



Satellites
Space Transportation
Services

Kourou
mars 2008

ATV JULES VERNE

Dossier de vol



© Airbus 2008 - Airbus World



All the space you need



Dossier de vol ATV JULES VERNE

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| 1. Introduction | 3 |
| 2. Aperçu de la mission ATV | 4 |
| 3. Environnement opérationnel | 6 |
| 4. ATV - Conception | 8 |
| 4-1. Module de fret | 9 |
| 4-2. Module de service | 14 |
| 4-4. Principales caractéristiques de l'ATV "Jules Verne" | 19 |
| 5. Phases de développement de l'ATV | 21 |
| 5.1. Programme | 21 |
| 5.2. Logique de qualification | 22 |
| 5.3. Modèle d'essais mécanique et thermique (STM) | 23 |
| 5.4. Maquette ETM et essais de qualification fonctionnelle | 24 |
| 5.6. Assemblage, intégration et tests du "Jules Verne" | 28 |
| 6. La campagne de lancement du "Jules Verne" | 32 |
| 6.1. Transport | 32 |
| 6.2. Préparation du lancement | 34 |
| 7. La mission "Jules Verne" | 44 |
| 7.1. Compte à rebours de la chronologie de lancement | 44 |
| 7.2. Phases de vol du "Jules Verne" | 45 |
| 7.3. Déroulement et contraintes de la mission "Jules Verne" | 56 |
| 8. Astrium et le programme ATV | 57 |

1. Introduction

Le véhicule de transfert automatique (ATV) est un vaisseau spatial de transport consommable, conçu pour assurer la desserte logistique de la Station spatiale internationale (ISS).

Il permet d'approvisionner la Station Spatiale Internationale (ISS) en fret pressurisé et non-pressurisé, et de ravitailler celle-ci en ergols. Le système ATV est en outre capable de rehausser l'orbite de la station (« reboost »), afin de compenser sa perte d'altitude due au freinage atmosphérique et de participer au maintien de son contrôle d'attitude.

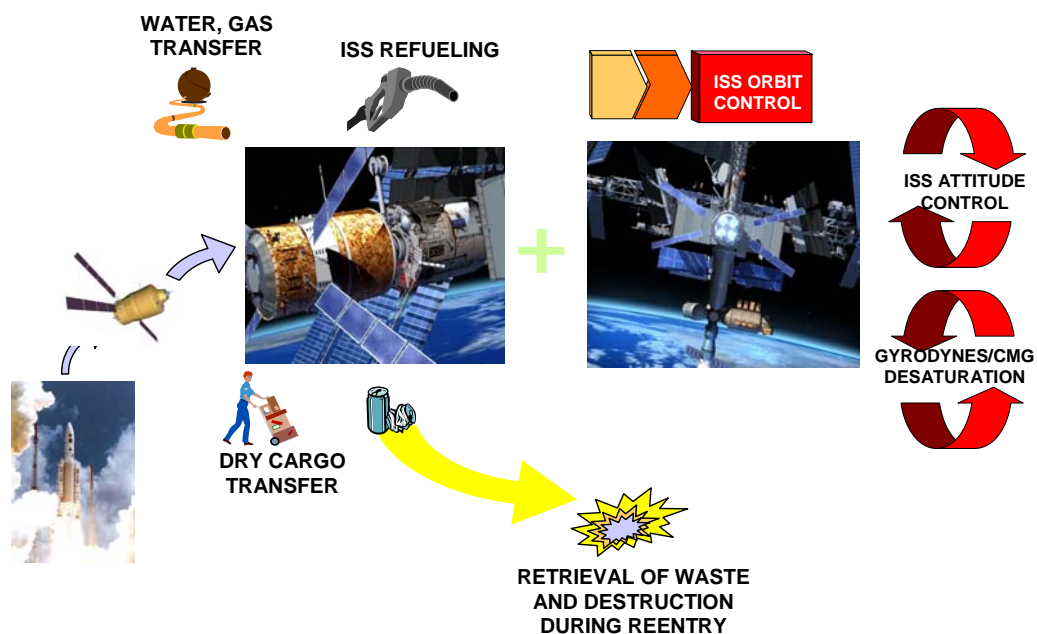
L'ATV est monté au sommet d'un lanceur Ariane 5 qui l'injecte sur une orbite viable quasi-circulaire. Une fois en orbite, l'ATV est autonome et exécute toutes les opérations par ses propres moyens jusqu'à l'amarrage direct à la Station, manœuvre contrôlée par le Centre de contrôle ATV (Toulouse), en coordination avec les Centres de contrôle ISS (Moscou et Houston). L'ATV s'amarrage à la station de manière sûre et précise, devenant ainsi un engin spatial habité durant une période pouvant atteindre six mois. Une fois sa mission accomplie, il se sépare de la station, emportant avec lui plusieurs tonnes de déchets à évacuer.

Ce premier vaisseau spatial a été baptisé « Jules Verne », du nom du célèbre romancier et visionnaire qui anticipa plusieurs des plus grands événements technologiques du 20^{ème} siècle.

2. Aperçu de la mission ATV

La mission nominale de référence du véhicule de transfert automatique consiste à fournir des services de soutien à la Station spatiale internationale (ISS) pour une durée de six mois à compter de son amarrage au module de service russe (Zvezda). En voici les principaux objectifs :

- fournir un support propulsif à l'ISS s'agissant notamment du reboost, du maintien du contrôle d'attitude, de la désaturation des CMG (actionneurs gyroscopiques) et de l'évitement de débris ;
- acheminer du fret, de l'eau et du gaz et récupérer des déchets ;
- ravitailler l'ISS en ergols.



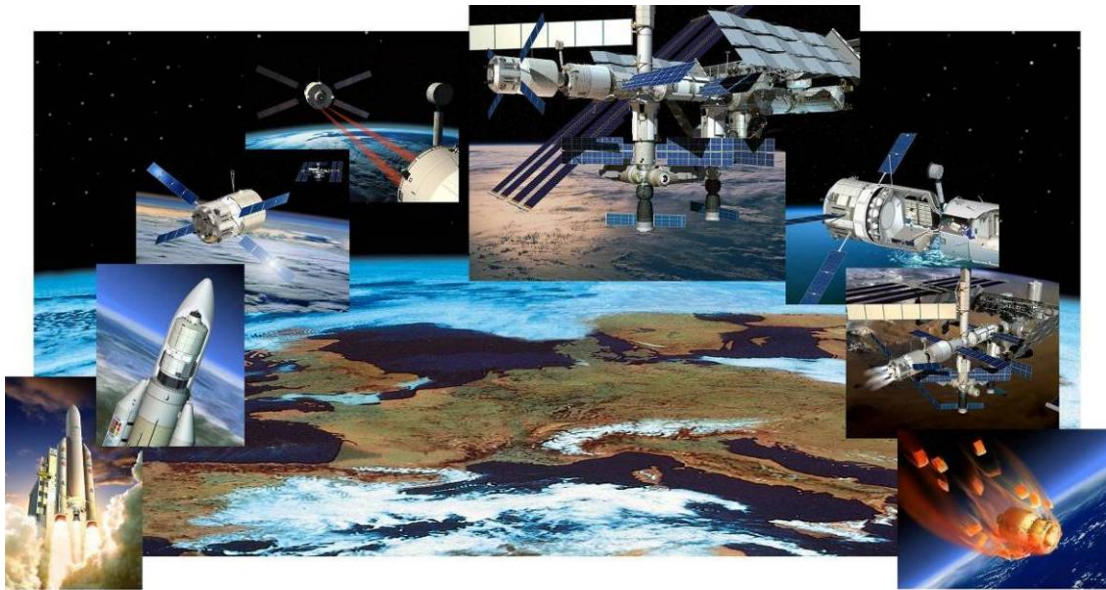
Objectifs des missions ATV

La sécurité que l'ATV doit garantir vis-à-vis de l'ISS et de son équipage est une exigence majeure de la conception, la qualification et l'exploitation du véhicule. La sécurité requise est de fait inhérente à la conception fonctionnelle du véhicule, et complétée par une fonction spécifique de sécurité de vol aux abords de la station. Cette fonction repose sur un calculateur spécifique qui peut commander et faire exécuter au véhicule une manœuvre d'évitement de collision (CAM) comme ultime mesure de protection.

Représentant l'une des contributions majeures de l'Europe à la desserte de l'ISS, l'ATV se doit d'afficher un taux de disponibilité de 99,2 % sur une période de 4 jours (valeur visée), ainsi qu'une probabilité constante de mener à bien sa mission de 95 %, de son activation au cours de la chronologie de lancement, jusqu'à sa phase de rentrée atmosphérique.

Chaque vol de l'ATV se déroule suivant cinq grandes phases :

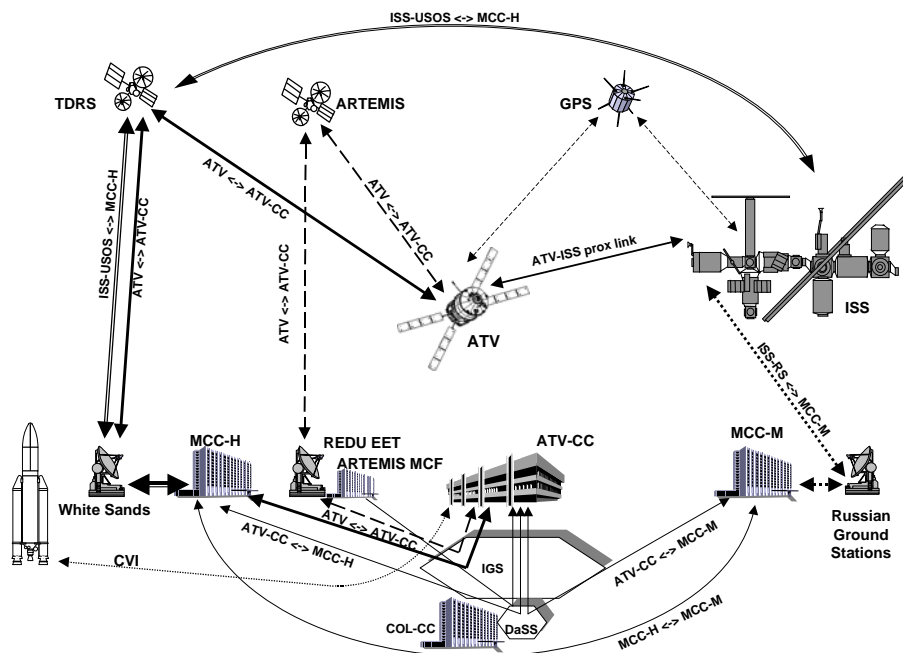
- lancement au sommet d'Ariane 5 et opérations initiales en orbite ;
- vol orbital pour rejoindre l'orbite de l'ISS (phasage) ;
- rendez-vous avec la station et amarrage ;
- phase attachée au cours de laquelle l'ATV est partie intégrante de la station ;
- séparation et éloignement de l'ISS, désorbitation et rentrée atmosphérique.



Pour mener à bien toutes ces phases, l'ATV exécute des opérations hautement automatisées, tout en restant flexible d'emploi dans une large mesure.

3. Environnement opérationnel

Pour accomplir sa mission, l'ATV opère au sein d'un réseau opérationnel qui inclut, outre le système ATV lui-même (segments spatial et sol), les segments spatial et sol de l'ISS, le lanceur Ariane 5 et ses installations de lancement, ainsi que les centres de contrôle (Toulouse, Moscou et Houston) et les systèmes de communication associés.



Vue d'ensemble des entités associées au système ATV

Le Centre de contrôle ATV de Toulouse (ATV-CC) est conçu pour rester opérationnel durant tout le cycle de vie des ATV (jusqu'à 15 ans). Durant toutes les phases de vol (vol libre et phase attachée), les liaisons bord-sol sont assurées par le système américain (TDRSS, Tracking and Data Relay Satellite System) et par ARTEMIS. Lors de la phase attachée, où l'ATV est en mode « dormant », la liaison via les satellites TRDS/ARTEMIS est en général activée durant un créneau orbital de transmission de 10 minutes. Durant les manœuvres de proximité, l'ISS transmet des données à l'ATV et peut également, en cas d'imprévu, lui envoyer des télécommandes HLTC (High Level TeleCommands) via une liaison de proximité.

Toutes les télécommandes sol sont émises par l'ATV-CC. Les commandes associées aux actions CAM, Resume et Hold peuvent être transmises soit par l'ATV-CC soit par l'équipage de l'ISS. Lors d'opérations attachées (reboost, ravitaillement en ergols, etc.), l'ATV est contrôlé par l'ISS après avoir été préparé par l'ATV-CC et placé sous sa supervision.

Le système GPS est utilisé pour la navigation de l'ATV. Durant le phasage et la désorbitation, la navigation absolue est assurée par les moyens sol de l'ATV-CC.

Durant la phase de rendez-vous, la navigation relative repose également sur les récepteurs GPS à bord de l'ATV. Les mesures GPS de l'ISS sont transmises à l'ATV par une liaison de proximité de manière à ce que l'ATV puisse calculer les vecteurs d'états (position et vitesse) relatifs entre les deux véhicules (GPS relatif, ci-après dénommé RGPS).



