

**VOYAGE
DANS
L'ESPACE**

Épisode

85

**LE FANTASME
DES GROSSES FUSÉES**



**Quand aurons-nous les fusées
pour réaliser nos rêves ?**

Le balado et les fascicules

Depuis janvier 2018, Claude Lafleur et Mathieu Rancourt produisent un balado consacré à l'exploration de l'espace. Intitulé *Voyage dans l'espace*, il est diffusé sur la plateforme soundcloud.com. Chaque épisode vous fait parcourir une dimension particulière, qu'il s'agisse de l'exploration d'une planète, de la recherche de vie dans l'Univers ou de l'aventure des astronautes et de ceux et celles qui rêvent d'espace.

Pour la plupart des balados, ils préparent un exposé détaillé, sous forme de questions/réponses. Il peut s'agir d'une conversation entre Mathieu, l'animateur de *Voyage dans l'espace*, et Claude, le passionné d'espace, ou d'une entrevue avec un spécialiste (souvent un astronome). Ils publient ces exposés sous forme de fascicules, comme celui-ci.

Notez que le balado diffusé s'inspire librement des questions/réponses préparées à cet effet. Le texte qui suit n'est pas un verbatim de l'émission, mais plutôt une autre version; le balado et ce fascicule se complètent l'un et l'autre.

Tous les fascicules sont offerts aux abonnés du balado *Voyage dans l'espace*, abonnement au coût de 5\$/mois, via la plateforme patreon.com.

Mathieu Rancourt est géographe et professionnel de recherche. **Claude Lafleur** est journaliste scientifique qui suit au quotidien depuis plus de 50 ans les péripéties de l'exploration spatiale.

En couverture



Un vaisseau Starship, de la société SpaceX, arrivant en orbite terrestre.

L'équipe de *Voyage dans l'espace*:

Claude Lafleur, contenu

Mathieu Rancourt, animation

Florent Meunier, montage

Laurent Runigo, médias sociaux

[Les balados](#) ; [Abonnement](#) ; [Courriel](#).

[Facebook](#) ; [YouTube](#) ; [Instagram](#).

L'équipe des fascicules:

Rédaction: Claude Lafleur

Couverture: Florent Meunier

Illustrations: NASA, SpaceX, Spaceflight Now.

© Copyright, Claude Lafleur, 2022

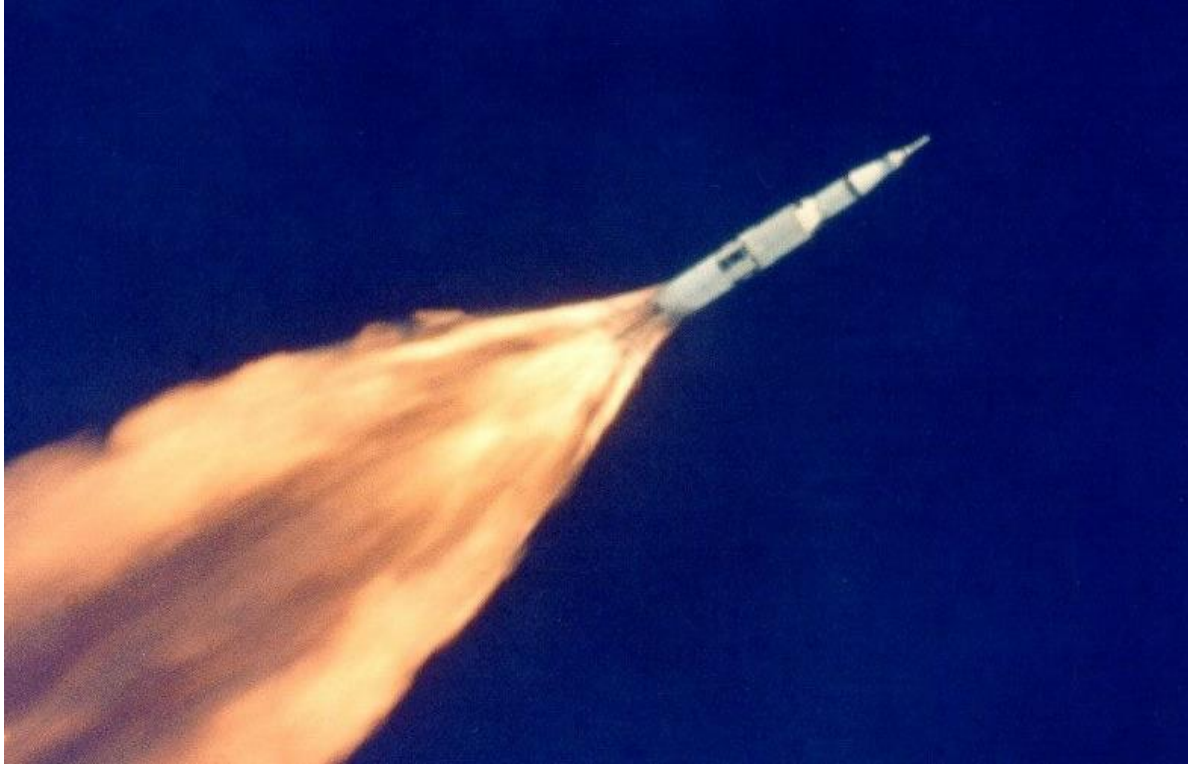
ISBN 978-2-925106-55-5 (pdf)

ISBN 978-2-925106-56-2 (kindle)

Dépôt légal:

Bibliothèque nationale du Québec, 2022

Bibliothèque nationale du Canada, 2022



Saturn V, la fusée la plus puissante à avoir volé avec succès.

Le fantôme des grosses fusées

[Écoutez](#) le balado *Le fantôme des grosses fusées* diffusé le 17 avril 2022.

Texte de Claude Lafleur.

Le 10 février dernier, Elon Musk présente une conférence fort attendue puisqu'il y fait le point sur le projet de sa toute puissante fusée Super Heavy surmontée par un vaisseau Starship (SHS). Il s'agissait de la première mise à jour du programme SHS en plus de deux ans, un exposé qui a fait grand bruit.¹

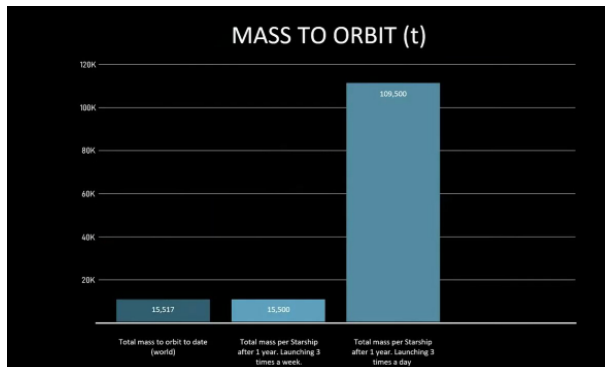
Musk amorce sa conférence en expliquant qu'en une année, sa super-fusée sera capable de placer sur orbite autour de la Terre plus de charge que tout ce qu'on a orbité depuis le Spoutnik de 1957, soit 15 500 tonnes, indique-t-il. «La masse orbitée par Starship, après une seule année de service, si on la lançait trois fois par [semaine], sera égale à celle placée en orbite terrestre à ce jour», affirma-t-il.¹

Le p.d.g. de SpaceX nous présente d'ailleurs un graphique qui montre que si on lançait une Starship trois fois par jour, elle orbiterait en une année seulement près de 110 000 tonnes. «Et nous prévoyons fabriquer un très grand nombre de Starship, dit-il en précisant que chacune d'elle pourrait être relancée huit heures

¹ Précisons que, dans son exposé, Musk parle de trois lancements par *jour* mais que le graphique

qu'il montre en même temps indique plutôt trois lancements par *semaine*.

seulement après un tir – d'où la possibilité pour chaque Starship de s'envoler, en théorie, trois fois par jour.



Ce graphique montré par Musk indique qu'on a satellisé 15 517 tonnes depuis le début de l'ère spatiale, tandis qu'une seule fusée Starship pourrait en placer 15 500 tonnes par année si elle était lancée trois fois par semaine, ou encore 109 500 tonnes annuellement par une seule Starship lancée trois fois par jour.

Mais c'est là une cadence de tir absolument prodigieuse lorsqu'on songe qu'une SHS dépasse en puissance, en taille et en complexité la fusée lunaire Saturn V... que la NASA n'a lancé que 13 fois en 7 années. Surtout, jamais n'a-t-on assisté au tir d'une même fusée (si simple soit-elle) le même jour. (Rarement a-t-on vu le lancement de deux exemplaires d'une même fusée la même semaine.) Ce que propose Musk est tout simplement dantesque.

Par contre, ce n'est pas la première fois qu'on rêve d'utiliser des fusées géantes pour réaliser de grandioses projets, comme par exemple une expédition humaine sur Mars ou la colonisation de la Lune, sinon même du Système solaire tout entier. Dès les années 1950, en effet, Wernher von Braun en parlait déjà.

Surtout, à partir des années 1960, tant les Américains que les Soviétiques prévoyaient utiliser les super-fusées qu'ils



Elon Musk lors de son allocution du 10 février 2022.

concevaient alors pour réaliser de grandioses projets spatiaux. Et ce rêve s'est poursuivi tout au long des décennies suivantes – sans jamais aboutir.

C'est ainsi que depuis le début de l'ère spatiale, on voit régulièrement poindre le jour pas si lointain où on disposera de puissantes fusées pour enfin réaliser notre grand rêve de coloniser l'espace. On pourrait même parler du «fantasme de la grosse fusée», c'est-à-dire que: «Le jour est proche où nous disposerons de fusées suffisamment puissantes pour nous permettre de faire ceci ou cela...» En cela, Musk n'a rien inventé, puisqu'il n'est que le plus récent des ardents militants du spatial à faire rêver les foules.

Or, si on a bien développé une panoplie de «grosses fusées» depuis soixante ans, jamais aucune d'entre elles n'a mené à la réalisation de nos rêves.

