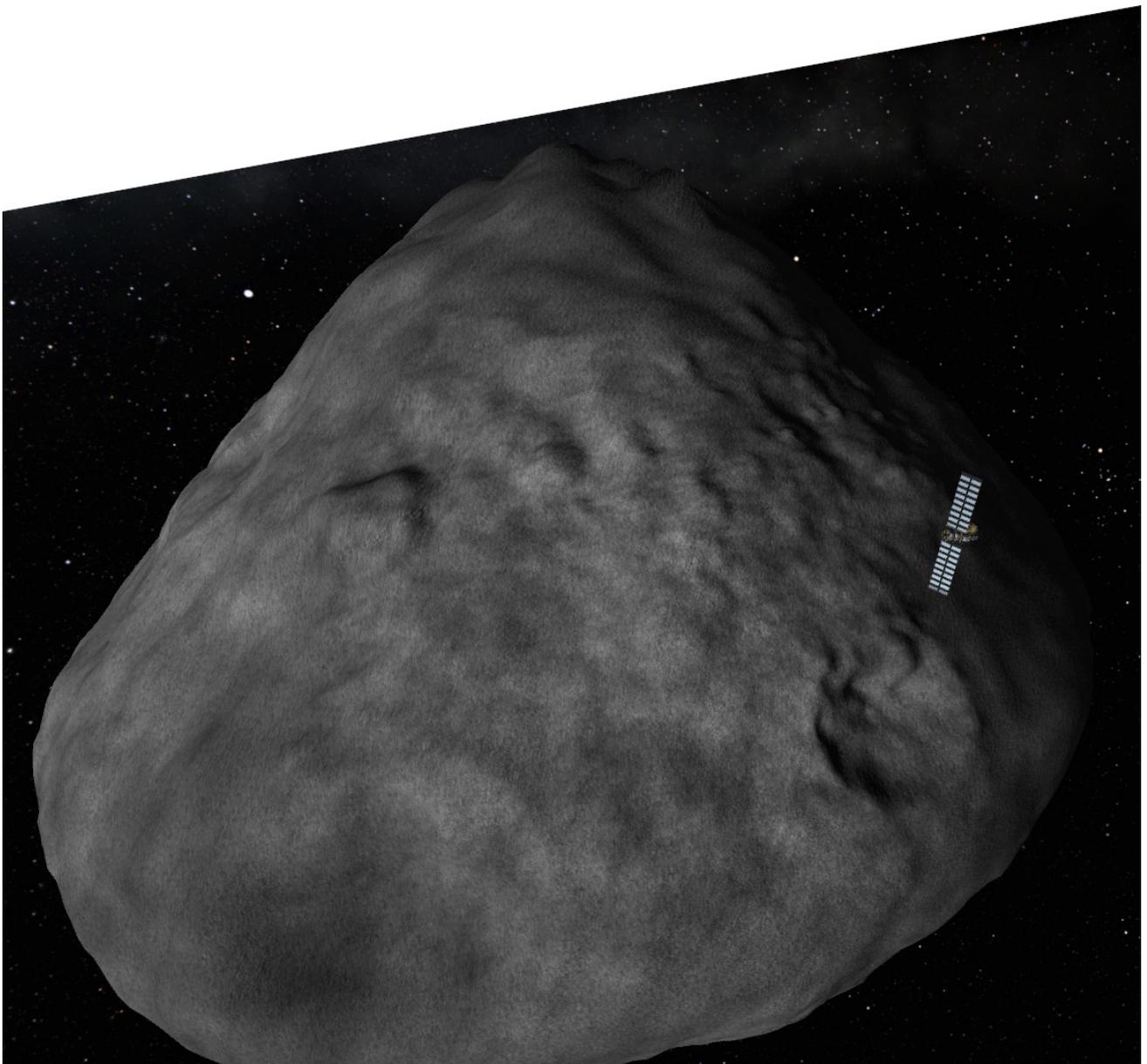


KSC3 : Hayabusa 2

Rapport de mission

Par **Bobix**

Catégorie « De Vinci »



Sommaire

I. Le challenge KSC3 : Hayabusa 2.....	3
II. La tactique spéciale « débutant ».....	3
III. Décollage vers l'infini et au-delà.....	4
IV. Changement de plan... orbital.....	5
V. Transfert vers Ryugu.....	7
VI. La rencontre : un moment fort en émotions.....	9
VII. Aller je rentre à la maison !.....	12
VIII. Résultat de la mission.....	14
A. <i>Objectifs obligatoires : catégorie De Vinci</i>	14
B. <i>Objectifs personnels</i>	14
C. <i>Impressions personnelles</i>	14
IX. Blueprint.....	16

A ma femme,

I. Le challenge KSC3 : Hayabusa 2

Bienvenue au Kerbal Space Center de Tanegashima au Japon. Aujourd'hui nous allons nous pencher sur la mission Hayabusa 2. Nous allons rejoindre un astéroïde nommé Ryugu et à en ramener un échantillon sur Terre. En bonus, il est prévu d'y projeter à grande vitesse un objet explosif. En clair, nous allons bombarder le cailloux céleste !

