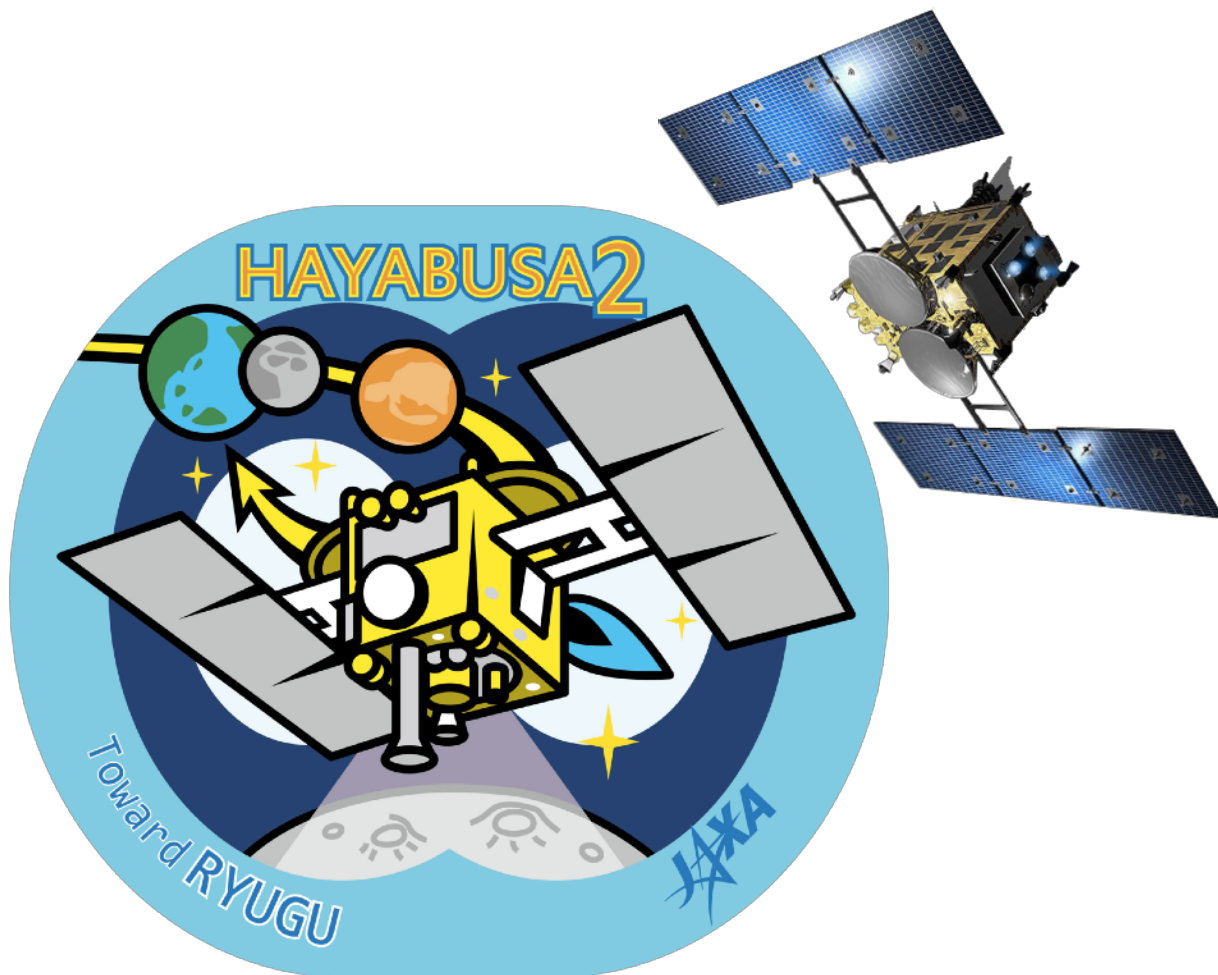




Dossier - Compte rendu de participation Challenge KSC3 Mission HAYABUSA 2



Une sonde vers 1999 JU3 - Ryugu



**Participant Méduse Spatiale
(Merlin)**

Nan mais c'est vraiment Merlin hein :|

Catégorie - Junior

**Défi KSC3 du 1.05.19 au 1.06.19
Basé sur la mission HAYABUSA 2 vers l'astéroïde RYUGU
Kerbal Space Program**

Table des matières

Introduction	<u>1</u>
I] Préparation de la mission	<u>2</u>
I].1. Les objectifs et le cahier des charges	<u>2</u>
I].2. L'astéroïde ici	<u>2</u>
I].3. La sonde	<u>3</u>
I].4. Vue détaillée de la sonde	<u>4</u>
I].4.1. Le module de commande	<u>4</u>
I].4.2. Le bloc moteur	<u>5</u>
I].4.3. Le module de retour	<u>5</u>
I].5. Le lanceur	<u>6</u>
I].6. Coup d'oeil sur le lanceur	<u>7</u>
I].6.1. Son premier étage	<u>7</u>
I].6.2. Son second étage	<u>9</u>
II] La mission	<u>10</u>
II].1. Le lancement	<u>10</u>
II].2. Le voyage	<u>14</u>
II].3. Le retour vers la Terre	<u>22</u>
II].4. Retour sur le plancher des vaches	<u>26</u>
Conclusion	<u>29</u>

Introduction]

Avant de partir à l'aventure, je m'autorise un tout petit peu de bla-bla, surtout une explication de contexte et des éléments principaux constituant cette mission.

Faisons donc dans un premier temps un petit tour de la mission Hayabusa 2. Cette mission de la JAXA vient suivre la mission Hayabusa, lancée en 2003 à destination de l'astéroïde Itokawa. Elle est lancée en décembre 2014 à bord du lanceur japonais H-IIA. Comme sa grande soeur, Hayabusa 2 se concentre sur un astéroïde, ici Ryugu. Les objectifs sont multiples, mais l'on cherche notamment à comprendre mieux l'astéroïde. D'abord via la sonde sur place, donc en l'observant et en relevant énormément de données grâce aux appareils équipés. L'atterrisseur MASCOT emporté permet une analyse sur place de la composition de la surface. Puis, la sonde doit également ramener des échantillons prélevés en profondeur et les ramener sur Terre vers fin 2020.

Elle affichait une masse de 609 kilogrammes au lancement et est équipée d'un système de propulsion ionique au xénon pour manoeuvrer dans l'espace. Avec ses 60 kg de xénon embarqués, elle peut fournir un Δv de 2km/s. Son alimentation électrique est assurée par des grands panneaux solaires. L'ensemble des quatre moteurs doit pouvoir fonctionner 18 000 heures durant la mission, en ne faisant fonctionner que 3 moteurs sur les 4 équipés (le quatrième servant de rechange). La sonde fait 1 x 1,6 x 1,25 mètres. En plus de son carburant et de son alimentation électrique, elle embarque deux antennes à haut gain, des roues à réaction pour assurer le contrôle de l'attitude, ainsi que ses appareils et charges utiles. En effet, la sonde embarque des caméras, des caméras infrarouges, ainsi qu'un spectromètre. Mais elle embarque aussi trois petits « rovers » MINERVA, de 1,5 kg chacun, destinés à se poser sur Ryugu, un impacteur pour la collecte des échantillons, ainsi que l'atterrisseur Franco-Allemand MASCOT.

L'astéroïde quant à lui est de toute autre mesure. On sait qu'il est de forme à peu près sphérique d'environ 880 mètres de diamètre, et on estime sa masse à environ 450 millions de tonnes.

Au vu de mes capacités et de la catégorie que j'ai choisi, je ne me livrerai pas à une reproduction de la mission Hayabusa 2. C'est pourquoi j'ai jugé important de rappeler les objectifs principaux de cette dernière, d'abord comme outil de comparaison entre ma version et la réalité, puis également comme guide car je vais évidemment essayer suivre un minimum les objectifs réels. J'aborderai dans le point suivant les objectifs visés et les solutions techniques choisies pour les remplir. Cette petite présentation étant faite, il est temps de rentrer dans le vif du sujet.

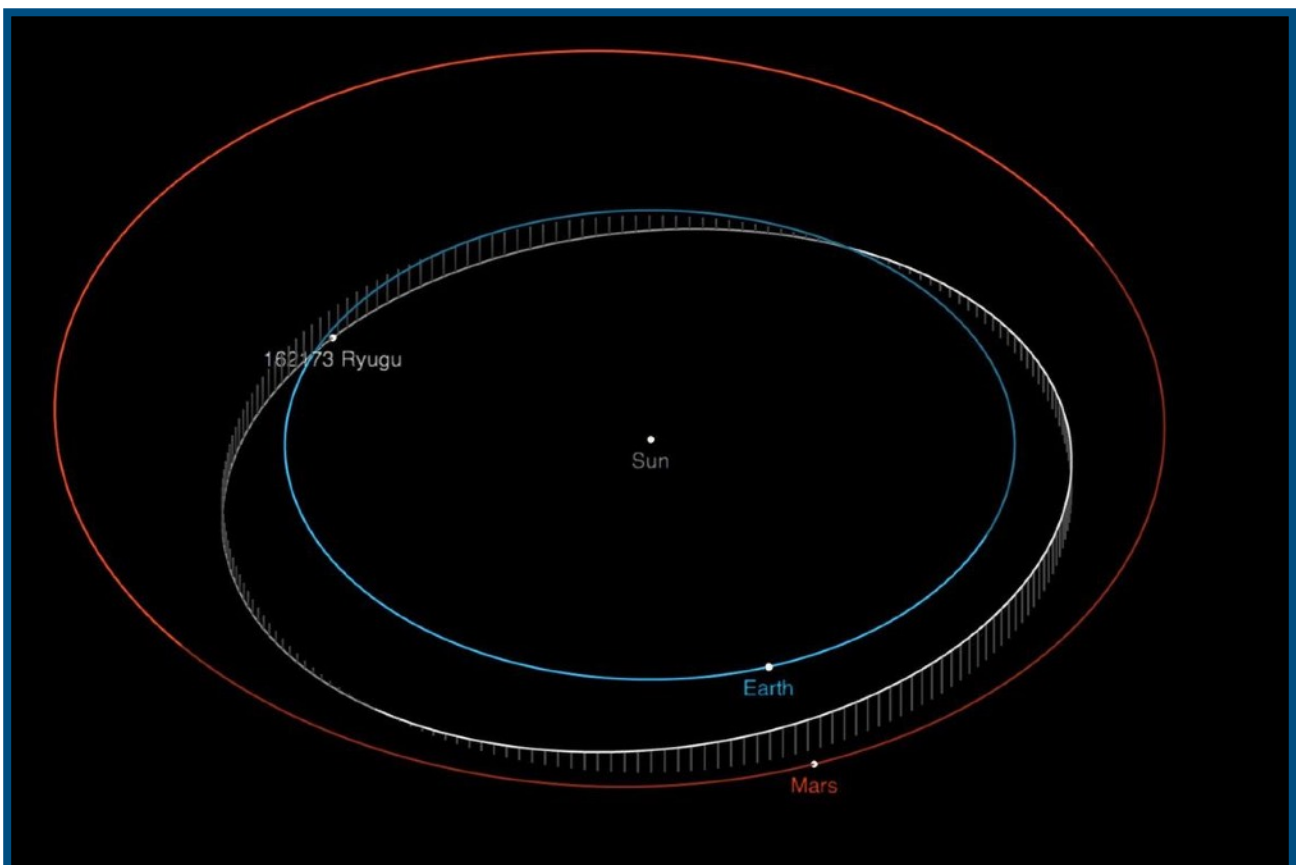
I] Préparation de la mission

1) Les objectifs et le cahier des charges

Avant toute chose il convient de déterminer les objectifs d'une telle mission. On désire donc explorer Ryugu au moyen d'une sonde non habitée et permettre à cette dernière de mener différentes observations scientifiques permettant de mieux connaître l'astéroïde. On souhaite également permettre à la sonde de rapporter des échantillons de l'astéroïde afin qu'ils soient observés et étudiés en laboratoire. Il nous faut donc une sonde non habitée, capable d'aller à la rencontre de Ryugu puis de revenir, et de subvenir à ses besoins énergétiques en autonomie pendant toute la durée de la mission. La sonde doit également intégrer un module de rentrée servant à protéger les échantillons durant toute la phase de retour mais surtout durant la rentrée atmosphérique qui pourrait les détruire intégralement.

2) L'astéroïde ici

L'astéroïde est sur une orbite assez elliptique, entre les orbites de la Terre et de Mars. Son intensité de pesanteur vaut $0,002\text{N/kg}$ et sa sphère d'influence s'étend sur un rayon de 25 kilomètres, ce qui demande donc une assez grande précision dans les manœuvres pour effectuer une rencontre et une mise en orbite. Son orbite est inclinée de $5,8873^\circ$ par rapport au plan de l'écliptique .



3) La sonde

En tenant compte des contraintes fixées par le cahier des charges et par l'objectif visé, il a été possible de concevoir une sonde adaptée à notre mission.

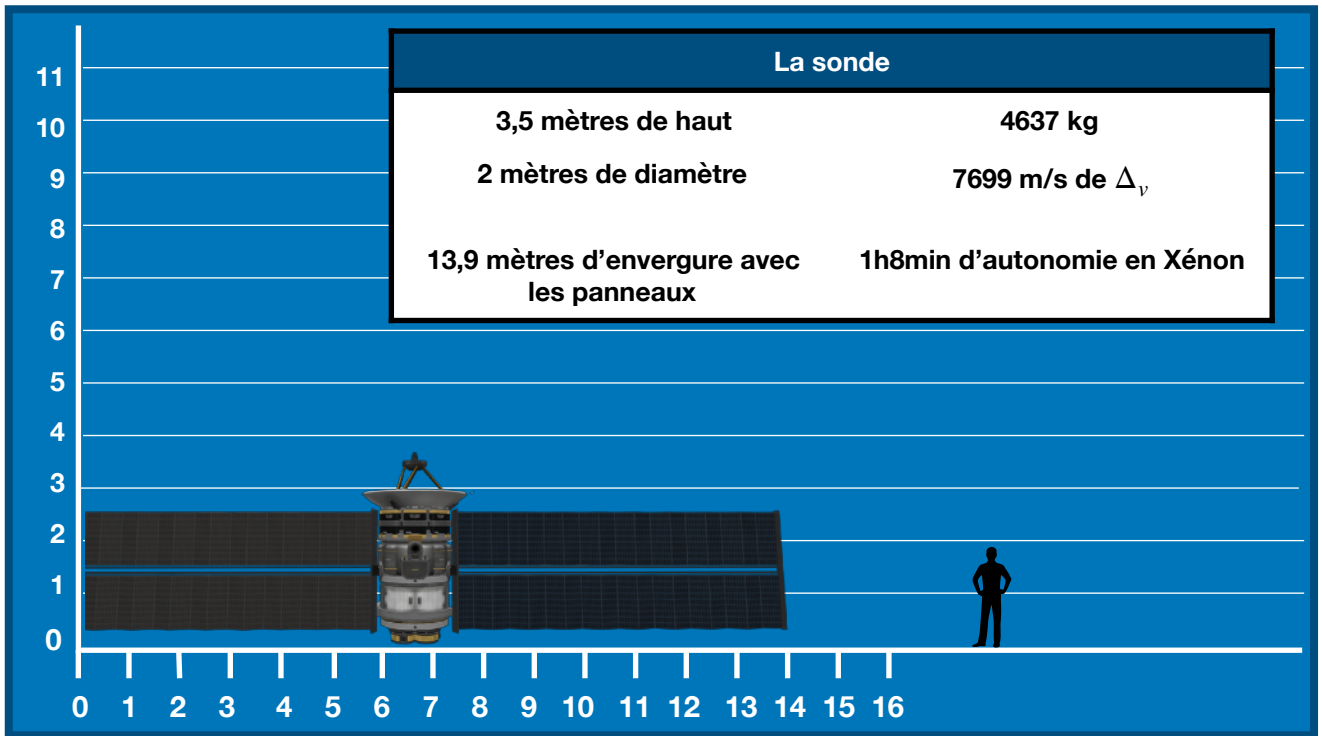
Ici, nous nous intéressons à la démarche et à ce qui a motivé les décisions prises lors de la conception de la sonde. Le choix précis des composants sera détaillé ultérieurement.

La proximité de Ryugu avec le soleil permet aux panneaux solaires d'être encore efficaces et en fait une solution de choix pour alimenter notre sonde. Elle est donc alimentée au moyen de deux grands panneaux solaires qui fournissent un courant suffisant pour faire fonctionner les appareils de la sonde. Le choix des RTG est écarté, car pour fournir la même énergie qu'avec les panneaux - soit 48.8 unités par seconde - il faudrait 61 RTG produisant 0,8 unités par seconde chacun. Cela représenterait beaucoup plus de pièces, mais également une masse de 4.88 tonnes, contre 2 fois 0,3 avec les panneaux. Finalement, le coût représenté par 61 RTG est 237 fois supérieur au coût de deux panneaux solaires tel que ceux utilisés ici.

