



# Opinions Libres

le blog d'Olivier Ezratty

## De l'astronomie à l'entrepreneuriat : entrepreneurs

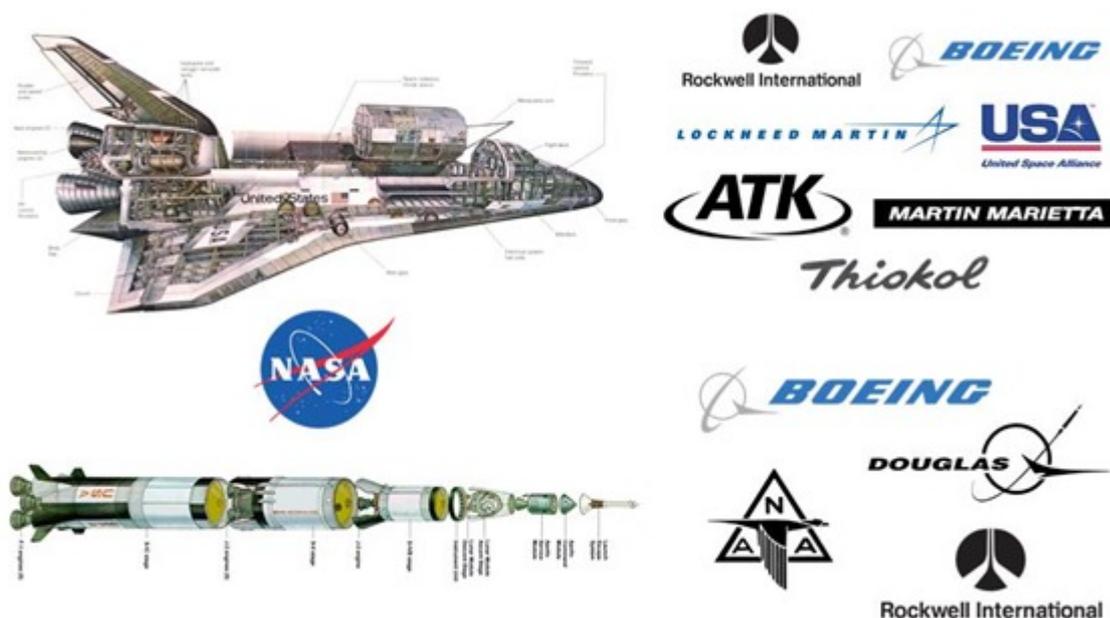
Après onze longs épisodes passés à décortiquer les objectifs scientifiques et l'incroyable diversité de l'outillage des astronomes et astrophysiciens, voici la chute tant attendue sur les entrepreneurs de l'espace. Je n'ai fait qu'effleurer la question dans les parties précédentes, détaillant parfois l'activité de quelques entreprises et PME françaises contributrices dans la fabrication de télescopes terrestres ou spatiaux.

Nous allons ici nous intéresser aux entrepreneurs focalisés sur l'espace et si possible, ceux qui ambitionnent de créer des startups dans le secteur. A savoir, des entreprises avec un produit et des économies d'échelles, capables de révolutionner un domaine d'activité. Nous allons aussi voir comment la science fiction et l'espace influence les technologies et startups d'applications ... terrestres.

### La conquête spatiale dans le secteur privé

Dans l'imaginaire public, les programmes Apollo et de la navette spatiale sont intimement associés à la NASA. Mais derrière l'agence spatiale américaine se trouvaient de nombreuses entreprises privées à qui étaient sous-traitées la conception et la fabrication de la plupart des systèmes de ces missions. Ainsi, Boeing et Rockwell étaient-ils les principaux artisans du programme Apollo et on les retrouvait dans celui de la navette spatiale. L'un des sous-traitants de la navette spatiale, Thiokol, s'est fait connaître après l'accident de Challenger en 1986. Ils étaient en effet à l'origine des boosters dont les joints ont lâché et provoqué l'explosion de Challenger une minute après son décollage.

Dans ces programmes, la NASA était un donneur d'ordre et un intégrateur. Elle jouait aussi le rôle d'opérateur, gérant ses bases de lancement et de contrôle. A l'apogée du programme Apollo, la NASA employait 34 000 personnes et ses sous-traitants, 375 000. Donc, un total de 400 000 personnes impliquées, même si ce chiffre est difficilement vérifiable. On peut imaginer qu'il agrégeait alors la totalité des salariés de certains sous-traitants et pas seulement ceux qui travaillent sur le programme Apollo. Qu'en est-il par exemple des équipes d'IBM ayant créé le système IBM 360 utilisé à la fin du programme Apollo ?



Ces sociétés n'étaient pas des startups mais des groupes du complexe militaro-industriel déjà habitués aux projets dans l'aérospatial. Est-ce différent aujourd'hui ? Certainement. On a d'abord de grands projets lancés par des milliardaires ayant déjà réussi dans d'autres secteurs d'activité (Virgin, Amazon, Paypal). Et on voit aussi apparaître quelques startups sur des projets moins ambitieux mais toutefois gourmands en capital.

Le point commun de tous ces projets ? Ils visent à générer des économies d'échelle dans l'exploration de l'espace, surtout en orbite basse autour de la Terre, histoire d'en démocratiser l'accès, aussi bien pour le lancement de satellites que pour y développer une nouvelle forme de tourisme. Autre point commun : ils sont généralement américains. Enfin, les projets majeurs ont déjà plus de 10 ans d'ancienneté ! Le spatial en Europe et ailleurs reste l'apanage d'organismes publics comme le CNES en France, ou de collaborations publiques internationales comme l'ESA, l'ESO (observatoire du Chili) ou encore la société Arianespace.

Autre caractéristique : nombre de ces grands projets ont été lancés par des entrepreneurs ayant déjà réussi dans d'autres domaines, le plus souvent dans le numérique comme Elon Musk (Paypal), Jeff Bezos (Amazon), Yuri Milner (DST) ou Paul Allen (Microsoft). Ils sont déjà milliardaires. L'espace est une nouvelle frontière et un hobby pour eux, histoire de dépasser le toit de la pyramide de Maslow. C'est aussi un monde d'hommes. Je n'ai pas vu de femmes entrepreneuses se lancer dans ce secteur.

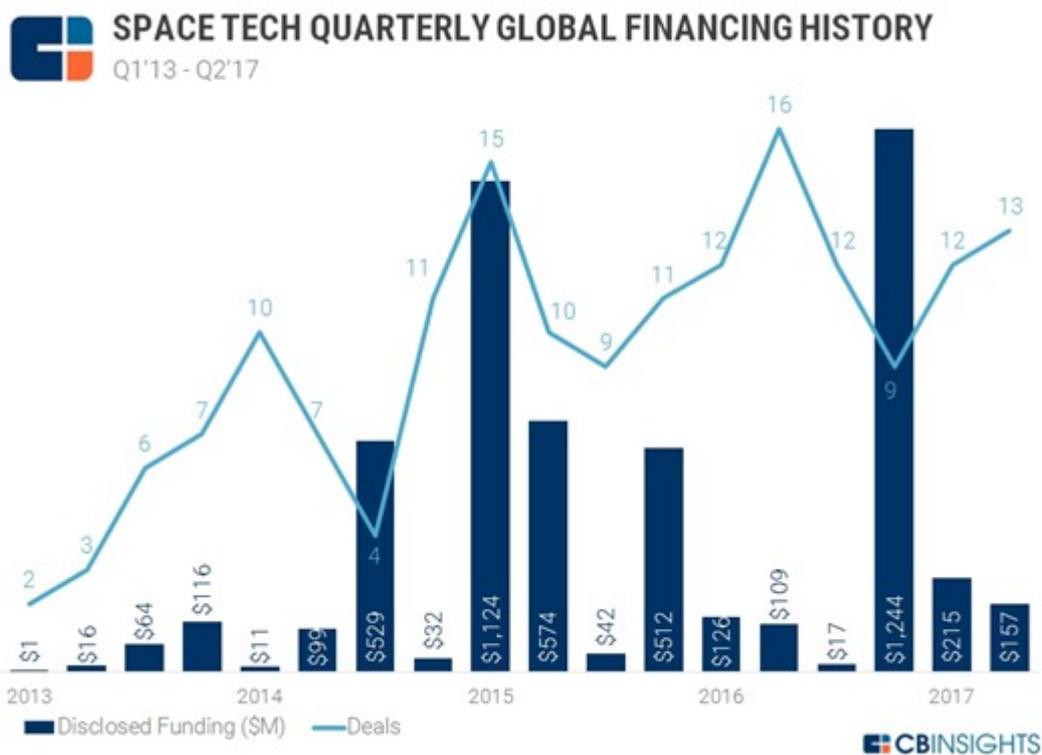
Pour le reste, le marché est dominé par de nombreuses sociétés d'ingénierie et de bureaux d'études, adaptés à un business où il n'y a pas de grandes économies d'échelle et qui fonctionne surtout en mode projet, comme SpaceWorks.

### Investissements dans les startups de l'espace

CBInsights est toujours une excellente source d'information sur les volumes d'investissements dans les startups par secteurs d'activité, tout du moins aux USA. Ils suivent même ceux qui concernent le **marché de l'espace** ! Les investissements sont précisés en montant et en nombre de deals. 2015 a été une année avec un pic de \$1,8B d'investissements.

Depuis début 2017, il y a tout de même eu 25 investissements publics totalisant \$371m, pour 49 deals en 2016. Dans le tableau ci-dessous des investissements le spatial, les gros montants concernent les grands du secteur que sont Blue Origin et SpaceX, qui ne sont plus du tout des startups. En 2017, le plus gros investissement est allé à la startup néo-zélandaise **Rocket Lab** pour \$75m dont je fais le portrait dans cet article. Le second allait à

**Kymeta** qui est à l'origine d'une technologie d'antennes satellites à base de nano-matériaux.

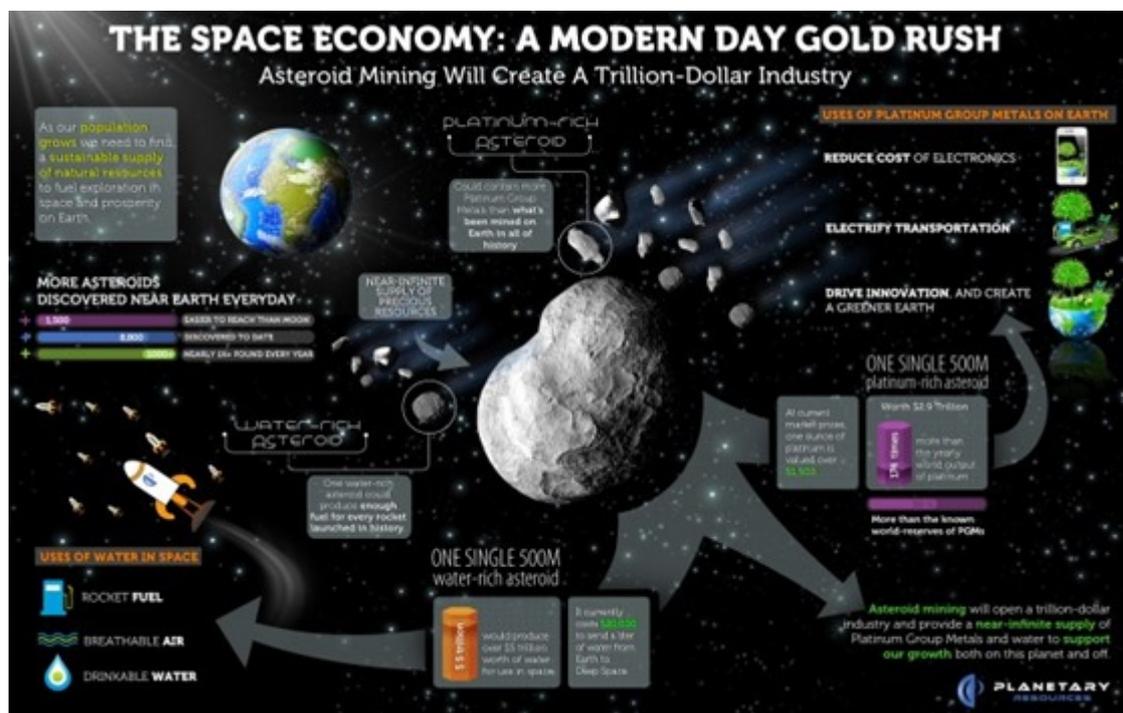


Quelles sont donc ces startups ? En voici une cartographie, toujours originaire de CBInsights et datant du printemps 2017 :



Voici quelques startups parmi les plus originales dans le lot.

