Exploiter les ressources d'énergie de l'espace

Hommage à Peter Glaser

par

Lucien Deschamps

Président de la Commission « Astronautique » de l'Aéro-Club de France

Secrétaire Général de prospective 21OO

Conférence présidée par

Michel Tognini

Astronaute

6 Octobre 2015 à 18h30

à

Espace Fondation EDF

6, rue Récamier

F-75007 Paris

AERO-CLUB DE FRANCE

FONDATION EDF

Prospective 21OO

Sommaire

1. *Défis posés à l'humanité*
2. *Proposition du concept "SPS" (1968)*
3. *Premières vérifications (1968 - 1977)*
4. *Système de Référence (1977 – 1981)*
5. *Innovations et nouveaux projets (à partir de 1981)*
6. *SPS et l'environnement*
7. *Aspects societaux et Institutionels*
8. *Dynamique internationale (à partir de 1991)*
9. *Nouvelles évaluations (depuis 1995)*
10. *Vers un futur développement, Conclusion*

1. Défis posés à l'humanité

Défis posés à l'Humanité au 21ème siècle

Notre planète, de dimension finie, devra faire face à une augmentation importante de sa population : 2,5 milliards en 1950, 6 milliards en 2000, 9 milliards en 2050 !

De grands défis sont posés :

- Disponibilité de l'eau,

- Satisfaction des besoins alimentaires,

- Ressources énergétiques.

- Réchauffement climatique.

Problème énergétique global

1. Les besoins futurs d'énergie sont énormes et excèdent les ressources fossiles disponibles et l'énergie de fission,

2050: Demande 20 à 25 Gtep ? Disponibilité fossiles: 12,5 Gtep
(en 2012: 13,3 Gtep dont 10,9 de fossiies , 1,75 ENR et 0,65 Nucléaire)

2. Les pays en voie de développement auront besoin d'une grande quantité d'énergie économique :

Minimum pour la santé : 0,5 tep, Entrée dans le développement : 1,5 à 2 tep, IDH optimal 3 tep

3. La protection de l'environnement constitue une priorité.

Contenir le réchauffement climatique, …

➔ Besoin de nouvelles sources d'énergie abondantes, propres et économiques et de réseaux . Toutes les techniques doivent être explorées

Que peuvent offrir les techniques spatiales ?

Atouts et ressources de l'espace :

1. *Le recul par rapport à la Terre,*
2. *La mécanique céleste : orbite géostationnaire, points de Lagrange, microgravité et gradient de gravité, etc*
3. *L'environnement spécifique : le vide, le vent solaire, le champ électromagnétique, etc*
4. *La disponibilité quasi permanente de l'énergie solaire,*
5. *La présence d'astéroïdes et de planètes représentant un réservoir important de matériaux extraterrestres. :*

2. Proposition du concept

Exploiter les ressources d'énergie de l'espace: les origines

- *"Presque toute l'énergie du soleil est inutilement gaspillée pour ce qui concerne l'humanité, la Terre ne recevant que deux milliardièmes de ce que le Soleil émet. Qu'y a-t-il de si étrange dans l'idée d'utiliser cette énergie? Qu'y a-t-il de si singulier dans la pensée de pénétrer l'espace infini entourant notre Terre?"*
Konstantin E. TSIOLKOVSKI, 1925

- *Publication de science fiction: "Reason" suggérant d'alimenter des planètes en énergie par micro-ondes à partir de satellites,*
Isaac ASIMOV, 1941

- *Proposition du concept de centrale solaire spatiale*
Peter GLASER, 1968

Proposition du concept SPS

- ***1968 : Proposition du concept par Peter GLASER***

  SPS: Solar Power Satellite

  (A. D. Little – USA),

  « Power from space : its future »

  Science, n°162, pages 857 to 868, year 1968

- ***1973 : Prise d'un brevet.***

Peter Glaser

1923 - 2014

Vice Président Technologies Avancées,
Arthur D. Little, Inc

- Né en Tchécoslovaquie en 1923, il émigre aux USA et fait des études d'ingénierie mécanique à l'Université de Columbia: MS and PhD en 1948

Grand ingénieur, inventeur et visionnaire, Dr Peter Glaser est particulièrement connu comme l'inventeur du concept "Centrale solaire spatiale" présenté dans la Revue Nature en 1968.

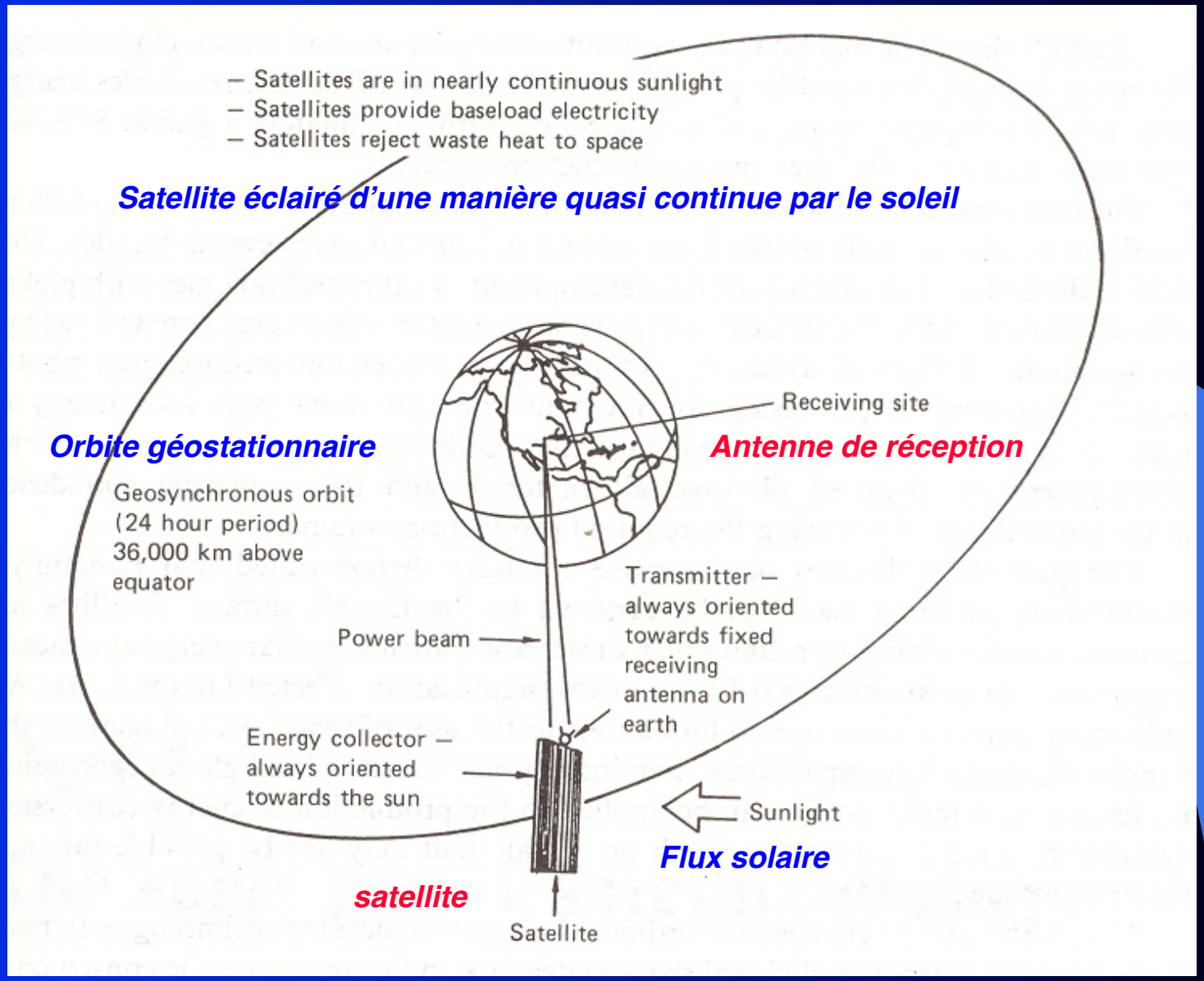
Il a par ailleurs dirigé d'importants projets du programme Apollo et de la Navette spatiale : Télémétrie Laser de la mission Apollo 11. Réflecteur installé sur la Lune le 20 Juillet 1969 et toujours en service et en 1986 effets gravitationnels sur les cellules sanguines: Navette, Mission STS 61C.

Il a fondé le Sunsat Energy Council en 1978, une ONG associée à l'ONU. L'IAF créa en 1993 la conférence plénière annuelle "Peter Glaser Lecture".

Peter Glaser fut admis au "Space Technology Hall of Fame" de la "Fondation Espace" des USA en 1996.

Avec Peter Glaser en Mai 2007

Centrale Solaire Spatiale
Solar Power Satellite (SPS)



Centrales solaires terrestres / Centrales solaires spatiales

Characteristiques	Terre	Espace
Flux solaire (W/m^2)	1 000	1 340
Nombre d'heures d'ensoleillement	2 800	8 500
Energie reçue annuellement par m^2 de cellule (kWh)	1 500 (Cellules horizontales) 2 500 (Cellules orientées)	11 500
Rendement*	0,08	0,065
Energie produite annuellement par ha sur Terre (kWh)	$0,5 \cdot 10^6$ soit 43 tep/ha	$4 \cdot 10^6$ soit 350 tep/ha

**** Rendement = Energie délivrée au réseau / Energie captée par les cellules***

Centrales solaires spatiales : des atouts

1. **Ressource d'énergie inépuisable,**

2. **Mise en œuvre d'une énergie de base,**
   Pas d'alternances jours / nuits / saisons / nébulosités, …

3. **Production très faible de CO^2,**
   0,02 kg de CO2 / kWh, …

3. **Surface au sol plus faible que le solaire terrestre,**
   8 à 10 fois plus faible pour une même énergie collectée,

6. **Rejets thermiques faibles au sol.**
   Rendement antenne 88%, Conversion hyper / CC : 89%, CC / CA : 97%

4. **Pas besoin d'eau de refroidissement au sol.**

3. Premières vérifications (1968 - 1977)

Premières vérifications (1968 - 1977)

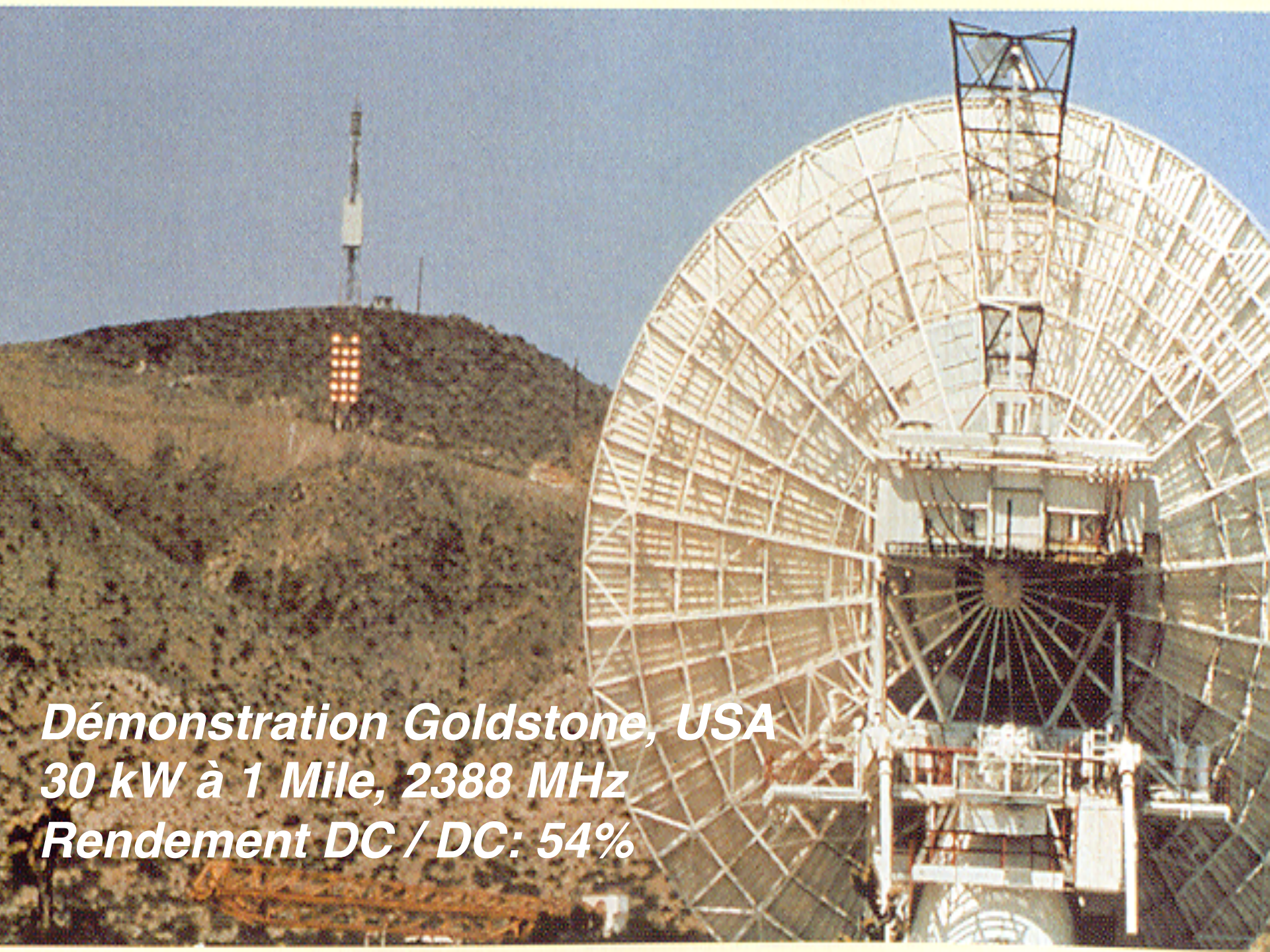
- 1968-1972 - Premières évaluations par NASA/DOE/NRC
  ➪ Pas d'obstacle absolu

- 1974 - Problèmes clés identifiés par la NASA

- 1975 - Expérimentation TESF
  Goldstone - Désert de Mojave - 30 kW - 1,6 km -
  2 388 MHz
  Rendement cc/cc = 54 %

- 1976 - Proposition du " Concept Development and Evaluation program" (CDEP) par l' ERDA* (DOE)
  (Etude de référence - 19 M$ (1977) sur 3 ans)

* US Deparment of Energy, Energy Research and Development Administration


Démonstration Goldstone, USA
30 kW à 1 Mile, 2388 MHz
Rendement DC / DC: 54%

4. Système de référence (1977 - 1981)

Concept Development and Evaluation Program
(19,1 M$ 1977 – près de 80 M$ 2015)

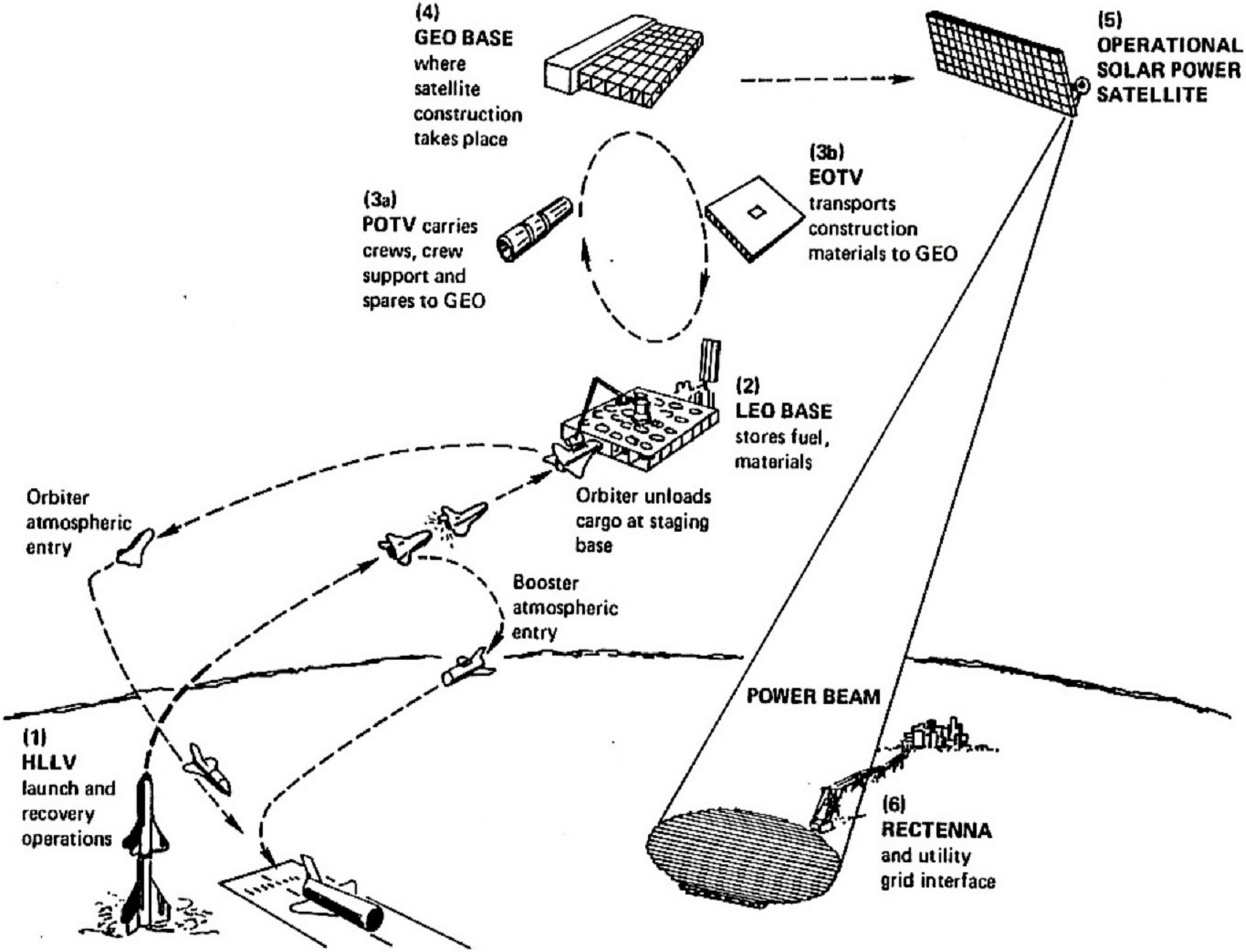
OBJECTIF : **Etablir pour les années 80, une première évaluation de la faisabilité technique, économique et de l'acceptabilité sociétale et environnementale du Concept de "centrale solaire spatiale" (SPS)".**

Système de référence: 1977 - 1981

(Concept Development and Evaluation Program – 19,1 M$ 77, près de 80 M$ 2015)

60 Centrales spatiales – Puissance unitaire au sol : 5 GWe

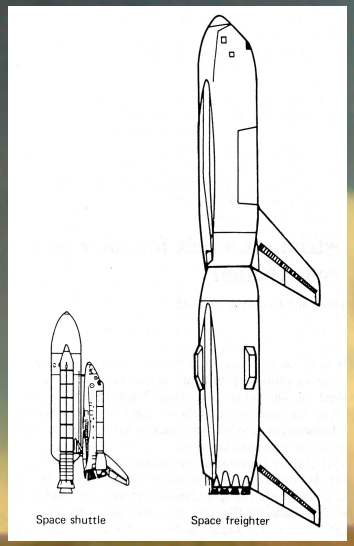
- ***Production*** — Cellules solaires Si ou As.Ga – Satellites géostationnaires *(10 km x 5 km x 0,5 km – 35 à 50 000 tonnes)*
- ***Transmission*** — Micro-ondes = 2,45 GHz – Klystrons – Antenne = 1 km^2
- ***Reception***
  - Rectenna = 85 km^2 pour 5 GW
  - Densité maximale d'énergie = 23 mW / cm^2
- ***Transport*** — Terre ⇒ LEO = HLLV – 100 à 400 tonnes
  LEO ⇒ GEO = EOTV – 4 000 à 5 000 tonnes
  Navettes pour le personnel.
- ***Construction*** — 2 centrales / an – 600 ouvriers dans l'espece
  Maintenance : 240 personnes
- ***Coûts***
  - Investissement initial = 102,4 milliards de Dollars
  - Couts variables = 11,3 milliards de Dollars par centrale
  - 1 200 – 3 500 $ / kW (1981)
  - 2 – 2,5 Cents / kWh (1981)


(4)
GEO BASE
where satellite construction takes place
(5)
OPERATIONAL SOLAR POWER SATELLITE
(3b)
EOTV
transports construction materials to GEO
(3a)
POTV carries crews, crew support and spares to GEO
(2)
LEO BASE
stores fuel, materials
Orbiter atmospheric entry
Orbiter unloads cargo at staging base
Booster atmospheric entry
POWER BEAM
(1)
HLLV
launch and recovery operations
(6)
RECTENNA
and utility grid interface

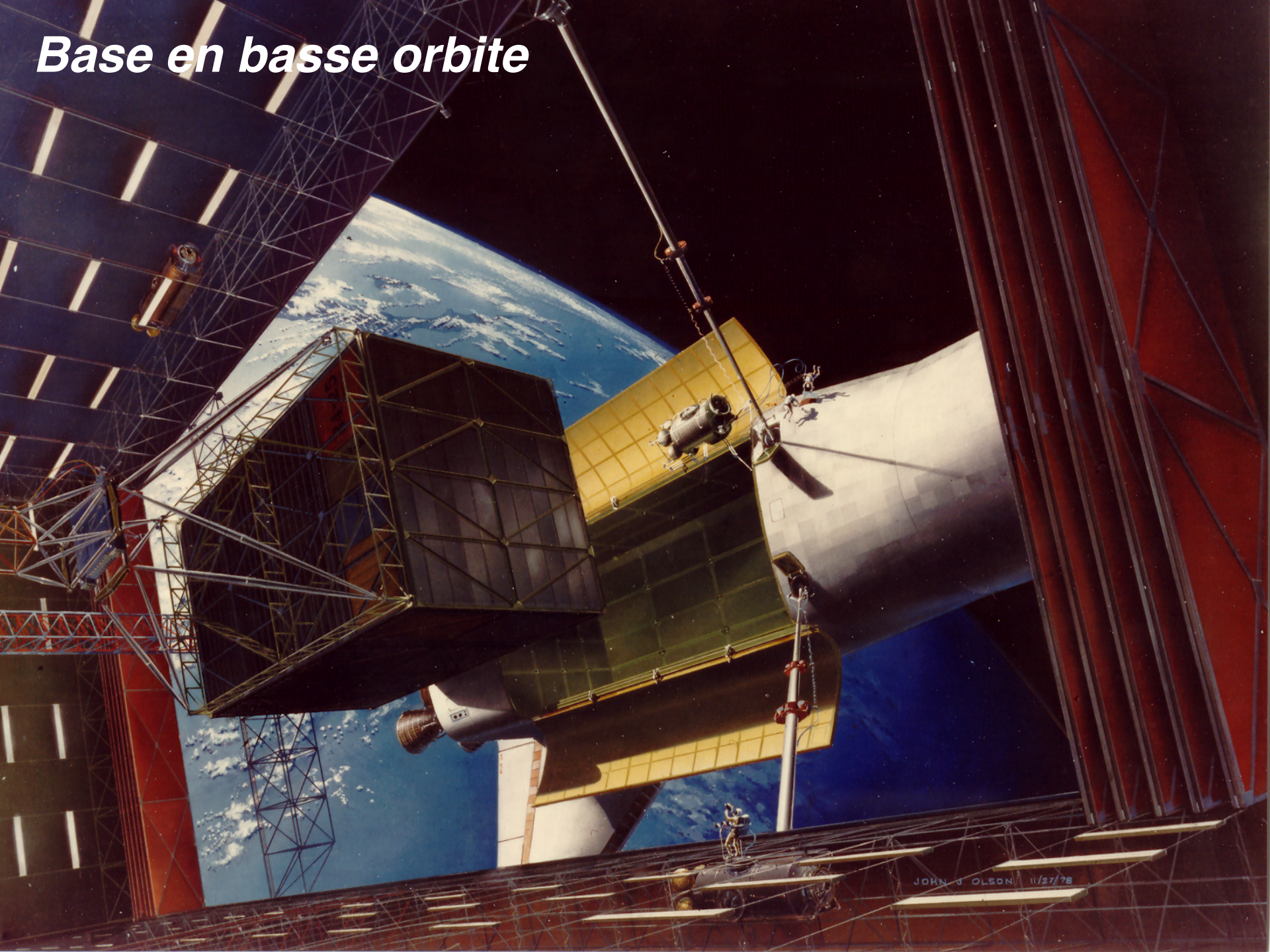
HLLV Charge utile : 250 tonnes (Projet Boeing)