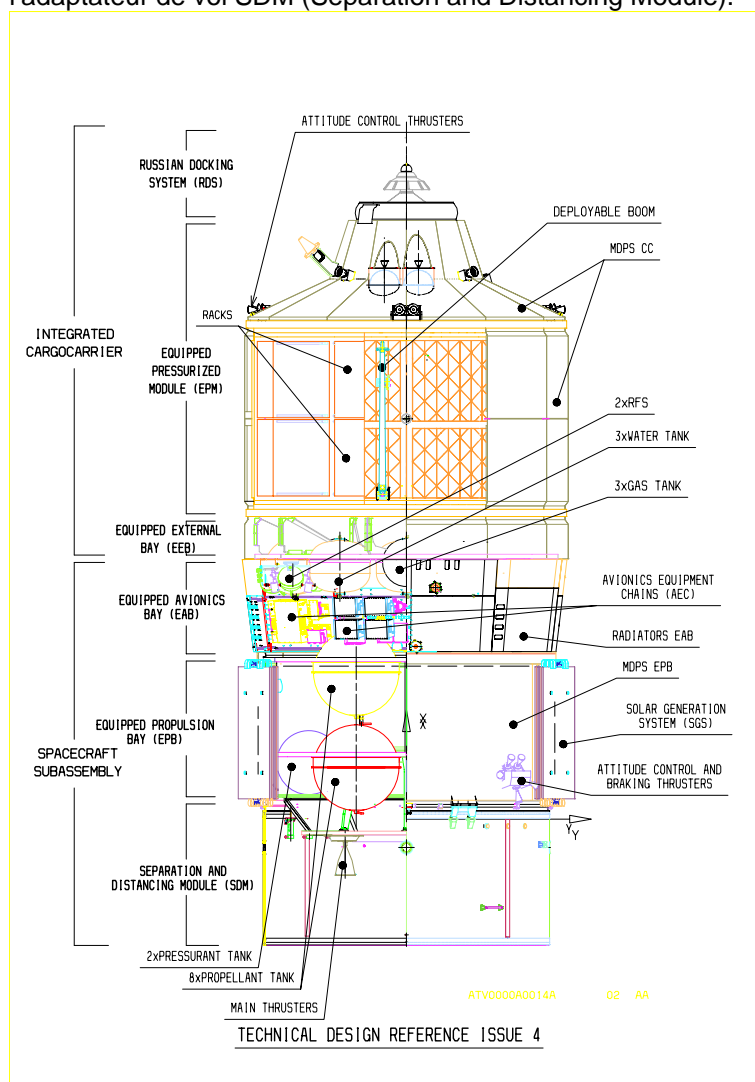
Centre de contrôle ATV au CNES Toulouse

4. ATV - Conception

Le véhicule est constitué de deux modules principaux :

Le **module de fret** (Integrated Cargo Carrier, ICC), dimensionné pour le transport de fret dans un compartiment pressurisé, d'eau et de gaz, ainsi que pour le ravitaillement en ergols de la station. Ce module contient du fret destiné au re-alimentation de la station spatiale, conformément à la mission nominale confiée à l'ATV dans le cadre de l'accord passé entre la NASA, l'Agence spatiale russe et l'Agence spatiale européenne (ESA). En phase attachée, il constitue également une extension connectée à la station spatiale, à laquelle l'équipage peut accéder via le sas du système d'amarrage.

Le **module de service** (Spacecraft, S/C) est un module autonome qui abrite la plupart des fonctions et des ressources permettant de conduire le vol de l'ATV (gestion bord, guidage, navigation et pilotage (GNC), propulsion, communications, contrôle thermique, énergie), ainsi que celles destinées au reboost de l'ISS. Il constitue l'interface mécanique avec Ariane 5, via l'adaptateur de vol SDM (Separation and Distancing Module).



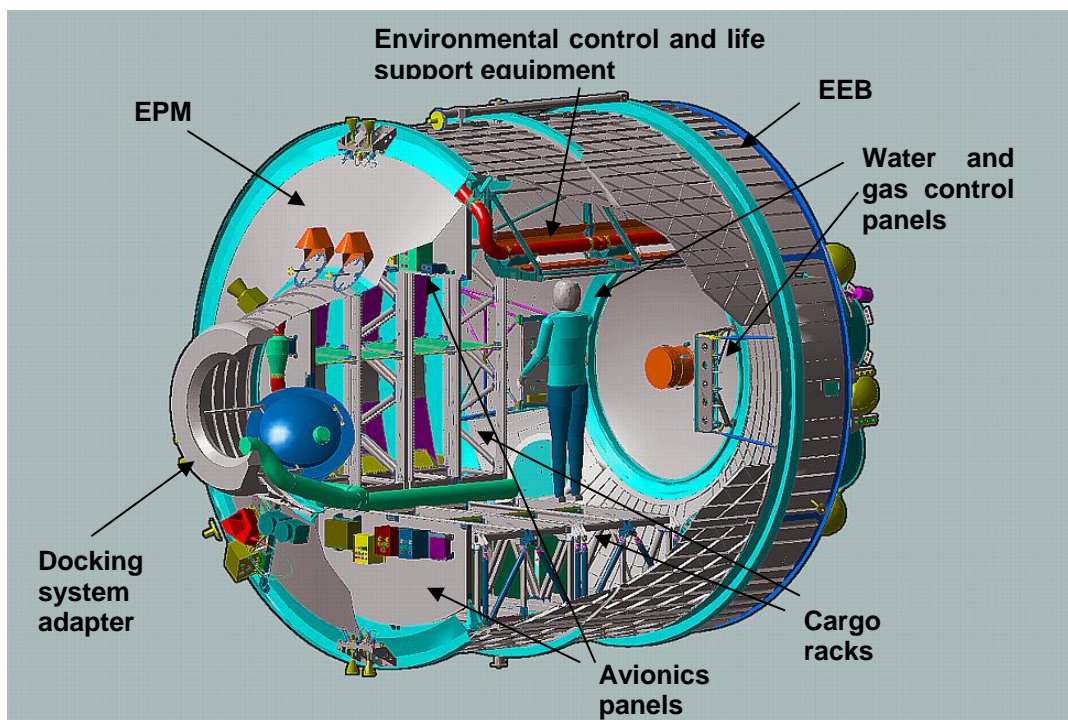
4-1. Module de fret

Le module de fret (ICC) comprend :

- une partie pressurisée désignée EPM (Equipped Pressurized Module) et,
- une partie non-pressurisée désignée EEB (Equipped External Bay).

Le système d'amarrage russe (partie active) est monté sur l'ICC et permet l'établissement des connexions mécaniques, fluides et électriques avec la station spatiale durant la phase attachée, tout en permettant à l'équipage de l'ISS de pénétrer dans la partie pressurisée de l'ICC.

Un bouclier anti-météorite et anti-débris (MPDS) protège les parties pressurisée et non pressurisée du module de fret.



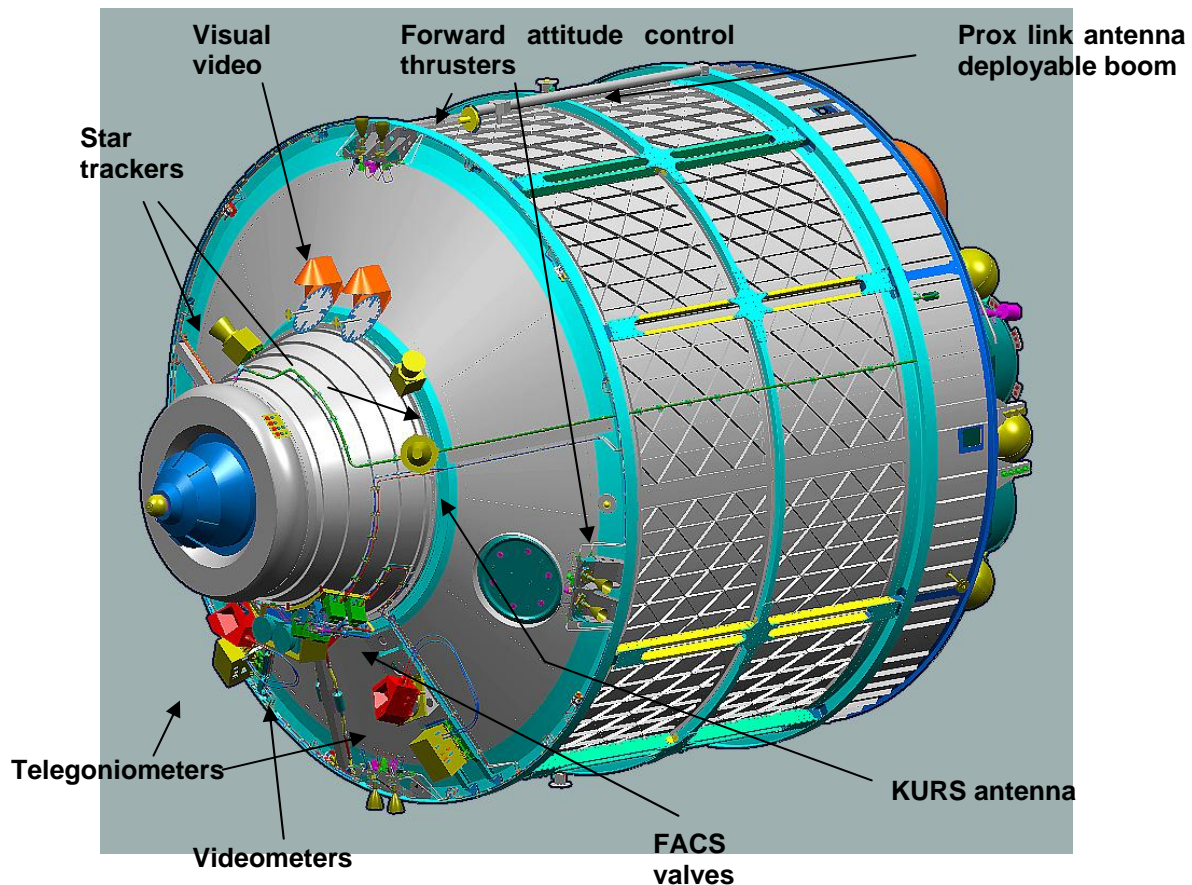
Le **module pressurisé EPM** est principalement destiné au stockage du fret.

Outre le fret sec transporté en racks, l'EPM abrite les systèmes et équipements avioniques suivants :

- les équipements garantissant aux astronautes l'environnement vital (**Environmental control and life support, ECLS**). Ils comprennent un ventilateur de cabine, 2 soupapes de sécurité de surpression, 2 vannes d'équilibrage, 3 capteurs de pression, un détecteur de fumée et des modules d'éclairage intérieur ;
- les tableaux de commande pour la distribution de l'eau et des gaz ;
- le système russe d'amarrage (Russian Docking System, RDS) et son avionique associée ;
- le RECS (Russian Equipment Control System), avionique russe de commande / contrôle des systèmes d'amarrage et de ravitaillement en ergols, assurant également l'interface de liaisons électriques distinctes avec l'ISS lorsque l'ATV est attaché à la station ;
- l'unité CMU (Command and Monitoring Unit) et, uniquement sur le vol Jules Verne, le transpondeur radar KURS redondé, permettant aux astronautes à bord de l'ISS de disposer de mesures indépendantes de la distance et de la vitesse radiale durant la phase de rendez-vous.

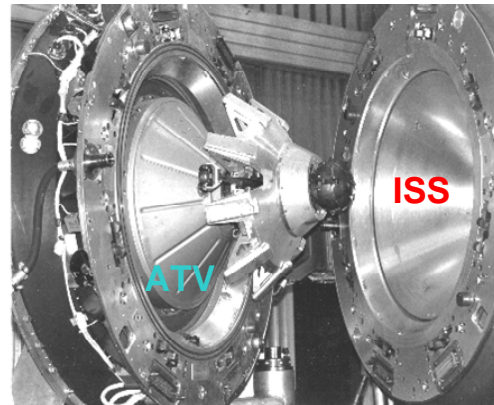
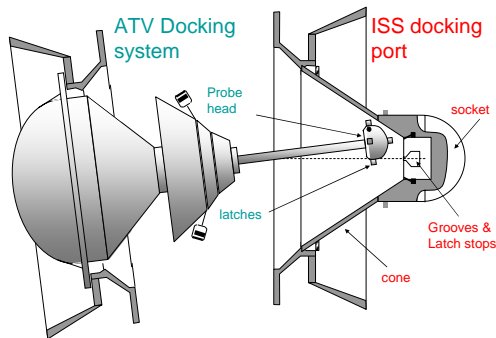
Le module pressurisé de l'ICC permet les activités intravéhiculaires (IVA).

Le cône avant de l'EPM supporte, sur sa face externe, les matériels avioniques et de propulsion suivants :



- 2 télégoniomètres (TGM) et 2 vidéomètres (VDM) ;
- 2 senseurs stellaires (STR) ;
- 2 mires (VVT) avec leur dispositif d'éclairage permettant la surveillance vidéo de la manœuvre d'approche finale de l'ATV par l'équipage de l'ISS ;
- 8 moteurs de contrôle d'attitude (FACS), disposés en 4 blocs, incluant les vannes correspondants ;
- l'antenne KURS ;
- une antenne de liaison de proximité montée sur un mât déployable fixé à la structure de l'EPM.