La propulsion est assurée par quatre moteurs ioniques alimentés par du Xénon et de l'électricité. Ces moteurs sont très efficaces - ils présentent une impulsion spécifique de 4200 secondes - et légers. De plus, leur faible puissance n'est pas un problème ici car on peut étaler les phases de propulsion sur de longues durées. La sonde n'utilise en réalité que 3 de ses moteurs à la fois sauf dans les phases où une plus grande accélération est demandée. Le quatrième moteur sert donc principalement à assurer la redondance du système de production. L'utilisation de ces moteurs permet à la sonde, en embarquant 7968 unités soit 797 kilos de xénon, d'avoir un Δ_v de 7699 mètres par secondes, ce qui lui donne la possibilité d'effectuer les différentes manœuvres nécessaires, notamment à la réalisation de corrections de trajectoire, la mise en orbite autour de Ryugu, et le retour sur Terre.

Le contrôle de l'attitude est assuré sur trois axes par trois roues à réaction. Ce système représente pour notre sonde une meilleure option qu'un Reaction Control System. En effet, ce dernier est encombrant car il demande l'emport d'une quantité conséquente de carburant, d'autant plus qu'une longue mission comme celle ci va nécessiter beaucoup de contrôles d'attitude. Ainsi, les roues à réaction, électriques, représentent une meilleure option pour remplir cette fonction. Les communications de la sonde avec la Terre sont assurées par deux antennes à moyen débit, afin de permettre une transmission optimale des informations avec la Terre.

Enfin, la sonde emporte des appareils scientifiques, tels qu'un gravimètre ainsi qu'une petite foreuse utilisée pour la collecte des échantillons. Ces appareils - à l'exception de la foreuse - et les réservoirs d'échantillons, sont contenus dans une petite baie cargo qui les protège en partie dans le vide spatial et durant la rentrée. Cette baie constitue le module de retour d'échantillons et de résultats d'expériences et est donc en plus dotée d'un bouclier thermique et de parachutes. Au retour, avant d'entamer la rentrée atmosphérique, la sonde se sépare en 3 parties, à la manière d'un vaisseau Soyuz par exemple. Le bloc moteur et la partie navigante de la sonde sont alors détachés du module de rentrée atmosphérique qui se trouve entre les deux. Le module peut fonctionner en autonomie pendant la rentrée, ce qui permet d'assurer le déploiement des parachutes.

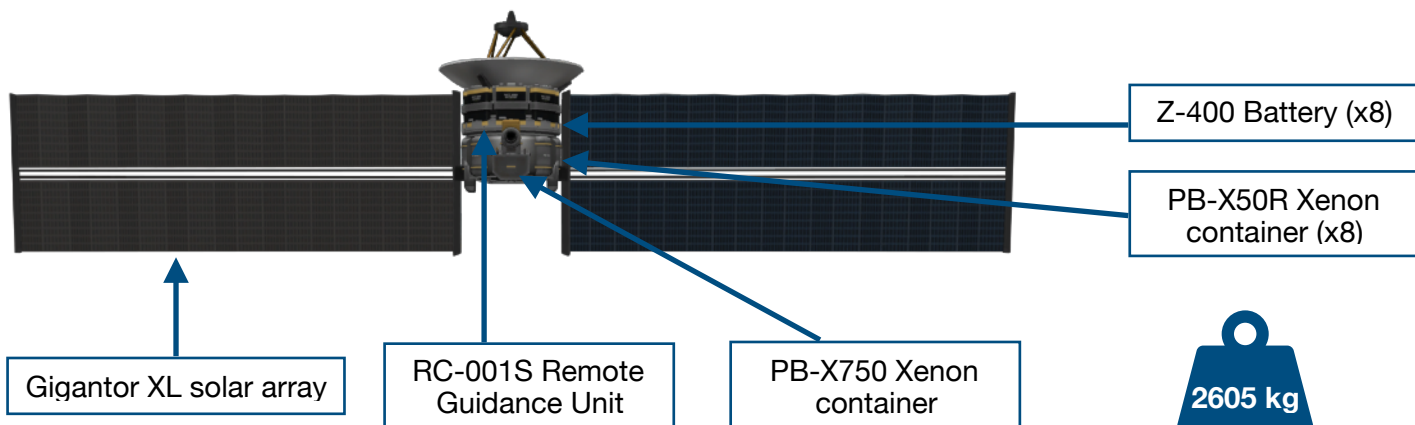


4) Vue détaillée de la sonde

Le module de commande

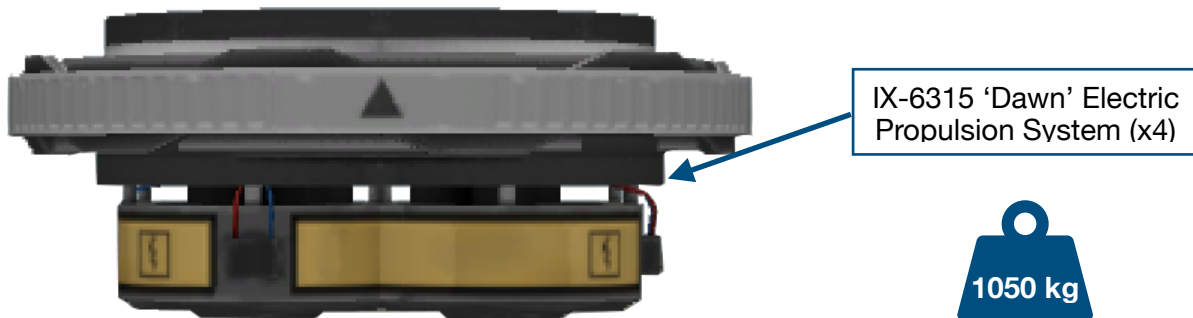
Située au sommet de la sonde, il constitue le cerveau de cette dernière et représente un peu plus de la moitié de la masse. Ce dernier abrite les appareils nécessaires à la navigation, et les composants dont le retour n'est pas utile, afin de limiter la taille du module de retour.

Ce module abrite donc l'ordinateur, les batteries, l'ensemble des réserves de xénon, les systèmes de communication, la foreuse ainsi que les panneaux solaires.



Le bloc moteur

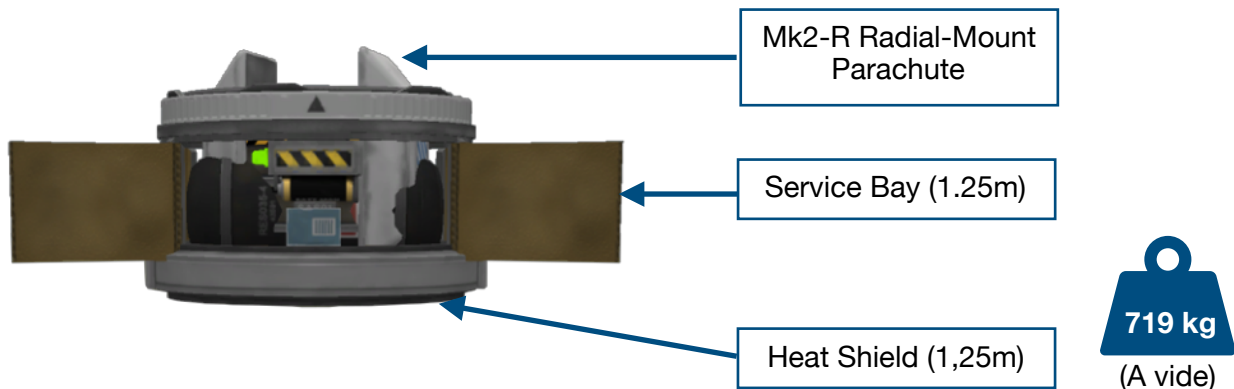
Equipé de 4 moteurs au Xénon, il est utilisé dans la propulsion de la sonde lors de manœuvres. Lorsque ses quatre moteurs sont utilisés à pleine puissance en même temps, le bloc moteur fournit une poussée de 8 kN.



Note: TweakScale a été utilisé pour rétrécir un Quad-Adapter, qui sert à placer les moteurs en carré.

Le module de retour

Ce module est destiné à ramener sur terre les échantillons collectés sur Ryugu. Il protège aussi les appareils scientifiques qui sont ramenés pour être examinés en détail. Le module de retour est composé d'une baie cargo dans laquelle sont disposés les appareils à ramener, les réservoirs d'échantillons, les roues à réaction, et bien sûr des batteries et un ordinateur.



Contenu du module, et appareils de la sonde:

- La foreuse - 'Drill O Matic Junior' Mining Excavator
- Les reservoirs d'échantillons (x2) - Radial Holding Tank
Note : La taille des deux réservoirs a été réduite à l'aide de TweakScale
- Le gravimètre - GRAVMAX Negative Gravioli Detector
 - Permet de mesurer l'intensité de pesanteur du corps céleste à proximité
 - Précision : 0,01g
 - Le GRAVMAX est un petit gravimètre qui servira a mesurer l'intensité de pesanteur de Ryugu. Ainsi, on pourra calculer sa masse.
- Les parachutes (x2) - MK2-R Radial-Mount Parachute



Petit démonstrateur

Afin de tester la résistance et le comportement du module de retour, un petit démonstrateur a été conçu et emporté en orbite pour réaliser une rentrée atmosphérique contrôlée.



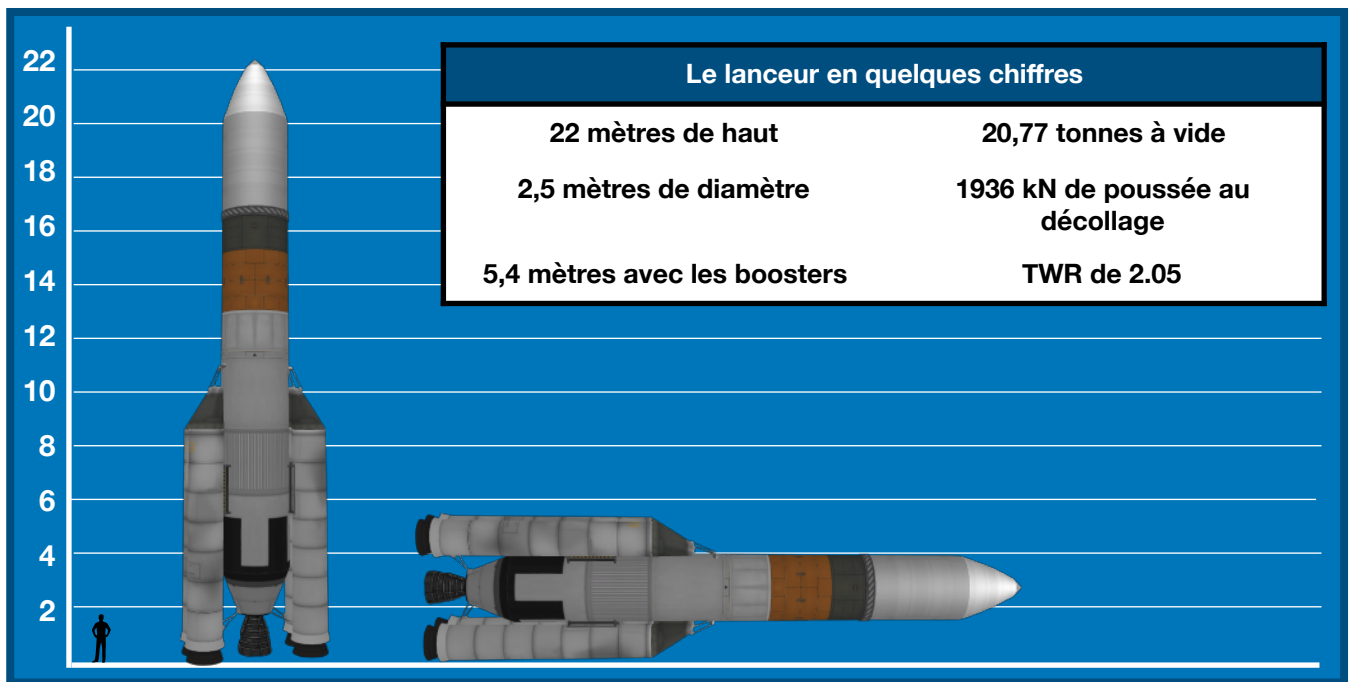
5) Le lanceur

Désormais, nous nous intéressons au lanceur et à ses caractéristiques techniques. Encore une fois, les choix techniques seront détaillés et expliqués ultérieurement.

Le lanceur utilisé pour propulser la sonde jusqu'en orbite est un lanceur moyen. L'ensemble, avec la sonde, fait 94,1 tonnes au décollage. Il est composé de deux étages. Le premier étage en lui-même affiche une masse de 73,1 tonnes, soit 77,7% de la masse totale du véhicule au décollage. La propulsion au décollage est exercée à 48,3% par un unique moteur, assisté par quatre boosters au carburant solide. Le premier étage fournit une accélération durant 92,2 secondes avant MECO et la séparation. La poussée au décollage est de 1936 kilonewton, soit un Thrust to weight ratio de 2.05. Les réservoirs contiennent 2880 unités de carburant et 3520 unités de comburant, ce qui fait 32 tonnes dans les réservoirs, constituant ainsi 88,9% de leur masse. Le comburant et le carburant liquide sont brûlés par le moteur avec un débit de 64,74 unités par seconde. Finalement, la poussée vectorielle du moteur principal permet le contrôle de la fusée.

Le deuxième étage prend le relais du premier étage après la séparation, et allume son moteur plusieurs fois, sur une durée cumulée de 2 minutes et 45 secondes. Il permet de finaliser la mise en orbite, et d'amener la charge utile en orbite héliocentrique. Là, il est détaché, et la sonde est en autonomie avec son propre moyen de propulsion. Il est équipé d'un unique moteur à haute efficacité. En effet, ce dernier a une impulsion spécifique de 350s en plus de sa poussée assez conséquente. Les réservoirs du second étage contiennent 1080 unités de carburant et 1320 unités de comburant pour une masse

cumulée de 12 tonnes. L'étage plein fait 16,22 tonnes, et le moteur peut brûler ces réactifs avec un débit de 14,57 unités par seconde.



6) Coup d'oeil sur le lanceur
Son premier étage:

Le moteur:

Kerbodyne KS-25, 'Vector' Liquid fuel engine

- Ergols : Liquid fuel et Oxidizer
- Poussée : 936 kN (sl)/1000 kN (vac)
- Isp : 295s (1 atm)/315s (vac)
- Consommation : 64,74 unités de carburant par seconde



Ce moteur offre l'impulsion spécifique en atmosphère la plus élevée parmi tous les autres moteurs disponibles. Au regard de la poussée considérable qu'il est capable de délivrer, il est donc extrêmement efficace pour propulser un lanceur au décollage et faciliter la mise en orbite. La tuyère montée sur joint de cardan a un débattement angulaire possible de 10,5°, ce qui est amplement suffisant pour contrôler le roulis et le tangage du lanceur, et ainsi assurer sa stabilité au décollage. Utiliser ce moteur est donc un moyen de s'affranchir de l'utilisation d'un système à deux moteurs plus complexe, plus lourd, et plus cher, ainsi que de l'utilisation de surfaces de contrôle de stabilité.