Je vois à vos mines septiques que vous n'y croyez pas. Il n'y arrivera pas, il a déjà du mal à atteindre Duna, alors un astéroïde de moins d'un kilomètre de diamètre... c'est certain que ce troisième défi proposé par Kerbal Space Challenge (KSC3) est loin d'être une promenade de santé. D'autant que nous n'avons qu'un mois pour réaliser la mission et rendre notre rapport. Mais n'ayez crainte ! J'ai mis au point une tactique infallible qui devrait permettre à n'importe quel débutant sur Kerbal Space Programme de mener à bien cette mission.

II. La tactique spéciale « débutant »

Les mods : D'après le règlement du concours¹, les mods KER, TweakScale et Infernal Robotics (IR) sont autorisés. J'avoue avoir très, très envie d'essayer ces mods. Cependant, n'ayant aucune expérience avec ces derniers, j'ai décidé de m'en passer. Je m'en tiendrai à ce que je sais faire.

Les moteurs ioniques : In Real Life (IRL - « dans la vie réelle » pour le non-anglophone) la sonde envoyée sur Ryugu par la Jaxa comporte quatre moteurs ioniques. Ces moteurs ont une Impulsion Spécifique dans le vide ÉNORME (4 200 s). En d'autre terme, avec 1L de carburant, ce moteur nous permet de pousser 1kg pendant 4 200 s. Ne cherchez pas, c'est le seul à pouvoir réaliser une telle poussée dans le vide. La contre-partie est que son rapport poids-poussée est tout petit (0,816) : les temps de combustion sont longs, typiquement entre 4 et 10 min. C'est le moteur que nous allons utiliser alors, pensez à faire le plein de sandwiches et de café avant de partir.

La charge utile : La sonde envoyée par la Jaxa sur Ryugu en décembre 2014 a embarqué avec elle trois rovers Minerva, un lander franco-allemand nommé Mascot et tout un tas d'appareils de mesures scientifiques. Pour ma part, j'ai préféré n'emporter sur ma sonde que le strict minimum : une capsule de Goo et un impacteur. En économisant de la masse, on gagne en Δv et donc en chance de succès : CQFD !

Le plan de vol : J'ai commencé par faire des calculs compliqués pour réaliser une orbite de Hohmann et des torsions de trajectoire. Puis je me suis rendu compte que ça ne collait pas du tout avec ce que j'observais dans le jeu. Une erreur de calcul ? Un paramètre mal déterminé ? Je ne sais pas. A vrai dire peu importe. La fusée que j'ai préparée va nous permettre d'improviser sur le tas. Alors, allons-y sans plus attendre, faisons chauffer les moteurs !

¹ <https://kerbalspacechallenge.fr/2019/05/01/challenge-ksc3-hayabusa-2-cahier-des-charges-modalites-et-lancement/>

III. Décollage vers l'infini et au-delà

Nous sommes juste en face du pas de tir (Figure 1). La tension est palpable. Les conditions météorologiques sont optimales : aucune brise, aucun nuage (petite configuration oblige). Tout comme IRL, ma fusée est constituée de deux étages ainsi que de deux boosters à poudre latéraux (§ IX). La sonde est inhabitée (objectif N°1 rempli). La couleur orange est de bon goût et... attendez, on vient de me faire signe que le SAS a été activé. Ce n'est plus qu'une question de secondes.



Figure 1: Ma fusée sur son pas de tir (gauche) et son équivalent IRL (droite)

3, 2, 1, décollage... La fusée monte tout droit jusqu'à atteindre une vitesse de 100m/s puis je l'incline doucement vers l'est afin d'amorcer le fameux Gravity Turn (petite pensée pour Dakitess). Les boosters et le premier étage sont largués presque simultanément. La fusée s'incline trop doucement : je spam la touche « D ». Une fois dépassés les 30km, la coiffe est éjectée. L'antenne et les panneaux solaires sont déployés (Figure 2). Enfin, les moteurs sont coupés lorsque le Périapse dépasse les 70km d'altitude.