**Planetary Resources**, cofondée par Peter Diamantis, ambitionne de créer des robots d'exploitation des ressources des astéroïdes (vidéo) et même d'y récolter de l'eau (vidéo). Selon la société, les ressources minières des astéroïdes vont générer une économie d'un trillion de dollars (mille milliards). On se demande donc pourquoi Donald Trump s'évertue vainement à relancer l'activité des mines de charbon aux USA qui ne sont pas compétitives face au gaz ! Comme de nombreux projets qui sont à la bordure de la science fiction (style Neuralink chez Elon Musk), la société utilise son ambition démesurée pour vendre des services d'ingénierie plus traditionnels. Elle a levé \$48,1m.



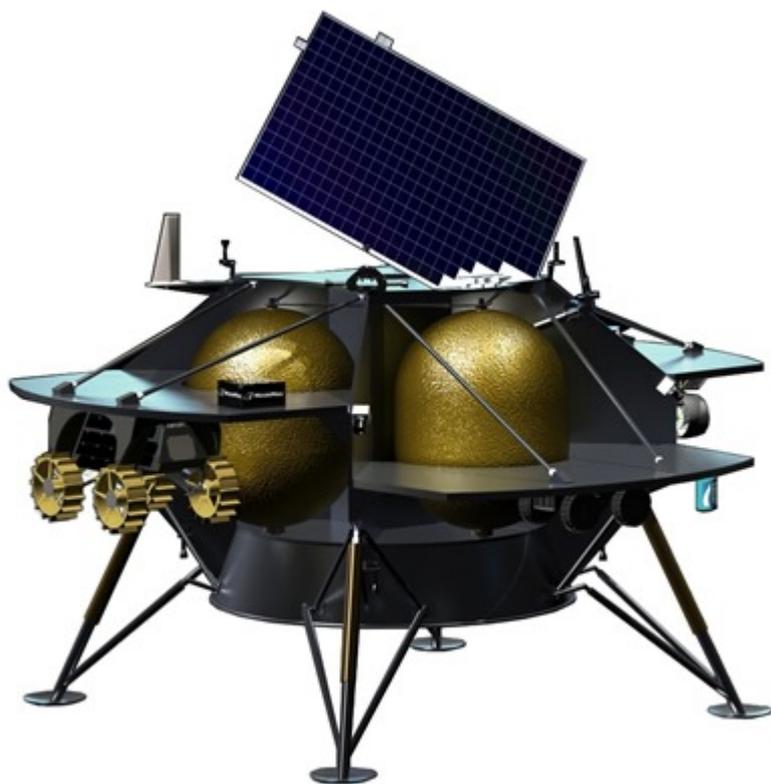
Deep Space Industries souhaite aussi exploiter les ressources minières des astéroïdes et a levé de son côté un tout petit \$1m. En attendant les mines, elle développe des satellites de taille variable : le Nanosatellite (1 à 10 kg), le Microsatellite (10-100 kg), le Small Satellite (100-500 kg) et le Standard Satellite (au-delà de 500 kg).

Moon Express veut faire la même chose pour exploiter les ressources de la Lune avec ses atterrisseurs allant du petit MX-1 au grand MX-9 permettant entre autres d'en extraire l'eau et de la transformer en hydrogène et oxygène liquide pour servir de station de carburant intermédiaire de la conquête spatiale (vidéo). La capsule MX-1 est aussi capable de revenir sur Terre, en décollant de MX-9 qui lui sert de plateforme (ci-dessous).



Astrobotic Technologies, une autre startup américaine visant aussi la Lune avec son atterrisseur Peregrine (ci-dessous), de 2,5 m de large et 1,8 m de haut, livrant vos colis sur la Lune à raison de \$1,2m le kilogramme à concurrence de 35 kg pour les premières missions et jusqu'à 265 kg ensuite. La charge emportée peut

communiquer en liaison série ou en Wi-Fi 802.11n avec le Peregrine qui de son côté communique avec la Terre en bande S et X ! La première livraison est prévue en 2019 ! La société créée en 2008 n'a à ce jour levé que \$2,5m.



**Interorbital Systems**, créé en 1996, un opérateur américain qui mange à tous les râteliers avec ses fusées Neptune, ses “SDK” de micro-satellites TubeSat et CubeSat et enfin, Synergy Moon, son projet de rover destiné à la Lune. Celui-ci s’inscrit dans le cadre d’une réponse au concours Google Lunar X Prize lancé en 2007 et qui doit récompenser avec \$30m d’ici fin 2017 le premier projet capable d’envoyer un rover commercial sur la Lune capable de s’y déplacer sur 500 mètres et de filmer ses exploits.

**Spaceflight Industries** est un intermédiaire de lancement de satellite. Il sous-loue l’allocation de slots de lancement de satellites par les SpaceX Falcon 9, Orbital ATK Minotaure et Soyouz russes. Le service comprend une étude de faisabilité des lancements. La société a été créée en 1999 à Seattle et a levé \$53,5m.

A noter également l’émergence de **satellites à propulsion électrique**, proposés notamment par Airbus et Thalès, qui est une appellation aussi trompeuse que celle des moteurs à eau. En effet, ces satellites à propulsion électrique ont tout de même besoin de matière éjectable, une sorte de carburant ionisé, car on ne peut faire accélérer un satellite dans le vide qu’en projetant de la matière dans le sens inverse de la direction souhaitée. La matière est ici éjectée après avoir été accélérée électriquement à très haute vitesse et non par la pression générée par une combustion entre un comburant et un carburant. C’est un processus très lent. Par contre, on économise pas mal de poids côté satellite.

**D-Orbit** est une société qui propose des solutions permettant de mettre des satellites hors service “proprement”. Ce sont des moteurs d’appoint installés sur les satellites avant leur lancement qui vont permettre le retour sur Terre des satellites usagés ou leur envoi sur orbite de dégagement. Ils ont un moteur qui sert à placer rapidement sur orbites les satellites à propulsion électrique.

**MadeInSpace** est une société spécialisée dans la création de systèmes d’impression 3D spatiaux, dont un est installé dans l’ISS.



## Chronologie des grands projets entrepreneuriaux de la conquête spatiale

Je les classe par ordre chronologique de création.

### Blue Origin (2000)

La société lancée par Jeff Bezos, le fondateur d'Amazon, est la plus ancienne de cet inventaire. Ce n'est pourtant pas la plus connue, SpaceX faisant beaucoup plus jaser, du fait du statut de génie sanctifié de son vivant de son fondateur Elon Musk, alors que Jeff Bezos ne serait qu'un boutiquier un peu malin en comparaison. Jeff Bezos finance Blue Origin en vendant chaque année depuis 2015 un milliard de dollars d'actions d'Amazon.

L'objectif de Jeff Bezos est de démocratiser les vols dans l'espace, notamment les vols humains. Blue Origin s'appuie sur une gamme de fusées récupérables pour des vols suborbitaux et orbitaux.

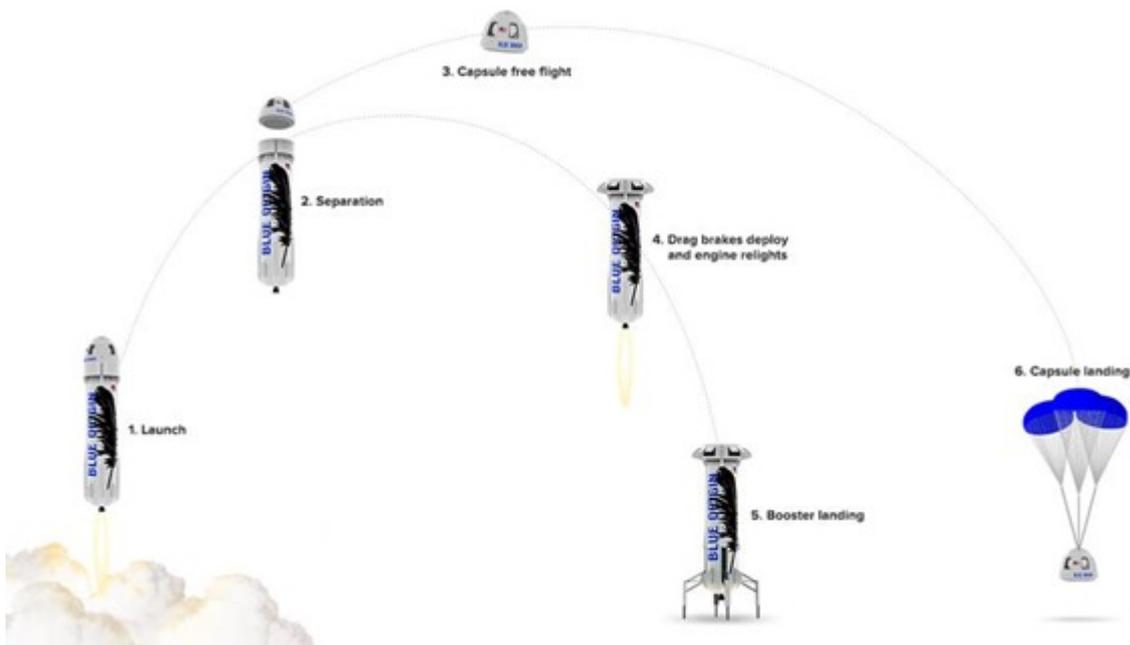
Depuis 2015, sa fusée New Shepard a plusieurs fois réussi des vols suborbitaux à 100 km d'altitude avec récupération de la fusée ainsi que de sa capsule. La fusée revenait sur Terre et atterrissait verticalement, ralentie par ses propulseurs. La capsule revenait de son côté via un parachute, comme un vaisseau Soyouz. Blue Origin est aussi fabricant et fournisseur de moteurs de fusées, les BE-3 (celui de New Shepard) et le BE-4 (plus puissants).