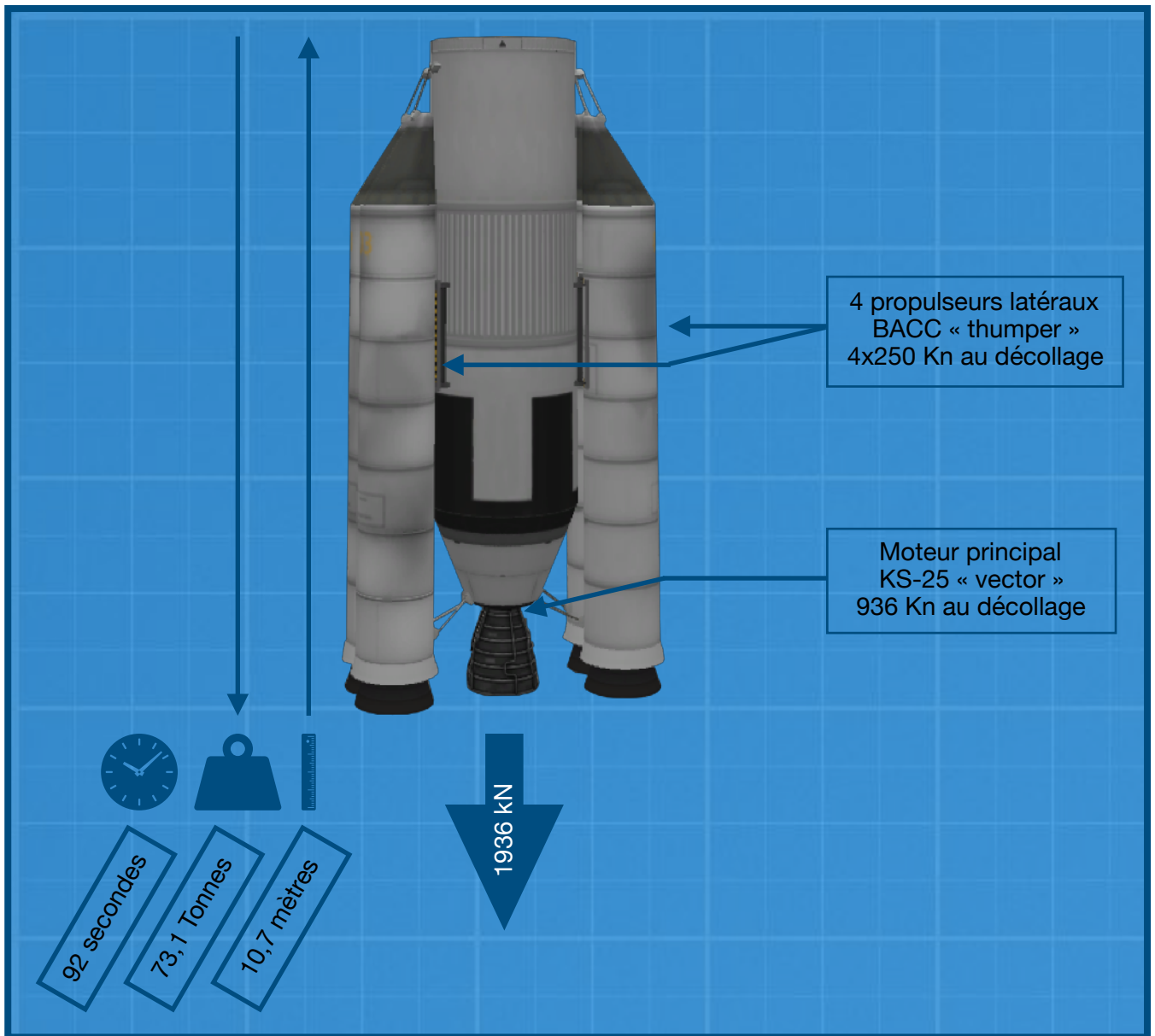
Les propulseurs:

BACC 'Thumper' Solid fuel booster

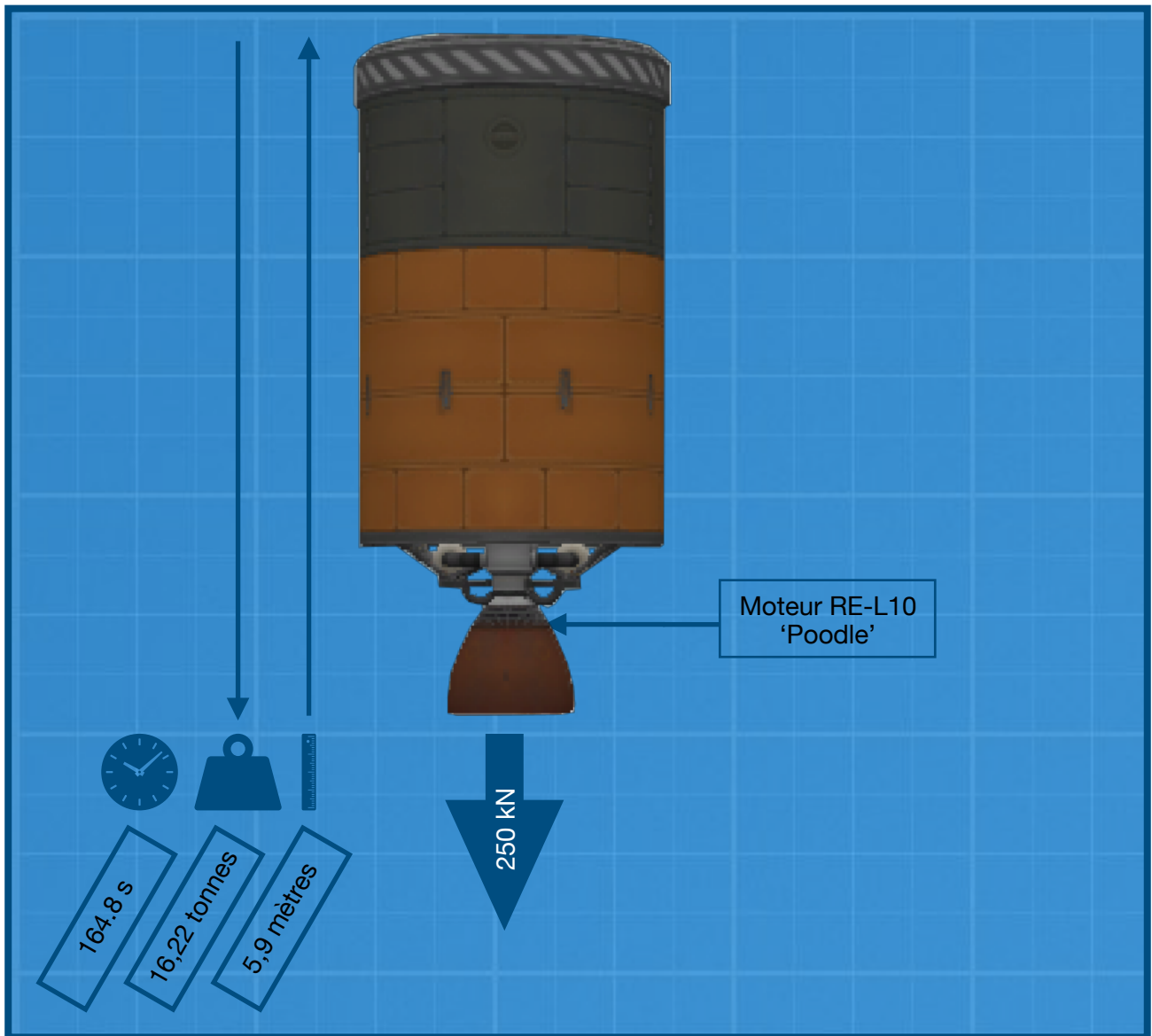
- Carburant : Solid fuel
- Poussée : 250 kN (sl)/300 kN (vac)
- Isp : 175s (1 atm)/210s (vac)
- Consommation : 19,42 unités par seconde



Ces SRB disposent d'une bonne poussée et sont assez légers et compacts, ce qui les rend attrayants et justifie leur utilisation sur le lanceur. Au nombre de quatre, ils fournissent 51,7% de la poussée au décollage et une grande accélération pendant les 35 premières secondes du vol.



Son second étage:



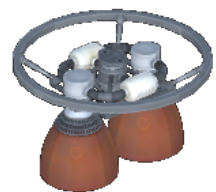
Le moteur:

RE-L10 'Poodle' Liquid Fuel Engine

- Ergols : Liquid Fuel et Oxidizer
- Poussée : 69,24 kN (sl)/250 kN (vac)
- Isp : 90s (1 atm)/ 350s (vac)
- Consommation : 14,57 unités par seconde

Ce moteur à double tuyère constitue une excellente solution pour propulser le second étage du lanceur en raison de son impulsion spécifique haute et de sa poussée suffisante. Il est également inclinable sur 5 degrés, ce qui permet de s'affranchir d'un système de RCS ou de roues à réaction. Cela rend l'étage polyvalent, et il est utilisé pour finaliser la mise en orbite terrestre, puis l'injection en orbite héliocentrique.

Note: le mod TweakScale a été utilisé pour agrandir deux réservoirs et assembler le second étage. Cette utilisation du mod est à des fins purement esthétique puisque des réservoirs de même dimension existent déjà sans mod.



II] La mission

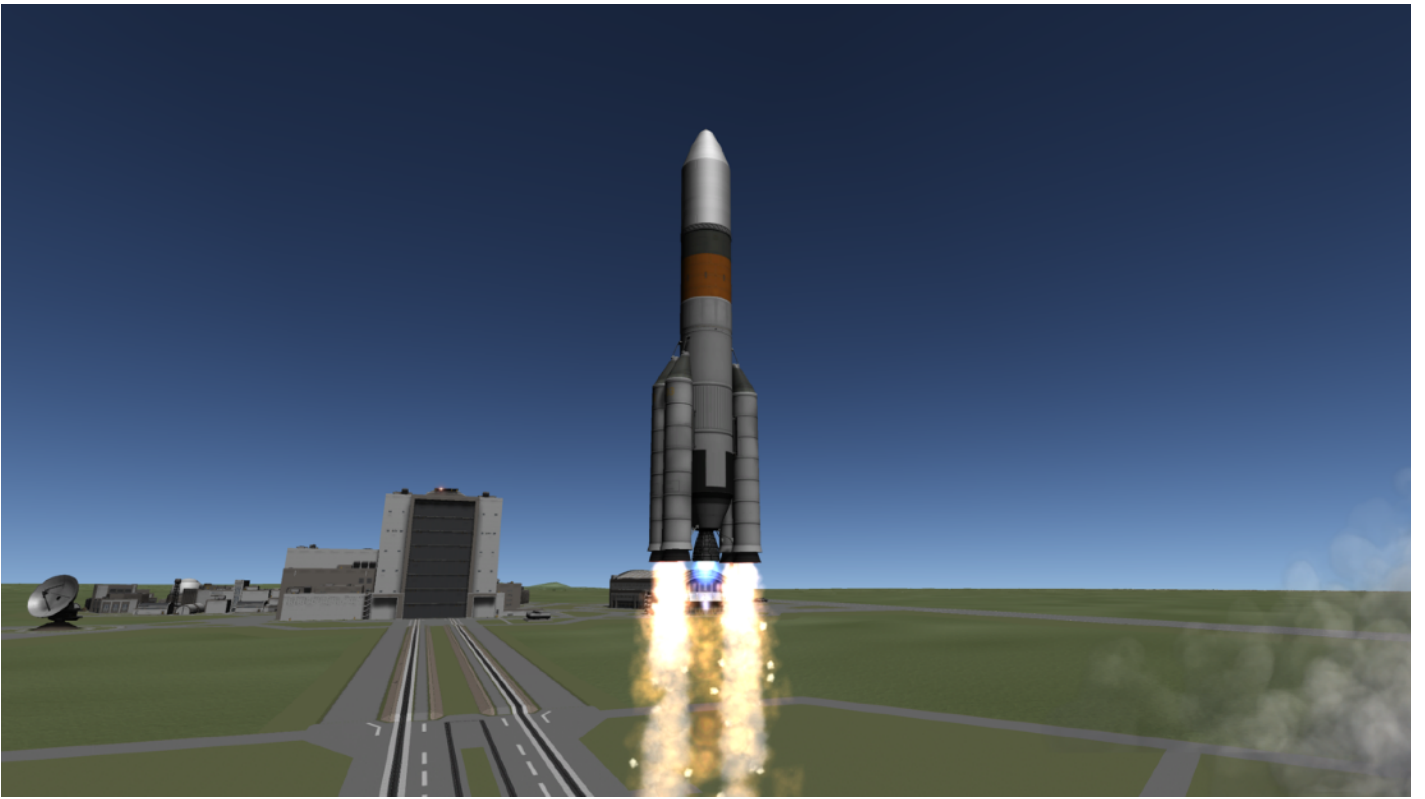
1) Le lancement

La sonde est tirée depuis Kourou, qui est un excellent site de lancement grâce à sa proximité avec l'équateur. En raison de la forte inclinaison de Ryugu par rapport au plan de l'écliptique, il est préférable de lancer la sonde directement sur une orbite inclinée, afin de limiter l'ampleur des corrections d'inclinaison, très coûteuses en ergols. Ainsi, le décollage se fait vers le nord est.



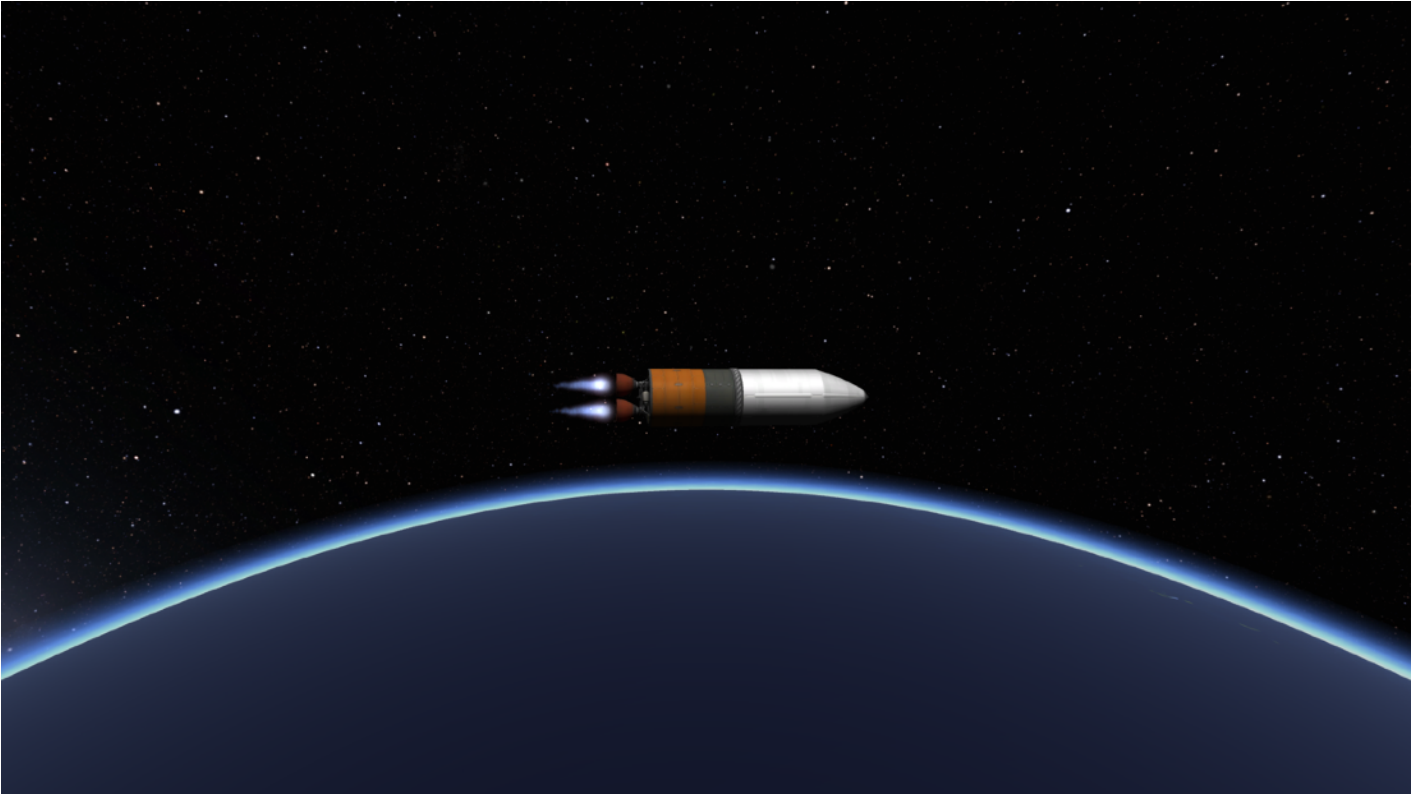
Le lanceur sur son pas de tir, peu avant le décollage



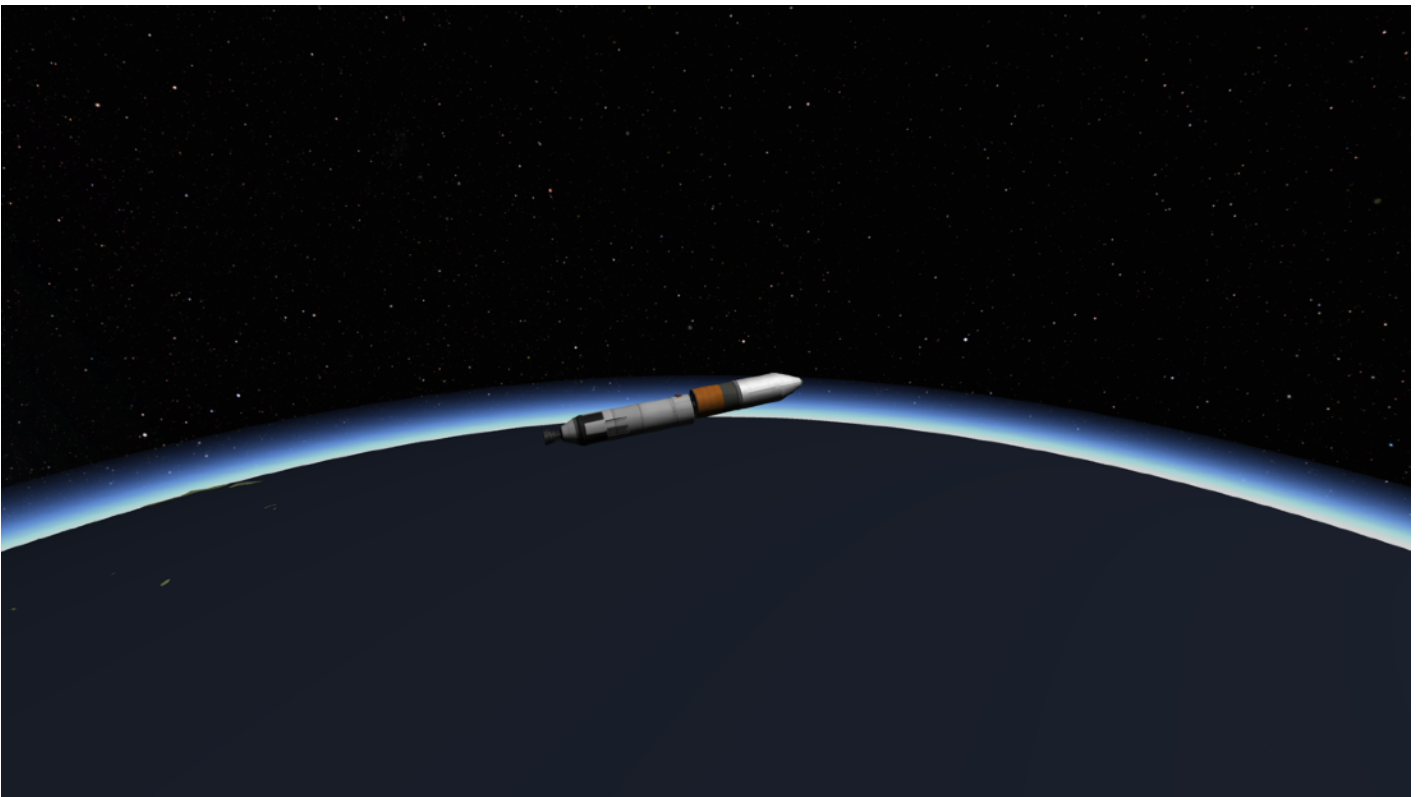


Décollage!