Lancement lourd en basse orbite

Retour au sol de l'orbiter



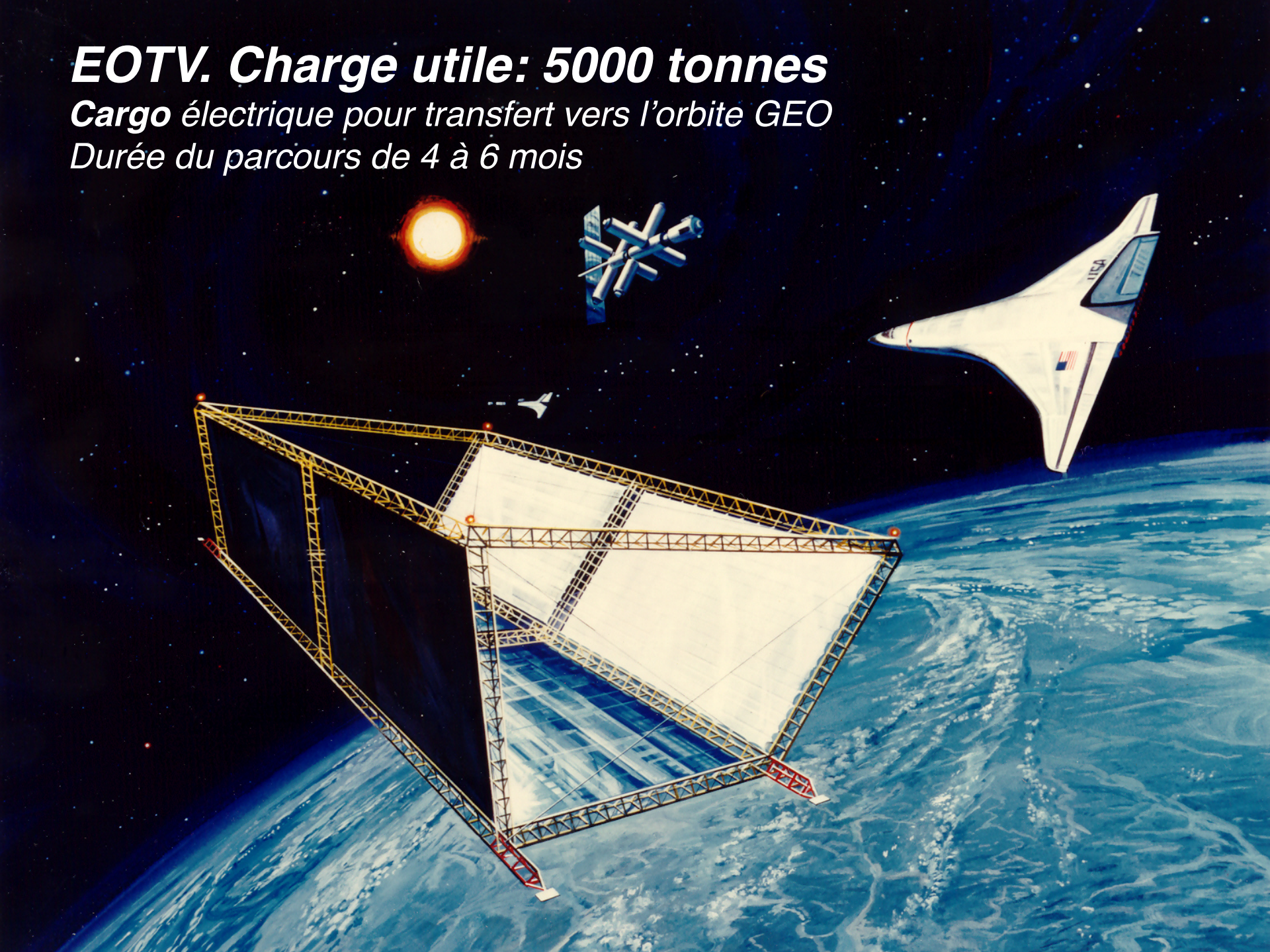
Base en basse orbite

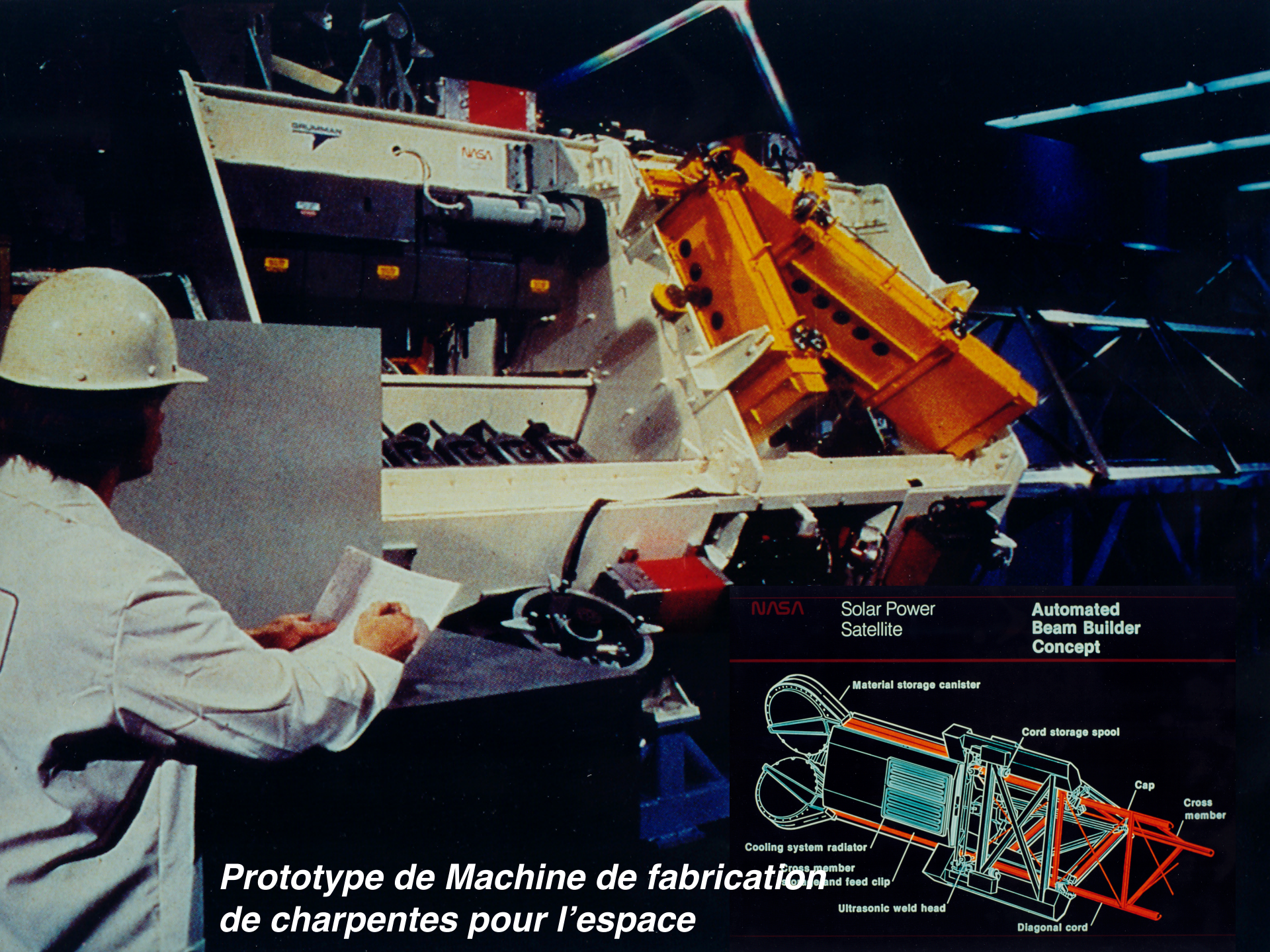


EOTV. Charge utile: 5000 tonnes

***Cargo** électrique pour transfert vers l'orbite GEO*

Durée du parcours de 4 à 6 mois



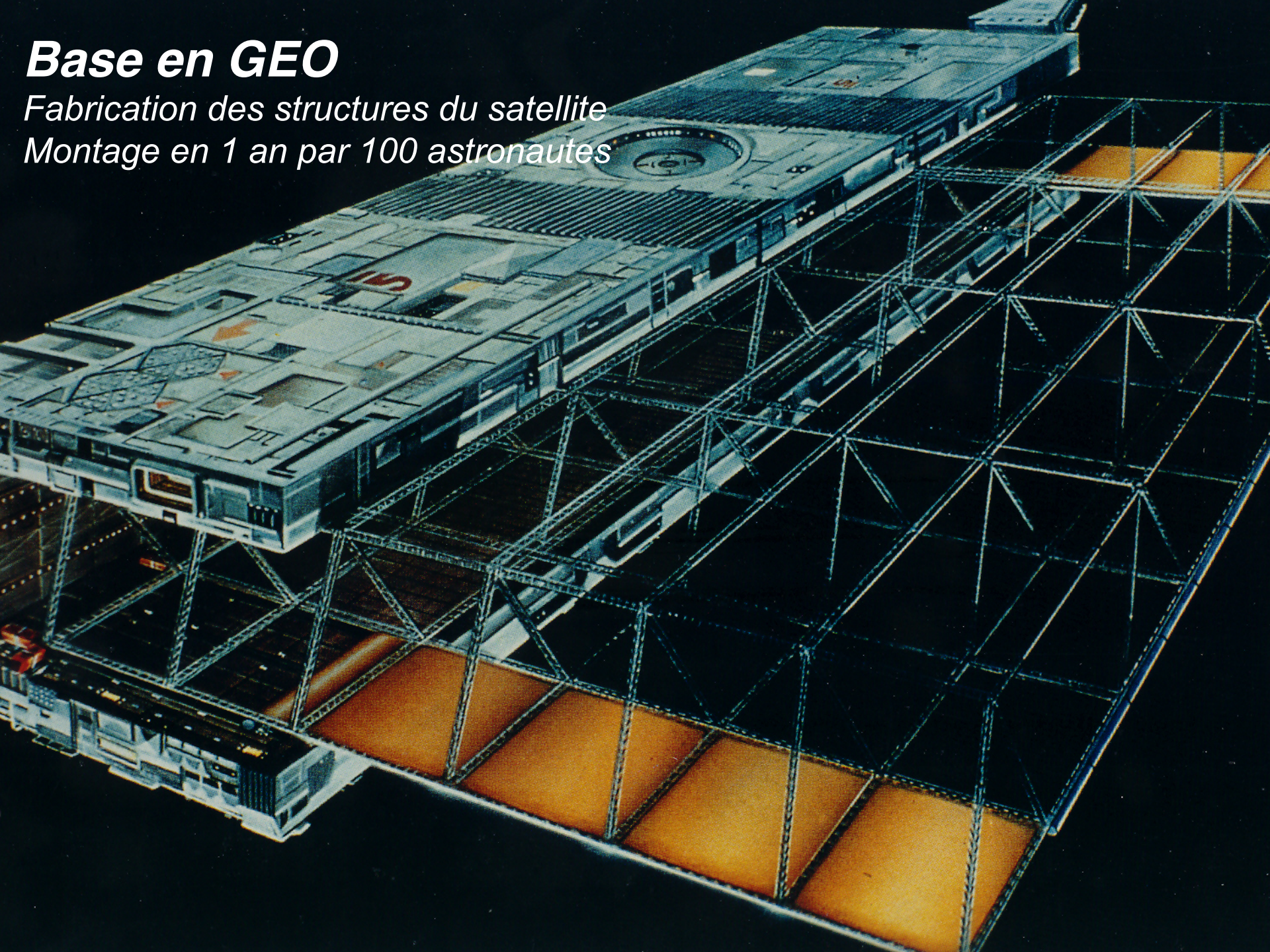


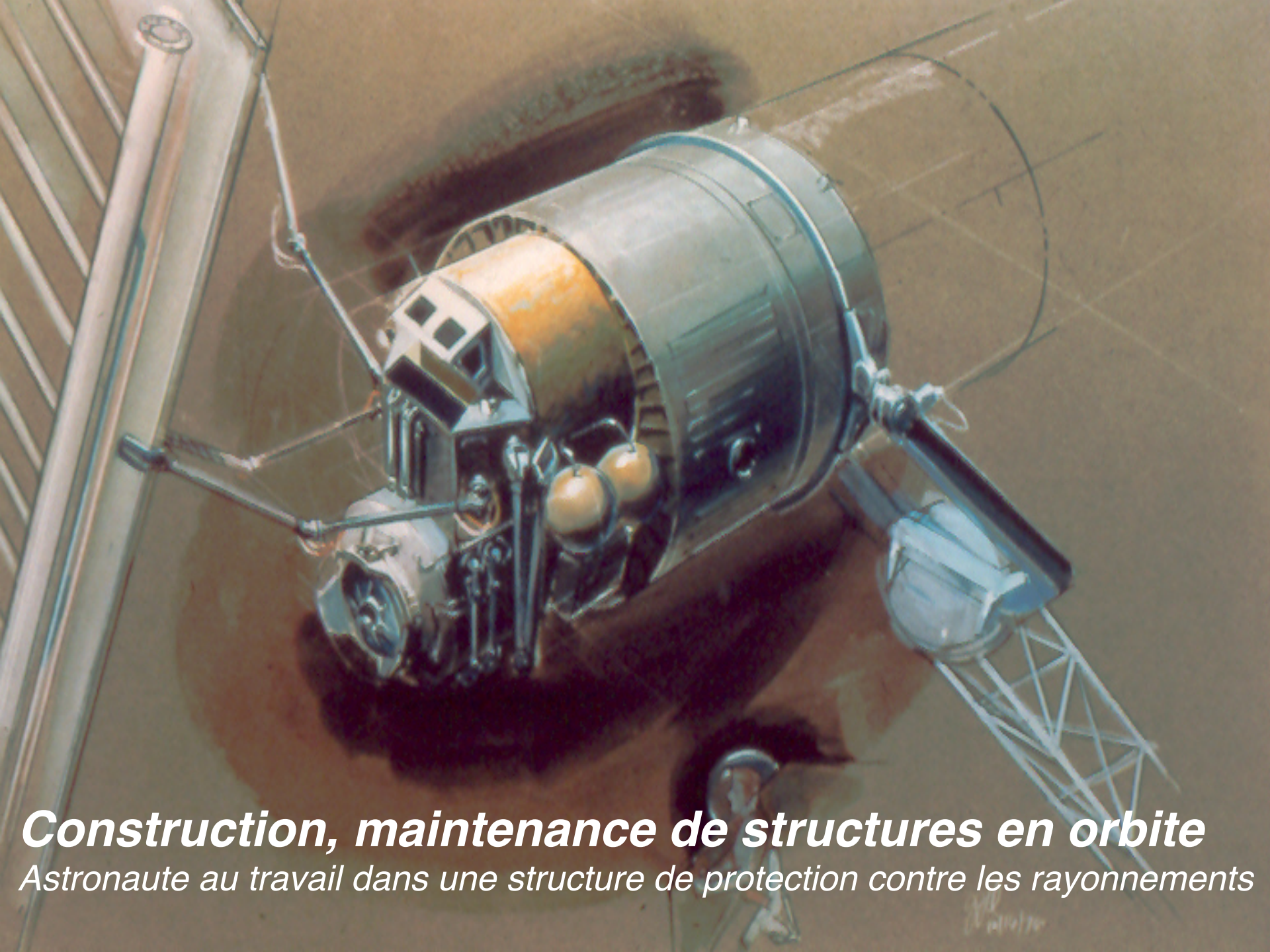
Prototype de Machine de fabrication de charpentes pour l'espace

Base en GEO

Fabrication des structures du satellite

Montage en 1 an par 100 astronautes





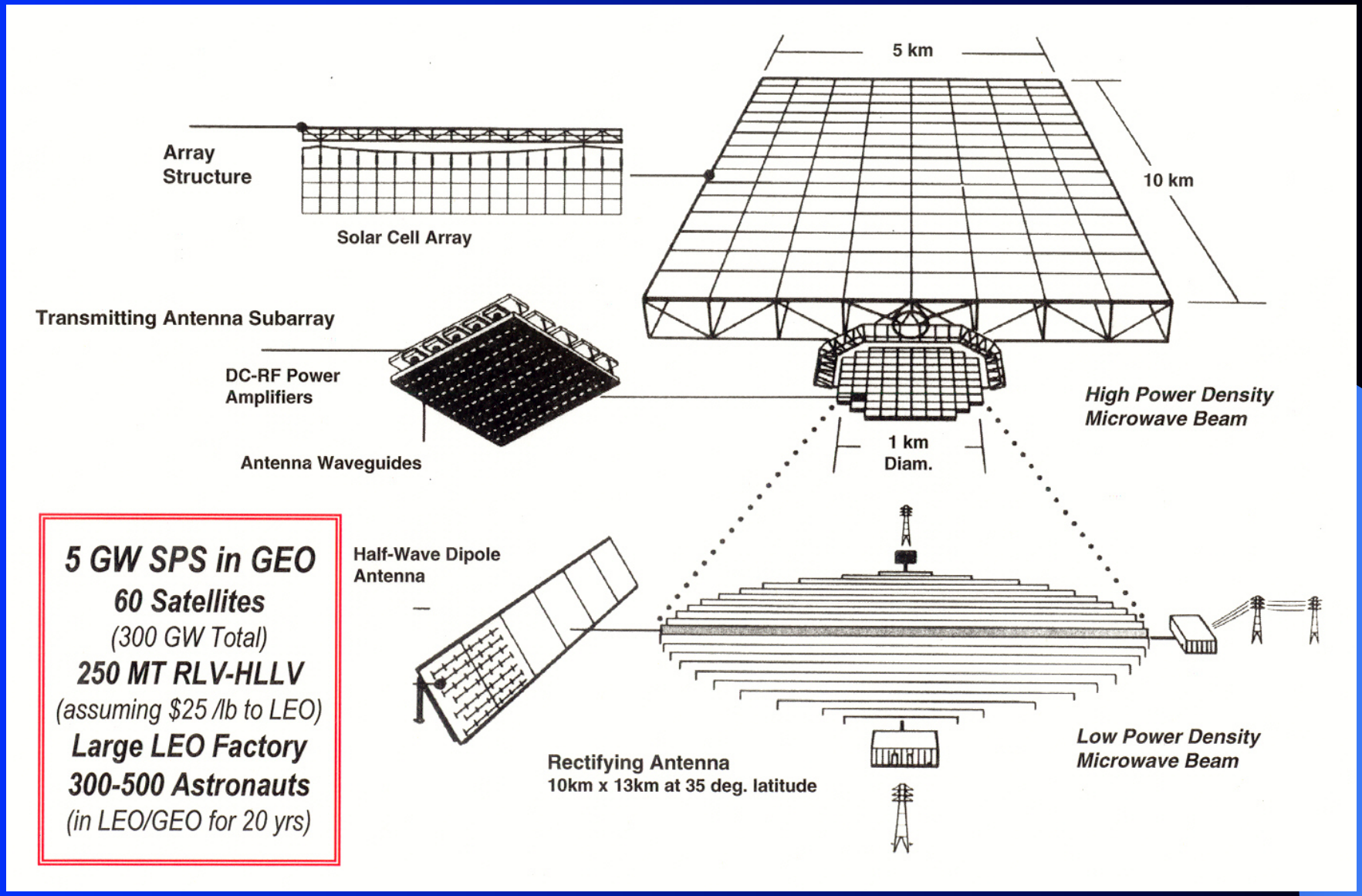
Construction, maintenance de structures en orbite

Astronaute au travail dans une structure de protection contre les rayonnements

Système de référence: 1977 - 1981

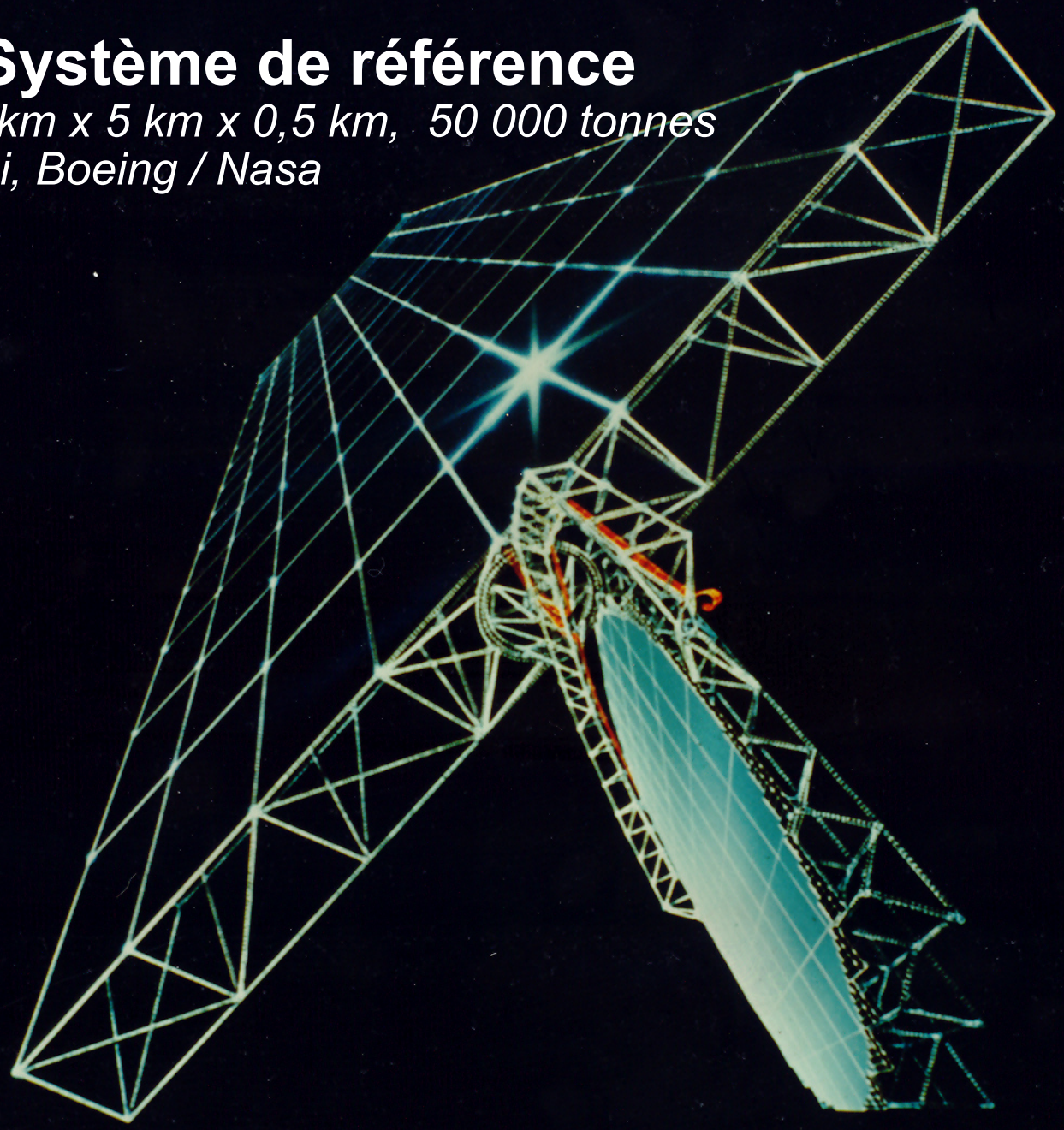
(Concept Development and Evaluation Program – 19,1 M$)

60 Centrales – Puissance unitaire : 5 GW



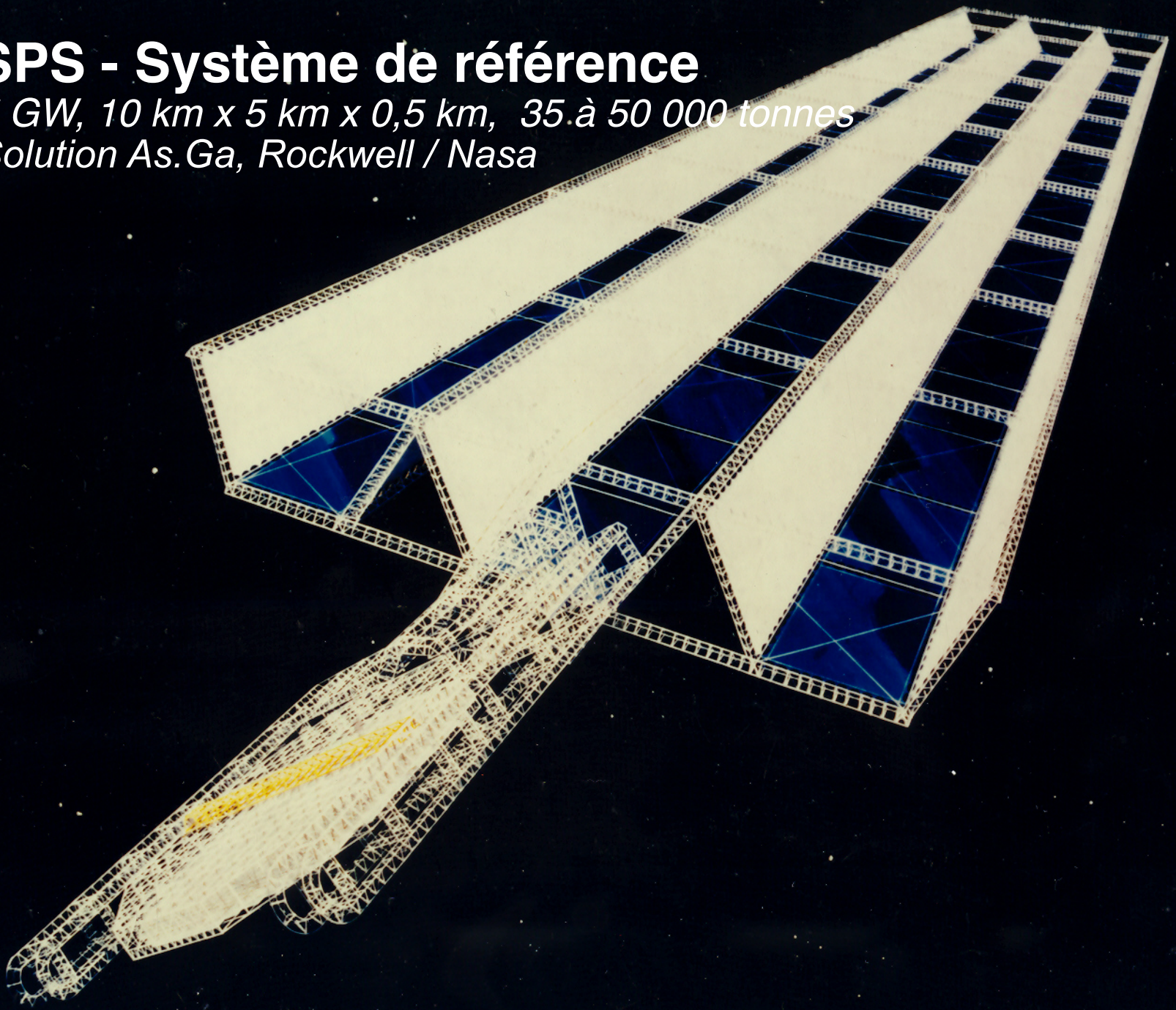
SPS - Système de référence

5 GW, 10 km x 5 km x 0,5 km, 50 000 tonnes
Solution Si, Boeing / Nasa



SPS - Système de référence

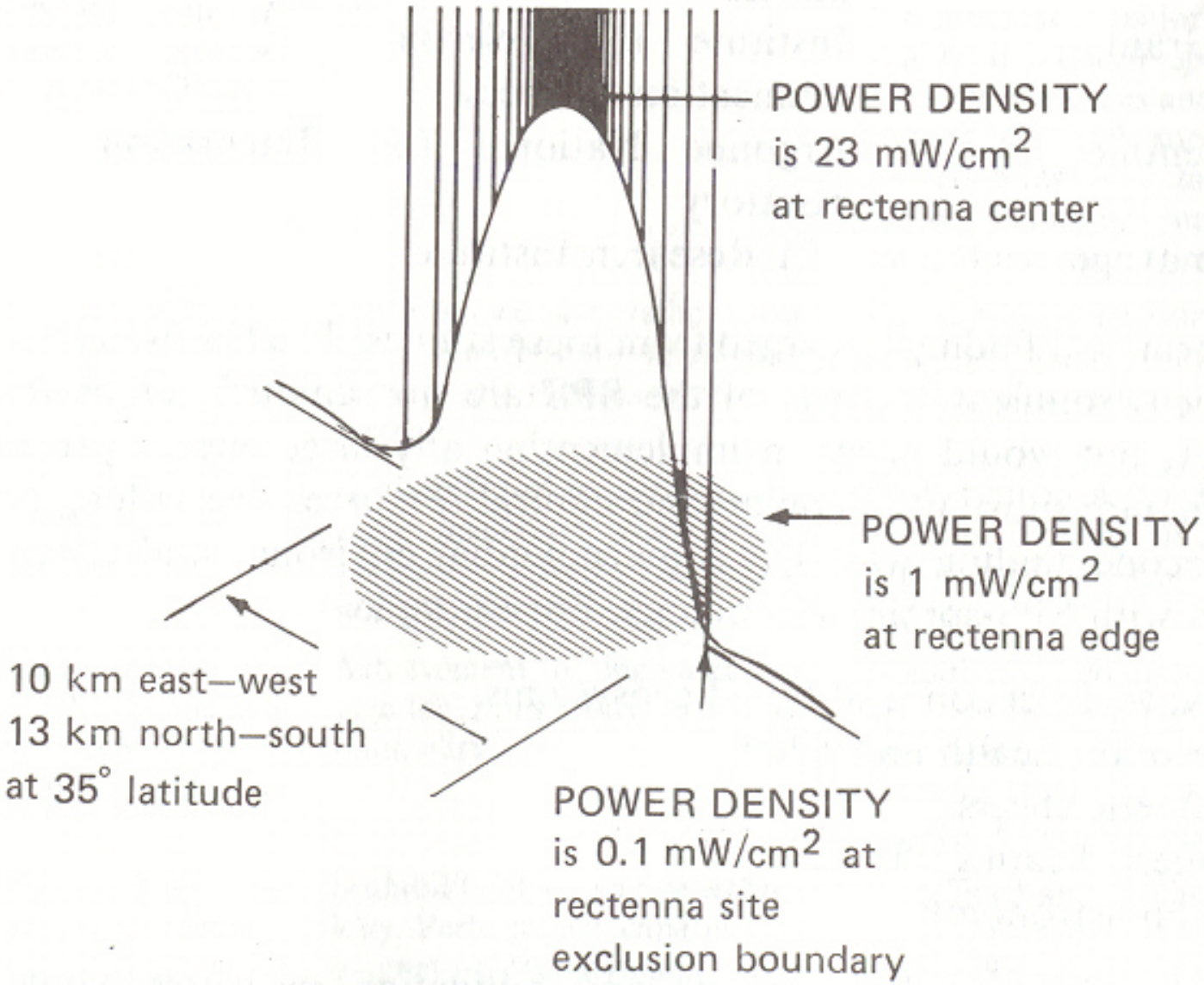
5 GW, 10 km x 5 km x 0,5 km, 35 à 50 000 tonnes
Solution As.Ga, Rockwell / Nasa