A l'origine, Blue Origin a démarré grâce à des contrats d'études et de recherche menés pour la NASA de quelques dizaines de millions de \$ sur les vols habités en 2009 portant notamment sur les systèmes d'évacuation des astronautes, sur la conception de capsules et sur une nouvelle génération de moteurs.

Blue Origin a conçu et lancé une première fusée **Charon**, équipée de moteurs d'avion Rolls-Royce Viper MK 301 en 2005, à 96 petits mètres d'altitude. Pour un unique vol de test. Puis une autre fusée test Goddard PM1 en 2006.



Les choses devenaient sérieuses avec **New Shepard**, un véhicule suborbital atteignant 100 km d'altitude, comportant une fusée récupérable et une capsule permettant d'embarquer trois passagers. La fusée récupérable revient sur Terre et atterrit verticalement tandis que la capsule revient sur Terre en étant freinée par un parachute. La propulsion s'appuie sur le moteur maison BE-3 qui fonctionne à l'hydrogène et à l'oxygène liquides, qui génèrent peu de fumées au décollage. Un vol complet dure 10 minutes en tout, retour compris (vidéo montrant un cycle complet). Le premier test de New Shepard a eu lieu en 2015 avec une récupération de la capsule mais pas de la fusée. La même année avait lieu le premier vol avec récupération de la fusée. Cette fusée a été réutilisée quatre fois pendant 2016 pour un cycle complet décollage/atterrissage.



Blue Origin a aussi dans ses cartons une fusée plus grande, **New Glenn** avec deux ou trois étages de 7 m de diamètre. Prévues pour 2020, son premier étage est équipé de moteurs plus puissants, les BE-4, qui associent méthane et oxygène liquides, tandis que le second étage utilise les BE-3 de New Shepard. Le premier étage est réutilisable mais ni le second ni le troisième. Elle sera capable de mettre des satellites en orbite basse. Elle servira aussi à des vols habités à partir de 2018. Jeff Bezos prévoit ensuite d'aller sur la Lune.

Blue Origin fait rêver en promettant des voyages suborbitaux pour Monsieur Millionnaire Toutlemonde dans ses capsules attachées à New Shepard, mais dans la pratique, l'activité principale de la société est le lancement commercial de satellites.

## SpaceX (2002)

Créée par Elon Musk peu après la revente de Paypal qui avait fait sa fortune, la société a dans la pratique des objectifs assez voisins de ceux de Blue Origin : révolutionner le marché de l'envoi de charges utiles et d'hommes dans l'espace. Les moyens techniques sont assez voisins avec des lanceurs réutilisables avec un prix très compétitif. Seule diffère l'ambition affichée et la communication qui va avec, Elon Musk visant la conquête de Mars tandis que Bezos se contente d'évoquer de faire le tour de la Lune. La société est dirigée par Gwynne Shotwell (President & COO) avec un nom bien adapté à la mission de la société !

Le choix de SpaceX est l'intégration verticale : la société conçoit tous les sous-systèmes de ses lanceurs, moteurs compris, un peu comme Tesla, l'autre société de Musk, le fait pour ses véhicules électriques. Les objectifs de Musk sont de réduire les coûts et d'améliorer la fiabilité de l'accès à l'espace d'un facteur dix. Il vise un coût de \$1000 par kilo envoyé en orbite basse. Le succès commercial est aussi au rendez-vous. A ce jour, SpaceX aurait un carnet de commande équivalent au double de celui d'Arianespace, soient environ \$9,3B pour \$5B. A noter que Google et Fidelity Investment ont investi \$1B dans SpaceX en 2015.

SpaceX a démarré avec sa fusée Falcon 1 qui a lancé en 2009 un satellite malaisien après avoir connu trois échecs successifs en 2006, 2007 et 2008 puis un succès en 2008.

Le produit phare de SpaceX est sa fusée **Falcon 9**, équipée de moteurs maison Merlin utilisant de l'oxygène liquide (LOX pour Liquid Oxygen) et du RP1, un hydrocarbure léger moins dangereux que l'hydrogène liquide et moins toxique que l'hydrazine, une combinaison courante, déjà utilisée par Saturn V du programme Apollo. Sa charge utile est un vaisseau cargo Dragon (*ci-dessous*) dont une version habitable, la Dragon V2, est prévue. Le premier étage comprend 9 moteurs Merlin et le second étage, un seul. Il fait 3,66 m de diamètre tandis que la coiffe d'emport en fait 5,2. La coiffe d'Ariane 5 fait 5,45 m de diamètre pour 4,57 m d'utilisable par la charge emportée. La coiffe de Falcon 9 a un diamètre utile interne de 4,6 m. Falcon 9 a une capacité de mise en orbite de 10,5 tonnes.



Le cargo spatial Dragon permet notamment le ravitaillement de l'ISS pour le compte de la NASA. SpaceX a

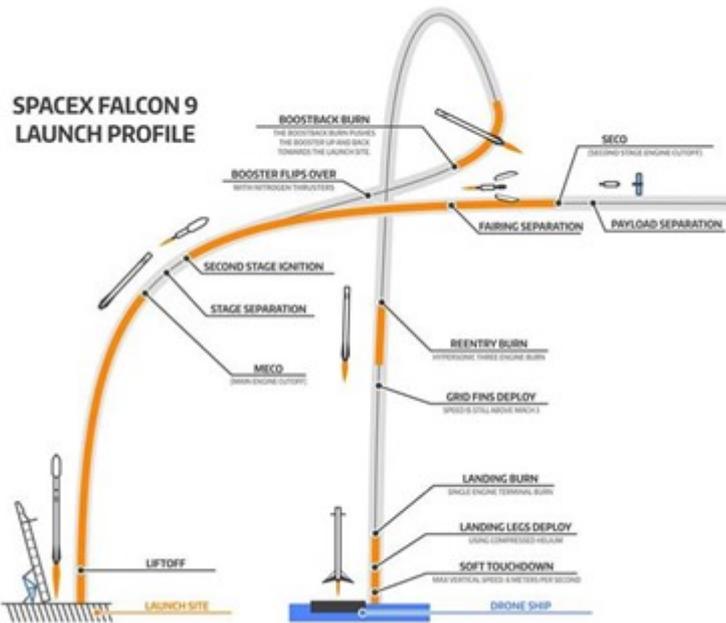
rempoité un contrat associé, parallèlement à un autre opérateur privé, **Orbital Sciences**. Falcon 9 a été annoncée en 2005 et lancée la première fois en 2010. Un contrat d'un total de \$5B, options comprises. Cela permet à la NASA d'éviter d'être dépendante des fusées russes Soyouz depuis que la Navette Spatiale a été mise à la retraite en 2013. Fusées Soyouz qui sont en partie lancées à partir de la base de Kourou en Guyane française, dont la position équatoriale permet aux Soyouz de placer en orbite des satellites près de trois fois plus lourds qu'en décollant de Baïkonour !

SpaceX lance ses fusées à partir de trois bases : celle de Cap Canaveral en Floride (les pads SLC-40 et 39A, ce dernier ayant servi aux lancements de la Navette Spatiale), celle de la base Vandenberg de l'US Air Force en Californie et une base en propre en construction au Texas. Blue Origin avait concouru contre Space X pour opérer le pad 39A mais SpaceX en a obtenu l'exclusivité en 2014.



L'un des objectifs de SpaceX était de rendre sa fusée Falcon 9 réutilisable. Après plusieurs tentatives ratées, SpaceX a réussi à récupérer le premier étage du lanceur via un atterrissage à la verticale en 2015, sur la base de Cap Canaveral ([vidéo](#)), puis en 2016 et 2017 sur une base maritime ([vidéo](#)). Le tout après la mise en orbite réussie de satellites ! La récupération nécessite de rallumer l'un des moteurs Merlin de la fusée et de le faire fonctionner à bas régime, car la fusée est alors quasiment vide à son retour. Le second étage n'est pas récupéré.

Et en mars 2017, un lancement était réussi avec une fusée réutilisant un premier étage ainsi récupéré. Quelques lancements ont été ratés en parallèle, comme celui d'une Falcon 9 devant lancer le satellite israélien Atmos-6 en septembre 2016. En tout cas, la récupération des fusées Falcon 9 est probablement la principale prouesse technique de SpaceX et elle est de taille. Elle doit probablement beaucoup aux progrès dans les systèmes de pilotage automatique temps réel équivalents à ceux que l'on trouve aussi dans les drones ! Ce processus de récupération est maintenant une routine, le **dernier en date** étant le lancement d'un satellite d'observation terrestre Taiwanais le 24 aout 2017.



SpaceX est positionné comme l'opérateur low cost du marché. Les lancements de fusée Falcon 9 sont opérationnels et revenaient chacun à \$56m en 2013. Avec ses fusées récupérables, SpaceX ambitionne de descendre à terme le prix de ses lancements en-dessous de \$7m. Cela permettrait de poursuivre la baisse continue du prix de l'envoi d'un kg de charge utile en orbite basse, qui frôle actuellement les \$1000. SpaceX essaye d'associer la rigueur de son secteur avec la souplesse du mode de fonctionnement des startups. C'est bien expliqué dans cette [présentation](#) qui décrit leurs méthodes de travail et qui date de 2012. Selon SpaceX, l'intégration verticale élimine une bonne part des tests d'intégration que doivent faire les concurrents de SpaceX qui doivent intégrer des composants d'origine bien plus variée.

