

Zéro-G

J'ai récemment eu l'occasion de réaliser un vieux rêve. Invité par le CNES, j'ai volé "en apesanteur" : éprouvant, mais passionnant !

Qu'est-ce que "l'apesanteur" ?

C'est devenu un spectacle banal de voir les cosmonautes gambader dans les stations spatiales, et nous savons que des matériaux nouveaux sont fabriqués "en apesanteur" (ou, plus scientifiquement, en "microgravité"). Mais qu'en est-il au juste ?

Comme tout cela se passe à proximité de la Terre, il n'est pas question de se soustraire à la pesanteur, qui n'est autre que l'attraction terrestre. Cette force de gravité continuera à affecter chaque particule du corps. En fait, on dira qu'un corps est en état d'apesanteur si sa surface n'est soumise à aucune force. Donc, en réalité, si la pesanteur est la *seule* force qui lui soit appliquée : curieux paradoxe !

On en déduit facilement comment réaliser cet état d'apesanteur : si aucune autre force ne lui est appliquée, le corps va décrire une orbite képlérienne autour du centre de la Terre.

Cas particulier : l'orbite circulaire. C'est à quoi nous ont habitués les vols spatiaux habités. L'apesanteur durera tant que la station spatiale restera en orbite. Mais c'est une solution chère ! Autre cas particulier : la chute libre vers le centre de la Terre, le long d'un rayon. Problèmes : en 20 secondes le corps sera déjà tombé de 2000 mètres, et sa vitesse aura atteint 200 m/s. Ce qui, de plus, n'est pas vrai du tout, car en une dizaine de secondes la résistance de l'air aura limité la vitesse de chute d'un corps humain à environ 65 m/s. La chute vraiment libre suppose donc que le corps soit à l'intérieur d'une enveloppe à qui on imposera la vitesse de chute libre.

Les vols paraboliques.

Ces considérations nous conduisent à la solution qui est réellement adoptée pour obtenir de brefs séjours en apesanteur. Un avion pointe vers le ciel (en fait, à 50°) à sa vitesse maximum. Il "injecte" ainsi expériences embarquées, et expérimentateurs, sur une orbite elliptique très allongée. L'avion va alors se contenter de *suivre* cette trajectoire, qui va passer par un apogée puis redescendre vers le sol. Pour cela le pilote va jouer sur le manche pour maintenir à zéro un accéléromètre vertical (dans le repère de l'avion). Le mécanicien, lui, va jouer sur la manette des gaz pour maintenir à zéro un accéléromètre longitudinal. Ces accéléromètres sont de simples pesons constitués d'une bille attachée à un ressort ¹.

En fait l'ellipse est si excentrique ($e = 0.99987$) qu'on va la confondre avec une parabole, d'où le nom de "vols paraboliques". Le schéma d'une telle parabole est donné dans la figure ci contre. Le déroulement est le suivant, avec les commentaires de l'ingénieur de vol :

¹Pour ceux que la technique du vol intéresserait, le pilote se maintient donc, bien sûr, à une incidence presque nulle. Au sommet de la trajectoire l'avion est en dessous de sa vitesse de décrochage, ce qui est sans importance puisqu'il va la rattrapper lors du piqué. Quant au régime moteurs, il est proche du ralenti, la poussée ne servant plus qu'à compenser la traînée aérodynamique.

- "prochaine parabole dans une minute".
- "10 secondes, 5, 4, 3, 2, 1, cabré". L'avion monte alors à pleine puissance.
- "30°, 40°, injection". En quelques secondes, incidence et moteurs réduits, on se retrouve en apesanteur. Et 20 secondes plus tard :
- "30°, 40°, ressource".

(A partir de l'angle d'injection, 50°, et de la durée de la phase en apesanteur, 20 secondes, le calcul des différents paramètres de la trajectoire peut constituer un joli problème de terminale).

Pendant le vol.

L'avion du CNES (ou plutôt de sa filiale *Novespace*) équipé pour ces vols est une vieille Caravelle de Sud-Aviation, basée à Brétigny-sur-Orge. Le vol auquel j'ai pu participer a duré deux heures et demie et nous sommes allés faire 30 paraboles au large de Quimper.