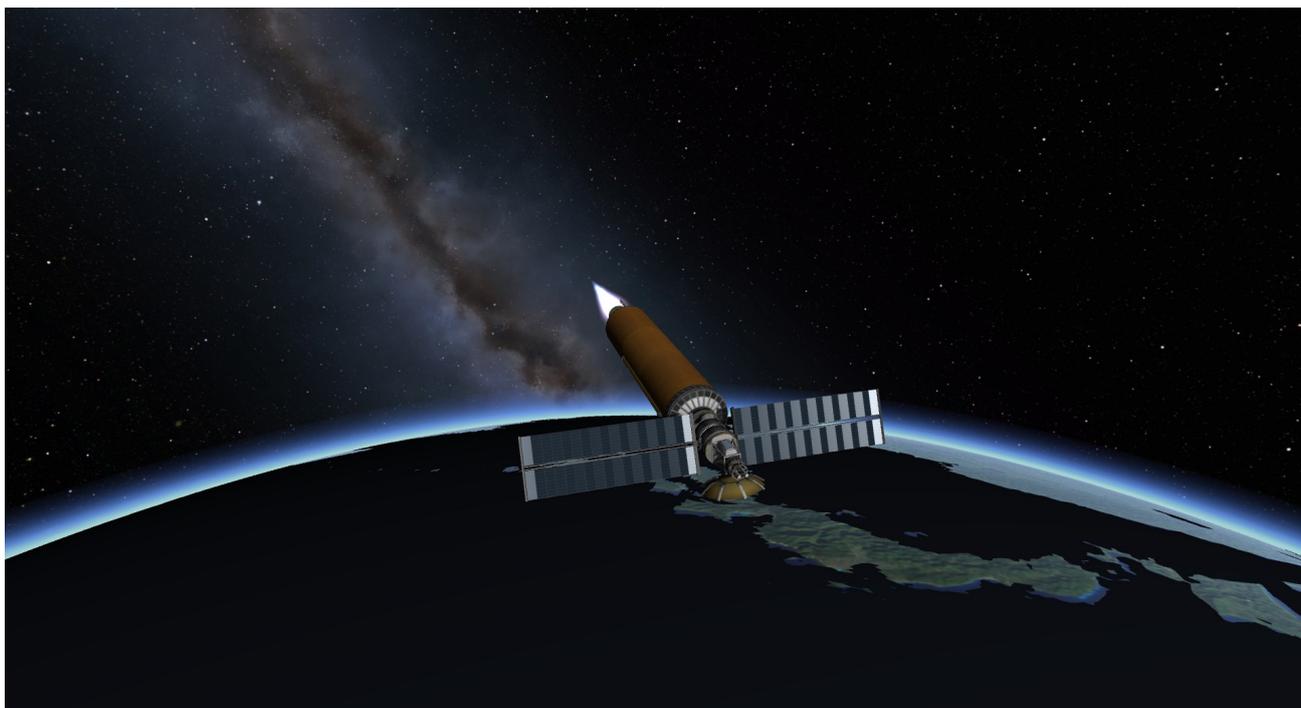


Figure 2: La sonde pendant la phase de décollage.

IV. Changement de plan... orbital

Lors de mes tests préliminaires, j'ai été surpris de constater qu'en partant du Japon, le plan orbital de ma fusée était incliné d'environ 31° par rapport à l'écliptique. D'après le fichier fourni par l'équipe du KSC², la latitude du site de lancement est de $30,96^\circ$. Coïncidence ? Je ne crois pas...

Pour obtenir une orbite équatoriale, il est nécessaire de réaliser une poussée normale/anti-normale à la jonction du plan orbitale de la fusée et du plan équatorial, toute la problématique étant de déterminer avec précision ce point de jonction. Pour ma part, j'ai choisi de matérialiser le plan équatorial à l'aide d'un satellite nommé « Equator 1 ». Ce dernier a été préalablement lancé à partir du site de lancement le plus équatorial (Kourou - latitude : $5,23^\circ$), puis son orbite a été incliné jusqu'à atteindre 0° d'inclinaison... en tâtonnant.

En ciblant ce satellite, j'ai une référence pour le plan équatorial. Je peux placer mon nœud de manœuvre au niveau des nœuds ascendants et descendants avec précision. J'effectue la manœuvre de changement de plan en plusieurs fois pour éviter que mon apoapse ne dérive.

