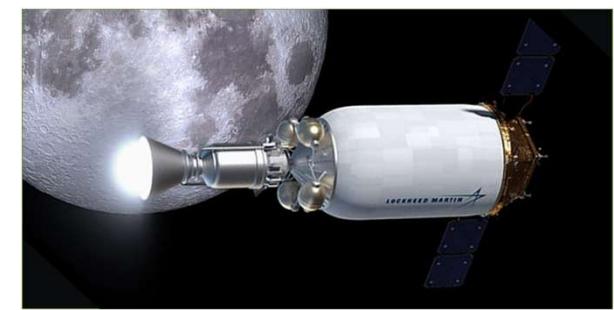
Générateur Electronucléaire



Système de Propulsion Nucléaire Electrique



Système de Propulsion Nucléothermique

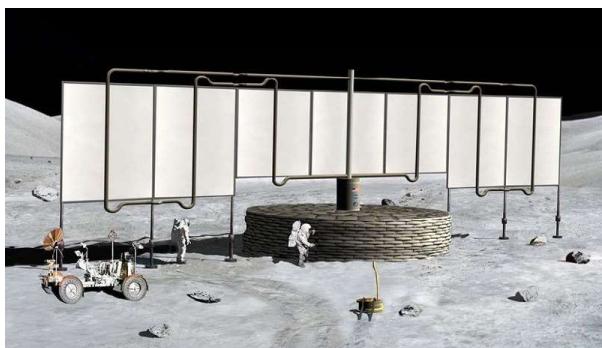


Systèmes nucléaires spatiaux à fission : quels avantages pour quelles applications ?

Microréacteurs électrogènes spatiaux

Production d'électricité continue, indépendante de l'intensité de l'éclairement solaire;
Densité de puissance \Rightarrow compacité et robustesse

Alimentation de bases vie à la surface de la Lune (puis de Mars)



Exploitation des ressources in situ

1ères bases vie permanentes sur la lune : ~ 10 kWe/ astronaute

NASA : système de 100 kWe déployable sur la Lune dès 2030

Alimentation de véhicules d'exploration de l'espace profond



Suppléer la pénurie de radioisotopes (~ 1 kWe) et plus

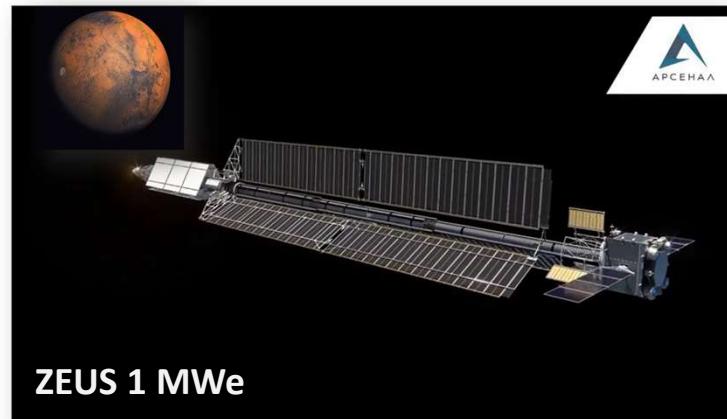
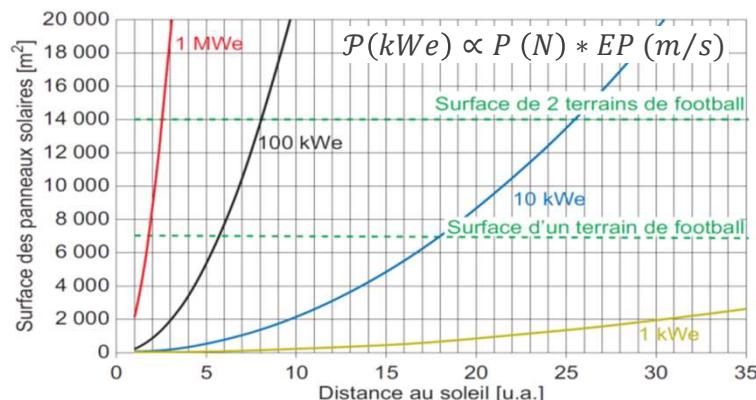
Alimenter un système de propulsion ...

Systèmes nucléaires spatiaux à fission : quels avantages pour quelles applications ?

Systèmes de Propulsion Nucléaire Electrique

Comparé à la propulsion solaire électrique :

- Poussée indépendante de l'ensoleillement
- Compacité (et robustesse): donne accès à des puissances, donc à des poussées x efficacité propulsive, inaccessibles au photovoltaïque; ou réduit la vulnérabilité



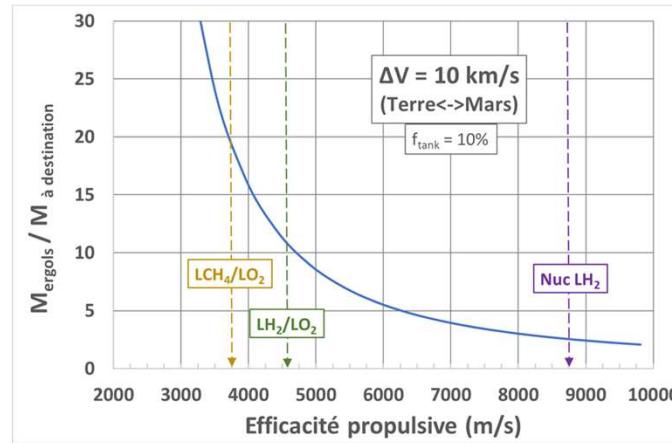
Comparé à la propulsion chimique :

- Efficacité propulsive x 2-20 : ++ économie
- Très faible poussée (x ~10⁻⁴) : temps de vol --

**Missions ambitieuses d'exploration robotique de l'espace profond,
Logistique de transport spatial (remorqueur) à faible contrainte de temps (Cf. Zeus)
Missions de défense en orbite terrestre (Cf. US-DOD)**

Systèmes nucléaires spatiaux à fission : quels avantages pour quelles applications ?

