

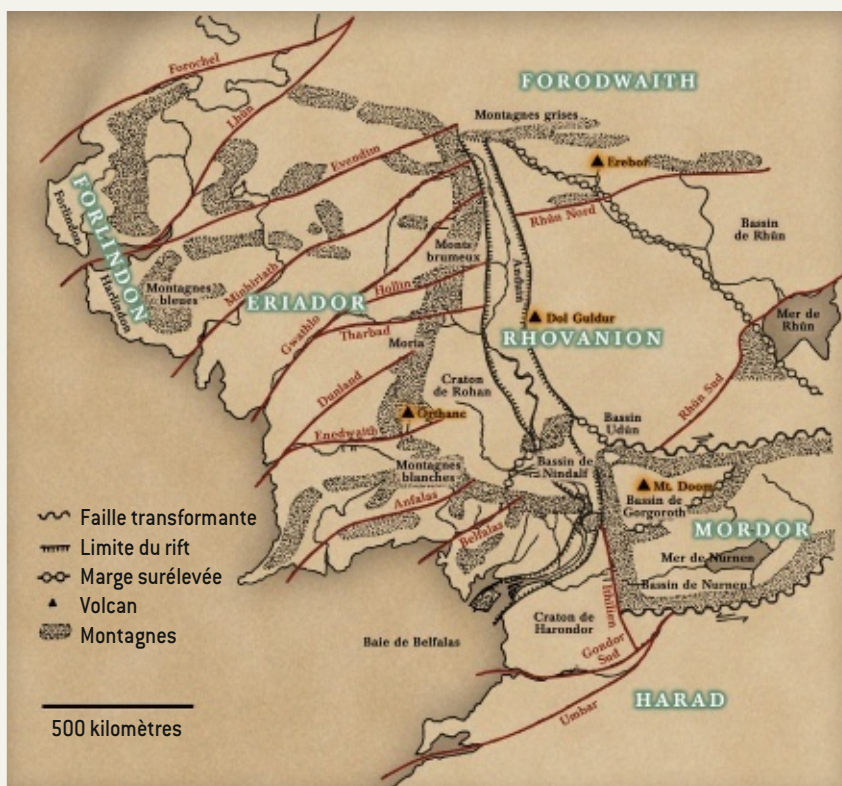


Une région importante des ouvrages de Tolkien est la Moria, notamment pour ses gisements en minerais. Ces filons sont au croisement des failles Tharbad et Hollin avec les Monts brumeux. Cette conjonction a probablement rapproché de la surface des veines d'éléments ayant été formés en profondeur sous de hautes pressions. Le plus important est le mithril enfoui au cœur des mines de la Moria. Ce matériau, fictif, est très léger et très solide : dans le *Seigneur des anneaux*, il compose une cotte de mailles tissée par les elfes ; dans le *Hobbit*, il est utilisé sous la forme d'un matériau étonnant, l'ithildin, qui n'est visible qu'à la lueur des étoiles et de la Lune. Selon Sarjeant, le mithril pourrait être un alliage de platine et de palladium.

Tolkien a apporté un soin particulier à l'univers qu'il a créé. Par exemple, pour le *Seigneur des anneaux*, il a inventé une dizaine de langues qui participent de la vraisemblance de l'ensemble. La *Terre du Milieu* est tout aussi cohérente d'un point de vue géologique !

Les adaptations cinématographiques du *Seigneur des anneaux*, entre 2001 et 2003, et du *Hobbit*, dont le premier des trois volets est sorti récemment sur les écrans, ont été tournées en Nouvelle-Zélande. Les paysages de ce pays sont-ils conformes à l'imagination de Tolkien et à l'histoire géologique de Sarjeant ? ■

W. Sarjeant, *The geology of Middle-Earth*, *Proceedings of the J. R. R. Tolkien Centenary Conference*, 1992.



## 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

**L**e 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

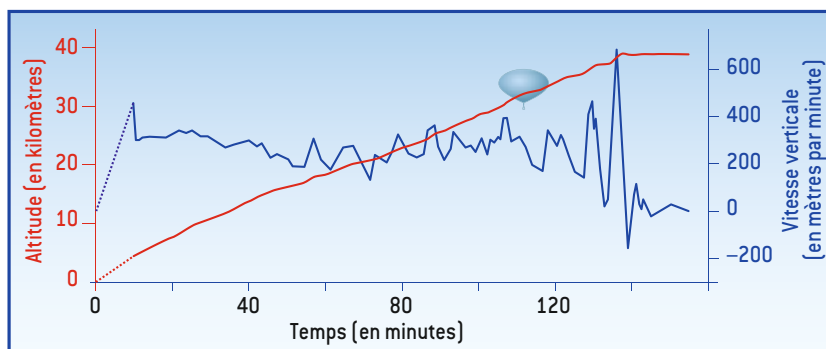
Pour que la poussée d'Archimède compense le poids de cet équipage, le ballon devait déplacer une masse d'air au moins aussi importante. Au niveau de la mer, où l'air a une masse volumique de 1,2 kilogramme par mètre cube, cela correspond à un volume d'au moins 1 250 mètres cubes, soit une sphère de 13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