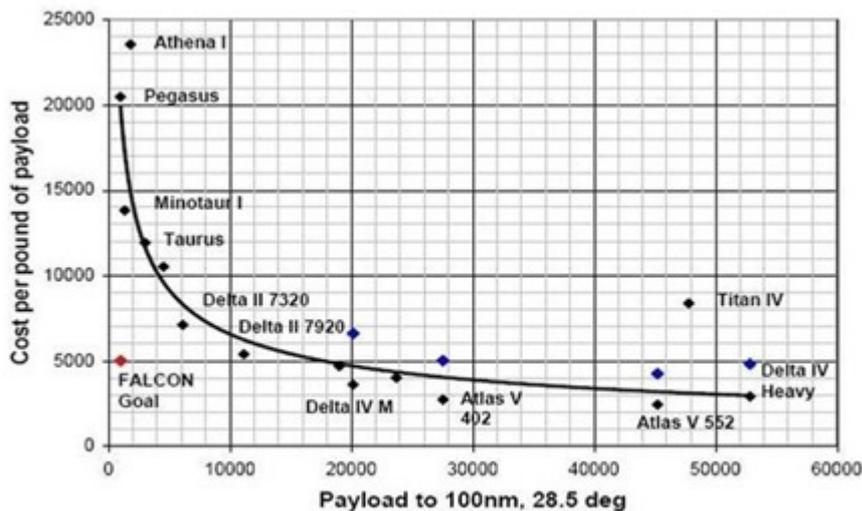


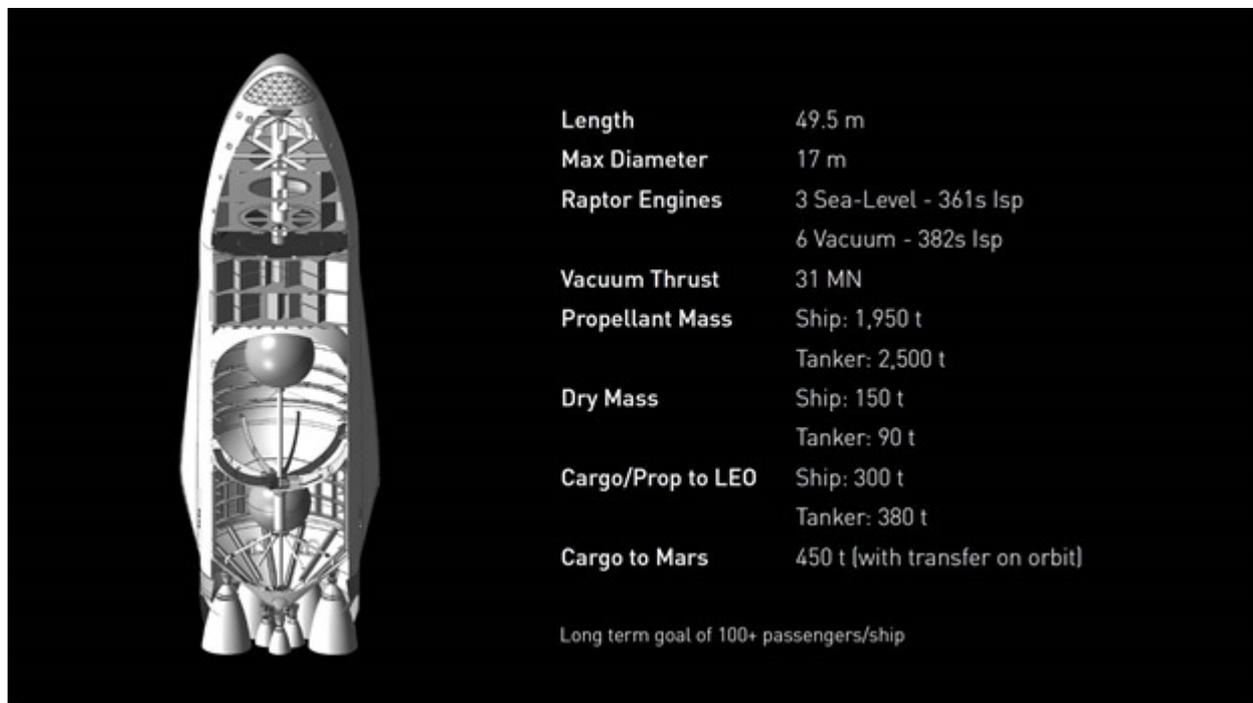
Figure 2. Launch Costs of Common Space Launch Systems

SpaceX augmente régulièrement sa cadence de lancements, avec 10 charges envoyées en orbite basse pendant les 6 premiers mois de 2017, le dernier en date étant l'envoi début juillet 2017 d'Eutelsat 35e en orbite géostationnaire, un satellite de télécommunications de 6,8 tonnes. Cette révolution surtout économique a eu un sérieux impact sur la concurrence traditionnelle, à commencer par Arianespace et l'opérateur américain ULA. Les clients exercent une pression sur les prix des lancements. Cela a poussé Arianespace à lancer le programme Ariane 6. Avec à la clé un gros débat sur la capacité d'export et l'optimisation complexe d'Ariane 5 avec sa

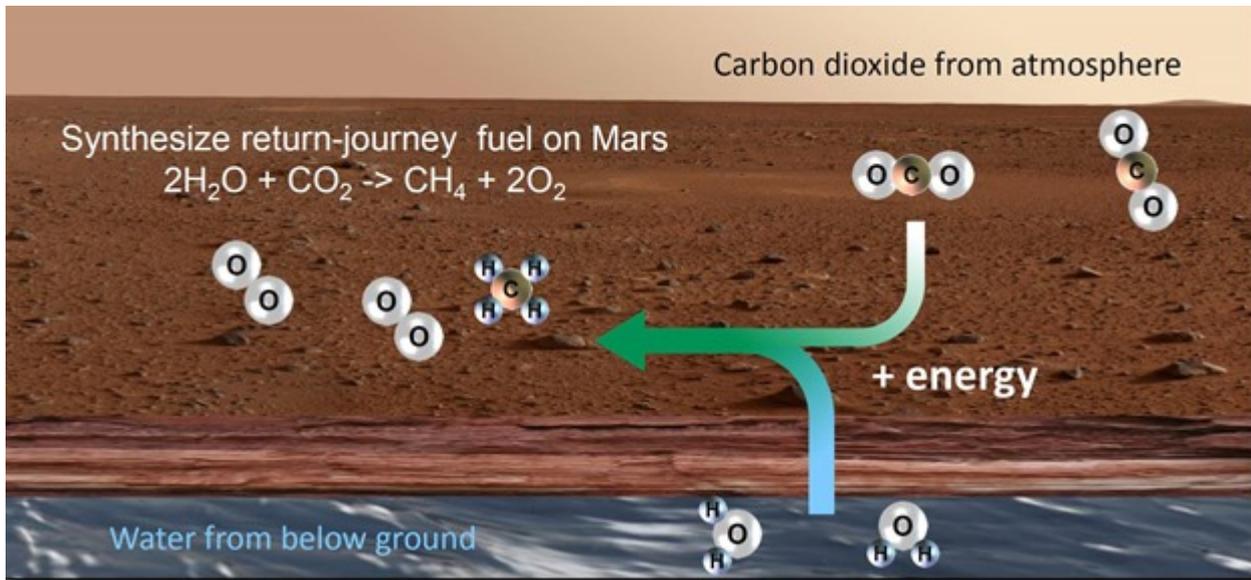
coiffe qui n'est rentable qu'en lançant deux satellites à la fois.

Mais Elon Musk ne veut pas se contenter d'être une sorte d'Easyjet de l'envoi de satellites en orbite basse. Il vise plus loin et plus haut et notamment Mars. Et pas simplement pour explorer la planète rouge d'ici 2025 mais aussi pour la terraformer et coloniser ensuite avec des millions de terriens. Elon Musk a expliqué son projet comme suit : *“Une voie est de rester sur Terre pour toujours, avec l'éventualité qu'un évènement d'extinction survienne. [...] L'alternative est de devenir une civilisation spatiale et une espèce multi-planétaire [...] Nous devons juste changer les populations parce que nous sommes actuellement sept milliards de personnes sur Terre et aucune sur Mars [...] nous pourrions la réchauffer, lui redonner une épaisse atmosphère”*.

Le plan est construit par étapes, les deux premières étant de créer la version habitée de la capsule Dragon et le **Falcon Heavy**, un lanceur plus lourd doté de 28 moteurs Merlin, de deux boosters eux aussi récupérables et d'une plus grande charge d'envol ([vidéo de simulation d'un vol complet](#)). L'étape suivante est l'ITS (Interplanetary Transport System), capable d'envoyer en orbite 300 tonnes, une fusée plus grande que Saturn V du programme Apollo. Faisant 122 m de hauteur et équipée de 42 moteurs Raptors, elle enverrait un vaisseau spatial sur Mars de 49,5 m de long, 17 m de diamètre et rempli avec 4450 tonnes de carburant (*ci-dessous*).



Deux versions de ce vaisseau seraient envoyées sur Mars. Dans les deux cas, il serait d'abord envoyé en orbite basse à vide puis chargé en carburant par un autre vaisseau envoyé juste après. Un premier vaisseau non habité serait envoyé sur Mars qui servirait d'usine de production de carburant pour le retour du vaisseau habité. Ce carburant qui associerait du méthane (CH<sub>4</sub>) et de l'oxygène (O<sub>2</sub>) serait produit sur Mars à base de trois composants : de l'eau gelée extraite du sous-sol de Mars, du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et de l'énergie solaire récupérée avec des panneaux photovoltaïques.



Elon Musk veut réutiliser le savoir développé dans le percement de tunnels avec Hyperloop One pour en creuser sur Mars, à la fois pour créer des stations habitables ou pour récupérer l'eau souterraine (source : intervention d'Elon Musk à l'ISS R&D Conference de juillet 2017).

L'atterrissage sur Mars est délicat pour un véhicule de cette taille. Il est en effet difficile d'atterrir sur Mars dont l'atmosphère est très faiblement dense et oblige à freiner le véhicule habité avec un moteur, un parachute étant insuffisant pour un véhicule lourd de ce type contrairement à Curiosity en 2012. Le vaisseau de SpaceX sera donc freiné par ses moteurs et grâce au carburant embarqué. Dans cette même conférence, Elon Musk annonçait qu'il allait revoir ses plans pour aller sur Mars, notamment en revoyant sa copie sur la fusée et sur l'atterrissage sur Mars.

Le second vaisseau serait habité et reviendrait sur Terre grâce au carburant fabriqué par le vaisseau arrivé avant lui.

L'atmosphère sur Mars est insuffisamment dense pour y maintenir de l'eau à l'état liquide. Au-dessus de  $0^\circ\text{C}$ , l'eau sous forme de glace se transforme illico en vapeur. Qu'à cela ne tienne, Elon Musk a la solution pour terraformer Mars : utiliser des armes nucléaires pour pulvériser l'eau glacée contenue dans les pôles, l'envoyer dans l'atmosphère et l'épaissir ainsi pour augmenter l'effet de serre et la température moyenne sur la planète. Il oublie que Mars a perdu sa protection magnétique contre les vents solaires lorsque son noyau métallique s'est solidifié il y a trois milliards d'années, contrairement à celui de la Terre qui est encore actif. Cela expliquerait le fait que l'atmosphère de Mars, initialement d'épaisseur voisine de celle de la Terre, ait été soufflée par le vent solaire. Une tentative de dégazage de Mars se heurterait donc au même problème et n'est, pour l'instant, pas scientifiquement réaliste.

Le gradient de températures est élevé sur Mars avec une moyenne de  $-55^\circ\text{C}$  et des maximales autour de  $20^\circ\text{C}$ . Il est bien plus élevé sur la Lune, allant de  $-200^\circ\text{C}$  à  $+200^\circ\text{C}$ . Les astronautes du programme Apollo étaient protégés par leur combinaison qui réfléchissait l'essentiel des rayons reçus et par un sol poussiéreux faiblement conducteur de la chaleur. Donc, la température sur Mars ne devrait pas être un problème majeur.

Coloniser à grande échelle le Pôle Sud ou les fins fonds du désert d'Arabie Saoudite est bien plus aisé que de s'installer sur Mars, choses que l'on ne fait pourtant que de manière sporadique.

Histoire de créer une étape intermédiaire plus réaliste, Elon Musk annonçait aussi en 2016 et 2017 vouloir envoyer autour de la Lune deux passagers (fortunés) payants avec une capsule Dragon V2 lancée par une fusée Falcon Heavy dont le premier vol est prévu avant fin 2017. Tout ça en 2018 ! Juste pour faire le tour de la Lune

et revenir sur Terre, un peu comme l'ont fait Apollo 8 en 1968 et Apollo 13 en 1970, ce dernier, de manière improvisée.

Bref, Elon Musk fait rêver les uns avec de la science-fiction et fait du business relativement classique de lanceur avec de l'innovation incrémentale et une belle intégration verticale.

### Virgin Galactic (2004)

Virgin Galactic ne joue pas dans la cour de l'utilitaire. La société de Richard Branson propose des vols commerciaux suborbitaux allant jusqu'à 110 km d'altitude dans un avion à moteur fusée, le SpaceShipTwo lancé à partir d'un avion porteur, le WhiteKnightTwo.

La solution technique n'a toutefois pas germé dans la tête de Richard Branson qui rêvait de créer un opérateur de vols spatiaux, mais dans celle de Burt Rutan, le cofondateur de Scaled Composites, une société californienne conceptrice d'avions originaux. Le SpaceShipTwo de Virgin Galactic est en effet un descendant direct du SpaceShipOne lancé par Burt Rutan en 2003 pour le compte de Paul Allen. Mais ce dernier ne souhaitait pas en faire un business commercial. Dans la pratique, les deux véhicules sont conçus par une joint venture de Scaled Composites et Virgin Galactic, The Spaceship Company.

Le SpaceShipTwo est un avion fusée de six places commerciales en plus des deux pilotes. Son voyage dure en tout trois heures comprenant quelques minutes en apesanteur. Il vole à 4000 km/h, propulsé par un moteur à ergols solides et liquides, RocketMotorTwo. L'avion porteur WhiteKnightTwo est un quadriréacteur à deux carlingues qui comprend un seul pilote dans la carlingue gauche et permet le transport de personnes accompagnant les passagers de l'avion fusée.



Comme tout projet du genre, il a connu des déboires. D'abord, sur le moteur de l'avion-fusée, qui a explosé en test au sol en 2007, et dû être remplacé après. Puis le crash de l'avion-fusée lors d'un vol de test en 2014, tuant le copilote et blessant le pilote, à cause d'un problème de déploiement d'ailettes au retour. Cela a abouti à une nouvelle version du SpaceShipTwo dont le premier test a eu lieu début 2017 (vidéo).

Les vols commerciaux sont proposés entre \$200K et \$250K. Plusieurs centaines de clients sont en liste d'attente depuis 2008. Les premiers vols commerciaux annoncés initialement pour 2014 n'ont toujours pas eu lieu. Des tests doivent encore réalisés pour que Virgin Galactic obtienne l'agrément de la FAA américaine avant de lancer son activité commerciale.

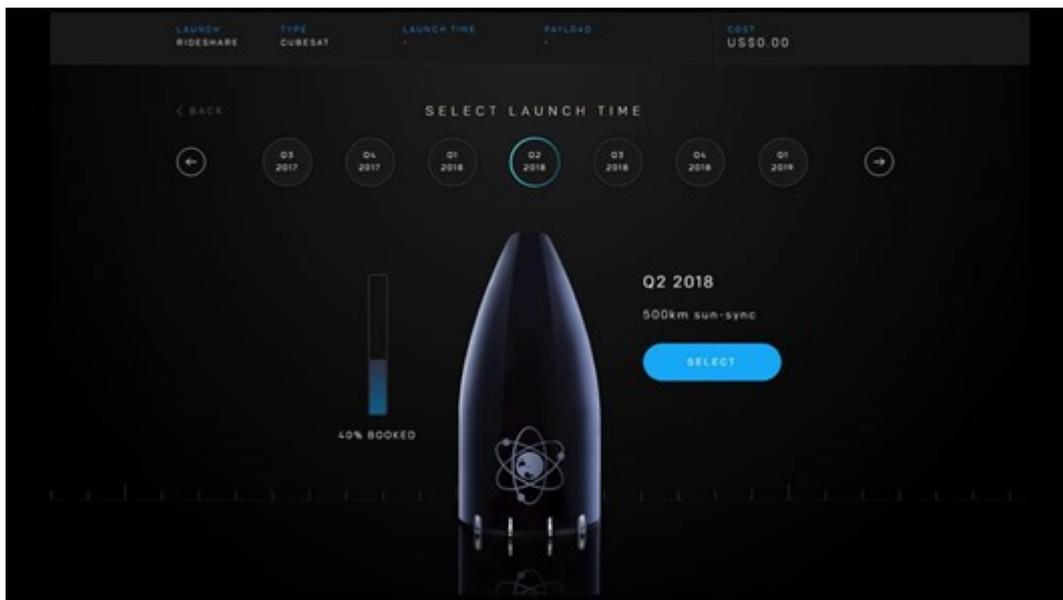
### United Launch Alliance (2006)

Inconnue du grand public, United Launch Alliance (ULA) est un partenariat entre Lockheed Martin et Boeing qui avait le monopole du lancement de satellites militaires pour le Pentagone, dont le prix unitaire est très élevé, jusqu'à ce que SpaceX gagne son premier contrat avec l'US Air Force en 2016. L'opérateur s'appuie sur trois lanceurs polyvalents : Delta II, Delta IV et Atlas V, qui seront suivis par le Vulcan en 2019.

La société est en difficulté depuis au moins 2014 est lourdement endettée et financée par la commande publique américaine. Elle a dû se restructurer plusieurs fois pour réduire ses coûts et mieux résister à la concurrence venant principalement de SpaceX. En 2014, ULA a lancé un "partenariat" avec Blue Origin pour le développement du moteur BE-4 de ce dernier, une appellation style novlang pour indiquer que la société fait l'acquisition de ses moteurs auprès de Blue Origin.

### Rocket Lab (2006)

Cette société américano-néo-zélandaise révolutionne encore plus le marché que les précédents. Elle construit des fusées low-cost dont la structure est fabriquée en impression 3D métallique. Cette fusée est destinée à lancer de petites charges utiles totalisant 150 kg, notamment des nano-satellites, sur des orbites de 500 km d'altitude. On peut réserver ses lancements "au kilo" par trimestre directement sur leur site web.



Le financement de la société a démarré avec un contrat avec le gouvernement américain pour le développement d'un lanceur low-cost, puis avec du capital risque provenant de Khosla Ventures (2013), Callaghan Innovation et Bessemer Venture (2014) et enfin, un gros tour de financement de \$75m en mars 2017.



Le premier vol du lanceur Electron a eu lieu en mai 2017 ([vidéo](#)) à partir d'une base en Nouvelle Zélande. Les lancements commerciaux doivent démarrer d'ici fin 2017 à raison de \$5m l'unité. Electron doit notamment lancer la sonde lunaire MX-1 de Moon Express citée au début de cette partie. Le moteur Rutherford d'Electron a quelques particularités comme un système d'alimentation à base de moteurs électriques en lieu et place des traditionnels et complexes générateurs à gaz.

#### Stratolaunch (2011)

Cette société a été créée par Paul Allen et Burt Rutan, le fondateur de Scaled Composites impliqué dans la création du SpaceShipTwo utilisé par Virgin Galactic. Elle vise l'envoi de petites fusées en orbite à partir d'un gros aéronef de 114 m d'envergure et 550 tonnes (charge comprise qui peut atteindre 230 kg) qui n'est pas sans rappeler le Spruce Goose de Howard Hughes qui n'a volé qu'une seule fois en 1947. Par comparaison, un A380 au décollage pèse un maximum de 562 tonnes. Depuis 2015, Stratolaunch est devenu une filiale d'une autre société de Paul Allen, Vulcan.

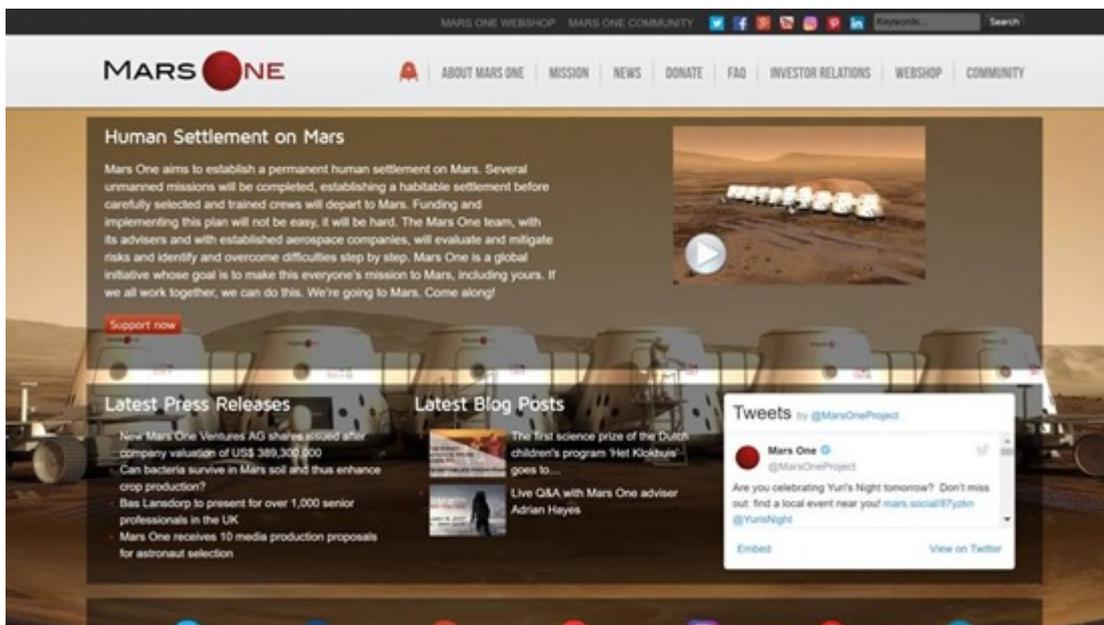
L'avion porteur est conçu et fabriqué par Scaled Composites, la société de Burt Rutan en collaboration avec une autre société d'ingénierie américaine, **Dynetics** (1500 personnes, créée en 1974). L'avion porteur est sorti de son hangar en mai 2017 et doit prendre son envol d'ici fin 2017 dans le désert de Mojave. L'avion est propulsé par six réacteurs Pratt & Whitney PW4000 récupérés de Boeing 747 usagés. Bref, une sorte de "maker" à grande échelle.



La société américaine **Orbital ATK** planche sur le véhicule à lancer dans l'espace, le Pegasus XL, une fusée de 17,6 m de long permettant d'envoyer 443 kg en orbite. Stratolaunch a érigé deux hangars de 8200 et 8607 m<sup>2</sup> pour la construction et l'assemblage de l'avion porteur. Les premiers lancements sont prévus d'ici 2019.

### MarsOne (2011)

Mars One est un curieux animal. Il s'agit d'une ONG des Pays Bas qui ambitionne d'envoyer des hommes sur Mars et d'y installer une colonie permanente. Elle a déjà commencé à sélectionner des astronautes. L'ONG est structurée avec d'un côté une association à but non lucratif, Mars One Foundation, qui doit gérer la mission, et Mars One Ventures, qui va en monétiser les droits. Le plus loufoque est que cette entité veut financer le projet via les droits d'un documentaire TV.