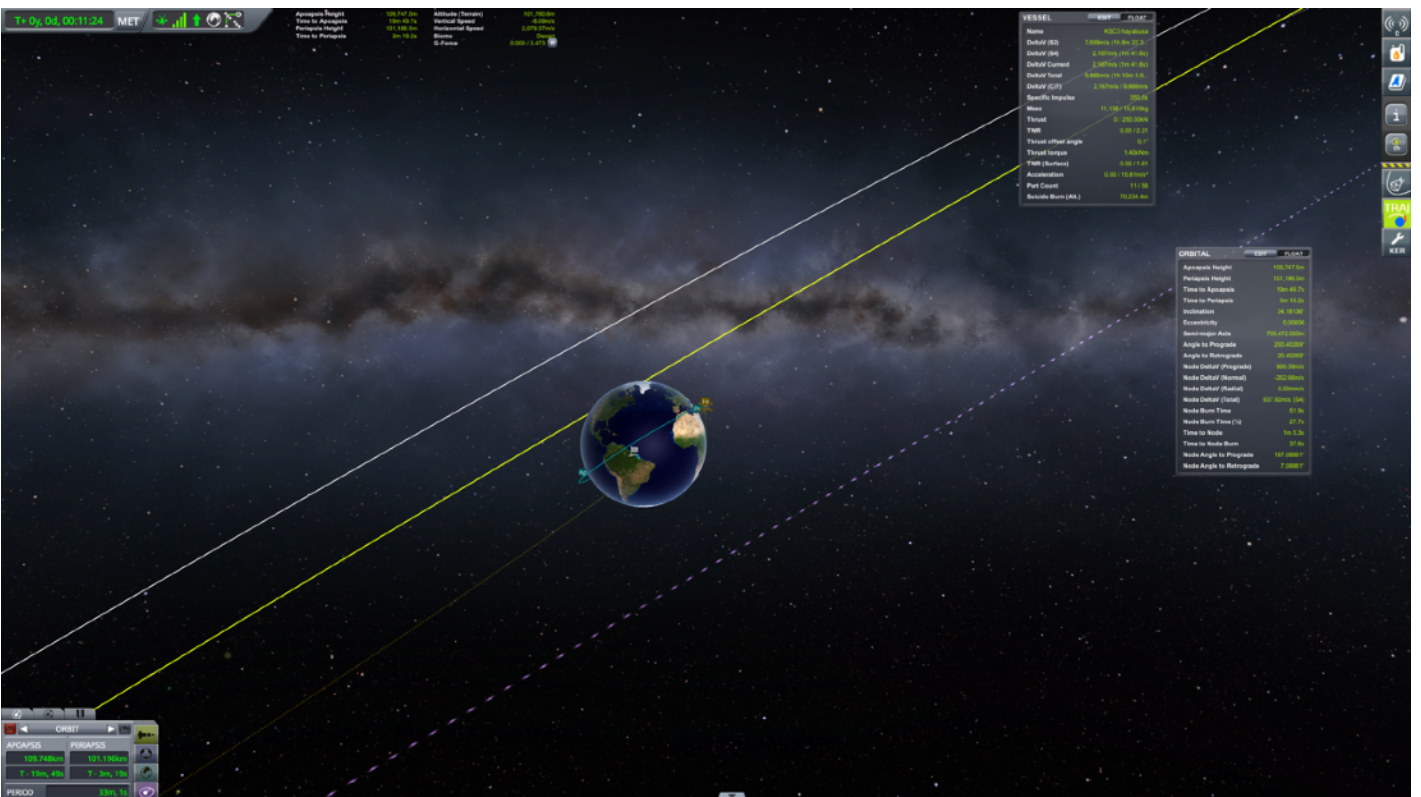
Mise en orbite par le second étage (Elle porte bien son nom la planète bleue non?)



A t+92, MECO et séparation du premier étage



La coiffe est déployée et les panneaux solaires s'ouvrent



Mise en orbite réussie!
Périgée: 101 196 mètres / Apogée: 109 747 mètres
Inclinaison: 34,2°

2) Le voyage



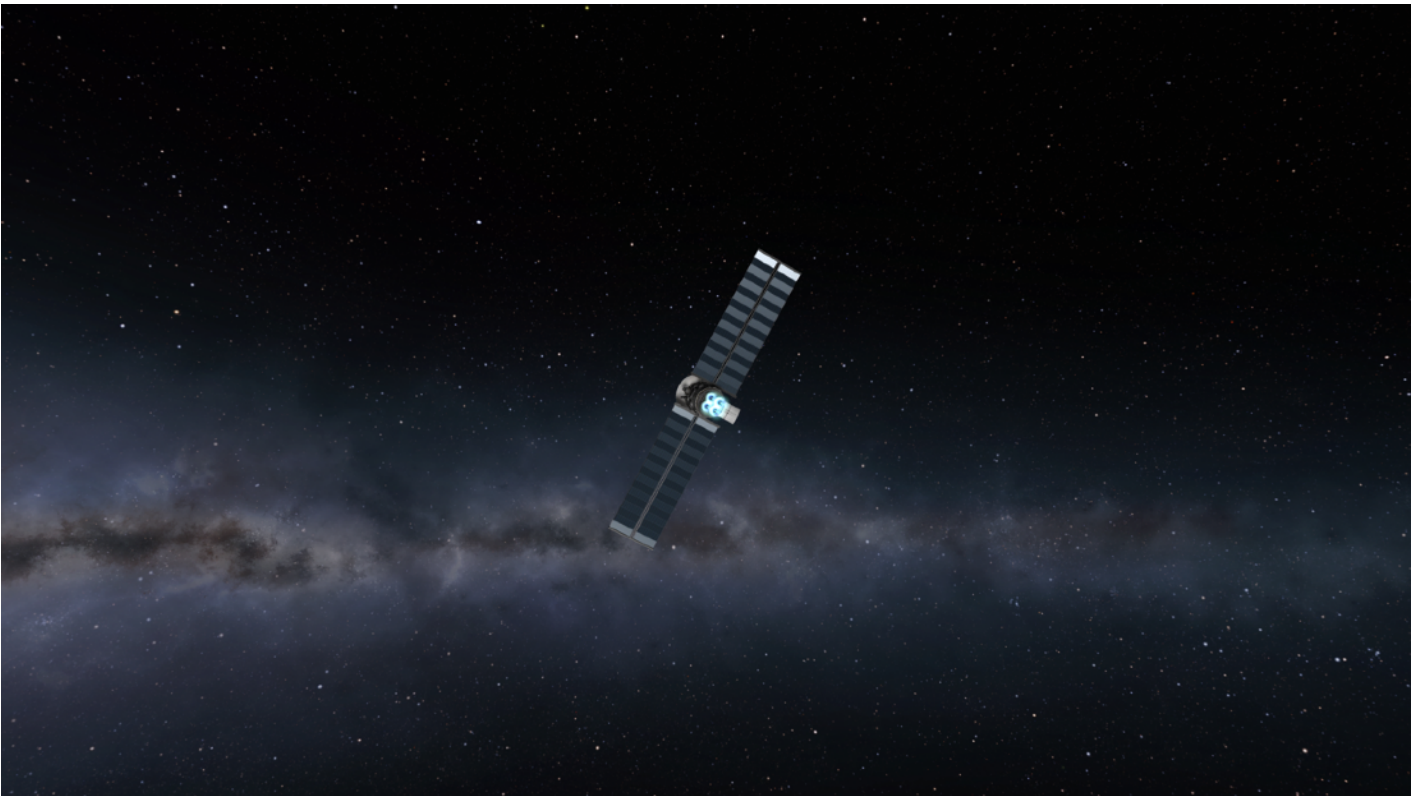
Au revoir, Terre. Un burn du second étage a permis l'injection de la sonde en orbite solaire

Après une dernière correction d'inclinaison - La sonde doit être exactement sur le même plan que Ryugu - le second étage est séparé et la sonde est entièrement autonome



Un petit burn permet à la sonde de se placer sur une trajectoire de rencontre avec Ryugu

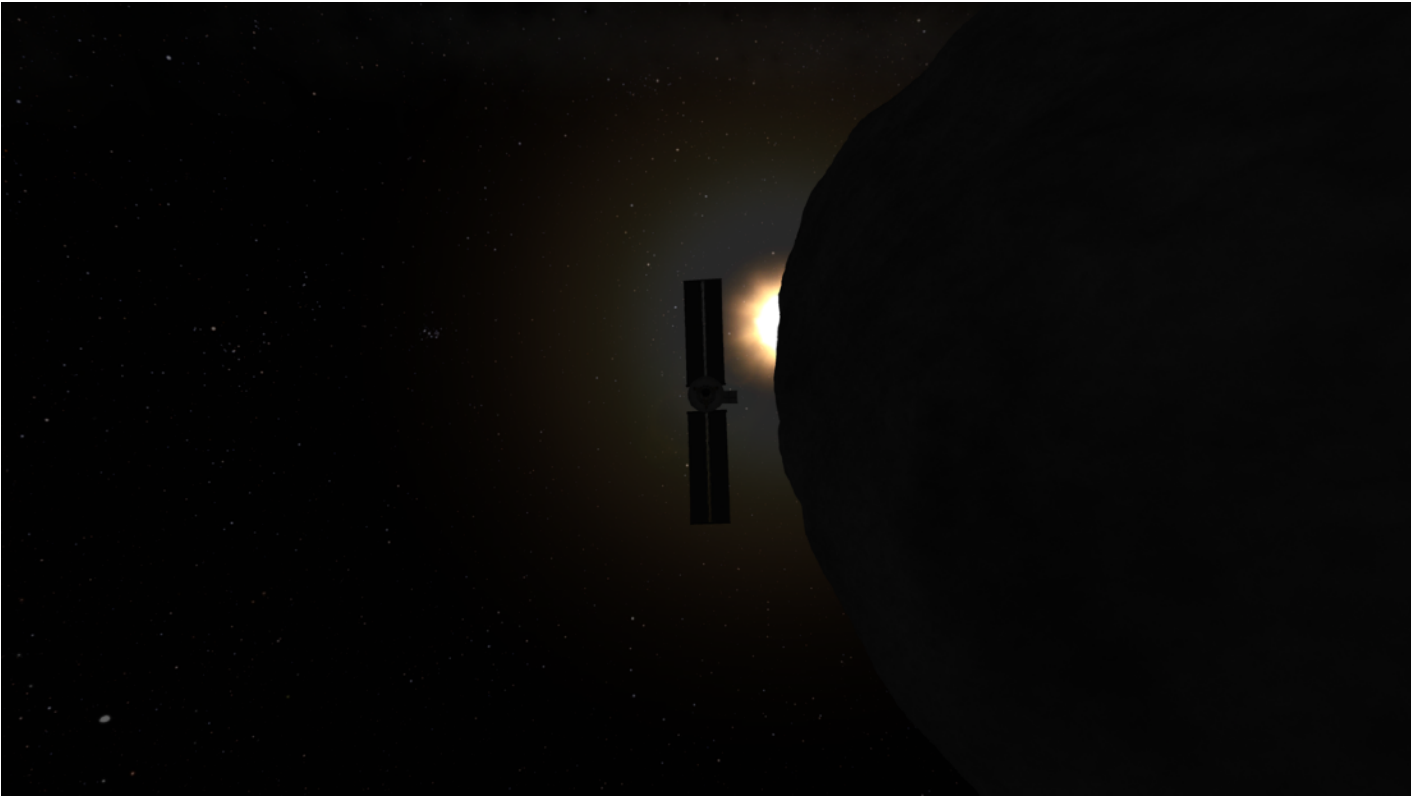
Note: j'ai pris le screen avant de lâcher l'étage, les durées indiquées ne collent donc pas 14



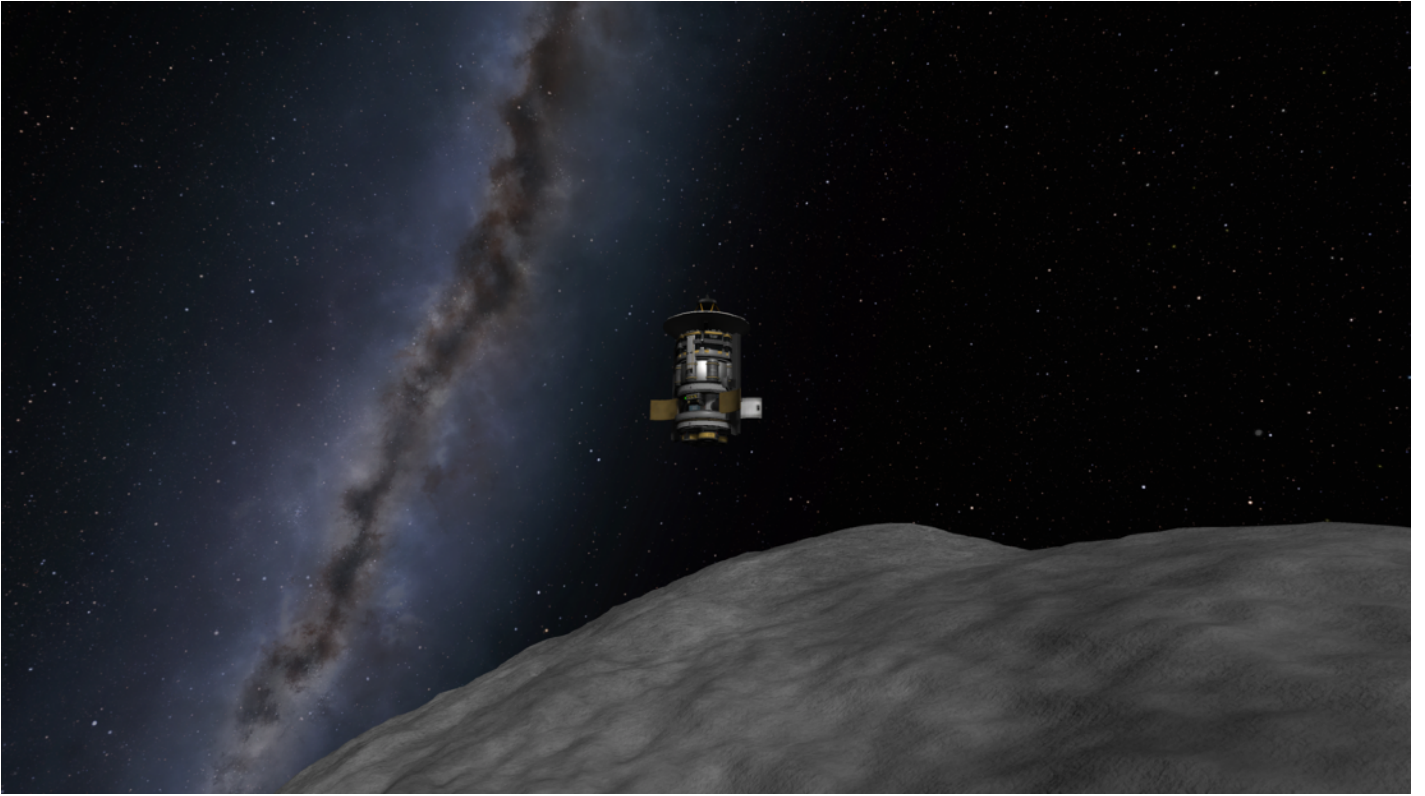
Les quatre moteurs ioniques sont allumés pour freiner à l'approche de l'astéroïde. Il faut tuer le plus possible la vitesse de la sonde par rapport à lui.