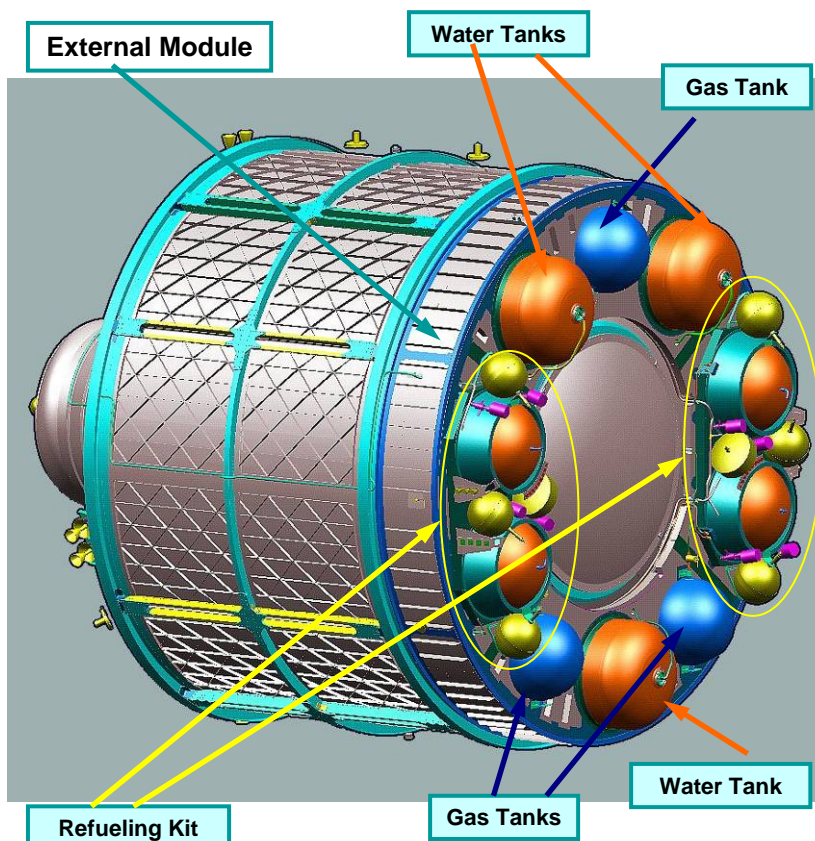
Le **système d'amarrage**. Il s'agit d'un système « *probe and drogue* » utilisé de longue date sur les véhicules et modules russes et que l'ATV a repris afin de garantir sa compatibilité avec le port d'amarrage du module de service de l'ISS.



ATV to ISS docking using "probe and drogue" concept

La **Baie externe EEB (Equipped External Bay)** est un compartiment non-pressurisé abritant le système de ravitaillement en ergols ; ce dernier peut contenir jusqu'à 860 kg d'UDMH/ N_2O_4 , ainsi que 940 kg de fluides stockés dans des réservoirs d'eau (840 kg) et de gaz (100 kg). L'EEB joue également un rôle d'interface mécanique avec le module de service. Il comprend :

- la structure du module externe ;
- 2 ensembles de ravitaillement en ergols comprenant chacun 1 réservoir de comburant, 1 réservoir de carburant et 3 réservoirs haute pression ;
- 3 réservoirs d'eau ;
- 3 réservoirs de gaz.



Le système de transfert d'eau permet à l'équipage de l'ISS de décharger jusqu'à 840 kg d'eau potable (des réservoirs de l'ATV vers l'ISS) et de charger jusqu'à 840 kg d'eaux usées (des réservoirs de l'ISS vers ceux de l'ATV), le tout dans un environnement pressurisé.

Les 3 réservoirs du système de transfert d'eau permettent de procéder en parallèle au chargement des eaux usées de l'ISS et à l'alimentation de la station en eau potable.

Toutes ces opérations sont conduites manuellement par l'équipage depuis l'intérieur du module pressurisé de l'ATV, et sous la surveillance de l'ATV-CC et de l'ISS (par le biais d'un ordinateur portable).

Le système de distribution des gaz permet de décharger jusqu'à 100 kg de gaz (au maximum 2 gaz distincts par vol: air, oxygène ou azote). Le système de distribution des gaz impose le rapport suivant entre ces deux gaz :

- Masse du premier gaz < 100 kg x 2/3
- Masse du second gaz < 100 kg x 1/3

La distribution des gaz s'opère sous le contrôle manuel de l'équipage de l'ISS depuis l'intérieur du module pressurisé de l'ATV.

4-2. Module de service

Le **module de service** est principalement constitué de deux baies, l'une pour les équipements avioniques et l'autre pour ceux de propulsion.

La **baie avionique EAB** (Equipped Avionics Bay) est un compartiment non-pressurisé abritant la plupart des équipements avioniques, parmi lesquels :

- 4 batteries rechargeable NiCd ainsi que 4 unités de conditionnement et de distribution de l'énergie PCDU (Power Conditioning and Distribution Units) ;
- 1 calculateur tolérant aux pannes composé de 3 unités de traitement de données (DPU) ;
- des capteurs de guidage, navigation et de pilotage, notamment des blocs accélérométriques et gyrométriques,
- 2 calculateurs utilisés en cas de défaillance des calculateurs principaux (Monitoring and Safing Unit, MSU) ;
- des équipements de télécommunication ;
- 4 unités de contrôle thermique (TCU) ;
- 1 unité de commande et de contrôle (CMU).

Chaque équipement bénéficie d'un contrôle thermique actif via un AFCU (Active Fluidic Cooling Unit) disposant de caloducs à conductance variable (VCHP) et de radiateurs.

Les antennes de télécommunication (TDRSS et liaison de proximité) et GPS sont installées à l'extérieur de la structure de l'EAB.

Certains équipements avioniques comme le RECS (Russian Systems avionics), les senseurs stellaires, les télégoniomètres et les vidéomètres, sont installées sur le module pressurisé de l'ICC (en dehors de l'EAB).

La mise en œuvre des capacités et des ressources de l'ATV repose sur des chaînes matérielles spécifiques et des logiciels adaptés qui constituent l'architecture avionique générale du véhicule. Celle-ci garantit le fonctionnement autonome de l'ATV, la bonne interface de l'ATV avec des ressources externes, le pilotage et l'exploitation du véhicule par l'ATV-CC et l'ISS, la réalisation de l'amarrage et d'opérations en phase attachée, ainsi que le mode survie du véhicule.

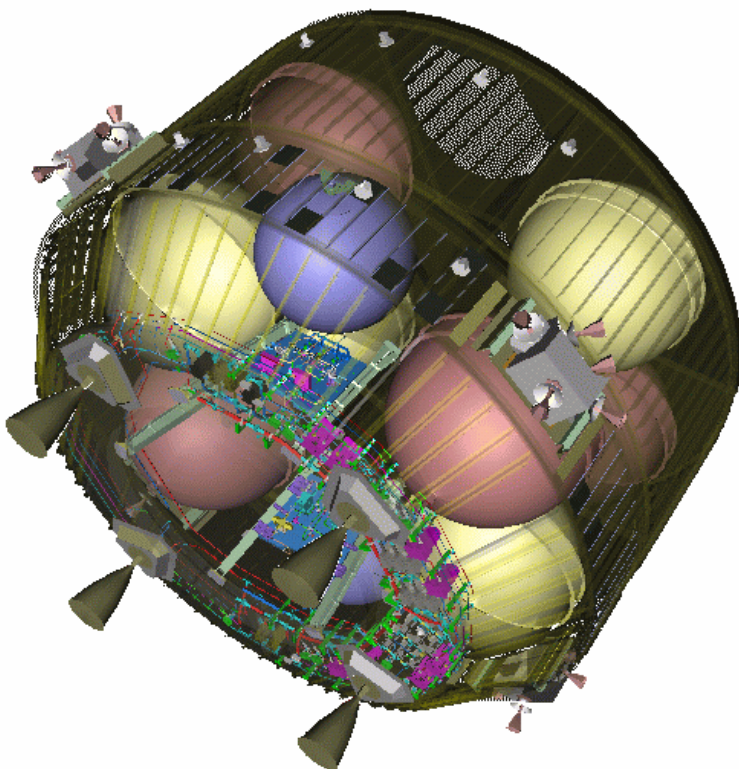
Le concept avionique de l'ATV est élaboré autour des grandes caractéristiques suivantes :

- l'organisation en 4 chaînes électriques redondées, chaque chaîne bénéficiant de son propre bus de puissance et d'un bus de données 1553 dédié ;
- l'indépendance totale du point de vue électrique des 4 chaînes avioniques grâce à des équipements redondants afin de garantir la survie de l'ATV en cas de perte totale d'une chaîne quelconque ;
- l'organisation centralisée de l'architecture avionique autour d'un calculateur tolérant aux pannes (FTC). Le **FTC** (similaire à celui du projet DMS-R) se compose de 3 unités de traitement de données (DPU) indépendantes qui s'échangent et votent leurs données. Le FTC exécute le logiciel FAS (Flight Application Software), régissant les principales fonctions de l'ATV comme la gestion de la mission et du véhicule, le contrôle de vol et la surveillance du contrôle de vol. Chaque calculateur DPU peut

communiquer avec l'ensemble des 4 bus de données internes de l'ATV (bus au standard Mil-STD 1553 B) ;

- une chaîne indépendante PFS (Proximity Flight Safety) assure en ultime recours la sécurité des opérations de l'ATV aux abords de l'ISS. En cas d'événement imprévu, cette chaîne fonctionnelle totalement indépendante, permet d'exécuter une manœuvre d'évitement de collision (CAM). Elle repose sur des calculateurs dédiés : l'unité **MSU** (Monitoring and Safety Unit) qui intègre un logiciel spécifique, des actuateurs indépendants et une source de puissance spécifique (batteries non-rechargeables) qui peut court-circuiter les chaînes nominales en cas de défaillance critique pour la sécurité ;
- le système de **télécommunication** repose sur deux chaînes radiofréquence (RF) distinctes, toutes deux redondées, l'une pour le système TDRSS, l'autre pour la liaison de proximité ;
- le **système de puissance** de l'ATV se compose de 4 chaînes de puissances identiques et entièrement indépendantes (4 unités de conditionnement et de distribution de l'énergie, PCDU, distribuant l'énergie provenant des générateurs solaires et des batteries) ainsi que d'un équipement spécifique pour les systèmes de sécurité et d'amarrage.

La **Baie de propulsion** (EPB) est un compartiment non-pressurisé se composant sur le plan structural d'un module propulseur et de réservoirs de stockage des ergols. L'EPB abrite principalement le sous-système de propulsion et de reboost.



Le **sous-système de propulsion et de reboost (PRSS)**, essentiellement logé dans l'EPB, est un système à biergol MON/MMH qui peut se subdiviser ainsi :

- le sous-système de pressurisation : il assure la pressurisation des réservoirs d'ergols avec l'hélium stocké dans 2 réservoirs haute pression ;
- l'ensemble de stockage et de distribution des ergols : il compte 8 réservoirs (4 de MON et 4 de MMH) ainsi que les canalisations de distribution et les vannes bistables conduisant aux moteurs.
- Les ergols sont stockés dans 8 réservoirs identiques en titane, équipés d'un dispositif de rétention capillaire (4 pour le MON et 4 pour le MMH) et offrant ensemble une capacité maximale de stockage d'environ 7 tonnes d'ergols pour les besoins de propulsion de l'ATV et ceux de reboost de l'ISS. Les ergols destinés à la propulsion et au reboost ne sont pas répartis dans des réservoirs spécifiques. Une gestion judicieuse au cours de la mission peut en effet conduire à économiser / re-affecter ces ergols entre les besoins de la phase propulsive et ceux de reboost de la station ;
- les vannes de remplissage / vidange / vérification de pression (Fill and drain valves, check valves) sont utilisées au sol pour tester le sous-système de propulsion et remplir tous les réservoirs en ergols et en hélium ;
- l'électronique de commande de la propulsion (Propulsion Drive Electronics, PDE) : alimentée en énergie par le PCDU et recevant des ordres du calculateur FTC, elle renvoie au FTC l'état du sous-système de propulsion. Elle reçoit également énergie et ordres du MSU pour exécuter une manœuvre d'évitement de collision (CAM) ;
- les moteurs (principaux et de contrôle d'attitude). Les manœuvres d'orbite de l'ATV (phasage, désorbitation), de reboost de la station et d'évitement de débris sont assurées par les **moteurs principaux** également nommés Système de contrôle orbital (Orbital control system / OCS). Lors de manœuvres orbitales en vol libre, seuls 2 de ces 4 propulseurs sont mis à contribution, mais 4 peuvent être utilisés pour assurer le reboost de l'ISS. Chaque moteur délivre une poussée de 490 N, avec une impulsion spécifique supérieure à 310 secondes en nominal. Le contrôle d'attitude de l'ATV et toutes les manœuvres de rendez-vous avec la station sont réalisés par le **Système de contrôle d'attitude (ACS)** qui regroupe 28 moteurs. L'ACS contribue également au contrôle d'attitude de l'ISS durant phase attachée. 20 moteurs ACS ont été réunis en 4 groupes sur la partie inférieure de l'EPB, les 8 restants étant installés sur le cône avant de l'ICC. Ces moteurs délivrent chacun une poussée de 220 N, avec une impulsion spécifique de 285 secondes.

