



Préparation de la chaîne de vol sur le site du lâcher.
Preparing the flight train at the launch site.

© CNES/MANUEL PEDOUSSAULT, 2007

Un ballon pour le lycée

LILIANE FEUILLERAC POUR LE CNES

Simple de conception et d'utilisation, le ballon continue à occuper une place unique parmi les outils de la recherche scientifique moderne. Mondialement reconnu pour sa compétence en la matière, le CNES est à l'initiative de « Un ballon pour l'école », une opération déclinée du cycle 3 jusqu'aux lycées, voire pour les étudiants et dans le cadre des universités d'été pour les enseignants.

Le programme « Un ballon pour l'école » fait appel aux mêmes exigences de rigueur dans la démarche et dans l'exécution qu'un ballon scientifique opéré par les équipes du CNES. L'approche transverse de nombreuses disciplines fait du ballon un support pédagogique très prisé des enseignants : 150 ballons décollent chaque année dans le cadre éducatif.

En faisant interagir des notions de physique, de mathématiques, d'électricité, de sciences naturelles, de géographie, etc., les phases de construction du ballon ouvrent la voie à l'approche concrète des sciences. Elles trouvent toute leur pertinence par exemple, dans le cadre des thèmes laissés à la libre initiative des enseignants dans l'option MPS (méthodes pratiques scientifiques) pour les classes de 2^{nde}. Cette année encore, elles représentent une application potentielle des notions théoriques pour les classes de 1^{re} aux prises avec la poussée d'Archimède.

Ballooning for high schools

LILIANE FEUILLERAC FOR CNES

Simple in design and easy to operate, balloons continue to occupy a unique place in modern scientific research. Renowned worldwide for its ballooning expertise, CNES is behind the Balloon for School initiative for primary schools, high schools, students and summer schools for teachers. The Balloon for School programme demands the same rigorous approach and execution as a scientific balloon operated by CNES teams. The cross-cutting approach of many school subjects makes balloons a very popular teaching aid: 150 balloons are released every year for educational purposes. The phases involved in building a balloon call on physics, maths, electricity, natural sciences, geography and more, nurturing a hands-on approach to science. This cross-cutting approach really comes into its own for the practical science methods option taught in the first year of high school. And this year again, ballooning will serve to illustrate aspects of theory for second-year high-school pupils working on Archimedes' principle.



Portrait Profile
Nicolas Verdier
> P. 4

www.cnes.fr

www.cnes.fr/enseignants-et-mediateurs/

BALLON VOLE ! POURQUOI ? COMMENT ?



Quelle est la différence entre ballon éducatif et ballon scientifique ?

Le ballon éducatif est un ballon de petite taille (9 m³ et 2 m de diamètre environ), dilatable, habituellement utilisé pour les sondages météorologiques. Il est fabriqué en série, techniquement facile à mettre en œuvre et suffisant pour emporter des charges utiles de 1 à 2,5 kg chargées d'expériences. Les ballons scientifiques, quant à eux, sont dilatables ou pressurisés pour offrir aux laboratoires scientifiques une large gamme de profils de vol. Leur charge utile peut varier de quelques centaines de grammes à deux tonnes. Le plus gros ballon stratosphérique réalisé à ce jour a un volume de 1,2 million de m³ pour une masse de 1,3 tonne et un diamètre de 148 mètres.

Les ballons éducatifs ou scientifiques n'ont ni pilote, ni moteur, ni carburant. Comment s'envolent-ils ?

Lors du vol d'un ballon, différentes forces s'appliquent ; la poussée d'Archimède est la force principale. Découvert par le savant grec Archimède qui lui a donné son nom (287 à 212 av. J.-C.) ce principe établit que « *tout corps plongé dans un fluide reçoit une force opposée au sens du poids et de valeur égale au poids du volume de fluide déplacé* ». En 1782, Joseph Montgolfier a appliqué pour la première fois ce principe à l'aérostat qui porte son nom. Les autres forces qui interviennent sont le poids et les forces de frottement sur l'enveloppe. Si le bilan de l'ensemble des forces correspond à une force vers le haut, le ballon monte. S'il est nul, le ballon flotte à hauteur constante dans l'atmosphère. Si le bilan des forces correspond à une force vers le bas, le ballon descend.

