



L'ATV-3 Edoardo-Amaldi en approche de la Station spatiale internationale, juste avant son amarrage le 29 mars 2012.  
The ATV-3 Edoardo Amaldi approaches the International Space Station prior to docking on 29 March 2012.

# ATV

## Le cargo européen de l'espace

LILIANE FEUILLERAC POUR LE CNES

**F**in de contrat: le CNES et l'ESA viennent de mettre en orbite le 5<sup>e</sup> et dernier ATV (*Automated Transfer Vehicle*), le Georges-Lemaître. C'est l'ultime occasion de regarder d'un peu plus près comment marche ce véhicule spécifique. Certes, vous avez déjà déplié la serviette de plage, alors on va attendre la reprise. Mais, dès septembre, penchez-vous sur vos manuels de physique-chimie... Les programmes fourmillent de points d'entrée sur la question. Reportez-vous, par exemple, au chapitre dédié à la mise en orbite de l'ATV. Vous l'aborderez en 1<sup>er</sup> S, via l'interaction gravitationnelle. En terminale S, vous complétez avec les lois de Newton ou de Kepler. La vitesse moyenne de l'ATV sur son orbite, vous la connaissez? Facile. Cherchez-la à partir de la vitesse moyenne d'un mobile, dans les programmes de 2<sup>nd</sup>e, première et terminale S. Et ses besoins en puissance, en énergie, les connaissez-vous? Courez voir les cours de 1<sup>er</sup> S sur la production d'énergie électrique et sujets associés: loi d'Ohm, puissance électrique, effet Joule, notion de rendement, accumulateurs... Enfin, la régulation de la température entre intérieur et extérieur vous donnera aussi une idée des transferts thermiques opérés par le cargo. Tout est intéressant, passionnant... Profitez-en! L'aventure ATV touche à sa fin... L'année scolaire se prépare! Les sujets vous attendent!

### ATV Europe's cargo space vehicle

LILIANE FEUILLERAC FOR CNES

Mission accomplished: CNES and ESA recently orbited the fifth and final Automated Transfer Vehicle (ATV), the Georges Lemaître. So, this is our last chance to take a closer look at how this very special spacecraft works. As you're probably sunning yourself on the beach by now, we'll wait until the holidays are over. But in September, it will be time to take out your physics and chemistry textbooks... and the curriculum provides plenty of ways to approach this subject. You could start with the section on orbiting the ATV in 11<sup>th</sup> grade science classes when learning about gravitational interaction, while 12<sup>th</sup> grade science classes will look at Newton's or Kepler's laws. Do you know what the ATV's mean orbital velocity is? Easy: you'll see how to calculate the mean velocity of a moving object in 10<sup>th</sup> grade and in 11<sup>th</sup> and 12<sup>th</sup> grade science. And what about power? In 11<sup>th</sup> grade science you'll learn about Ohm's law, power, the Joule effect, the concept of energy efficiency, batteries and electric power generation. Lastly, temperature-control issues will give you an idea about heat transfers on the cargo carrier. The ATV adventure may be coming to an end, but a new school year will soon begin!



**Portrait Profile**  
Patrice Benarroche  
> P. 4

L'ATV-CC prépare activement la mission ATV-5, Georges-Lemaître. The ATV-CC gears up for the flight of the ATV-5 Georges Lemaître.



# L'ATV EN QUATRE QUESTIONS

## ■ Qui « pilote » l'ATV pour atteindre la station ?

L'ATV est un véhicule très complexe et très lourd. Il est automatisé, mais pas « automatique ». Les manœuvres de rendez-vous sont soumises à des contraintes nombreuses. En matière de sécurité, par exemple, elles sont identiques à celles des vols habités. Sur demande de l'ESA, le CNES a mis en place un centre de contrôle dédié, l'ATV-CC, chargé de conduire les opérations des 5 missions ATV. Il coordonne les moyens sols et s'interface avec deux autres centres de contrôle situés à Moscou et à Houston. C'est donc l'ATV-CC qui pilote l'ATV pendant les six mois de mission.

## ■ À partir de son largage, quelle est la procédure d'approche ?

L'ATV doit rejoindre l'orbite de la Station spatiale internationale (ISS) alors qu'il a peu de réserves énergétiques ; ses panneaux n'ont pas été déployés, la charge de sa batterie se limite à six heures. L'urgence absolue est donc de mettre en œuvre les panneaux solaires et d'établir les premières communications via un système de satellites relais. Les équipes disposent de six heures maximum pour réaliser ces opérations vitales. Après ce délai, le contact avec l'ATV serait perdu.