Pourquoi donc? Pourquoi, en fin de compte, ne se sert-on jamais des puissantes fusées dont on dispose pourtant pour conquérir l'espace?

Les rêves de Musk ne sont donc pas nouveaux. Mais si le passé présage de l'avenir, l'histoire ne risque-t-elle pas de se répéter?

1 – Les rêves de Wernher von Braun

C'est ainsi qu'en 1951 – six ans avant le lancement du premier Spoutnik – Wernher von Braun faisait déjà valoir qu'une mission habitée vers Mars était «tout à fait du domaine du possible».²

Il proposait même un scénario précis: 46 navettes à trois étages effectueraient 950 envolées pour assembler en orbite terrestre dix gigantesques vaisseaux interplanétaires. Ceux-ci transporteraient 70 hommes jusqu'à la planète rouge. Dans un premier temps, ces vaisseaux se placeraient en orbite avant qu'une cinquantaine d'hommes ne descendent fouler le sol martien.



Cinq des dix vaisseaux interplanétaires imaginés par Wernher von Braun.

Von Braun estimait qu'il faudrait huit mois pour assembler sa flotte de vaisseaux autour de la Terre, puis deux ans et huit mois pour accomplir l'expédition martienne.

En 1955, il nous présenta plus en détail son concept de fusée à trois étages qui, à bien des égards, préfigurait la fusée lunaire Saturn V qu'il allait concevoir dans les années 1960. Il en profita pour livrer son plaidoyer: «Si nous nous y mettions dès aujourd'hui, en planifiant bien notre programme spatial, je crois que nous pourrions développer un vaisseau spatial

capable de transporter un équipage d'ici une dizaine d'années.»

(Notons que le discours de Musk, à l'effet que nous sommes une civilisation multiplanétaire et que nous pourrions nous installer sur Mars «sous peu» – si nous nous y prenons bien – ressemble beaucoup à celui de von Braun. À noter aussi que plusieurs des paramètres énoncés par le patron de SpaceX s'assimilent aux projets du passé que nous allons exposer.)



Wernher von Braun présentant en 1955 sa fusée-navette.

Or, aujourd'hui encore, une telle vision dépasse de beaucoup nos capacités. À titre d'exemples, il a fallu une trentaine de vols de Navette spatiale réalisés sur une quinzaine d'années pour assembler la Station spatiale internationale. Or, chaque vaisseau martien dont rêvait von Braun aurait été deux fois plus gros que la

Station. En tout et pour tout, on n'a réalisé que 135 vols de Navette en trente ans, alors que, bon an mal an, on ne lance qu'une centaine de fusées de tout type à

travers le monde. C'est dire qu'effectuer 950 vols de navette en huit mois seulement relèverait du prodige... aujourd'hui encore.



Le premier satellite soviétique, le Spoutnik de 84 kg, comparé au Vanguard américain de 1½ kg.

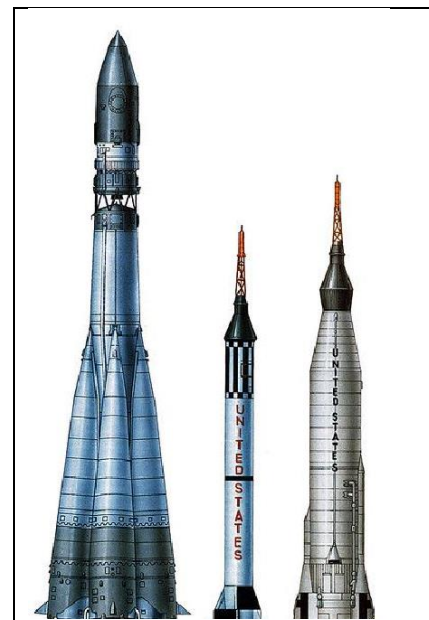
2 – La course aux poids lourds

La course à l'espace s'est amorcée le 4 octobre 1957 avec le lancement de Spoutnik. À l'époque, les Soviétiques surprennent tout le monde en plaçant en orbite une charge de 84 kilogrammes. Pour cause, puisque les Américains s'apprêtaient à lancer leur propre satellite Vanguard de... 1½ kg.

Un mois plus tard, ils orbitaient un deuxième Spoutnik, avec une chienne à bord, qui pesait 508 kg. Et huit mois plus tard, ils récidivaient avec un laboratoire scientifique de 1300 kg (Spoutnik 3). Or, c'est à peine si les Américains étaient parvenus entre-temps à expédier un Explorer de 4 kg. C'est dire que les Soviétiques disposaient de fusées capables de satelliser des charges trois cents fois plus lourdes que celles des Américains.

En 1960, les Soviétiques surprennent encore le monde en orbitant une capsule Vostok (sans personne à bord) de quatre tonnes et demie, tandis que les Américains espéraient parvenir à lancer une capsule Mercury trois fois moins lourde.

Comparaison des fusées Vostok, Redstone et Atlas qui lancèrent les premiers satellites soviétiques et américains. Les lanceurs américains n'étaient vraiment pas de taille.



3 – Nova et Saturn, les géantes américaines

En conséquence, les Américains se sont lancés dans un important programme visant à se doter de fusées plus puissantes que celles de leurs concurrents. Dès 1958, leur toute nouvelle agence spatiale, la NASA, annonce son intention de se doter d'une fusée capable d'orbiter 40 tonnes.³

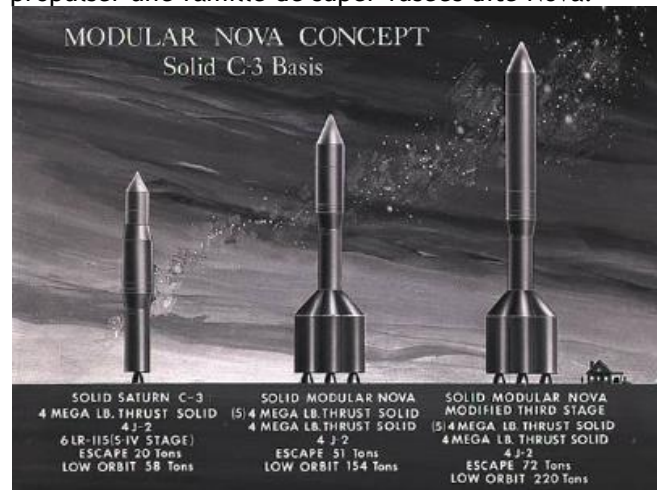
Inspirée par Wernher von Braun, la NASA songe déjà au jour où elle enverra des hommes sur la Lune. Heinz Koelle, l'un des proches collaborateurs de von Braun énonce ainsi la possibilité qu'au printemps de 1967: «Nous aurons développé les capacités de placer un homme sur la Lune... en espérant qu'entre-temps, les Russes n'y auront pas déjà installé un poste de douanes»!⁴

C'est ainsi que dès 1958, l'équipe de von Braun met au point un formidable moteur-fusée – en fait, la machine la plus puissante jamais conçue. Il s'agit du moteur-fusée F-1, capable de générer une poussée de 690 tonnes. Sur le coup, on ignore sur quelle fusée au juste sera installée une telle machine mais il ne fait aucun doute qu'on en aura besoin.⁵ De fait, en avril 1959, les dirigeants de la NASA envisagent déjà le jour où ils disposeront d'un «vaisseau interplanétaire» puisqu'il ne fait aucun doute dans leur esprit que des expéditions humaines vers la Lune, Mars et à travers le Système solaire auront lieu bien avant l'an 2000.

A cette fin, ils mettent en chantier une gigantesque fusée appelée Nova et qui, selon différents modèles, serait équipée de quatre à neuf moteurs-fusée F-1. De telles mastodontes, qui auraient la taille d'édifices de 30 à 40 étages, seraient capables de placer jusqu'à 500 tonnes en orbite terrestre ou livrer directement sur



Dans les années 1950, les Américains ont développé une gamme de moteurs-fusée, dont le F-1 (à droite) qui surclassait tous les autres. Ces moteurs devaient propulser une famille de super-fusées dite Nova.



le sol lunaire un équipage (à la manière de Tintin).⁶

Cependant, les responsables de la NASA finissent par conclure qu'une telle fusée serait beaucoup trop complexe et coûteuse à développer. Ils optent par conséquent pour un modèle plus modeste: la Saturn V («saturne cinq»).



Taille des fusées Saturn 1 (C-1), Saturn V (C-5) et Nova.

De la taille d'un édifice de 36 étages, cette fusée allait être propulsée par cinq moteurs F-1, générant une poussée totale de 3500 tonnes au décollage. Elle pouvait placer 120 tonnes en orbite terrestre ou expédier 43 tonnes vers la Lune.



Le premier étage d'une fusée Saturn V, avec ses cinq moteurs-fusée F-1.

Saturn V a été mise au point avant tout pour permettre à des astronautes de fouler le sol lunaire avant la fin des années 1960. Et longtemps, on a envisagé l'utiliser de multiple façons, dont pour placer les éléments d'une station orbitale où résideraient une centaine de personnes. Et pour sûr, les Saturn V allaient servir à ins-

taller une base sur la Lune où vivraient des colons. (Comme nous le relatons dans le Balado 61 – [Pourquoi le futur n'est jamais comme on l'imaginait](#), von Braun s'attendait même à ce que des enfants naissent sur la Lune au tournant de l'an 2000.)

On prévoyait aussi doter Saturn V d'un troisième étage à propulsion nucléaire, ce qui aurait permis d'éventuelles expéditions vers Mars et à travers le Système solaire. On a de plus sérieusement envisagé l'utiliser pour lancer des sondes qui, au cours des années 1980, auraient exploré Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et Pluton à l'aide de moyens technologiques nettement supérieurs aux célèbres sondes *Voyager*.

Hélas, par-delà la douzaine de missions Apollo réalisées grâce aux Saturn V – dont six débarquements sur la Lune –, cette fusée n'a été utilisée qu'une treizième fois pour lancer la mini-station orbitale Skylab.