² `GameData\KSRSS\KSRSSKopernicus\Ryugu\ryugu.cfg`

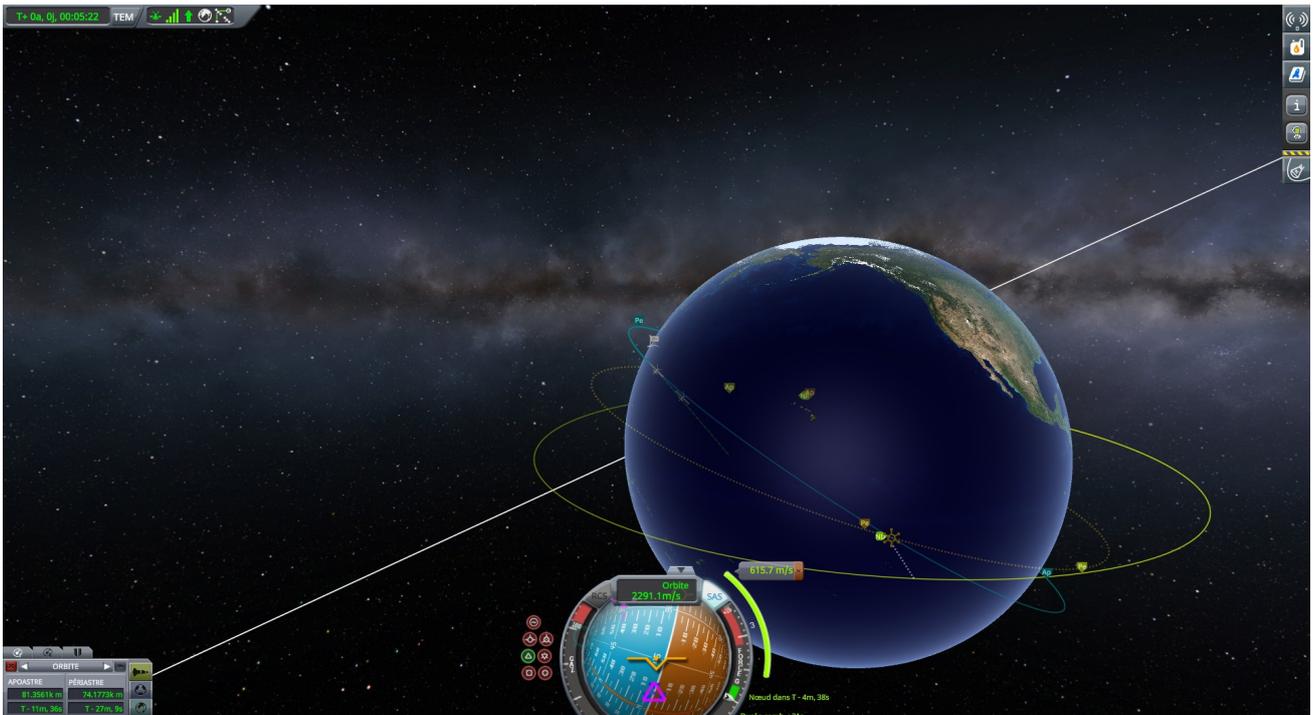


Figure 3: Changement de plan en ciblant un satellite placé dans la plan équatorial de la Terre

Enfin, je circularise mon orbite en injectant prograde en douceur au niveau de l'apoapse. Hé voila (Figure 4), l'objectif N°2 est rempli. Le plus difficile reste à venir.

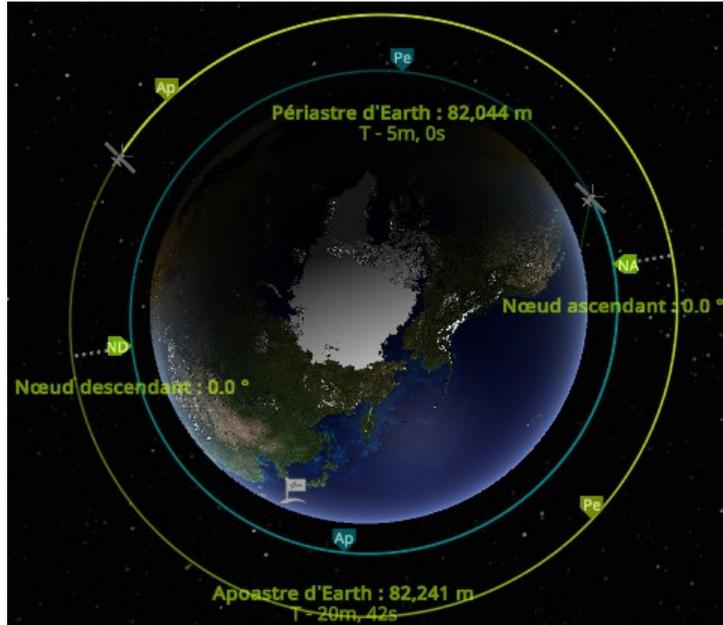


Figure 4: Orbite circulaire et équatoriale

V. Transfert vers Ryugu

A partir de maintenant, je pénètre dans l'inconnu et le pilotage de la sonde va se faire au feeling. Je sais qu'il y a des moyens de calculer avec précision l'angle d'éjection, l'angle de phase et tout ça, mais comme je ne sais pas (encore) faire, je vais injecter prograde vers le 150° comme ce que l'on préconise généralement pour atteindre Mars. Une fois la sphère d'influence de la Terre quittée, je coupe les moteurs et je cible Ryugu. Ce dernier évolue dans un plan orbital légèrement différent de celui de la Terre. La différence d'inclinaison est de 6,6° (Figure 5). J'effectue le changement de plan au niveau des nœuds ascendants/descendants. Cette dernière manœuvre aura raison du deuxième étage de la fusée. Le reste de la mission se fera aux moteurs ioniques.