## ■ Comment se fait l'amarrage ?

Pour démarrer la phase de rendez-vous, l'ATV doit atteindre une « boîte »

parallépipédique de 3 km × 500 m. L'ATV se déplaçant à plus de 7 km/s, les équipes de l'ATV-CC doivent donc atteindre une précision de moins de 0,5 s. À partir de là, le guidage devient partiellement autonome grâce à des équipements sophistiqués. Parvenu à quelques centaines de mètres de la station, l'ATV active un système de guidage laser pointé vers des cibles positionnées sur le module Zvezda. L'ATV vient s'amarrer sur ce module au centimètre et à la demi-seconde près. À tout moment, l'approche peut être stoppée si des défaillances sont enregistrées (cf. l'infographie au verso). Une manœuvre d'éloignement peut alors être enclenchée soit depuis l'ATV-CC, soit par l'équipage de la station.

## ■ Comment « ouvre-t-on » la porte entre le cargo et la station ?

Cette ultime étape est dite « phase de contact et de docking ». Une fois le contact physique assuré entre l'ATV et l'ISS, les deux entités sont retenues par des systèmes de « crochets ». Il faut ensuite raccorder entre eux les réseaux électriques, informatiques, mécaniques de l'ISS et de l'ATV avant de verrouiller l'ensemble. Cette phase dure environ une heure. Les équipes de l'ATV-CC ont exactement cent dix minutes pour confirmer tous les raccordements. Le sas ne sera ouvert que le lendemain. L'ATV aura quitté son statut de satellite pour celui de module temporaire de la station.

## ATV Q&A

### Who 'flies' the ATV to the International Space Station?

The ATV is a very complex, very heavy vehicle. It is automated, not automatic, and rendezvous manoeuvres involve many constraints. For example, safety constraints are the same as for human spaceflights. ESA tasked CNES with setting up a dedicated ATV control centre (ATV-CC) to conduct operations for the vehicle's five missions. This centre coordinates all ground systems and interfaces with two other control centres in Moscow and Houston. So it's the ATV-CC that 'flies' the ATV during its six-month mission.

### What is the ISS approach procedure after the ATV separates from its launcher?

To get to the station's orbit the ATV has very little power in reserve, as its battery only has six hours of charge. So deploying its solar panels and establishing the first communications via relay satellites is the first urgent task. Teams have no more than six hours to conduct these vital operations, after which contact with the ATV would be lost.

### How does the ATV dock with the station?

For the rendezvous phase of its flight,

the ATV needs to reach a parallelepiped-shaped 'box' measuring 3 kilometres by 500 metres. As the vehicle is flying at over 7 km/s, the ATV-CC teams must achieve a precision better than half a second. From this point on, the ATV flies almost autonomously. Once its range is no more than a few hundred metres from the station, the ATV activates a laser-guidance system and points it at targets on the Zvezda module. The ATV then docks to the module with centimetre precision. The approach can be scrubbed at any time in the event of a hitch (see infographic overleaf) and

the vehicle backed away by the ATV-CC or the station's crew.

### How is the 'door' between the ATV and the ISS opened?

For the final 'contact and docking' phase, the ATV and ISS are physically mated by a system of 'hooks'. All electrical, computer and mechanical systems must then be connected up to 'lock' the ATV to the station. This phase lasts about one hour. The ATV-CC teams have exactly 110 minutes to check all of these connections. The airlock is opened the next day and the ATV becomes a temporary module of the ISS.

EXERCICES DE PHYSIQUE

# L'ATV-5 GEORGES-LEMAÎTRE

PHYSICS EXERCISE: ATV-5 Georges Lemaître

Dans la nuit du 25 au 26 juillet 2014, aux alentours de 3 heures, aura lieu le lancement, par Arianespace, du dernier module ATV, baptisé « Georges-Lemaître ». Ce module a pour mission d'aller s'arrimer à la Station spatiale internationale (ISS) pour y délivrer du carburant, de l'air, de l'eau, de l'alimentation et des expériences scientifiques.

At around 3.00 a.m. on 26 July, Arianespace will launch the last ATV, called Georges Lemaître. Its mission: to dock to the International Space Station (ISS) and resupply it with fuel, oxygen, water, food and science experiments.