Système de Propulsion Nucléaire Thermique

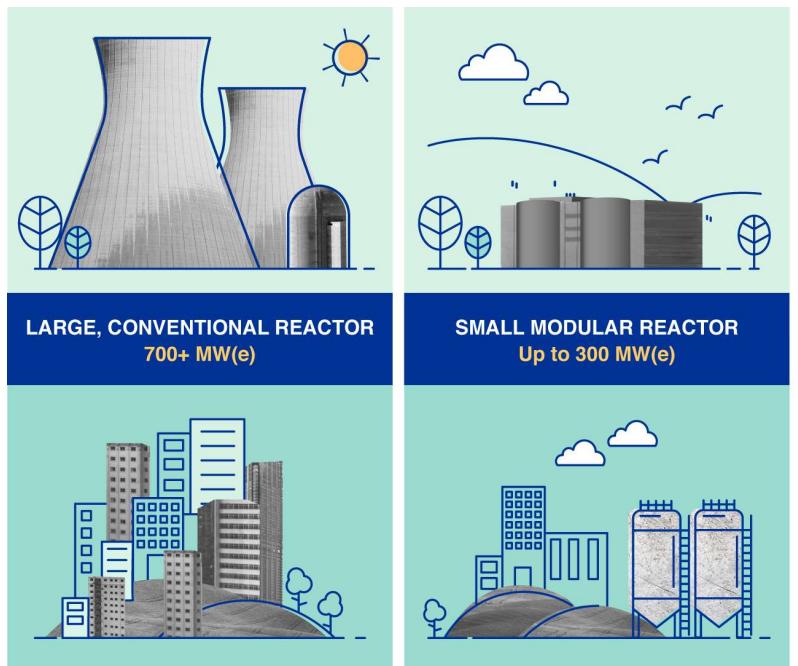


Efficacité propulsive $\times \sim 2$ à poussée comparable ./ aux meilleurs moteurs chimiques cryogéniques
 (efficacité $\propto \sqrt{T/Masse molaire}$; chimique brûle $H_2+O_2 =$ rejette H_2O ; NTP utilise/rejette H_2)
 \Rightarrow durées de transfert réduites (réduit l'exposition au rayonnement spatial : 650 mSv/an!)
 ou masse du véhicule de transport (des ergols) réduite

Missions habitées vers Mars;
Applications de défense en cislunaire inaccessibles à la propulsion chimique
Logistique de transport rapide de lourdes charges utiles

Les générateurs électronucléaires spatiaux : des cousins de faible puissance des microréacteurs terrestres

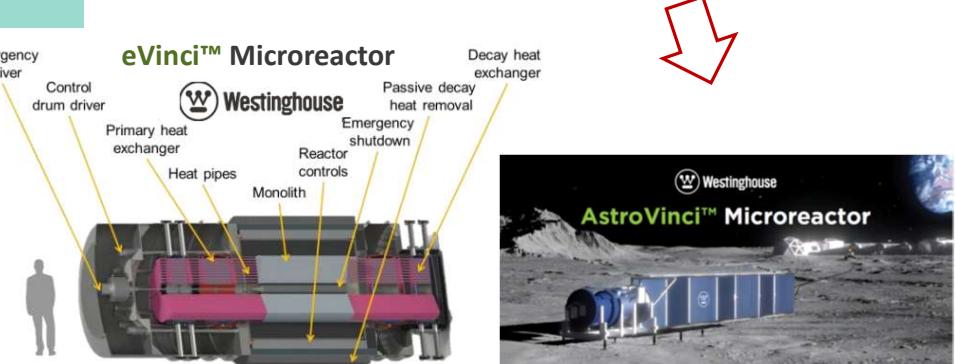
Réacteurs électronucléaires terrestres



Le eVinci™ de Westinghouse : un projet de microréacteur terrestre inspiré d'un concept de réacteurs spatial de LANL

Réacteurs électronucléaires spatiaux

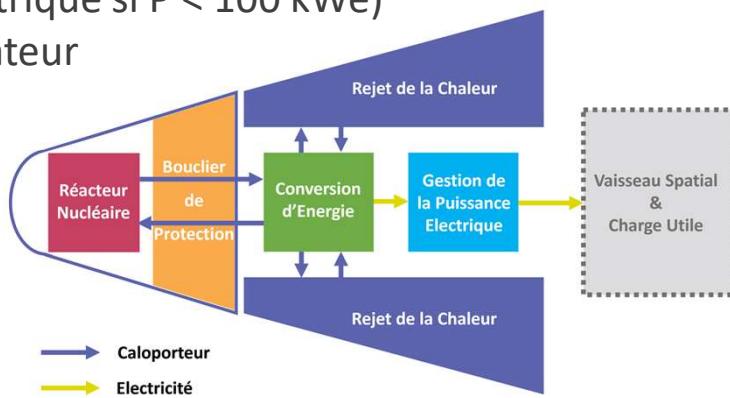
- Pour suppléer des RTG: ~1 kWe
- Pour la propulsion :
- Exploration ambitieuse: 10-200 kWe
- Remorqueurs : jusqu'à 1-2 MWe
- Pour alimenter bases lunaires : ~50+ kWe



eVinci™ 5 MWe (ou chaleur) ➡ 50+ kWe pour base lunaire

Spécificités des générateurs électronucléaires spatiaux (./. terrestres)

- **Emport du système sur un lanceur** \Rightarrow contraintes + sévères: **masse, encombrement, vibrations & accélération**; + **risques nucléaires spécifiques** à maîtriser liés aux accidents potentiels lors de la phase de lancement
 - \Rightarrow combustible uranium vierge (MOX exclu) à fort enrichissement ($>90\%$, ou $19,75\%$)
- **Intervention / maintenance impossible + défaillance = perte de la mission** \Rightarrow **très grande fiabilité sur >10 ans**
- **Vide spatial** : évacuation de la chaleur non convertie en électricité par **rayonnement thermique** (en T^4)
 - \Rightarrow composant spécifique : le **radiateur** (déployable si $P > \sim 20$ kWe) opéré à $T > \sim 450^\circ\text{C}$
 - \Rightarrow **source chaude (réacteur)** à d'autant plus haute température que la puissance est élevée
 - \Rightarrow **refroidissement par métal liquide ou gaz**: NaK, Na (acier) $<$ He (superalliages) $<$ He, Li (réfractaires)
 - \Rightarrow **conversion d'énergie par turbines à gaz en cycle fermé ou moteurs Stirling** sauf à développer des technologies "exotiques" (Rankine à K); ou par effet thermoélectrique si $P < 100$ kWe)
 - \Rightarrow **puissance limitée à qq MWe** du fait de l'encombrement du radiateur
- **Vide spatial** : seule la charge utile est à **protéger des rayonnements émis par le réacteur** + pas de rétrodiffusion par l'environnement
 - \Rightarrow **protection directionnelle** : cône d'ouverture réduite ($\sim 30^\circ$)
 - N. B. un peu différent pour applications à la surface de la Lune*