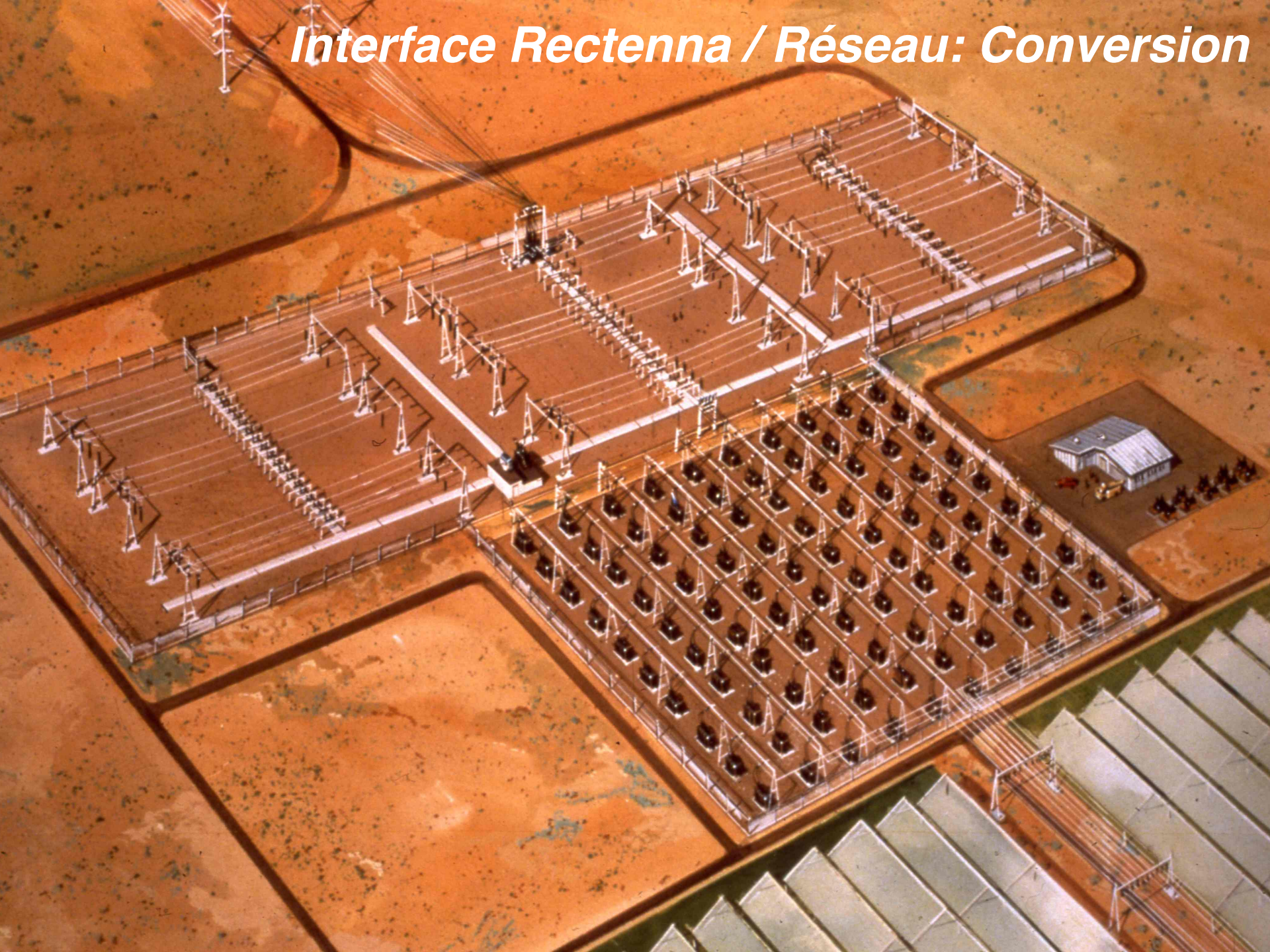
Rectenna

Système de référence: densité d'énergie

Au niveau de l'antenne de réception



Interface Rectenna / Réseau: Conversion



Conclusion du programme CDEP (1981)

Concept Development and Evaluation Program (DOE, USA)

1) ***Les études effectuées n'ont pas identifié de problèmes majeurs susceptibles d'empêcher la réalisation de centrales solaires spatiales sur les plans technique, économique, environnemental et sociétal.***

2) ***D'importants progrès techniques sont envisageables et devraient renforcer l'intérêt de ce concept dans le futur.***

5. Perspectives d'évolution des techniques (depuis 1981)

Evolution des Techniques

1. **Nouvelles technologies et concepts nouveaux,**

   Structures gonflables, supraconducteurs, câbles (tethers), composites, modulaires, biomimétiques,,…

2. **Technologies avancées de cellules solaires,**

   Cellules mulispectrales

3. **Amélioration des techniques de TESF (WPT),**

   Emetteurs solides, sandwichs avec cellules solaires, Lasers, ….

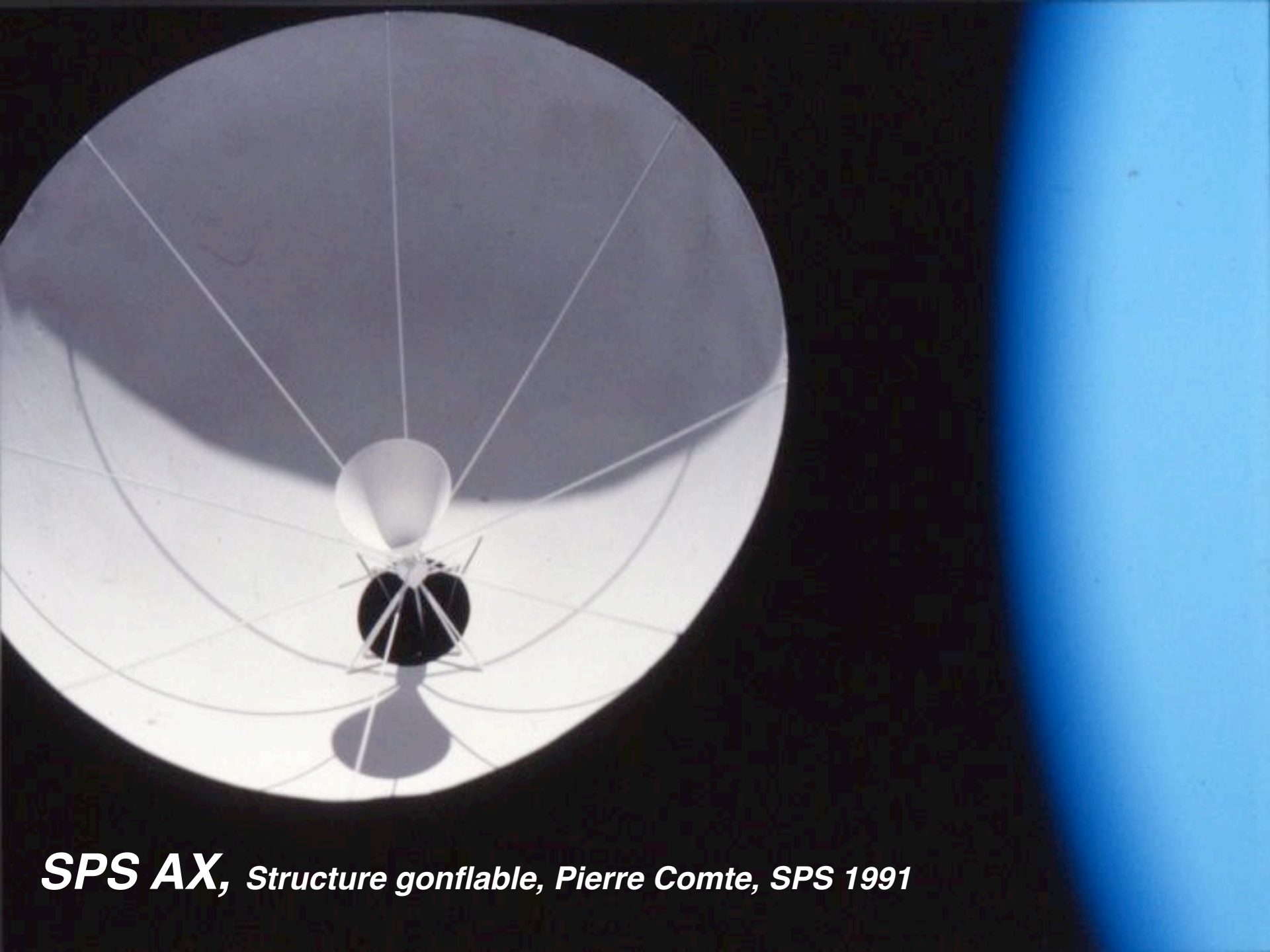
4. **Recherches sur les lanceurs,**

   Perspectives de Non Récupérables fabriqués en grande série, Récupérables, Mono-étages, Assistance EM, Lanceurs EM, …

5. **Evolution des techniques de robotique** *(Aujourd'hui plus de 30 degrés de liberté, …),* **de construction, impression 3D, ...**

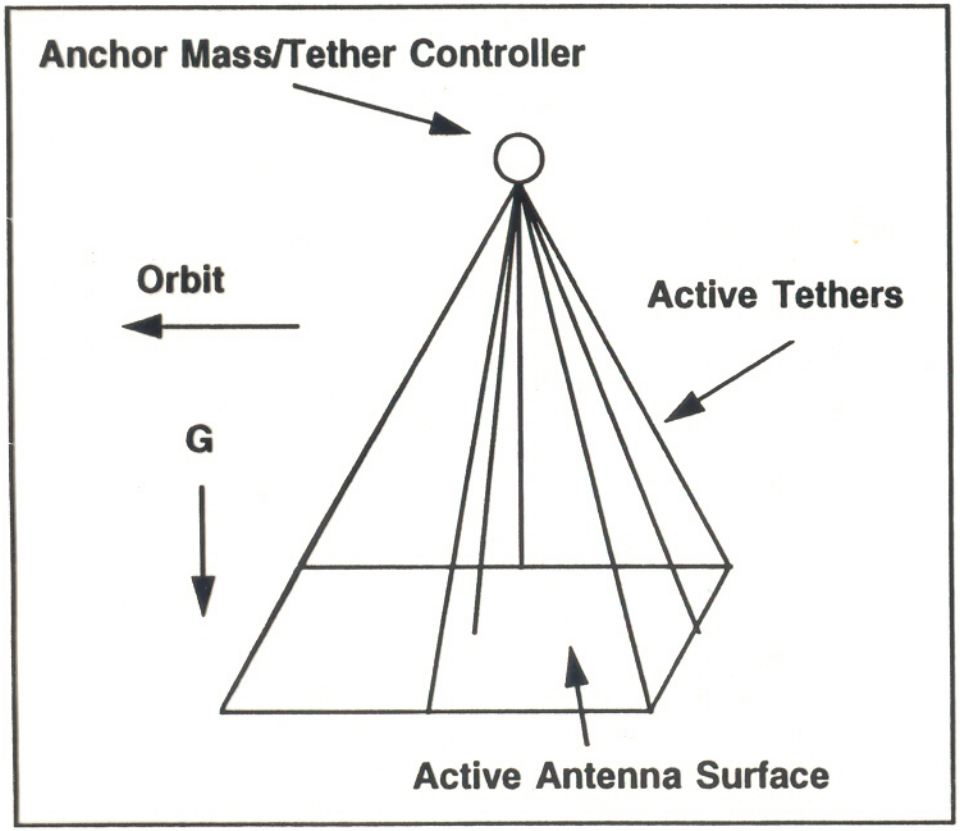
6. **Perspectives des matériaux extraterrestres.**

   Lune, Astéroïdes: SPS, LPS, He_3, ···



SPS AX, ***Structure gonflable, Pierre Comte, SPS 1991***

Structure "Marionette"

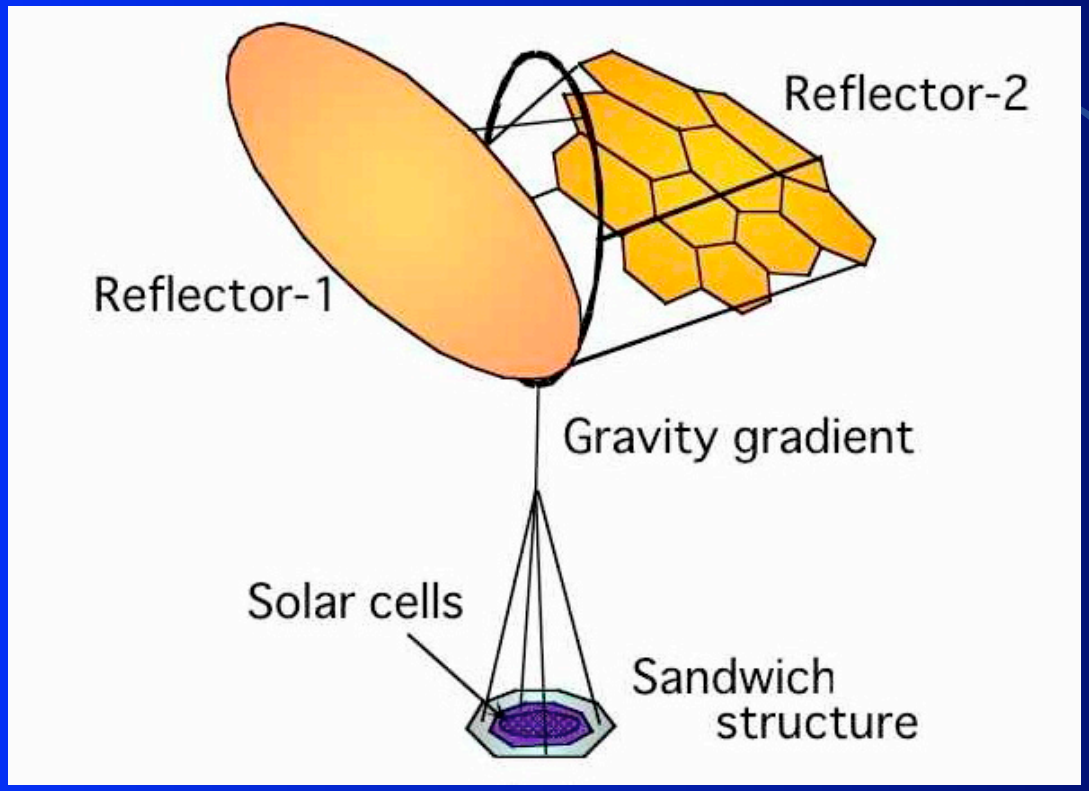


"Marionette" Space Structure Concept

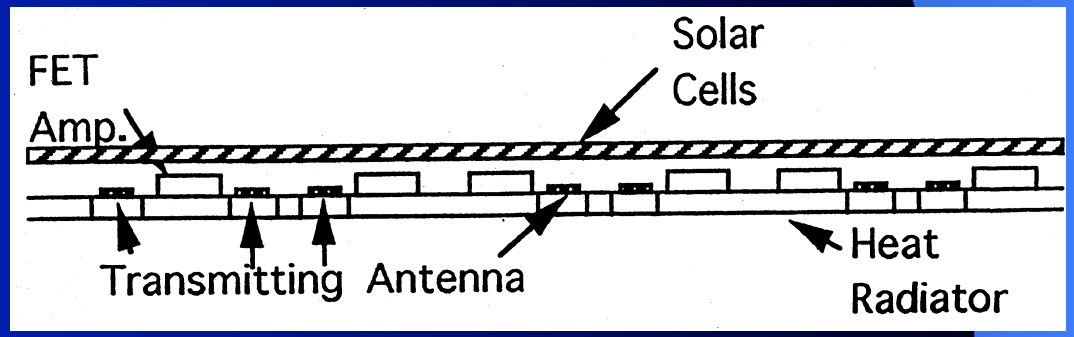
- Gravity-Gradient Active Space Structures Promise Dramatic Reductions in Satellite Mass
- Surface Precision and Pointing Can Be Controlled By Individual Tether Length Adjustment
- Control Laws And Position Sensing Techniques Required To Account For Large Size (km) And Lag Times In Communication And Mechanical Response
- Applicable to MW Mirrors or SPS
- Test Beds Need to Be Developed To Verify Analytical Models

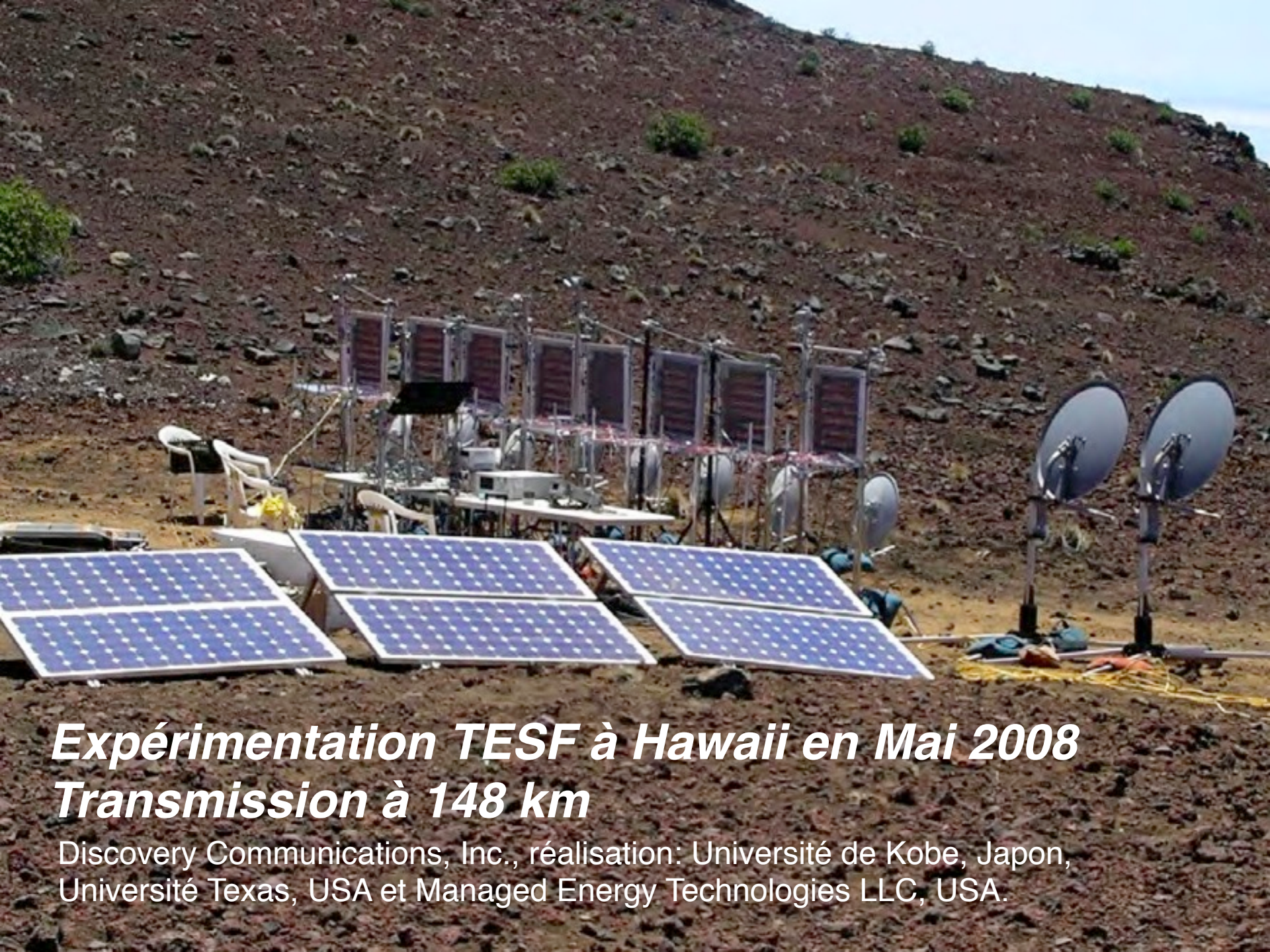
Rockwell International
Space Systems Division

Nouvelle structure innovante



Structure « Sandwich »

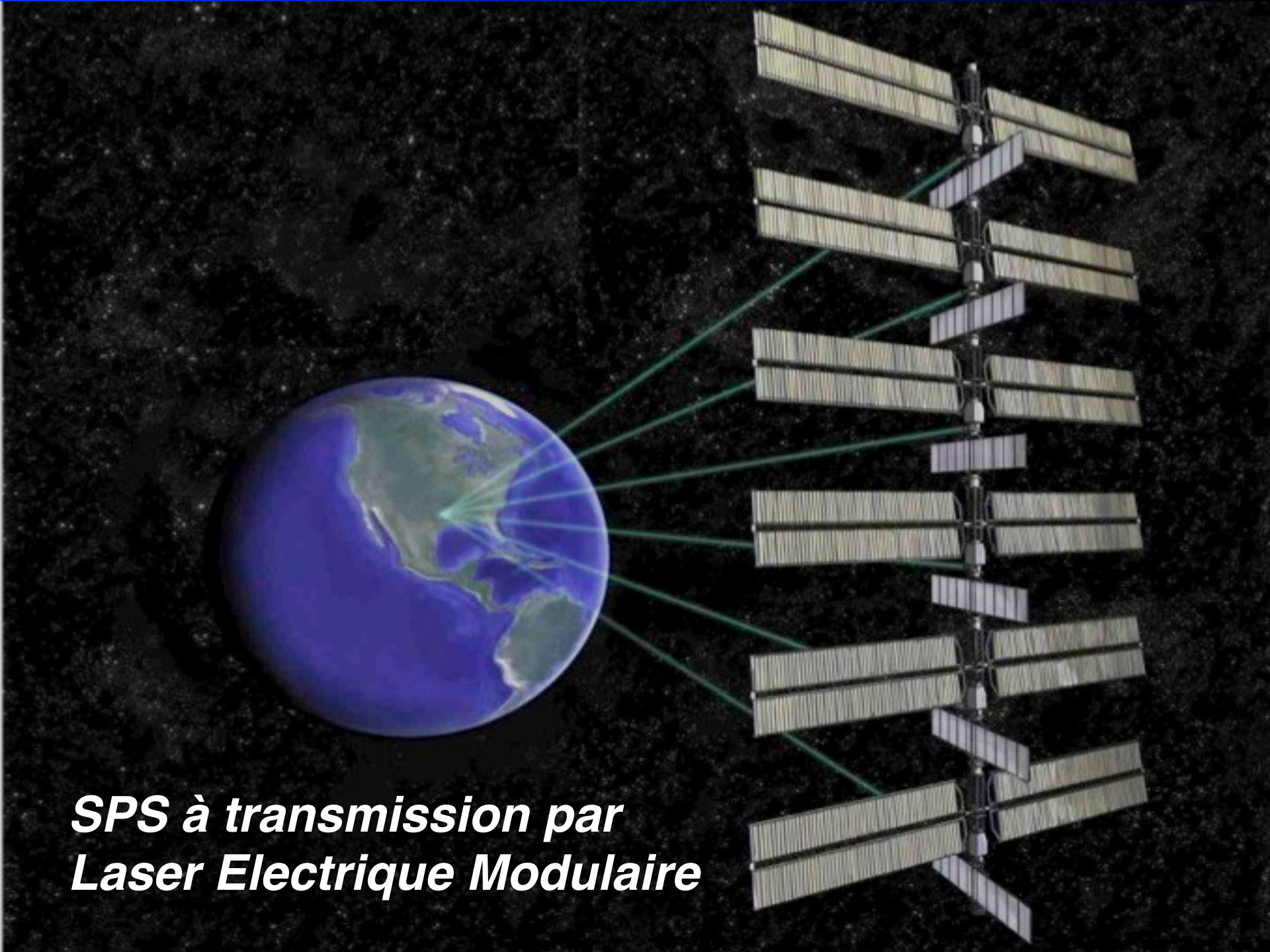




Expérimentation TESF à Hawaii en Mai 2008
Transmission à 148 km

Discovery Communications, Inc., réalisation: Université de Kobe, Japon, Université Texas, USA et Managed Energy Technologies LLC, USA.