Afin de garantir la sécurité du vol aux abords de la station, les manœuvres d'évitement de collision (CAM) sont contrôlées, dans chaque PDE, par une carte électronique spécifique, dotée d'un circuit logique et contrôlée de manière autonome. Le but de cette architecture est d'interdire, en cas de CAM, toute opération nominale des moteurs, de commander les 4 moteurs dédiés à l'exécution de cette manœuvre de CAM (un moteur sur les deux composant chaque groupe de l'ACS est réservé aux besoins de la chaîne de sécurité) et d'ouvrir/fermer des vannes bistables d'isolement, dès l'émission d'une commande CAM.

Outre le sous-système de propulsion et de reboost, l'EPB abrite deux batteries non-rechargeables (LiMnO₂) utilisées pour le MSU et le RECS, ainsi que l'unité PCU (Power and Control Unit).

D'autres équipements avioniques sont installés sur la partie avant de l'EPB comme la seconde antenne KURS et un capteur solaire redondé.

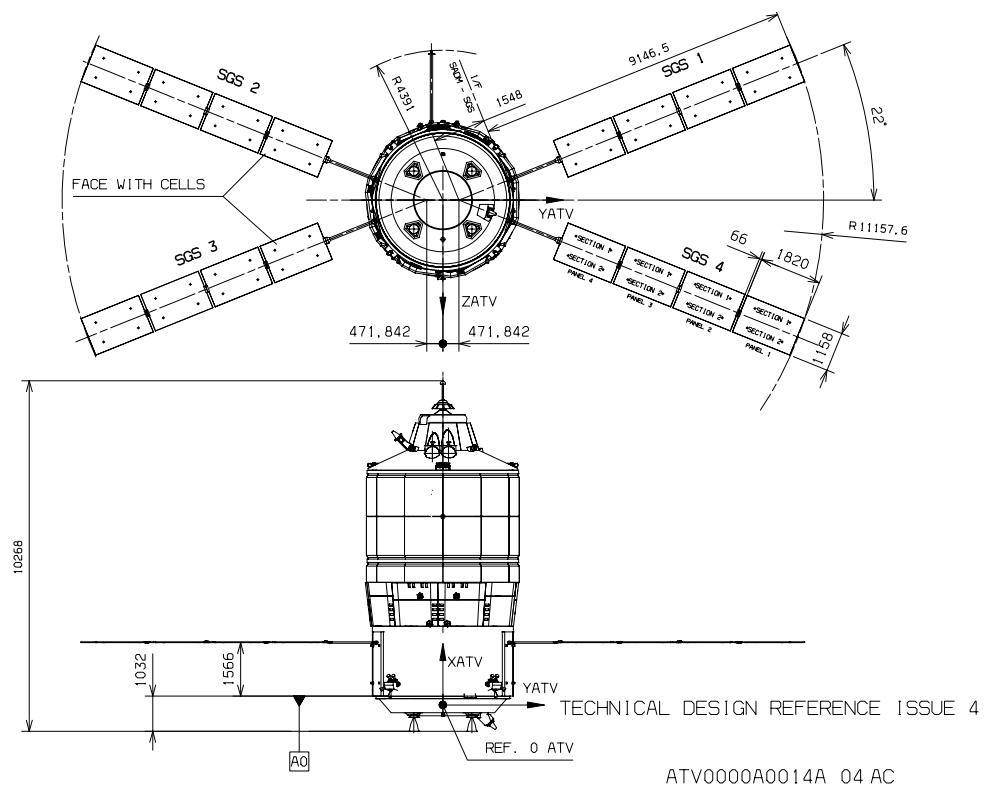
La structure de l'EPB est protégée par un bouclier anti-météorite et anti-débris (MPDS).

4-3. Sources d'énergie

Les sources d'énergie de l'ATV se composent de :

- 4 batteries rechargeables NiCd d'une capacité de 40 Ah fournissant l'énergie nécessaire lors des éclipses, ainsi qu'au cours de phases transitoires (sous-phases du rendez-vous, lancement, phase attachée) ;
- 1 sous-système de production d'énergie solaire alimentant les utilisateurs au cours de la journée et rechargeant les batteries ;
- 4 batteries non-rechargeables composées de 33 piles LiMnO₂ d'une capacité de 86 Ah pour alimenter des équipements spécifiques (système de sécurité et d'amarrage).

Quatre ailes solaires déployables et comprenant chacune 4 panneaux solaires sont installées à l'extérieur de l'EPB. Ces ailes sont orientables pour assurer un positionnement optimal par rapport au soleil.



Lors du lancement, ces ailes sont repliées contre les parois du module de service. Elles y sont fixées par quatre systèmes de fixation et de séparation (HDRS). Le déploiement de ces générateurs solaires débute par le découpage des câbles de retenue au niveau des points de maintien à l'aide de couteaux thermiques dédiés.

Chaque panneau est constitué d'une structure en nid d'abeille en aluminium et en plastique renforcé de fibres de carbone (CFRP) et recouvert de cellules solaires en Si-H type ETA-2.

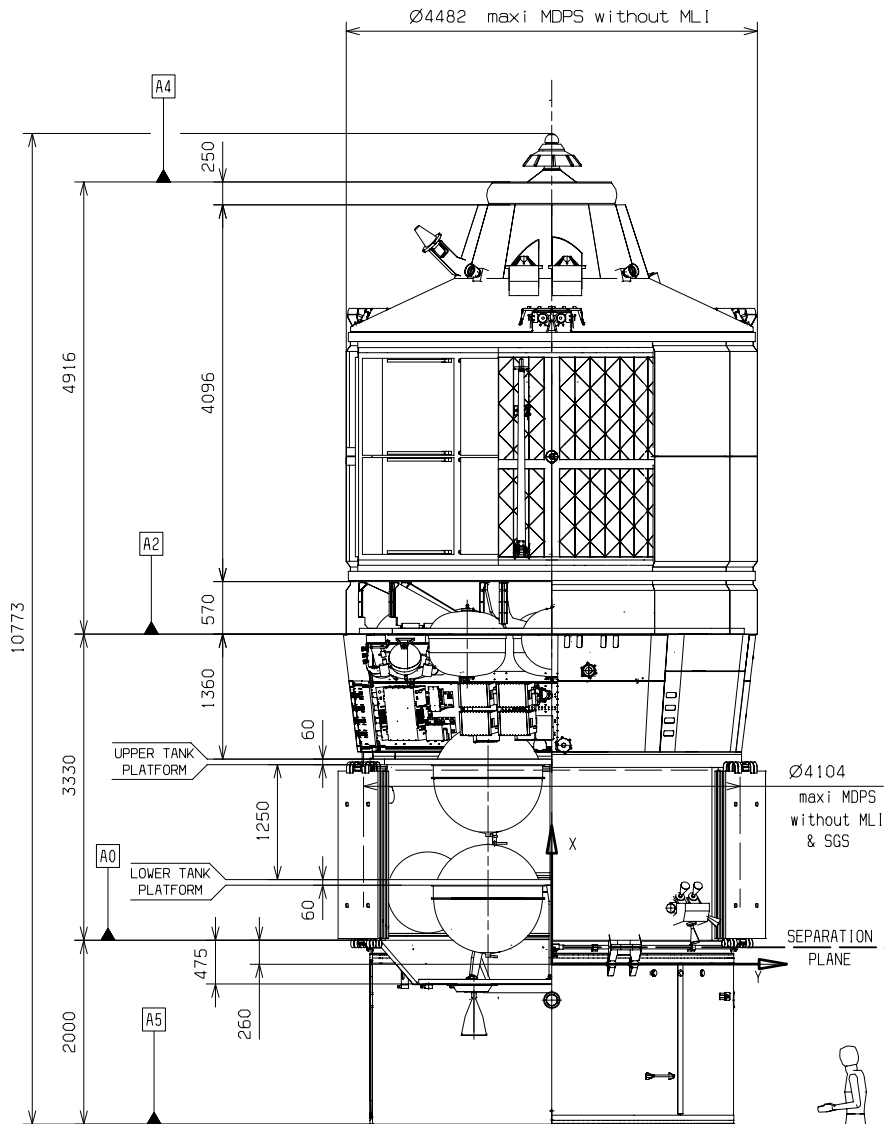
Une aile fournit une puissance de 1135 W (en fin de vie, en mode pointage Soleil). Au cours de la mission, ces générateurs sont orientés en permanence et délivrent des puissances oscillant entre 250 et 1135 W (pour chaque aile) selon l'attitude de l'ATV (angle d'incidence du rayonnement, ombrage de la station et de l'ATV lui-même).

En phase attachée, l'ISS peut aussi fournir de l'énergie à l'ATV via deux de ses panneaux, à hauteur de 50 A maximum pour chacun d'eux et sous une tension nominale de 28,5 V. L'ATV consomme de 400 W en mode « dormant » à 900 W maximum en pleine activité.

Le système de distribution d'énergie peut alimenter jusqu'à 80 « utilisateurs » et satisfaire ainsi une charge énergétique comprise entre 1200 à 2300 W selon la phase de la mission.

4-4. Principales caractéristiques de l'ATV "Jules Verne"

| Dimensions | |
|--|---|
| Longueur totale : | - 10,77 m (avec l'adaptateur SDM) - 9,79 m (sans SDM) |
| Envergure totale : | 22,28 m |
| Diamètre extérieur : | 4,48 m |
| Volume pressurisé | |
| - Total : | 46,5 m3 |
| - Volume réservé à la charge utile : | 23 m3 |
| - Volume utile dans les racks: | 16 m3 |
| Masse | |
| Masse au décollage : | 19356 kg |
| Masse sèche du Jules Verne: | 9784 kg (345 kg sur Ariane 5 après séparation) |
| Ergols (MMH, MON): | 5858 kg |
| - MMH (2177 kg), MON (3675 kg) | |
| - Masse dédiée au reboost de l'ISS : | 2300 kg |
| - Masse d'ergols pour la mission de l'ATV: | 3558 kg |
| Fret : | 2297 kg |
| - Eau : | 270 kg |
| - Gaz (Oxygène) : | 21 kg |
| - Masse d'ergols destinés au ravitaillement de l'ISS : | 856 kg |
| - Cargaison sèche : | 1150 kg |
| Sacs et structures pour la cargaison sèche : | 1417 kg |
| Fret total acheminé par Jules Verne | 4597 kg (Ergols destinés aux manœuvres de reboost et au ravitaillement de l'ISS, eau, gaz, cargaison sèche) |



ATV0000A0014A 01 AB

5. Phases de développement de l'ATV

5.1. Programme

Les principaux jalons du développement ont été les suivants :

| | |
|--|------------|
| Revue de définition préliminaire (PDR) | 14/12/2000 |
| Revue critique de définition (CDR) | 04/06/2003 |
| Revue de qualification partie 1 (QR1) | 28/05/2005 |
| Revue de qualification partie 2 (QR2) | |
| ▪ Revue de qualification « Flight control » | 29/11/2006 |
| ▪ Board de la Revue finale de qualification | 05/10/2007 |
| Autorisation de transport Jules Verne à Kourou | 04/07/2007 |
| Revue de recette Jules Verne | 08/01/2008 |

5.2. Logique de qualification

Le processus de qualification du segment spatial de l'ATV et la vérification des interfaces reposent sur les principaux modèles et plates-formes suivantes :

▪ **Au niveau sous-système :**

- le banc avionique ETM (Electrical Test Model) sur le site Astrium de Toulouse ;
- le modèle de qualification de la propulsion (PQM) sur le site Astrium Space Transportation de Lampoldshausen ;
- les modèles système russes et leurs infrastructures sur le site de RSC Energia à Moscou ;
- les différents moyens de validation des logiciels (SVF) sur le site Astrium Space Transportation Les Mureaux.

▪ **Au niveau segment spatial :**

- le modèle d'essais mécaniques et thermiques (STM) à l'ESTEC utilisé pour les tests dynamiques et thermiques ;
- l'ETM (banc avionique ETM complété) et les logiciels de vol sur le site Astrium Space Transportation Les Mureaux. L'ETM et les moyens d'essai sol qui lui sont associés constitue la plate-forme FSF (Functional Simulation Facility) ;
- le prototype de vol (PFM) à Astrium Space Transportation Brême, puis à l'ESTEC et enfin au Centre spatial guyanais (CSG).

La qualification fonctionnelle de l'ATV repose sur une série de tests fonctionnels réalisés sur plusieurs plates-formes :

- tests fonctionnels autonomes conduits en temps réel sur une plate-forme basée aux Mureaux (plate-forme de simulation fonctionnelle : FSF) ;
- tests de validation conjoints des interfaces avec l'ISS conduits principalement avec d'autres plates-formes de l'ATV installées à Moscou (en interface avec des moyens russes) et à Val-de-Reuil (validation de la phase de rendez avec les senseurs VDM et TGM réels) ;
- essais de validation système réalisés conjointement avec ATV-CC sur la plate-forme FSF et sur Jules Verne.

5.3. Modèle d'essais mécanique et thermique (STM)

La campagne d'essai du STM s'est achevée avec succès en septembre 2002.



La série d'essais complète réalisée était la suivante :

- essai acoustique ;
- analyse modale et essais de qualification dynamique ;
- test SHOGUN (vérification de la résistance au choc au largage de la coiffe) ;
- essai de largage de la sangle de séparation ;
- essai de déploiement des panneaux solaires ;
- essai d'équilibre thermique.