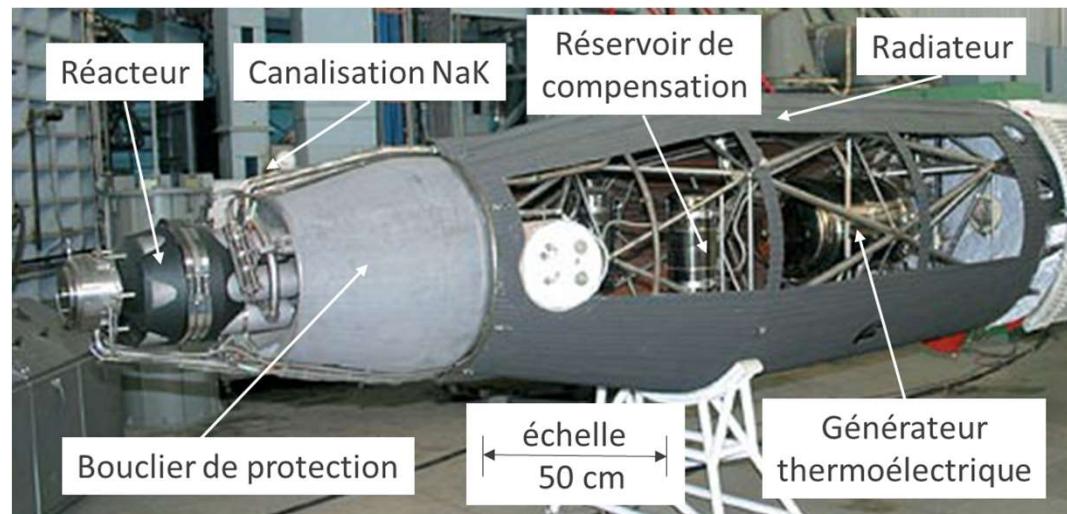
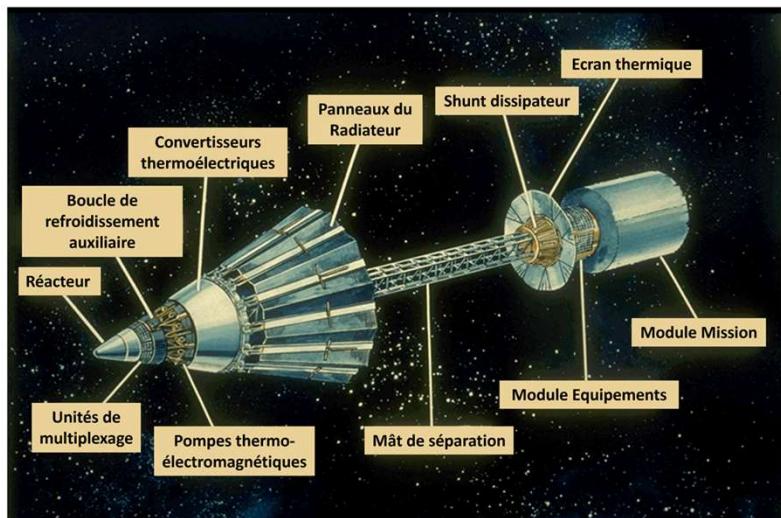


Des générateurs électronucléaires spatiaux : ce n'est nouveau

31 microréacteurs soviétiques de 3 kWe ont fonctionné en orbite entre 1970 à 1988 →

satellites radar de reconnaissance océanique opérant sur des orbites de 280 km 65°

Réacteur rapide 100 kWth U-Mo/NaK Ts: 700°C conversion par effet thermoélectrique ; ~3 We/kg



← Les US ont consacré ~1,5 milliards \$₂₀₂₃ de 1983 à 1994 au développement d'un réacteur spatial de 100 kWe (SP100)

Test nucléaire au sol annulé faute de besoins

Réacteur rapide 2400 kWth UN/Li Ts : 1075°C conversion par effet thermoélectrique, radiateur : 590-510°C; ~20 We/kg

Puissances aujourd'hui envisagées : base vie : ~50-100 kWe; propulsion électrique : 10 kWe à qq MWe

Les moteurs de propulsion nucléothermique, ce n'est pas nouveau

Ce n'est pas nouveau :

Programme US ROVER/NERVA 1956-1972
Programme soviétique ~1960-1985

TRL 6 atteint aux US, "toutes exigences requises pour système de transport vers la lune et pour les missions habitées vers Mars démontrées"

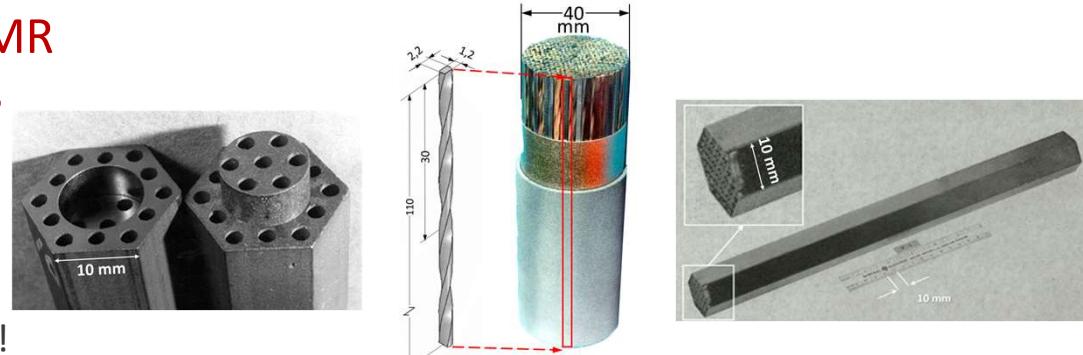


Moteur expérimental NRXE' testé en 1969 : 1140 MWth, 250 kN
efficacité propulsive : 1,75 x LH₂/LO₂ Saturne V, 24 redémarrages, 28 mn à 100% PN

Réacteur dans la gamme de puissance des SMR avec des exigences combustible hors normes