Soulignons enfin qu'avant de développer Saturn V, l'équipe von Braun a aussi conçu deux Saturn plus modestes: Saturn 1 et Saturn 1B. Ils prévoyaient utiliser cette dernière comme lanceur tout-usage capable de satelliser une vingtaine de tonnes. C'est là une charge intéressante, qui devait permettre de réaliser une foule de projets spatiaux tels que l'exploration des planètes à l'aide de grosses sondes automatiques, le lancement de puissants télescopes spatiaux, le ravitaillement de stations orbitales, etc.

Mais voilà que les Saturn 1 et 1B n'ont été lancées qu'une vingtaine de fois, essentiellement dans le cadre des programmes Apollo et Skylab.⁷

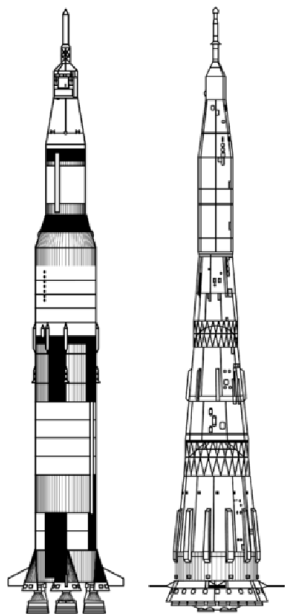
Comme quoi, si au départ, on rêvait d'un brillant avenir pour les fusées Saturn, celles-ci n'ont guère été utilisées.



Les fusées Saturn 1 (à gauche) et 1B (à droite) devaient être les «chevaux de trait» du programme spatial américain – pensait-on au début des années 1960 – mais il n’en fut rien.

4 – Le communisme universel

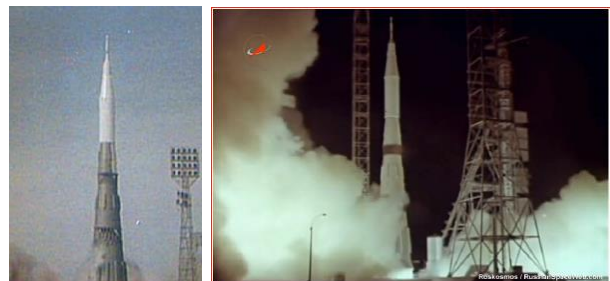
De leurs côtés, les Soviétiques ont également mis au point une fusée du type Saturn V dans le but premier de fouler le sol lunaire avant les Américains. Cette fusée s’appelait tout simplement N-1 mais son existence a été tenue secrète durant deux décennies.⁸



La fusée lunaire soviétique N-1, comparée à la Saturn V américaine.

Au décollage, une N1 générant 4500 tonnes de poussée (contre 3500 pour Saturn V); il s’agissait de ce fait de la plus puissante fusée jamais conçue. Elle avait la capacité de placer 95 tonnes en orbite terrestre ou d’expédier 48 tonnes vers la Lune. Mais sa particularité était qu’au décollage, elle utilisait 30 moteurs-fusée!

Or, tous se devaient de fonctionner à l’unisson, ce qui constituait en soi un défi technologique majeur.



De fait, quatre N-1 ont été lancées dans le plus grand secret entre 1969 et 1972 mais toutes ont explosé peu après leur décollage, victimes de phénomènes de résonance induits par les vibrations générées par trente moteurs-fusée fonctionnant en même temps.⁹ (Notons que la Super-Heavy de SpaceX emploie également

une trentaine de moteurs-fusée au décollage et qu'à ce jour, jamais un aussi grand nombre de moteur n'a fonctionné à l'unisson.)

Fidèle à leurs habitudes, les Soviétiques ne dévoilaient jamais avec précision leurs plans d'avenir (comme nous le relatons dans le balado 62 – [Dans les secrets de la cosmonautique soviétique](#)). On ne sait donc pas à quelles autres fins précises ils envisageaient utiliser leur fusée N-1 (si celle-ci avait été mise en service).

Cependant, tout au long des années 1960 et 1970, les Russes ont fréquemment clamé que leur intention était, à long terme, de coloniser l'espace et, surtout, d'y répandre le communisme!

À titre d'exemple, l'auteur russe R. G. Perelman affirmait dans son livre *Gods and Means in the Conquest of Space* qu'après avoir «conquis le Système solaire», on allait s'élancer «vers les étoiles de notre galaxie, et même vers les autres galaxies... afin de visiter les autres civilisations pour leur apporter» les bienfaits du communisme.¹⁰

Voilà qui trahit une conception plutôt naïve des voyages dans l'espace, comme s'il était aussi facile de se balader à travers notre galaxie – sinon même dans tout l'Univers – à la manière de *Star Trek*. La réalité toutefois est que, des décennies plus tard, on n'a guère dépassé l'orbite terrestre.

5 – Place à la Navette spatiale

L'ère des grosses fusées a pris fin dans les années 1970 – en même temps que la course à la Lune – pour être remplacée par celle de la Navette spatiale. La NASA s'est ainsi dotée d'un *Système de transport spatial* (STS) qui devait révolutionner l'accès à l'espace en servant de camion tout-usage ouvrant le proche espace à son utilisation commerciale.

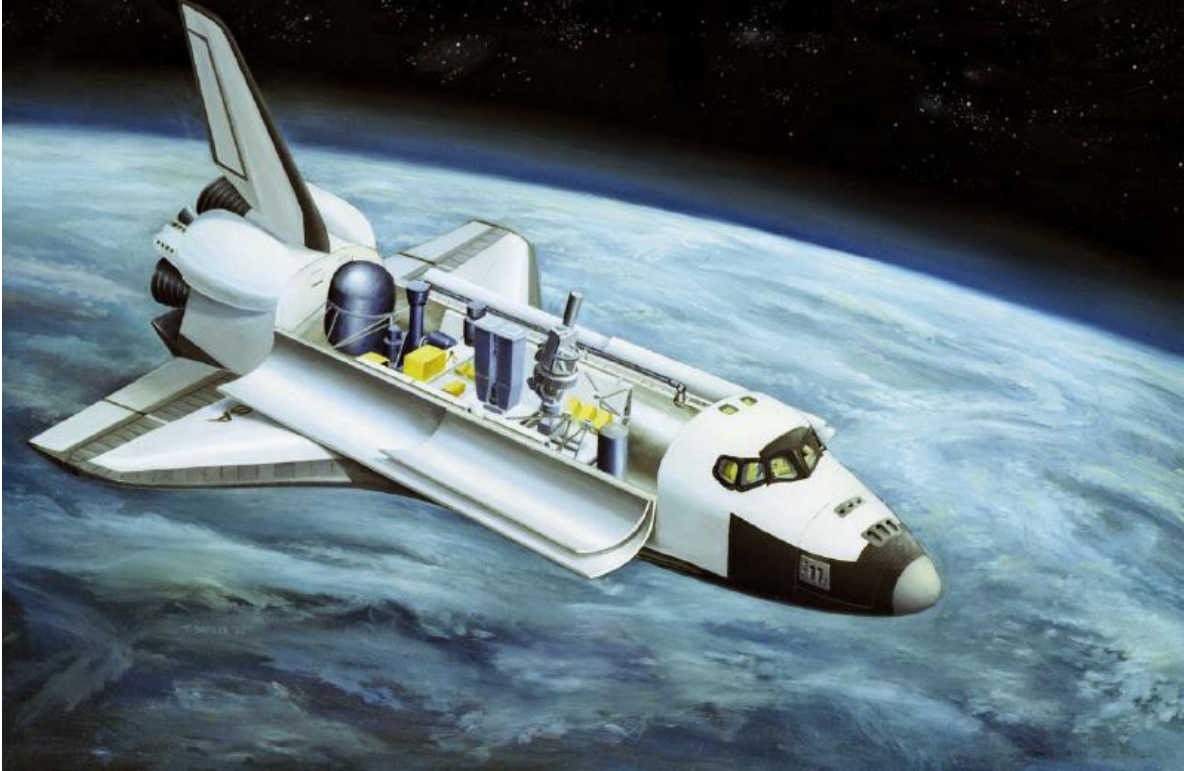
C'est ainsi qu'entre 1981 et 1986, la NASA a réalisé vingt-quatre missions de Navette qui faisaient étalage d'une grande flexibilité, notamment dans le lancement de satellites, dans l'opération d'un mini laboratoire scientifique (Spacelab), dans le sauvetage et la récupération de satellites en perdition, etc. On envisageait en outre effectuer une foule d'autres opérations, dont la fabrication de produits pharmaceutiques et de matériaux impossibles à obtenir sur Terre. On prévoyait d'ailleurs installer de mini-usines en orbite terrestre qui fonctionneraient en mode automatique et qui seraient régulièrement desservies par la Navette spatiale.

Une véritable ère de l'industrialisation de l'espace s'ouvrait donc à nous, une

foule d'entreprises envisageant sérieusement tirer profit des conditions uniques qui règnent dans l'espace (vide et apesanteur).

Pour sa part, la NASA avait entrepris la conception d'une station spatiale qui devait être assemblée et ravitaillée par la Navette spatiale à partir de 1991. La colonisation de l'espace semblait sur le point de s'amorcer.

Hélas, tous ces beaux projets ont volé en éclat à la suite de la perte de *Challenger* le 28 janvier 1986. C'est ainsi qu'une multitude de «beaux rêves» ont pris fin en même temps que notre naïveté disparaissait. En effet, la catastrophe de *Challenger* marque en quelque sorte la fin de l'adolescence et du romantisme des vols



L'orbiteur de la Navette spatiale, dont on espérait qu'il devienne le camion tout-usage de l'espace.

spatiaux, la fin de l'époque où on imaginait qu'un jour prochain, nous allions voyager dans l'espace aussi facilement qu'on se déplace d'un bout à l'autre de la Terre... *Challenger* nous a confrontés à la

dure réalité des risques inhérents aux vols spatiaux (risques qui demeurent aujourd'hui encore... mais qu'on tend à oublier).