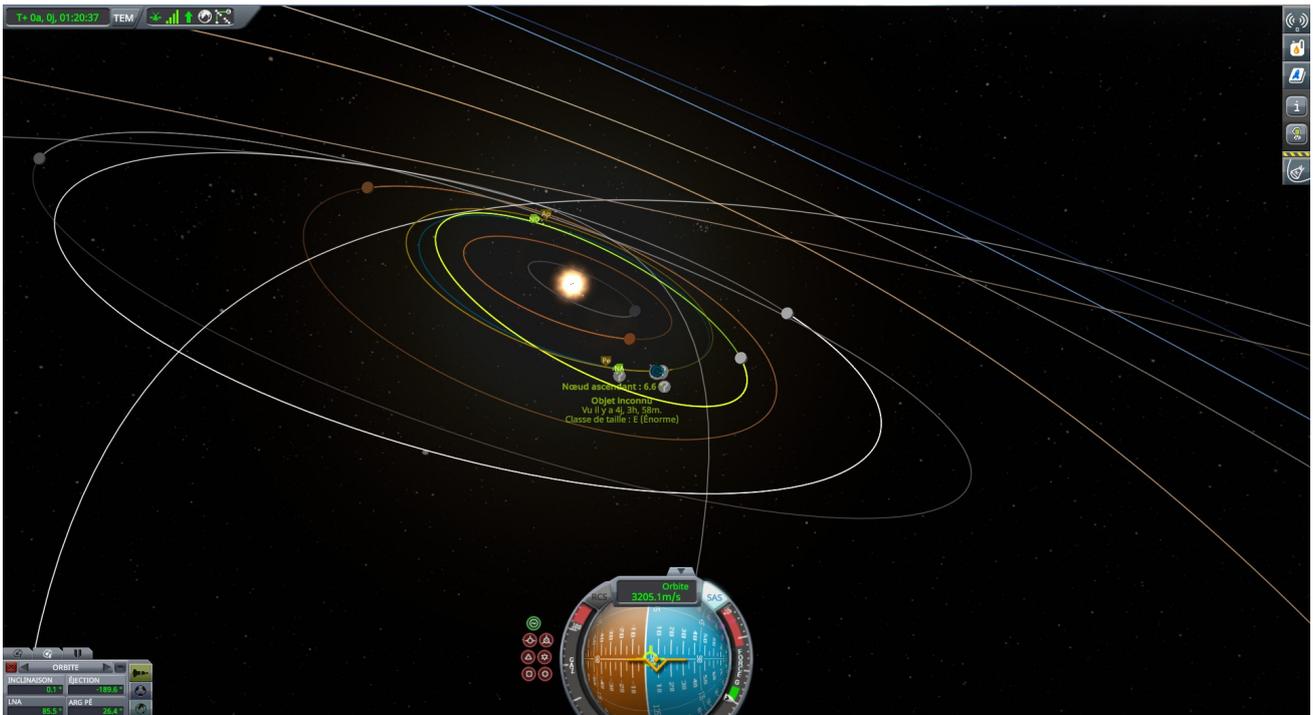


Figure 5: Je viens de quitter la sphère d'influence de la Terre et de cibler Ryugu.

Pour rejoindre Ryugu, je procède comme pour un rendez-vous : je place ma sonde sur une orbite proche de celle de l'astéroïde et légèrement plus basse. Je time-warp jusqu'à ce que l'astéroïde soit légèrement en avance sur moi. Je tire mon prograde dans celui de Ryugu, puis j'avance et renouvelle la manœuvre jusqu'à voir apparaître le symbole indiquant que ma trajectoire pénètre dans la sphère d'influence de Ryugu. Cette dernière ne fait que 25km de diamètre.

Pour être tout à fait franc, je dois dire qu'à plusieurs reprises, ma sonde a dépassé Ryugu m'obligeant à me placer sur une orbite légèrement plus haute le temps que Ryugu repasse devant... puis tout recommencer (Figure 6). Heureusement avec deux gros réservoirs de Xenon de 5 700 unité chacun, c'est un peu comme si le mode « infinity fuel » était activé : pas de stress.

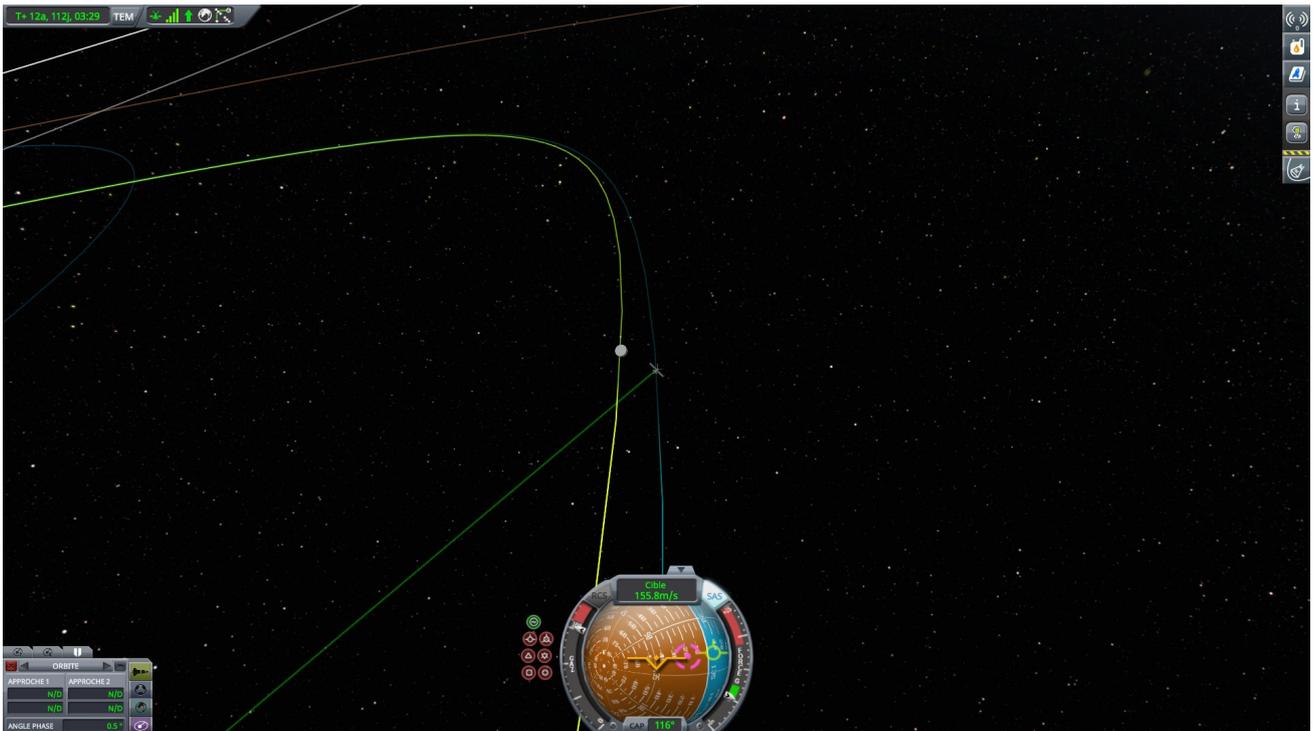


Figure 6: Ma sonde n'est pas du bon coté de la trajectoire de Ryugu. Je suis entrain de m'éloigner. Il faut que je revienne sur la gauche fissa.