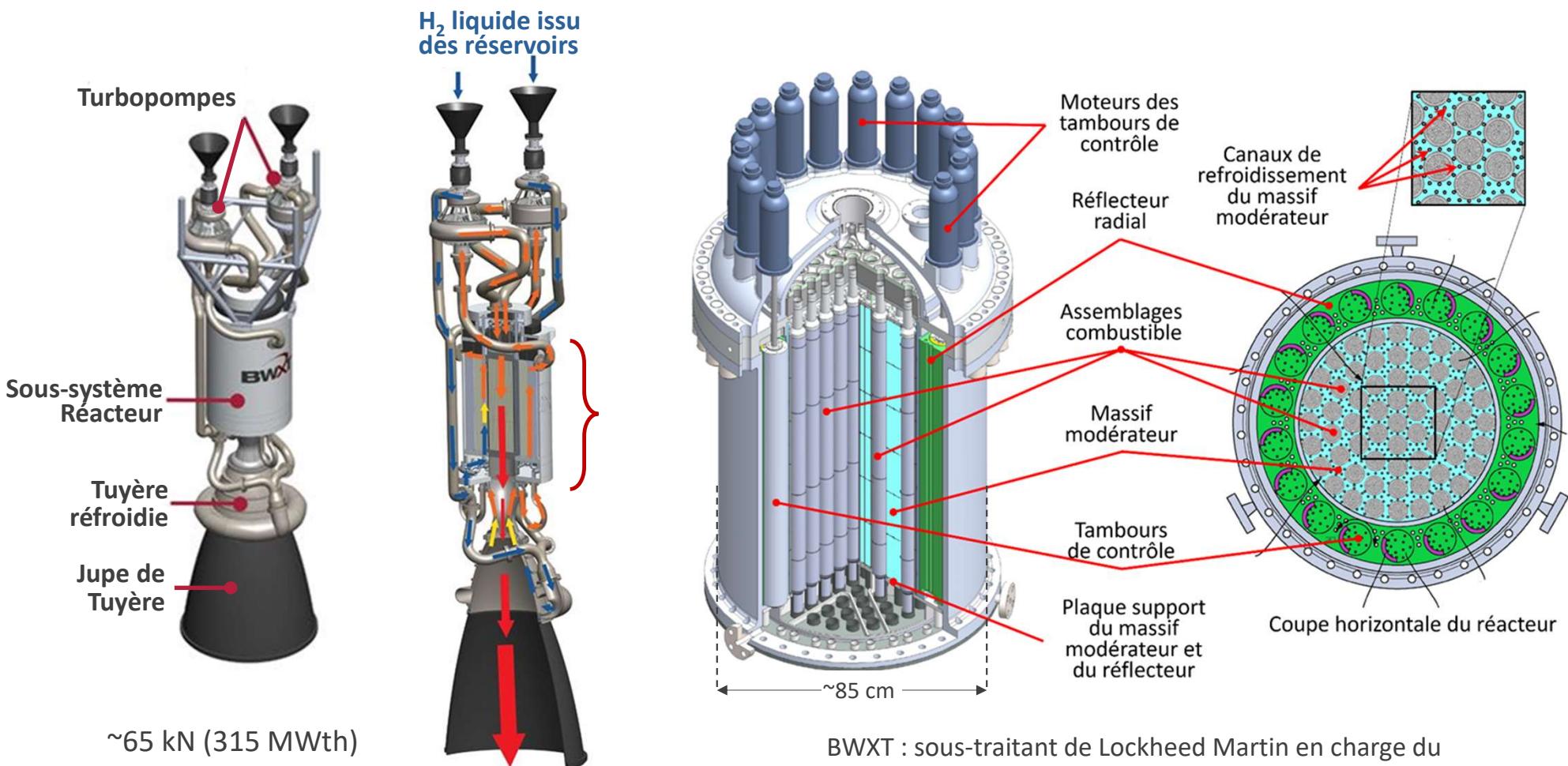
- "Caloporeur" hydrogène sortant à $T > 2400^\circ\text{C}$ (pour l'efficacité propulsive $\propto \sqrt{T/\text{Masse molaire}}$)
- Densité volumique de puissance cœur x 1000 ./. HTR (pour la compacité et la légèreté du moteur)
- MAIS très courte durée cumulée fonct à PN : ~2 heures !
- Démarrage 0 -100% PN en ~2 minutes

⇒ Le défi de la démonstration au sol aujourd'hui



Composite (U,Zr)C, C (U,Zr,Nb)C
Combustibles de réacteur de propulsion nucléothermique

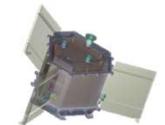
Exemple de conception d'un moteur de propulsion nucléothermique



BWXT : sous-traitant de Lockheed Martin en charge du sous-système réacteur du système de démonstration en vol DRACO

De nombreux projets de nouveaux systèmes nucléaires spatiaux en cours de développement dans le monde

▪ RTG (et RSG)

- **ESA/UK** : Projet ENDURE : RHU et RTG de 10 We à l'Am241 + RSG (suite de travaux initiés en 2009) → 
- **Inde** : Projet ISRO de RTG de 100 We; **Japon, Chine** : R&D
- **Etats-Unis** : Projets pour la NASA et pour la Défense en partenariat public-privé

▪ Générateur électronucléaire spatial

- **US** : Projet Fission Surface Power de la NASA+DOE : réacteur de 100 kWe qui puisse être lancé d'ici 2030 pour une démonstration sur la Lune; Projets défense en partenariat public-privé dans la gamme 6-20 kWe
- **Russie (Chine)** : Microréacteur pour surface lunaire pour déploiement 2035
- **UK/Rolls-Royce** : Microréacteur pour surface lunaire
- **Chine** : projet d'un générateur de 1 MWe avec réacteur refroidi au lithium (a priori destiné à alimenter un système de propulsion électrique)

▪ Propulsion nucléothermique

- **US** : Projet DRACO de la DARPA initié en 2017 pour une démonstration en orbite prévue en 2027, projet auquel la NASA s'est associée (annulation annoncée en juin 2025) → 

▪ Propulsion nucléaire électrique

- **Russie** : remorqueur nucléaire spatial de 1 MWe (test en vol annoncé pour 2030) → 
- **Etats-Unis** : projets pour la Défense 6-20 kWe
- **Chine** : Cf. plus haut (générateur électronucléaire de 1 MWe)

En résumé :

Les systèmes spatiaux ont des besoins en énergie aujourd’hui largement assurés par les technologies photovoltaïques associés à des batteries. Mais pour certaines missions, l’énergie solaire fait défaut : exploration à grande distance du Soleil (à partir de Jupiter), exploration à la surface de la Lune ou de Mars.

D'où le rôle clé déjà joué par l'énergie nucléaire, avec les RTG, dans l'exploration spatiale, mais leur puissance est limitée.

Aujourd’hui, la propulsion dans l'espace est soit chimique, soit solaire électrique. Ces deux technologies approchent de leurs limites physiques, au-delà desquelles toute amélioration des performances est impossible.

Une nouvelle ère de l'exploration spatiale humaine s'ouvre, porteuse de grandes ambitions qui requièrent des systèmes d'alimentation électrique et de propulsion spatiale plus performants que les moyens existants.

