

L'atterrisseur Philae en approche de la comète Churyumov-Gerasimenko.
The Philae lander approaches comet Churyumov-Gerasimenko.

Philae / L'heure est aux plans sur la comète !

LILIANE FEUILLERAC POUR LE CNES

Le 11 novembre 2014, Rosetta larguera son lander Philae au-dessus de la comète Churyumov-Gerasimenko. D'ici là, tous les lycéens peuvent tirer des plans sur la comète ! Les classes de 2^{de} vont se mettre dans le sillage de Philae, via la physique-chimie dont un des thèmes est dédié à l'Univers et à l'observation des planètes. En SVT, le programme aborde, lui, « la Terre dans l'Univers et l'évolution du vivant ». Or pour comprendre les conditions de la vie sur Terre, faut-il les connaître dans le Système solaire, sur les planètes ou sur les comètes. Là encore suivez Philae, il ouvre la voie. Enfin en 1^{re} S, l'approche de la matière se fait à différentes échelles dans la partie « Comprendre, lois et modèles », et peut conduire jusqu'à la mission Rosetta en résolvant l'énigme suivante : puisque l'atterrissage sur la comète n'obéit pas aux règles de gravité, comment fait-on pour poser le lander ? Un indice : et si on dérivait vers la gravitation ?

Enfin, si Philae réconciliait aussi un peu les jeunes, l'art, l'histoire et la science ? Comment ? En observant la tapisserie de Bayeux. Dès 1066, elle a acté le passage d'une autre comète célèbre, la comète de Halley... Alors, on se prépare et on relève les copies en novembre !



Portrait Profile
Philippe Gaudon
> P. 4

PHILAE

Preparing for a comet encounter

LILIANE FEUILLERAC FOR CNES

On 11 November 2014, Rosetta will set down its Philae lander on the surface of comet Churyumov-Gerasimenko. But until then, high-school students will have plenty to keep them busy! 10th graders will follow in Philae's wake in their physics/chemistry classes, as they focus on the Universe and planets. And in life and Earth science, the curriculum considers Earth's place in the Universe and the evolution of life. But to understand how life emerged on Earth, we first need to understand the conditions in the solar system, on other planets or on comets. Here again, Philae would be a good place to start. Meanwhile, 11th graders will be studying matter, laws and models, an area where the Rosetta mission would be an excellent a case study. They might also be set the following puzzle: Since landing on a comet does not obey the laws of gravity, how will we get the lander to touch down? Gravitation could give us a clue. And what if Philae reconciled youngsters with art, history and science? How? Maybe by looking at the Bayeux tapestry, which as long ago as 1066 depicted the passing of another famous comet, Halley... Heads down and have your assignments ready for 11 November!

L'EXPLORATION D'UNE COMÈTE EN TROIS QUESTIONS

■ Qu'est-ce qu'une comète ? Les missions spatiales sont-elles des moyens pertinents pour les étudier ?

Les comètes sont de petits corps célestes du Système solaire. Leur noyau est sombre et inerte. Nés et situés loin du Soleil la majeure partie du temps, ces astres peuvent s'en rapprocher périodiquement. En se réchauffant, la surface du noyau s'évapore, soulève la poussière contenue dans le sol. Le noyau s'entoure alors d'un halo lumineux qui fait figure de « chevelure » ou **coma** prolongée d'une longue traîne, la queue. Cette dernière est constituée des gaz et poussières laissés derrière elle par la comète. L'observation du noyau d'une comète est délicate depuis la Terre. En le survolant, les missions spatiales contournent ces obstacles. Trois types de missions spatiales sont possibles : le survol rapide au-dessus de la comète, l'escorte avec atterrissage d'un **lander** et le retour d'échantillons envisagé dans des missions ultérieures.

■ Peut-on atterrir sur une comète comme sur une planète ?