Fly away balloon! How and why we fly balloons

What is the difference between educational and science balloons? Educational balloons are small (about 9 m³ and 2 m across) and expandable. They are usually employed for weather sounding. They are mass produced, cheap and technically easy to operate, but sufficient to carry experiment payloads of 1 to 2.5 kilograms. Science balloons are expandable or pressurized to offer research laboratories more flight profile options. Their payloads may vary from a few hundred grams to two tonnes. The largest stratospheric balloon ever made had a volume of 1.2 million m³, weighed 1.3 tonnes and was 148 metres across.

Educational and science balloons have no pilot, no engine and no fuel. So how do they fly?

A number of forces apply to balloon flight. The main one is buoyancy. Discovered by the Greek scholar Archimedes (287 to 212 BC), after whom the principle is named,

the physical law of buoyancy states that any body completely or partially submerged in a fluid is acted upon by an upward force equal to the weight of the fluid displaced. In 1782, Joseph Montgolfier was the first to apply this principle to a hot-air balloon. The other forces exerted are weight and drag on the balloon envelope. If all of these forces together produce an upward force, the balloon rises; if they cancel each other out, the balloon drifts at a constant altitude; and if they produce a downward force, the balloon drops.

Are there different types of balloon and do they all work the same way?

Buoyancy is what causes any balloon to rise. Educational balloons have a flexible envelope that expands during ascent as the gas inside it expands, eventually filling all the available volume as the outside pressure drops until the balloon bursts. If

Existe-t-il plusieurs types de ballons et fonctionnent-ils sur le même principe ?

C'est toujours la poussée d'Archimède qui procure au ballon sa force ascensionnelle. Dans le cas des ballons éducatifs, l'enveloppe souple du ballon va augmenter de volume au cours de son ascension sous l'effet de la dilatation du gaz qui est à l'intérieur et qui occupe tout le volume disponible du fait de la baisse de pression extérieure, ceci jusqu'à son éclatement (ceci jusqu'à son éclatement). Si on libère du gaz grâce à des manches d'évacuation, l'expansion de l'enveloppe s'arrête et l'aérostat plafonne, c'est le cas des grands ballons stratosphériques du CNES.

Autre méthode, la contention du gaz dans l'enveloppe qui rend le ballon inextensible et permet de voler à densité atmosphérique constante. C'est la famille des ballons pressurisés qui permet au CNES d'offrir aux scientifiques des vols de longue durée.

Une fois lâchés, comment les contrôle-t-on ?

Chaque ballon scientifique est équipé d'une nacelle en liaison permanente avec un centre de contrôle au sol. Ces nacelles permettent de télécommander des systèmes installés à bord du ballon. Il est ainsi possible de libérer du gaz ou au contraire du lest et de commander la montée ou la descente du ballon. Des logiciels au sol permettent également de simuler le comportement du ballon pour anticiper les mouvements. Les liaisons ballon-centre de contrôle peuvent se faire directement ou via une liaison satellite. La retombée du ballon éducatif n'est pas maîtrisée puisqu'il est uniquement soumis aux conditions atmosphériques, en revanche sa vitesse de chute est étudiée de telle manière qu'il ne puisse engendrer de dégâts au sol.

Dernières vérifications avant fermeture de la nacelle.

Final checks before closing the gondola.



we release gas through valves, the envelope stops expanding and the balloon levels out—as with the large stratospheric balloons used by CNES. Another method consists in confining the gas inside the envelope, which makes the balloon non-expandable and allows it to fly at a constant atmospheric density. This is how the superpressure balloons that CNES employs for long-duration scientific flights work.

Once a balloon is released, how is it controlled?

Each science balloon is equipped with a

gondola that communicates constantly with a ground control centre. The gondola allows the systems on board the balloon to be controlled remotely, for example to release gas or ballast and command it to climb or descend. Software on the ground also simulates the balloon's behaviour to anticipate its trajectory. Links between the balloon and control centre may be direct or via satellite. An educational balloon's descent is not controlled since it is only subjected to weather conditions, but its descent velocity is designed to ensure it does not cause any damage on impact.

EXERCICE DE PHYSIQUE

Niveau: 1^{re} S (programme 2001-2011) ou 2^{nde} enseignement d'exploration MPS
 Compétences ● utiliser une relation ● interpréter des résultats ● exploiter un graphique

LÂCHER ET VOLD'UN BALLON-SONDE

Un ballon-sonde est constitué d'une enveloppe en caoutchouc gonflé à l'hélium, d'une nacelle emportant le matériel scientifique, d'un parachute et d'un réflecteur radar. L'ensemble forme le système S, de masse M = 4,6 kg, étudié dans un référentiel terrestre. On supposera qu'il n'y a pas de vent.