La maîtrise technologique et la disponibilité des systèmes nucléaires spatiaux à fission apparaissent ainsi essentielles et stratégiques pour :

- l'alimentation en énergie électrique des futures bases lunaires envisagées au début des années 2030, grâce à des **microréacteurs à fission de surface**;
- Les missions de transport spatial et de défense, qui pourraient bénéficier de **systèmes de propulsion nucléaire**, offrant une propulsion plus efficace, autonome et agile. En particulier, la propulsion nucléaire thermique pourrait rendre possible les premières missions habitées sur Mars envisagées avant 2040.

Pour en savoir plus :

Articles dans la collection des Techniques de l'ingénieur

- <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/typologie-des-reacteurs-nucleaires-42456210/les-systemes-nucleaires-spatiaux-introduction-bn3142/> (21 pages)
- <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/typologie-des-reacteurs-nucleaires-42456210/les-generateurs-electronucleaires-spatiaux-a-fission-bn3143/> (42 pages)
- <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/typologie-des-reacteurs-nucleaires-42456210/les-systemes-de-propulsion-nucleaire-spatiale-bn3144/> (37 pages)

Position paper de l'European Nuclear Society sur "Nuclear Energy for Space Exploration"

<https://www.euronuclear.org/scientific-resources/position-papers/>

Supports de présentation (Lecture Series on Space Nuclear Power & Propulsion)

- 1 - Space Radioisotope Power Systems; DOI: [10.13140/RG.2.2.23783.98727](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23783.98727) (90 slides)
- 2 - Nuclear Thermal Propulsion Systems; DOI: [10.13140/RG.2.2.17073.10089](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17073.10089) (111 slides)
- 3 - Space Fission Power & Nuclear Electric Propulsion Systems; DOI: [10.13140/RG.2.2.30494.87362](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30494.87362) (93 slides)

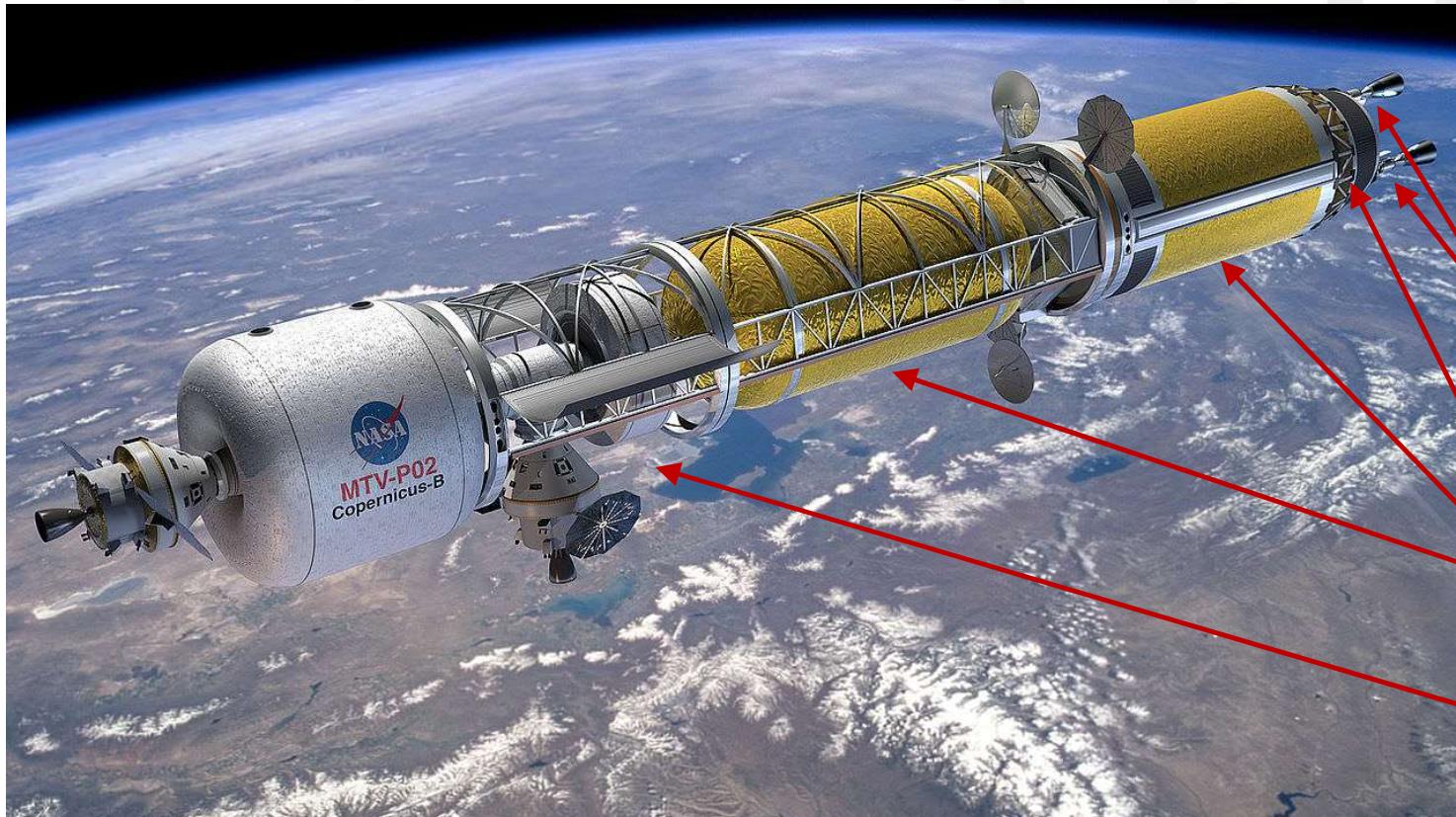


A l'écoute de vos questions

Back-up slides

Your NTP Vehicle to Go to Mars (and back)

2033 opportunity “fast conjunction” mission



Designed for a
150 days transit times*
to and from Mars

L 94 m x D 10 m
332 tons in LEO, incl.
3 NTP engines: 9 t
(560 MWth, 110 kN,
900 s Isp, 75' burn time,
3 restarts)
Bioshield: 6 t
2 LH₂ tanks: 40 t dry
(1 tank dropped at Mars)
LH₂: 180 t
Crewed payload: 67 t

* for 130 days transit times, add ~110 tons (92 t LH₂ + 20 t tank + 1 NTP engine) ; for 120 days, add ~200 tons

Source: Borowski et al., Nuclear Thermal Propulsion (NTP): A Proven, Growth Technology for “Fast Transit” Human Missions to Mars NASA/TM—2014-218104