Tous ces essais ont été réalisés au centre d'essai de l'ESTEC à Noordwijk, Pays-Bas.

5.4. Maquette ETM et essais de qualification fonctionnelle

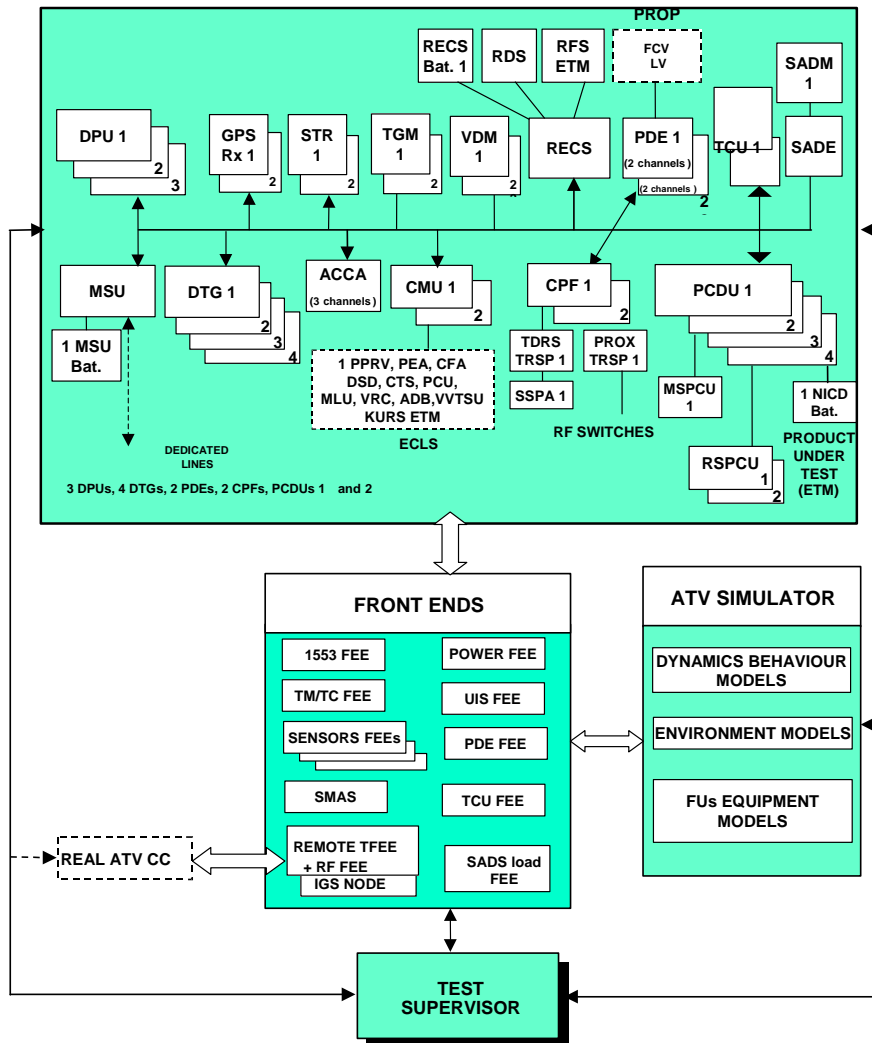
La plate-forme de simulation fonctionnelle (FSF, située aux Mureaux), qui intègre la maquette électrique ETM de l'ATV, le logiciel de vol FAS et les données système, constitue la principale infrastructure utilisée pour la qualification fonctionnelle. Elle a permis la réalisation de plusieurs centaines d'essais officiels en boucle fermée, couvrant des scénarios nominaux ou dégradés représentatifs de différentes phases de la mission (lancement et premières orbites, transfert vers l'orbite de phasage, rendez-vous et amarrage, phase attachée, séparation, désorbitation).

La plate-forme de simulation fonctionnelle se compose de 2 salles :



- la salle de contrôle avec les consoles de supervision (TS) et les opérateurs pour la conduite des essais ;
- la salle blanche où se trouvent de véritables équipements de l'ATV (la plupart des équipements avioniques sont montés sur une maquette mécanique de la baie EAB, des équipements russes étant disposés sur une structure dédiée) ainsi que la plupart des frontaux de servitude (GSE).

La plate-forme FSF se compose d'environ 90 équipements ATV (modèles d'identification, de qualification, parfois modèles de vol) ; tous les équipements avioniques redondants s'y trouvent (plus particulièrement ceux destinés aux DPU, PCDU, CPF, CMU, MSU, capteurs et PDE). On trouve également des équipements de servitude au sol (GSE) y compris un superviseur d'essais, et des frontaux (60 racks). Les équipements manquants et ceux destinés à la dynamique du vol sont modélisés dans le simulateur de l'ATV.



L'intégration de la plate-forme FSF a débuté fin 2002, donnant tout d'abord lieu à des essais de qualification électrique qui se sont poursuivis jusqu'à fin 2004 (35 essais). En 2005 et début 2006, les essais de validation ont démontré la représentativité du FSF vis-à-vis de tests sous-systèmes ou de tests Jules Verne.

Fin 2007 et début 2008 ont vu se dérouler les derniers tests en préparation du vol de Jules Verne, incluant certains essais de non-régression, des essais de longue durée, ainsi que des essais de validation avec la version finale du logiciel de vol FAS.

5.5. Principaux essais de vérification d'interfaces

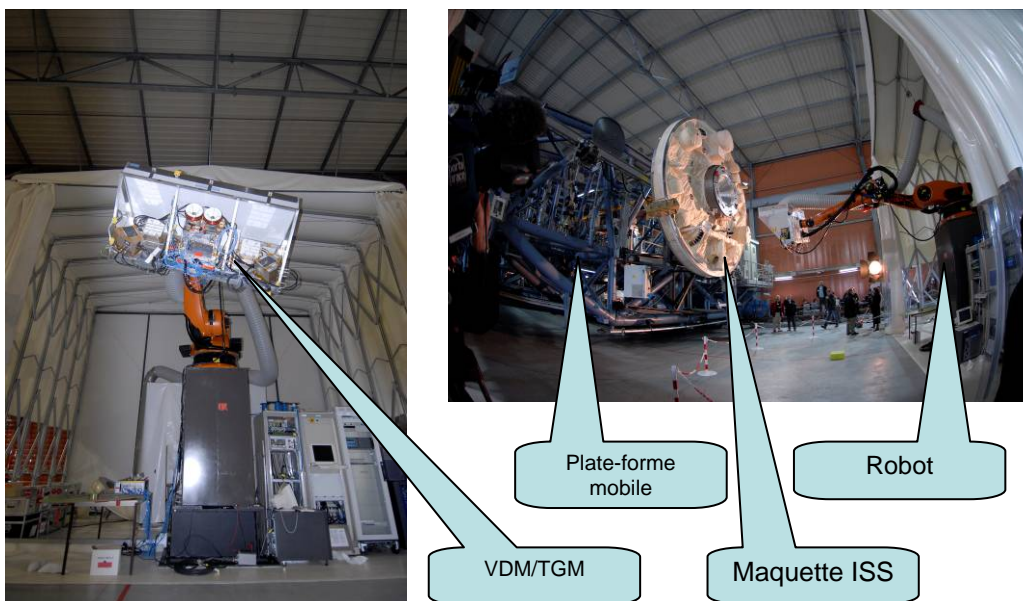
Interfaces entre l'ISS et l'ATV - Essais bilatéraux de vérification des interfaces (BIVP)

Les essais bilatéraux de vérification des interfaces (BIVP) ont été réalisés sur la base de moyens d'essais (dont un simulateur capable de représenter le comportement de l'ATV durant le vol) reliés à un simulateur générant des scénarios de comportement de l'ISS (simulateurs installés au Ground Debugging Complex ou GDC, dans les locaux de la société RSC Energia à Moscou) ou à un modèle d'identification du segment russe de l'ISS (Complex Integration Stand ou KIS). Ces essais visaient à valider les scénarios de rendez-vous et d'amarrage, ainsi que les différentes séquences associées à la « phase attachée » (ravitaillement en ergols, reboost...).

D'autres essais de validation des interfaces avec la station ont été conduits dans le cadre d'une répétition grandeur nature de la phase de rendez-vous, entre le point situé à 250 m (S₃) et l'amarrage. L'installation d'essai (nommée EPOS-X) incluait :

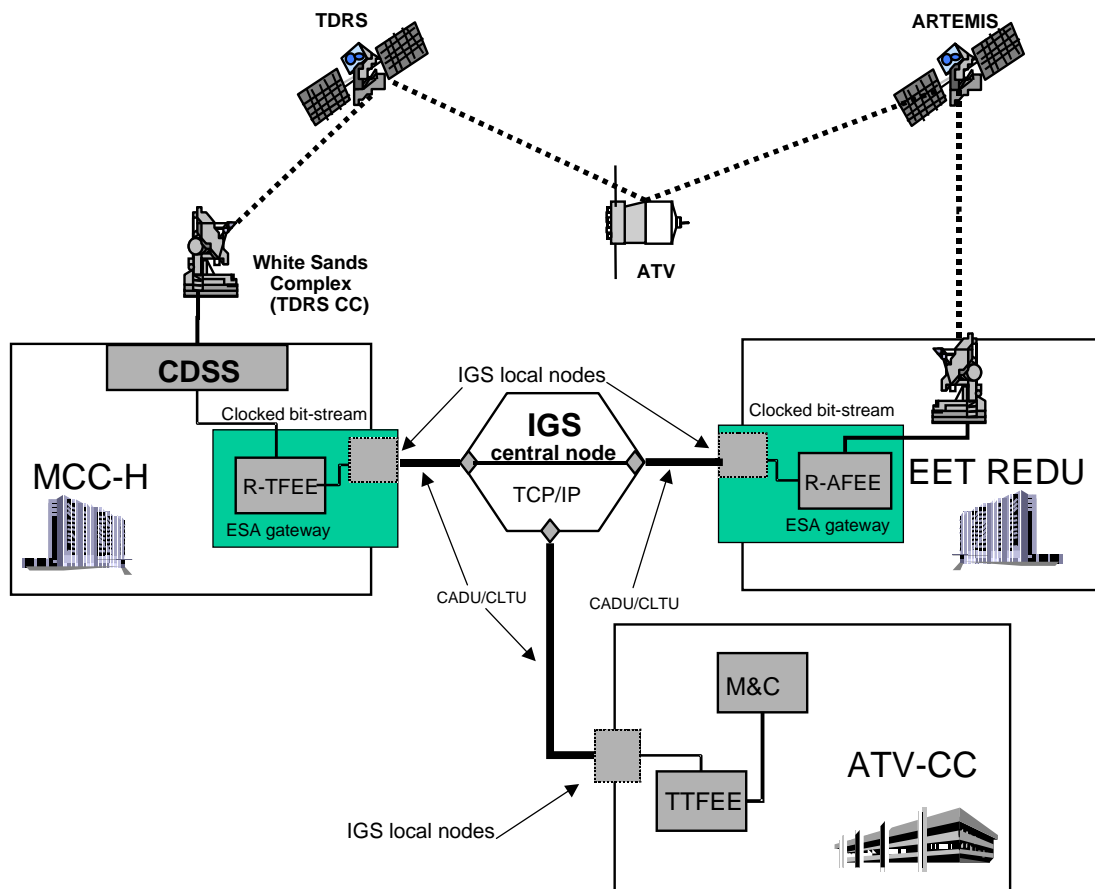
- une maquette de la partie arrière de l'ISS (à laquelle l'ATV s'amarrera), représentative optiquement et géométriquement. Cette maquette inclus en particulier un port de docking et des rétro-réflecteurs réels,
- des équipements optiques de rendez-vous de l'ATV (vidéomètres et télégoniomètres), installés sur un robot 6-axes,
- le mouvement relatif de ces deux ensembles était piloté par un simulateur du système ATV, utilisant le logiciel de vol (FAS) et permettant donc de simuler les phases de rendez-vous.

Ces essais spécifiques de validation des interfaces ont été réalisés au « Bassin d'Essai des Carènes » (situé à Val-de-Reuil, près de Paris). Les dimensions de cette installation (545 m) ont permis cette répétition grandeur nature d'un rendez-vous.



Essais de validation système (SVT) : essais conjoints avec l'ATV-CC.

Des essais de vérification des interfaces entre l'ATV-CC et l'ATV ont été conduits en plusieurs phases, du simple essai de compatibilité afin de vérifier la qualité des liaisons RF entre l'ATV-CC et Jules Verne (à l'ESTEC et à Kourou) via les satellites, à des répétitions de phases de mission durant lesquelles l'ATV « Jules Verne » (à l'ESTEC et à Kourou) était placé sous le contrôle en boucle fermée de l'ATV-CC.



5.6. Assemblage, intégration et tests du “Jules Verne”

Le prototype de vol (PFM) Jules Verne a également permis de réaliser certains essais de qualification. Pour des raisons de programmation, le module pressurisé EPM de l'ICC utilisé pour l'ATV Jules Verne est en fait le second module pressurisé réalisé. Le premier a en effet servi aux essais de qualification et sera donc remis à niveau en vue de sa réutilisation pour les ATV suivants.