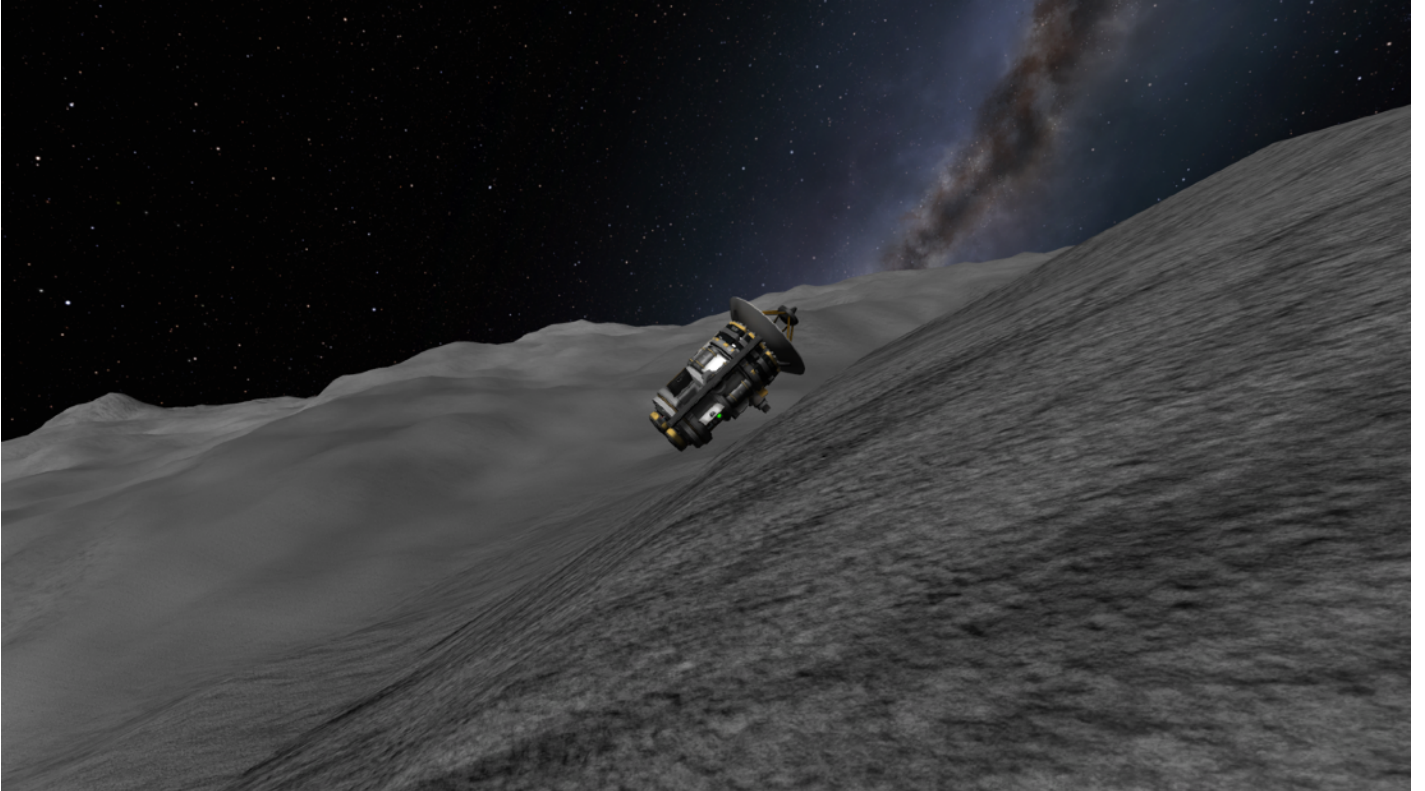
Mise en orbite réussie! La vitesse orbitale est d'environ 2 mètres par seconde



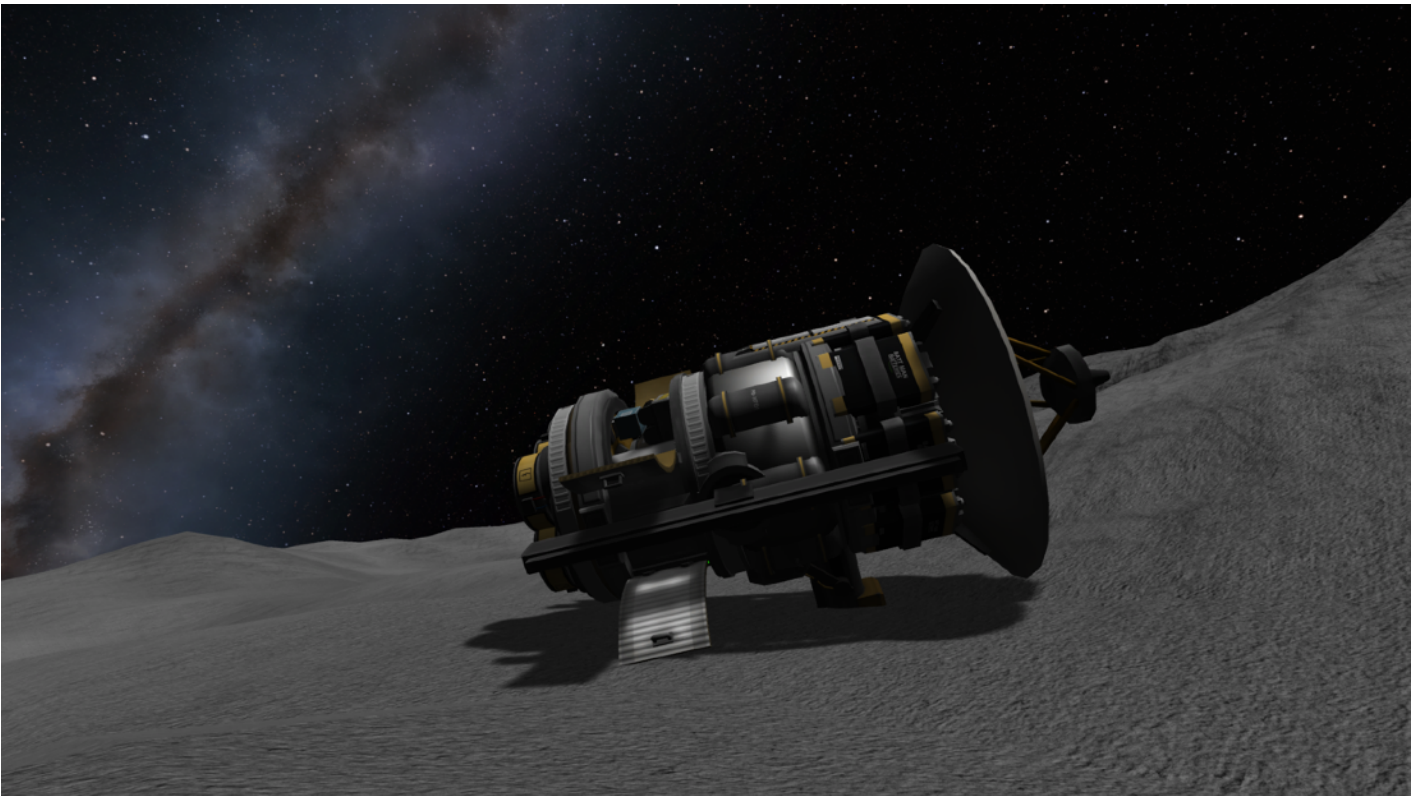
Après une orbite passée pour retrouver les communications avec la Terre, qui étaient bloquées par Ryugu, la sonde se freine très doucement à l'aide d'un seul de ses moteurs à faible régime. La vitesse orbitale d'à peine deux mètres par seconde fait qu'une trop forte poussée pourrait placer la sonde sur une trajectoire non voulue



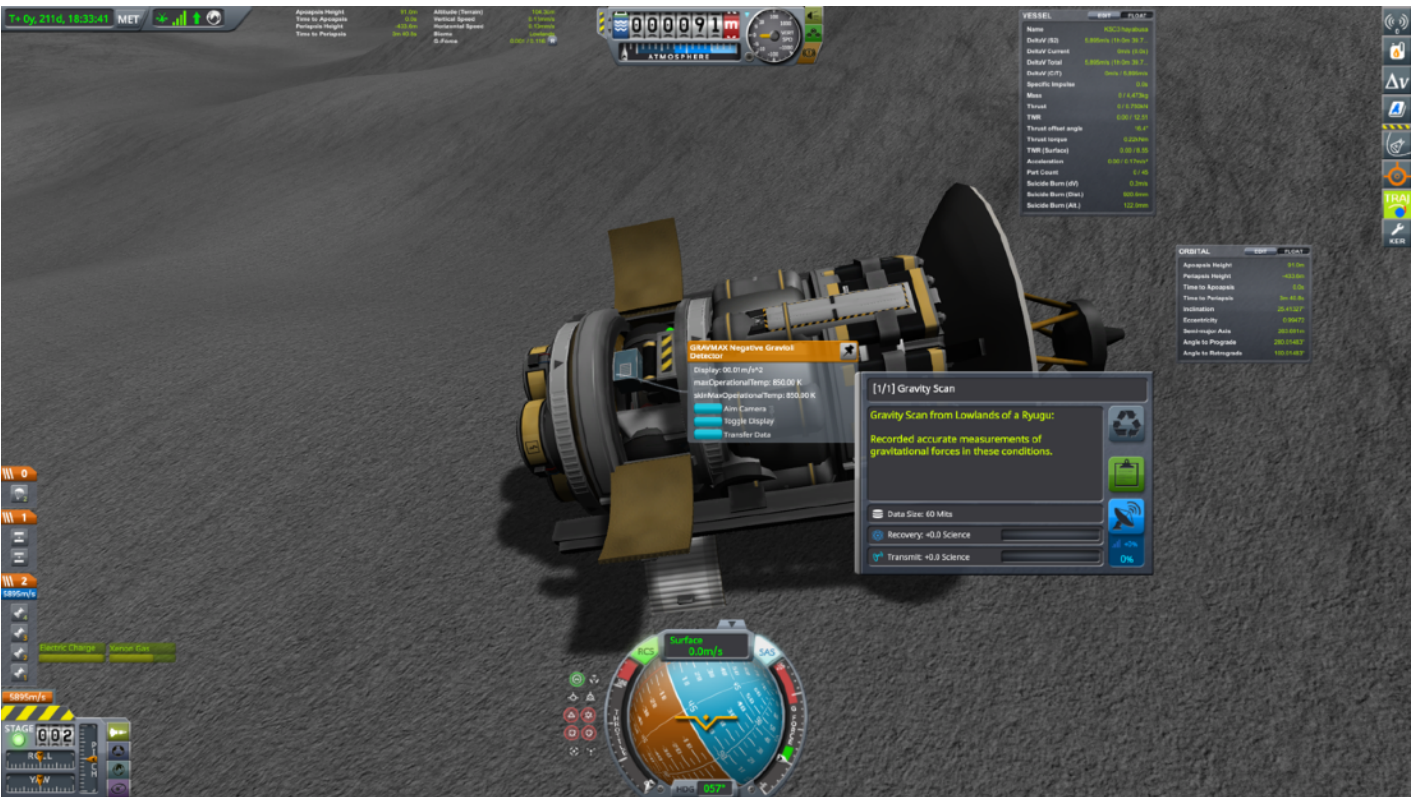
A l'approche du sol, les panneaux et l'antenne auxiliaire sont refermés, la baie de service est ouverte.