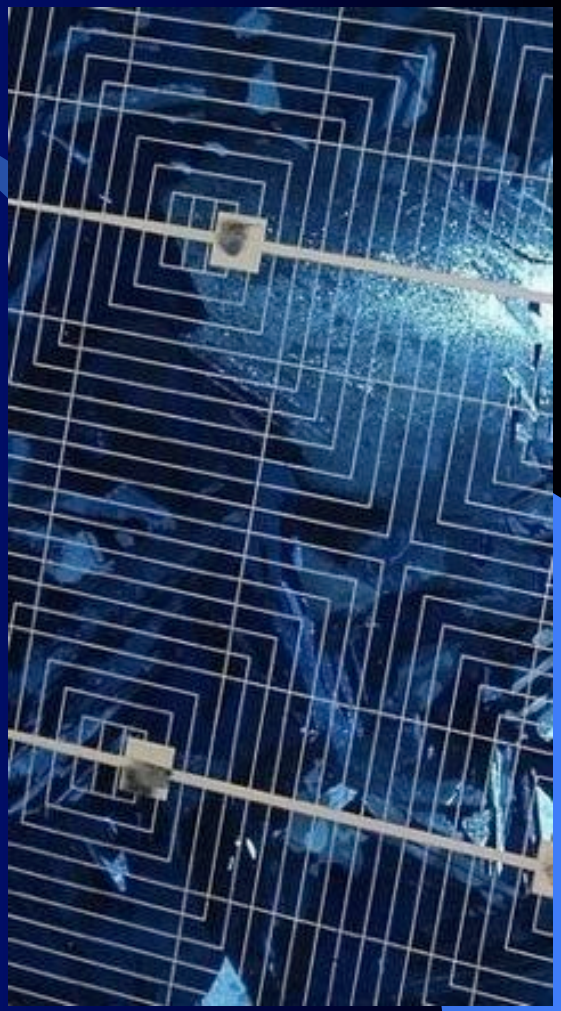
Expérimentation TESF au Japon en Mars 2015
Transmission de 1,8 kW à 55 m (JAXA)


SPS à transmission par
Laser Electrique Modulaire

Cellules solaires

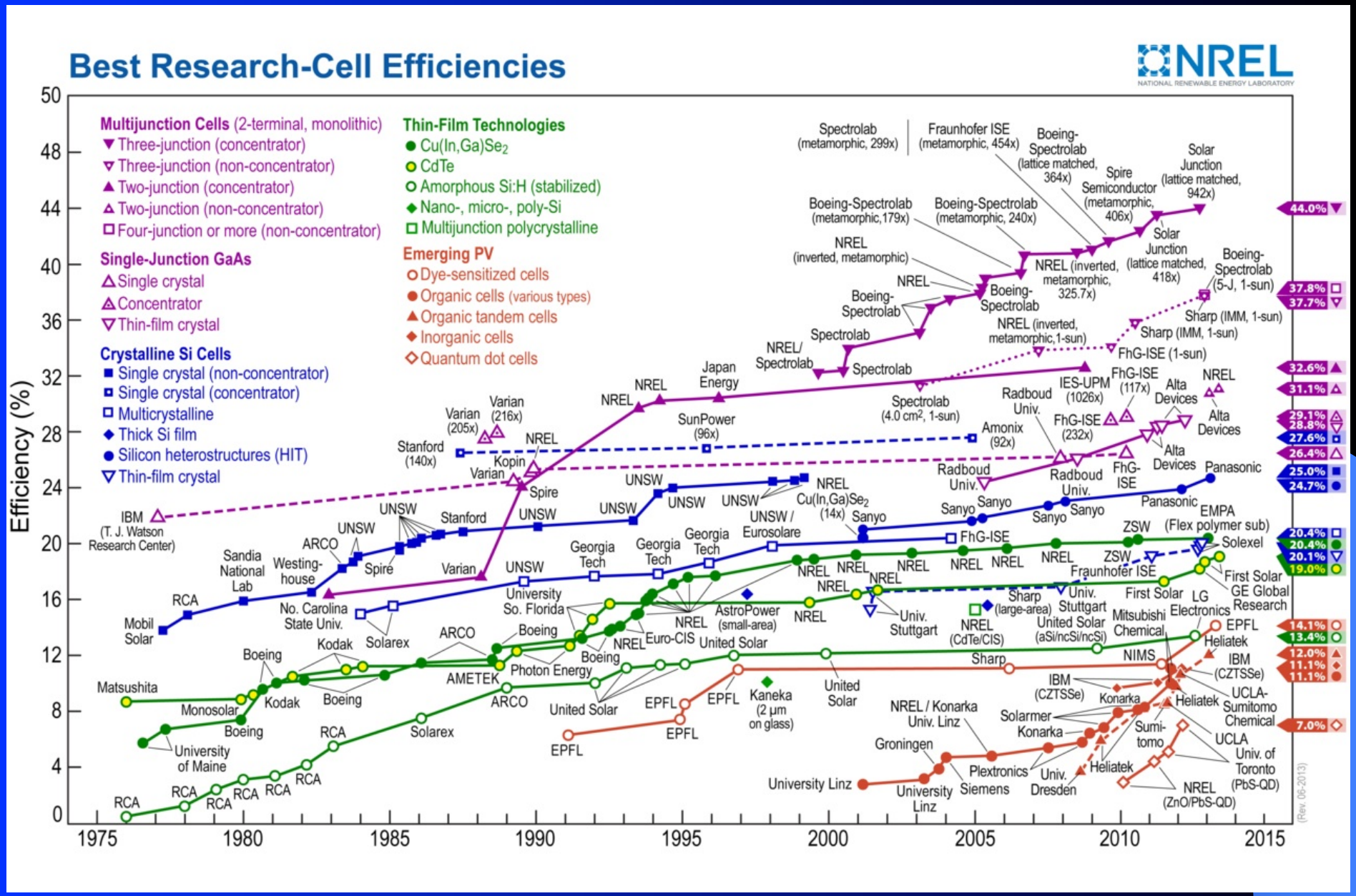
Qualités recherchées :

- ***Haut rendement,***
- ***Durée de vie infinie,***
- ***Faible masse par unité de surface,***
- ***Grande disponibilité du matériau,***
- ***Facilité de fabrication,***
- ***Temps de retour énergétique faible,***
- ***Faible coût.***



ISS Station Internationale:
8 panneaux 35m x 12m: 52 kW

Evolution du rendement des cellules solaires



- *Accès à l'espace: Aujourd'hui près de 20 000 $ / kg*
- *Ceci n'est acceptable que pour des applications mettant en oeuvre des masses réduites.*
- *Besoin de réduire le coût du lancement dans l'espace et d'augmenter la fréquence des tirs.*

Transport spatial: *Quel futur ?*

Effet de taille, Effet de série

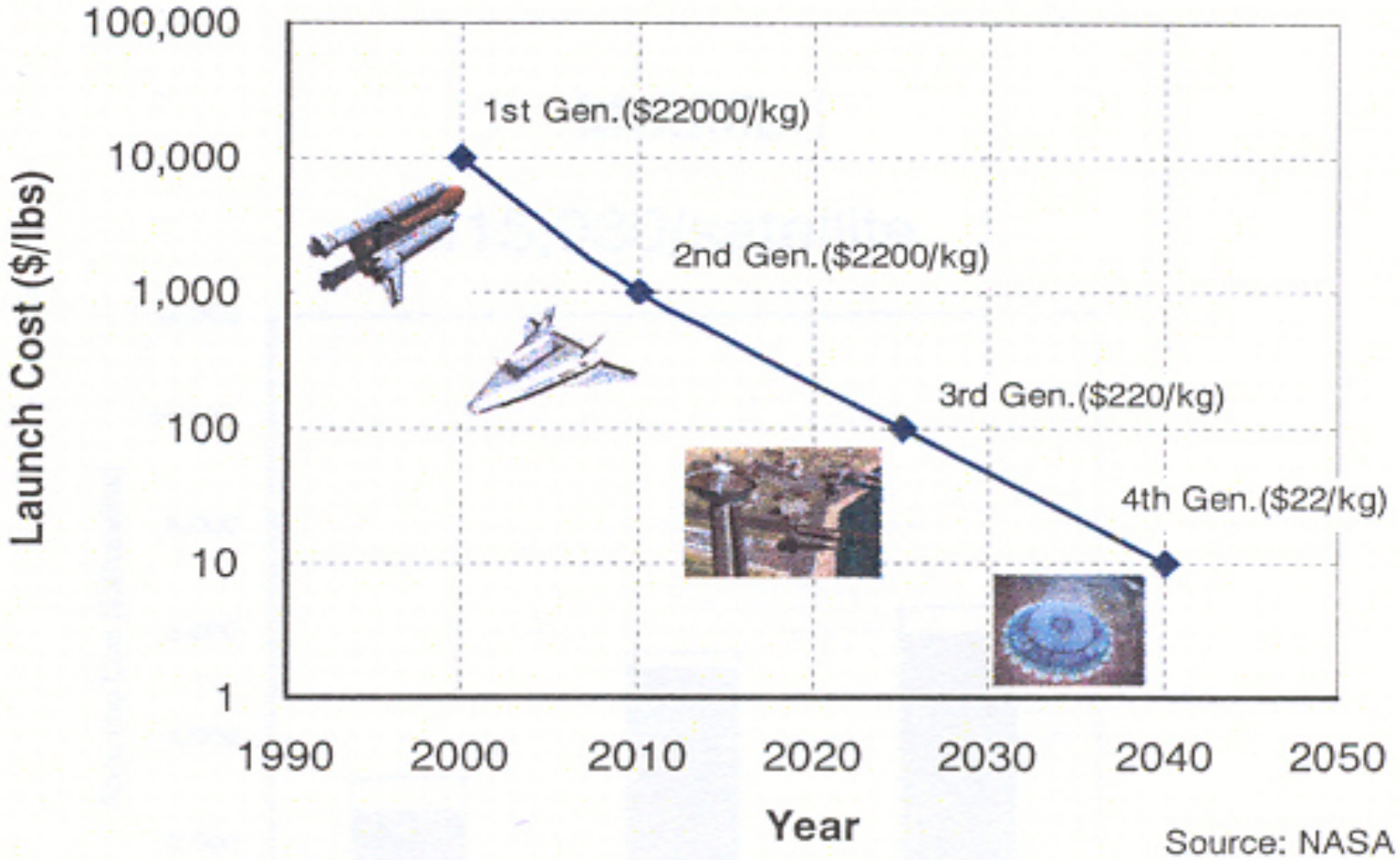
- ***G1: Projets 1980*** Terre ⇒ LEO = HLLV – 100 à 400 tonnes
  LEO ⇒ GEO = EOTV – 4 000 à 5 000 tonnes
  Navettes pour le personnel.
  Coût : 50 à 100 $ (1979) / kg ➔ *Irréaliste*

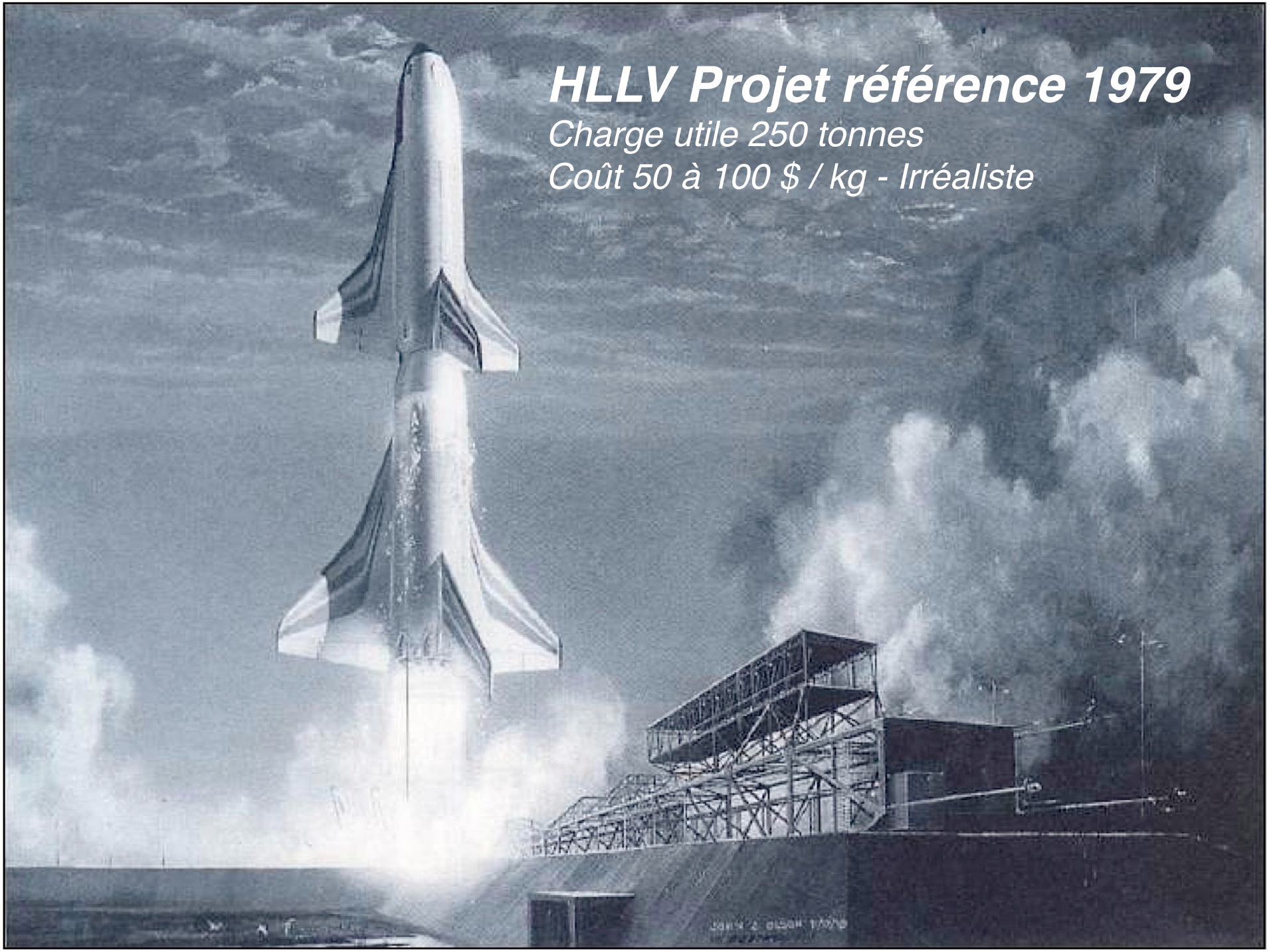
- ***G2: Projets 1990*** Lanceurs Mono-étages (SSTO) 99% récupérables
  Coût: 2000 $ / kg ?

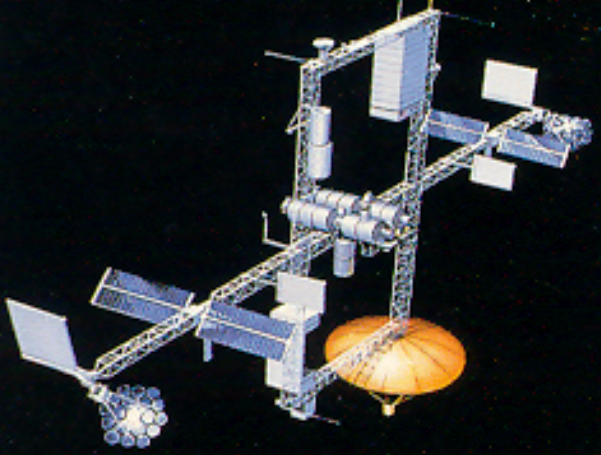
- ***G3: Projets 2000*** Lanceurs Mono-étages (SSTO) avec assistance d'une catapulte EM au départ.
  Coût: 500 à 1000 $ / kg ? Beaucoup d'études à faire.

- ***G4: Grand futur*** 1 - Lanceurs EM depuis la Terre. Accélération dans tube sous vide (20 km). Lévitation magnétique avec supra.
  Projet "Startram": 40 $ / kg pour lancement 300 000 t
  2 - Lanceurs à propulsion laser, inapplicables aux SPS
  3 – Ascenceur spatial: Câble 70 000 km !...

Transport spatial (Source NASA)




HLLV Projet référence 1979
Charge utile 250 tonnes
Coût 50 à 100 $ / kg - Irréaliste



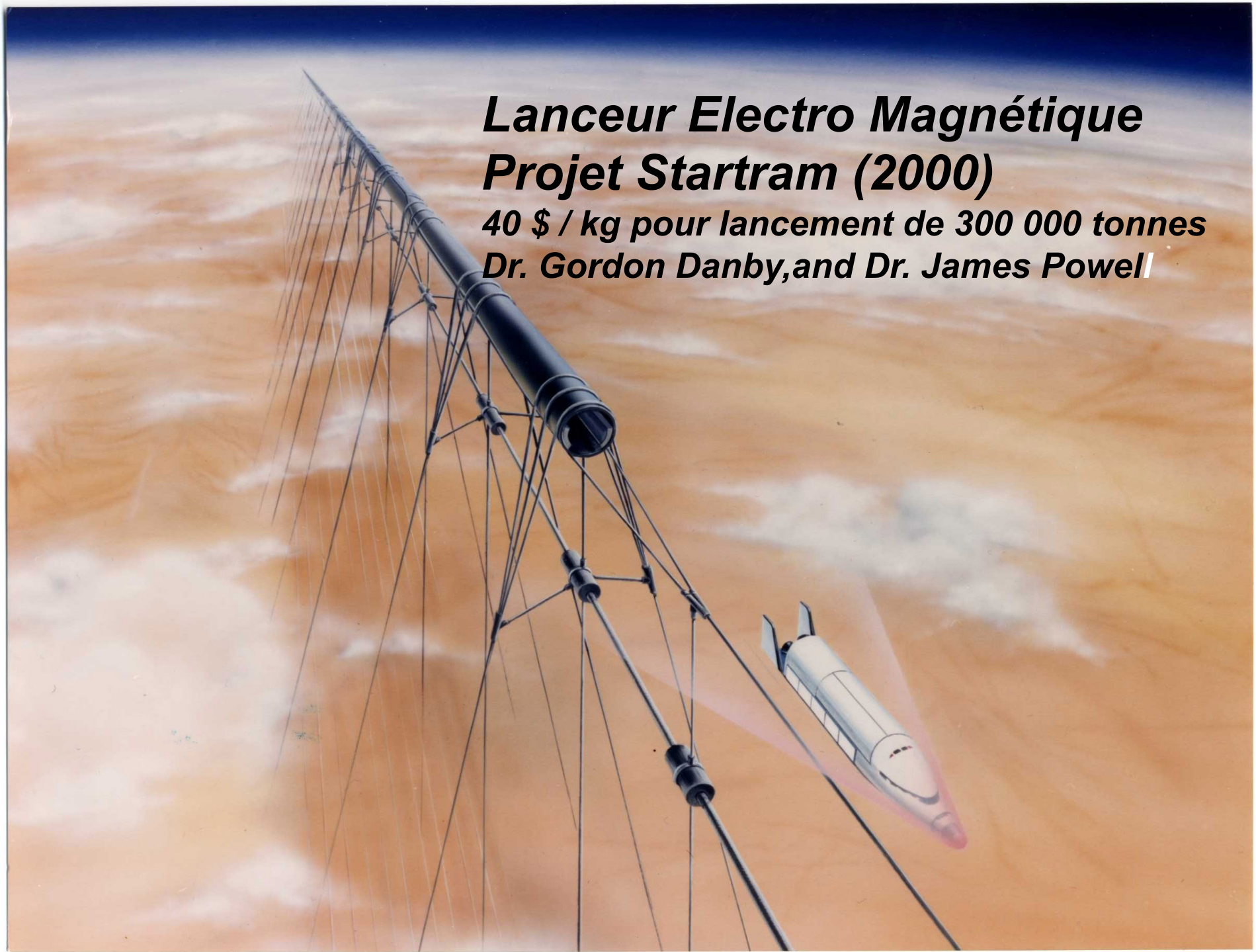
SSTO – Lanceur Mono étage

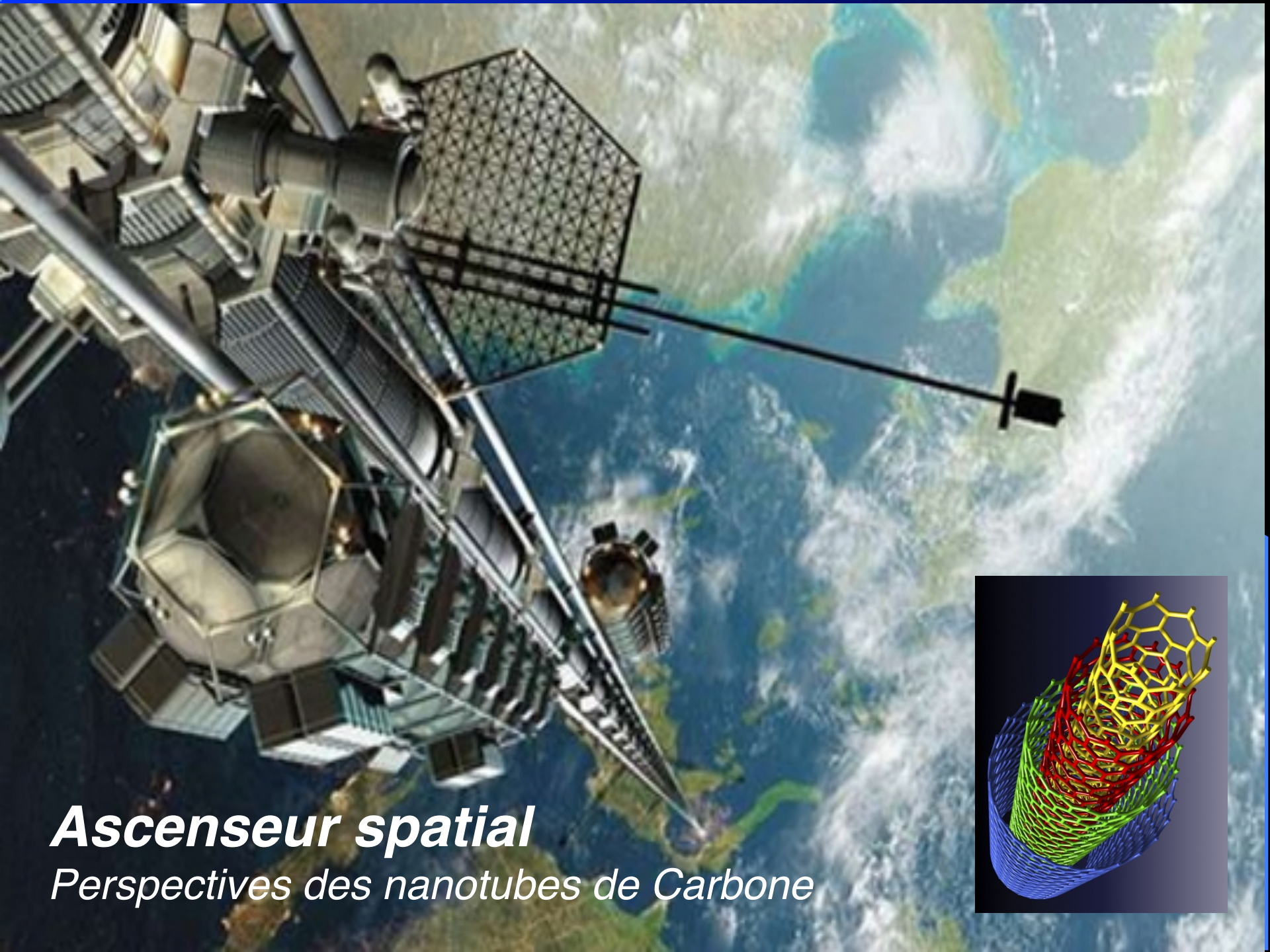
99% Récupérable

Coût 2000 $ / kg

SSTO – Lanceur assisté
Par catapulte EM

Coût 500 à 1000 $ / kg
NASA, 1996


Lanceur Electro Magnétique
Projet Startram (2000)
40 $ / kg pour lancement de 300 000 tonnes
Dr. Gordon Danby,and Dr. James Powell



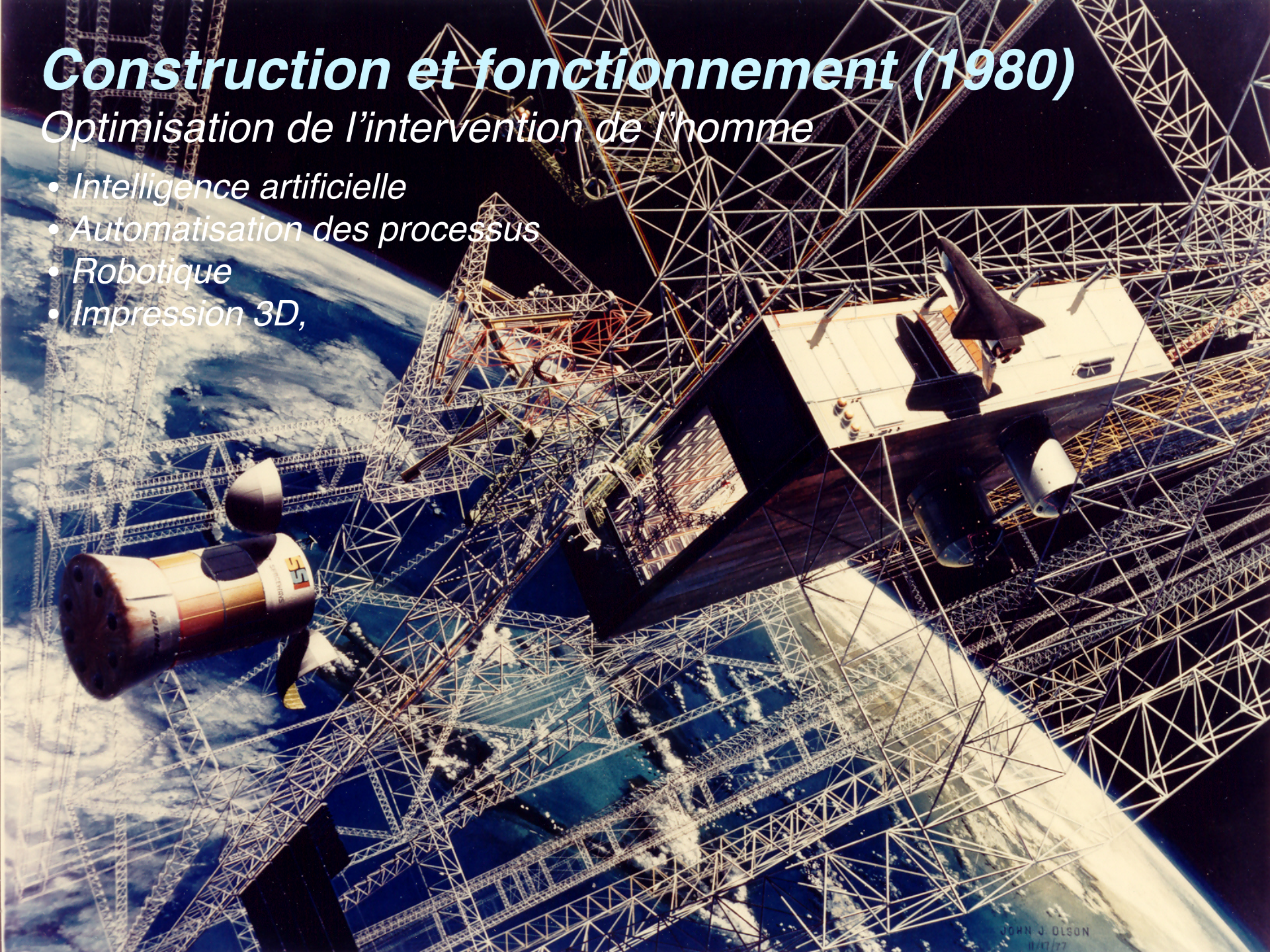
Ascenseur spatial

Perspectives des nanotubes de Carbone

Construction et fonctionnement (1980)