## A/ Étude du mouvement de l'ATV-5 à 3,5 km de la station ISS

Après plusieurs étapes dans la manœuvre de docking de l'ATV, au point S<sub>2</sub>, à 3,5 km de la station ISS, le module ATV est à la même altitude que la station ISS. Il progresse alors sur une orbite supposée circulaire à une altitude h = 350 km. En ce point, en attendant l'autorisation de rejoindre la position S<sub>3</sub>, nous considérerons que les moteurs de propulsion sont éteints. (voir document réf. 1)

Dans le cas où l'orbite du module ATV est considérée comme circulaire, sa vitesse, par rapport au référentiel géocentrique, a pour expression :

### Approach manoeuvres of the ATV-5 at range of 3.5 km from the ISS

A series of approach manoeuvres takes the ATV to a point S<sub>2</sub>, 3.5 km from the ISS, at the same altitude as the station. It then flies in an assumed circular orbit at an altitude of h=350 km. At this point, as it awaits authorization to move to position S<sub>3</sub>, we shall consider that its thrusters are off. (see reference document 1) If we consider the ATV's orbit to be circular, its velocity with respect to the geocentric reference frame is expressed thus:

$$v_{ATV} = \sqrt{\frac{G \times M_T}{(R_T + h)}}$$

1 - Calculer la vitesse v<sub>ATV</sub> du module ATV en m.s<sup>-1</sup> puis en km.h<sup>-1</sup>.  
Calculate the velocity of the ATV v<sub>ATV</sub> in m.s<sup>-1</sup> and then in km.h<sup>-1</sup>.

$$v_{ATV} = \sqrt{\frac{G \times M_T}{(R_T + h)}} = \sqrt{\frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,98 \times 10^{24}}{(6380 \times 10^3 + 350 \times 10^3)}} = 7,70 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1} \text{ soit environ } 27700 \text{ km.h}^{-1}$$

= 7,70 × 10<sup>3</sup> m.s<sup>-1</sup> i.e. approx. 27,700 km.h<sup>-1</sup>

2 - Quelle est la vitesse du module ATV, au point S<sub>2</sub>, par rapport au référentiel lié à la station ISS ?

What is the velocity of the ATV at the point S<sub>2</sub> with respect to the ISS's reference frame?

Par rapport à la station ISS, le module ATV est immobile, donc sa vitesse est nulle.  
With respect to the ISS, the ATV is motionless so its relative velocity is zero.

3 - En combien de minutes aura-t-il fait un tour complet autour de la Terre ?  
In how many minutes will it have circled Earth?

$$v_{ATV} = \frac{2 \times \pi \times (R_T + h)}{\Delta t}$$

donc la durée mise par le module ATV-5 pour faire un tour sur son orbite est :  
so the time taken by the ATV-5 to complete one orbital revolution is:

$$\Delta t = \frac{2 \times \pi \times (R_T + h)}{v_{ATV}} = \frac{2 \times \pi \times (6380 \times 10^3 + 350 \times 10^3)}{7,70 \times 10^3} = 5,49 \times 10^3 \text{ s, soit environ } 92 \text{ minutes.}$$

= 5,49 × 10<sup>3</sup> s, i.e. approx. 92 minutes.

4 - Il existe un mode « escape » qui permet d'éloigner le module ATV de la station ISS en l'amenant très rapidement à une orbite circulaire 10 km en dessous de la station ISS. Dans ce cas, comment serait la vitesse du module ATV, par rapport au référentiel géocentrique, sur cette nouvelle orbite, par rapport à la vitesse de la station ISS ?

- Supérieure     Égale     Inférieure

An 'escape' mode allows the ATV to be backed away from the ISS and put into a circular orbit 10 km below the station. What would the ATV's velocity be with respect to the geocentric reference frame, in this new orbit, relative to the ISS?

- Greater     The same     Smaller

Comme la vitesse du module ATV est donnée par la relation  
As the velocity of the ATV is given by the relation

$$v_{ATV} = \sqrt{\frac{G \times M_T}{(R_T + h)}}$$

si h diminue alors v<sub>ATV</sub> augmentera. Ainsi la vitesse de l'ATV-5 sera supérieure à celle de la station ISS.  
if h is lowered then v<sub>ATV</sub> will increase. The ATV-5's velocity would therefore be greater than that of the ISS.

Données :

- Rayon moyen de la Terre : R<sub>T</sub> = 6 380 km
- Masse de la Terre, supposée ponctuelle : M<sub>T</sub> = 5,98 × 10<sup>24</sup> kg
- Constante de gravitation universelle : G = 6,67 × 10<sup>-11</sup> m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>.s<sup>-2</sup>

Data:

- Mean Earth radius: R<sub>T</sub> = 6,380 km
- Earth's mass, assumed to be a point mass: M<sub>T</sub> = 5.98 × 10<sup>24</sup> kg
- Universal gravitation constant: G = 6.67 × 10<sup>-11</sup> m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>.s<sup>-2</sup>

## B/ Gestion de l'énergie de l'ATV-5

Quatre panneaux solaires assurent l'approvisionnement énergétique principal. Durant sa mission de six mois, les panneaux solaires de l'ATV-5 pourront fournir en moyenne une puissance de 4800W.

Au niveau de l'ATV en position S<sub>2</sub>, on suppose que la puissance moyenne surfacique rayonnée par le Soleil est de 1 200 W.m<sup>-2</sup>.

### ATV-5 power management

The ATV's main source of power is its four solar panels. During its 6-month mission, the panels will deliver 4,800 W on average.

With the ATV in position S<sub>2</sub>, we assume that the mean power per unit area from the Sun is 1,200 W.m<sup>-2</sup>.

1 - En supposant que le rendement énergétique moyen des panneaux solaires est voisin de 17 %, calculer la puissance moyenne que peuvent générer les panneaux solaires de l'ATV-5.

Assuming that the mean efficiency of the ATV-5's solar panels is approximately 17%, calculate the mean power per unit area that they can generate.

Avec un rendement de 17 %, la puissance moyenne par mètre carré que pourront générer les panneaux solaires de l'ATV-5 sera voisine de P = 0,17 × 1 200 = 204 W.m<sup>-2</sup>.

With an efficiency of 17%, the mean power per square metre generated by the ATV-5's solar panels will be approximately P=0.17×1,200=204 W.m<sup>-2</sup>.

2 - Quelle surface de panneaux solaires faudrait-il pour générer une telle puissance ?

What surface area of solar panels would be needed to generate 4,800 W?

Afin de pouvoir fournir une puissance moyenne de 4 800 W, il faudra une surface To deliver a mean power of 4,800 W would require a surface area

S = 4800 = 23,5 m<sup>2</sup> de panneaux solaires, soit environ 6 m<sup>2</sup> par panneau solaire.  
204 i.e. each solar panel would need to be about 6 m<sup>2</sup>.

3 - Vérifier la cohérence de vos résultats avec la photo page 35 en considérant que les panneaux de l'ATV-5 sont semblables à ceux de l'ATV-4. (voir document réf. 2)

Check that your results match the photo on page 35, assuming that the ATV-5's solar panels are similar to the ATV-4's. (see reference document 2)

En tenant compte du diamètre réel du module (D = 4,5 m) et de sa valeur sur la photo, on détermine une échelle de représentation et, à partir de cette dernière, on obtient :

- la largeur l d'un panneau : l ≃ 1 m
- la longueur L d'un panneau : L ≃ 6,5 m

Soit une surface S' = 6,5 × 1 = 6,5 m<sup>2</sup> par panneau, donc une surface totale S<sub>T</sub> = 4 × 6,5 = 26 m<sup>2</sup>. Ce qui est tout à fait cohérent avec le résultat trouvé dans la question précédente.

Given the ATV's real diameter (D=4.5 m) and the value on the photo, we determine a representational scale from which we obtain:

- width w of a solar panel: w ≃ 1 m
- length L of a panel L ≃ 6.5 m

i.e. a surface area S' = 6.5 × 1 = 6.5 m<sup>2</sup> per panel and therefore a total surface area S<sub>T</sub> = 4 × 6.5 = 26 m<sup>2</sup>. This matches the result obtained in the previous question.

Donnée : Diamètre du module ATV-4 : D = 4,5 m.

Data: ATV-4 diameter D = 4.5 m

Document réf. 1/ Ref. document 1: <http://a404.idata.over-blog.com/3/69/76/43/Satellites/ATV-4/ATV---Rendez-vous-ISS-and-docking-profile.png>

Document réf. 2/ Ref. document 2: <http://a397.idata.over-blog.com/3/69/76/43/Satellites/ATV-4/ATV-2---Docking-ISS---24-02-2011.jpg>



© CNES/É. GRIMAUULT, 2014

## Un esprit de confiance à l'épreuve de tout

Au CNES, Patrice Benarroche a varié ses trajectoires sans jamais entrer en phase de routine. Et c'est vraiment ce qu'il voulait. Déterminé, il a évité les sentiers battus sur lesquels peuvent mener les écoles d'ingénieurs.

« **L**e spatial me paraissait un domaine neuf. L'aspect pilote, un peu unique, l'approche était internationale..., tout me le rendait attractif. » Après une « prépa », il intègre donc SupAéro. L'opportunité d'un stage le mène d'abord aux États-Unis. Puis, après un court passage à l'Aérospatiale, il part directement à Kourou, au CSG. « Pour quelqu'un qui rêvait d'espace, je ne pouvais pas espérer mieux », dit-il. À l'époque, « les opérations spatiales n'étaient pas du tout enseignées. J'ai tout découvert sur le terrain ». Il découvre surtout que le métier demande beaucoup de réactivité, de pragmatisme. Les rythmes sont très courts, les sollicitations permanentes. « Tout est orienté vers un objectif unique: le lancement. En toute circonstance, ça oblige à des solutions inventives. Kourou est une excellente école », confirme-t-il. Très rapidement, on lui donne des responsabilités, une nouvelle étape que le jeune ingénieur a vécue comme une preuve de confiance et une chance sur sa route. Après un passage de trois ans au CNES Toulouse sur le programme Spot, il reprend avec plaisir le chemin de Kourou. De retour à Toulouse en 2006, il est, depuis cette date, impliqué dans l'aventure ATV-CC, dont il a suivi toutes les étapes. Directeur de vol sur l'ATV-1, chef de mission sur l'ATV-2, il devient chef de projet à partir de l'ATV-3. Pour lui, « ça rajoute de l'humain au technique ». S'il coordonne 80 personnes, il trouve au management une analogie avec celui d'une équipe sportive. « Les ingrédients de la réussite sont dans la transversalité, la solidarité. » Dans les phases cruciales, le bleu de chauffe est pour tous. « Le véhicule est très compliqué, les manœuvres sont complexes, la mission exigeante, les temps de réactivité très courts... Il faut un esprit de confiance à l'épreuve de tout. » Cet « être ensemble » est sans doute la marque de l'exception culturelle ATV-CC, à laquelle il adhère tout particulièrement. L'autre aspect, on le devine, c'est ce « qui-vive » permanent qui, âge et expérience aidant, ne le quitte pourtant pas. À l'ATV-CC, tout va vite, tout le temps. Ça pulse, et il aime ça.

### PROFILE

**PATRICE BENARROCHE**  
ATV control centre project leader

### An unshakeable team spirit

*During his time at CNES, Patrice Benarroche has always avoided falling into a routine. He was determined to stay off the path so often trodden after engineering school.*

“Space was a new domain for me and the flight-control and international aspects attracted me to it,” he explains. After enrolling at France's prestigious SupAéro engineering school he went on an internship in the United States. After a short detour via Aérospatiale, he then packed his bags for the Guiana Space Centre in Kourou. “Space was a dream for me, so it was everything I could have hoped for,” he says. But at the time “space operations weren't something that was taught, so I learned everything on the job.” The pace of work was quick and he was constantly under pressure. “Everything is geared toward launch and you have to be inventive at all times. Kourou is a great training ground,” he confirms. The young engineer soon took on managerial responsibilities—a new step in his career that he eagerly grasped.

After three years working on the SPOT programme at CNES in Toulouse, he enjoyed another three-year stint in Kourou. He returned to Toulouse in 2006 and has since been involved in every stage of the ATV-CC adventure, first as flight director for ATV-1, then mission leader for ATV-2 and project leader for ATV-3 and subsequent flights. He coordinates his 80-strong staff like a sports team manager. “The job calls for the same team ingredients,” he explains. When the heat is on, everyone rolls up their sleeves.

“The ATV is a very sophisticated vehicle, manoeuvres are complex, the mission is highly demanding and you have to work very quickly... so you need an unshakeable team spirit.” Such team spirit is ingrained in the ATV-CC's culture, plus the need to be constantly on alert, which never leaves him even with age and experience. Everything moves fast at the ATV-CC—and that suits Patrice Benarroche just fine.

### Cursus

	Career path
1985 - Baccalauréat	1985 - Baccalaureate
1990 - Diplôme d'ingénieur Sup'Aéro	1990 - Engineering diploma from SupAéro
1991 - Entrée au CNES	1991 - Joins CNES

(NDLR. Nos remerciements vont à Stéphane Blat, professeur de physique, Vincent Doumerc, professeur chargé de mission auprès du CNES, Laura Ribes Leal, Prodigima FILM).  
(Editor's note: Our thanks to physics teacher Stéphane Blat, Vincent Doumerc, teacher and advisor to CNES, and Laura Ribes-Leal, Prodigima FILM.)