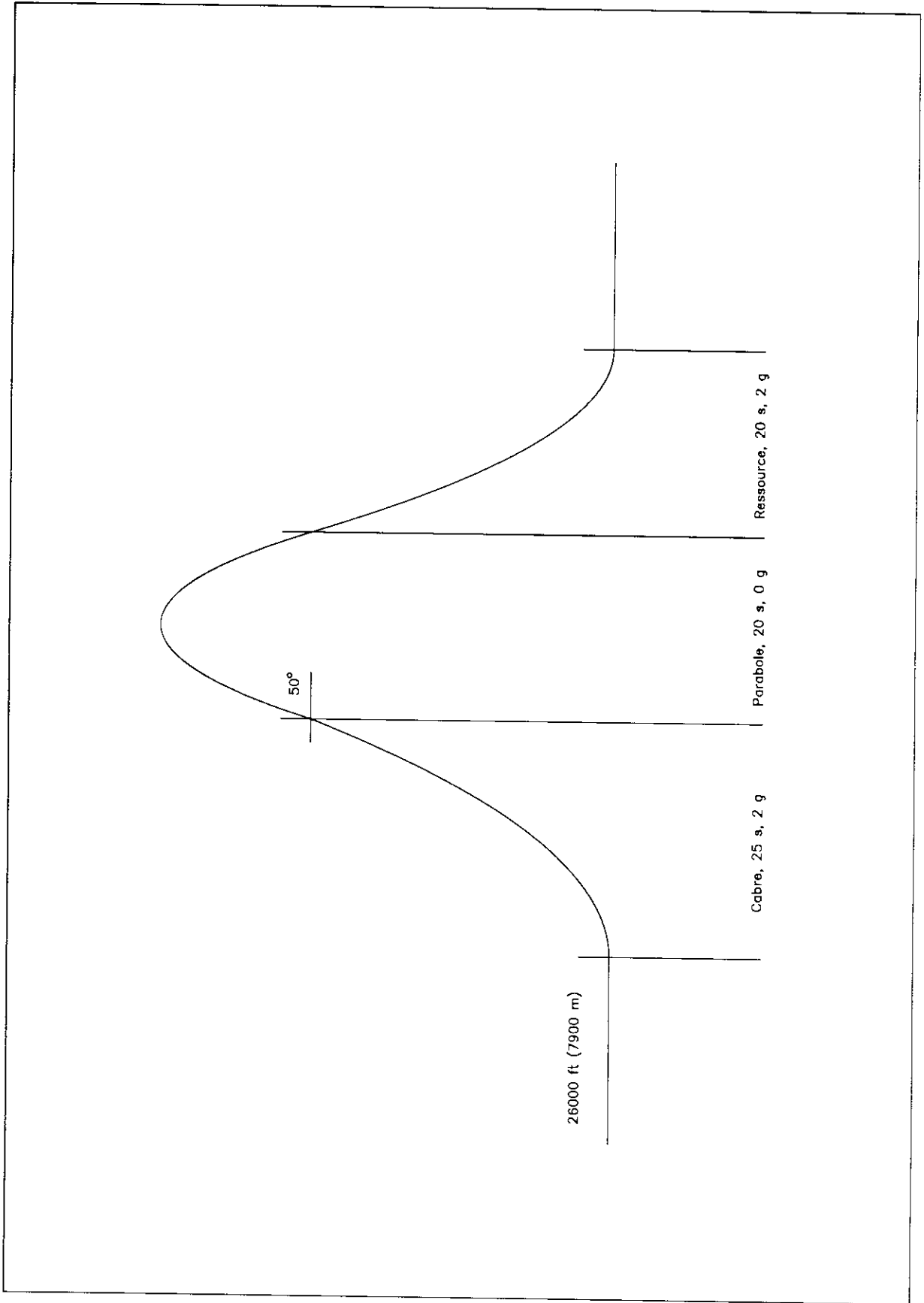
Donc, 30 fois 20 secondes d'apesanteur. En fait on garantit une accélération résiduelle $\leq 0.02g$ ($g = 9.8 \text{ m.s}^{-2}$), ce qui n'est pas négligeable : en 20 s, on peut se déplacer de 40 m par rapport à l'avion. On peut aussi atteindre par une technique un peu différente 10^{-3} à $10^{-4}g$, mais seulement sur 10 s.

