

## Lanceur / Une mission courte, mais intense

RÉALISÉ PAR LILIANE FEULLERAC POUR LE CNES

**D**écouvrir et analyser les critères qui définissent le tracé d'une trajectoire, s'intéresser au suivi d'un satellite via le réseau des stations de réception, anticiper les phases qui, de l'ensemble de lancement à la séparation finale, vont accompagner le lancement... sont autant d'opportunités pour participer pleinement à l'aventure spatiale et comprendre, par exemple, pourquoi et comment Soyuz va jouer gagnant en s'implantant en Guyane. La formule la plus simple est sans doute de s'en remettre aux moyens satellitaires et de suivre les trajectoires sur Google Earth. Mais, pour les lycéens de 2<sup>e</sup> générale et technologique, il est aussi passionnant de pousser la curiosité plus loin en abordant cette question dans le cadre de l'enseignement commun; le programme de physique-chimie permet de s'intéresser aux perspectives de modification ou d'évolution d'une trajectoire. En amont de cette étude, les lycéens de 1<sup>re</sup> peuvent, eux, trouver des clés de compréhension du contexte géopolitique qui a présidé à l'implantation de Soyuz au Centre spatial guyanais.



Portrait Profile  
Michel Starozinski  
> P. 4

[www.cnes.fr](http://www.cnes.fr)

[www.cnes.fr/enseignants-et-mediateurs/](http://www.cnes.fr/enseignants-et-mediateurs/)

## Launchers

### A short but intense mission

BY LILIANE FEULLERAC FOR CNES

Learning and analysing the criteria used to define a trajectory, finding out how a satellite is tracked via a network of ground receiving stations or anticipating the phases from lift-off to satellite separation all give pupils a great opportunity to get inside the space adventure and understand what Soyuz stands to gain from operating in French Guiana.

The easiest way to do this is of course to exploit satellite data and follow trajectories on Google Earth. But for high-school pupils in 10<sup>th</sup> grade, it can also prove very rewarding to push our investigations further by studying this subject in physics and chemistry, looking at how a trajectory can be adjusted or how it changes.

And in 11<sup>th</sup> grade, pupils can find the keys to understanding the geopolitical context driving the construction of a new launch pad for Soyuz at the Guiana Space Centre (CSG).

# LE LANCEUR, EN TROIS QUESTIONS

## À quoi sert un lanceur ?

Un lanceur a pour mission principale d'accélérer le ou les satellite(s) pour leur donner une altitude et, surtout, une vitesse qui les maintiendront en orbite autour de la Terre. La vitesse d'injection est de l'ordre de 10 km/s pour une trajectoire de transfert géostationnaire, et son altitude d'injection proche de 200 km. Ces valeurs dépendent bien entendu des orbites visées.

## Comment fonctionne-t-il ?

Pour atteindre cette double mission, il faut qu'une énergie considérable soit produite dans les moteurs du lanceur. Elle est obtenue par la combustion d'un carburant (hydrogène ou kérosène) et d'un comburant (généralement de l'oxygène). On appelle ces produits des ergols. L'énergie thermique issue de cette combustion est transformée en énergie cinétique (vitesse d'éjection des gaz) dans la tuyère des moteurs. La tuyère est un conduit de forme conique, convergent puis divergent. Elle permet d'expulser les gaz de combustion à des vitesses considérables, créant ainsi, par le principe d'action/réaction, une poussée qui accélère le lanceur. Pour que le lanceur décolle, la poussée doit obligatoirement être supérieure à sa masse.

## À quoi servent les étages ?

Les lanceurs sont des véhicules spatiaux constitués de plusieurs composants : des étages séparables dont le nombre peut varier, un système électrique, véritable « cerveau » de la fusée, et une coiffe qui abrite le ou les satellite(s). Le lanceur utilise plusieurs étages pour s'alléger au fur et à mesure du vol. Il largue les étages qui ont épuisé leurs ergols. Quand un étage a fini de fonctionner, il est séparé du lanceur, et l'étage supérieur est allumé. Cette astuce réduit la masse nécessaire d'ergols pour atteindre la vitesse orbite, ce qui allège considérablement le lanceur, et donc la poussée des moteurs. Le dernier étage est de petite taille, il permet d'injecter le ou les satellites exactement à l'altitude et à la vitesse spécifiées.



© ESA/S. CORVAJA

▲▲ Soyuz sur un de ses pas de tir à Baïkonour. Soyuz on one of its launch pads at Baikonur.

## Launcher Q&A

### What is a launcher for?

A launcher's main mission is to boost a satellite or satellites to a certain altitude and impart enough velocity to maintain them in Earth orbit. The orbit injection speed is around 10 kilometres per second for a geostationary transfer trajectory and the injection altitude around 200 kilometres. Naturally, these values vary depending on the target orbit.

### How does it work?

To accomplish this dual mission, the launcher's engines need to generate a considerable amount of thrust. This is obtained by burning a fuel (hydrogen or kerosene) and an oxidizer (usually oxygen). Together, these are referred to as the propellants. The thermal energy of combustion is converted into kinetic energy as the gases are expelled from the engine nozzles. A nozzle is a conical pipe that converges and then diverges. It expels combustion gases at very high speeds, thus generating thrust due to the action/reaction principle to accelerate the launcher. For the launcher to get off the ground, the thrust must exceed its mass.

### Why do launchers have stages?

Space launchers comprise several components: a varying number of separable stages, an electrical system that is the launcher's "brain" and a fairing to accommodate the satellite or satellites. The launcher uses several stages to reduce weight as it climbs, jettisoning each stage when its fuel is spent. Once a stage has burnt all its fuel, it separates from the launcher and the next stage ignites. This considerably reduces the mass of propellant needed to achieve the right orbital velocity, thereby significantly lightening the launcher, and therefore engine thrust. The final stage is the smallest and is used to raise the satellite or satellites to the right altitude at the specified velocity.

►► Ariane 5 ECA en zone de lancement N°3 au Centre spatial guyanais.

The Ariane 5 ECA launcher on pad n°3 at the Guiana Space Centre.



© CNES/ARIANESPACE/OPTIQUE VIDEO CSG/ BAUDON

## Ariane et Soyuz / Une complémentarité profitable aux missions

Ariane, lanceur européen, et Soyuz, lanceur russe, ont un point commun : ce sont des véhicules spatiaux éprouvés, à la fiabilité démontrée, et dont la conception a été modernisée et améliorée au fil du temps. Néanmoins, ils n'ont pas la même puissance. Pour des caractéristiques équivalentes de masse et de taille, Ariane peut placer, en orbite de transfert géostationnaire, une masse de satellite d'une dizaine de tonnes. Elle est donc bien adaptée pour les lancements multiples (deux satellites ou plus) ou ceux des gros satellites. Soyuz dispose d'une moindre capacité de lancement. Il est mieux positionné pour des satellites plus petits jusqu'à 1,7 tonne sur une orbite de transfert géostationnaire, dans le cas d'un lancement depuis la Russie. À partir de la Guyane, simplement en se rapprochant de l'équateur, Soyuz va pouvoir lancer des charges utiles de 2,8 tonnes. Son dernier étage, « Fregat », est équipé d'un système de commandes de vol numérique sophistiqué ; il est capable d'être rallumé une vingtaine de fois en vol. Le lancement, sur la même base d'Ariane et de Soyuz va élargir la gamme des offres. Dans le futur, le lanceur européen Vega, en cours de développement, sera adapté au lancement des petits satellites (de 300 kg à 1,5 tonne), et des satellites de toutes tailles pourront être mis en orbite depuis le CSG.

## Ariane and Soyuz / Missions will benefit from their respective strengths

The European Ariane launcher and the Russian Soyuz launcher have one thing in common: they are both proven space launch vehicles whose design has been upgraded and improved over the years. However, they do not share the same lift capacity. Ariane can place a 10-tonne satellite into geostationary transfer orbit. It is therefore well suited to multiple launch missions (two satellites or more) or large satellites. Soyuz offers less launch capacity. It is better suited to launching smaller satellites of up to 1.7 tonnes into geostationary transfer orbit from Russia. From French Guiana, simply by launching from a pad near the equator, Soyuz will be able to orbit payloads of up to 2.8 tonnes. Its final Fregat stage's sophisticated digital flight control system enables it to be restarted 20 times in flight. The ability to launch Ariane and Soyuz from the same base will extend the range of launch services. And with the future European Vega launcher now in development designed for small satellites of 300 kilograms to 1.5 tonnes, satellites of all sizes will be able to be orbited from the Guiana Space Centre.

## EXERCICE DE PHYSIQUE

### 1. Qu'est ce qu'un satellite géostationnaire ?

Dans cet exercice, on suppose que la Terre est une sphère de centre  $T$ , de masse  $M_T$ , de rayon  $R_T$  et qu'elle présente une répartition de masse à symétrie sphérique. On assimile par ailleurs le satellite à son centre d'inertie  $S$ . L'étude de son mouvement se fait dans un référentiel géocentrique supposé galiléen.

#### 1.1. Qu'est ce qu'un satellite géostationnaire ?

**Réponse :** C'est un satellite qui a la même vitesse angulaire que la Terre, toujours situé au-dessus d'un même point terrestre.

#### 1.2. Donner les trois conditions à remplir par un satellite Météosat pour qu'il soit géostationnaire.

**Réponse :** Un satellite sera géostationnaire s'il possède la même vitesse angulaire que la Terre, sur une trajectoire circulaire, et s'il évolue dans un plan équatorial.

#### 1.3. La troisième loi de Kepler dans le cas d'un satellite évoluant sur une trajectoire circulaire s'exprime ainsi :

Le rapport entre le carré de la période de révolution  $T$  et le cube du rayon  $r$  de sa trajectoire est égal à une constante :  $\frac{T^2}{r^3} = \text{constante}$ .

Une étude dynamique dans le référentiel géocentrique permet de démontrer que cette constante  $K$  vaut :

$$K = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot M_T}$$

#### 1.3.1. Déterminer l'altitude $h$ d'un satellite géostationnaire.

**Réponse Answer**  $h = \sqrt[3]{\frac{T^2 \cdot G \cdot M_T}{4 \pi^2}} - R_T = 3,6 \cdot 10^7 \text{ m}$

#### 1.3.2. Déterminer la vitesse $v$ d'un satellite géostationnaire en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

**Réponse Answer**  $v = \frac{2 \pi (R_T + h)}{T} = 3,1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  soit  $11160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$   
i.e.  $11,160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

## Physics exercise

### 1- What is a geostationary satellite?

For this exercise, we shall assume that the Earth is a sphere with centre  $T$ , mass  $M_T$  and radius  $R_T$ , and that the distribution of its mass is spherically symmetrical. We shall also assimilate the satellite to its centre of inertia  $S$ . Satellite motion is in a Galilean geocentric reference frame.

#### 1.1- What is a geostationary satellite?

**Answer:** It is a satellite with the same angular rate of rotation as Earth, which means that it appears stationary when viewed from a point on Earth's surface.

#### 1.2- What three conditions must a Meteosat satellite satisfy for it to be geostationary?

**Answer:** A satellite will be geostationary if it has the same angular rate of rotation as Earth, orbits on a circular trajectory and is in an equatorial plane.

#### 1.3- Kepler's third law for a satellite in circular orbit is expressed thus: The relation between the square of the orbital period $T$ and the cube of the radius $r$ of its trajectory is a constant: $\frac{T^2}{r^3} = \text{constant}$

Calculating the dynamics in the geocentric reference frame shows that this constant  $K = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot M_T}$

#### 1.3.1- Determine the altitude $h$ of a geostationary satellite.

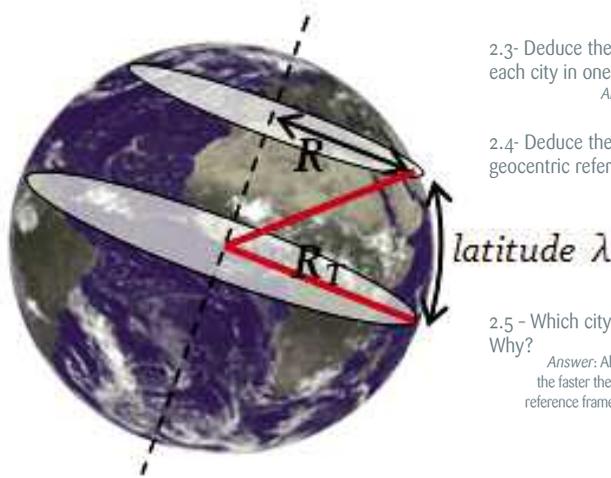
#### 1.3.2- Determine the velocity $v$ of a geostationary satellite in $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

### 2. D'où le satellite Météosat est-il lancé ?

Le satellite Météosat 9 a été lancé depuis Kourou, en Guyane (Amérique du Sud) et mis en orbite le 21 décembre 2005, par Ariane 5, lanceur européen. Pourquoi lancer d'aussi loin de l'Europe ?

#### 2.1. Trouver la relation entre la latitude $\lambda$ d'une ville, le rayon terrestre $R_T$ et le rayon $R$ du cercle que parcourt cette ville au cours d'une rotation terrestre (aidez-vous du schéma).

**Réponse**  
 $R = R_T \cdot \sin(90^\circ - \lambda) = R_T \cdot \cos \lambda$



#### 2.2. En déduire la valeur de $R$ pour Kourou ( $\lambda_{\text{Kourou}} = 5^\circ$ Nord) et Baïkonour ( $\lambda_{\text{Baïkonour}} = 46^\circ$ Nord).

**Réponses**  
 $R_{\text{Kourou}} = 6376 \text{ km}$   
 $R_{\text{Baïkonour}} = 4446 \text{ km}$

#### 2.3. En déduire le périmètre que parcourt chaque ville en un jour.

**Réponses**  
 $P_{\text{Kourou}} = 40\,059 \text{ km}$   
 $P_{\text{Baïkonour}} = 27\,934 \text{ km}$

#### 2.4. En déduire la vitesse de chaque ville dans le référentiel géocentrique.

**Réponses**  
 $v_{\text{Kourou}} = 464 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$   
 $v_{\text{Baïkonour}} = 323 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

#### 2.5. Quel site choisiriez-vous pour lancer une fusée? Justifier.

**Réponses**  
Bien que cela ne soit pas le seul paramètre, la vitesse du lieu de lancement dans le référentiel géocentrique sera d'autant plus intéressante qu'elle sera grande. Donc le CSG est mieux placé comme base de lancement pour un satellite géostationnaire que Baïkonour.

### 2- Where are Meteosat satellites launched from?

The Meteosat 9 satellite was launched from Kourou in French Guiana (South America) on 21 December 2005 by Ariane 5, a European launcher. Why launch satellites so far from Europe?

#### 2.1- Find the relation between the latitude $\lambda$ of a city, Earth's radius $R_T$ and the radius $R$ of the circle that the city describes during one rotation of Earth (use the diagram opposite to help you).

**Answer:**  $R = R_T \cdot \sin(90^\circ - \lambda) = R_T \cdot \cos \lambda$

#### 2.2- Deduce the value of $R$ for Kourou and Baïkonour.

**Answer:**  $R_{\text{Kourou}} = 6,376 \text{ km}$  and  $R_{\text{Baïkonour}} = 4,446 \text{ km}$

#### 2.3- Deduce the perimeter of the circle described by each city in one day.

**Answer:**  $P_{\text{Kourou}} = 40,059 \text{ km}$  and  $P_{\text{Baïkonour}} = 27,934 \text{ km}$

#### 2.4- Deduce the velocity of each city in the geocentric reference frame.

**Answer:**  $v_{\text{Kourou}} = 464 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  and  $v_{\text{Baïkonour}} = 323 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

#### 2.5 - Which city would you choose to launch from? Why?

**Answer:** Although it is not the only parameter to be considered, the faster the rate of rotation of the launch site is in the geocentric reference frame the better. So Kourou is in a much better location to launch a geostationary satellite than Baïkonour.

## EXERCICE DE GÉOPOLITIQUE

Pourquoi le choix d'installer en 1964 une base de lancement à Kourou (Guyane) s'avère-t-il un choix stratégique majeur, malgré l'éloignement de la métropole ?

Dégager les facteurs géographiques et techniques qui avantagent le Centre spatial guyanais au regard d'autres emplacements.

- Réponses**
- a) Zone équatoriale de façade est- américaine à faibles risques naturels (climatiques, sismiques).
  - b) Faibles risques anthropiques du fait des lancements en direction de l'est ou du nord vers l'océan.
  - c) « Effet de fronde » dû à la vitesse de rotation de la Terre à l'équateur permettant un accroissement des emports satellites de près de 50 %.

## Geopolitics exercise

Why did the decision in 1964 to build a launch base in Kourou, French Guiana, prove a major strategic choice despite its distance from metropolitan France?

Identify the geographic and engineering factors that give the base in Kourou an advantage over other sites.

- Answers**
- a) The risks of natural hazards (severe weather, earthquakes) in this equatorial region on the eastern American seaboard are low.
  - b) The risks to populations are low as launches are eastward or northward over the ocean.
  - c) The "slingshot effect" imparted by Earth's rate of rotation at the equator increases the launcher's lift capacity by nearly 50%.

## Données

Data :

Masse de la Terre :  $M_T = 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Earth's mass:  $M_T = 6.0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Rayon de la Terre :  $R_T = 6,4 \cdot 10^3 \text{ km}$

Earth's radius:  $R_T = 6.4 \cdot 10^3 \text{ km}$

Constante de gravitation universelle:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ SI}$

Gravitational constant:  $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ SI}$

Période de rotation sidérale :  $T = 86\,164 \text{ s}$

Sidereal rotation period:  $T = 86,164 \text{ s}$



**J'AI ME LE TRAVAIL QUE JE FAIS, ET IL N'Y A QU'AU CNES QU'ON LE FAIT", DONNE MICHEL COMME EXPLICATION NATURELLE À DES ANNÉES DE PASSION.**

*"I like my job and CNES is the only place I can do it," he says as a natural explanation for his years of dedication.*

© CNES/É. GRIMAUD

**PROFILE: MICHEL STAROZINSKI**  
Stations Expert at CNES's Launch Vehicles Directorate

**A strategic link between engineering and diplomacy**

*Receiving stations are vital points along the launcher's path. For 27 years, Michel Starozinski has been working to define and extend CNES's network of launcher tracking stations.*

Michel Starozinski first caught the bug in 1984, as a young electronics engineer, on joining CNES's Ground Systems Sub-Directorate. *"After two years' voluntary service overseas in Tunisia and six years in industry, I joined CNES the year of the first Ariane 3 launch,"* he recalls. His first mission was in Africa to locate a suitable site for the Libreville ground station. *"Machete in hand, accompanied by a Gabonese engineer, we staked out a site in the equatorial forest. Two years later, as Ariane 4 soared over our heads, the station began receiving data. That was a real thrill and I was hooked."* Michel Starozinski's next assignment was Ascension Island in the South Atlantic, where NASA had closed down its station. He has kept his love of travelling ever since. Today, he is still developing stations and seeking out sites. New ones have been set up in New Zealand, the Azores and shortly will be in Bermuda for Soyuz. He soon learned that the job requires not only engineering prowess, but also a cultural and even political approach in the early stages. *"You need to understand local geopolitics inside out. Agreements are negotiated between states, so the slightest diplomatic error can be fatal. I provide technical support to ESA for intergovernmental negotiations. I really enjoy this human side of things, too,"* he says. While Google Earth has today partly replaced his machete, Michel Starozinski still has his suitcase packed and ready to go.

(NDR. Nos remerciements vont à Stéphane Blat et Jean-Paul Castro, professeurs de physique; Michel Vauzelle, professeur chargé de mission auprès du CNES; Jean-Marc Astorg, Marie Jasinski, Roger Baldacchino, CNES).  
(Editor's note: Our thanks to Stéphane Blat and Jean-Paul Castro, physics teachers; Michel Vauzelle, teacher and advisor to CNES; Jean-Marc Astorg, Marie Jasinski, Roger Baldacchino, CNES).

# Un relais stratégique entre technique et diplomatie

**Cursus classique**

1970 — Bac S.  
1975 — Ingénieur Enseignant (École nationale supérieure d'électrotechnique, d'électronique, d'informatique, d'hydraulique et des télécommunications).  
1975-1977 — Enseignant à Sfax (Tunisie), coopération internationale.  
1977-1980 — Thomson-CSF.  
1980-1983 — Motorola semi-conducteurs.  
1984 — Sous-Direction développements sol au CNES.

Career path  
1970 - Baccalauréat (science stream)  
1975 - Graduated from ENSEEIHT, the French national electrical engineering, electronics, computer science, hydraulics and telecommunications school  
1975-1977 - Voluntary service teacher in Sfax, Tunisia  
1977-1980 - Thomson-CSF  
1980-1983 - Motorola Semiconductors  
1984 - CNES Ground Developments Sub-Directorate

Les stations de réception sont des points d'information vitaux sur la trajectoire du lanceur. Depuis vingt-sept ans, Michel Starozinski poursuit le développement du réseau, après avoir défini les sites les plus pertinents.

Le virus, Michel Starozinski l'a attrapé en 1984. Jeune ingénieur en électronique, il vient d'intégrer le département Développements techniques de la Sous-Direction du CNES. *« Après deux ans de coopération en Tunisie et six ans dans l'industrie, je suis entré au CNES l'année du premier lancement d'Ariane 3 »,* se souvient-il. Il remplit sa première mission en Afrique, à la recherche du point d'implantation de ce qui allait devenir la station de Libreville. *« Machette en main, avec un technicien gabonais, nous avons délimité le site le plus adapté en pleine forêt équatoriale. Deux ans plus tard, Ariane 4 passait au-dessus de nos têtes et la station recevait ! C'était intense ! Ce côté défricheur a été le déclic. »* Dans la foulée, Michel Starozinski réalisera la station de l'île d'Ascension, dans l'Atlantique Sud, la Nasa ayant fermé la sienne. Depuis, il a gardé le goût des voyages. Il développe toujours des stations et cherche le lieu le plus approprié pour les installer ! De nouveaux sites ont été créés en Nouvelle-Zélande, aux Açores, et bientôt aux Bermudes, pour Soyuz. Il a vite appris que la réalisation d'équipements passe en amont par des phases moins techniques, plus culturelles, voire politiques. *« Il faut une connaissance absolue de la géopolitique locale. Les accords se négocient d'État à État, et la moindre erreur diplomatique peut être fatale. J'apporte un soutien technique à l'Agence spatiale européenne dans le cadre de négociations intergouvernementales. Cet aspect humain me passionne aussi »,* dit-t-il. Si aujourd'hui, Google Earth a en partie remplacé la machette, Michel Starozinski tient toujours sa valise prête.