Conférence SFEN/Alpes, Grenoble-INP Phelma Ense³ : Le nucléaire, source d'énergie stratégique pour l'exploration spatiale

16 décembre 2025

Eric PROUST

25

Your Hybrid NEP-Chem Vehicle For Your Round Trip to Mars

Concept of Operations: main phases

Assembled in 550 km LEO (282 tons)

Transfer to 1100 km safe orbit (Chem)

NEP commissioning (15 days)

Spiral to NRHO (NEP, 459 days)

Xenon propellant interstage replaced by 34 t habitat

Transfer to LDHEO (NEP)

Crew boards habitat in LDHEO (from ORION module)

Transfer to Mars (NEP) and capture (Chem)

30 days crew stay on Mars

Mars escape (Chem)

Chemical stage jettisoned

Transfer to LDHEO and capture (NEP with **Venus flyby**)

Crew unboarding to ORION module)

Spacecraft mass

~280 t in LEO (w/o 37 t habitat)

(incl. 110 t Xenon + 80 t LOx/LCH₄)

~220 t at crew departure to Mars

(incl. 37 t habitat + 26 t Xenon)

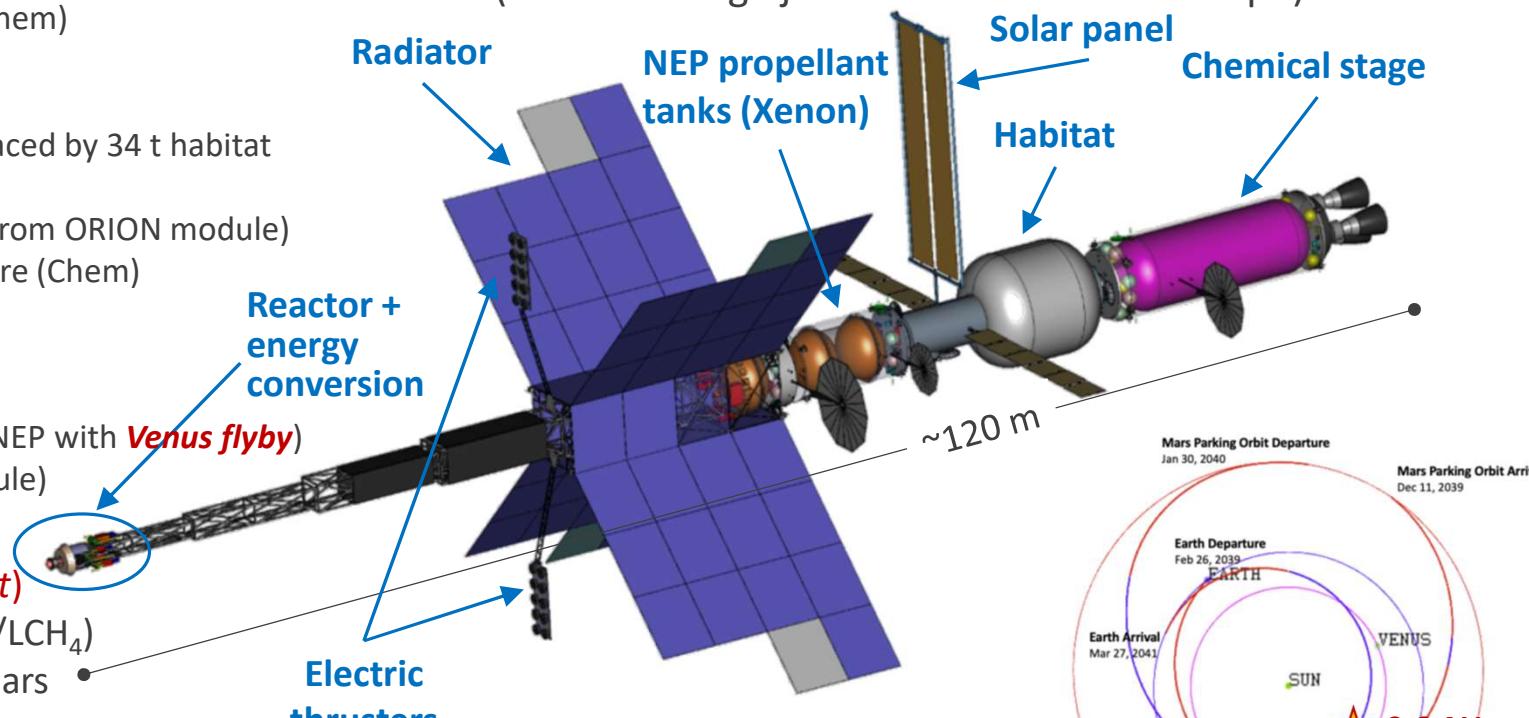
+ 59 t NEP & 20 t Chem. Prop. dry masses)

NEP module: L 24 m x D 5 m (stowed)

L 60 m x W 47 m (deployed)

1.9 MWe NEP-Chemical Vehicle (Mars Outboard Transit Configuration)

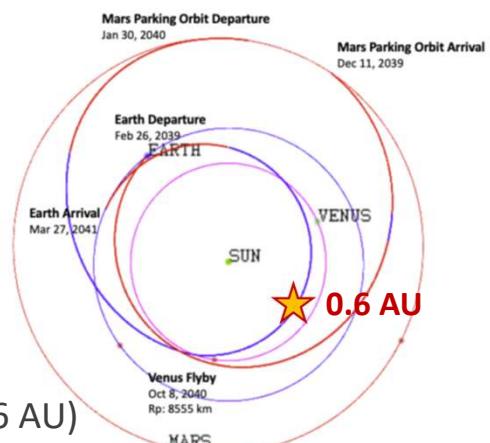
(chemical stage jettisoned after Mars escape)



Crew in-space transit: ~2 years

- outbound: 9.5 months

- inboard: 14 months (path at 0.6 AU)



Source: Compass Final Report - Nuclear Electric Propulsion (NEP)-Chemical Vehicle 1.2 (NASA/TM-20210017131) 2021

Russian 9M730 Burevestnik Missile: Nuclear Powered? Nuclear Ramjet Engine?

ALL SECTIONS SIGN IN

cnsnews THE RIGHT NEWS. RIGHT NOW. Washington National International Commentary Blog Videos

Trump Links Explosion in Russian Arctic to Putin's New, Hyped Nuclear Cruise Missile

By Patrick Goodenough | August 13, 2019 | 4:38am EDT

[T](#) [I](#) [U](#) [D](#) [E](#) [M](#) [F](#)

(CNSNews.com) – Authorities in Russia are saying little about a deadly explosion off the northern Russian coast five days ago, but President Trump on his Twitter account Monday signaled that the U.S. has linked it to a cutting-edge new cruise missile, which President Vladimir Putin has been touting.