6 – Les leçons de la Jarvis

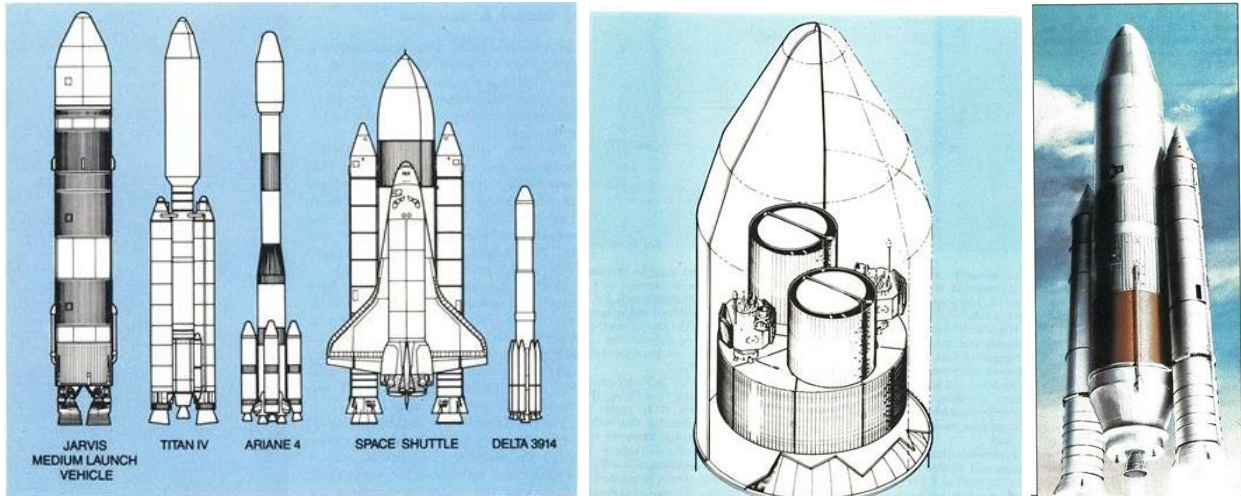
Avec la venue de la Navette spatiale, les Américains avaient prévu mettre fin au lancement de satellites à l'aide de fusées conventionnelles (c'est-à-dire non-réutilisables). Tout devait être transporté grâce à ce «camion spatial tout-usage».

Mais voilà qu'à la suite de la perte de *Challenger*, le Pentagone et la NASA ont remis en marche les lignes d'assemblage des fusées Delta, Atlas et Titan.

Ce changement de cap a donné l'idée aux sociétés Hughes et Boeing de proposer une fusée capable d'orbiter 38 tonnes, soit bien davantage que toute autre fusée existante. Celle-ci fut baptisée Jarvis, à la mémoire de Gregory Jarvis, l'ingénieur

de la Hughes qui a péri à bord de *Challenger*.

Parmi les innovations proposées, cette fusée se devait d'être la plus simple possible et recourir aux technologies longuement éprouvées, dont les moteurs-fusée F-1 et J-2 utilisés sans faille sur les Saturn V. (Plus tard, Boeing proposera d'autres versions de la Jarvis recourant aux moteurs-fusée SSME et autres composantes de la Navette spatiale.)



Illustrations de la fusée Jarvis d'après *Aviation Week*: à gauche, comparaison avec les fusées Titan IV et Ariane 4 ainsi qu'avec la Navette. Au centre, possibilité de placer sous la coiffe plusieurs satellites et, à droite, une version utilisant des composantes de la Navette spatiale.

Cette fusée serait entre autres capable de lancer jusqu'à une demi-douzaine de gros satellites à la fois, alors que les fusées existantes n'en transportaient qu'un ou deux.¹¹

Ce projet de «super fusée toute simple» a cependant été rapidement abandonné, notamment à cause du contexte très particulier de l'époque et des conséquences qui surgiraient en cas d'accident de lancement.

En effet, le projet Jarvis a été lancé au moment où, en l'espace de quatre mois seulement, la Navette spatiale, puis les fusées Titan, Delta et Ariane ont toutes connu de retentissants échecs de lancement:

- 18 avril: une Titan 34D transportant un important satellite espion KH-9 Hexagon;
- 3 mai: une Delta 3914 transportant le satellite météo GOES G;
- 31 mai: une Ariane 2 transportant le satellite de communication Intelsat 5 F-14.

C'est ainsi que du coup, tous les lanceurs occidentaux se sont trouvés cloués au sol, engendrant des pertes financières se chiffrant à des milliards de dollars.

Une sérieuse question s'est par conséquent posée: si on confiait une demi-douzaine de satellites de grande valeur à une seule Jarvis et que celle-ci ratait son tir, les conséquences pourraient être dramatiques. Par contre, les risques sont nettement moindres lorsqu'on confie un ou deux satellites aux fusées existantes. Autrement dit, vaut peut-être mieux ne pas mettre tous ses œufs dans un seul panier!

Voilà donc que le projet Jarvis a fait ressortir l'un des inconvénients majeurs des fusées capables de satelliser de grandes charges, des charges de grandes valeurs. C'est ainsi que Hughes avait proposé à la NASA d'utiliser sa Jarvis pour orbiter la station spatiale en quelques gros morceaux seulement – au lieu de le faire par petits blocs à l'aide de dizaines de vols de navette, comme envisagé.

Mais que ce serait-il passé si une Jarvis avait failli et qu'on perde du coup le quart ou le cinquième de la station spatiale? De

même, si on perdait d'un coup une demi-douzaine de satellites de grande valeur?

Une autre façon de voir les choses, c'est de considérer que le matériel transporté en grande quantité par une puissante fusée représente d'importants investissements. Et c'est là un écueil majeur non seulement en cas de perte mais, puisque le cargo coûte très cher, on lancera moins fréquemment de telles fusées.

Or, moins souvent on lance une fusée, moins on est assuré de sa fiabilité. C'est ainsi que la NASA n'a lancé que treize Saturn V, tandis que les Atlas V, Ariane V et Falcon 9 ont chacune volé une centaine de fois. Bien sûr, à force d'expérience (et de

quelques accidents), on les considère à présent comme extrêmement fiables.

Bref, avec les lanceurs superpuissants, on se retrouve devant une situation paradoxale: en confiant de très importantes charges à des fusées moins expérimentées, on court davantage de risque qu'en utilisant des fusées de moindre puissance mais lancées plus fréquemment.

Voilà d'ailleurs pourquoi, de tout temps, on préfère utiliser des fusées capables d'orbiter une dizaine de tonnes, qu'on lance régulièrement chaque année: Soyouz, Atlas, Ariane, Falcon 9, etc. L'investissement est moins risqué et les pertes en cas d'accident moins douloureuses à encaisser.

7 – Les lanceurs intermédiaires

Notons par ailleurs que tant les Américains que les Soviétiques disposaient de fusées de calibre intermédiaire, c'est-à-dire capables d'orbiter une vingtaine de tonnes. Il s'agit en l'occurrence des Titan (III et IV) et Proton.¹²

On se serait attendu à ce que ce genre de fusées servent à réaliser quantité de projets fort intéressants, dont l'opération de stations orbitales et de mini-usines commerciales en orbite terrestre.

Cependant, en pratique, ces fusées ont très peu servi à satelliser de lourdes charges, les Proton étant surtout utilisées pour expédier des satellites de communication en orbite géostationnaire, tandis que les Titan ont servi à lancer des satellites du Pentagone et quelques sondes planétaires de la NASA.

Bizarrement, le fait est qu'on n'utilise pas leur puissance pour entreprendre certains de nos rêves.

Notons que les Chinois disposent depuis peu d'une fusée du même calibre: la Chang Zheng 5 (ou Longue Marche 5), capable d'expédier 25 tonnes en orbite terrestre.

Son premier vol a eu lieu en novembre 2016, avec succès, mais un deuxième tir s'est soldé par un échec en juillet 2017, ce qui a entraîné une interruption de tirs durant deux ans. La Chang Zheng 5 a repris du service en 2019 et a depuis servi à lancer le module de base de la nouvelle station spatiale chinoise (Tiangong 3) ainsi que la sonde lunaire Chang'e 5 et la sonde martienne Tianwen 1.

Les Chinois nous disent que leur super-lanceur est promu à un grand avenir, qu'il servira à la réalisation de grands projets... Mais ça reste à voir.



Chang Zheng 5

Les fusées de classe intermédiaire



Les fusées américaine Titan IV, russe Proton et chinoise Chang Zheng 5, capables de placer une vingtaine de tonnes sur orbite terrestre.



Lancement de la sonde martienne Tianwen 1 par une fusée Chang Zheng 5, le 23 juillet 2021.



La première Falcon Heavy réussit une spectaculaire mission en s'envolant de Cape Canaveral puis lorsque deux de ses trois premiers étages se sont posés en même temps.

8 – Au tour de la Falcon Heavy

Le 6 février 2018, la société SpaceX enchantait le monde en lançant sa toute-puissante Falcon Heavy. Celle-ci est constituée de trois Falcon 9 accolées les unes aux autres afin de satelliser jusqu'à 64 tonnes. La démonstration faite ce jour-là a été d'autant plus spectaculaire que les premiers étages des trois Falcon 9 ont été récupérés – dont deux se posant *simultanément* à Cape Canaveral – alors que l'étage supérieur a propulsé une voiture Tesla en direction de Mars.¹³



La Falcon Heavy expédie une Tesla, «conduite» par un mannequin, qui quitte la Terre vers les espaces lointains.. Un super coup de pub!

Encore là, on devrait s'attendre à ce qu'une telle fusée – la plus puissante dont on dispose – serve à mener des projets ambitieux. Or, en quatre années, seuls deux autres Super Heavy ont été lancées... pour placer un satellite de communication en orbite géostationnaire ainsi qu'à réaliser une opération ultrasecrète du Pentagone. Cinq autres vols de Falcon Heavy sont prévus en 2022, dont trois opérations

militaires, le lancement d'un satellite de communication et l'envoi d'une sonde de la NASA vers l'astéroïde Psyché. Rien pour alimenter nos rêves...