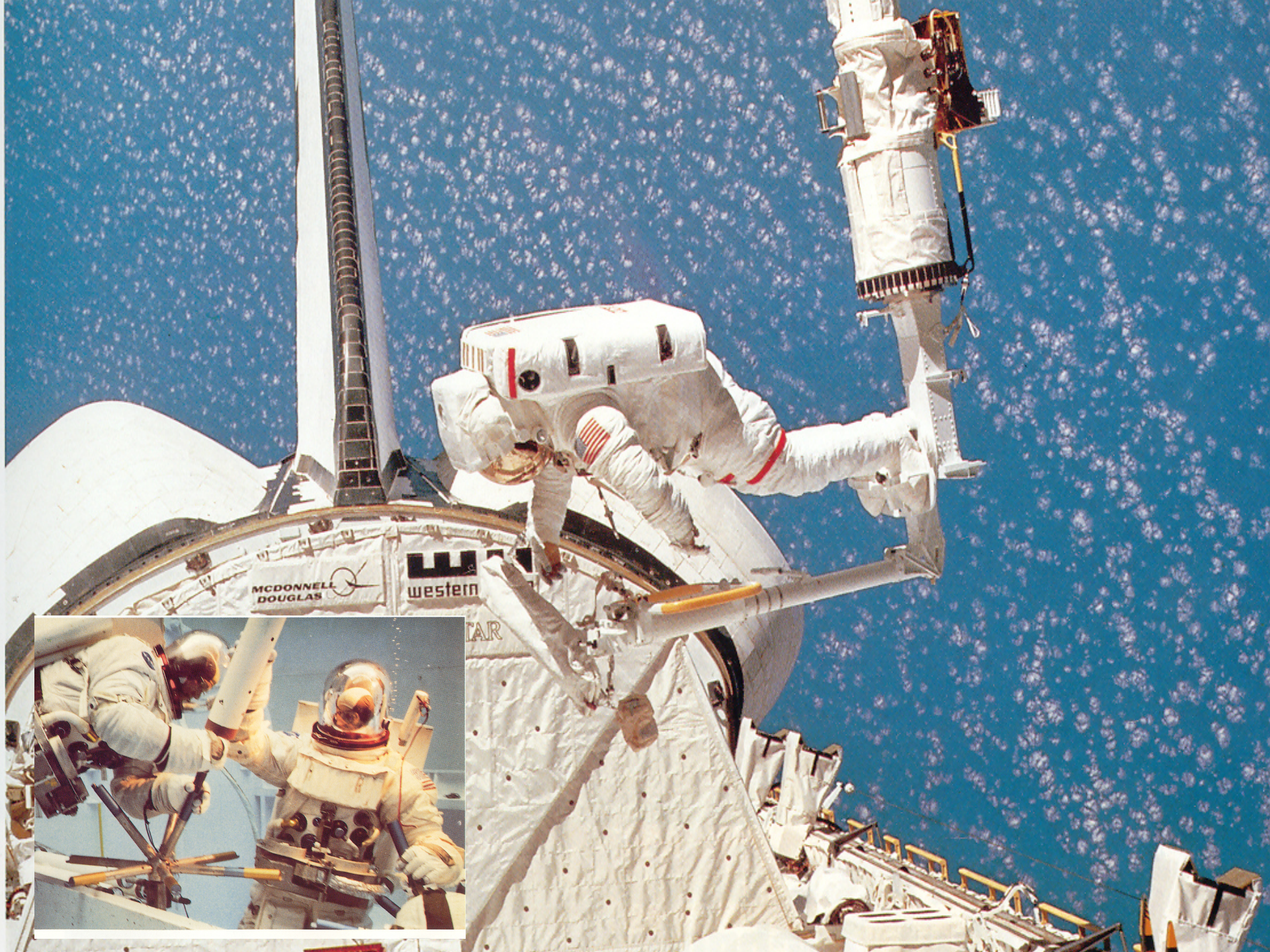
Optimisation de l'intervention de l'homme

- Intelligence artificielle
- Automatisation des processus
- Robotique
- Impression 3D,



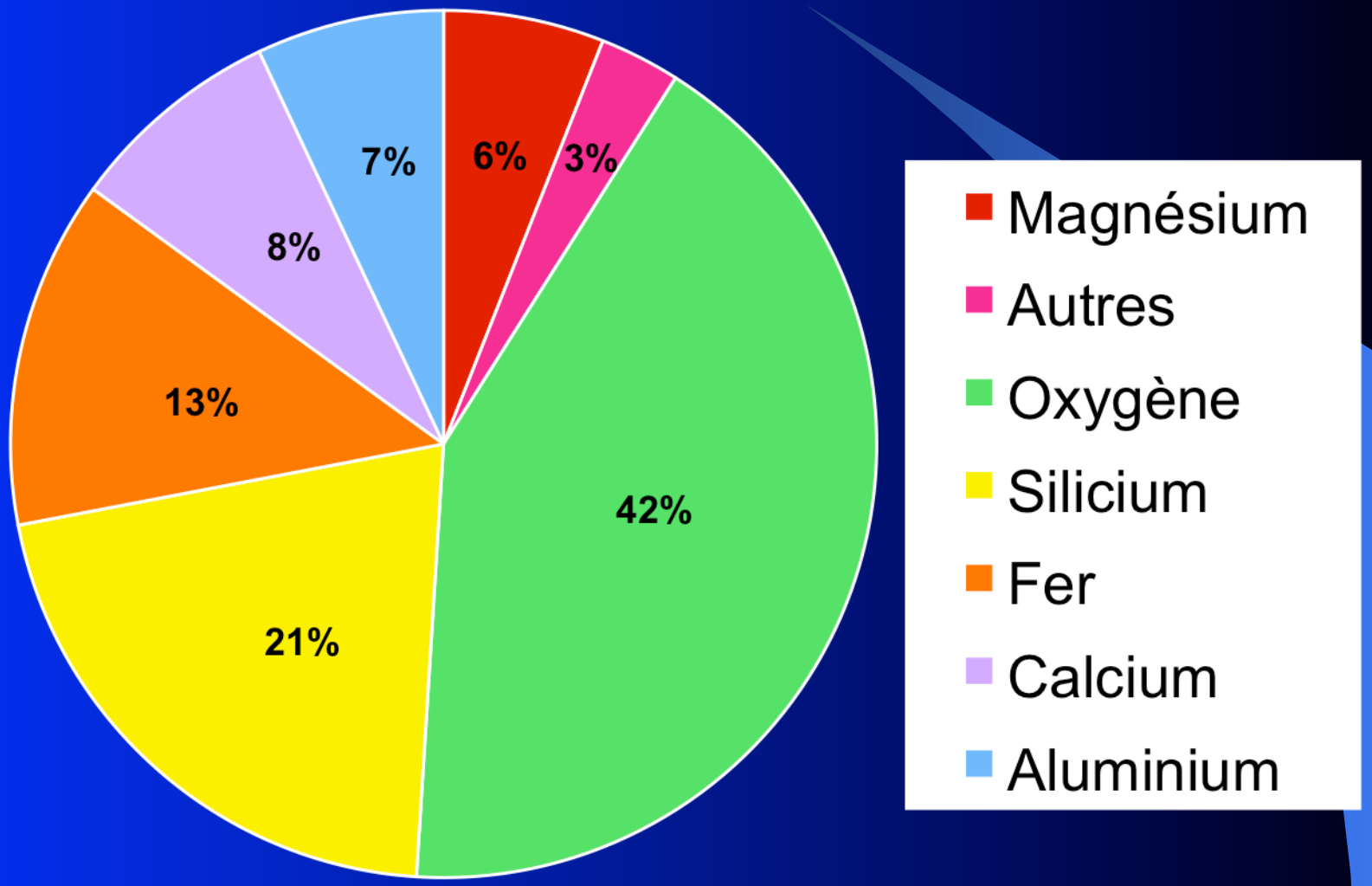
Construction, maintenance de structures en orbite *(1980)*

dans une cellule de protection contre les rayonnements


MCDONNELL DOUGLAS
western

Construction de structures en orbite par imprimante 3D *(projet Tethers Unlimited Inc., 2014)*

Composition du sol lunaire



Utilisation de matériaux extraterrestres

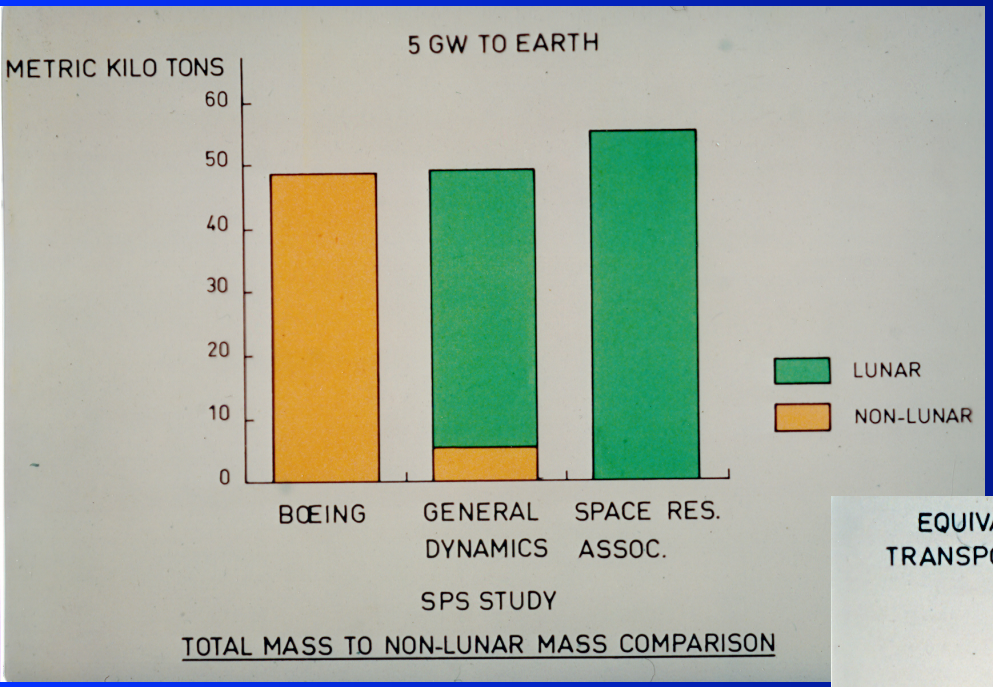
Trois concepts sont considérés comme susceptibles de fournir une énergie abondante, propre et économique :

- Centrales solaires spatiales
- Centrales solaires lunaires
- Utilisation de l'He_3 pour la fusion sur Terre

Ces trois concepts nécéssitent des études techniques et économiques complémentaires. Ces études imposeront un retour sur la Lune, l'implantation de bases et le développement d'usines d'exploitation et de traitement des matériaux.

SPS : Utilisation de matériaux lunaires

Avantage pour le transport (1980)

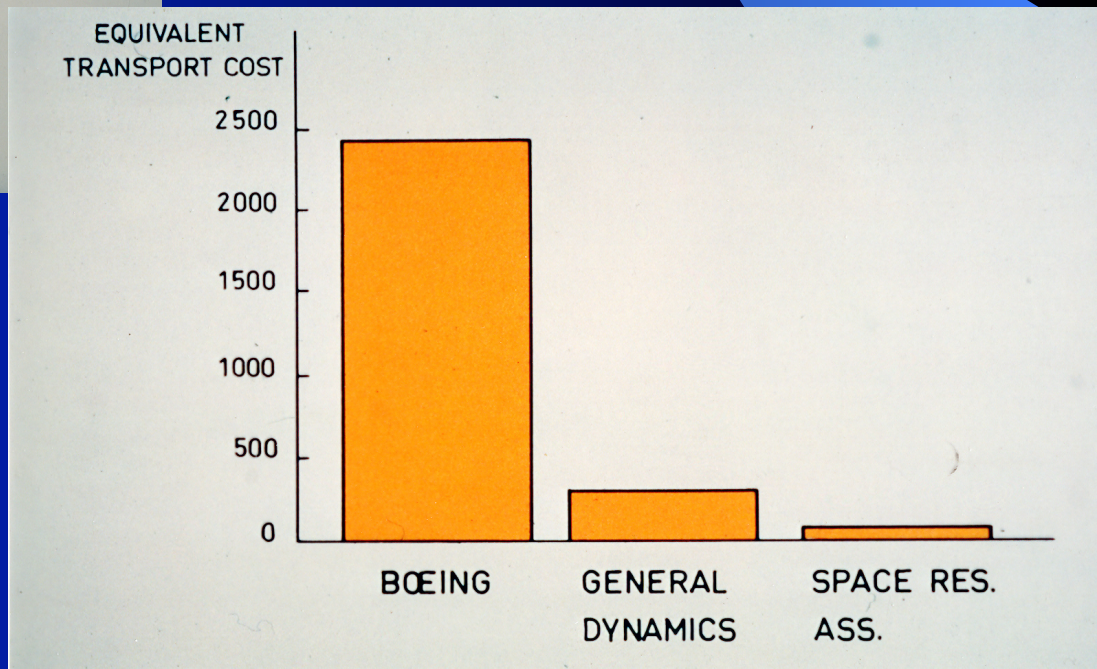


SPS, 5GW

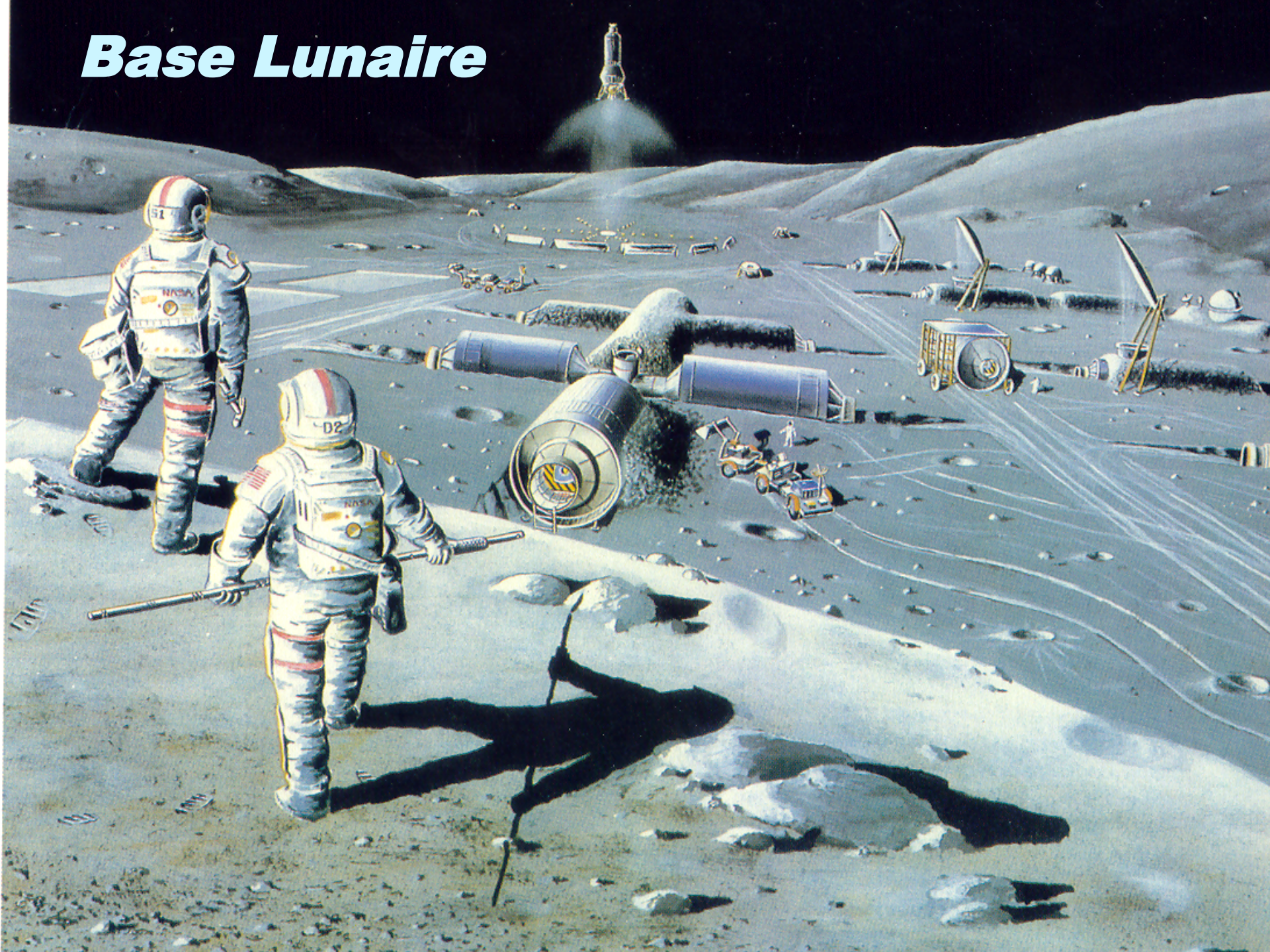
Solutions terrestre, mixte ou lunaire

SPS, 5GW

Comparaison des coûts de transport



Base Lunaire



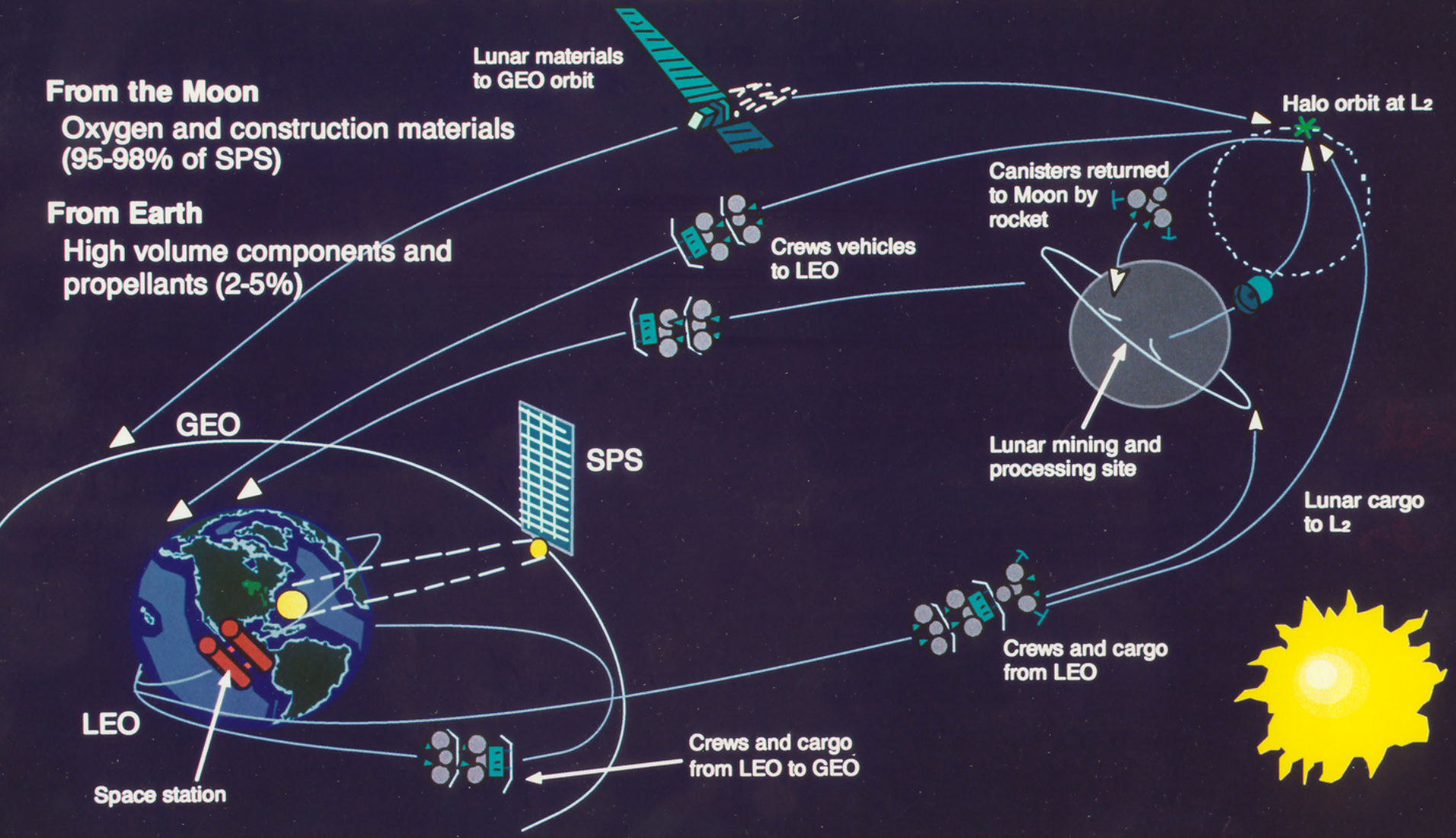
Operations Concept For Manufacture of SPSs From Lunar Resources

From the Moon

Oxygen and construction materials (95-98% of SPS)

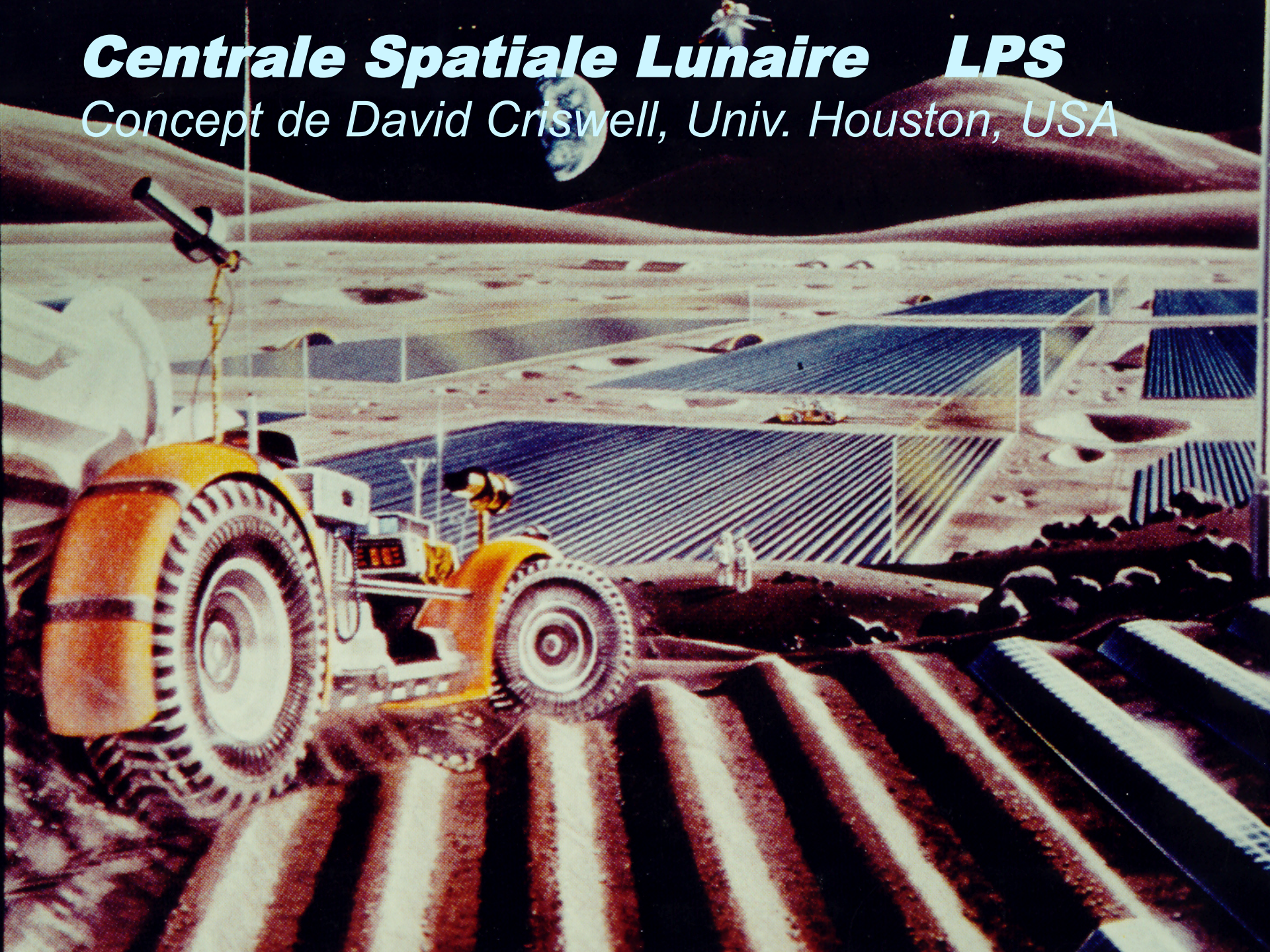
From Earth

High volume components and propellants (2-5%)