A staffer at a nuclear museum in the closed city of Sarov with the first Soviet nuclear bomb. Behind that, the first Soviet thermonuclear bomb is visible. (Photo by Alexander Nemenov/AFP/Getty Images)

Russia Reveals 'Unstoppable' Nuclear-Powered Cruise Missile

Putin announced a new high-yield intercontinental-range cruise missile purportedly capable of penetrating any missile defense system.

By [Franz-Stefan Gady](#) March 02, 2018

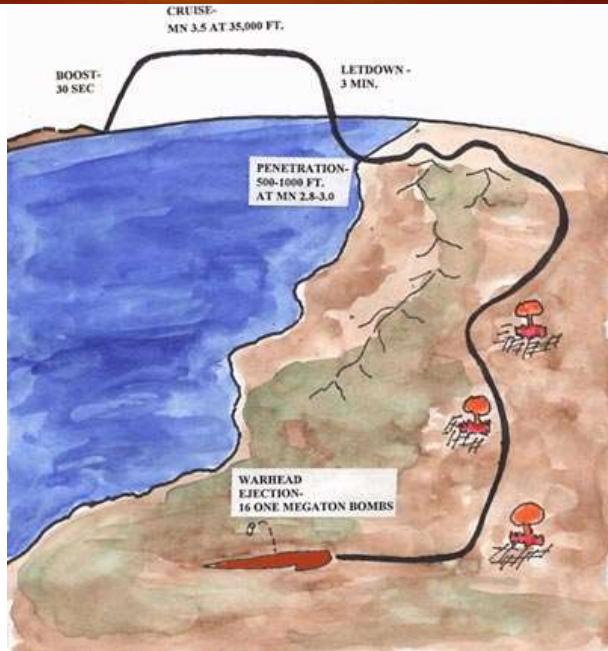
Russian President Vladimir Putin announced during his annual State of the Nation address on March 1 that the Russian defense industry has begun developing an intercontinental-range nuclear-powered cruise missile capable of penetrating any interceptor-based missile defense system.

"We've started the development of new types of strategic weapons that do not use ballistic flight paths on the way to the target. This means that the missile defense systems are useless as a counter-means and just senseless," Putin said in his speech

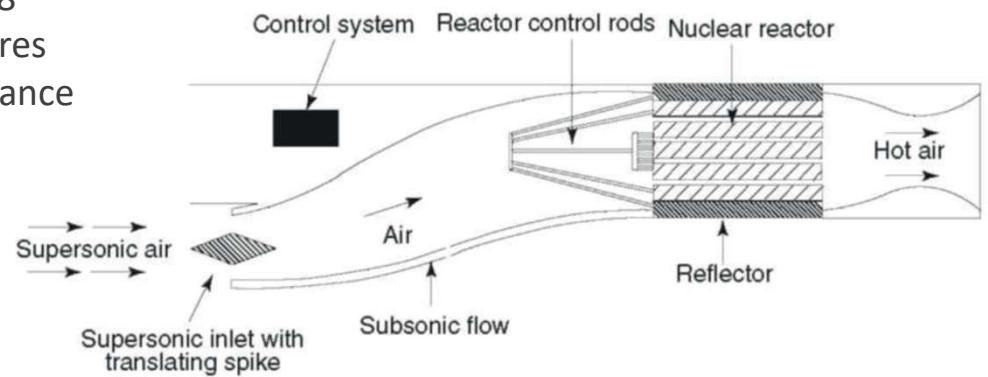
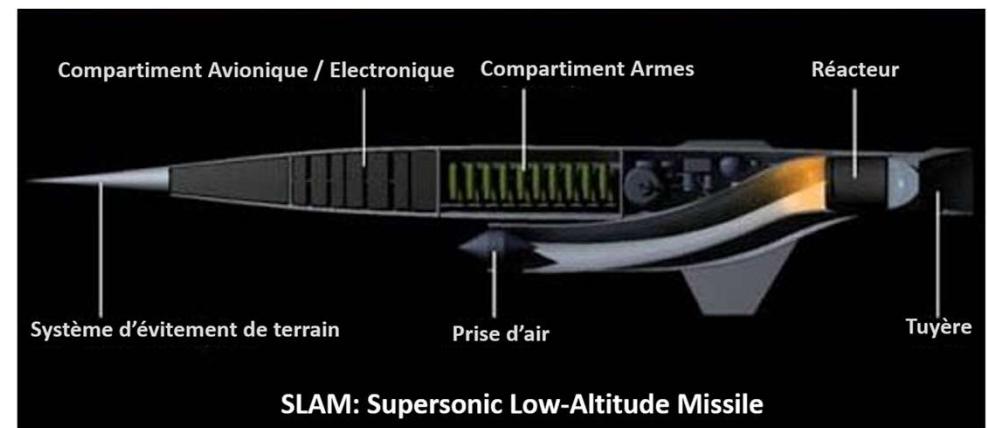


The 9M730 Burevestnik missile has unusual propulsion system with nuclear power unit

Le tout début de l'histoire: Project PLUTO (1957-1964) : Statoréacteur nucléaire pour missile supersonique basse altitude à charges nucléaires