VI. La rencontre : un moment fort en émotions

Ça y est les gars, on y est ! Je place une petite manœuvre au niveau du périastre. J'injecte rétrograde jusqu'à circulariser à environ 800m d'altitude... et j'admire le paysage (Figure 7). Je dois dire que le bout de cailloux a de la gueule. Il ressemble un peu à l'une de ces grosses toupies avec lesquelles jouent mes gamins. D'ailleurs, j'ai moi aussi l'impression d'être un gamin à qui l'on vient de donner un jouet fabuleux.

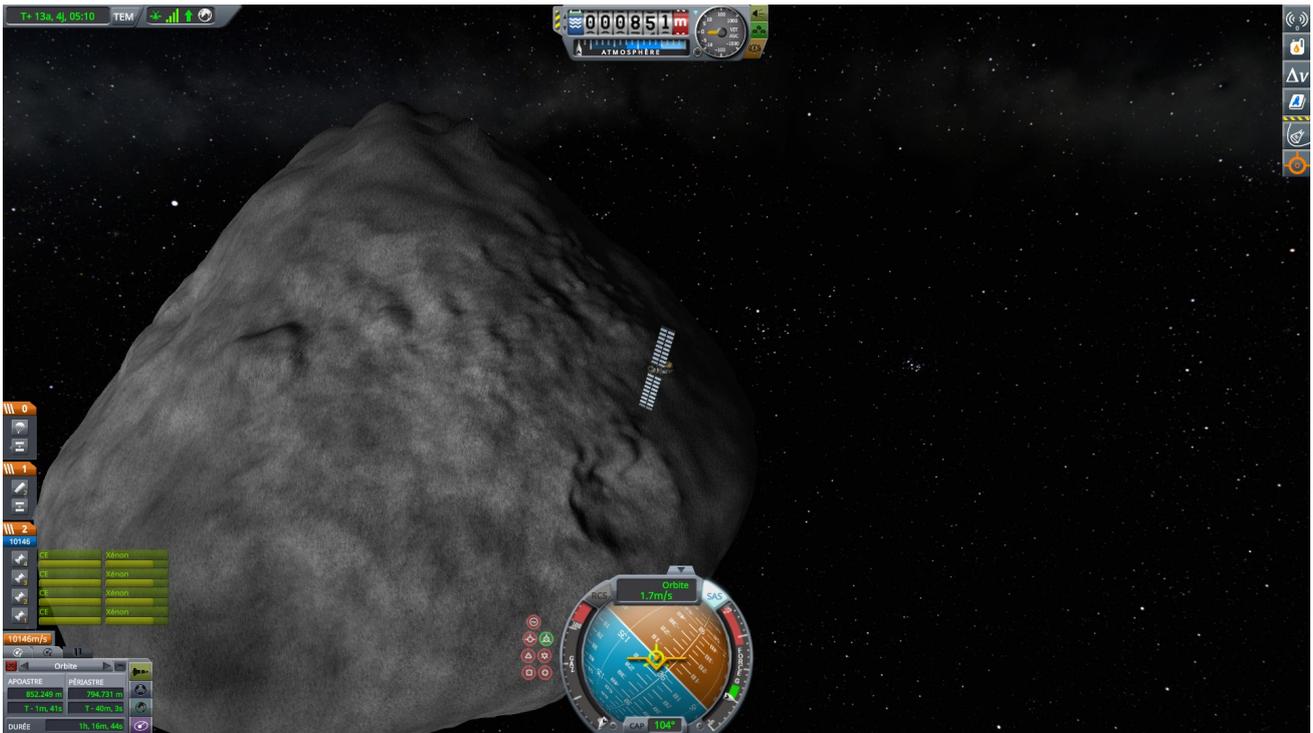


Figure 7: En orbite autour de Ryugu. On se sent tout petit !

L'atterrissage sur l'astéroïde est relativement facile. J'annule la vitesse orbitale en injectant dans le rétrograde ce qui me permet d'atteindre la surface verticalement. Juste avant de toucher le sol, je réalise de toutes petites poussées pour freiner la descente et je replie les panneaux solaires pour éviter qu'ils ne se brisent en touchant le sol. La sonde se pose tout en douceur à 0,1 m/s.



Figure 8: Ma sonde est posée sur Ryugu. Le bonheur!

Je profite d'être là pour analyser la Goo mystérieuse et puis il est temps d'entâmer le voyage retour.

