

IDÉES DE PHYSIQUE

Un saut en hauteur... de 39 kilomètres

Le parachutiste autrichien Felix Baumgartner a récemment réalisé un exploit en sautant d'un ballon à une altitude stratosphérique. Comment s'est déroulée cette mission ?

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Le 14 octobre 2012, s'élevant en ballon à 39 kilomètres d'altitude pour effectuer un saut en chute libre, l'Autrichien Felix Baumgartner quittait la troposphère, la première couche de l'atmosphère terrestre. Malgré le bleu nuit qui semblait entourer sa capsule et l'absence presque totale d'air, le parachutiste ne se trouvait pas encore dans l'espace. Il avait atteint la stratosphère, un environnement ténu, mais encore assez dense pour soutenir l'ascension du ballon et pour freiner assez rapidement la descente du parachutiste. Lors de ce saut remarquable, F. Baumgartner a notamment franchi le mur du son, bien que le mot « mur » ne soit pas tout à fait approprié.

L'altitude de 39 kilomètres est bien trop importante pour y accéder par avion. Le choix du projet *Stratos* s'était donc porté sur un vol en ballon gonflé d'hélium, comme pour les ballons-sondes météorologiques.

Mais alors que la masse de ces derniers instruments est de quelques dizaines de kilogrammes, elle est ici de l'ordre de 1 500 kilogrammes pour le passager, son scaphandre et, surtout, sa capsule.

Poussée d'Archimède contre poids et traînée

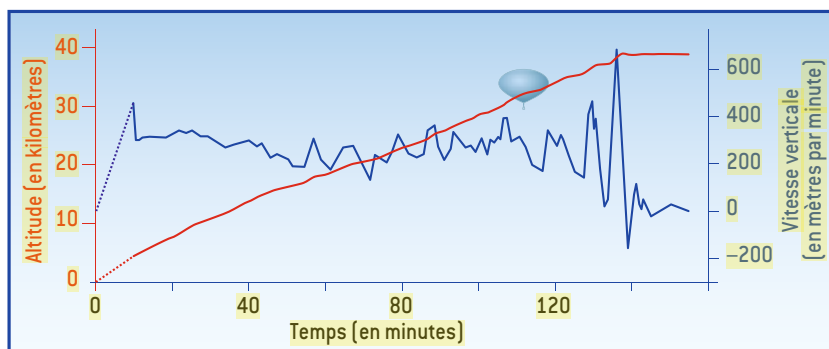
Pour que la poussée d'Archimède compense le poids de cet équipage, le ballon devait déplacer une masse d'air au moins aussi importante. Au niveau de la mer, où l'air a une masse volumique de 1,2 kilogramme par mètre cube, cela correspond à un volume d'au moins 1 250 mètres cubes, soit une sphère de 13 mètres de diamètre.

Qu'en est-il à 39 kilomètres d'altitude ? L'air y est si raréfié qu'il ne diffuse presque plus la lumière du Soleil et que l'espace environnant apparaît noir. Heureusement, on reste bien loin d'un vide spatial : la densité est d'environ

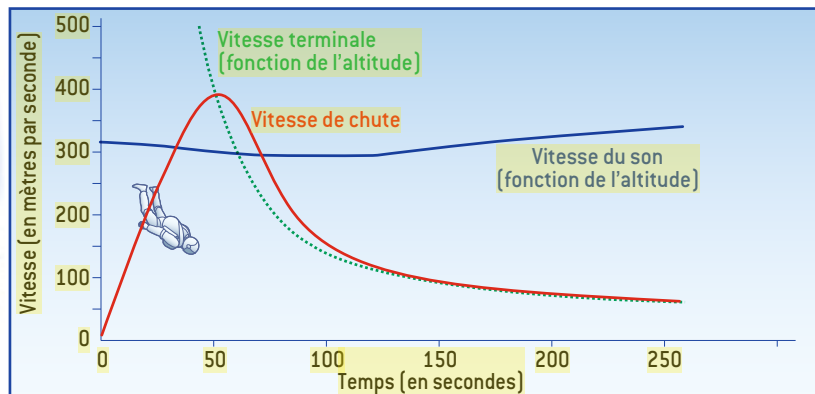
4,4 grammes par mètre cube, soit 270 fois moins qu'au niveau de la mer. Le volume d'air à déplacer correspond alors à une sphère d'au minimum 80 mètres de diamètre.