Ce paragraphe décrit le processus général des activités, de l'intégration des sous-ensembles à l'achèvement de la campagne d'essais de Jules Verne, avant son transport vers le site de lancement.

Au niveau sous-ensemble, ce processus a débuté par les opérations d'intégration de la Baie avionique (EAB), de la Baie de propulsion (EPB) et du module de fret (ICC). Ces opérations se sont déroulées sur différents sites en Europe : Toulouse pour l'EAB, Brême pour l'EPB et Turin pour l'ICC.

Après réalisation d'un essai au vide thermique, l'EAB a été transféré vers l'établissement de Brême d'Astrium Space Transportation pour y être intégré avec l'EPB et former ainsi le module de service (S/C). L'ICC a, à son tour, été transféré à Brême. C'est à ce stade que l'ICC et le S/C ont été pour la première fois connectés électriquement et que Jules Verne a subi ses premiers tests fonctionnels, avec des équipements sol électriques (EGSE) et des procédures mises au point pour l'occasion.

En juillet 2004, l'ICC et le S/C ont été transférés à l'ESTEC. Ce trajet s'est effectué à bord d'un appareil Beluga entre les aéroports de Brême et d'Amsterdam, puis par barge et enfin par voie terrestre jusqu'au Centre d'essais de l'ESTEC.

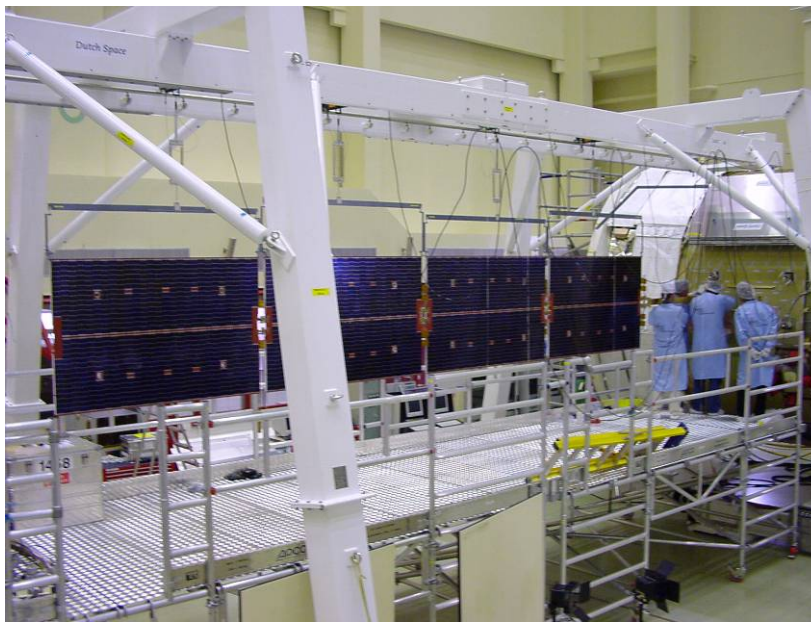
A l'ESTEC, différentes opérations complémentaires d'intégration ont été réalisées, notamment celles de l'avionique russe RECS (Russian Electronics Control System). Le S/C et l'ICC de Jules Verne ont ensuite été couplés pour la première fois d'un point de vue mécanique et électrique. Des tests de compatibilité électromagnétique (ECM) ont alors été réalisés dans la chambre « Maxwell » de l'ESTEC. Ils ont permis de s'assurer que les chaînes électriques de l'ATV n'étaient pas sensibles aux perturbations électromagnétiques. S'en est suivi un essai de qualification électrique dans lequel toutes les chaînes électriques ont été mises sous tension afin de reproduire les configurations de vol les plus défavorables sur le plan électrique. Les interfaces électriques avec l'ISS ont également été testées.



L'ATV Jules Verne dans la chambre EMC (ESTEC)

Une répétition de la procédure de chargement au dernier moment de fret à l'intérieur de l'ICC (qui répond à l'une des exigences de design du véhicule) a été réalisée. Des astronautes ont par ailleurs réalisé un certain nombre de contrôles de l'ICC afin de s'assurer que sa conception se conformait bien aux « principes de facteurs humains » exigés pour tout élément de l'ISS.

Cette phase s'est achevée par l'intégration des générateurs solaires.



Intégration des générateurs solaires (ESTEC)

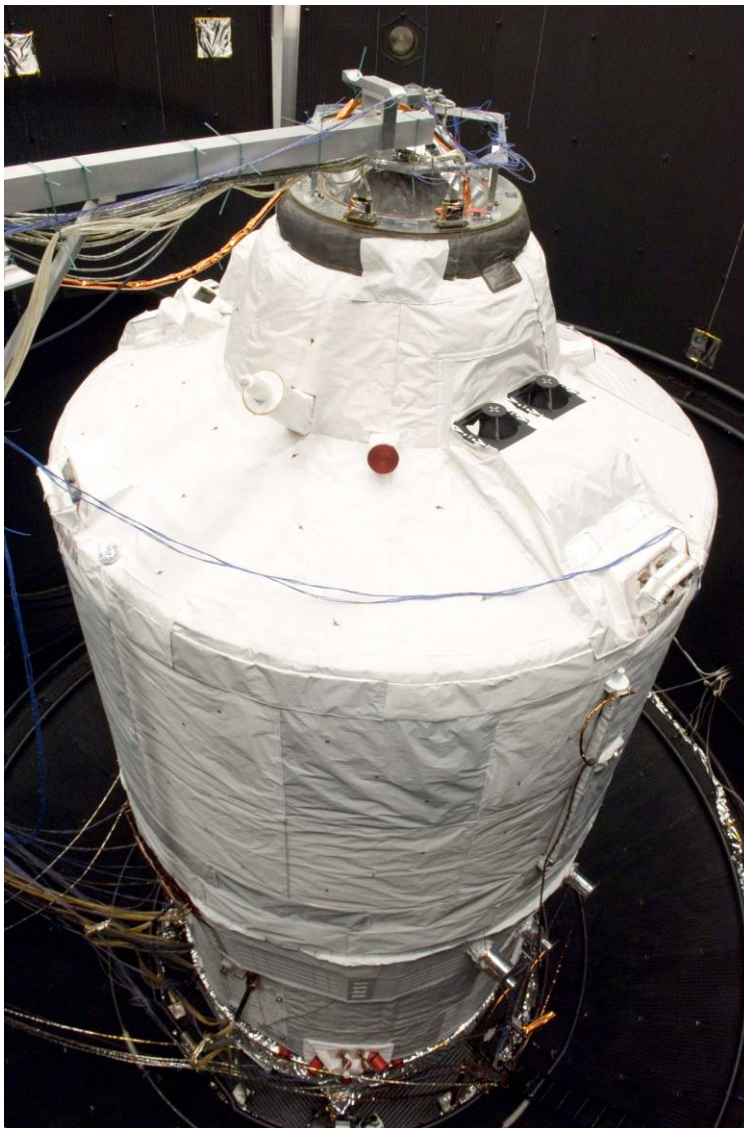


Après couplage des S/C, ICC et adaptateur SDM, l'ATV a été transféré dans la chambre acoustique (Large European Acoustic Facility, LEAF) où il a été soumis à un environnement acoustique simulant les niveaux de bruit générés au décollage d'Ariane 5. Cet essai s'est achevé avec succès en juin 2006.

L'ATV « Jules Verne » dans la chambre acoustique de l'ESTEC (LEAF)

Après cet essai acoustique, des contrôles ont été entrepris afin de s'assurer que les charges acoustiques n'avaient induit aucune dégradation : contrôles fonctionnels, essais d'étanchéité du système de propulsion, contrôle d'intégrité du système de ravitaillement en ergols, test de déploiement des quatre générateurs solaires (juillet 2006), puis démontage de ces générateurs.

Le S/C et le ICC ont ensuite été préparés en vue de l'**essai au vide thermique** (TVT). Ils ont pour cela été déplacés dans le caisson de vide thermique (**Large Space Simulator, LSS**) où ils ont à nouveau été couplés. Ils y ont subi des tests fonctionnels et une répétition générale complète des différents tests à réaliser lors de la campagne TVT. L'enceinte a ensuite été placée sous vide, scellée et maintenue dans cette configuration pendant 3 semaines. Durant cette période, l'ATV a été activé dans des conditions thermiques représentatives de l'environnement spatial et simulant les différentes phases de sa mission. Cet essai s'est achevé en décembre 2006.



L'ATV dans le grand simulateur spatial (LSS à l'ESTEC)

Après cet essai thermique, des tests fonctionnels ont été réalisés sur l'ATV, connecté à un simulateur et recevant des commandes du Centre de contrôle ATV. Il s'agit d'essais de validation en boucle fermée ou SVT (System Validation Test), dans lesquels tous les éléments de la mission ATV sont simulés, de la même façon que lors des tests de qualification conduits sur la plate-forme FSF.

Suite à cela, l'ATV Jules Verne est entré dans sa dernière phase de préparation au cours de laquelle ont été réalisés les ultimes tests fonctionnels, inspections et opérations préliminaires à son expédition.

A l'issue de cette étape franchie avec succès, Jules Verne était prêt pour son transfert vers le site de lancement. Le feu vert a été officiellement donné par la Pre-shipment Review.

Le transport a débuté le 13 juillet 2007 et a nécessité deux semaines entre le site de l'ESTEC et le port de Kourou, en passant par celui de Rotterdam.

6. La campagne de lancement du “Jules Verne”

6.1. Transport

Une fois les opérations à l'ESTEC achevées, tous les constituants de l'ATV, les moyens sol de support électriques mécaniques et fluidiques (EGSE, MGSE, FGSE) nécessaires à la campagne de lancement (y compris les ergols) ont été acheminés par bateau spécialement affrété de Rotterdam à Kourou, en Guyane. Cette opération a nécessité plus de 70 conteneurs, pour une masse totale de près de 500 tonnes.



Arrivée du Toucan au Port de Kourou

Tout le matériel a été déchargé dans le port Pariacabo de Kourou, puis transporté par convois spéciaux jusqu'au Centre Spatial Guyanais (CSG).



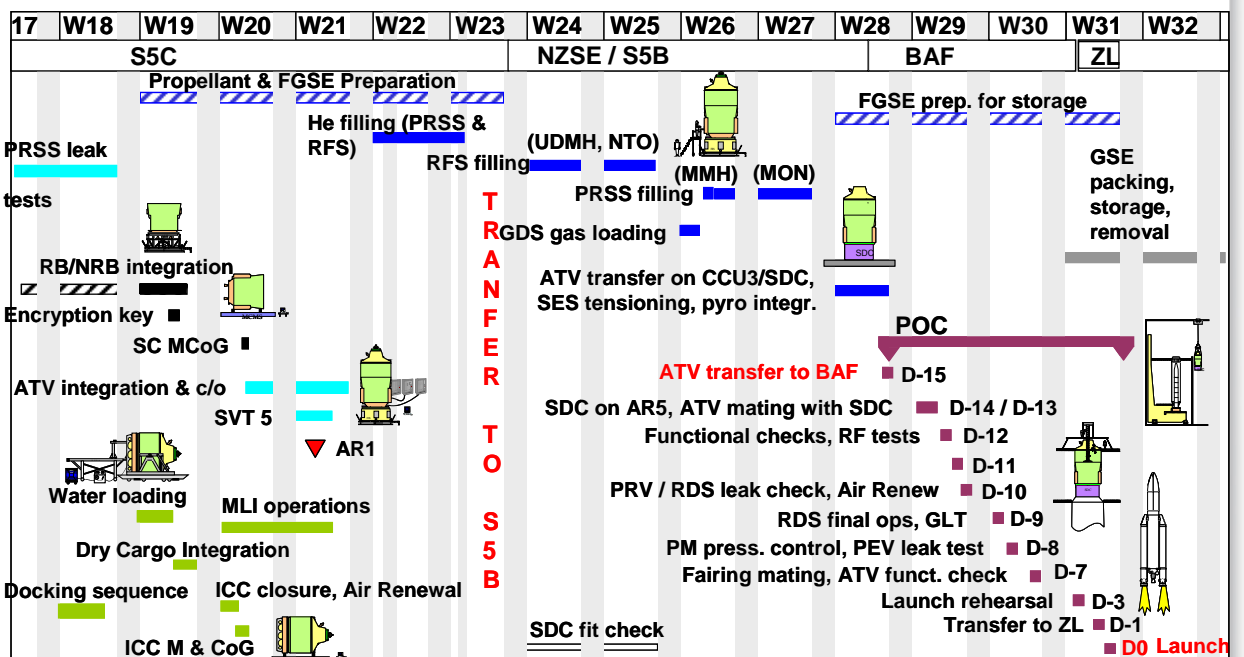
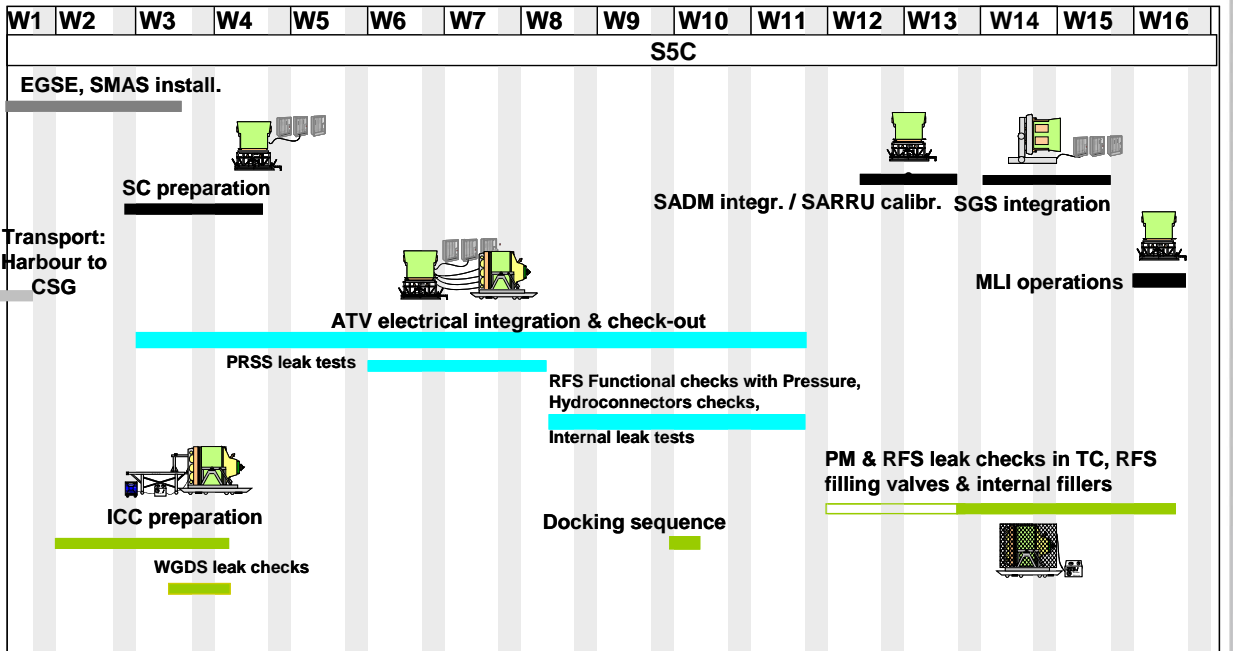
Transfert de l'ICC au Centre spatial guyanais