L'approche du sol est délicate mais aucun incident n'est à signaler

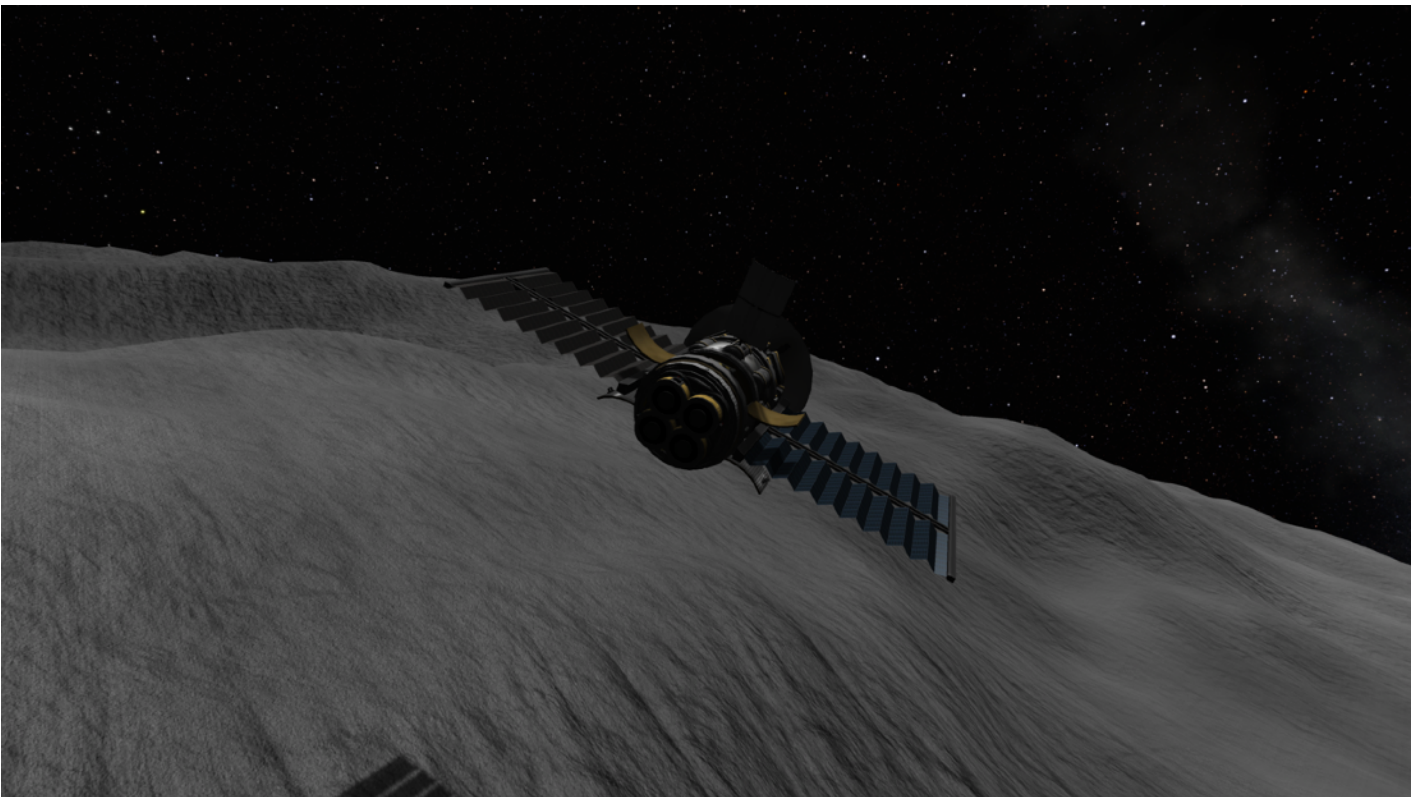


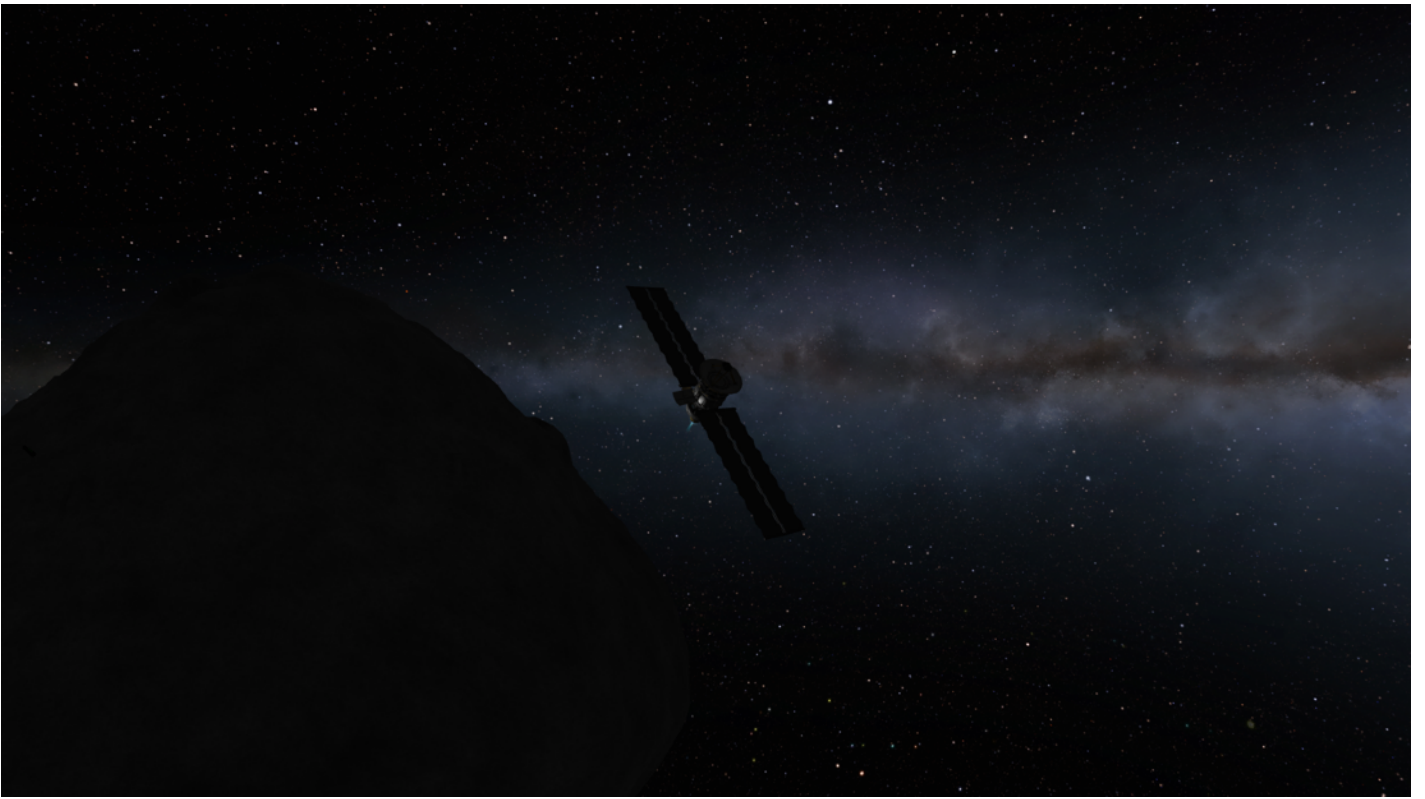
Touchdown! Les collectes d'échantillons et expériences commencent





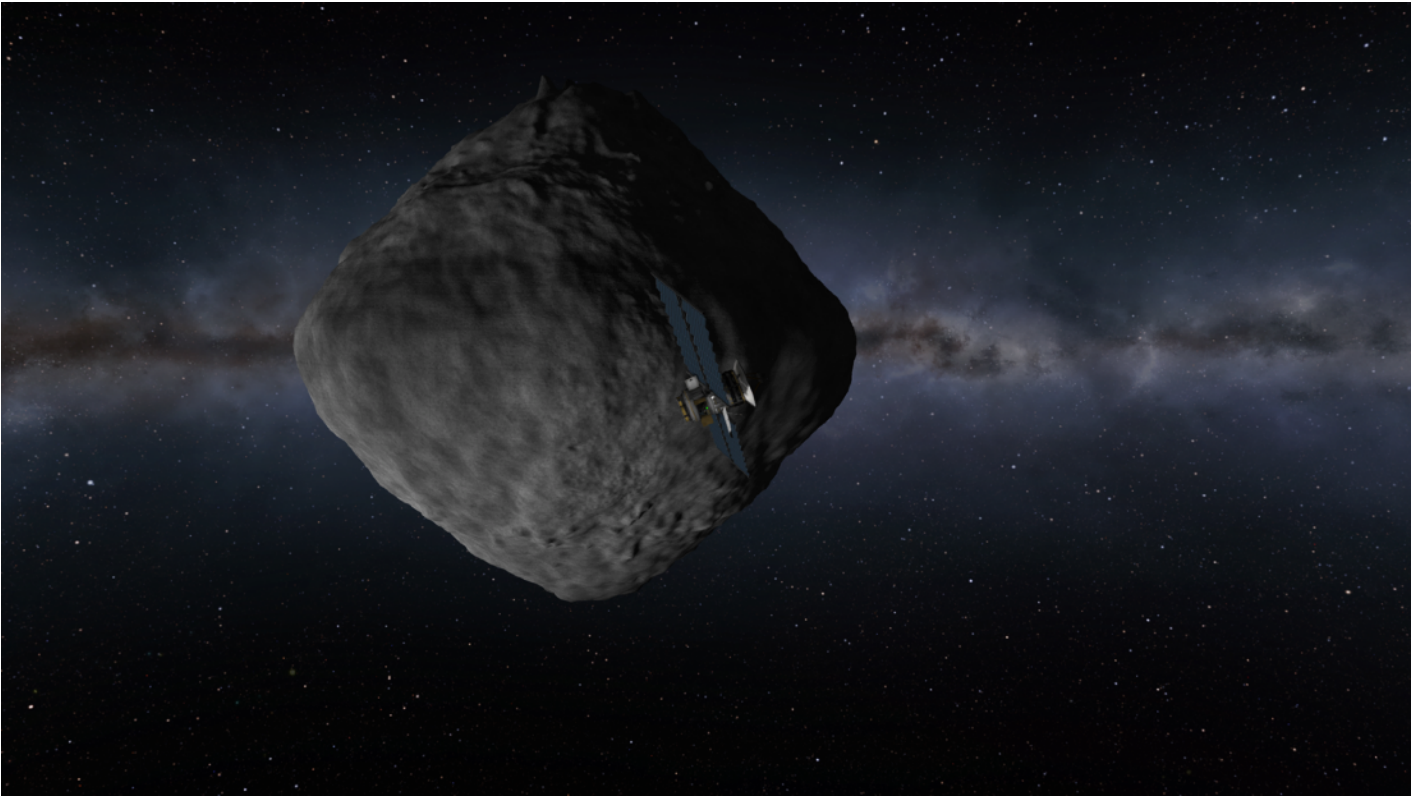
Une fois tous les objectifs sur place remplis, il est temps de repartir. Une petite poussée suffit à accélérer la sonde suffisamment





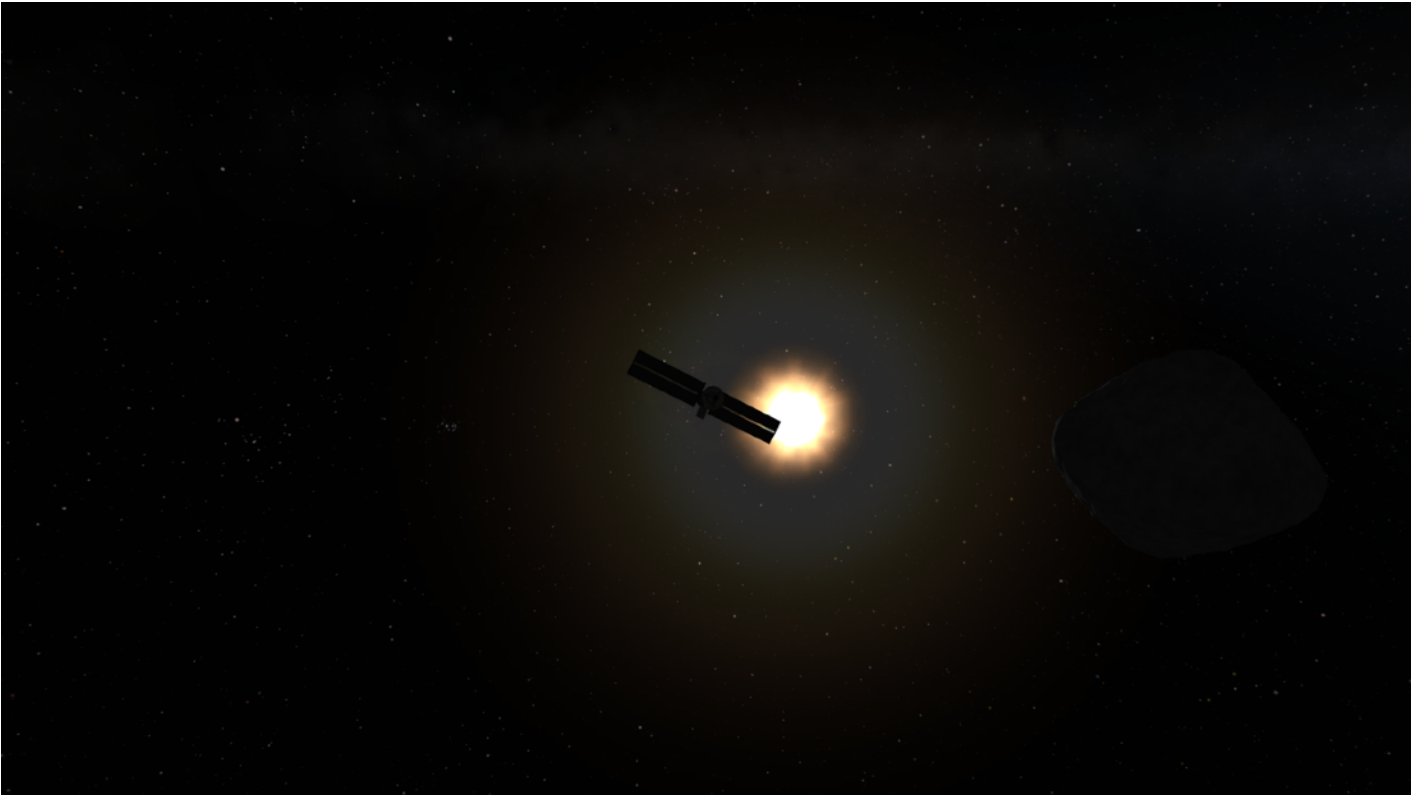
A l'apogée, une petite poussée en prograde pour se replacer en orbite