Centrale Spatiale Lunaire LPS

Concept de David Criswell, Univ. Houston, USA



Extraction de l'He_3 Lunaire

- Concentrations mesurées:
  U.S.A. - Apollo 11, 12, 14, 15, 16 & 17
  U.R.S.S. - Luna 16, 20
- Evaluation :
  > 1 000 000 tonnes sur la surface lunaire

$$D + He_3 \rightarrow He_4 + p + 18{,}4\ MeV$$

1 tonne d' He_3 permet la production de 10 000 Mwe.années

SPS: Exploitation de matériaux d'astéroïdes

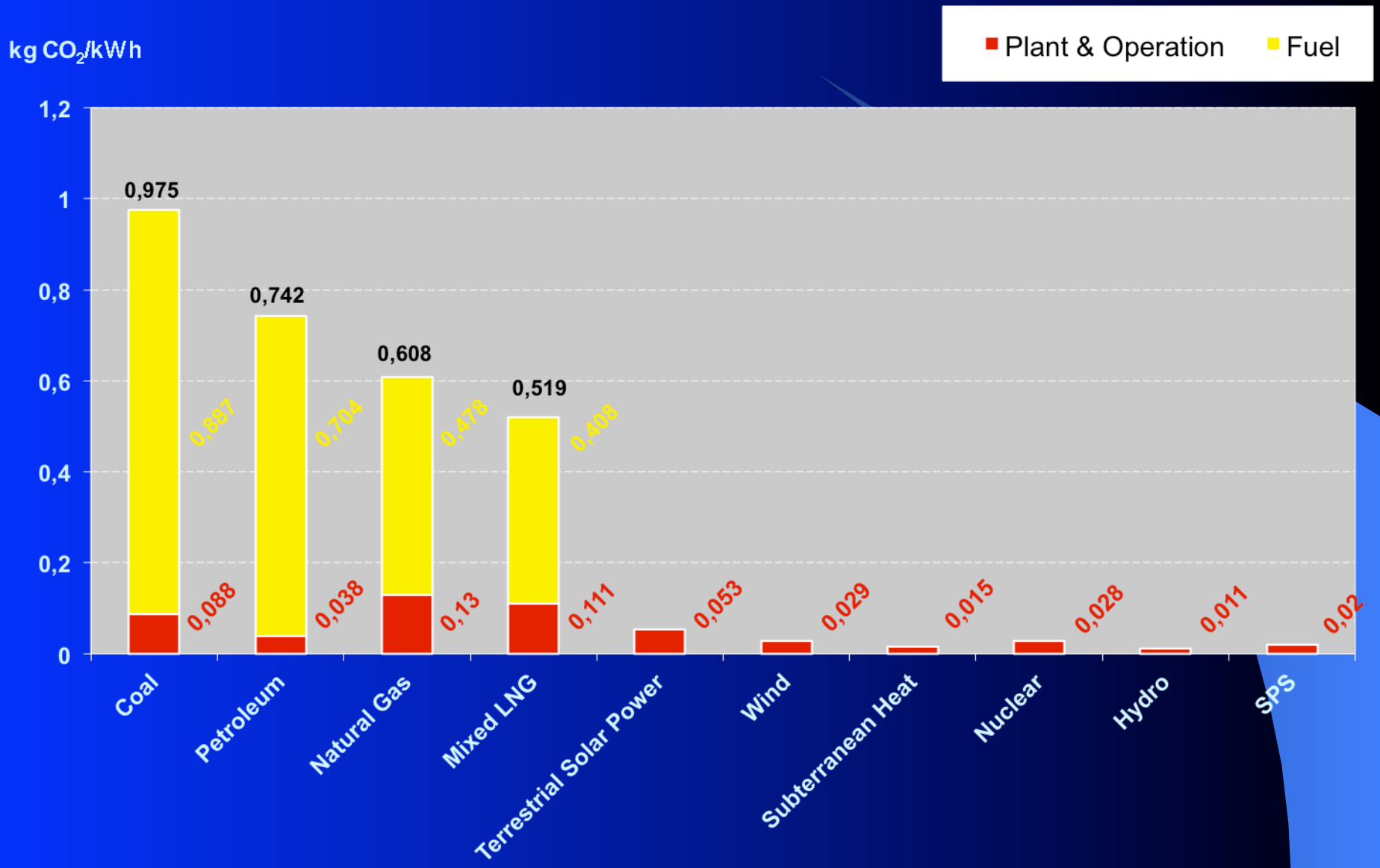
6. SPS et l'environnement

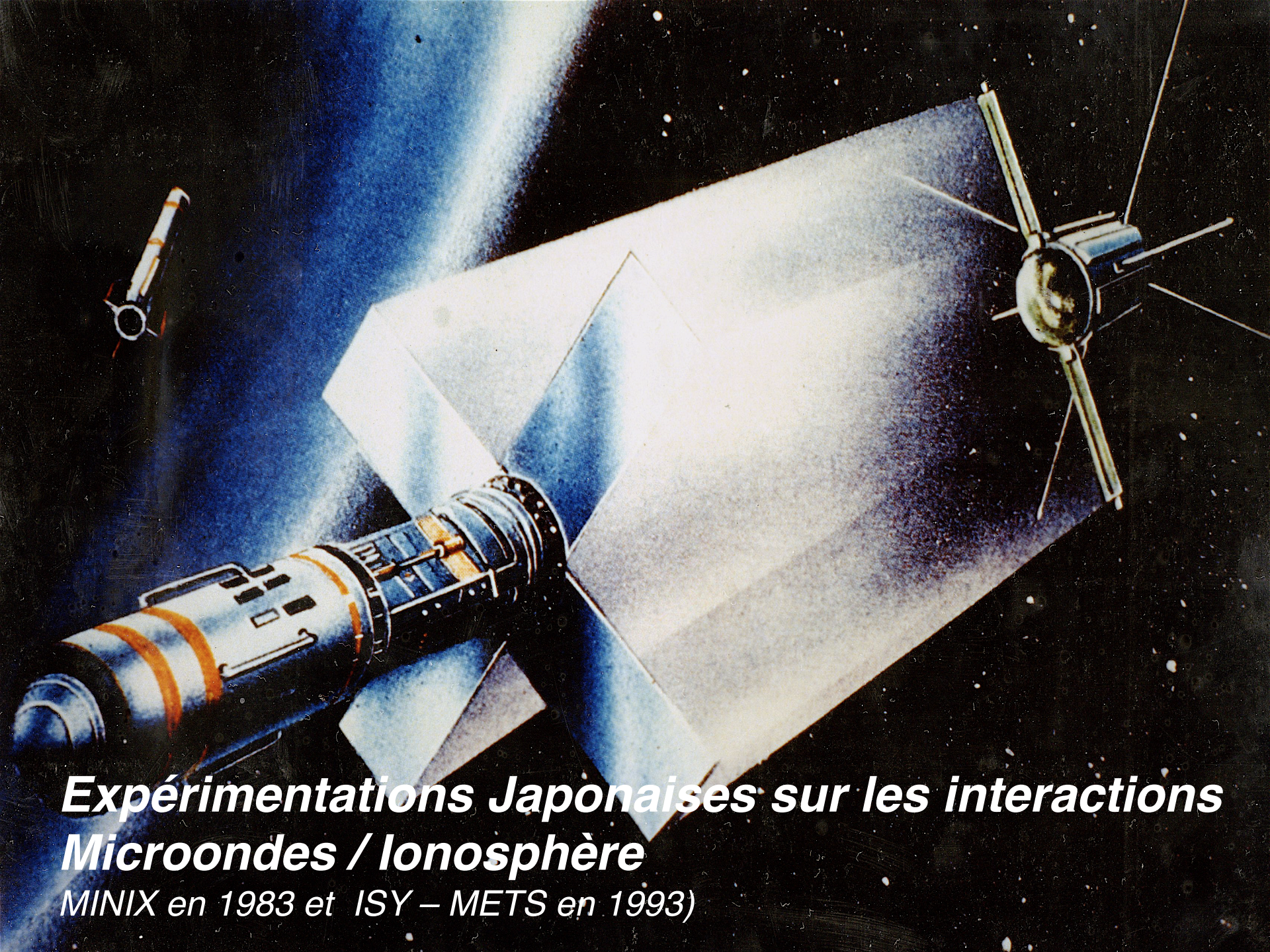
SPS et l'Environnement

L'impact des centrales spatiales sur l'environnement devra être étudié en profondeur et expliqué au public:

- *Effets biologiques des micro-ondes,*
- *Effets des micro-ondes sur l'ionosphère,*
- *Transport spatial,*
- *Construction dans l'espace et exploitation,*
- *Construction et exploitation de la rectenna,*
- *Effets sur les systèmes électroniques et de communication,*
- *Effets sur l'astronomie,*
- *Utilisation des ressources et effets industriels.*

Emissions CO_2 suivant les ressources

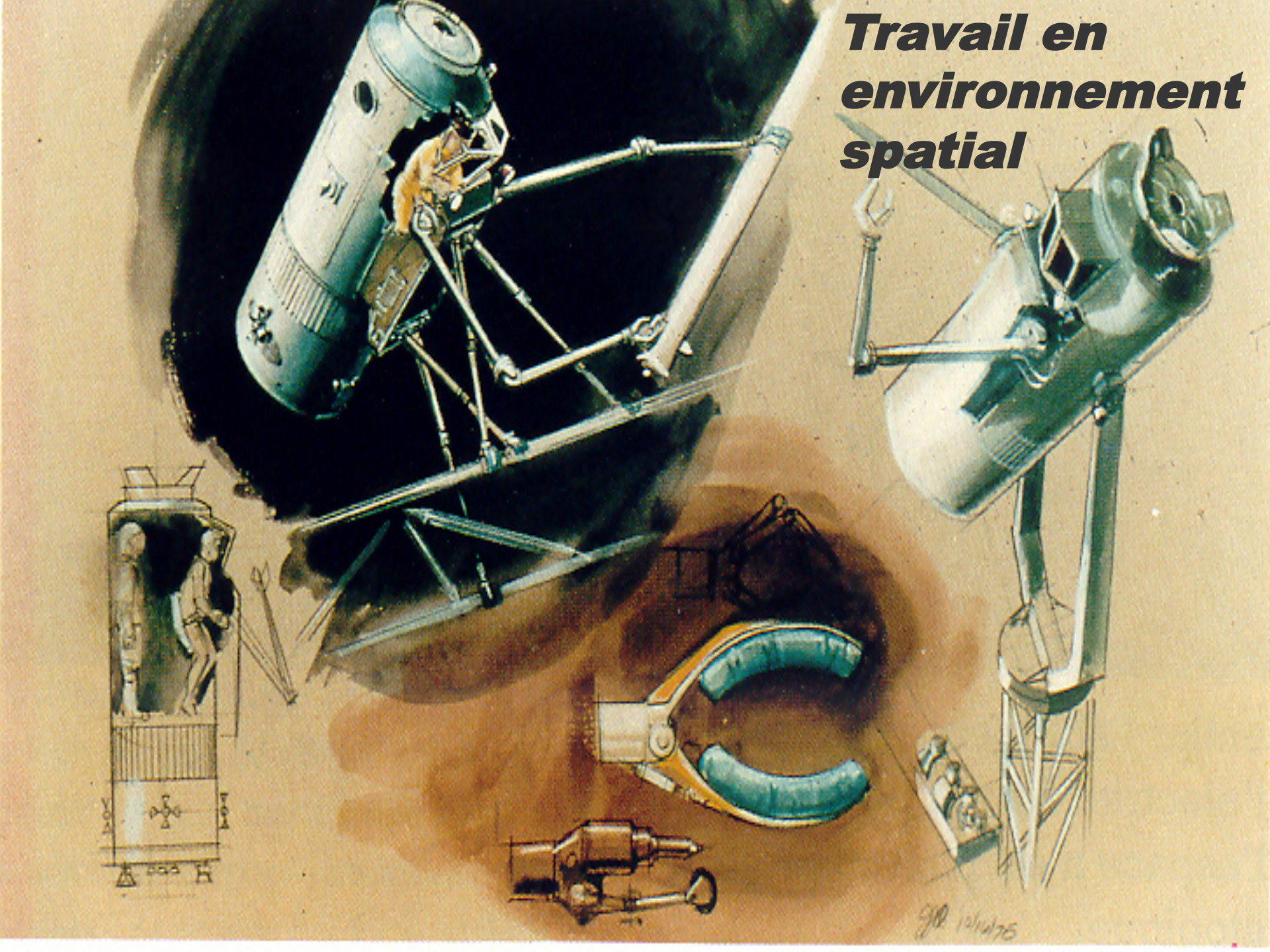




Expérimentations Japonaises sur les interactions Microondes / Ionosphère

MINIX en 1983 et ISY – METS en 1993)

Travail en environnement spatial



Rectenna: Occupation du sol,
85 *km^2 pour 5 GW*

Impact sur l’astronomie

7. Problèmes sociétaux et institutionnels

Problèmes sociètaux et institutionnels

- Implications internationales,
- Aspects juridiques,
- Propriété et controle des centrales,
- Vulnérabilité et implications militaires,
- Interface avec les réseaux,
- Acceptabilité du public.

Vers une nouvelle doctrine énergétique mondiale :

- satisfaire les besoins de toutes les nations
- préserver l'environnement

Centrales solaires spatiales : Aspects juridiques

1. **Règles concernant l'exploitation des ressources spatiales,**

   Traité sur l'espace de 1967 et accord sur la Lune 1979, principe de non appropriation et de bien commun de l'humanité,

2. **Positions orbitales,**

3. **Fréquences allouées par l'UIT,**

   Eviter des brouillages avec les services existants.

4. **Règles de sécurité concernant la densité des ondes,**

Aspects sociétaux

L'acceptation politique et sociétale du concept SPS est toute aussi importante que la préparation technique :

- *Contribution majeure pour la réduction de l'effet de serre*

- *Regroupement des forces du Nord et du Sud,*

- *Effet de mobilisation internationale.*

8. Dynamique internationale (à partir de 1991)

SPS: Groupes actifs dans le monde (1/2)

- ***IAA - Rapport "Space Solar Power" publié en 2011***
- ***IAF - Comité "Energie", groupe permanent***
- ***Canada – Canadian Space Agency***
- ***Chine - Shanghai Institute of Space Power Sources***

  Académie Chinoise des Sciences et Technologies (CAST):

  Wang Xiji suggère en Mars 2015 le développement d'un programme SPS Chinois avec initialement des travaux sur des lanceurs lourds.
- ***Europe – ESA, ESSPERANS (2003).***

  CNES, CNRS, France

  Universités : La Réunion,… France

  Industriels : EADS (Allemagne / France)

  SEE: Création du cycle de conférences SPS: 86, 91, Rio 92, 97
- ***Georgie - Industriels***
- ***Inde – ISRO, Perspectives de coopération avec les US***

SPS: Groupes actifs dans le monde (2/2)

- ***Japon - Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer, (USEF), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA): Programme SPS en cours.***
- ***Russie - Central Scientific Research Institute for Engineering: Un Institut de la "Russian Space Agency", Roskosmos.***
  Projet de programme SPS avec transmission par Laser.
- ***Ukraine - Universités (Dniepropetrovsk, …)***
- ***USA - NASA, Programmes successifs depuis 1968***
  Sunsat Energy Council,
  Universités : MIT, …
  Bureaux d'études: Artemis Innovation, …
  Lunar Power System Coalition,
  Industriels, Space Energy Inc., PG&E Co, Solaren, …
  National Security Space Office, DOD
  AIAA,

9. Nouvelles évaluations (depuis 1995)

Récentes évaluations et projets

- 1986: Création des conférences SPS: 86, 91, Rio'92, 97, …, 09, …
- 1993: World Solar Summit UNESCO
- 1999: Evaluation du CNES, France
- 1999: Canadian Space Power Initiative
- 2000: Projet Japonais USEF, Japon
- 2000: Projet d'expérimentation "SPS 2000", Japon
- 2001: Etude "Fresh look" (SERT), NASA, USA
- 2002: SPS Maturation Program (SCTM), NASA, USA
- 2003: Projet de feuille de route EADS, Europe
- 2005: Programme ESA "Energie de l'espace", Europe
- 2006: URSI white paper on SPS
- 2007: MIT Workshop SPS, USA
- 2007: SPS as an opportunity for strategic security, DOD, USA
- 2011: Rapport de l'IAA (International Academy of Astronautics)
- 2012: Projet "ALPHA" (NIAC) de la NASA, USA
- 2014: Projet de programme SPS JAXA, Japon

1999 - Evaluation du CNES

Objectif : développer en liaison avec des partenaires étrangers des actions susceptibles de représenter des étapes sur la voie des SPS :

- *Alimentation en énergie d'une plate-forme spatiale pour microgravité,*
- *"Powersat" alimentant des robots à distance,*
- *Liaison point à point terrestre de TESF.*

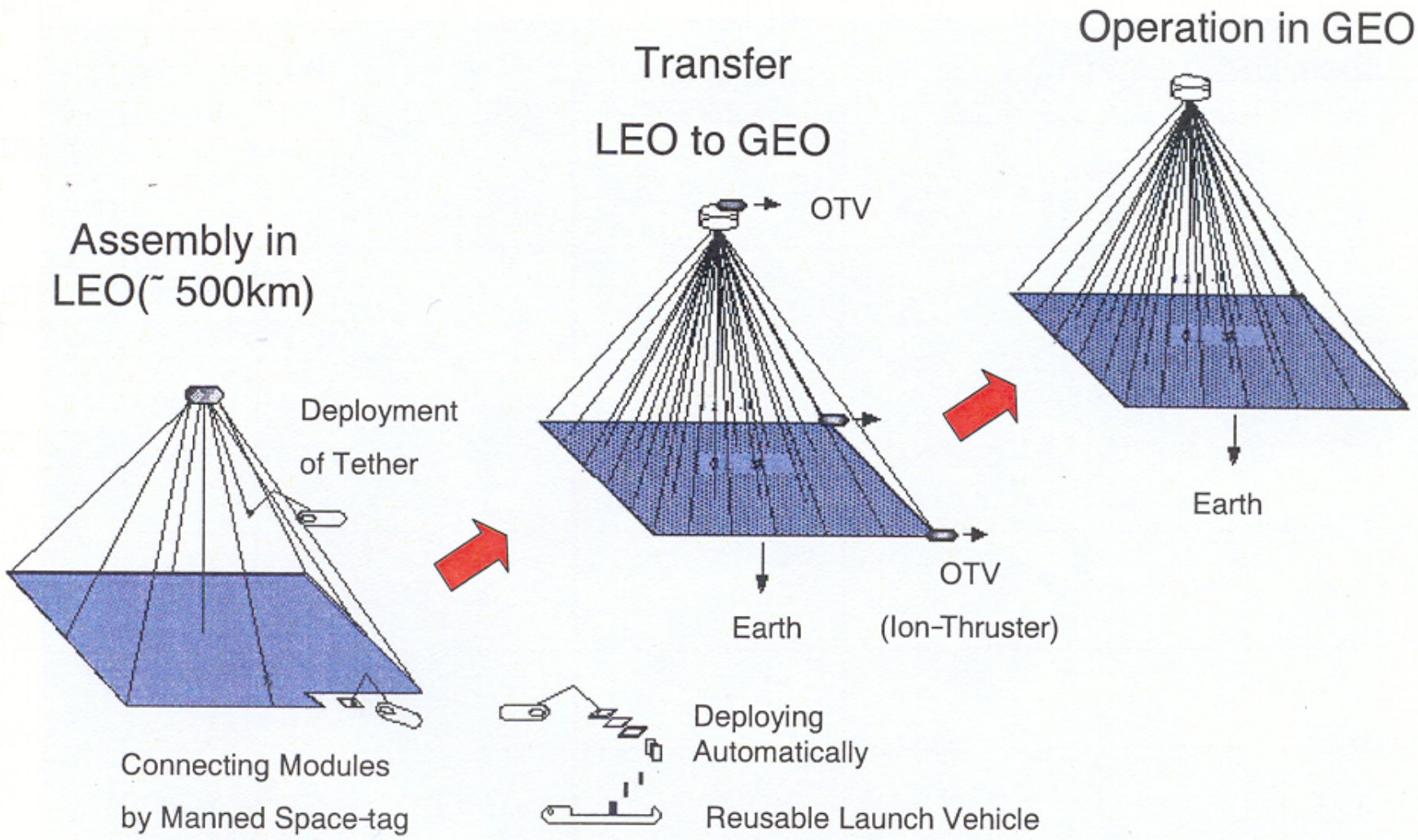
2000 - Projet Japonais USEF

Institute for Unmanned Space Experiment Free Flyer

- **2030 - Expérimentation d'un prototype d'1 GW,**
- **2040 - Lancement commercial d'une centrale 1 GW,**
- **Puissance unitaire des rectennas : 1 GW / rectenna,**
- **Coût de l'énergie : 10 cents de $ / kWh,**
- **Emission minimale de CO^2,**
- **Evaluation des effets des rayonnements micro-ondes.**

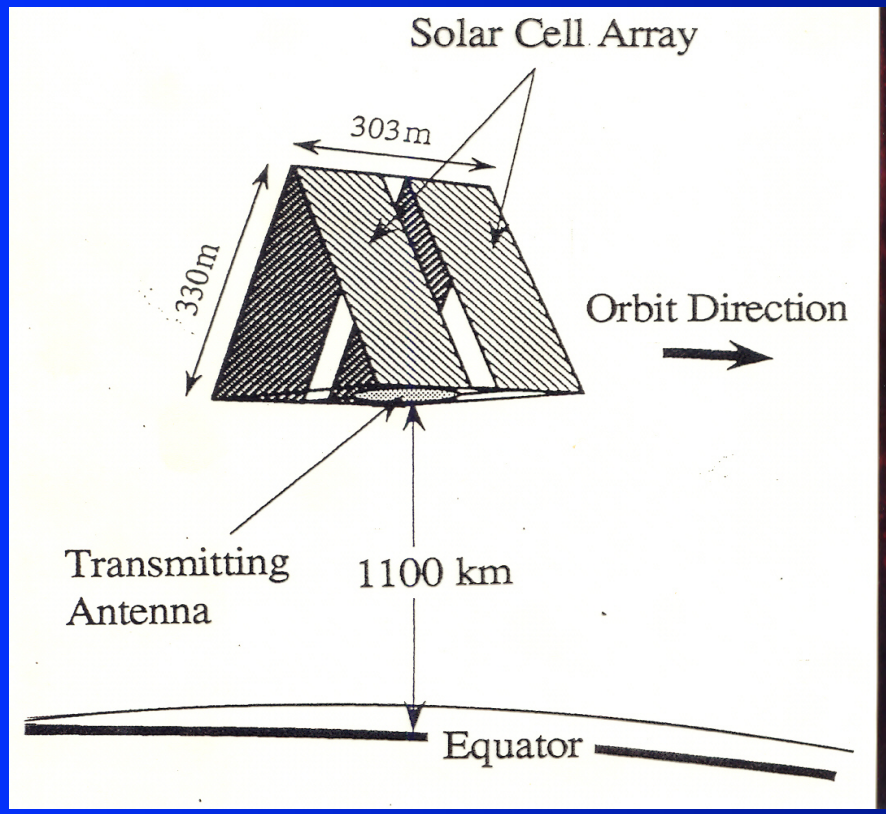
2000 - Projet USEF:

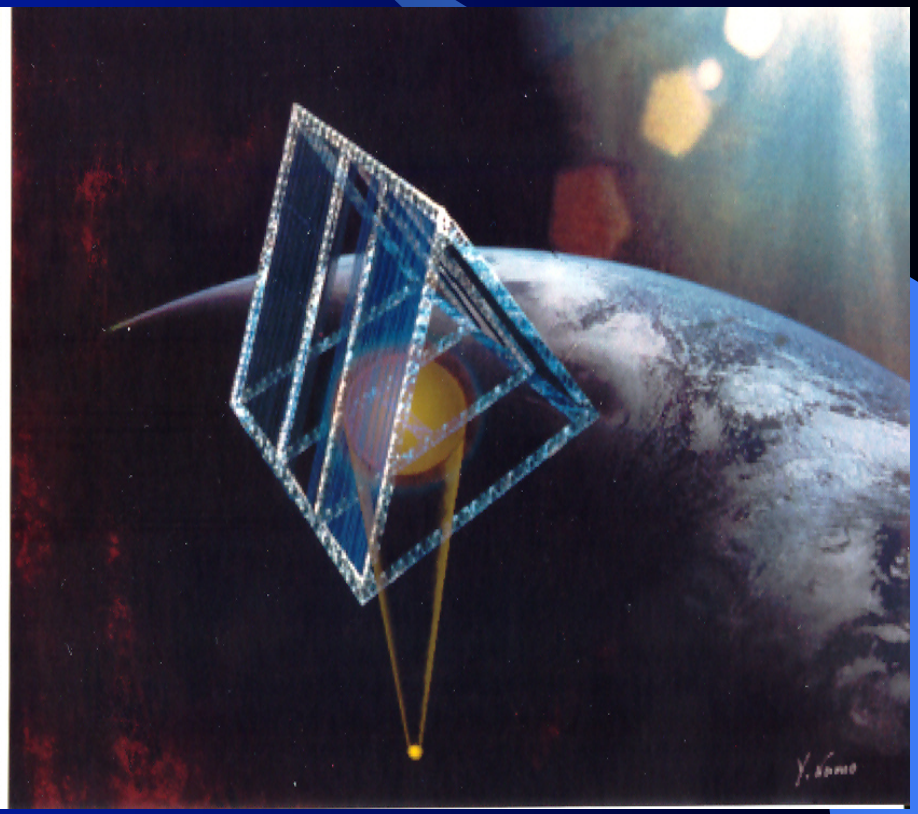
Scénario de construction



Projet d'expérimentation "SPS 2000"