D'autres matériels comme la charge utile ont été transportés par voie aérienne commerciale de Turin et Houston jusqu'à Cayenne, en Guyane, puis par voie terrestre, de Cayenne à Kourou.

Après le lancement de l'ATV par Ariane 5, les conteneurs spéciaux et certains équipements sol de support (GSE) devront être rapatriés en métropole. Les GSE restants seront stockés dans un bâtiment dédié au CSG (ATV Storage Area, ASA) et offrant des conditions d'environnement contrôlées, en perspective d'une réutilisation à l'occasion d'une nouvelle campagne de lancement ATV.

6.2. Préparation du lancement

La campagne de préparation au lancement a débuté à l'arrivée au Centre Spatial Guyanais. Elle prend fin avec le lancement de l'ATV à bord d'Ariane 5.



Cette préparation de l'ATV a été réalisée dans l'Ensemble de préparation des charges utiles EPCU3 (bâtiment S5) y compris les opérations de remplissage en ergols. L'intégration de l'ATV sur le lanceur s'effectue dans le « Bâtiment d'Assemblage Final » (BAF). Le lancement est effectué depuis la « Zone de Lancement » (ZL).

A leur arrivée dans l'ensemble EPCU3, tous les éléments ont été déconditionnés et inspectés.



De gauche à droite : l'ICC, l'adaptateur SDM (en cours de déconditionnement) et le S/C

L'ICC et le module de service de l'ATV ont ensuite été préparés et vérifiés durant plusieurs semaines, dans le Hall d'intégration du bâtiment S5C.

Ces opérations ont débuté par des contrôles d'étanchéité des réservoirs d'eau et de gaz de l'ICC.

Des essais fonctionnels ont ensuite permis de vérifier l'intégrité de tous les équipements.

Le sous-système de propulsion a été soumis également à des essais fonctionnels et des contrôles d'étanchéité.

Ce fut ensuite au fonctionnement du système de ravitaillement en ergols d'être éprouvé. Une répétition de la manœuvre d'amarrage a également été conduite afin de vérifier le système d'amarrage russe.



Répétition de l'amarrage

Le module de service a ensuite été configuré pour intégrer les mécanismes de déploiement des générateurs solaires, puis les générateurs proprement dits. Le module de service a pour cela été placé à l'horizontale, afin d'intégrer et de tester de manière successive les quatre ailes.



Intégration des générateurs solaires

Le module de service a ensuite été redressé à la verticale de manière à pouvoir y intégrer les batteries rechargeables et non-rechargeables. Ces opérations terminées, le module de service était prêt pour l'assemblage final avec le module de fret.

Parallèlement, le module pressurisé de l'ICC a été testé en étanchéité, puis configuré en vue d'y installer le fret sec.

Les réservoirs d'eau de l'ICC ont été remplis avec 270 kg d'eau, traitée conformément aux spécifications russes en la matière. Plusieurs prélèvements d'échantillons et analyses ont été réalisés depuis afin de s'assurer que la qualité de l'eau répondait aux exigences de l'ISS.

Le module pressurisé a ensuite été nettoyé, désinfecté et chargé avec la charge utile. Au total, 1150 kg de fret sec (pièces de rechanges, nourriture, vêtements, etc.) conditionnés en sacs standard ont ainsi été chargés dans les racks du module pressurisé. A l'issue d'une ultime inspection, le module pressurisé a été fermé.



Intégration du fret sec

Dans cette dernière configuration précédant le couplage avec le lanceur, l'ICC et le S/C ont été pesés, la position de leur centre de gravité et leurs caractéristiques d'inertie déterminées.

Après avoir chargé la dernière version du logiciel de vol FAS, le module de service et l'ICC ont été couplés mécaniquement et électriquement dans le Hall d'intégration du bâtiment S5C. S'en sont suivis plusieurs tests électriques destinés à vérifier la qualité des connexions, ainsi que des opérations de soudage et de contrôle d'étanchéité des deux lignes d'alimentation d'ergols reliées aux moteurs de contrôle d'attitude (FACS) installés sur le cône avant de l'ICC.

Un test de validation Système (baptisée SVT-5) a alors été réalisé, en liaison avec l'ATV-CC à Toulouse; cette procédure visait à vérifier l'aptitude des différentes entités à travailler ensemble et à s'échanger des télécommandes et des télémesures via les véritables liaisons de télécommunication établies au travers des satellites TDRSS et Artemis.

Il a alors été possible de pressuriser à 340 bars les réservoirs d'hélium du système de ravitaillement en ergols. Le système de propulsion a été pressurisé à 290 bars.

L'ATV a ensuite été transféré dans le hall de remplissage S5B de l'EPCU3 pour les opérations de remplissage d'ergols.



Transfert au S5B

Les ergols destinés au système de ravitaillement (UDMH et N_2O_4) ont été traités préalablement à leur chargement.



Opération de chargement des ergols (S5B)

Les réservoirs de gaz de l'ICC ont été chargés en oxygène pur (21 kg d'oxygène gazeux au total).

Les réservoirs d'ergols du sous-système de propulsion ont été remplis avec du MON et du MMH. Au total, 5853 kg d'ergols ont été chargés. Une pressurisation des ergols a également été effectuée.

La compatibilité de l'adaptateur (SDM) avec le lanceur a été vérifiée en parallèle.

Après chargement des gaz et des ergols, l'ATV a été assemblé mécaniquement sur l'adaptateur SDM et des capuchons de protection installés sur les lignes de commande pyrotechniques. L'ATV a alors été placé dans le conteneur climatisé CCU-3 pour être transporté jusqu'au BAF.

Le 14 février 2008, l'ATV a été transféré du Hall de remplissage (S5B) au BAF (Bâtiment d'assemblage final), à l'aide du CCU-3 (conteneur de charge utile), autorisant le démarrage des opérations combinées avec le lanceur (Plan d'opérations combinées, POC)



Le 15 février 2008, l'adaptateur (Separation and Distancing Cylinder, SDC) a été mis en place.



Le 16 février 2008, le véhicule ATV Jules Verne proprement dit a été posé sur l'adaptateur SDC.



Après avoir été entièrement couplé au sommet du lanceur, l'ATV Jules Verne a été nettoyé et les ultimes opérations réalisées (contrôle des connexions électriques et fonctionnelles, répétition du compte à rebours, mise en place des dernières protections thermiques...).

La coiffe longue a enfin été posée le 25 février 2008, mettant un terme à une campagne d'intégration et d'essai relativement complexe.



7. La mission “Jules Verne”

7.1. Compte à rebours de la chronologie de lancement

Les principales opérations de l'ATV durant la chronologie de lancement, entre H0-10h et le décollage sont les suivantes :

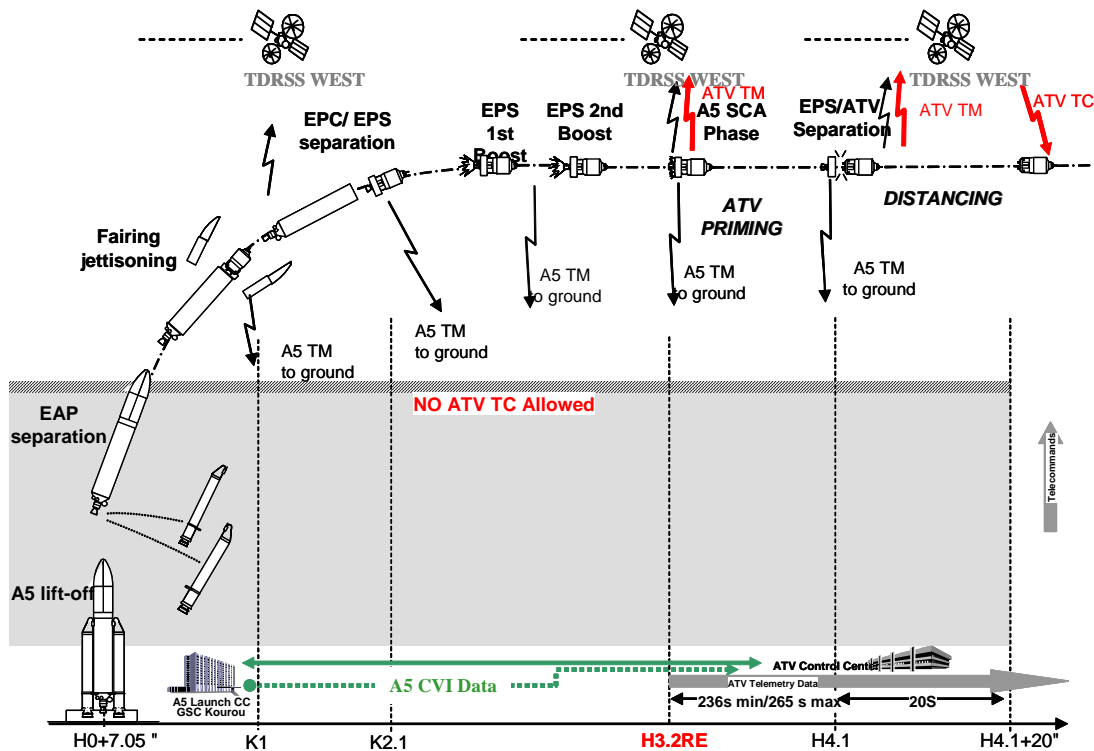
- H0-10h : début du compte à rebours, activation des EGSE, transfert de données depuis l'ATV-CC
- H0-8h : activation de l'ATV
- H0-7h30 : début du réchauffage de l'ICC
- H0-7h15 : activation des blocs gyrométriques
- H0-6h : vérification du réchauffage de l'ICC - GO / NOGO pour le remplissage des réservoirs de l'EPC Ariane 5
- H0-2h : mise à jour de l'heure des calculateurs de bord
- H0-1h40 : ultime chargement de données
- H0-1h : surveillance de la température de l'ICC
- H0-15mn : fin de réchauffage de l'ICC
- H0-9mn : ATV commuté sur batteries bord
- H0 -8mn : autorisation de placer ATV en mode autonome
- H0-7mn : ATV prêt pour le lancement. Début de la séquence synchronisée

7.2. Phases de vol du “Jules Verne”

LANCEMENT PAR ARIANE 5 ET PREMIERES OPERATIONS en orbite

La version du lanceur Ariane 5 utilisée est l'A5-ES, équipé d'un étage EPS doté d'une capacité de rallumage. Le lanceur injecte l'ATV sur une orbite basse (LEO) quasi-circulaire de l'ordre de 300 km d'altitude, inclinée à 51,6°.





Après sa séparation d'avec l'étage supérieur d'Ariane 5, qui intervient 70 minutes environ après le décollage, l'ATV exécute une série d'opérations automatiques afin de figer sa configuration en orbite, tous les systèmes nécessaires étant actifs et opérationnels.

Lors de la séparation d'avec l'étage supérieur, le véhicule reste en mode pointage Terre, et les systèmes de navigation, de contrôle de vol et de propulsion, qui étaient déjà partiellement activés, sont placés dans leur configuration et en mode de vol libre. Les panneaux solaires de l'ATV se déploient automatiquement, suivis par l'antenne destinée aux communications avec l'ISS. L'ATV passe ensuite en mode de contrôle d'attitude qui lui permet de stabiliser son attitude autour de son axe de lacet et, ce faisant, de maintenir ses générateurs exposés au rayonnement solaire, tout en conservant l'antenne TDRS correctement pointée.