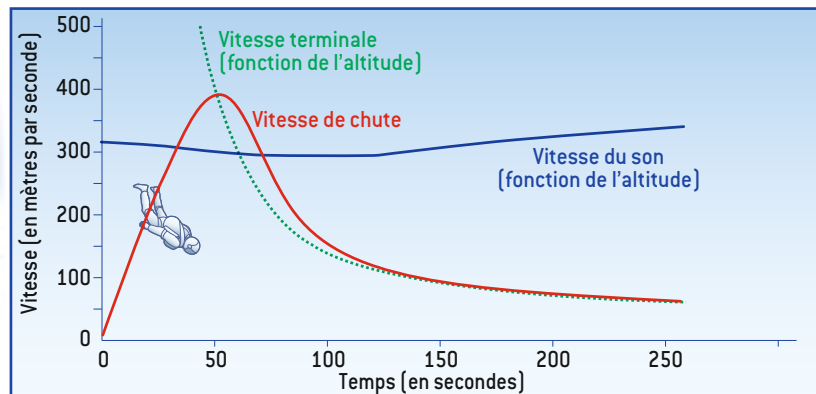
4,4 grammes par mètre cube, soit 270 fois moins qu'au niveau de la mer. Le volume d'air à déplacer correspond alors à une sphère d'au minimum 80 mètres de diamètre.

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  $6 \times 10^{-4}$  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](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](http://www.pourlascience.fr)



est 100 fois moins dense qu'au niveau du sol, la traînée n'est plus du tout négligeable.

Une fois atteint le maximum de vitesse, la traînée dépasse le poids et l'homme sauteur se met à décélérer assez fortement. Il faut attendre environ 2 minutes et 30 secondes, vers 10 kilomètres d'altitude, soit l'entrée dans la troposphère, pour que la traînée et le poids se compensent et que le sauteur atteigne sa vitesse limite de chute (autour de 60 mètres par seconde), comme tout parachutiste ordinaire !

Pour promouvoir cet exploit, on mentionne souvent que F. Baumgartner aurait franchi le mur du son : c'est tout à fait exact, mais aussi un peu trompeur. Dans un gaz donné, la vitesse du son ne dépend que de la température  $T$ . Plus précisément, dans l'air, elle est de l'ordre de  $20 \sqrt{T}$  mètres

par seconde. À la température ambiante ( $20^\circ\text{C}$ , soit 293 kelvins), on retrouve les 340 mètres par seconde bien connus. Paradoxalement, la vitesse du son diminue avec l'altitude dans la troposphère, puisque  $T$  chute, avant de remonter un peu dans la stratosphère : à 30 kilomètres d'altitude, elle n'est cependant que de 305 mètres par seconde.

## Le mur du son a été franchi, mais il était mou

Il est donc incontestable que F. Baumgartner a franchi le mur du son (voir la figure 2). Cependant, la densité à ces altitudes demeure si faible qu'il est peu probable que cela ait créé une onde de choc notable, donc qu'il y ait eu une signature sonique importante.

Il est par ailleurs mentionné que ce saut pourra alimenter la réflexion sur les procédures de survie des astronautes lors d'un retour sur Terre : au lieu d'attendre la destruction de leur vaisseau spatial dans les hautes couches de l'atmosphère, ne peuvent-ils pas sauter et revenir sur Terre comme F. Baumgartner ?

Du point de vue technique, le scaphandre et le parachute sont au point, mais il reste une grande différence : F. Baumgartner sautait sans vitesse initiale, alors que des astronautes auraient la vitesse de leur vaisseau (de l'ordre de sept kilomètres par seconde pour une navette en orbite basse), vitesse à laquelle les forces de traînée compliqueraient considérablement l'éjection et exerceraient des contraintes très fortes sur les scaphandres. ■

universcience présente

**les conférences**

entrée libre

**Les jeudis 17, 24, 31 janvier et 7, 14, 21 février à 19 h**

**théma Les uns et les autres**

**CYCLE "L'autre en nous"**

Notre corps intègre des éléments étrangers : gènes provenant d'autres espèces, millions de bactéries en symbiose, fœtus chez la mère, organe d'un autre chez le greffé. Comment se redéfinit notre identité quand l'autre est en nous ?