Par la suite, un autre burn est effectué pour se libérer de Ryugu

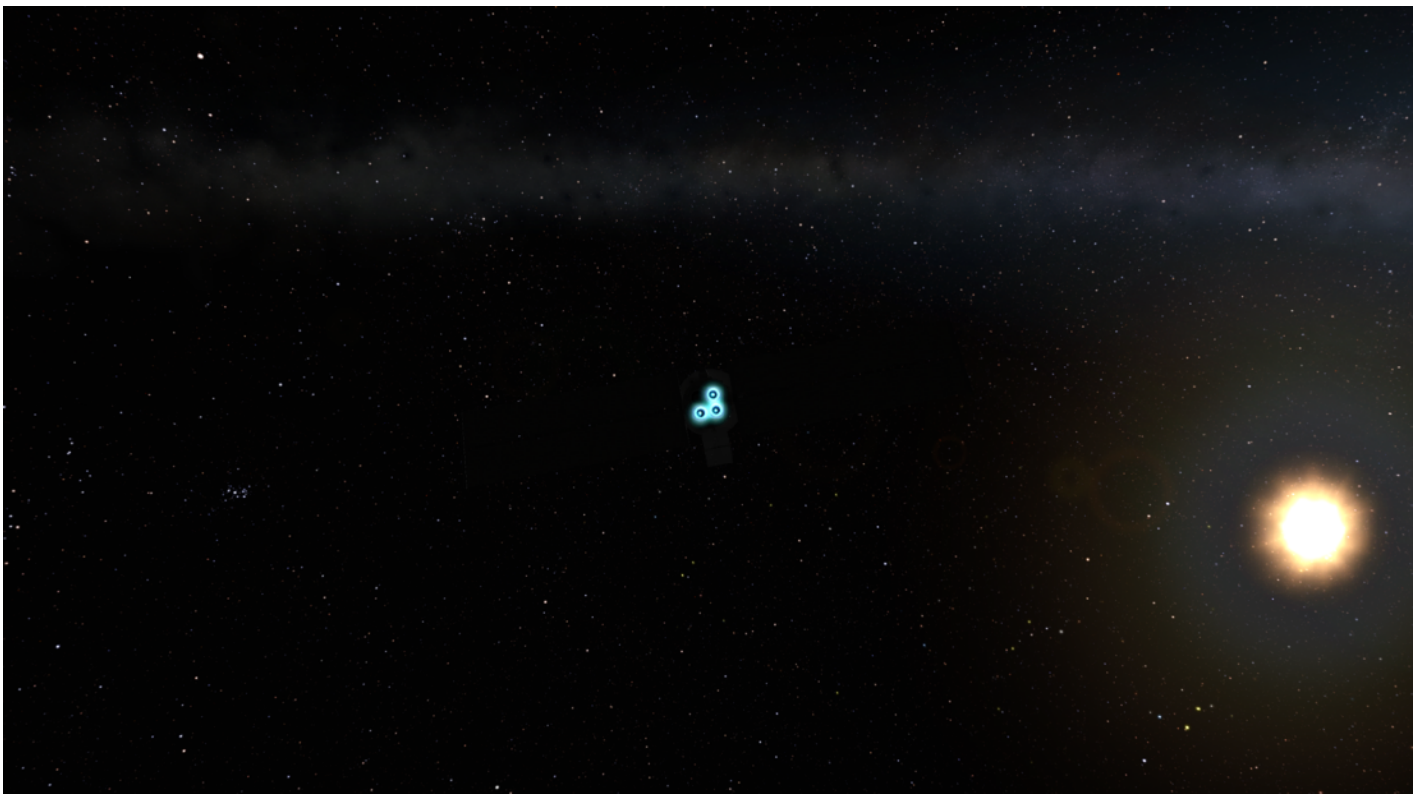
3) Le retour vers la Terre



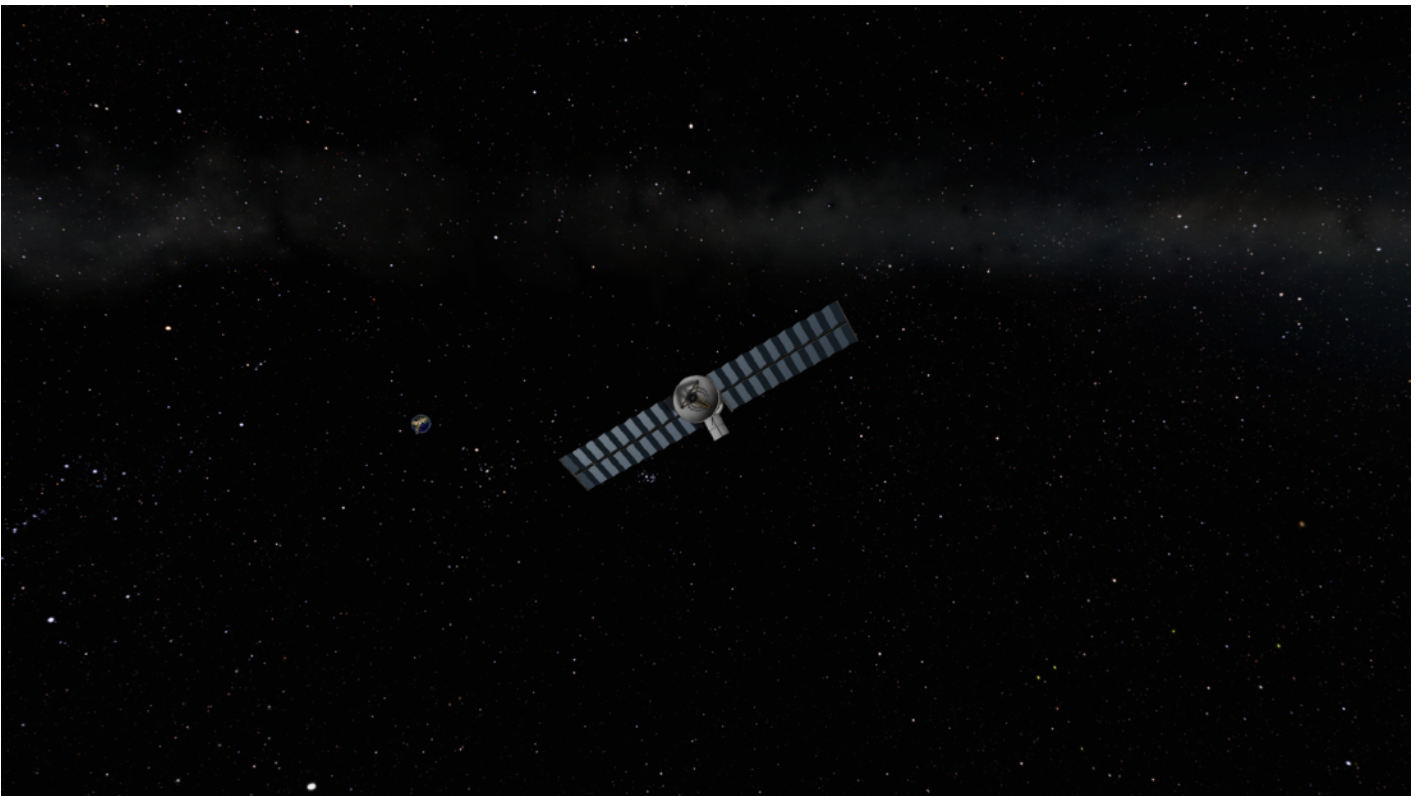
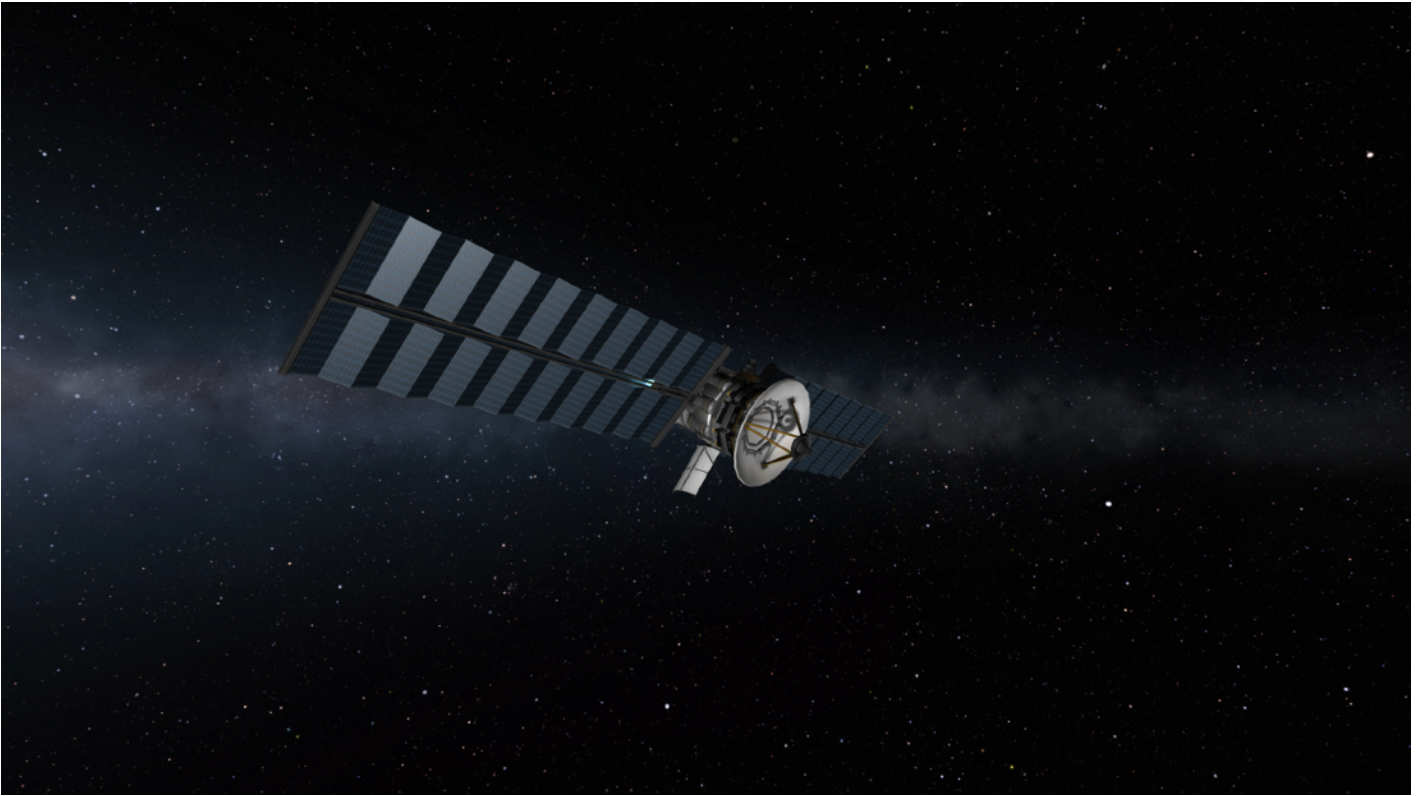
Pour revenir sur Terre, il faut d'abord corriger l'inclinaison

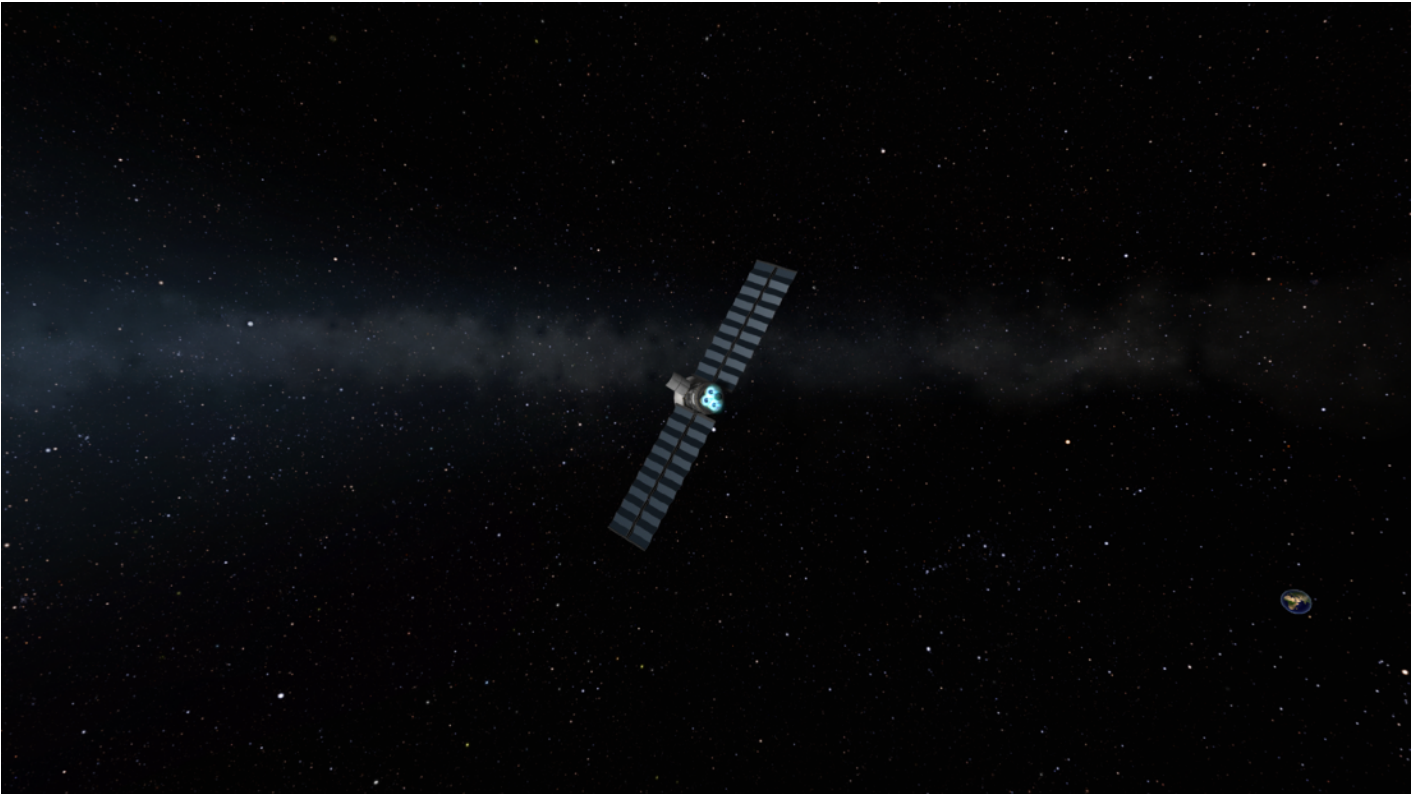


Une rencontre est obtenue avec la Terre

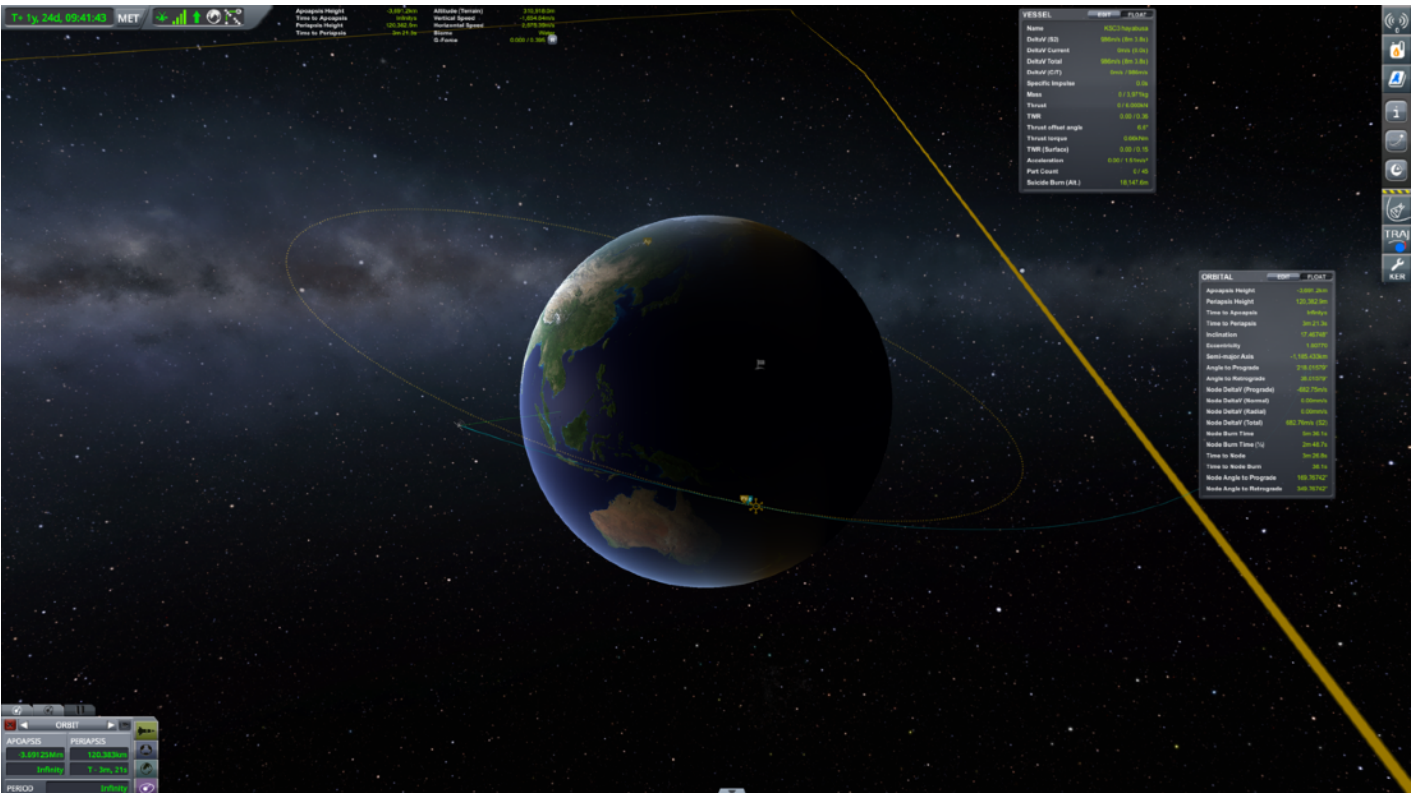


Trois moteurs sont employés pour effectuer cette manoeuvre





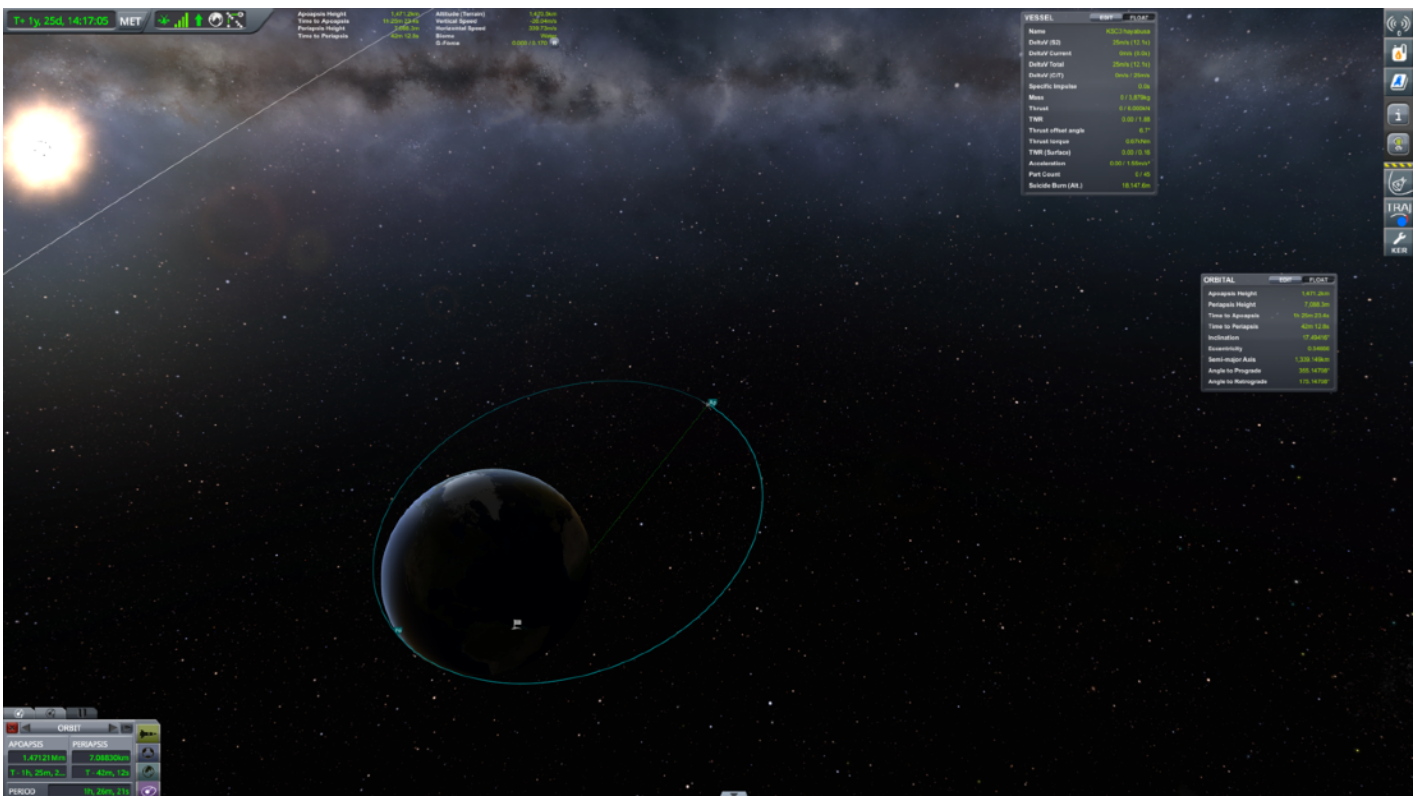
Un autre burn est effectué, pour approcher la Terre. Le périégée est maintenant à 120 kilomètres du sol