Mais aussi 30 cabrés et 30 ressources, le tout à $2g$! Malgré une médication anti nausées, l'estomac y résiste mal... Il est arrivé que l'avion rentre sans terminer le vol, tous les expérimentateurs étant hors service ! Les causes profondes de ce "mal de l'espace" ne me semblent pas évidentes. Je pensais qu'on associait peut être l'apesanteur à l'idée de chute, mais il semble que non : on jouit pleinement de planer librement dans l'avion. Le désaccord entre les stimuli visuels et ceux provenant de l'oreille interne est certainement une des causes. On sait que les rotations de la tête, dans un repère inertiel, sont captées par les canaux semi-circulaires, situés dans 3 plans grosso modo orthogonaux (horizontal, frontal et sagittal). On résiste nettement mieux lorsque le plan de symétrie de la tête est dans le plan de la parabole. Pourquoi ? J'ai entendu évoquer la force de Coriolis, mais le rapport ne me paraît pas évident. Les idées des lecteurs seront les bienvenues !

En tous cas, il semble bien que nous n'ayons pas été créés en pensant aux vols spatiaux : les nausées sont dues à une malheureuse coïncidence, la proximité dans notre système nerveux des nerfs vestibulaires issus de l'oreille interne et des pneumogastriques commandant entre autres l'estomac... Dommage !

A quoi servent les vols "zéro-g" ?

Essentiellement, à préparer les vols spatiaux. Un exemple : un ingénieur de l'Observatoire de Meudon a pu ainsi vérifier le déploiement d'une antenne très basse fréquence devant équiper un satellite astronomique. Cette antenne, un long ruban d'acier, ne pouvait bien sûr pas supporter la gravité terrestre. Le vol auquel j'ai participé comprenait une vingtaine de personnes : 8 membres d'équipage (commandant de bord et copilote, mécanicien, deux ingénieurs, un médecin et deux parachutistes d'essai qui veillent à tout) et les scientifiques de la demie douzaine d'expériences embarquées.



Trois de ces expériences étudiaient le comportement de flammes diverses, bien sûr très différent en apesanteur : pas de gravité signifie pas de poussée d'Archimède, donc pas de convection. Application évidente, l'allumage des fusées en microgravité. Un des investigateurs voulait aussi voir le comportement de ses flammes en gravité lunaire : nous avons donc effectué les 5 dernières paraboles (qui n'en étaient plus. Question à 10 Francs : calculer la trajectoire...) à 0.2g, et connu le plaisir de marcher sur la Lune ! Deux autres expériences portaient sur des cobayes humains. L'une sur la coordination des mouvements nécessaires pour diverses actions simples. Le sujet portait aux articulations des mires réfléchissantes dont la position était mesurée par triangulation par deux caméras vidéo. L'autre faisait partie de l'entraînement de Claudie André-Deshays. Cette cosmonaute française, médecin cardiologue, était la doublure de J.-P. Haigneré lors du dernier vol habité franco-russe en 1993 dans la station Mir, et volera à son tour sur le prochain en 1995. Elle répétait certains des gestes prévus dans sa mission : rien n'est laissé au hasard dans ce domaine ! En tous cas, on voyait vite qu'elle a, de l'apesanteur, une expérience... qui me manquait cruellement !

Enfin, deux animateurs de l'ANSTJ photographiaient des gouttes de divers liquides, posées sur diverses surfaces, pour mesurer l'angle de raccordement (dû à la tension superficielle) en apesanteur. Car des amateurs, ou des classes de lycée, par exemple, peuvent proposer des expériences en microgravité. Si elles sont faisables et originales, elles pourront voler sur l'avion zéro-g. Quelles expériences peut-on imaginer, qui présenteraient un intérêt pédagogique en Astronomie ? Avis aux amateurs ! Une suggestion, peut-être : voir concrètement comment tourne librement un corps à 3 axes d'inertie différents, comme un noyau de comète.

François Biraud

Un petit problème de gnomonique.

Certains cadrans solaires portent des lignes dites "babyloniennes". Ce sont les lignes où se projette l'ombre de l'extrémité du style (ou mieux, la tache de lumière provenant de l'oeilleton qui lui est fixé) un certain temps (1 heure, 2 heures,...) après le lever du Soleil. Les lignes "italiennes" sont tracées sur le même principe par rapport au coucher.

Démontrer *simplement* quelle est la nature de ces lignes.