1. Recherche du volume d'hélium nécessaire au décollage. Lors du décollage le volume du ballon sera noté V_b. Les forces de frottement de l'air sont négligeables.

a. Les forces appliquées au système dans le référentiel terrestre sont le poids du système et la poussée d'Archimède exercée par l'air sur le ballon. Donner l'expression littérale de la valeur de chaque force.

b. Quelle condition doivent remplir les valeurs de ces forces pour que le ballon décolle?

c. En déduire le volume minimal d'hélium à partir duquel le système S peut décoller.

2. Ascension du ballon .

a. La durée de l'ascension est de l'ordre de 1 h à 2 h. En vous aidant du graphique ci-contre, montrer que très rapidement le ballon atteint une vitesse maximale dite vitesse limite. Préciser sa valeur.

b. Les forces de frottement de l'air ne peuvent plus être négligées car elles dépendent de la vitesse qui n'est plus négligeable lors de l'ascension. Faire le bilan des forces appliquées au système S.

c. L'ascension étant considérée comme pratiquement rectiligne uniforme, en déduire une relation entre ces forces, puis la direction et le sens de la force de frottement.

Données: / Data

- masse volumique de l'air au niveau du sol: / density of air at ground level: $\rho_{air} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- intensité de la pesanteur: / gravity $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$
- poussée d'Archimède: / buoyancy: tout corps immergé dans un fluide (liquide ou gaz) est soumis à une force verticale / a body immersed in a fluid

(liquid or gas) is subjected to an upward vertical force, \vec{F}_A , orientée vers le haut, de valeur égale au poids du fluide déplacé: / equal to the weight of the fluid displaced:

$F_A = \rho \cdot V \cdot g$ avec / where ρ masse volumique du fluide (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), V volume de fluide déplacé par le corps (en m^3) / is the fluid density (in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) and V is the volume of fluid displaced by the body (in m^3).

(Données Planète Sciences et CNES / Data from Planète Sciences and CNES)

Éléments de réponses / Answers

1/ a. / 1.a. - $P = M \times g$ et / and $F_A = \rho_{air} \times V_b \times g$

b. / b. - Pour que le ballon décolle: / To lift the balloon: $F_A > P$

c. / c. - D'après la relation précédente / From the above relation, $\rho_{air} \times V_b \times g > M \times g$

donc / therefore $> \frac{M}{\rho_{air}}; V_b \text{ min} = \frac{4,6}{1,2} = 3,8 \text{ m}^3$.

2/ a. / 2.a. - La vitesse limite est atteinte au bout d'environ 2 s; cette durée est donc négligeable devant la durée d'ascension du ballon. Valeur de $v_{\text{limite}} = 3,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. / The balloon reaches its maximum velocity after about 2 seconds; this is negligible compared to the duration of the balloon's ascent. Value of $v_{\text{max}} = 3,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

b. / b. - Les forces appliquées sont / The forces exerted are \vec{F}_A, \vec{P} et / and \vec{f} (force de frottements de l'air). / (atmospheric drag forces)