Bref, tout se passe comme si, même lorsqu'on dispose de super-fusées, on ne les utilise guère pour réaliser nos rêves.

On peut presque dire la même chose de la nouvelle fusée géante que prépare la NASA, la SLS (*Space Launch System*), capable d'orbiter de 95 à 130 tonnes (selon les versions) ou d'expédier de 27 à 46 tonnes jusqu'à la Lune.

Pour le moment, on envisage en lancer une demi-douzaine au cours des dix à quinze prochaines années dans le cadre du programme Artemis de retour sur la Lune pour des astronautes américains. En comparaison avec son homologue des années 1960 (Saturn V), SLS semble avoir encore moins d'avenir!



Elon Musk aurait fondé sa compagnie avec le rêve, tel qu'illustré ici par SpaceX, d'envoyer des vaisseaux interplanétaires pourquoi pas... jusqu'à Saturne!

9 – Les ambitions d'Elon Musk

Tout ce qui précède nous conduit naturellement aux grandioses projets d'Elon Musk.

On rapporte que celui-ci aurait fondé la *Space Explorations Technologie* (SpaceX) en 2002, alors qu'il n'avait que 30 ans, dans le but spécifique de conquérir la planète Mars.¹⁴

Précédemment, Musk aurait eu comme idée d'installer une mini serre sur le sol rouge afin de voir si les organismes et plantes qu'elle aurait abrités seraient parvenus à survivre dans les rigoureuses conditions qui règnent sur Mars.¹⁵ (Écoutez à ce propos notre balado 64 – [Qu'est-ce que ce serait que de vivre sur Mars?](#)) Mais Musk aurait alors découvert que le simple lancement de sa serre lui aurait coûté beaucoup trop cher.¹⁶ Il aurait par conséquent créé sa propre entreprise dans le but d'abaisser radicalement – des deux-tiers – les coûts de lancement.

Cependant... imaginons un instant si Musk était parvenu à faire se poser sur Mars sa mini serre expérimentale, au cours des années 2000... Il aurait alors semé la vie terrestre sur la planète rouge, anéantissant à tout jamais notre premier et peut-être seul espoir d'y repérer une vie extraterrestre!

Selon le *New York Times* du 5 février 2006, le but premier de SpaceX était de devenir une société rentable en lançant des satellites au tiers des 30 à 85 millions \$ qu'il en coûte normalement. (Curieusement, ni cet article ni la première mention de SpaceX dans *Aviation Week*, en 2003, n'évoquent le rêve martien de Musk.¹⁷)



Depuis une décennie, Elon Musk partage son rêve d'envoyer des vaisseaux habités jusqu'à Mars.

En 2014, Musk exprimait son intention d'envoyer des humains sur la planète rouge d'ici dix ans, dans le but d'assurer la survie de l'espèce humaine.¹⁸ «Pour que notre espèce survive à tout jamais, nous nous devons de devenir une espèce multiplanétaire», résumait-il. En conséquence, l'important pour lui, c'est d'être capable d'acheminer «un grand nombre de personnes et des millions de tonnes de cargo sur Mars.»¹⁹

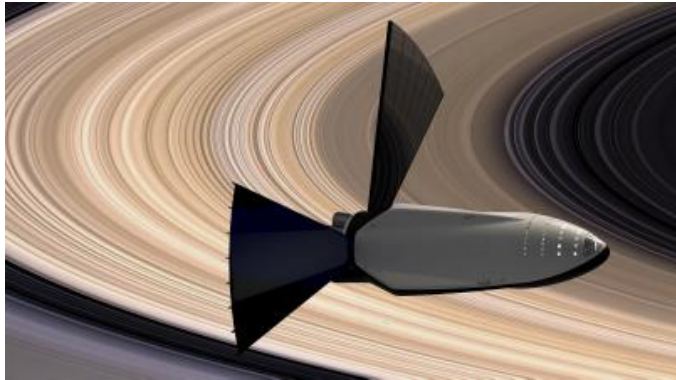
Toutefois, on ne s'envole pas vers notre voisine quand bon nous semble. Il faut attendre que la Terre et Mars soient correctement alignées, ce qu'on appelle une *fenêtre martienne*, fenêtre qui s'ouvre durant quelques semaines à tous les 26 mois. Musk prévoyait d'ailleurs profiter de chacune des fenêtres martiennes à partir de 2018 pour, dans un premier temps, lancer des engins automatiques à l'aide de sa Falcon Heavy.²⁰ «Si tout va bien, disait-il en 2016, nous devrions probablement être en mesure de lancer des humains vers Mars en 2024.»

Une colonie d'un million de personnes

C'est finalement le 27 septembre 2016 que le patron de SpaceX dévoile les détails de son rêve, dans le cadre du Congrès de

la Fédération internationale d'astronautique qui se tenait au Mexique.

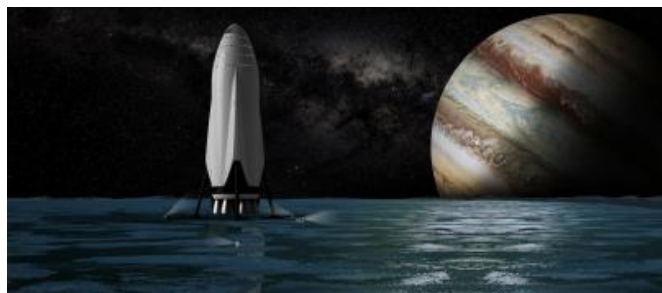
Ce jour-là, il dévoile un projet de 10 milliards \$ visant à envoyer 100 personnes à bord d'un gigantesque vaisseau spatial que Musk appelle tantôt *Mars Colonial Transporter* ou *Interplanetary Transport System*.



Le *Interplanetary Transport System* que nous a présenté Elon Musk en septembre 2016...



... sera capable de se poser sur la Lune ...



... sinon même sur des lunes de Saturne!

Cependant, de fort nombreux lancements devront avoir lieu lors de chaque fenêtre martienne pour acheminer le million de colons et tout leur bagage.



Elon Musk lors de sa présentation au congrès d'astronautique de septembre 2016.

«Nous allons avoir besoin de quelque chose de gigantesque pour y parvenir», admettait-il, ajoutant prévoir une quarantaine d'années pour établir la colonie martienne dont il rêve. «Ce dont je rêve, déclara-t-il à son auditoire, c'est de rendre [la colonisation de] Mars possible, que ce soit un projet réalisable de notre vivant et que vous, vous puissiez y aller.»

Néanmoins à 100 personnes par voyage, il faudra lancer 10 000 vaisseaux, à raison de plusieurs *centaines* en quelques semaines seulement à l'occasion de chaque fenêtre martienne!

«Quand atteindrons-nous la marque du million de personnes [sur Mars]?, se demanda-t-il. Probablement après 20 à 50 rendez-vous avec cette planète. Il faudra donc entre 40 et 100 ans pour parvenir à établir une civilisation martienne pleinement autonome.»

Elon Musk ajoute aussi qu'il espérait lancer une première centaine de colons dès 2024, ceux-ci s'établissant sur la planète rouge l'année suivante. «C'est quelque chose d'ambitieux, convient-il, mais je préfère dire que c'est plutôt du domaine du possible. Bien sûr, un tas de trucs doivent se passer d'ici là, mais je ne pense pas que ça devrait survenir beaucoup plus tard – s'il y a du retard.»



La fusée géante dont aura besoin Elon Musk.

Il esquissa ensuite la fusée géante qu'il a en tête, la plus puissante jamais envisagée. Celle-ci aura la hauteur d'un édifice de 40 étages (122 mètres) et générera au décollage trois fois et demie la puissance d'une Saturn V (soit 13 000 tonnes). Il s'agira d'une fusée entièrement réutilisable capable de livrer de 300 à 550 tonnes sur orbite terrestre.

«Nous aurons besoin d'une telle fusée si nous voulons pouvoir transporter 100 personnes, plus le matériel nécessaire», indiquait Musk.

Qui plus est, chaque fusée pourra servir de multiples façons, par exemple à se poser non seulement sur Mars mais également sur la Lune – ou sur n'importe quelle autre lune du Système solaire – puis revenir sur Terre pour remplir d'autres missions.

«C'est quelque chose de gros, admettait-il, en ajoutant toutefois: «Mais ce qui est amusant, c'est qu'éventuellement, les vaisseaux seront beaucoup plus gros. [Celui que je vous présente] est relativement petit à côté des vaisseaux martiens interplanétaires du futur.»²¹

Une «maudite grosse fusée»

L'année suivante, Elon Musk change d'idée en abandonnant son projet d'envoyer une sonde vers Mars au printemps 2018 à l'aide d'une fusée Falcon Heavy.²²

Surtout, il détaille son projet de super-fusée, qu'il qualifie lui-même de *Big Fucking Rocket* – une maudite grosse fusée! (L'emploi du «mot en f...» rend très mal à

l'aise les médias américains, qui se contentent souvent de parler de la BFR.)

«Lors de ma présentation de l'an dernier, nous nous demandions comment nous allions financer notre grosse fusée, explique-t-il. Nous pensons avoir trouvé la solution en concevant un plus petit vaisseau – mais tout de même assez gros – qui pourra accomplir tout ce dont on a besoin.» ->

Il propose ainsi un vaisseau spatial – à la fois fusée et véhicule de transport – qui, dans un premier temps, remplacerait avantageusement les fusées Falcon 9 et Falcon Heavy ainsi que les véhicules cargo Dragon et d'équipage Crew Dragon. «Si nous parvenons à concevoir un tel vaisseau, nous pourrions ensuite consacrer nos efforts» à réaliser la mission première de SpaceX.



Quatre visions de la fusée BFR (Starship) présentées par SpaceX.