Une petite poussée suffi pour que la sonde s'élève à quelques centaines de mètres d'altitude. Je retourne alors la sonde afin que l'impacteur pointe vers la surface et je déclenche le mécanisme de mise à feu. L'impacteur file à toute vitesse vers Ryugu où il explose dans un grand BOOM (oui je sais, c'est étrange que le son se propage dans le vide) (Figure 9).

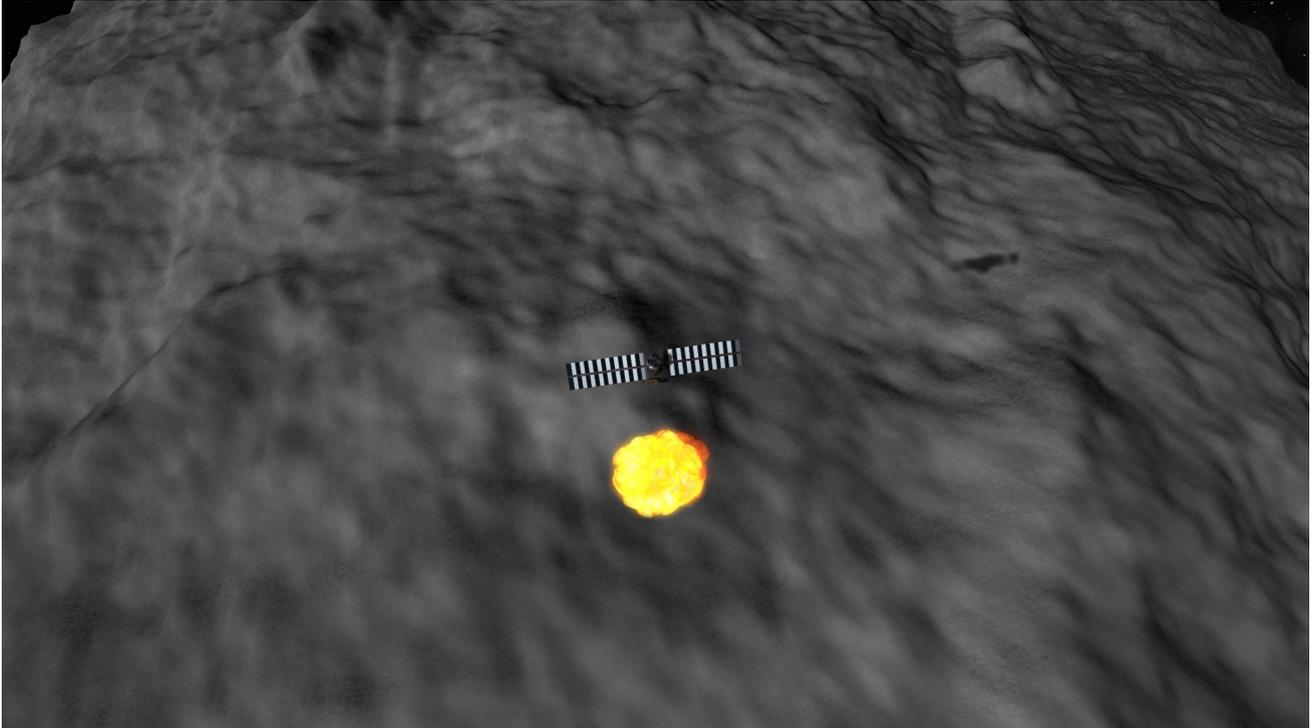


Figure 9: L'impacteur explose à la surface de Ryugu.

VII. Aller je rentre à la maison !

Le voyage retour est tout ce qu'il y a de plus facile. Un fois que j'ai quitté la sphère d'influence de Ryugu, je reviens dans le plan orbital de la Terre en injectant normal/anti-normal au niveau des nœuds ascendant/descendant. Puis je joue un peu avec les manœuvres jusqu'à obtenir le symbole indiquant que la trajectoire de la sonde pénètre dans la sphère d'influence de la Terre. Je place alors une manœuvre au niveau du périastre et je tire rétrograde jusqu'à circulariser (Figure 10). J'ajuste ensuite jusqu'à obtenir une orbite circulaire à environ 100km d'altitude.



Figure 10: Freinage de la sonde au dessus du Sahara.

C'était pas prévu, mais il se trouve que la trajectoire de ma sonde passe au-dessus de l'Australie. Il faut savoir que IRL, la Jaxa a prévu de faire atterrir les échantillons sur la terre des kangourous en 2020. Allez, je relève le défi !

J'abaisse le périapse à environ 35km d'altitude au dessus du Pacifique et je largue le dernier étage. A partir de maintenant, il n'est plus possible de modifier la trajectoire. Il me reste suffisamment d'électricité pour présenter le bouclier thermique face à l'atmosphère. Je me rends compte que l'antenne dépasse un peu du bouclier mais ça passe. Le parachute s'ouvre convenablement et... touchdown .