Les conditions sont très différentes. Philae doit se poser sur le noyau de la comète. Or la nature exacte de cette surface n'est pas connue. On sait juste qu'elle peut être assimilée à une « boule de neige sale ». Pendant la descente, la trajectoire de Philae sera « passive », c'est le poids, la vitesse de l'orbiteur

Rosetta et la vitesse de séparation initiale de Philae qui la déterminent. Le lander ne devra pas heurter brutalement la surface, mais la masse et la gravité de la comète sont très faibles. Toutes les opérations seront planifiées : il faudra déterminer précisément le point de séparation avec Rosetta, maîtriser la vitesse de séparation, stabiliser la position, tenir compte des perturbations pendant la descente, amortir l'atterrissage pour éviter « l'effet ressort » au toucher de la surface et harponner Philae (cf. « Scénario d'une descente » en page poster). Chargés de l'analyse mission et de l'étude du choix du site d'accueil, les ingénieurs du CNES améliorent depuis de nombreuses années ce scénario.

■ Rosetta et Philae vont-ils rester en correspondance après l'atterrissage ?

Oui, un long moment. L'objectif minimal de Philae sur la comète est de quelques jours, mais les opérations de surface pourront se poursuivre pendant plusieurs mois. Des mesures simultanées seront réalisées à bord de l'orbiteur et à bord du lander pour analyser la structure interne de la comète ou pour comparer le magnétisme, les composés au sol et en altitude. Cet interfaçage est de toute façon nécessaire, notamment pour transmettre les commandes et les données, car Philae ne peut les transmettre directement à la Terre.

Cometary exploration Q&A

What are comets and are space missions the best way to study them?

Comets are small bodies in the solar system with a dark, inert core. They are born and spend most of their lives a long way from the Sun, which they may also approach periodically. When they do, the surface of their nucleus warms and evaporates, kicking up dust in the process to form a bright 'halo' or **coma** with a long tail trailing behind. This tail is made up of gas and dust from the comet. This is why observing a comet's nucleus from Earth is so difficult, and why space missions can help.

Three types of mission are possible: a quick flyby, an orbiter to escort the comet and a **lander**, and sample return.

Can we land on a comet like we do on a planet?

The conditions on a comet are very different. Philae is set to land on the comet's nucleus, but we don't know exactly what kind of surface it will find. All we know is that a comet is a bit like a 'dirty iceball'. During the descent, Philae will follow a 'passive' trajectory determined by the mass and velocity of the Rosetta orbiter and the initial separation velocity. The lander

must touch down softly, but the comet's mass and gravity are very low. Every operation needs to be carefully planned: we must precisely determine the point where the lander separates from Rosetta, control the separation velocity, stabilize its position, factor in all perturbations during the descent, dampen the landing to avoid Philae bouncing off the surface and then anchor it to the nucleus (see descent scenario in the poster section). CNES's engineers have been analysing the mission and studying possible landing sites for years to improve this scenario.

Will Rosetta and Philae communicate with each other after the landing?

Yes, for quite some time. Philae's minimum goal is to operate on the comet for a few days, but surface science operations could continue for several months. Simultaneous measurements will be acquired by the orbiter and lander to probe the comet's inner structure and compare the magnetic field and components on and above the surface. And anyway, the two will have to communicate to send commands and data, since Philae can't transmit them directly to Earth.

Lexique Glossary

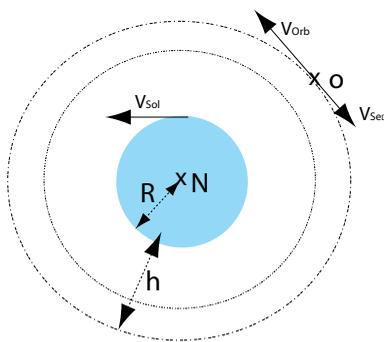
Coma Nom latin qui, décliné, a donné le nom de comète.	Coma Latin name from which the word 'comet' is derived.
Lander Le lander est un engin spatial embarqué dans un véhicule spatial. Il est destiné à se poser sur la surface d'un astre. Dans le cas de la mission Rosetta, le satellite restera en orbite et le lander Philae se posera sur la comète Churyumov-Gerasimenko.	Lander A lander is flown on a spacecraft to its destination. For the Rosetta mission, the spacecraft will stay in orbit around comet Churyumov-Gerasimenko while Philae will land on it.