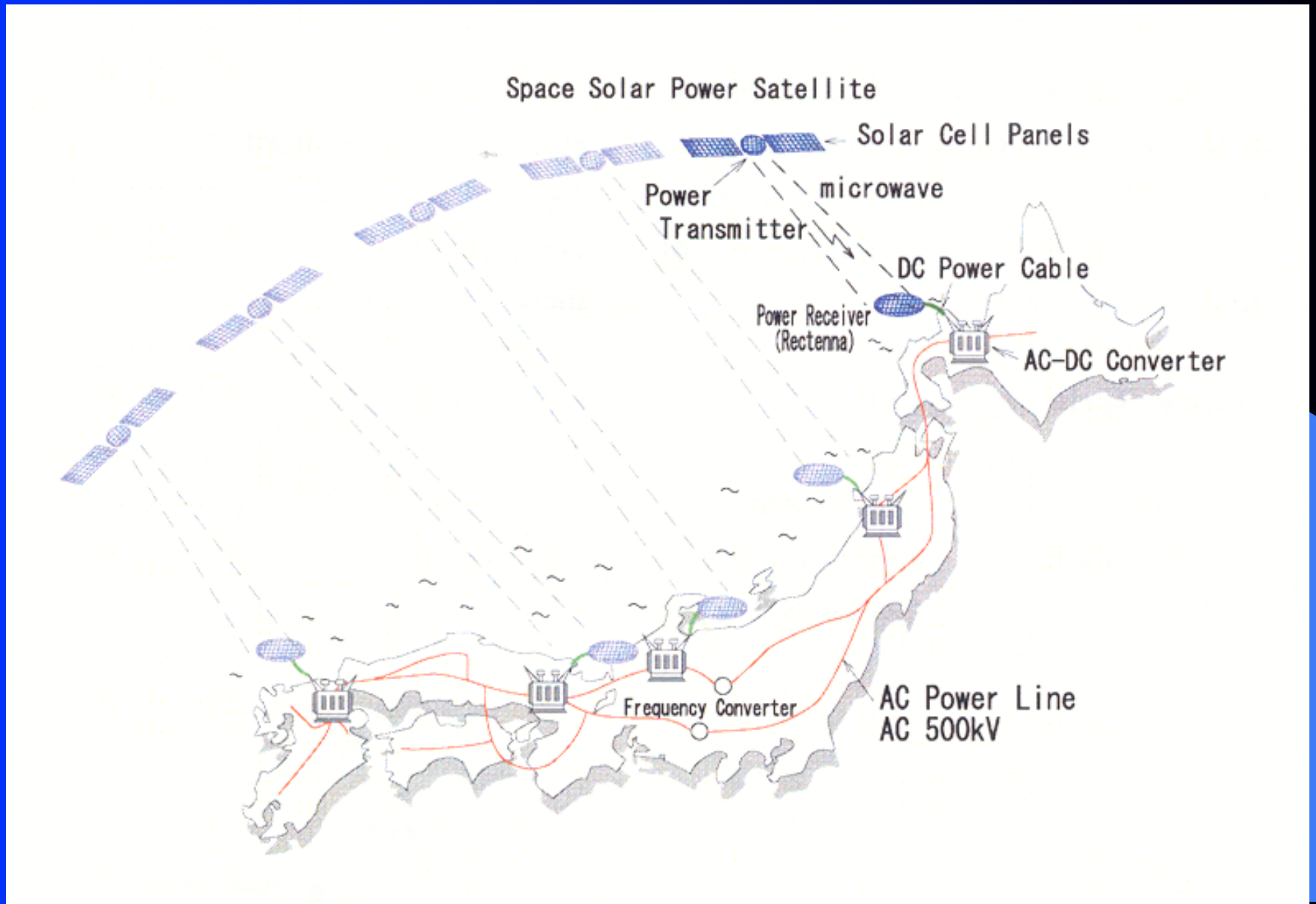
Poids total : 240 tonnes, Generateur :16 MW photovoltaïque, Transmission : 10 MW, 2,45 GHz





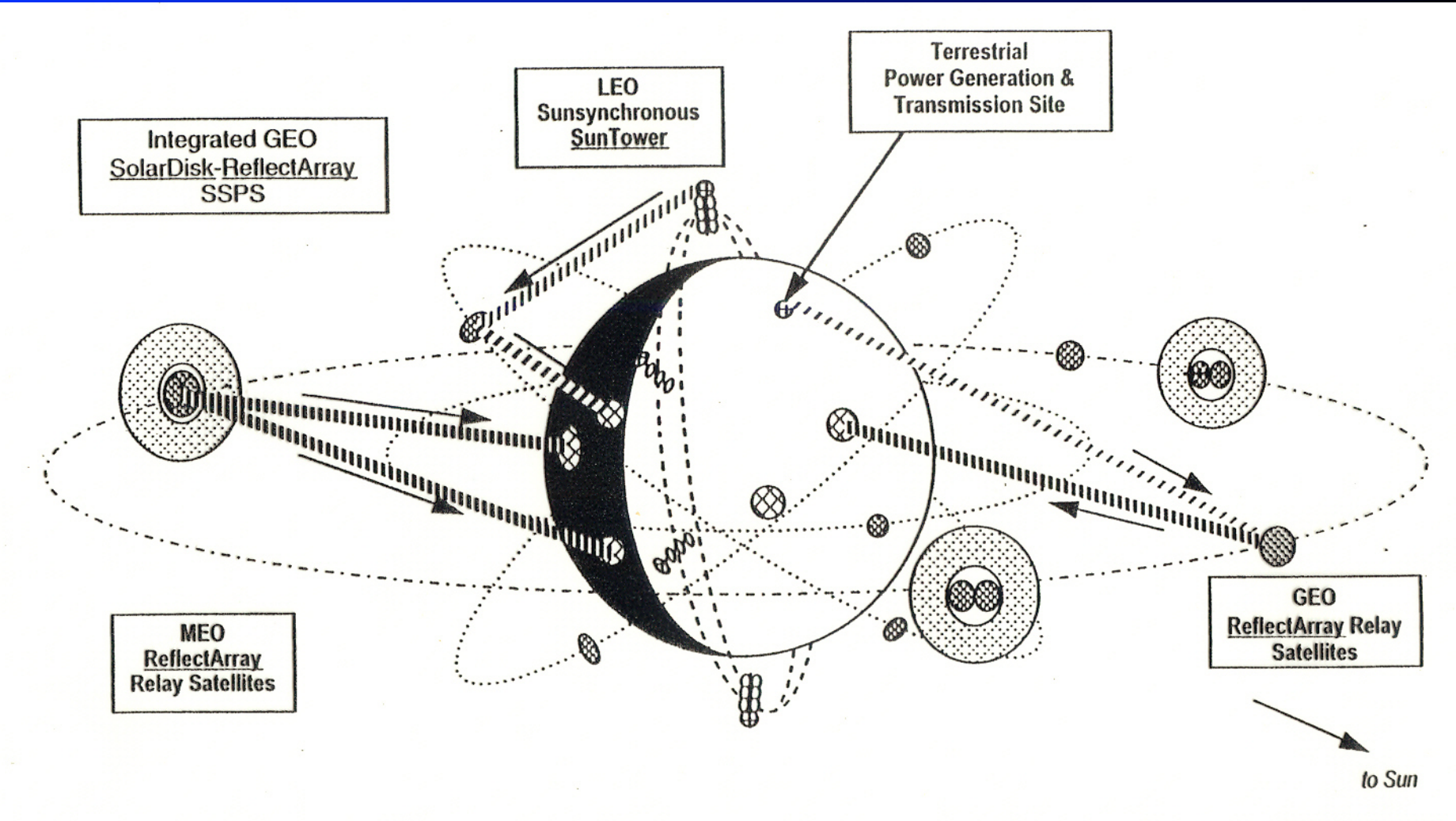
2000 - Projet Japonais

Connexion au réseau électrique

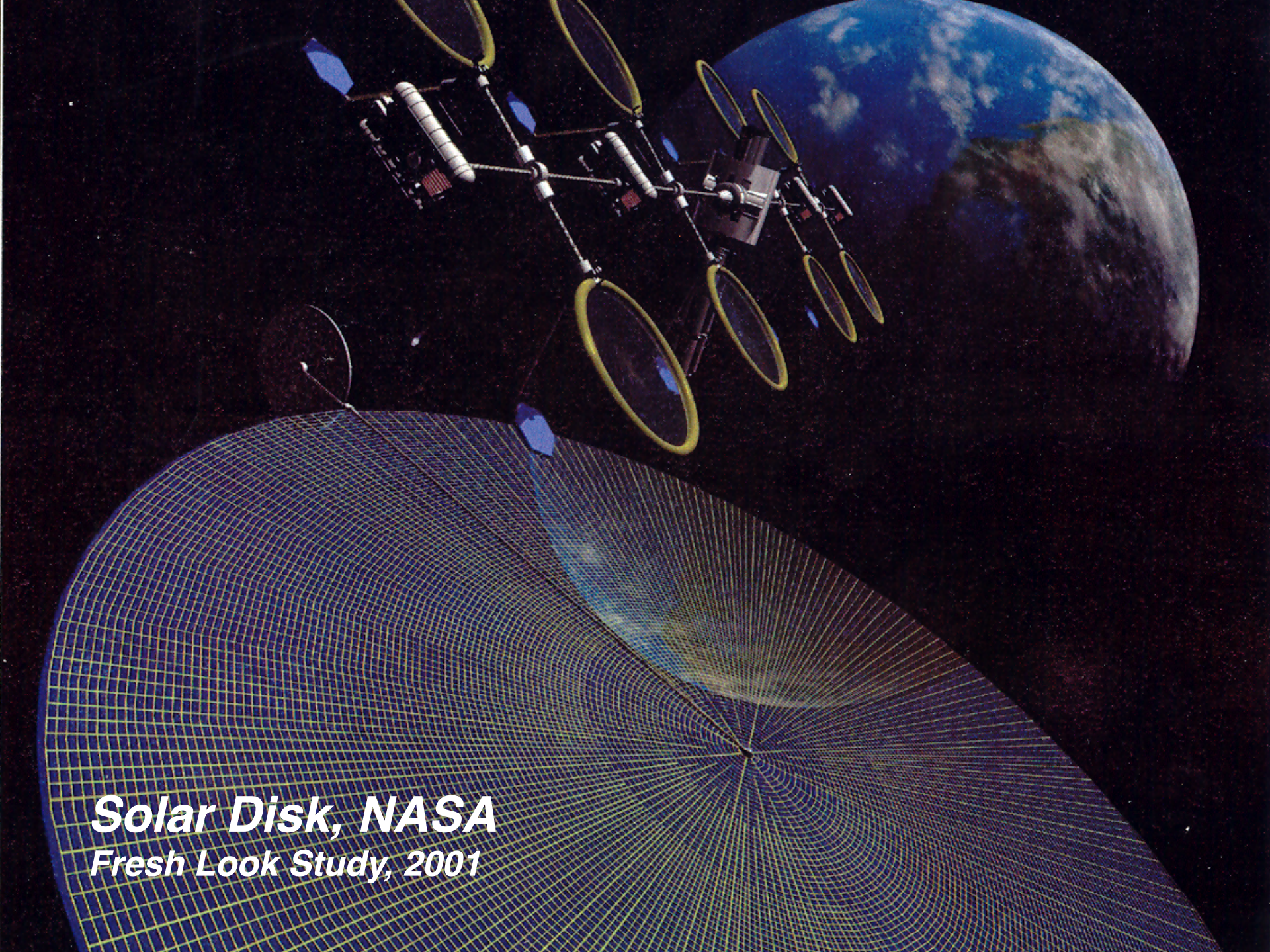


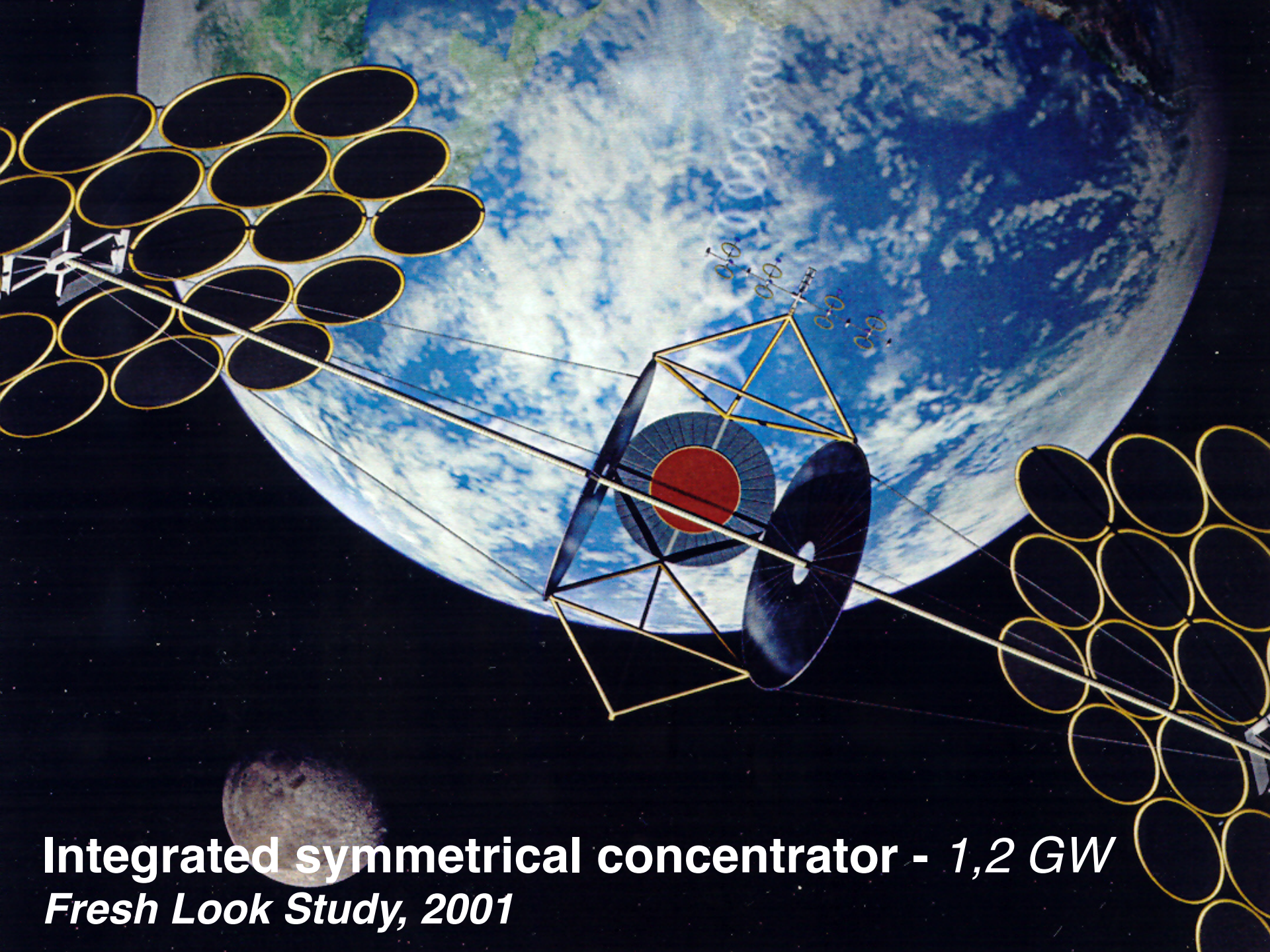
2001 - Etude "Fresh Look" de la NASA

SPS Concept Definition study, SPS Exploration Research and Technology Program (SERT) (1999 - 2001),



Sun Tower, NASA
Fresh Look Study, 2001


Solar Disk, NASA
Fresh Look Study, 2001



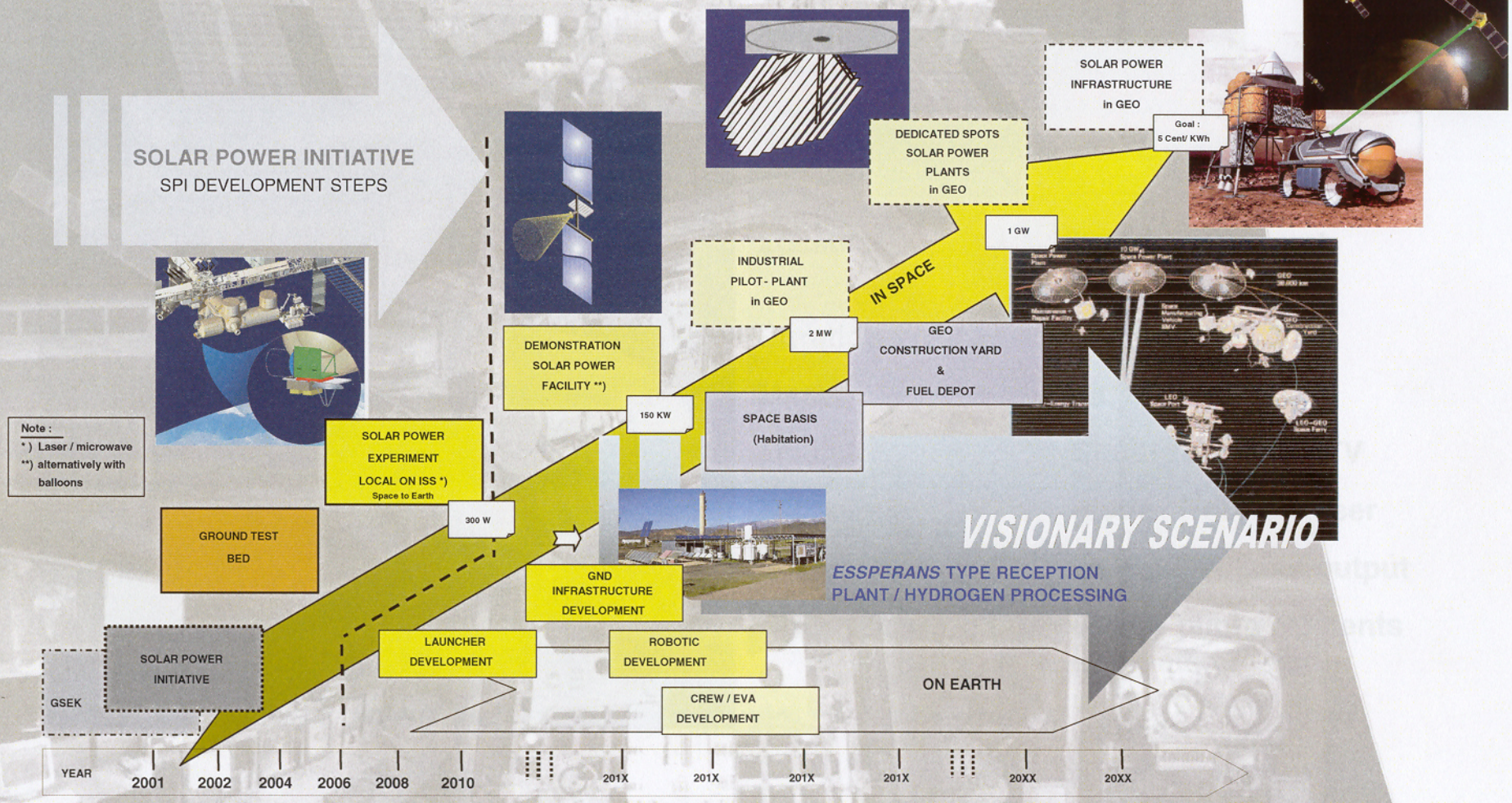
Integrated symmetrical concentrator - *1,2 GW*

Fresh Look Study, 2001

Wireless Power Technology Roadmap

EADS SPACE TRANSPORTATION

Establishing the SPI Roadmap



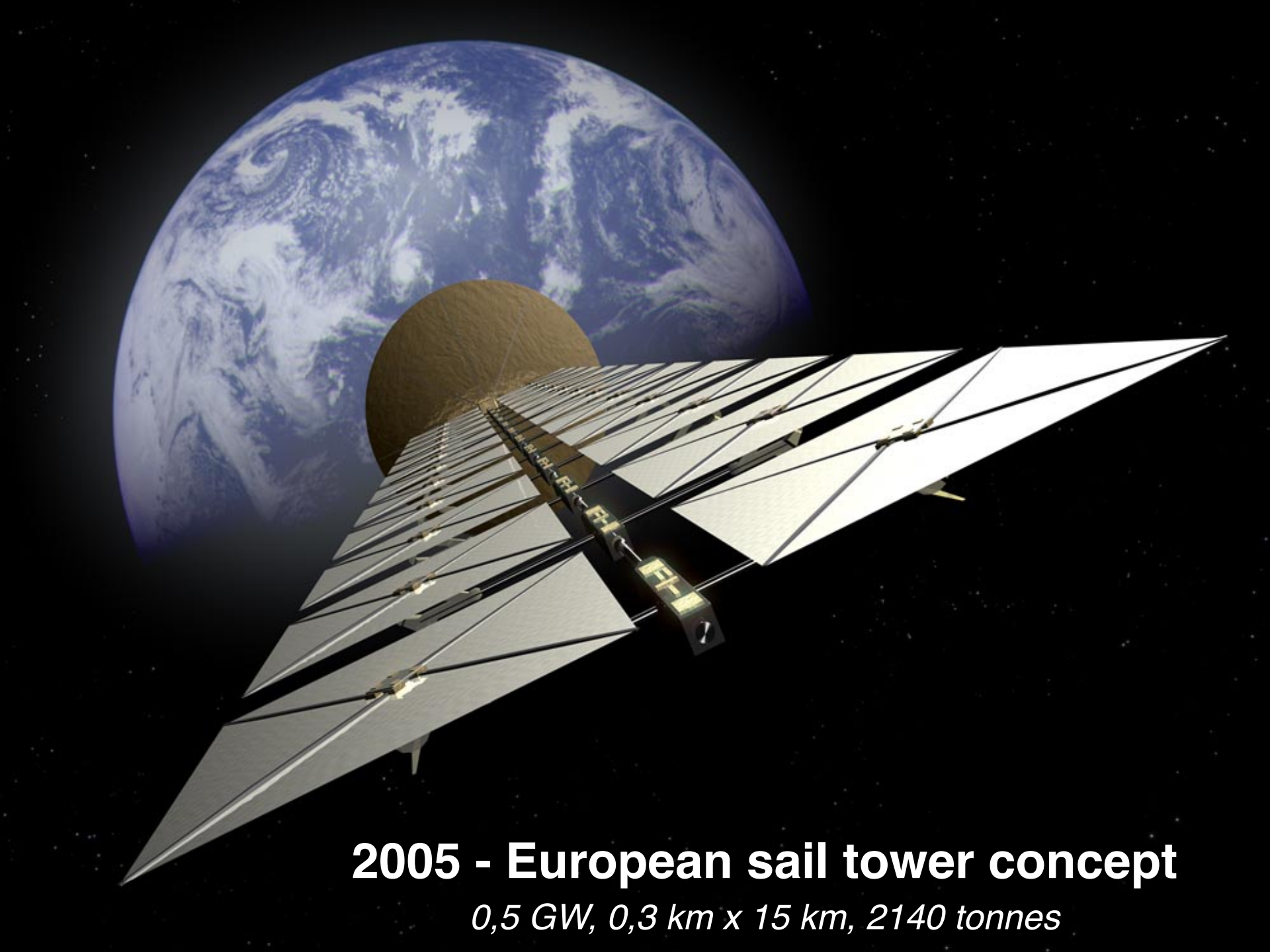
EADS, 2003

2005 - Programme ESA Energie de l'espace

Energie solaire de l'espace : stratégie européenne s'intègrant dans une approche globale de développement durable (SPS Project).

Principaux objectifs :

- Comparaison des solutions solaires terrestres et spatiales
  - synergies possibles,
- Role potentiel pour l'exploration spatiale
- Proposition d'1 à 3 concepts innovants,
- Identification des problèmes techniques nécéssitant R&D,
- Etudes pour la réalisation de missions de démonstration à court terme,
- Evaluation de voies permettant d'intégrer les centrales spatiales dans une économie basée sur l'hydrogène,
- Coordination des recherches européennes et identification d'opportunités pour des coopérations internationales.



2005 - European sail tower concept

0,5 GW, 0,3 km x 15 km, 2140 tonnes

2005 - Programme ESA Energie de l'espace

Comparaison des solutions solaires terrestres et spatiales - synergies possibles (Phase 1)

Principaux résultats :

- **Les concepts spatiaux ne sont pas compétitifs pour des centrales de taille relativement petite, plus les centrales sont grandes plus l'option spatiale devient intéressante.**

- **L'option terrestre offre la possibilité d'une large décentralisation,**

- **Le choix du système de stockage a une grande influence sur le coût de l'électricité produit par les centrales terrestres destinées à fournir de l'électricité de base,**

2011 - Le rapport de l'IAA: SSP

"Space Solar Power"

Editeur John C. Mankins, Publié en Août 2011

- Etude menée sous les auspices de l'IAA, Commission III , Space Technology and System Development.

- Le document de 249 pages:

- ***examine la faisabilité technique du concept***
- ***présente les marchés potentiels et les enjeux politiques.***
- ***décrit et évalue en profondeur trois concepts SPS alternatifs***

- Recommandations:

- ***Le rapport conclut que les centrales solaires spatiales sont techniquement réalisables.***
- ***L'économie des SPS ne pourra être déterminée que par des études internationales de systèmes complets mettant en œuvre des techniques matures validées par des programmes d'essais.***
- ***Une feuille de route est proposée pouvant conduire à la réalisation d'un pilote dans 15 ans .***

2012 - Projet “SPS ALPHA”

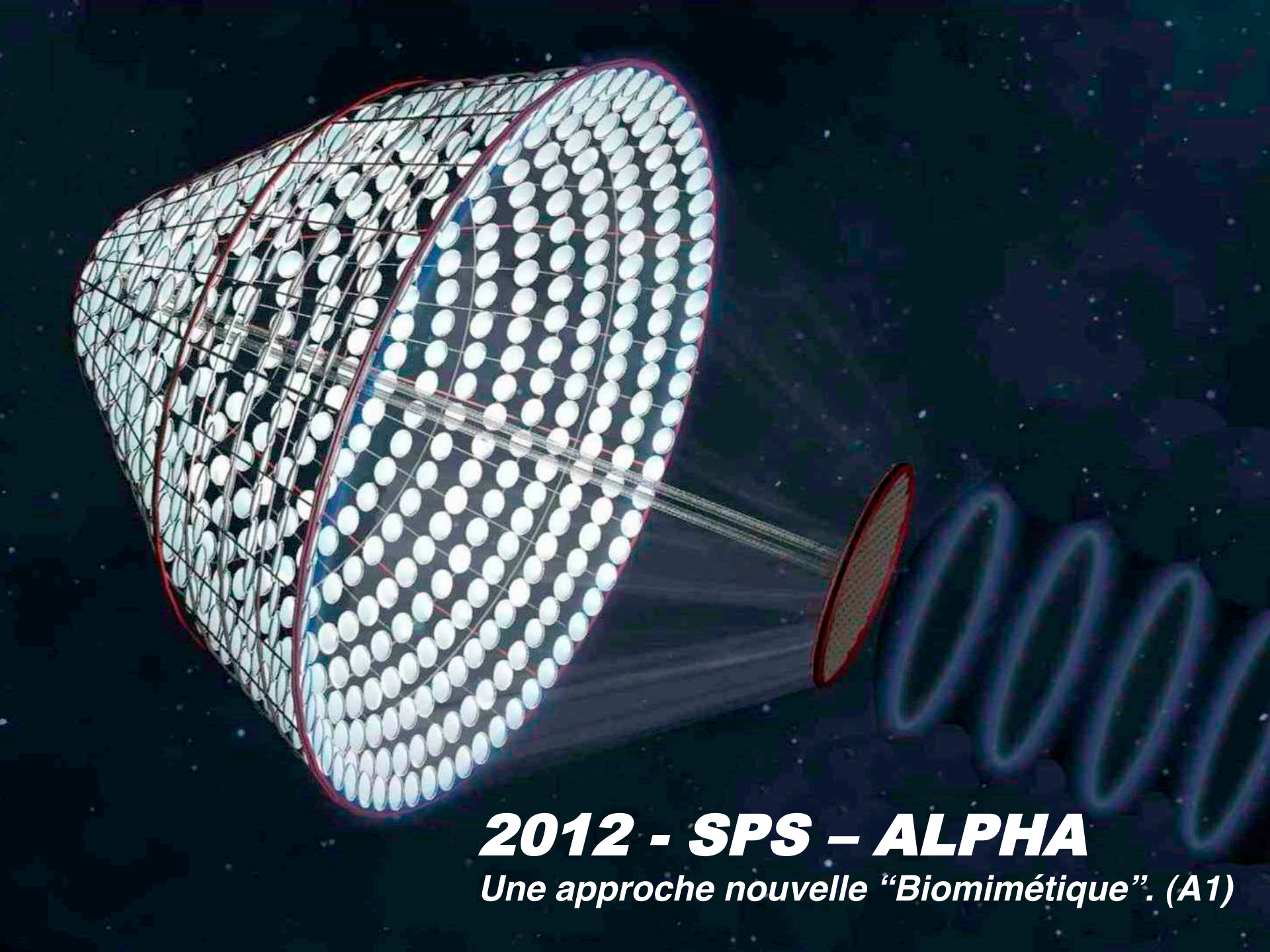
NASA innovative Advancd Concepts: Phase 1 (NIAC)(2012)
NASA's Office of the Chief Technologist,
The First Practical Solar Power Satellite via Arbitrarily Large Phased Array

- La conception de SPS ALPHA est “biomimétique”: elle imite la nature.