Il a donc fallu concevoir un ballon gigantesque, faisant 100 mètres de hauteur et 130 mètres de diamètre lors de son extension maximale (voir la figure 1). Pour ajuster son volume à la diminution de la densité avec l'altitude, il suffit de laisser faire la nature. En ne remplissant que partiellement le ballon, on s'assure que la pression interne est la même que celle de l'air extérieur : ainsi, lorsqu'on s'élève et que la masse volumique de l'air diminue, celle de l'hélium le fait dans les mêmes proportions.

L'hélium augmente ainsi de volume de façon que le produit du volume du ballon par la masse volumique de l'air, et donc la poussée d'Archimède, reste constant. En pratique, si l'on ajoute à la masse de l'équipage celle du ballon et de l'hélium,



1. L'ASCENSION EN BALLON de Felix Baumgartner a duré environ deux heures et demie. Malgré d'importantes fluctuations à la fin de la montée, la vitesse d'ascension est restée de l'ordre de 300 à 400 mètres par minute.



2. DANS LE SAUT EN CHUTE LIBRE DE FELIX BAUMGARTNER, la vitesse était initialement nulle. Elle a ensuite augmenté jusqu'à ce que la traînée aérodynamique devienne suffisamment intense pour freiner la chute. Puis la vitesse a diminué jusqu'à atteindre la

vitesse limite de chute [qui dépend de la densité de l'air, donc de l'altitude]. F. Baumgartner a, durant cette phase, dépassé la vitesse du son. Après avoir atteint la vitesse limite de chute, il a ouvert son parachute.

c'est plus de trois tonnes qu'il a fallu soulever. Pour assurer une vitesse d'ascension suffisante, le volume d'hélium utilisé était en fait de 5 100 mètres cubes, c'est-à-dire le double du nécessaire pour la sustentation.

Avec sa forme peu profilée, le ballon subit de plein fouet la traînée aérodynamique de l'air. Cette dernière est proportionnelle au produit du carré de la vitesse par la masse volumique de l'air et la section frontale du ballon. Soumis à son poids et à la poussée d'Archimède, le ballon accélère jusqu'à atteindre une vitesse telle que la traînée compense la force résultante.

Avec un diamètre initial de ballon d'environ 40 mètres [à en croire les photographies] et un coefficient de traînée égal à 1, on trouve une vitesse d'ascension de l'ordre de six mètres par seconde. Malgré la diminution de la masse volumique de l'air avec l'altitude, partiellement compensée par l'augmentation de la taille du ballon, cette vitesse d'ascension reste à peu près constante avant de s'effondrer lorsqu'on s'approche de l'extension maximale du ballon.

Au bout d'environ deux heures et demie d'ascension, parvenu dans la stratosphère, c'est le moment pour le parachutiste d'ouvrir la porte de sa capsule et de sauter. Comme lors de la montée, les forces mises en jeu sur lui sont le poids et la traînée [la poussée d'Archimède est très faible, l'air étant beaucoup moins dense que le parachutiste].

Dans les premiers instants de la chute, la traînée est négligeable par rapport au poids, qui est de l'ordre de 1 150 newtons. À cette altitude, en considérant un plongeon tête vers l'avant, la force de traînée, en newtons, vaut environ 6×10^{-4} fois le carré de la vitesse exprimée en mètres par seconde. On est donc pratiquement dans le cas idéal de la chute libre sans frottement : la vitesse croît proportionnellement au temps t écoulé, tandis que la distance parcourue est égale à $\frac{1}{2}gt^2$, où g est l'accélération de la pesanteur.

La vitesse de chute augmente, puis diminue

Les chiffres font frémir : au bout de 30 secondes, la vitesse est déjà de 300 mètres par seconde et plus de 4 kilomètres ont été parcourus. En l'absence d'atmosphère, F. Baumgartner atteindrait le sol au bout d'une minute supplémentaire, à la vitesse de 870 mètres par seconde !

En réalité, la vitesse de chute n'augmente pas indéfiniment. Sous le double effet de l'augmentation de la vitesse et de celle de la densité de l'air lors de la descente, la force de traînée croît très vite. La vitesse atteint un maximum de 373 mètres par seconde après environ 50 secondes, au moment précis où la traînée devient égale au poids. Ainsi, même à plus de 30 kilomètres d'altitude, où l'air

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

SUR LE WEB

Sites de la mission *Stratos* : <https://www.redbullcontentpool.com/content/stratos>, <http://www.redbullstratos.com/>

Un blog contenant des estimations quantitatives : http://theengineerspulse.blogspot.ca/2012/10/mechanical-analysis-of-baumgartners_15.html

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr