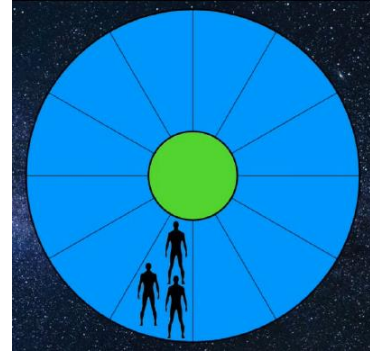
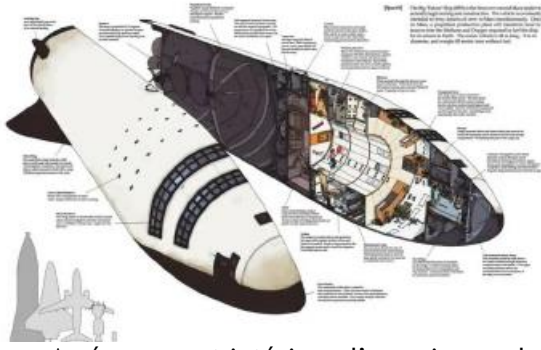
Comme l'écrivait savoureusement l'un des reporters, ce vaisseau a été baptisé par Musk l'«euphemism for “Big (fill-in-the-blank) Rocket”»!

Le premier étage de celui-ci utiliserait 31 moteurs-fusée Raptor qui généreraient une poussée suffisante pour satelliser 130 tonnes (comparable à une Saturn V). Mais à la différence de cette dernière, la BFR viendrait se poser à la verticale sur sa base de lancement, prête à servir à nouveau.

Sa partie supérieure offrira un immense volume – plus vaste que celui d'un gigan-

tesque Airbus A380 – dans lequel on pourrait loger quantité de satellites, de très volumineuse charge ou encore cent personnes. Dans ce cas, on installerait «40 cabines confortables», de vastes aires de vie commune et de loisirs, des espaces de rangement ainsi qu'un abri antiradiations (pour parer aux tempêtes solaires).

«Vous pourriez mettre jusqu'à six personnes par cabine, si vous désirez vraiment entasser le monde, précise Musk. Mais nous, nous prévoyons y loger deux ou trois personnes. C'est de cette façon



Aménagement intérieur d'un vaisseau de transport d'équipage Starship. Celui-ci comporterait quatre étages constitués de 12 cabines abritant chacune 3 passagers.

qu'une centaine de personnes ferait le voyage jusqu'à Mars.»

Il ajoute que la BFR pourrait aussi bien faire l'aller-retour Terre-Lune (à la manière de la fusée de Tintin) ou encore être utilisée sur Terre pour transporter des passagers d'un bout à l'autre de la planète. C'est ainsi qu'un vol balistique New York-Shanghai ne prendrait qu'une demi-heure.

Musk espère lancer deux BFR à destination de Mars (sans personne à bord) lors de la fenêtre d'automne 2022, en ajoutant que la fabrication des vaisseaux est déjà entamée.

En outre, il altère assez rapidement l'appellation de son vaisseau, BFR signifiant désormais *Big Falcon Rocket!* (Le vaisseau a par la suite été appelé Starship alors qu'à présent ce nom désigne plutôt l'étage supérieur de la Super Heavy.²³)

Sur orbite dans six mois!

Deux ans plus tard, le 29 septembre 2019, Elon Musk procède à de nouvelles annonces d'importance.²⁴ Derrière lui se trouve tout un décor: le prototype d'un Starship (l'éventuel étage supérieur de la Super Heavy), de la taille d'un édifice de 17 étages (50 mètres). Il s'agit d'une fusée argentée semblant tout droit sortie d'un film de science-fiction des années 1950.



Le «décor» se trouvant derrière Elon Musk le 29 septembre 2019: le prototype d'un Starship.



Musk surprend tout le monde en annonçant que cette fusée allait décoller une première fois sous peu, puis atteindre l'espace d'ici six mois.

Il précise en effet que le prototype derrière lui, dit Starship Mk. 1 («*Starship mark one*»), premier prototype d'un Starship) devrait effectuer un vol d'essai à haute altitude dans un mois ou deux.

Les ingénieurs de SpaceX désirent ainsi réaliser une série de courts vols atmosphériques afin de se pratiquer à lancer et à récupérer des Starship, ceux-ci se posant à la verticale pour s'envoler à nouveau.



Musk durant sa présentation de septembre 2019.

En désignant le Mk. 1 se trouvant derrière lui, Musk explique: «Cette chose-là devrait s'envoler pour atteindre environ 20 kilomètres d'altitude puis revenir se poser, dans un mois ou deux. Ça va être quelque chose de le voir s'envoler et revenir... C'est fou!»

Non seulement un Starship devrait-il atteindre l'orbite terrestre dans six mois – donc avant avril 2020 – mais Musk prévoit que la fusée Super Heavy, qui n'existe pas encore, volera en 2020.

«Bien que nous soyons en territoire inexploré et qu'il soit difficile de prédire avec précisions ce qui va se passer, je pense néanmoins que les choses vont aller très vite, dit-il. Nous planifions donc réaliser d'ici un mois ou deux une envolée à

20 kilomètres avec le Starship Mk. 1, tandis que le vol suivant pourrait atteindre l'orbite.»

Musk ajoute qu'il a comme mantra: «Si l'échéancier est long, c'est qu'il n'est pas bon. S'il est serré, c'est qu'il est bon.» Il considère aussi que si la conception de quelque chose prend trop de temps, c'est qu'il s'agit d'un mauvais concept. «On a toujours tendance à compliquer les choses» dit-il.

Le «mantra» d'Elon Musk

I have this mantra called: If a schedule's long, it's wrong, if it's tight, it's right. If the design takes a long time to build, it's the wrong design. This is the fundamental thing. The tendency is to complicate things.²⁵

Une incroyable série de...

Pendant, les choses ne se sont pas déroulées aussi rondement que l'espérait Elon Musk – bien au contraire.

Ainsi, le Starship Mk. 1, qui devait effectuer un premier vol atmosphérique avant Noël 2019, est malencontreusement détruit le 20 novembre lors d'un test de pressurisation de ses réservoirs.²⁶



Le Starship MK. 1 est détruit lorsque le sommet de ses réservoirs explose.

Il appert que les soudures du dôme supérieur auraient cédé – problème de conception. Par la suite, SpaceX se sert des prototypes Mk. 2, 3 et 4 pour mettre au point ses techniques d'usinage et d'assemblage.

L'entreprise passe ensuite à la fabrication des Starship dit SN (*serial numbers*). Mais le SN1 est détruit le 20 février 2020 lors d'un test de pressurisation de ses réservoirs,²⁷ de même pour le SN3, le 3 avril.²⁸

Le Starship SN4 devient le premier prototype à réussir ses tests de pressurisation, mais il s'enflamme le 29 mai à la suite d'une mise à feu statique.²⁹

SpaceX procède ensuite à une longue série de tests de pressurisation des réservoirs afin de régler, une fois pour toutes, les multiples problèmes rencontrés.

Le 4 août, SN5 s'élève de 150 mètres (seulement) avant de redescendre se poser en douceur dans la zone d'atterrissage.³⁰ Le SN6 fait de même le mois suivant.³¹

Le 8 décembre, SN8 s'envole comme prévu jusqu'à 12½ kilomètres avant d'effectuer une délicate série de manœuvres d'atterrissage... qui se termine hélas par un spectaculaire écrasement.

Le 21 janvier 2021, le SN9 grimpe à dix kilomètres d'altitude mais termine sa course par une violente explosion.

Puis le SN10 s'envole le 3 mars et, après avoir atteint neuf kilomètres d'altitude, réussit son atterrissage.³² Celui-ci est toutefois assez brutal, puisque le Starship arrive au sol à plus de 30 km/h, son train d'atterrissage s'écrase et le vaisseau rebondit. Malgré tout, c'est le premier Starship à réussir un atterrissage au terme d'un vol atmosphérique. Cependant, bientôt des flammes surgissent à la base de la fusée et celle-ci se consume huit minutes après son atterrissage. Heureusement qu'il n'y avait personne à bord.



Le Starship SN10 s'envole avec succès.

Le 30 mars 2021, un autre Starship explose à l'atterrissage, après avoir atteint dix kilomètres d'altitude. Mais le véhicule se posant dans le brouillard, on ne sait trop ce qui s'est passé au juste. Musk indique simplement que: «Quelque chose de particulier s'est produit peu après l'allumage du moteur d'atterrissage.»³³

Enfin, le 5 mai, le SN15 réussit une mission parfaite, se posant sans encombre au terme d'un vol de six minutes l'amenant à dix kilomètres d'altitude.³⁴

Selon Musk, SpaceX est désormais prête à passer à l'étape suivante: le tir d'un Starship à l'aide d'une Super Heavy. Un premier vol pourrait avoir lieu dès l'été (2021) ou plus probablement à l'automne.³⁵

Notons cependant que jamais plus SpaceX ne tentera un vol d'essai du Starship. Voilà qui étonne puisqu'un seul succès après tant d'échecs ne garantit en rien la fiabilité du véhicule.

Le fait est que deux ans après que Musk eut annoncé un ambitieux programme de vols de Starship – dont des vols orbitaux –, rien ne s'en approchant n'a été accompli. On est très loin du compte par rapport à ce qu'il promettait en septembre 2019.



Las d'attendre?

Voilà pourquoi la mise à jour du programme Starship qu'il a tenue le 10 février dernier était si attendue.

Cette fois, Musk fait sa présentation devant une impressionnante fusée Super Heavy surmontée d'un Starship, le tout ayant la hauteur d'un édifice de 40 étages.

Or, cet exposé a déçu maints observateurs puisque le patron de SpaceX n'a fait que répéter en grande partie ce qu'il raconte depuis des années. Non seulement n'a-t-il pas donné une idée de quand pourrait survenir le premier tir de sa Super Heavy/Starship (SHS) mais il n'a même pas précisé si la fusée qui trônait derrière lui sera celle qui s'envolera.