- La centrale spatiale met en oeuvre un large éventail de miroirs à film mince contrôlés individuellement et disposés sur la surface incurvée du satellite. Ces miroirs mobiles interceptent et redirigent la lumière solaire vers des cellules photovoltaïques fixées à l'arrière de l’antenne d’émission de la centrale spatiale.

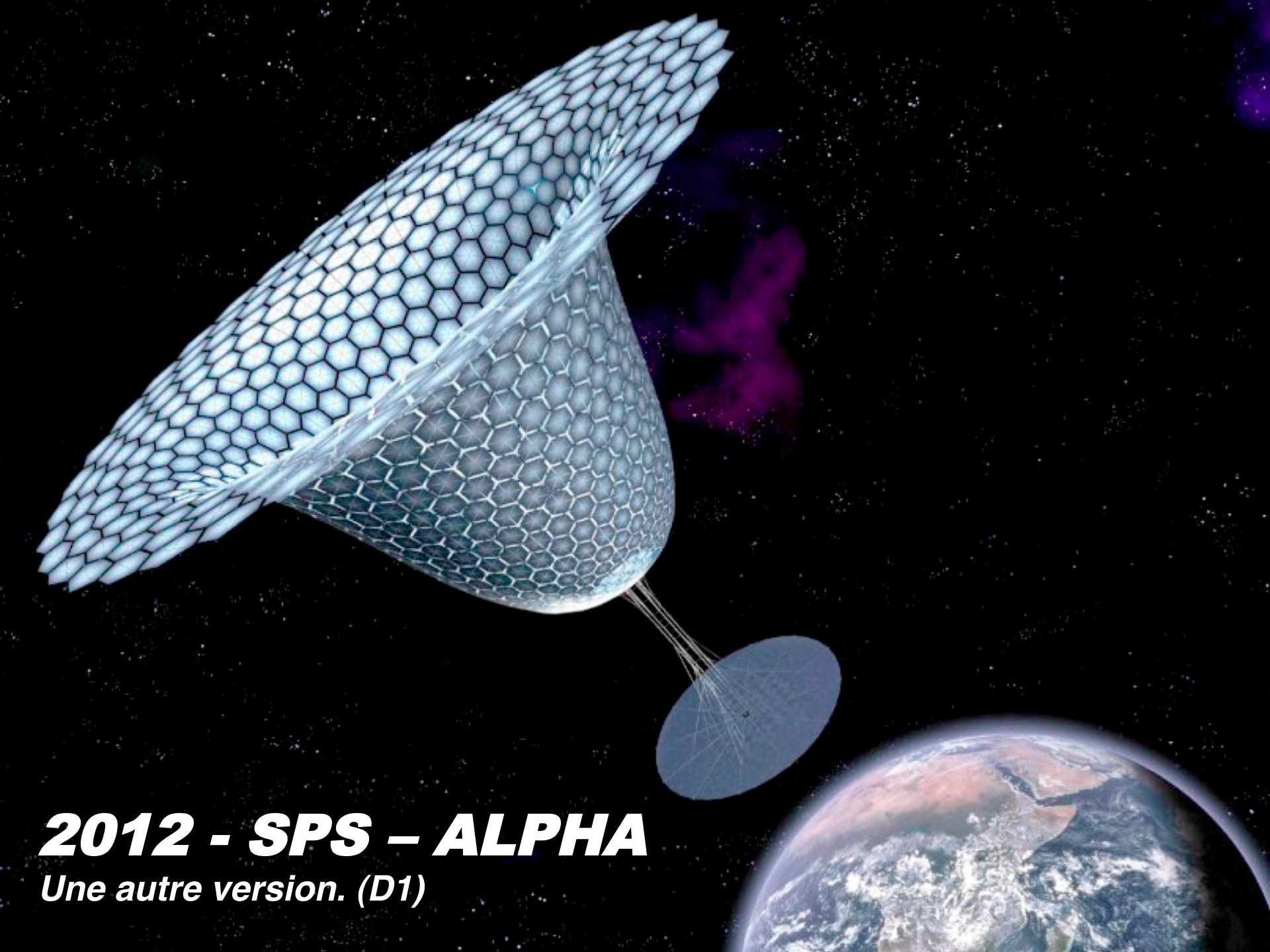
- Le côté avant de cette grande antenne circulaire est carrelé avec un ensemble de modules d’émission qui, pointés au nadir, envoie vers la Terre un faisceau microondes cohérent et de faible intensité.

- Un pylone relie la partie « Miroirs » du satellite à l’antenne.

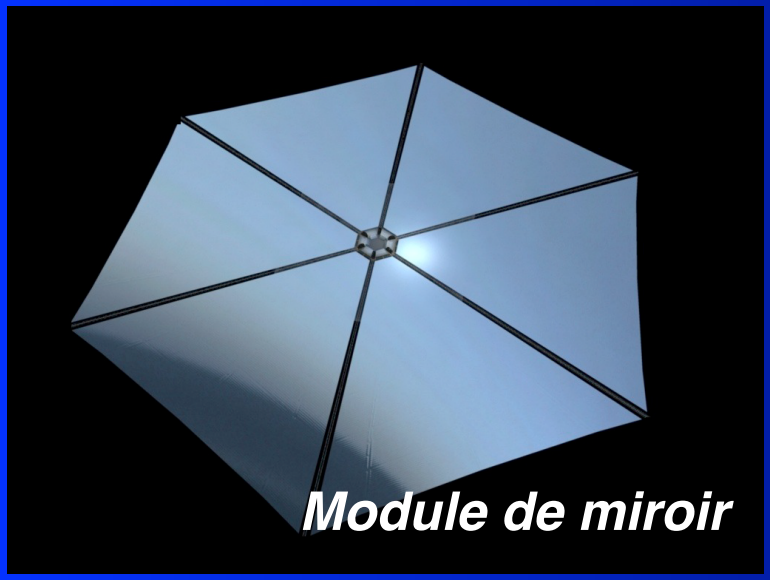


2012 - SPS – ALPHA

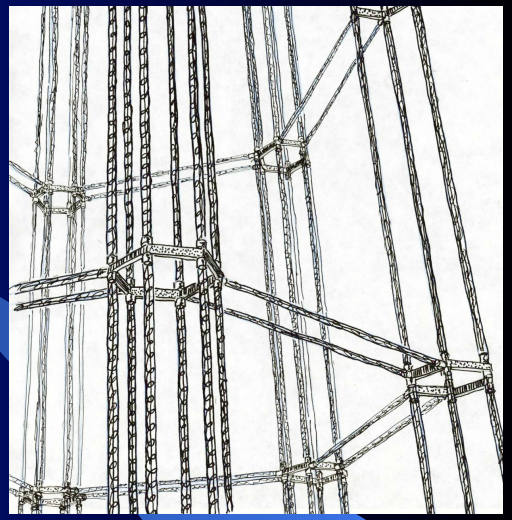
Une approche nouvelle “Biomimétique”. (A1)

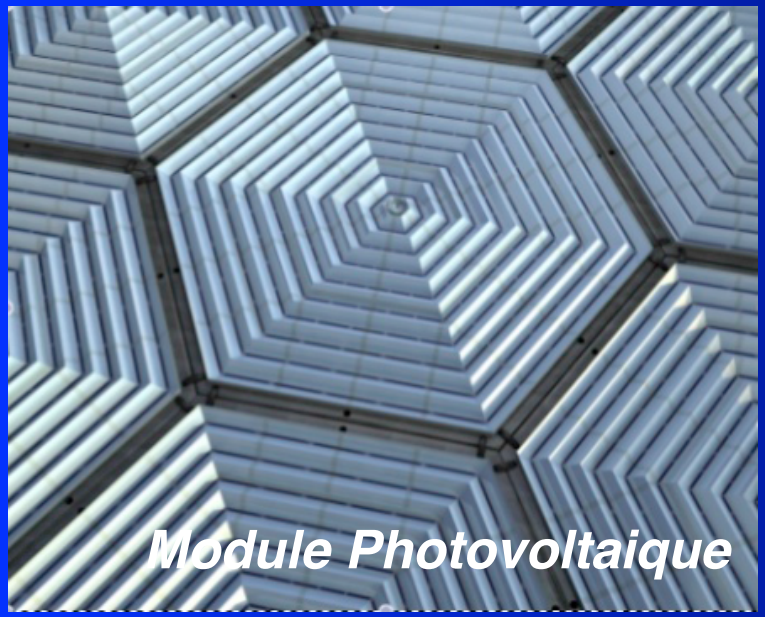

2012 - SPS – ALPHA
Une autre version. (D1)

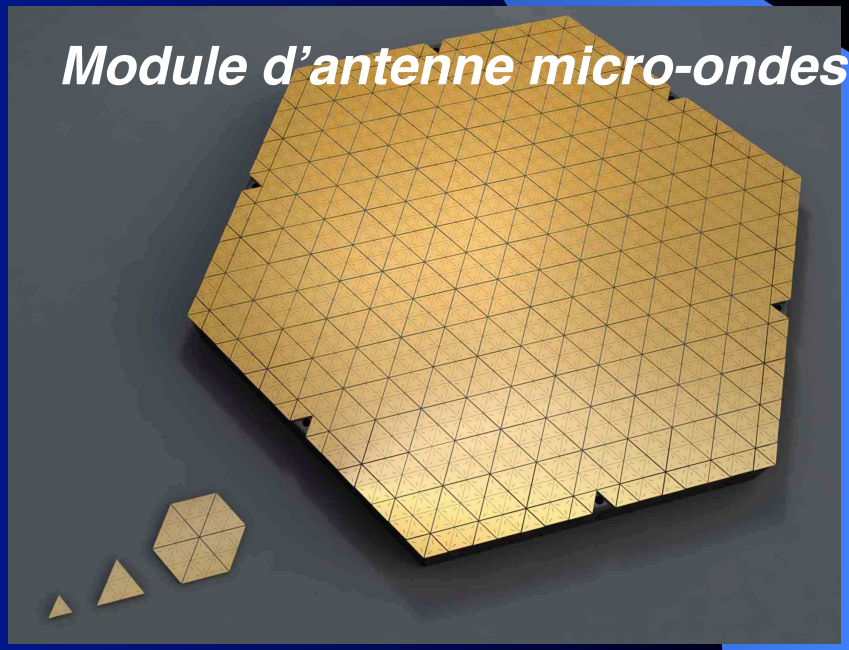
2012 - SPS ALPHA: Eléments de base



"Pylone":
Tenue par gradient de gravité.







SPS ALPHA: Premières évaluations

Paramètres	SPS-ALPHA . Installation pilote avec un minimum de progrès techniques	SPS-ALPHA Vraie grandeur avec un minimum de progrès techniques	SPS-ALPHA de série avec d'importants progrès techniques
Puissance délivrée sur Terre	18 MW	500 MW	2000 MW
Fréquence TESF	2,45 Ghz	2,45 Ghz	2,45 Ghz
Rendement Générateur solaire	25%	48%	60%
Rendement TESF	70% (CC – Micro-Ondes)	70% (CC – Micro-Ondes)	70% (CC – Micro-Ondes)
Coût Transport vers LEO	1500 $/kg	500 $/kg	500 $/kg
Coût puissance installée	250 $/W	24 $/W	16 $/W
Durée de vie	10 ans	Indéfinie, Plus de 30 ans	Indéfinie, Beaucoup plus de 30 ans
Coût de l'électricité	3,26 $ / kWh	15 Cents / kWh	9 Cents / kWh

* Rapport SPS-ALPHA: The First Practical Solar Power Satellite via Arbitrarily Large Phased Array (A 2011-2012 NASA NIAC Phase 1 Project)

2014 - Feuille de route JAXA

Japanese Aerospace Exploration Agency

Recherches de base : 2014 – 2020

2014 : Démonstrations sur Terre
2017 ; Satellite expérimental d'1kW

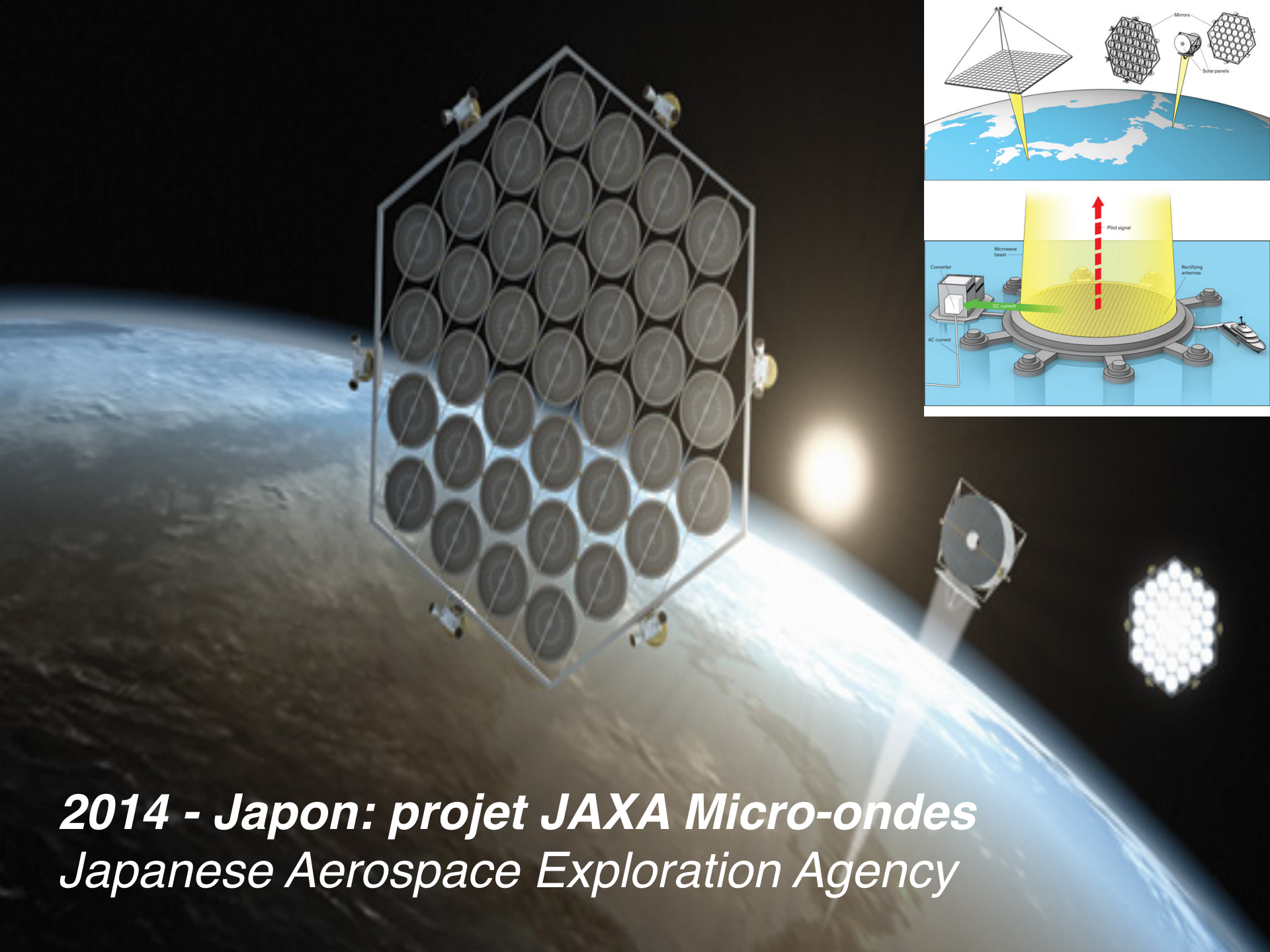
Phase de développement : 2021 – 2030

2021 : Satellite expérimental de 10 kW
2024 : Satellite expérimental de 2 MW
2028 : Centrale spatiale de démonstration de 200 MW

Phase commerciale :

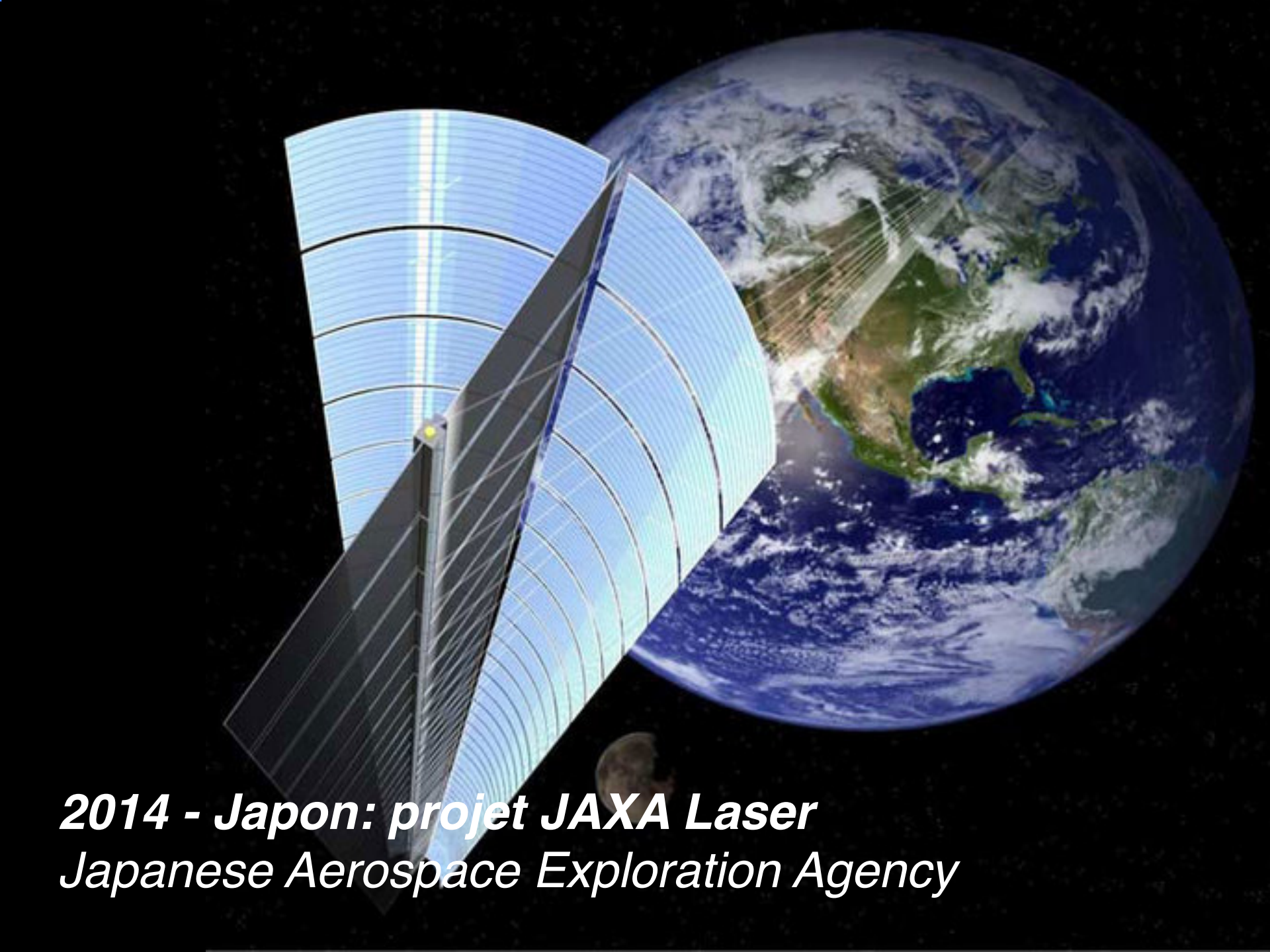
2031 : Centrale grandeur nature : 1GW
2037 : Début de l'exploitation commerciale des Centrales solaires spatiales. Installation d'une centrale par an.

Expérimentation TESF 2015



2014 - Japon: projet JAXA Micro-ondes

Japanese Aerospace Exploration Agency



2014 - Japon: projet JAXA Laser

Japanese Aerospace Exploration Agency

10. Vers un futur Développement, Conclusion

Vers un futur développement:

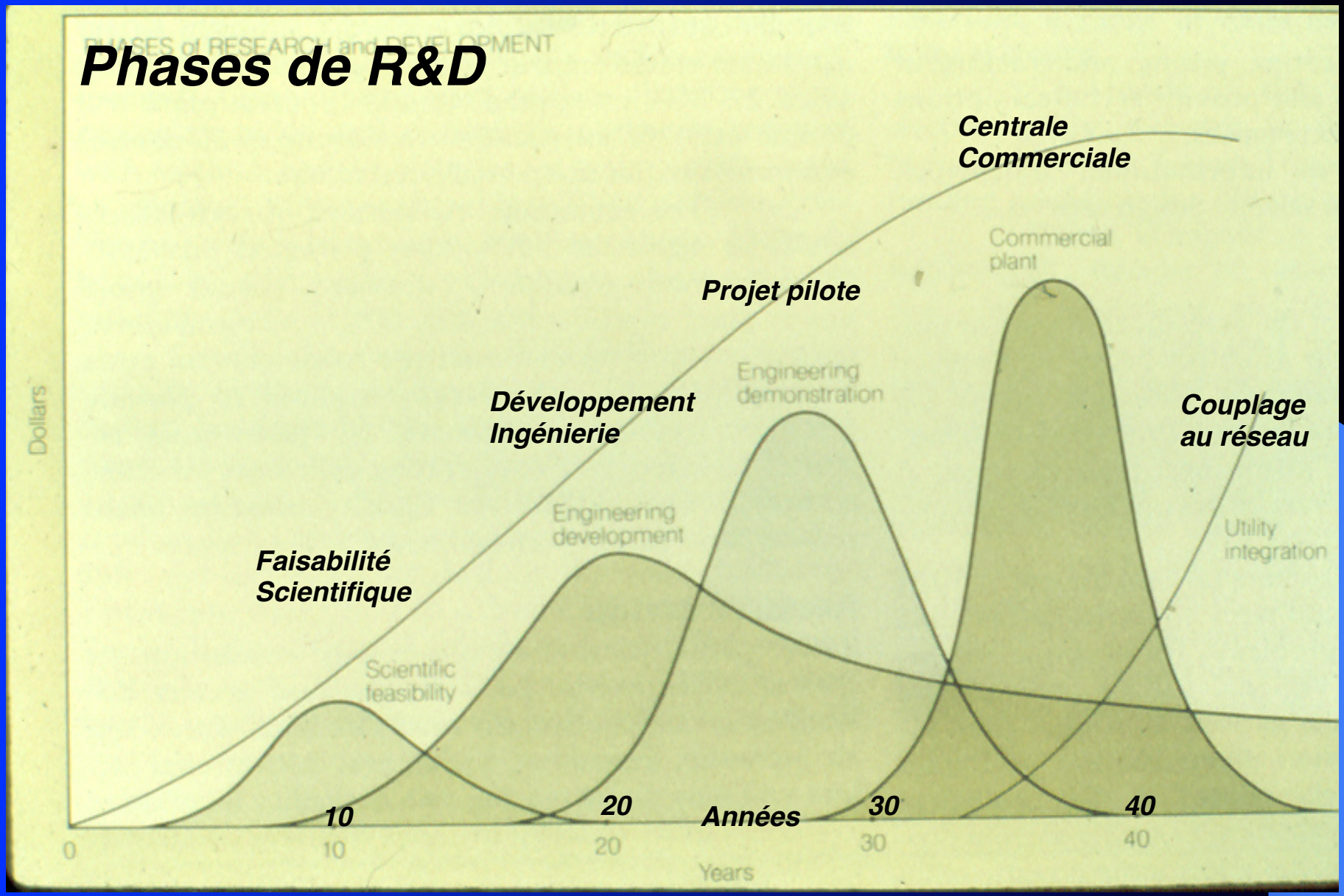
Lancer un programme étape par étape
Organiser une coopération internationale
Démarrer une première étape

- *Court terme : Sur Terre*
  - *Projets de démonstration TESF,*
  - *Liaisons point à point,*
  - *Alimentation de plate-formes "haute altitude".*

- *Moyen terme : Dans l'espace*
  - *Alimentation de plate-formes dans l'espace,*
  - *Propulsion,*
  - *Transmission d'énergie par satellites relais.*

- *Long terme :*
  - *Centrales solaires spatiales,*
  - *Energie pour bases lunaires et martiennes,*
  - *Utilisation des matériaux extra-terrestres.*

Vers un futur développement



Centrales Solaires Spatiales: En conclusion

Beaucoup d'évolutions depuis l'étude de Référence: technologies nouvelles, réduction des masses, augmentation des rendements, réduction importante des coûts.

- ***Potentiel énergétique important,***
- ***Pas d'émission de CO^2,***
- ***Intégration dans une économie basée sur l'électricité et l'hydrogène,***
- ***Compatibilité avec les centrales solaires terrestres,***
- ***Concepts durables prometteurs à long terme,***
- ***Option à considérer dans les scénarios énergétiques post 2050.***

- ***Les moyens spatiaux sont ainsi susceptibles d'apporter des éléments de réponses aux besoins énergétiques futurs. Une information des acteurs de l'énergie doit être menée : Exploitants, IAE, WEC, IRENA,…***

MERCI DE VOTRE ATTENTION