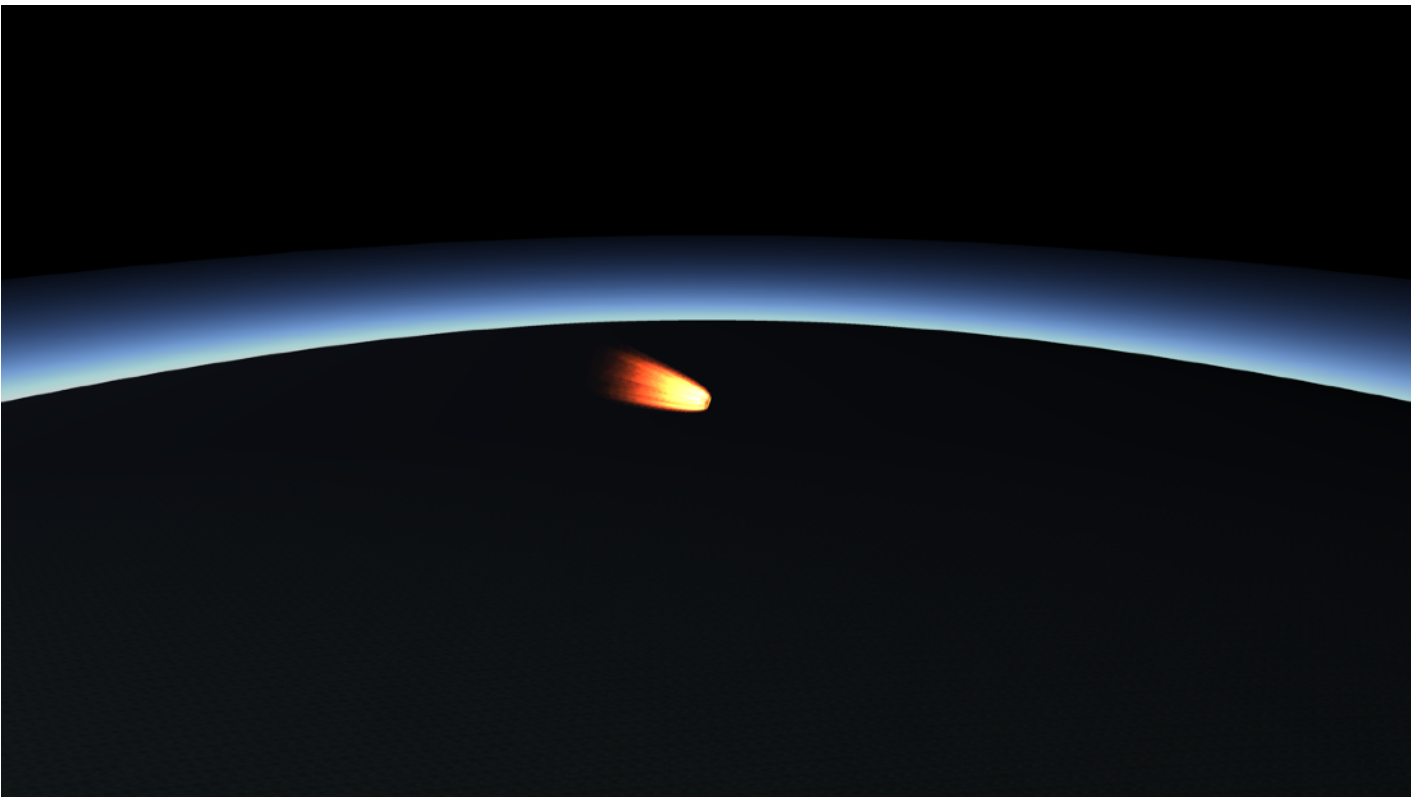
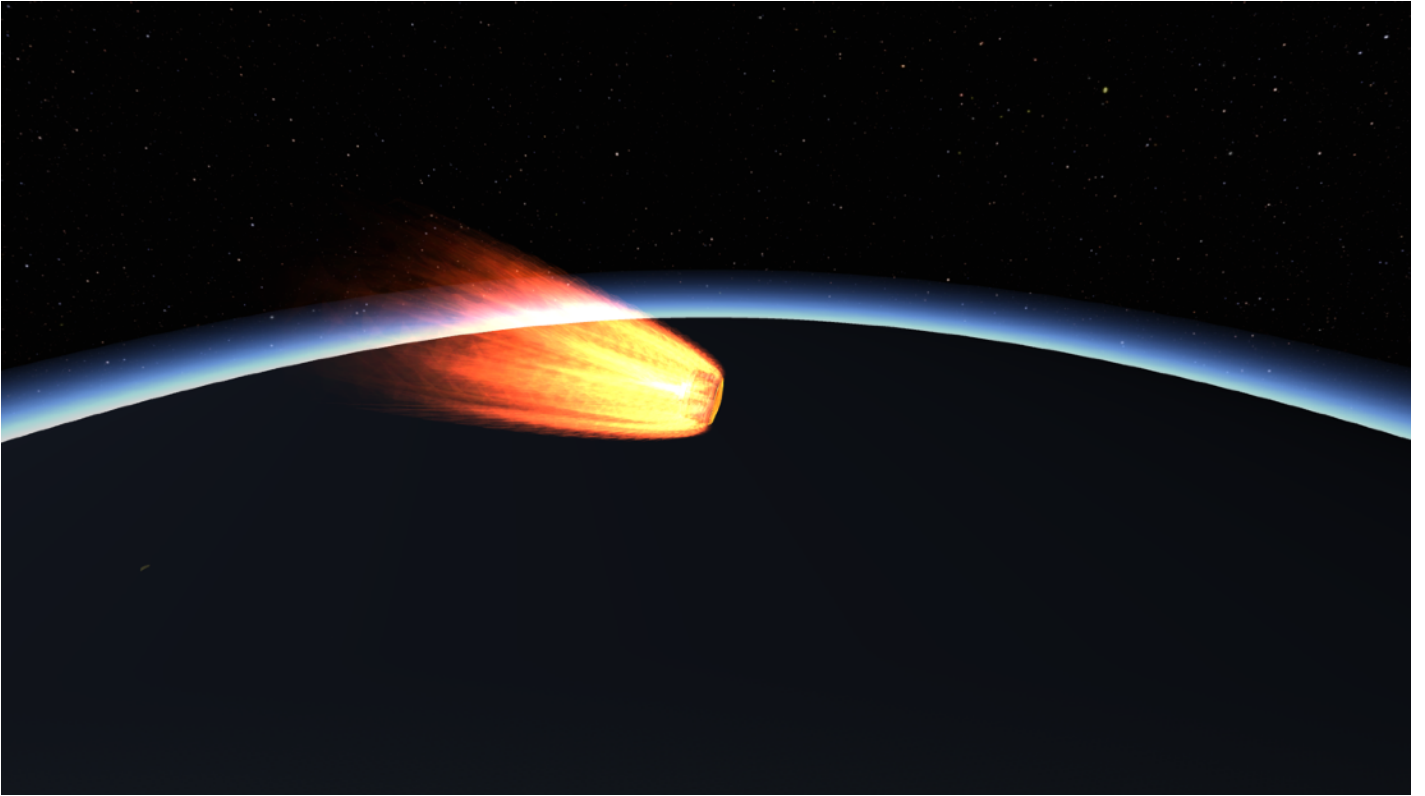
Le carburant restant est utilisé pour placer la sonde en orbite avant la rentrée



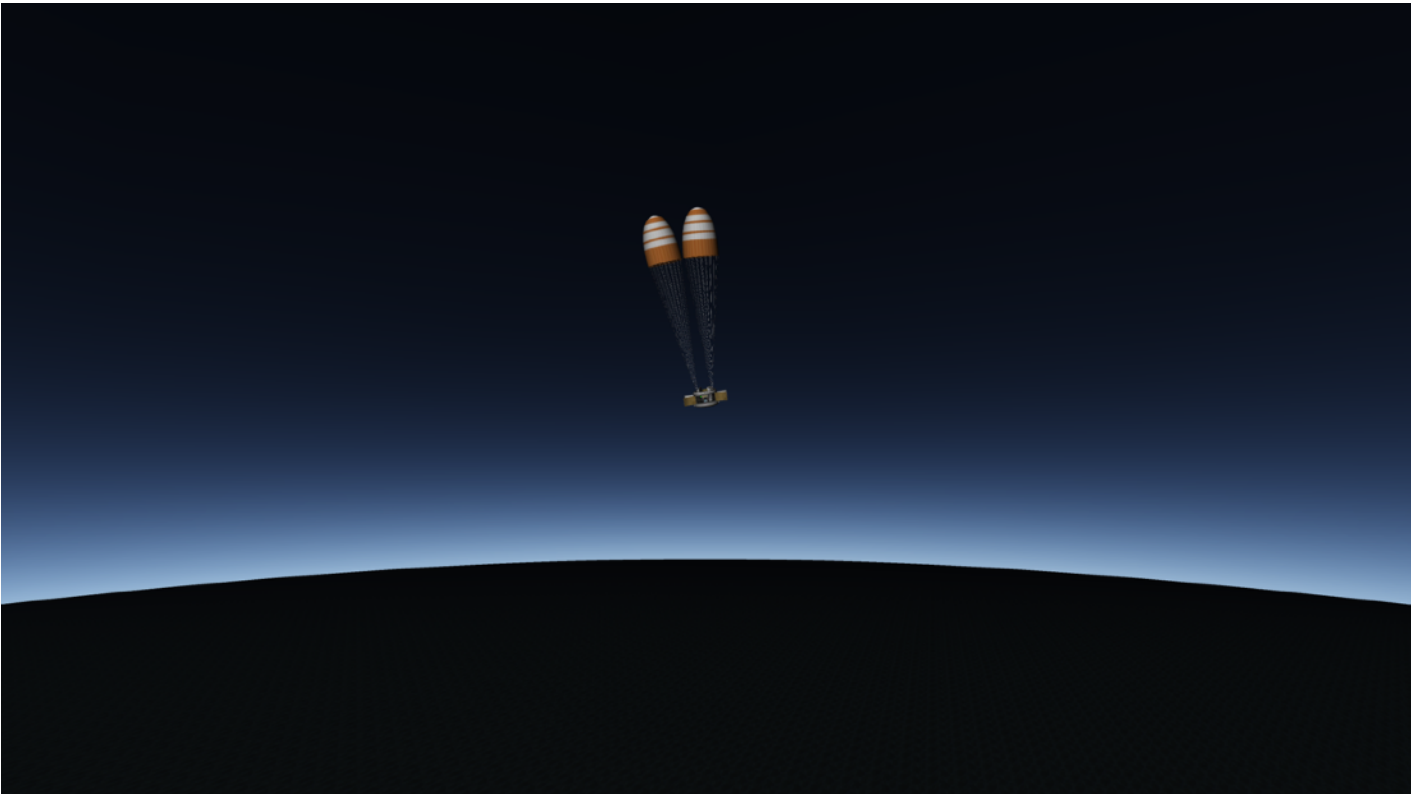
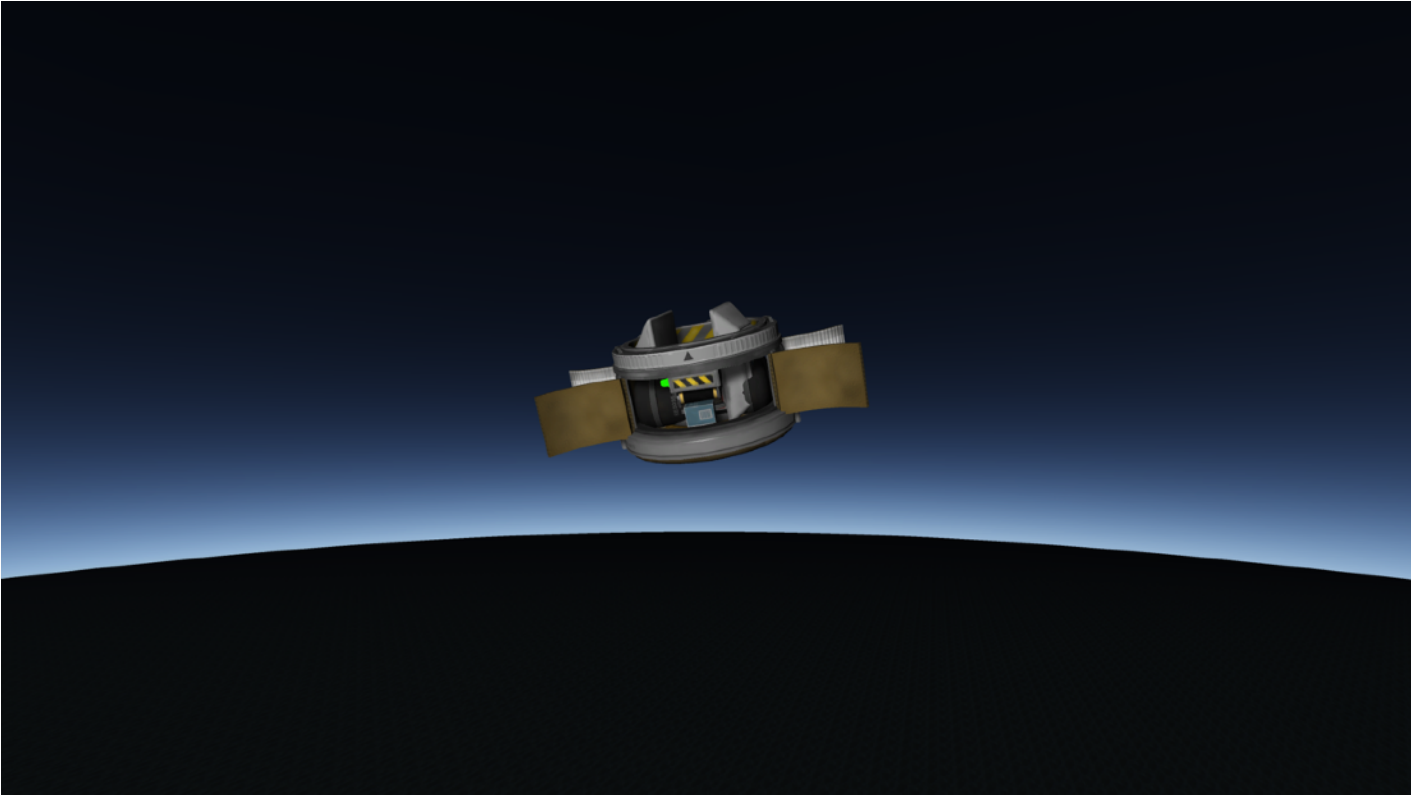
4) Retour sur le plancher des vaches



Après plusieurs manœuvres, un burn final est réalisé. Le périgée est abaissé à 7 kilomètres. Il reste 25 m/s de Delta V



Pour limiter l'augmentation de température, le module tourne sur lui même durant la rentrée



La capsule a survécu sans aucun dommage, les parachutes s'ouvrent

Conclusion]

Le module est alors récupéré dans l'océan et tout ce qu'il contient peut être analysé. La mission se conclut donc par un succès total, malgré un incident à la séparation des boosters qui a failli causer l'échec de la mission

Note: je promet que je n'ai pas fait exprès d'appuyer sur espace trop tôt! En voulant préparer mon doigt dessus, j'ai enfoncé la touche juste avant la fin de la propulsion :/ Plus de peur que de mal et rien de cassé.



Résultats de la mission :

Malgré le succès complet de la mission, les résultats ne sont pas parfaits. En effet, la collecte s'est déroulée sans accroc et les échantillons sont arrivés intacts. Ce vol a également permis d'observer de près Ryugu et d'en connaître beaucoup plus sur sa surface, sur sa forme et son aspect. L'analyse des échantillons permettra d'en apprendre sur sa composition également. En revanche, le GRAVMAX n'a pas fonctionné comme souhaité. La gravité à la surface de l'astéroïde est en réalité trop faible pour le gravimètre qui a une précision de 0,01g. Il s'avère que l'intensité de pesanteur en surface est 0,002g, ce qui n'a malheureusement pas pu être vérifié par l'appareil. Il aurait été possible de mesurer la masse de l'astéroïde en partant de cette donnée.

Note: Les foreuses n'ont pas fonctionné à la surface de Ryugu en raison de la gravité trop faible. J'ai donc fait semblant mais eh, ça aurait marché aussi si la collecte avait réussi hein D: J'ai appris par la suite qu'il est possible de forer Ryugu en poussant vers la surface en même temps.

Bilan personnel

Je me suis vraiment amusé en faisant ce défi, de la conception de la sonde à la réalisation du dossier en passant par la mission en elle même. Il m'aura fallu 10 heures de jeu (et, je l'avoue, quelques tentatives infructueuses et péripéties) entre la « première brique » et le très satisfaisant « Recover vessel » après le retour. Je n'avais jamais réalisé de mission de ce niveau là, m'étant contenté de mission habitées et de sondes vers les corps du système *kerbolien* (?). La faible gravité de Ryugu est, au même titre que l'atroce pesanteur sur Eve dans le jeu Stock, ce qui fait toute la difficulté de l'opération. Il a fallu être précis dans la planification des manoeuvres et dans leur exécution, car un demi mètre par seconde en trop entraînait un gros écart par rapport à ce qui était visé. J'ai aussi été confronté à la faible efficacité de mes manoeuvres. Ici, pas de gâchis

de carburant puisque tout a été utilisé, mais il était possible de faire bien plus précis et donc moins coûteux. J'ai du me reprendre à plusieurs fois pour la rentrée car le peu de delta V restant rendait plus compliquée la rentrée en un seul morceau.