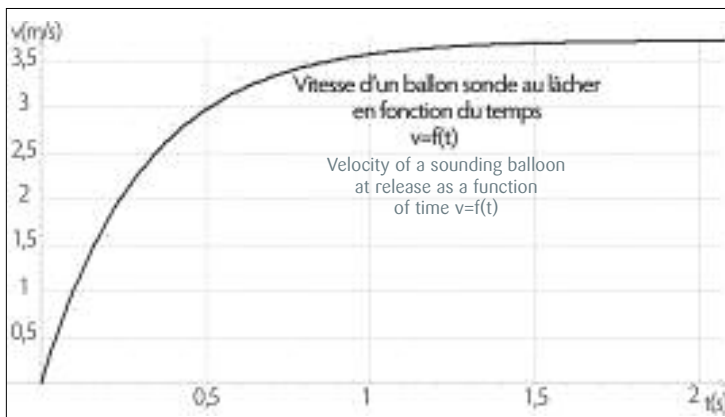
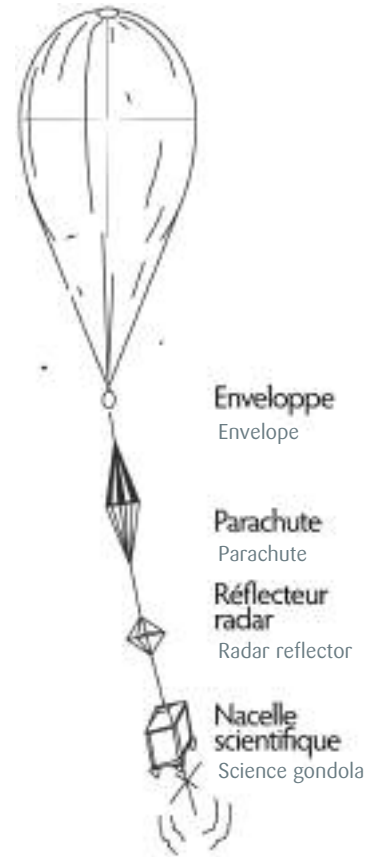
c. / c. - Le mouvement étant considéré comme rectiligne uniforme, alors les forces se compensent / The balloon's motion is considered rectilinear and uniform, so the forces cancel each other out:

$$\vec{F}_A + \vec{P} + \vec{f} = \vec{0}$$

$$\vec{f} = -[\vec{F}_A + \vec{P}]$$

Les forces / As the forces \vec{P} et / and \vec{F}_A étant verticales, la force / are vertical, the force \vec{f} est verticale / is also vertical.

Si / If $F_A > P$, \vec{f} est vers le bas / is exerted downwards.



À gauche: Soudure du capteur de pression par un élève.
 Left: A pupil solders the pressure sensor.
 À droite: Expérience d'étalonnage d'un capteur d'humidité
 Right: Experiment to calibrate a humidity sensor.



PHYSICS EXERCISE

Level: 2nd year of high school, science stream (2010-2011 curriculum), or 1st year practical science methods

Students need to know how to:

- use a relation ● interpret results ● use a graph

Release and flight of a sounding balloon

A sounding balloon consists of a rubber envelope inflated with helium, a science gondola, a parachute and a radar reflector. Together, these elements form the system S, with mass M=4.6 kg, in a terrestrial reference frame. We shall assume there is no wind.

1- Finding the volume of helium required to lift the balloon

The volume of the balloon as it lifts off is noted V_b. Atmospheric drag is negligible.

- a- The forces exerted on the system in the terrestrial reference frame are the system weight and buoyancy. Give the literal expression of the value of each force.
- b- What condition must the values of these forces satisfy to lift the balloon?
- c- Deduce from this the minimum volume of helium required to lift the system S.

2- Balloon ascent

- a- The ascent lasts 1 to 2 hours. Using the graph opposite, show how the balloon very rapidly reaches maximum speed and determine its value.
- b- Atmospheric drag is no longer negligible now, because it depends on velocity, which is itself non-negligible during ascent. Determine the forces exerted on the system S.
- c- Assuming a virtually rectilinear, uniform ascent, deduce the relation between these forces and then the plane and direction of atmospheric drag.

Portrait Nicolas Verdier, ingénieur responsable du développement des aéroclippers et des ballons pressurisés de couche limite.



“**POUR NICOLAS « TRANSMETTRE, C'EST VITAL ! », À CE TITRE, IL ASSURE UN SUPPORT TECHNIQUE AU SERVICE JEUNESSE ET ACTEURS DE L'ÉDUCATION.**

“Communicating your passion is vital!” says Nicolas, who provides technical support to the Youth Outreach and Education office.

© CNES/S. GIRARD, 2010

PROFILE: NICOLAS VERDIER
Engineer in charge of developing aéroclippers and boundary layer superpressure balloons

An irresistible need to inspire
“I was 7 when Ariane made its first flight,” says Nicolas Verdier as a possible explanation for his enduring passion for space. As a teenager, it became his main leisure pursuit. Later, it would be his job and his hobby.