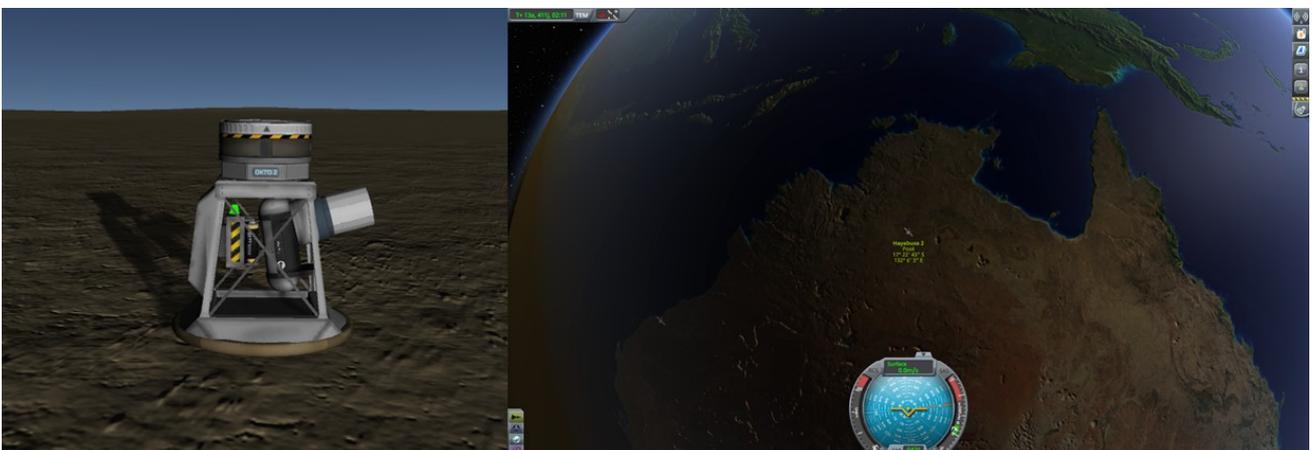


Figure 11: Retour de la sonde en plein désert australien (gauche). Le site d'atterrissage (droite)

VIII. Résultat de la mission

A. Objectifs obligatoires : catégorie De Vinci

N° Objectif	Achevé	Commentaires
1 Construction de la fusée : Lanceur équipé de Boosters à poudre latéraux, équipée d'une sonde non habitée	Oui	Booster à poudre : OK Sonde inhabitée : OK
2 Lancement et mise en orbite : On vise l'orbite stable et circulaire, un truc propre.	Oui	Apo : 82,241 km Peri : 82,044 km
3 Transfert à la cible : Sentez-vous libre d'emprunter le chemin de votre choix ! Efficacité énergétique, rapidité, détour touristique...	Oui	C'était clairement pas le chemin le plus court
4 Capture de Ryugu : Bouclez une belle orbite circulaire autour de l'astéroïde, altitude de votre choix.	Oui	Apo : 852 m Peri : 795 m
5 Atterrissage : Y'a le choix... Allez, disons minimum un Touchdown, et un impacteur fonctionnel, de votre conception.	Oui	Touchdown : OK impacteur : OK
6 Sciences : il y a fort à faire autour de ce cailloux : sondes secondaires, rovers, caméra, be my guest !	Oui	Analyse de la Goo

B. Objectifs personnels

N° Objectif	Achevé	Commentaires
1 Faire rouler un véhicule sur Ryugu	Non	Techniquement difficile vu la faible gravité!
2 Utiliser le Launch Escape System comme impacteur	Non	Ca pèse une tonne ce machin
3 Utiliser 4 moteurs ioniques	Oui	J'aime beaucoup ce moteur
4 Faire atterrir les échantillons en Australie	Oui	Coup de chance
5 Faire décoller la fusée du Japon	Oui	Un vrai casse-tête
6 Utiliser le mod Infernal Robotic	Non	Ce n'est que partie remise

C. Impressions personnelles

Participer au KSC3 m'a obligé à me surpasser et ce n'est pas peu dire. J'ai bien failli abandonner à plusieurs reprises. Pour vous donner une idée de mon niveau, au moment de mon inscription j'étais tout juste capable de faire atterrir une sonde sur Duna et je n'avais jamais entendu parlé de la Jaxa. Je me suis bien cassé les dents sur la trajectoire de Hohmann. J'ai testé sans succès un rover avec des roues en micro-gravité.

Et puis, il y a eu le plaisir tout particulier lors de l'atterrissage de ma sonde sur Ryugu. Les joueurs de KSP savent de quoi je parle. C'est un peu comme si j'y étais pour de

vrai, comme si j'avais réellement atterri sur un astre situé à des millions de kilomètres de la Terre. Le pied quoi !

Il me reste énormément de choses à apprendre et de compétences à acquérir : le mode infernal robotique, le calcul des trajectoires balistiques, les assistances gravitationnelles, les rovers en micro-gravité, etc. Bref de longues heures de jeux en perspectives. Peut-être un jour referais-je la mission Hayabusa 2 de manière bien plus optimisée.

Je remercie l'équipe du KSC qui a organisé ce défi avec brio et qui nous a livré un fichier de jeu de tout beauté. Grâce à eux, j'ai passé un mois de mai 2019 fort en émotions. J'attends avec impatience le prochain défi.

D'ailleurs, j'espère avoir donné envie aux joueurs débutants de se lancer et de participer au KSC4. Kerbal offre suffisamment de liberté aux joueurs pour que tous, débutant ou confirmé, nous puissions y trouver du plaisir.

A bientôt sur le forum !

Bobix

IX. Blueprint

HAYABUSA 2
Par Bobix