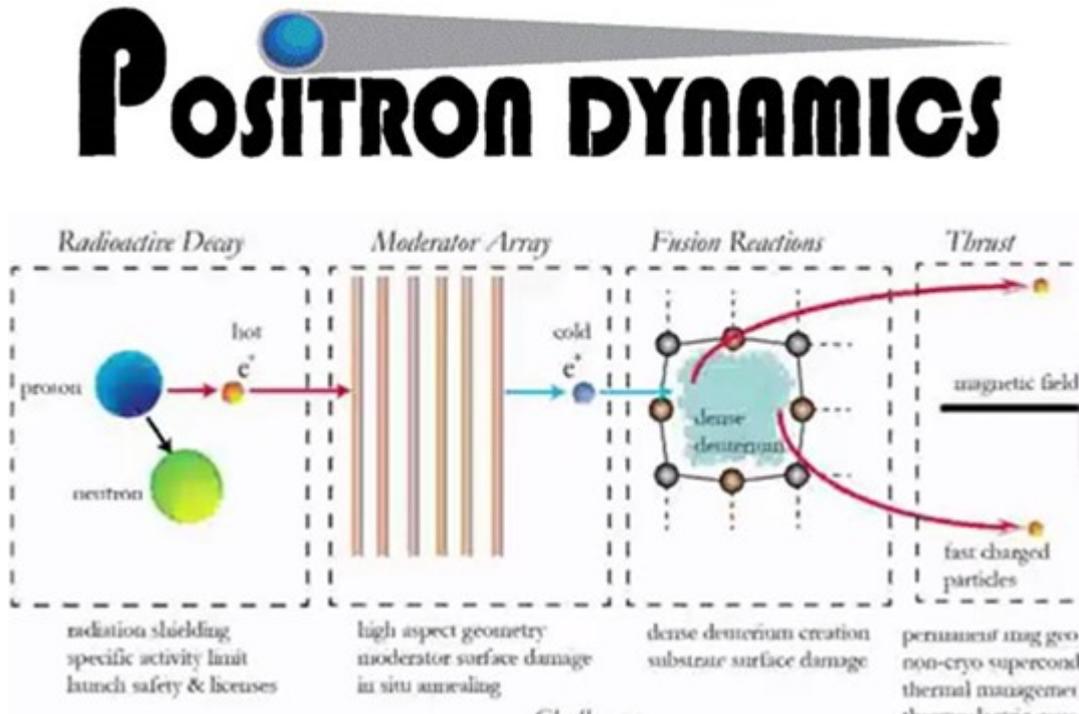


Pour le reste, c'est totalement fantaisiste, même si il est prévu de s'appuyer sur des ressources technologiques du marché, comme les lanceurs de SpaceX. La société veut "lever des fonds" pour financer son projet. Environ \$100B. Une petite levée en crowdfunding fera l'affaire à moins qu'il s'agisse d'un prêt à long terme ! Donc, à moins de ponctionner l'intégralité du fonds récemment créé par l'Arabie Saoudite et Softbank, on ne voit pas

trop comment cela pourrait être financé. Bref, il est plus facile de passer de la réalité TV à la Maison Blanche que d'aller sur Mars.

### Positron Dynamics (2011)

J'ai découvert cette startup américaine dans la conférence Hello Tomorrow en octobre 2016 à Paris. Ryan Weed (vidéo) y présentait son concept de moteur à antimatière permettant l'exploration de l'Univers à une vitesse d'environ le dixième de la vitesse de la lumière. A une telle vitesse, on pourrait explorer les exoplanètes autour d'Alpha du Centaure en quarante ans.



L'antimatière désigne des éléments dont les particules ont une charge opposée aux particules ordinaires : positrons par opposition aux électrons et antiprotons pour les protons, les protons étant inchangés. On a pu reconstituer en labo des atomes d'antihydrogène avec un positron et un antiproton. Nous avons aussi vu dans l'épisode sur les télescopes spatiaux dans les rayons gamma que ceux-ci produisaient un électron et un proton lorsqu'ils rencontraient de la matière. Lorsque de la matière rencontre de l'antimatière, cela dégage une très grande quantité d'énergie. Bien plus grande que dans la fusion ou la fission nucléaire. On pourrait ainsi aller sur Mars en se propulsant avec un gramme d'antimatière.



Seulement voilà, un, cette antimatière coute très cher à produire, dans des accélérateurs de particules, tout aussi cher à conserver avec de grands aimants supraconducteurs pour l'isoler, et à utiliser ensuite de manière contrôlée. On a déjà bien du mal à contrôler la fusion nucléaire ! Donc, on est dans le domaine d'une potentialité scientifique théoriquement possible mais très lointaine d'un point de vue pratique.

Là-dessus, comment expliquer que cette startup ait pu lever \$1,5m alors que son projet est plus proche de la science-fiction que de la science et du business ? La raison est simple : l'antimatière a d'autres usages qui sont, eux, terrestres. Sa production peut aussi servir au contrôle de qualité de certains matériaux. La société planchait sur un appareil d'émission de positrons pour le contrôle non destructif utilisant un procédé breveté en 2011. La société semble avoir fermé selon la Crunchbase.

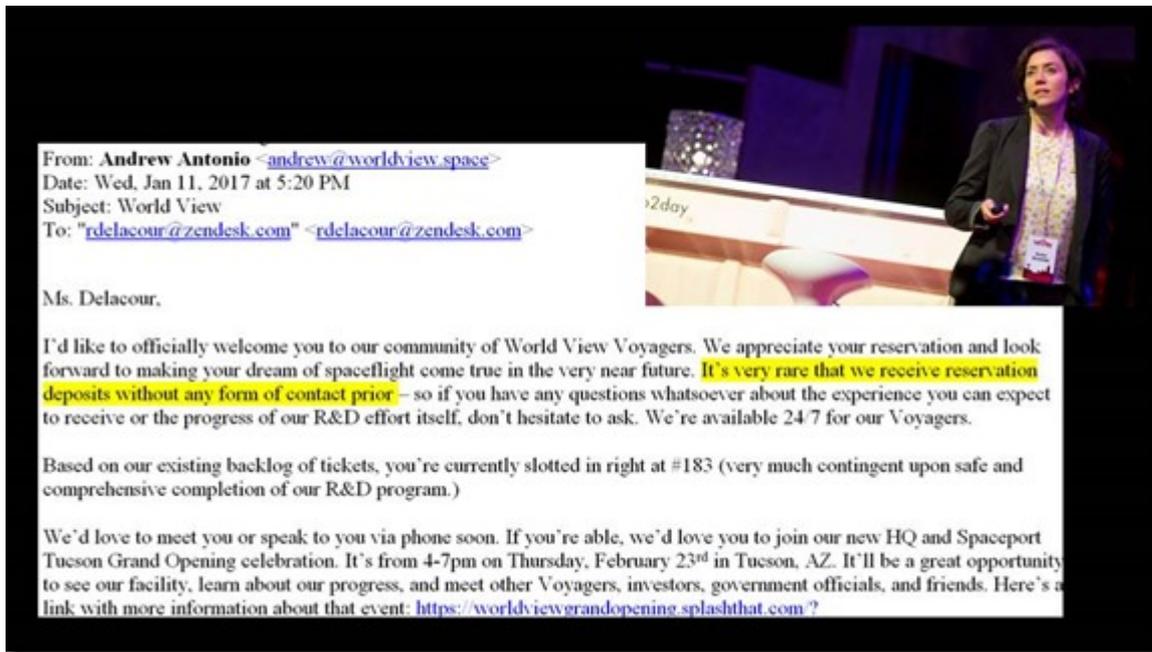
Elle n'est cependant pas la seule sur ce créneau. Un équivalent français existe avec **Posithot**, basée à Sceaux dans les Hauts de Seine. Elle se concentre plus sagement sur le contrôle non destructif avec, également, un générateur de positrons, exploitant un procédé provenant du CEA. D'ailleurs, les positrons sont utilisés en imagerie médicale dans les PET Scanners, PET signifiant Positron Emission Tomography. Cette technique détecte les rayons gamma émis par des sources radioactives de positrons qui traversent le corps à examiner.

### World View Enterprises (2013)

World View Enterprises est une startup créée dans l'Arizona qui veut proposer des voyages en ballon à hélium à l'altitude de 32 km, voisine de celle qu'avait atteint l'autrichien Felix Baumgartner dans son fameux saut en 2012 sponsorisé par Red Bull (39 km, [vidéo](#)). Les marchés visés sont le tourisme spatial, l'expérimentation scientifique et d'autres applications commerciales à déterminer. Le tout de ferait dans une capsule emportant six passagers et deux membres d'équipage. Les premiers voyages sont prévus d'ici fin 2017 mais cela risque de prendre du retard comme tout projet de ce genre. Ceci étant, les défis techniques ne sont pas du même ordre de grandeur que ceux des projets précédents. Sauf peut-être la conception de la nacelle avec des grandes vitres qui devront supporter le différentiel de pression entre l'intérieur et l'extérieur qui est proche du vide.



J'ai découvert cette initiative via Rachel Delacour, fondatrice de BIME Software, acquis en 2015 par l'américain Zendesk. Elle s'est inscrite dans la liste d'attente des passagers de cette opération et a été visiblement acceptée (le mail correspondant *ci-dessous*) !



World View Enterprise a levé \$15m auprès du fonds d'investissement américain Canaan Partners, qui est plutôt spécialisé dans la santé. La société n'est pas seule sur ce créneau. Il y a aussi **Zero 2 Infinity**, une initiative espagnole basée à Barcelone lancée en 2009. Les premiers vols commerciaux sont prévus d'ici 2019.

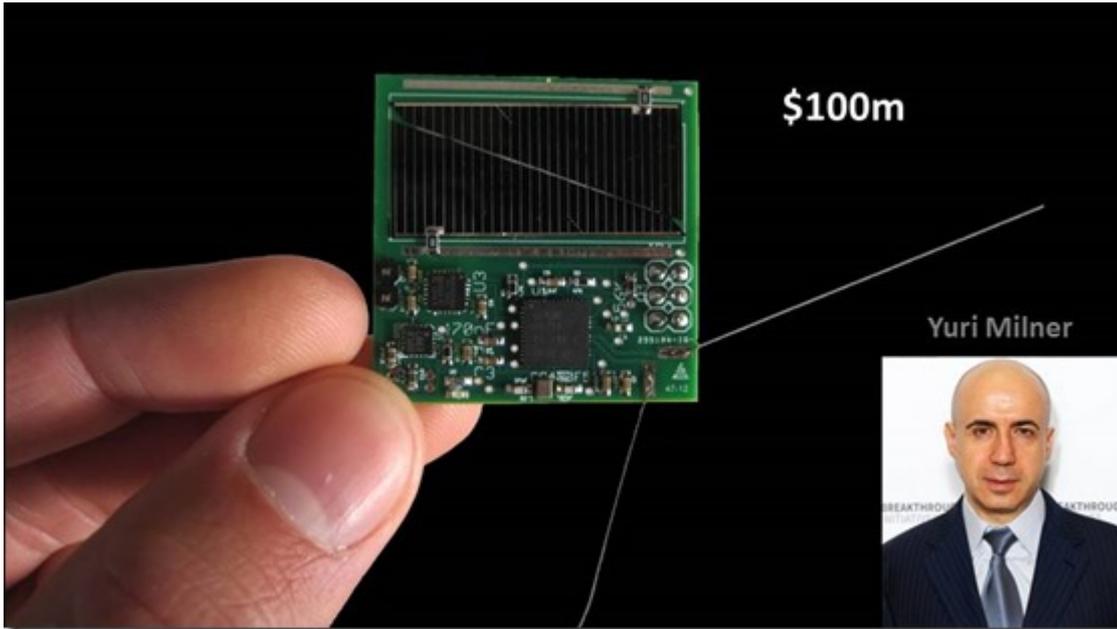
### Breakthrough Initiatives (2015)

Breakthrough Initiatives est un programme de recherche d'intelligence extraterrestre lancé par le milliardaire russe Yuri Milner, qui a fait fortune dans l'investissement, notamment avec son fameux fonds DST qui est actionnaire, entre autres, de Facebook, Alibaba, Twitter et Spotify.