EXERCICE

CALCUL DE LA TRAJECTOIRE D'ATTERRISSAGE DE PHILAE SUR LA COMÈTE

Hypothèses simplifiées du problème :

- La comète est sphérique de rayon R.
- La trajectoire de l'orbiteur est circulaire d'altitude h autour du centre de gravité de la comète.
- La densité ρ de la comète est de 0,5 (ou masse volumique de 500 kg/m³, la moitié de celle de la glace).
- L'atterrissage est prévu sur l'équateur de la comète.



Vue de la comète depuis le pôle Nord
View of comet looking down on its North pole

Faire tous les calculs suivants dans le système de mesures SI : pour une comète de 2 km de rayon, un jour cométaire de 12 heures et 2 altitudes de séparation (2 km et 3 km).

1 - À partir du volume d'une sphère, calculer la masse de la comète M à partir de : $\rho = \frac{M}{V}$

2 - Sachant qu'en unités SI (m, s, kg, ...) la constante de la gravité vaut $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$, calculer la durée nécessaire au satellite pour faire un tour de la comète. Cette durée est appelée période de rotation T. Elle peut être calculée à partir de l'équation d'Euler :

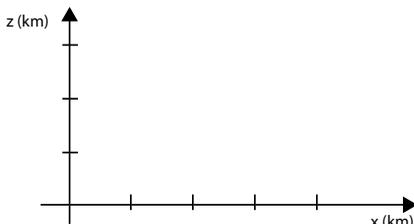
$$\frac{4\pi^2 a^3}{T^2} = GM \text{ où } a = R + h$$

Donner les périodes en heures.

3 - Calculer la vitesse du sol V_{Sol} à l'équateur.

4 - Calculer la vitesse de la sonde V_{Orb} à 2 et 3 km d'altitude.

5 - Calculer la vitesse relative de la sonde par rapport au sol V_{Sat} et la représenter dans le repère (x,z) ci-dessous, en positionnant l'orbiteur au moment de la séparation en (2, h).



6 - Calculer l'accélération moyenne g subie par l'atterrisseur Philae pendant la descente à partir de : $g = \frac{GM}{d^2}$ où $d = R + \frac{h}{2}$

7 - Sachant que l'altitude de Philae va varier en fonction du temps suivant l'équation suivante, calculer la durée de la descente :

$$z = \frac{-1}{2} gt^2 + h \quad (\text{Équ. 1})$$

Donner les durées en heures.

8 - Sachant que la vitesse de séparation de Philae V_{sep} est de 17 cm/s, calculer la vitesse horizontale parcourue par Philae pendant la descente : $x = (V_{Sat} - V_{sep})t + x_{Sep}$ (Équ. 2)

9 - À partir des 2 équations ci-dessus, déterminer l'équation $z = f(x)$ de la trajectoire de descente de Philae et tracer la courbe dans le repère (x,z).

10 - Sachant que la vitesse d'atterrissage peut être calculée à partir de l'équ. 1 et vaut $V_{Att} = -gt$, quelles sont les vitesses d'atterrissage dans les 2 cas ?

11 - D'après vous, entre une altitude de séparation à 2 et 3 km, quelle altitude doit-on privilégier ?

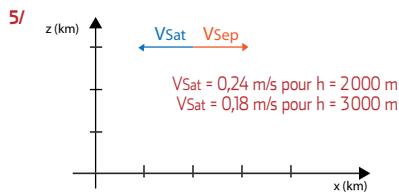
Réponses / Answers

1/ $M = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \quad M = 16,755 \cdot 10^9 \text{ kg}$

2/ $h = 2000 \text{ m} \quad T = 47 \text{ 548 s, soit i.e. } T = 13,21 \text{ h hrs.}$
 $h = 3000 \text{ m} \quad T = 66 \text{ 450 s, soit i.e. } T = 18,45 \text{ h hrs.}$