Il s'est simplement contenté de dire que ce tir – qu'on a cru imminent l'automne dernier – devrait survenir cette année. «J'ai très confiance, à ce moment-ci, que nous atteindrons l'orbite cette année. Mais le chemin [à parcourir] risque d'être tortueux...»

«Nous parlons ici d'une fusée qui a plus de deux fois la masse d'une Saturn V et qui

est conçue pour être entièrement réutilisable, a-t-il rappelé. Et bien sûr, d'un point de vue écologique, il est préférable d'avoir des fusées réutilisables.»



La Super Heavy/Starship telle que révélée le 10 février 2022.

Conclusion: nos rêves enfin réalité?

Elon Musk sera-t-il celui qui réalisera les grands rêves qu'on se fait depuis si longtemps? Certains y croient – ou le souhaitent ardemment – tandis que d'autres en doutent de plus en plus.

C'est ainsi que sa présentation de février dernier a soulevé une vague de critiques. Certains débattent de la vraisemblance du projet Super Heavy/Starship, sinon même de ses bases technologiques (voir à ce sujet l'analyse faite par *Common Sense Skeptic*: [Starship Update 2022](#)).

On peut par ailleurs mettre en doute l'échéancier proposé par Musk. Notam-

ment, celui-ci a déclaré qu'avant de confier des vies humaines à son vaisseau SHS, il prévoit réaliser une centaine de tirs sans personne à bord. Voilà qui est très sage. Cependant, en supposant que SpaceX parviendrait à réaliser un tir de SHS mensuellement, il s'écoulera au bas mot huit années avant d'atteindre les 100 vols d'essai – ce qui nous mène déjà aux années 2030

pour un premier vol habité (un vol pas nécessairement destiné à Mars). On se doit même d'émettre de sérieux doutes sur une telle cadence de tir à la lumière de ce qui s'est passé lors des vols d'essai du Starship, qui ne se sont pas du tout déroulées tel qu'annoncé par Musk en septembre 2019 (rappelons-le: vol du Starship MK. 1 avant Noël 2019 et vol orbital d'ici mars 2020).

Un autre enjeu sur lequel on peut se questionner concerne ce que pourrait bien transporter cette centaine de fusées SHS. Par-delà les premiers tirs, qui pourraient se faire à vide, d'où proviendra la centaine de tonnes que peut transporter chacune des SHS?

Elon Musk a déjà annoncé son intention de remplacer ses fusées Falcon 9 et Falcon Heavy par son Starship. De la sorte, ses clients actuels contribueraient au financement des vols de SHS. Mais est-ce judicieux d'utiliser une fusée capable de lancer plus d'une centaine de tonnes pour ne lancer que les quelques tonnes requises? Est-ce comme utiliser d'immenses camions ou fardiers pour ne livrer que quelques «frigos» ou «boîtes à pain»?

Musk nous dit qu'il est sur le point de nous offrir un système de transport spatial capable de livrer chaque année autant de satellites que tout ce qu'on a lancé depuis le début de l'ère spatiale. Mais a-t-on vraiment besoin d'une telle capacité de lancement?

C'est dire que sa super-fusée pourrait se buter au même écueil qu'ont frappé les géantes du passé, dont tout particulièrement les Saturn. Qui aura les moyens, ou les besoins, d'utiliser une telle capacité de lancement (100 000 tonnes par année)?

Finalement, si les SHS ont la capacité d'expédier un million de personnes vers Mars – et tout le matériel qui leur sera vital – qui financera une telle entreprise... dont la facture promet d'être véritablement astronomique?

Bref, s'il est possible de concevoir de puissantes fusées – comme nous l'avons fait maintes fois par le passé – a-t-on les ressources pour les exploiter convenablement? Or, jusqu'à présent, la réponse à cette question a toujours été non.

Musk réalisera-t-il à lui seul un tour de force que personne n'a accompli à ce jour?



Il y a 70 ans, la NASA imaginait (à gauche) que des astronautes se rendraient sur la Lune à bord d'un vaisseau... relativement semblable à celui envisagé à présent par Musk (à droite).

Les Fascicules de *Voyage dans l'espace*



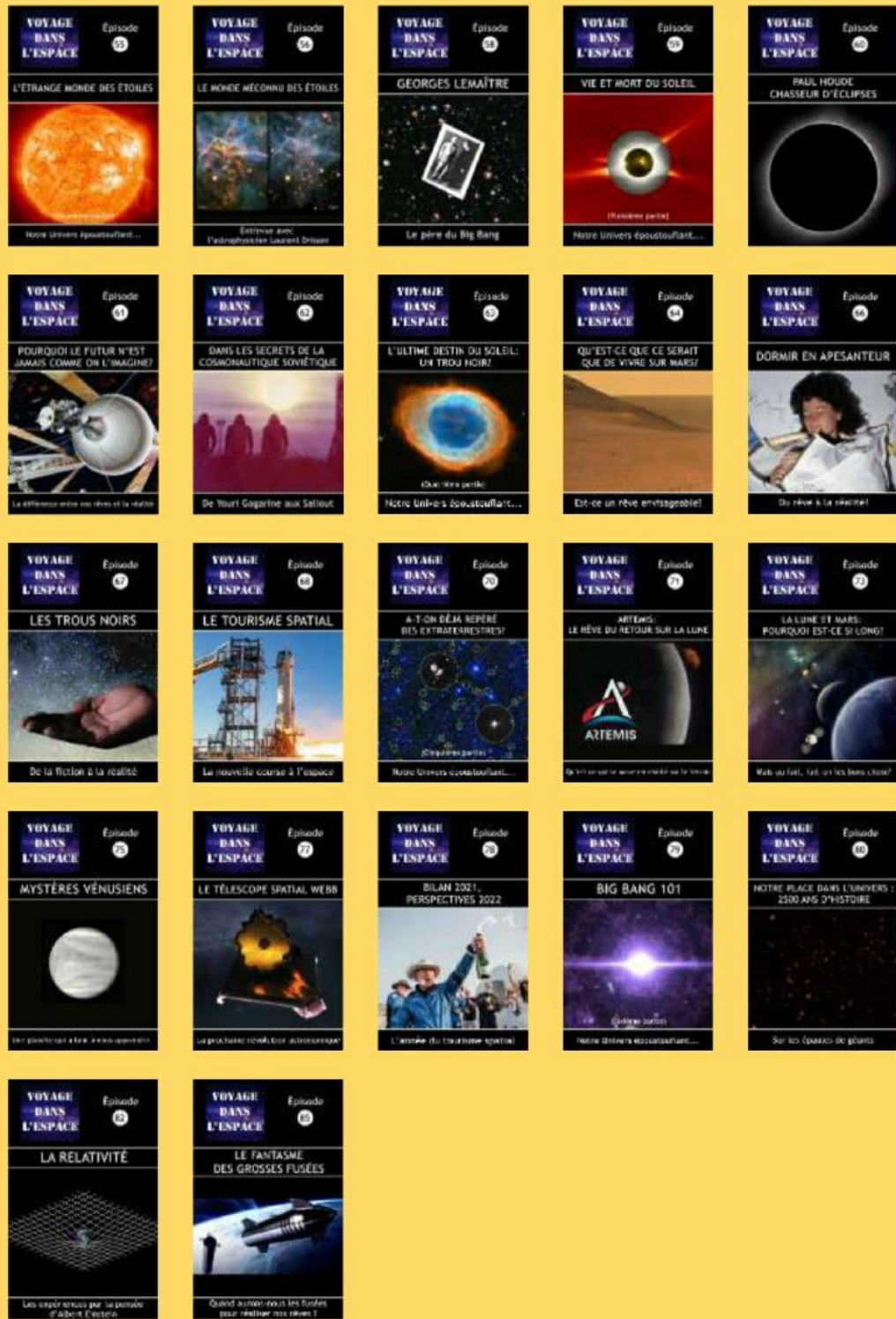
Note: les fascicules ci-dessus accompagnent les balados *Voyage dans l'espace* mais ce ne sont pas tous les balados qui sont accompagnés par un fascicule. Il «manque» donc des numéros.