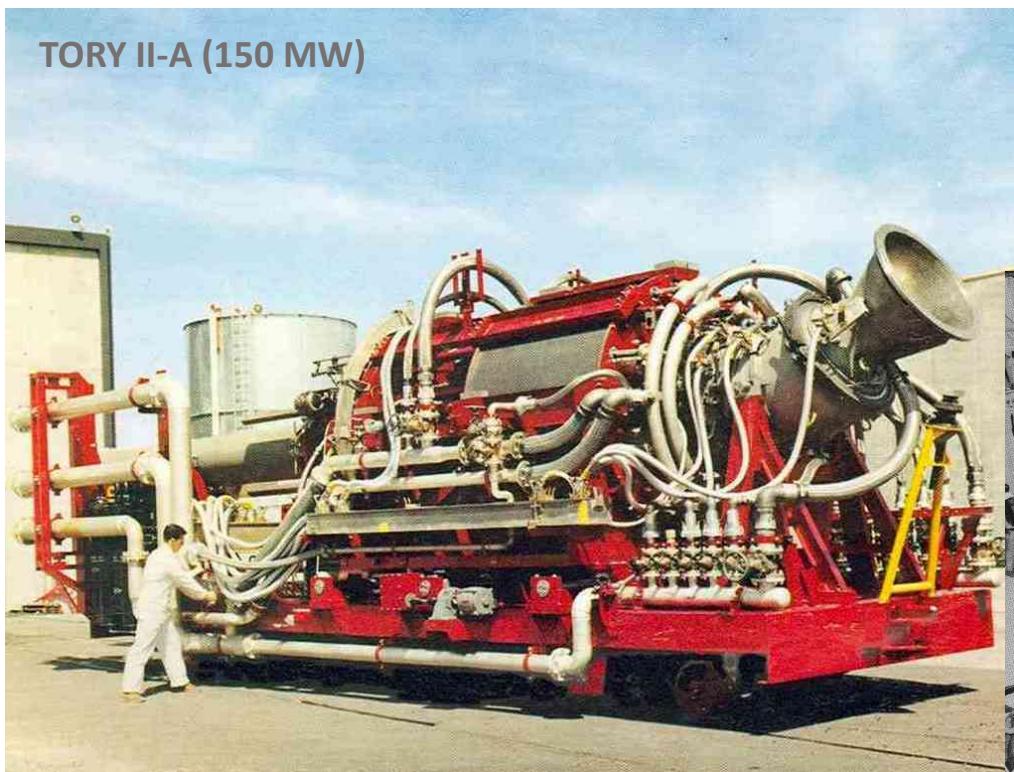


Mach 2.8
~5-10 heures
pleine puissance



Air-breathing NTP / Nuclear Ramjet Engine : Project PLUTO (1957-1964)

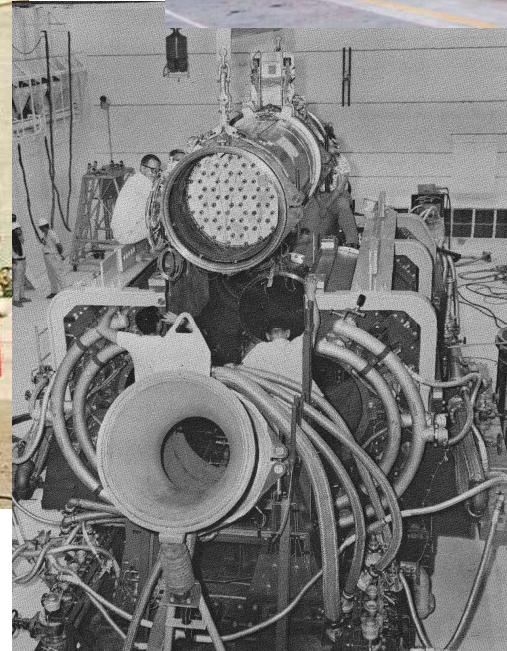
TORY II-A (150 MW)



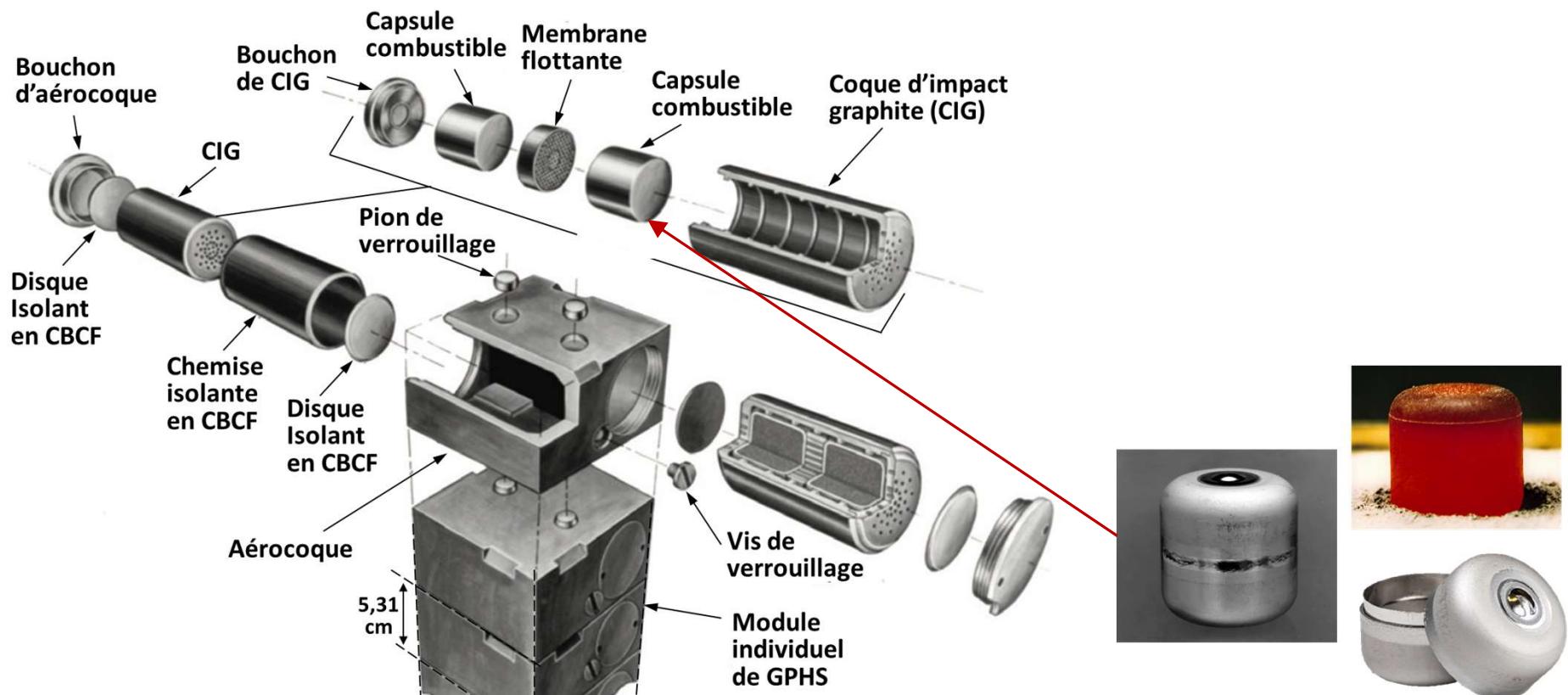
TORY II-C (600 MW)



Réacteur: $\phi 145 \times L 165$ cm
292 s à pleine puissance
 850 W/cm^3



Conception de la source chaleur radioisotopique américaine GPHS



**Capsule combustible,
renfermant une pastille de $^{238}\text{PuO}_2$
dans une gaine en alliage d'iridium**