3/ $V_{Sol} = \frac{2\pi R}{12 \cdot 3600} = 0,29 \text{ m/s}$

4/ $V_{Orb} = \frac{2\pi a}{T} = 0,53 \text{ m/s pour } h = 2000 \text{ m}$
 $V_{Orb} = 0,47 \text{ m/s pour } h = 3000 \text{ m}$



6/ Pour $h = 2000 \text{ m}, g = 1,24 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$
 Pour $h = 3000 \text{ m}, g = 0,91 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$

7/ Pour $z = 0, t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}$

Pour $h = 2000 \text{ m}, t = 5676 \text{ s, soit i.e. } t = 1 \text{ h } 35 \text{ mn min.}$
 Pour $h = 3000 \text{ m}, t = 8109 \text{ s, soit i.e. } t = 2 \text{ h } 15 \text{ mn min.}$

8/ Pour $h = 2000 \text{ m}, x = 1615 \text{ m}$ avec where $x_{Sep} = 2000 \text{ m}$
 Pour $h = 3000 \text{ m}, x = 1905 \text{ m}$ avec where $x_{Sep} = 2000 \text{ m}$

9/ $z = \frac{1}{2} g \frac{(x - x_{Sep})^2}{(V_{Sat} - V_{Sep})^2}$
 (c'est une parabole) (it is a parabola)

10/ Pour $h = 2000 \text{ m}, V_{Att} V_{Lnd} = -0,70 \text{ m/s}$
 Pour $h = 3000 \text{ m}, V_{Att} V_{Lnd} = -0,74 \text{ m/s}$

11/ Pour ce qui concerne la vitesse d'atterrissage, il est toujours favorable d'avoir la vitesse d'impact la plus faible possible, mais d'un autre côté, la sécurité de l'orbiteur pousse

CALCULATING PHILAE'S COMET LANDING TRAJECTORY

Simplified hypotheses:

- The comet is a sphere with radius R
- The orbiter's trajectory is circular at an altitude h about the comet's centre of gravity
- The comet's density ρ is 0.5 (or mass per unit volume 500 kg/m³, half that of ice)
- The planned landing site is on the comet's equator

Do the following calculations using SI units: for a comet with a radius of 2 km, a comet day of 12 hrs. and 2 separation altitudes (2 km and 3 km)

1 - From the volume of a sphere, calculate the comet's mass M from $\rho = \frac{M}{V}$

2 - Given that in SI units (m, s, kg, etc.) the gravitational constant $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$, calculate how long it takes the spacecraft to complete one orbit of the comet. This is called the rotation period T. It can be calculated from Euler's equation:

$$\frac{4\pi^2 a^3}{T^2} = GM \text{ where } a = R + h$$

Give the periods in hours

3 - Calculate the ground velocity V_{Sol} at the equator

4 - Calculate the velocity of the orbiter V_{Orb} at an altitude of 2 km and 3 km

5 - Calculate the orbiter's velocity V_{Sat} relative to the ground velocity and plot it on the (x,z) graph below, positioning the orbiter at the moment of separation at (2, h)

6 - Calculate the mean acceleration g experienced by the Philae lander during its descent from:

$$g = \frac{GM}{d^2} \text{ where } d = R + \frac{h}{2}$$

7 - Given that Philae's altitude may vary over time according to the following equation, calculate the duration of the descent:

$$z = \frac{-1}{2} gt^2 + h \quad (\text{Eq. 1})$$

Give the duration in hours

8 - Given that Philae's separation velocity V_{sep} is 17 cm/s, calculate its horizontal velocity during the descent:

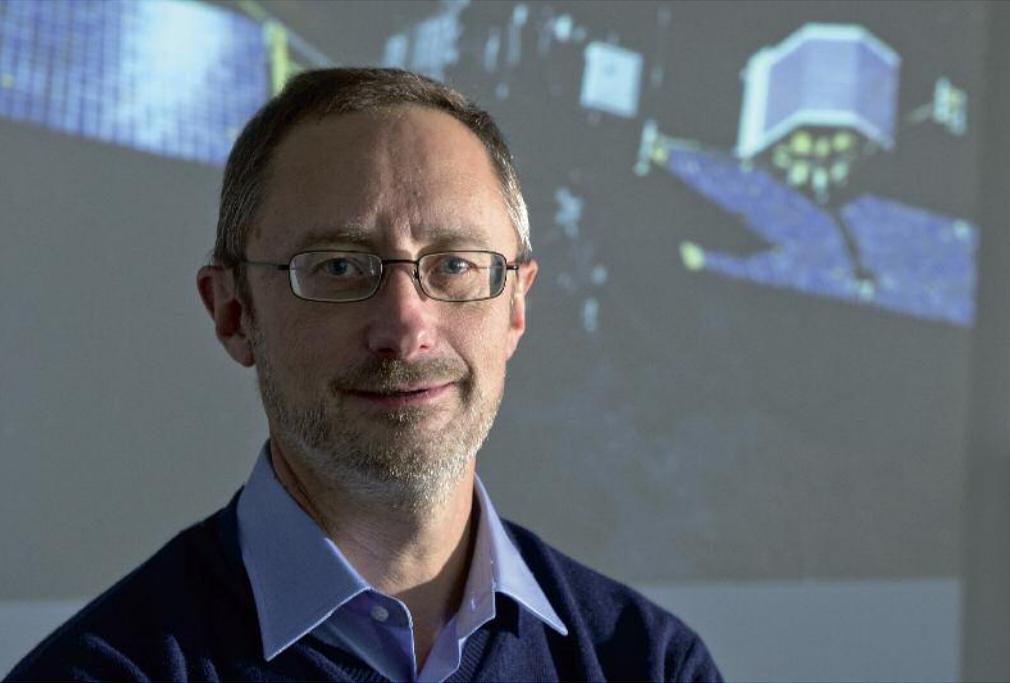
$$x = (V_{Sat} - V_{sep})t + x_{Sep} \quad (\text{Equ. 2})$$

9 - From the 2 equations above, determine the equation $z = f(x)$ of Philae's descent trajectory and plot the curve on an (x,z) graph

10 - Given that the landing velocity can be calculated from equation 1 and that it equals $V_{Lnd} = -gt$, what are the landing velocities in both cases?

11 - What do you think is the best separation altitude? 2 km or 3 km?

à favoriser une altitude de séparation la plus haute. Enfin, plus la durée de descente est grande, plus l'incertitude sur le lieu d'atterrissage est grande. Le choix n'est pas encore fait, mais entre contraintes sur orbiteur et atterrisseur, le choix opérationnel favorisera certainement l'orbiteur et une altitude « haute ». The slower the landing speed is the better, but for the orbiter's safety, engineers will likely favour a higher separation altitude. And the longer the descent lasts, the higher the uncertainty is regarding the landing point. This choice still has not been made, but the operational trade-off between orbiter and lander constraints will certainly seek to protect the orbiter and therefore adopt a separation altitude on the 'high' side.



© CNES/E. GRIMAUT, 2013

Un changement de trajectoire réussi

Très tôt, la vie de Philippe Gaudon s'est accrochée aux astres. Si passion et raison n'ont pas toujours suivi la même trajectoire, la mission Rosetta lui donne aujourd'hui l'occasion de « boucler la boucle ».

« **D**epuis mes 10 ans, les planètes, c'est une passion ; enfant, mon destin me paraissait tracé, je me rêvais astronome », dit cet homme enthousiaste. Parcours universitaire sans faute, doctorat d'astrophysique..., il remplit le contrat. Sur ce parcours, il signe une première rencontre anecdotique avec le spatial. « *J'ai fait ma thèse d'astrophysique dans le cadre du GRGS, dans les locaux du CNES. Ce devait être un signe* », sourit-il ! Mais la raison, parfois, l'emporte sur la passion. À l'avenir aléatoire du chercheur, il préfère la sécurité d'un créneau plus porteur. Il change de trajectoire : « *L'assurance d'un emploi immédiat m'a fait bifurquer vers l'informatique* », et lui donne l'occasion de baigner à nouveau dans le spatial ! « *J'occupais un poste d'ingénieur en développement chez un sous-traitant du CNES. Très rapidement, j'intégrais le CNES et travaillais sur le programme d'observation de la Terre Hélios en 2001, j'ai basculé sur le projet Rosetta. Il était alors en phase d'intégration et d'essais.* » Lucide, il reconnaît : « *Mon parcours est chanceux. Je suis arrivé au spatial par l'informatique ; l'informatique sans objectif spatial, ça aurait été terrible !* »