Avec le soutien

SCIENCE VIE

programme complet sur [www.universcience.fr](http://www.universcience.fr)

## SCIENCE &amp; GASTRONOMIE

## Des gelées à mâcher

*Les consistances initiales des ingrédients alimentaires ne sont pas une fatalité. Avec un peu de travail, on peut les modifier et les adapter à nos goûts.*

Hervé THIS



Une carotte est croquante, une viande de bœuf est fibreuse, et une gelée de groseilles est molle, aqueuse. Devons-nous accepter sans discuter la consistance des ingrédients de nos aliments, ou bien pouvons-nous travailler et obtenir des consistances adaptées à nos goûts ?

La question mérite d'être posée, à une époque où certains parent la nature de toutes les vertus et où les cuisiniers disent « respecter les produits » [alors qu'ils font des frites en mettant ces produits que sont les pommes de terre dans de l'huile à 200 °C]. Et puis, sommes-nous toujours parfaitement heureux de la qualité des ingrédients que nous nous procurons ? Non : notre pouvoir d'achat, le temps dont nous disposons, la variabilité des produits végétaux ou animaux, la saison et mille autres contingences font que nos ingrédients sont imparfaits. Nous avons cependant la possibilité de les améliorer, et c'est d'ailleurs ce qu'a toujours fait la cuisine !

En cette saison d'hiver, où les gibiers appellent des gelées de groseille ou de cassis, que faire pour viser des gelées améliorées ? Quand on centrifuge des carottes, on produit un jus frais, orange, au goût puissant, et... une « pulpe » que l'on jette, alors qu'il s'agit d'un ingrédient comestible (contenant de la cellulose, c'est-à-dire ce que les nutritionnistes nomment des « fibres alimentaires »). Conservons

cette pulpe et ajoutons-la à une gelée de groseilles ou de cassis que l'on a fait brièvement chauffer au four à micro-ondes : lors du refroidissement, nous obtenons une gelée de consistance bien différente. Certes, la transparence sera perdue, mais elle n'est pas essentielle dans le cas du cassis, où les pigments sombres ne laissent pas passer facilement la lumière. Inversement, nous pouvons régler la consistance sur mesure, afin de l'approprier à l'environnement culinaire où la « gelée modifiée » est placée.

Cette première expérience peut être généralisée : pourquoi ne pas utiliser des matières souvent considérées comme des déchets ? C'est ce qu'a fait l'industrie alimentaire avec le surimi, pâte produite à partir de petits poissons ou de déchets de poissons que l'on cuit, seule ou mêlée à de l'amidon et à du blanc d'œuf (ce qui augmente la teneur en eau) et à laquelle on donne un goût de crabe. Notons que le surimi n'est pas une nouveauté culinaire : les terrines, pains ou quenelles de poisson s'obtiennent de la même façon.

En cuisine, le même type de procédés est possible, avec du poisson ou de la viande. Normalement, les terrines sont des masses, mais il n'est guère difficile de déposer des couches minces sur des plaques de cuisson que l'on enfourne. Et si l'on veut une apparence fibreuse, il suffit de racler la couche à l'aide d'un peigne, avant la cuisson. Le

repliement en bâtonnets n'est pas obligatoire, bien sûr, et l'on pourra s'inspirer de l'exemple du surimi, qui utilise du paprika pour colorer, en généralisant à l'ensemble des colorants alimentaires.

Allons plus loin : pourquoi ne pas hybrider les règnes végétal et animal ? La cuisson d'une joue de bœuf ou de poisson dans une grande quantité d'eau produit des agrégats de protéines dont on peut retirer le goût, pour les utiliser ensuite dans des mets à base de tissus végétaux, voire les gelées évoquées en début d'article. Inversement, des fibres végétales peuvent être ajoutées à des produits carnés. Tout est possible, pour qui veut jouer avec la nourriture... afin de contenter ses convives. Oui, nous pourrions rester à Noël sur la dinde... trop souvent sèche et fibreuse quand elle n'est pas préparée à temps, mais pourquoi ne pas en changer la consistance à l'avance afin d'avoir encore mieux ? ■



Hervé THIS est chimiste dans le Groupe INRA de gastronomie moléculaire, professeur à AgroParisTech et directeur scientifique de la Fondation Science & Culture Alimentaire (Académie des sciences).

Retrouvez les articles de H. This sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)