Le programme doté de \$100m finance des projets indépendants sur une décennie et structuré en quatre initiatives :

- **Breakthrough Listen** : pour écouter ce qui vient d'un million d'étoiles et identifier des sources extraterrestres. Il permettra notamment de poursuivre les efforts lancés par le SETI depuis les années 1960, celui-ci étant financé par la NASA. Le projet exploite deux radiotélescopes que nous avons déjà vus, le Green Bank Telescope aux USA et le Parkes en Australie. Il s'appuie aussi sur des observations dans le visible avec le télescope de 2,4 m de l'observatoire Lick aux USA.
- **Breakthrough Message** : est le pendant émission du précédent, consistant à créer un message descriptif de l'humanité à envoyer vers ces étoiles, dans la continuité de celui qui est intégré dans les sondes Voyager lancées en 1977 et qui sont tout juste en train de sortir du système solaire.
- **Breakthrough Starshot** : pour l'envoi de sondes vers les étoiles les plus proches et à plus de 20% de la vitesse de la lumière. Cette initiative annoncée en 2016 consiste à envoyer un millier de nano-sondes de quelques grammes, les StarChip, vers Alpha du Centaure et la planète Proxima du Centaure b récemment découverte. Ces sondes équipées d'une voile solaire d'environ 1 m<sup>2</sup> de surface seront propulsées par un réseau de laser à impulsions sur Terre cumulant 100 GW et accélérant les sondes en moins de 10 mn à la bonne vitesse. Les sondes utiliseront des caméras CMOS pour photographier les planètes et étoiles explorées et renvoyer ces photos sur terre, avec au minimum 4,5 ans de patience pour les récupérer. Le projet est bien documenté dans "A Roadmap to Interstellar Flight" de Philip Lubin (67 pages) qui date d'avril 2016. Et les premières ont été envoyées en orbite basse en juillet 2017 ! Il faudra bien calculer

les dimensions des antennes des radio-télescopes chargés de capter les signaux émis par ces sondes !



- **Breakthrough Watch** : pour détecter des exoplanètes ressemblant à la Terre, autour d'étoiles situées à moins de 20 années lumière.

Finalement, ce Yuri Milner est le seul des grands entrepreneurs qui s'intéresse à autre chose que le système solaire !

### Les outils de l'astronomie amateur

L'astronomie amateur est un marché de niche depuis des décennies. Les leaders de ce marché sont américains avec des sociétés telles que **Celestron**, **Meade**, **Astro-Tech** ou **Sky-Watcher** qui proposent depuis quelques années des télescopes connectés à votre smartphone ou tablette.

En France, nous avons deux startups qui se sont lancées dans le secteur :

- **Unistellar**, qui exposait au CES 2017 et propose un télescope connecté doté d'un amplificateur de lumière améliorant sa sensibilité par rapport aux télescopes amateurs de focale équivalente (**vidéo**). Le principe consiste à accumuler la lumière avec un capteur CMOS avec plusieurs poses courtes d'affilée qui sont traitées numériquement et envoyées ensuite dans le viseur numérique du télescope. Leur télescope équipé d'un miroir de 6,3 cm équivaldrait à celui d'un télescope optique de 1 mètre côté sensibilité (mais pas en résolution angulaire...). La société a annoncé l'été 2017 un partenariat avec le SETI. Son eVscope pourra ainsi alimenter en mode "crowdsourcing" les bases de données du SETI aux USA. La société est basée près d'Aix en Provence.
- **Vaonis**, qui planche sur le Stellina, un télescope portable compact également connecté (**vidéo**). Il sera commercialisé en deux versions, l'une à 2000€ pour commencer, et l'autre à 4000€, avec une caméra de respectivement 3096 x 2080 pixels (un Sony CMOS IMX178) et 4656 x 3520 pixels (refroidie). La société est basée à Montpellier.



Les télescopes peuvent être complétés par une caméra CCD ou CMOS comme celles de **Atik** et **SBIG** voire un appareil photo numérique reflex.

Les télescopes géants ont toutefois des capacités énormes que n'ont pas les télescopes amateurs et qu'ils ne sont pas prêts d'avoir. Mais les astronomes amateurs jouent un rôle significatif dans la recherche scientifique. Certains identifient des astéroïdes et des exoplanètes. Ils exploitent parfois la grande quantité de données ouvertes qui est publiée par les observatoires. Les astronomes amateurs bénéficient de ressources communautaires comme **Cosmstory**, **Star-Guide** et **Stelvision** qui proposent notamment des guides des étoiles.

Enfin, ce milieu a aussi ses propres margoulins et notamment les sociétés qui vous proposent de donner le nom que vous souhaitez aux étoiles. Des noms qui ne se retrouvent que dans leurs bases de données propriétaires et n'ont aucune valeur dans la communauté scientifique internationale ! L'escroquerie est expliquée [ici](#).

### Progrès technologiques issus de la conquête spatiale

L'une des justifications économiques de la conquête spatiale souvent avancée sont ses retombées économiques industrielles. En effet, nombre d'avancées dans les technologies de pointe issues du spatial se sont démocratisées, à commencer par tout ce qui a trait au numérique. Des ponts naturels existent aussi entre les industries spatiales, dans l'aviation et dans les applications militaires. Ce n'est pas pour rien que l'on évoque les industries aérospatiales.

Voici quelques-uns des nombreux domaines sont impactés :

Le **big data** et le **machine learning** : qui sont particulièrement mis à contribution avec les télescopes terrestres et spatiaux. Ceux-ci génèrent d'énormes volumes de données qu'il faut capter, transmettre, stocker, traiter et distribuer aux astronomes et astrophysiciens. Les volumes s'évaluent maintenant en Peta-octets voire Exa-octets. Les data-centers des télescopes sont parmi les plus puissants au monde. Le machine learning et le deep learning interviennent pour aider les astronomes dans l'exploitation de ces gros volumes de données, notamment pour identifier des exoplanètes. Tout cela fait progresser le secteur avec des retombées indirectes dans les autres secteurs d'activité.

Les **batteries** : leur densité énergétique et fiabilité dans la durée sont essentielles pour les vaisseaux spatiaux de toutes sortes. Toute avancée dans le spatial peut avoir des retombées dans des domaines divers tels que pour les batteries des véhicules électriques.

Les **capteurs photo** : les avancées régulières dans les capteurs CCD des télescopes n'ont pas de retombées directes dans la photo numérique grand public, ce d'autant plus que celle-ci fait désormais appel de manière dominante à des capteurs CMOS. Par contre, les applications de contrôle non destructif ainsi que celles de la

surveillance, ces dernières faisant appel à des capteurs infrarouge, peuvent tirer parti des avancées du spatial.

L'**imagerie médicale** : elle aussi profite des technologie spatiales. Deux exemples français l'illustrent avec d'anciens astronomes chercheurs d'exoplanètes devenus entrepreneurs dans l'imagerie médicale : Emmanuel Chereul de Voxscan basé à Lyon qui améliore les technique d'imagerie médicale des animaux de laboratoire et Sasha Loiseau de Mauna Kea Technologies (du nom du site d'observatoires de Hawaï que nous avons plusieurs fois cité au sujet des télescopes terrestres) qui propose des solutions d'endoscopie laser.



**Emmanuel Chereul**



**Sasha Loiseau**

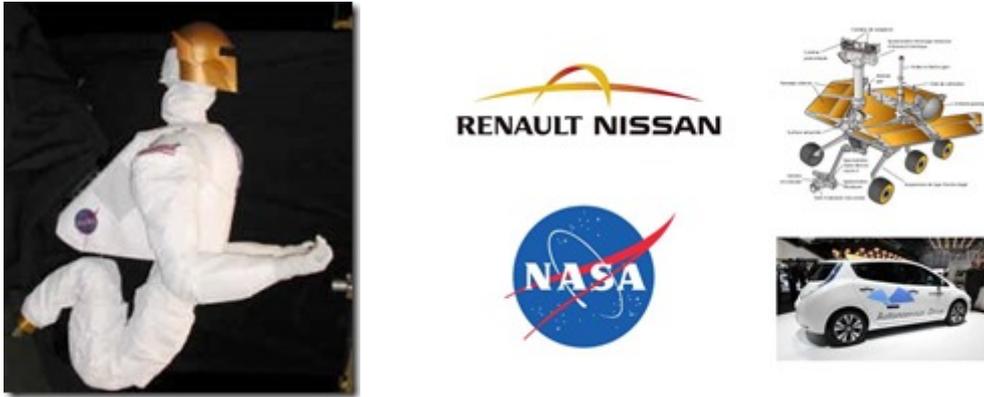


La **santé** : le thermomètre infrarouge électrique, inventé en 1991 à partir des capteurs infrarouge (en **voici quelques autres**).

Les **matériaux innovants** : les matériaux isolants, les nano-matériaux, les matériaux composites sont autant d'avancées croisées entre les applications civiles, militaires et spatiales. Exemples avec de nombreux matériaux isolants : le PICA (Phenolic Impregnated Carbon Ablator) qui est utilisé chez Space X, le PCCM (Protective Ceramic Coating Material) qui est réutilisé dans l'industrie des fours pour économiser l'énergie ou le diborure de magnésium, une céramique supraconductrice qui est réutilisée dans l'IRM.

La **gestion de projets complexes** : est un apanage de nombreux projets que nous avons pu examiner dans ces lignes, notamment ceux qui sont pilotés à l'échelle européenne par l'ESO, l'ESA, ou qui associent l'ESA à la NASA. La communauté des astronomes et des astrophysiciens a une grande habitude de gestion de projets complexes, où il faut savoir prendre des décisions à plusieurs, gérer des priorités et arbitrages, avoir en tête les objectifs (scientifiques) et aussi, gérer une bonne collaboration internationale.

La **robotique** : c'est l'apanage des sondes spatiales qui doivent fonctionner souvent de manière autonome et tenir compte de temps de latence de plusieurs dizaines de minutes pour les communications avec la Terre pour les sondes et rovers posées sur Mars. La robotique jouera certainement un rôle dans la construction de structures dans l'espace. La NASA a créé Robonaut, un robot avec deux membres supérieurs utilisé dans l'ISS depuis 2011. Chacun de ses membres est doté de 150 capteurs dont des capteurs de position, thermiques, tactiles, de force et de torsion. Exemple de réutilisation : Renault-Nissan a annoncé au CES 2017 un partenariat avec la NASA pour récupérer ses logiciels de robotique et les exploiter dans ses véhicules autonomes.