En 2004, Philippe Gaudon devient chef de projet sur Rosetta et s'ancre pour longtemps dans l'exploration des comètes. « *L'archéologie m'intéressait également. J'ai souvent hésité entre passé et futur ; ma passion pour l'espace l'a emporté. J'ai choisi le futur !* », ajoute-t-il. Sans regret. Chercher, découvrir, comprendre, utiliser la science spatiale comme outil de la connaissance, Philippe Gaudon est insatiable. Il coordonne l'ensemble des opérations de la mission Rosetta. « *Tout n'est pas facile, mais tout est passionnant.* » À son poste, budget, management, recrutement font aussi partie de la feuille de route. « *Mais je ne suis pas saturé. Je reste en proximité à la fois avec les techniques et les sciences. Avec l'exploration cométaire, je reviens vers les astres* », conclut cet homme ouvert, curieux, disert. Sa réalité d'adulte a rejoint ses rêves d'enfant. Philippe Gaudon est un astro-homme heureux.

¹Groupe de recherche en géodésie spatiale.

PROFILE
PHILIPPE GAUDON,
the man conducting France's contribution to Rosetta

A successful career trajectory change

Philippe Gaudon set his sights on the stars from an early age. While head and heart have sometimes played tug-of-war, today the Rosetta mission has reconciled him with his first love.

"Ever since the age of 10, I've been mad about planets and I dreamed of being an astronomer," he says with a glint in his eye. Later, after obtaining a PhD in astrophysics, he acquired his first taste of space. "I did my thesis on astrophysics at GRGS, the space geodesy research unit at CNES, a sign of what was to come," he notes with a smile. But sometimes we let our head rule our heart, so Philippe Gaudon changed tack and eschewed the uncertain future of a researcher for the security of a job in information technology. But once again, he found himself working on space projects. "I was a development engineer at one of CNES's subcontractors," he recounts. "Soon after, I joined CNES and started work on the Helios Earth-observation programme. Then, in 2001, I moved to the Rosetta project, which at the time was in its integration and test phase." With hindsight, he admits: "I got lucky and found a job in space through IT, because working in IT without space as my goal would have been hard for me to bear!" In 2004, Philippe Gaudon took over as Rosetta project leader and tied his future to comet exploration. "I was also interested in archaeology. I've often found myself torn between past and future, but in the end my passion for space won out and I opted for the future!" A decision he doesn't regret. For Philippe Gaudon, space science is a tool to satisfy his insatiable appetite for new discoveries and knowledge. His current job is to coordinate operations for the Rosetta mission. "It's not always easy, but always fascinating," he notes. Budgeting, management and recruitment are also part of his remit. "My motivation is intact. My job keeps me in touch with both engineering and science, and cometary exploration has brought me back to the stars," concludes this open-minded, enquiring and eloquent man. His childhood dreams have come true and Philippe Gaudon is a happy 'astro-man'.

¹Groupe de Recherche en Géodésie Spatiale

Cursus

1979 - Baccalauréat série S.	Career path
1984 - Diplôme DEA.	1979 - Baccalaureate (science stream)
1987 - Diplôme de docteur en astrophysique.	1984 - DEA postgraduate diploma
1987-1990 - Ingénieur en développement informatique.	1987 - PhD in astrophysics
1990 - Entrée au CNES/Ingénieur système.	1987 - 1990 - IT development engineer
	1990 - Joins CNES as a systems engineer

(NDLR. Nos remerciements vont à Vincent Doumerc, professeur chargé de mission auprès du CNES, Philippe Gaudon et Jean-Michel Martinuzzi, CNES.)

(Editor's note: Our thanks to Vincent Doumerc, teacher and advisor to CNES, and Philippe Gaudon and Jean-Michel Martinuzzi, CNES.)