Ariane dazzled him as a child as a teenager Nicolas Verdier enjoyed “playing about” with systems. After his baccalauréat, he logically chose an engineering school, ESEO in Angers. Fascinated by space, his preferred reading material was the science magazine *Sciences et Vie*, where he first discovered scientific ballooning and a new passion for lighter-than-air craft. Nicolas soon joined ANSTJ, the French national youth association for science and technology, becoming chair of its Balloons committee. In 1995, he worked within ANSTJ to coordinate the Balloon for School activity initiated by CNES. He also began to conceive a telemetry system called Kiwi, still used today on educational balloons. And so Nicolas found himself at CNES, joining the agency’s Education department in 1996. “I’m a sort of jack of all trades,” he says: mini-rocket launches for school was his idea; so were the first Spatiobus and the educational experiments flown on the Mir space station in 1999. Three years later, Nicolas Verdier moved to CNES’s Balloons division, where he was still able to devote time to outreach. “Communicating your passion is vital!” he says. Indeed, he provides technical support to the Youth Outreach and Education office. And his enthusiasm for space remains unaltered. Today, rockets and balloons are his main centres of interest. But that’s not all. “When you see that first twinkle in the eye of a youngster you’ve just helped to launch a rocket or balloon, it’s the best return on investment you could hope for,” he concludes... moved like the 7-year-old child he once was, watching Ariane streak skywards in a cloud of smoke.

Un irrésistible besoin de transmettre

« J'avais 7 ans lors du premier lancement d'Ariane », dit Nicolas Verdier comme une explication possible à la passion du spatial qui l'anime depuis toujours. Adolescent, il en a fait le centre d'intérêt de ses loisirs. Adulte il en fait son métier... et son hobby!

Cursus classique

- 1989 - Bac C
- 1994 - Diplôme d'ingénieur à l'Eseo (Angers)
- 1995 - DEA en microélectronique à Sup-Aéro (Toulouse)
- 1996 - Entrée au Service éducation de la Direction de l'éducation et des affaires publiques du CNES
- 1999 - Division ballons

- Career path
- 1989 - Baccalauréat (C stream)
- 1994 - Engineering diploma from ESEO (Angers)
- 1995 - Postgraduate diploma in microelectronics from SupAero (Toulouse)
- 1996 - Joins Education department at CNES's Communication, Education and Public Affairs directorate
- 1999 - Joins CNES Balloons division

Ariane aura donc ébloui son regard d'enfant et orienté le cours de sa vie. Sa vocation est née. Adolescent, Nicolas Verdier « bidouille » des systèmes. Jeune bachelier, il s'oriente logiquement vers une école d'ingénieurs; ce sera l'Eseo à Angers. Sa culture, c'est l'espace, son livre de chevet *Sciences et Vie*; il y découvre une expérimentation sous ballon qui déclenche une nouvelle passion pour ces aérostats. Nicolas Verdier se rapproche alors de l'ANSTJ (Association nationale sciences techniques jeunesse) où il prend la responsabilité de la commission Ballons. En 1995, au sein de l'association, il assure la coordination d'une activité initiée par le CNES... « Un ballon pour l'école » ! En parallèle, il entreprend la conception d'un système de télémétrie, Kiwi, toujours utilisé pour les ballons éducatifs. La porte s'entrouvre sur le CNES, via le service éducation que Nicolas Verdier intègre en 1996. « J'ai touché à tout », dit-il avec un inaltérable sourire: le lancement d'« Une minifusée à l'école », c'est lui. Le premier Spatiobus, c'est lui. Les expériences pédagogiques embarquées sur Mir en 1999, c'est encore lui. Trois ans plus tard, Nicolas Verdier entre à la Division ballons du CNES avec un privilège, celui de bénéficier encore d'un temps de soutien à l'éducation. « Transmettre, c'est vital! », dit-il. À ce titre, il assure un support technique au Service jeunesse et acteurs de l'éducation. L'autre privilège c'est un enthousiasme intact pour le spatial et pour les missions qui lui sont confiées. Aujourd'hui, ce qui le fait courir, ce sont toujours les fusées et les ballons. Mais pas seulement. « Quand on voit la petite lumière briller dans l'œil du jeune qu'on vient d'aider à lancer sa fusée ou son ballon, c'est le meilleur retour sur investissement », dit-il... ému comme l'enfant de 7 ans qui découvrirait, dans un nuage de fumée, Ariane déchirant l'espace.

(NDR. Nos remerciements vont à Michel Vouzelle, professeur chargé de mission auprès du CNES, Christine Payrau, professeur de physique au lycée Foch de Rodez, Nicolas Verdier, CNES). (Editor's note: Our thanks to Michel Vouzelle, teacher and advisor to CNES; Christine Payrau, physics teacher at Lycée Foch, Rodez; and Nicolas Verdier, CNES).