La **science fiction** : est aussi source d'inspirations depuis des décennies. Barbara Belvisi du Hardware Club l'avait évoqué avec brio lors de la conférence Leade.rs en avril 2017 à Paris (“**When fiction ends and science begins**”). Le téléphone mobile a été inventé par Martin Cooper de Motorola, s'inspirant du communicator de Star Trek qu'il avait découvert dans la série TV dans les années 1960. Le téléphone à clapet des années 2000 en est aussi issu. Et Siri ou Amazon Alexa pilotant des objets connectés est dans la même lignée.



On retrouve cela dans le concours Qualcomm XPrize de Tricorder qui cherche à rendre concret un autre appareil de Star Trek, celui qui intègre toutes les technologies de diagnostic de santé. L'un des finalistes de ce concours était le français Archimej, à l'origine d'un appareil d'analyse sanguine capable de mesurer plusieurs dizaines de paramètres.

## Epilogue

Nous voici arrivés au terme de ce long voyage dans l'astronomie. Il comprend au total plus de 200 pages de découvertes focalisées sur les outils de l'astronomie, les télescopes terrestres et spatiaux, dans toutes les longueurs d'onde. Ces articles visaient à répondre à des questions que je me posais : mais comment font-ils pour détecter, qui un trou noir, qui un pulsar, qui une exoplanète ? Et qui sont les sociétés ou organisations qui les conçoivent et construisent ? Et comment se positionnent les entrepreneurs stars du spatial dans le domaine ? Ces derniers étaient surtout un prétexte pour faire un tour scientifique et technologique du sujet.

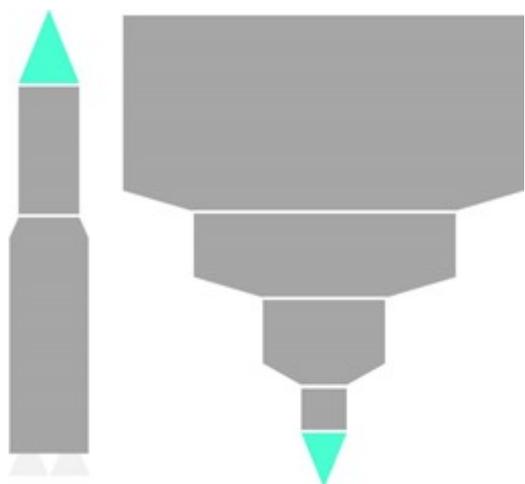
Au jeu des analogies, ce parcours permettait aussi de prendre un peu de recul sur l'entrepreneuriat en général et sur les startups en particulier. La conquête spatiale et l'astronomie présentent quelques différences et similarités clés avec l'entrepreneuriat startupien, surtout dans le numérique.

Les **sciences fondamentales** (mathématiques, physique, astrophysique, optique, mécanique quantique, physique des particules) sont clés dans la discipline. Nombre de startups dans le numérique sont créées sans

bagage scientifique particulier. Ce sont des innovations dites d'usages qui s'appuient sur des technologies de commodité largement disponibles, même si les développeurs sont devenus une ressource humaine rare et convoitée par les startups. Dans l'entrepreneuriat du spatial, il est difficile de se lancer sans un sérieux bagage dans ces différents domaines.

Mais le monde des startups est en train de **revaloriser l'innovation scientifique et technologique**. Que l'on appelle cela les hard techs, les deep tech ou les frontier tech, il s'agit à chaque fois de startups qui créent ou valorisent un patrimoine scientifique et technologique clé faisant avancer un domaine comme dans la santé, dans l'intelligence artificielle et la robotique, dans les nanotechnologies, dans l'énergie ou les transports. Les passerelles entre les domaines sont de plus en plus nombreuses et pas seulement via le point commun technologique que constitue le numérique.

Le **modèle de développement** de la startup est inverse de celui de la fusée à plusieurs étages du côté des besoins en énergie et en financement. Pour libérer une fusée de la gravité, il faut un premier étage puissant et un second et troisième étages moins puissants. Ils doivent être financés d'un seul coup, pas par étape. En haut de la fusée se trouve la charge utile, le produit. Si le premier étage ne fonctionne pas, le produit est généralement détruit au décollage. Avec la startup, on commence par le produit, et le financement vient ensuite progressivement au gré de la rencontre avec le marché. Les gros étages de financement arrivent plus tard. Le succès est immédiat pour la fusée et progressif pour la startup. En tout cas, comme les fusées, les startups ont besoin de vitesse pour atteindre leurs objectifs, surtout de croissance exponentielle. Les moyens sont juste un peu différents. Mais l'Univers a quelque chose de fascinant par son côté justement exponentiel en terme de potentiel !



Le **succès de la fusée** est la conséquence d'un énorme travail en amont : ingénierie, intégration et tests. L'échec est une option mais il est très coûteux. La méthode des MVP ou du RAD (Rapid Application Deployment) n'a pas trop cours dans l'espace, surtout pour les plus grands projets. Nous avons vu plus haut comment Elon Musk a contourné ce problème en mettant en place ce type de méthode via le choix de l'intégration verticale. RAD, Agile, Pivot, toussa, c'est bien, mais moins se planter, c'est mieux. Vous avez bien entendu plus droit à l'échec que les équipes du JWST ou de celles qui vont envoyer les premiers hommes sur Mars. Vous pouvez vous rassurer en évoquant les catastrophes que furent Apollo 1 (1967, en phase de test au sol !), Soyuz 11 (1971), Challenger (1986) et Columbia (2003). Ce n'est pas une raison pour faire n'importe quoi. Cela ne fait pas de mal de réfléchir un peu avant de se lancer bille en tête. Bref, l'entrepreneur a à la fois la tête dans les étoiles, les mains dans le cambouis et les pieds sur terre !

Ce qui est long terme et lointain est **financé par le secteur public** comme dans l'astronomie et la connaissance de l'Univers. L'espace commercial relève de la proximité et d'un relatif court terme : la Terre et les orbites basses. L'espace commercial est étroitement associé à l'envoi de satellites, surtout dans les

télécommunications. C'est un métier de transporteur. Et les charges transportées proviennent de chercheurs, de services publics, de la défense, d'ONG diverses, ou enfin, d'opérateurs commerciaux traditionnels comme les diffuseurs de TV satellite. Dès que l'on s'éloigne de la Terre, cela ressort quasiment exclusivement de la recherche publique. Avec une rare exception, l'initiative de Yuri Milner que nous avons évoquée dans ces lignes. Les grands entrepreneurs de l'espace ont des objectifs voisins de ceux des startups habituelles comme générer des économies d'échelle pour réduire les coûts. C'est l'objectif d'Elon Musk avec SpaceX.



Comme dans le numérique, le rôle des **femmes** est insuffisant dans les métiers de l'espace et de l'astronomie. J'ai valorisé dans le **premier article** autant de femmes que d'hommes astronomes. Dans la pratique, les femmes astronomes sont essentiellement contemporaines, comme Vera Rubin, Sara Seager ou les françaises Hélène Courtois (Lyon) et François Combes (Collège de France). Comme dans la Silicon Valley, les femmes, en particulier noires, sont victimes de discriminations directe ou indirecte dans le **secteur de l'astronomie**. La photo *ci-dessus* du directoire de l'European Space Observatory génère un impression de déjà-vu ! Une rare exception symbolique ? L'émission "Sky at Night" de BBC Four, qui est coanimée par la physicienne et astronome **Maggie Aderin-Pocock**. Emission très bien faite et hebdomadaire qui, au passage, n'a pas d'équivalent dans le paysage audiovisuel français, à ma connaissance en tout cas !

The screenshot shows the BBC Four website for the program 'The Sky at Night'. At the top, there is a navigation bar with 'Sign in', 'News', 'Sport', 'Weather', 'Shop', 'Earth', 'Travel', 'More', and a search bar. Below this, the program title 'FOUR The Sky at Night' is displayed with a silhouette of people looking through telescopes. A secondary navigation bar includes 'Home', 'Episodes', 'Clips', 'Galleries', 'Meet the Team', 'Sir Patrick Moore', 'Photo Group', and 'Take a Quiz'. The main content area features a profile for Dr Maggie Aderin-Pocock. On the left, there is a quote: 'As a child I would beg my parents to allow me to stay up late and watch the programme. It even inspired me to go to night school at a young age to make my own telescope mirror'. To the right of the quote is a photograph of Dr Aderin-Pocock. Further right, there is a short bio: 'This enthusiasm eventually led to a degree in Physics and a PhD in Mechanical Engineering and then working on the wonderful 8m Gemini telescope in Chile, as well as the James Webb Space Telescope. Growing up, I always wanted to be an astronaut - I haven't succeeded in doing that (yet!) but being a space scientist is the next best thing because I'm building instruments that go into space.' Below this, another short bio reads: 'I'm very lucky to have found work I enjoy so much and that is also so varied - not just building equipment that goes into space but also talking about it. I like to pass on my enthusiasm when I can. But I haven't given up on that dream; I want to retire to Mars. Some people choose gardening, I choose Mars!'.

Pour terminer, les startups ont besoin d'**autonomie**. Dans l'espace, personne ne vous entend crier. C'est presque pareil dans un accélérateur. C'est pour cela que l'on ne part généralement pas seul, comme dans les vols habités. A part pour les premiers vols du début des années 60, les astronautes partent toujours à plusieurs : 2 (Gemini), 3 (Apollo) puis 7 (Navette Spatiale) et de 3 à 7 (ISS). Comme un vaisseau spatial, la startup doit apprendre à être autonome tout en bénéficiant de l'écosystème (les stations au sol, Eugene Kranz...). Vous devez aussi avoir votre Houston en cas de problème, qu'il soit coach, mentor, business angels ou les trois à la fois (et les jours où il n'est pas sous l'eau...).

So what ? A vous de voir et de rêver. Nous savons maintenant comment les astronomes s'y prennent pour remonter aux sources de l'Univers ou découvrir des exoplanètes. Ils utilisent plein de technologies dont certaines ont des applications dérivées Terre à Terre. C'est en tout cas terminé pour ces devoirs de vacances ! Je vais vous les compiler rapidement dans un ebook en PDF pour ceux qui apprécient les lectures séquentielles.

Et nous allons revenir à des considérations plus terrestres dans les posts qui suivront !

Voici les pointeurs sur les douze épisodes de cette série dans leur ordre de parution :

**De l'astronomie à l'entrepreneuriat : l'Univers**

**De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes terrestres**

**De l'astronomie à l'entrepreneuriat : grands télescopes**

**De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes géants**

**De l'astronomie à l'entrepreneuriat : radiotélescopes**

**De l'astronomie à l'entrepreneuriat : interféromètres**

**De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes spatiaux**

**De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes spatiaux dans le visible**

**De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes spatiaux dans l'infrarouge**

**De l'astronomie à l'entrepreneuriat : télescopes spatiaux dans les rayons gamma, X et UV et ondes radio**

**De l'astronomie à l'entrepreneuriat : les exoplanètes**

---

## De l'astronomie à l'entrepreneuriat : entrepreneurs

Cet article a été publié le 27 août 2017 et édité en PDF le 23 mars 2024.  
(cc) Olivier Ezratty – “Opinions Libres” – <https://www.oezratty.net>