Les Fascicules de *Voyage dans l'espace*

<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 26</p> <p>ALEXEI LEONOV</p>  <p>Le cosmonaute aux sept vies</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 27</p> <p>PARLONS DE... CAPSULES SPATIALES</p>  <p>Pourquoi sommes-nous revenus à l'ère des capsules?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 28</p> <p>TRING, LA FACILITÉ DÉCOUVERTE DE LA VIE SUR MARS</p>  <p>Qu'est-ce qu'il y a sur Mars... et comment on s'en rendrait compte?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 29</p> <p>LA GRANDE PEUR DE 1910</p>  <p>Quand le passé est garant de l'avenir</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 30</p> <p>VIOLANS D'EXPLORATION... LES ASTÉROÏDES</p>  <p>Et petits astères... qu'il nous respectent tout le temps!</p>
<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 31</p> <p>DES IDÉES PAS COMME LES AUTRES...</p>  <p>Qu'est-ce que ça veut dire... être un pionnier dans l'espace?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 32</p> <p>PRELUDES À APOLLO 11</p>  <p>La grande Fête de la course à la Lune</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 33</p> <p>APOLLO 11 DANS LES CONGRÈS DE L'HISTOIRE</p>  <p>Et qu'il n'y ait jamais d'après...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 34</p> <p>NOTRE UNIVERS: BEAUX, MYSTÉRIEUX... SPOUSALARIAT!</p>  <p>À la frontière de nos connaissances... et même au-delà!</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 35</p> <p>NOTRE UNIVERS: BEAUX, MYSTÉRIEUX... SPOUSALARIAT!</p>  <p>À la frontière de nos connaissances... et même au-delà!</p>
<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 36</p> <p>LES SURPRISES DE L'ÉTÉ 2019</p>  <p>Des idées pour les prochaines dans l'espace!</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 37</p> <p>POURQUOI MARS...</p>  <p>... nous obsède-t-elle autant?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 38</p> <p>OU EN SERONS-NOUS EN 2044?</p>  <p>Comment s'en va-t-elle... l'histoire des astronautes américains du Québec</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 39</p> <p>L'ASTRONOMIE PAR L'IMAGE</p>  <p>Avec un grand télescope spatialisé!</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 40</p> <p>LA LUNE... CETTE INCONNUE</p>  <p>On croit tout savoir à son sujet... Mais non!</p>
<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 41</p> <p>LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGES</p>  <p>1^{re} partie: le Grand Tour</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 42</p> <p>LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGES</p>  <p>2^e partie: destination Jupiter et Saturne</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 43</p> <p>LA VOIE LACTÉE: HISTOIRE DE L'UNIVERS</p>  <p>Le fil de l'histoire est-il aussi complexe qu'on croit?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 44</p> <p>ET SI ÇA C'ÉTAIT PASÉ AUTREMENT...</p>  <p>Pourquoi, en 1968, l'espace n'était pas encore ouvert?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 45</p> <p>ETÉ 2020: À L'ÉCHARTÉ DE LA PLANÈTE MARS</p>  <p>À la recherche d'eau et de vie</p>
<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 46</p> <p>DE NOUVELLES PLANÈTES INCROYABLES</p>  <p>Une diversité à n'en plus finir...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 47</p> <p>LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGES</p>  <p>3^e partie: aux confins du système solaire</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 48</p> <p>LES GALAXIES: AUX FRONTIÈRES DE LA COSMOLOGIE</p>  <p>Comment se fait-il que nous existions?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 49</p> <p>LE SYSTÈME SOLAIRE N'EST PLUS CE QU'IL ÉTAIT</p>  <p>2^{ème} partie: Notre univers spatialement...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 50</p> <p>LE MÉTIER D'ASTRONAUTE</p>  <p>2^{ème} partie: au-delà du monde à l'échelle humaine Cécile Lafleur Chapitre 3: Les multiples chemins vers l'espace</p>

Note: les fascicules ci-dessus accompagnent les balados *Voyage dans l'espace* mais ce ne sont pas tous les balados qui sont accompagnés par un fascicule. Il «manque» donc des numéros.

Les Fascicules de *Voyage dans l'espace*



Note: les fascicules ci-dessus accompagnent les balados *Voyage dans l'espace* mais ce ne sont pas tous les balados qui sont accompagnés par un fascicule. Il «manque» donc des numéros.

Pour en savoir plus...

¹ Voir entre autres: Stephen Clark, «[Musk foresees Florida as a home for Starship operations](#)», *Spaceflight Now*, 11 février 2022; Kenneth Chang, «[What Elon Musk Did and Didn't Reveal About SpaceX's Starship Rocket](#)», *The New York Times*, 11 février 2022; Jeff Foust, «[Starship status check](#)», Space Review, 14 février 2022. Voir aussi la conférence: «[Elon Musk gives major Starship update \(10 Feb 2022\)](#)»; «[SpaceX a assemblé la plus puissante fusée de l'Histoire](#)», *Le Journal de l'espace*, 15 février 2022; Common Sense Skeptic, «[Starship Update 2022 - Presentation Breakdown](#)», 17 février 2022; Irene Klotz, «Starship, Plan B», *Aviation Week*, 21 février 2022, p. 32.

² Claude Lafleur, *Sputnik @ 60, Soixante ans d'exploration spatiale*, Première partie: Préludes à l'ère spatiale, 2017.

³ «4-Year U.S. Plan Aims at Satellites Weighing 40 Tons», *The New York Times*, 28 décembre 1958, p. Q1.

⁴ Courtney G Brooks, James M. Grimwood, Loyd S. Swenson, *Chariots for Apollo: A History of Manned Lunar Spacecraft*, NASA SP-4205, 1979, [Chapitre 1](#).

⁵ David S. Akens, «[Part 1 April 1957 through December 1960](#)», *Saturn Illustrated Chronology*, NASA Marshall Space Flight Center.

⁶ David Barker, *The History of Manned Spaceflight*, Crown Publishers. New York, Chapitre 4; Mark Wade, «[Nova](#)», *Encyclopedia Astronautica*.

⁷ Claude Lafleur, «[Saturn - American Launch Vehicle](#)», *Spacecraft Encyclopedia*.

⁸ Claude Lafleur, *Apollo, la plus formidable histoire du 20^e siècle*, 2016, chapitre 8 et 9.

⁹ Claude Lafleur, «[N-1, Soviet Launch Vehicle](#)», *Spacecraft Encyclopedia*.

¹⁰ NASA, *Aeronautics and Astronautics 1971*, NASA SP-4016, p. 363.

¹¹ Bruce A. Smith, «Hughes Jarvis Launcher Would Use Technology From Saturn, Shuttle», *Aviation Week*, 4 août 1986, p. 34; «Three-stage Jarvis vehicle could launch multiple satellites», *Aviation Week*, 11 août 1986, p. 69; Bruce A. Smith, «Revised Jarvis Design Includes increased Use of Shuttle Components», *Aviation Week*, 6 octobre 1986, p. 24; «Washington Roundup / Jarvis Elimination», *Aviation Week*, 24 novembre 1986, p. 15.

¹² Mark Wade. «[Titan III](#)», *Encyclopedia Astronautica*; Claude Lafleur, «[Proton, Soviet Launch Vehicle](#)», *Spacecraft Encyclopedia*.

¹³ Mark Wade. «[Falcon 9 Heavy](#)», *Encyclopedia Astronautica*; «[Falcon Heavy](#)», Wikipédia.

¹⁴ [SpaceX](#), Wikipedia (anglais).

¹⁵ Kenneth Chang, «Elon Musk's Plan: Get Humans to Mars, and Beyond», *The New York Times*, 27 septembre 2016.

¹⁶ Kenneth Chang, «[Elon Musk's Plan: Get Humans to Mars, and Beyond](#)», *The New York Times*, 27 septembre 2016.

¹⁷ Leslie Wayne, «A Bold Plan to Go Where Men Have Gone Before», *The New York Times*, 5 février 2006; Craig Covault, «California's Other Rocket», *Aviation Week*, 18 août 2003, p. 21.

-
- ¹⁸ Amy Svitak, «Proving It», *Aviation Week*, 10 mars 2014, p. 48; Frank Moring, Jr., «Why Go?», *Aviation Week*, 23 juin 2014, p. 45.
- ¹⁹ Frank Moring Jr., «Private Payloads», *Aviation Week*, 4 juillet 2016, p. 24; Stephen Clark, «SpaceX's Elon Musk announces vision for colonizing Mars», *Spaceflight Now*, 27 septembre 2016.
- ²⁰ Stephen Clark, «[SpaceX's Elon Musk announces vision for colonizing Mars](#)», *Spaceflight Now*, 27 septembre 2016.
- ²¹ Kenneth Chang, «[Elon Musk's Plan: Get Humans to Mars, and Beyond](#)», *The New York Times*, 27 septembre 2016; Stephen Clark, «[SpaceX's Elon Musk announces vision for colonizing Mars](#)», *Spaceflight Now*, 27 septembre 2016; Jeff Foust, «[Elon Musk's road to Mars](#)», *Space Review*, 3 octobre, 2016; Frank Moring, «SpaceX plans a thousand-ship fleet to settle the 'greater Solar System'», *Aviation Week*, 10 octobre 2016, p. 34.
- ²² William Harwood, «[Elon Musk revises Mars plan, hopes for boots on ground in 2024](#)», *Spaceflight Now*, 29 septembre 2017; Irene Klotz, «Elon's Big Gamble», *Aviation Week*, 16 octobre 2017, p. 54; Irene Klotz, «Falcon Heavy To Become World's Most Powerful Operational Rocket» *Aviation Week*, 15 janvier 2018, p. 24.
- ²³ Irene Klotz, «Next Big Step», *Aviation Week*, 14 janvier 2019, p. 26.
- ²⁴ Stephen Clark, «[Elon Musk wants to move fast with SpaceX's Starship](#)», *Spaceflight Now*, 29 septembre 2019; Kenneth Chang, «[SpaceX Unveils Silvery Vision to Mars: 'It's Basically an I.C.B.M. That Lands'](#)», *The New York Times*, 29 septembre 2019.
- ²⁵ Stephen Clark, «[Elon Musk wants to move fast with SpaceX's Starship](#)», *Spaceflight Now*, 29 septembre 2019.
- ²⁶ Stephen Clark, «[SpaceX's first Starship prototype ruptures during cryogenic test](#)», *Spaceflight Now*, 20 novembre 2019.
- ²⁷ Stephen Clark, «[Second Starship test article implodes during pressure test](#)», *Spaceflight Now*, 2 mars 2020.
- ²⁸ Stephen Clark, «[SpaceX loses third Starship prototype in cryogenic ground test](#)». *Spaceflight Now*, avril 2020.
- ²⁹ Stephen Clark, «[SpaceX Starship test vehicle explodes moments after test-firing](#)», *Spaceflight Now*, 29 mai 2020.
- ³⁰ Stephen Clark, «[SpaceX clears big hurdle on next-gen Starship rocket program](#)», *Spaceflight Now*, 5 août 2020.
- ³¹ Stephen Clark, «[After second hop, SpaceX preps for next phase of Starship testing](#)», *Spaceflight Now*, 9 septembre 2020.
- ³² Stephen Clark, «[SpaceX nails Starship landing, but rocket explodes minutes later](#)», *Spaceflight Now*, 3 mar 2021.
- ³³ Stephen Clark, «[SpaceX's latest high-altitude Starship test flight ends in another explosion](#)», *Spaceflight Now*, 30 mars 2021.
- ³⁴ Stephen Clark, «[Upgraded Starship prototype makes first soft landing after test flight](#)», *Spaceflight Now*, 5 mai 2021.

³⁵ Stephen Clark, «[SpaceX outlines plans for Starship orbital test flight](#)», Spaceflight Now, 13 mai 2021.