A ce stade, l'ATV est en configuration orbitale et ses panneaux suivent le soleil de manière à pouvoir fournir l'énergie électrique dont ses équipements de bord ont besoin. Son système de régulation thermique maintient ses équipements à température nominale et son système de communication avec le sol (via TDRS et ARTEMIS) est opérationnel.

LE PHASAGE AVEC L'ISS

La phase de vol suivante de l'ATV vers la station (phasage) nécessite de 10 à 13 jours et a pour objectif d'amener l'ATV aux abords de l'ISS, plus précisément au point d'interface dénommé S_{-1/2} à partir duquel peut être établie un lien de communication de proximité avec la station spatiale. Ce point S_{-1/2} se situe classiquement 5 km au-dessous et 39 km en arrière de l'ISS.

Durant cette phase, toutes les opérations sont placées sous le contrôle et la surveillance du Centre de contrôle ATV (ATV-CC) à Toulouse.



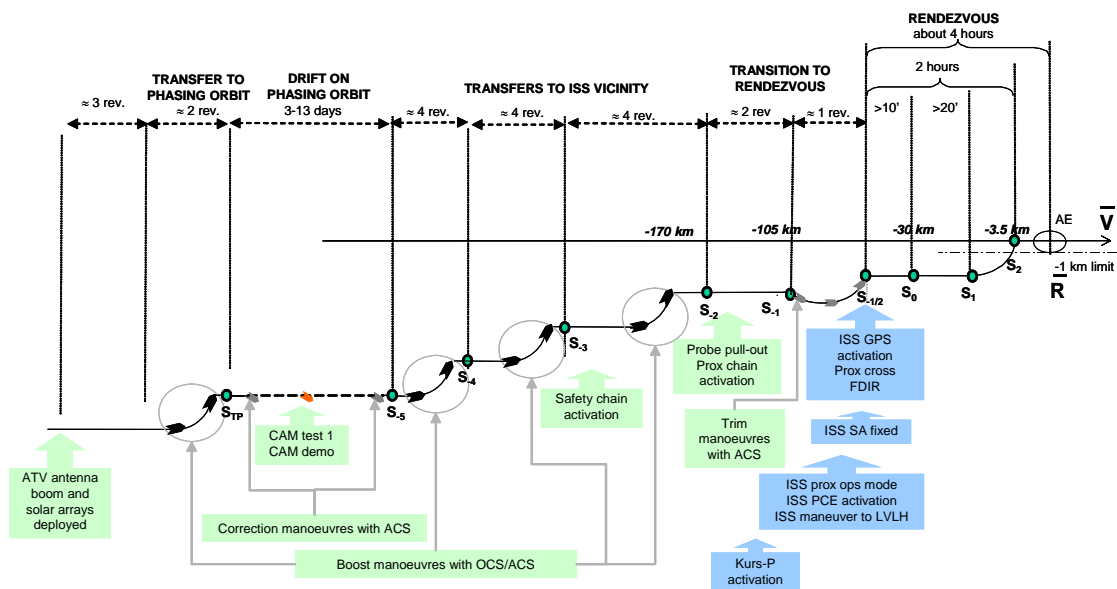
Le phasage se décompose en quatre sous-phases :

- un transfert vers une orbite de phasage ;
- une dérive sur l'orbite de phasage ;
- un transfert aux abords de l'ISS ;
- une translation finale vers le rendez-vous.

Ces transferts consistent essentiellement en trois manœuvres propulsées ; chaque transfert inclus des poussées des systèmes de contrôle d'orbite (OCS) ou de contrôle d'attitude (ACS).

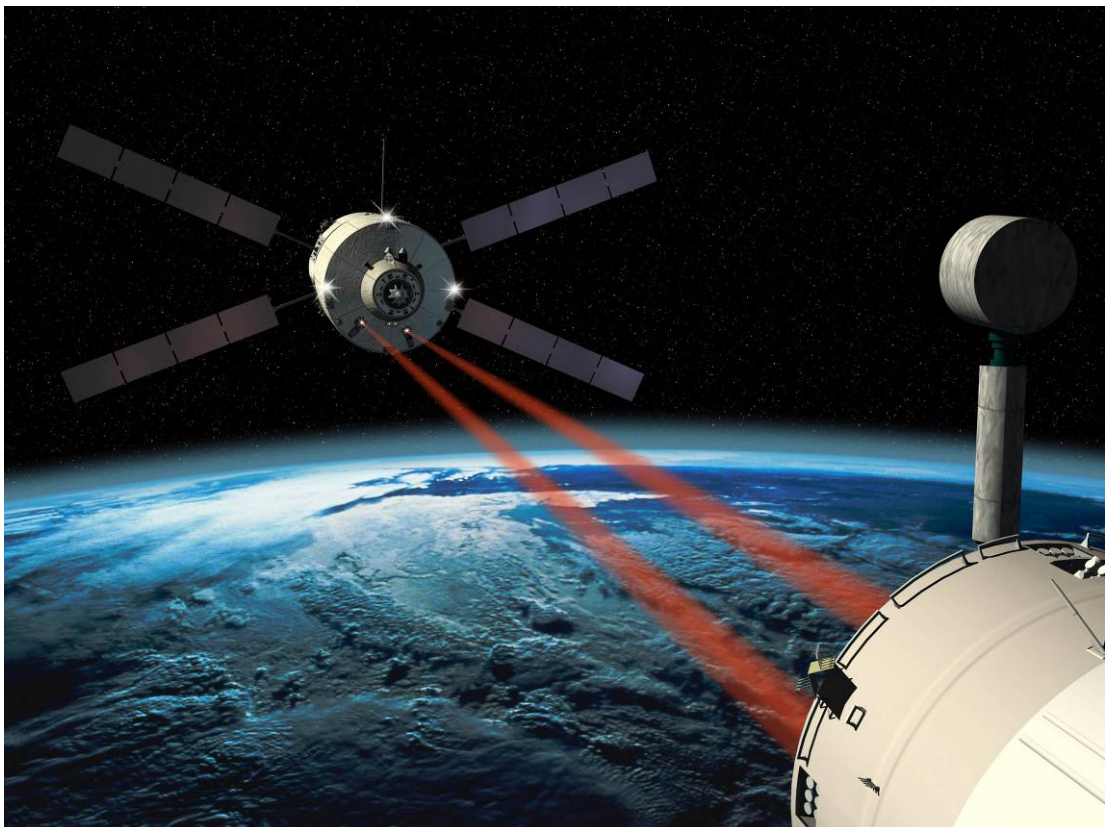
La dérive consiste à atténuer l'angle de phasage et est ponctuée de plusieurs petites impulsions de correction d'orbite.

La transition finale vers le rendez-vous consiste en une série de manœuvres fines destinées à compenser les dispersions rencontrées lors du transfert précédent. Elles interviennent en fin de phasage afin d'aboutir à la précision requise.

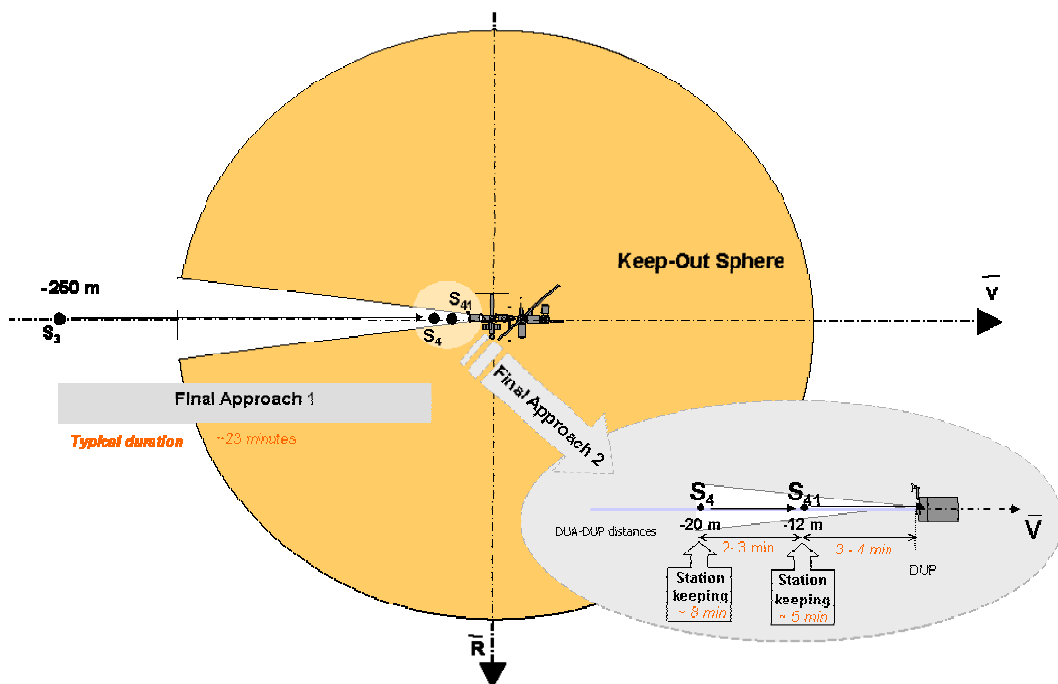
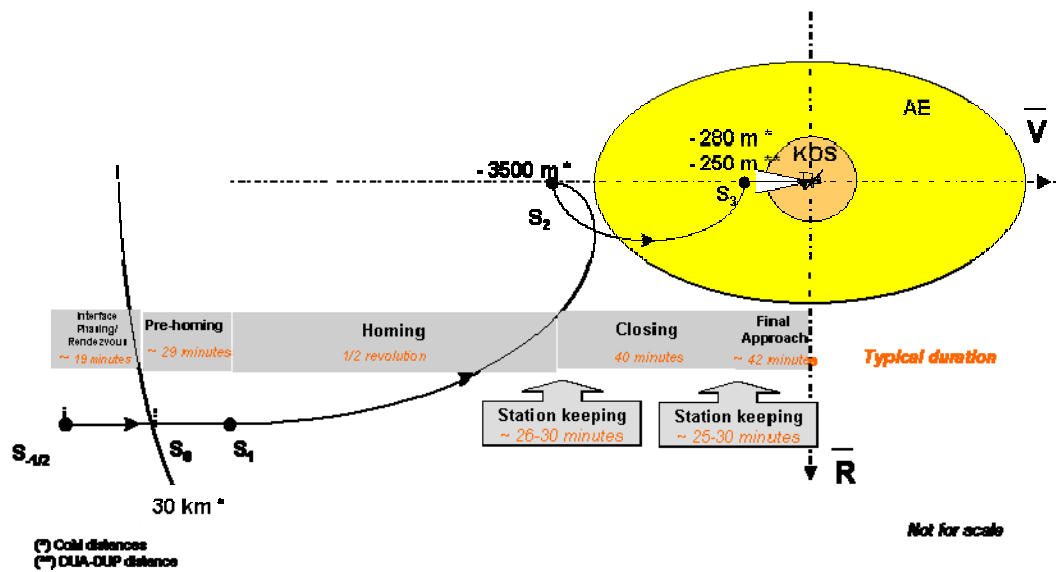


RENDEZ-VOUS ET AMARRAGE A L'ISS

Les manœuvres finales de rendez-vous et d'amarrage à l'ISS sont réalisés en plusieurs étapes, sous la responsabilité conjointe de l'ISS et de l'ATV-CC. La priorité absolue tout au long de ces opérations est de garantir la sécurité de l'ISS et de son équipage. Chaque étape est donc soumise à l'autorisation du Centre de contrôle de mission (MCC) et contrôlée par l'ATV-CC.



Le rendez-vous débute avec l'approche initiale ou « homing ». Cette opération, conduite de manière autonome, positionne l'ATV sur l'orbite de l'ISS à une distance située à 3500 mètres derrière la station (point S_2), dans l'attente de la permission donnée par le sol d'entrer dans l'ellipsoïde d'approche. Des manœuvres supplémentaires conduisent l'ATV plus près de l'ISS et sont également soumises à des autorisations du sol pour rejoindre des points caractéristiques situés à 250 m (S_3), 20 m (S_4) et 12 m (S_{41}).



En cas de comportement anormal détecté par les propres moyens de l'ATV, son logiciel de bord déclenche une manœuvre d'évasion. Si cet événement intervient dans un périmètre très proche de la station, c'est la fonction de sécurité du vol à proximité qui déclenche une manœuvre d'évitement de collision (CAM) permettant de placer l'ATV sur une trajectoire sûre par rapport à l'ISS. Par ailleurs, si une situation d'urgence est détectée par l'équipage de l'ISS ou l'ATV-CC, l'une ou l'autre de ces autorités a la faculté de commander une manœuvre de CAM.

Dans la dernière partie du rendez-vous (l'approche finale constitue une translation forcée entre le point S_3 et l'amarrage), l'équipage vérifie le comportement de l'ATV grâce à la caméra vidéo située sur le module de service de l'ISS et les mires (Visual Video Targets, VVT) placées sur le cône avant de l'ATV. C'est l'ATV-CC qui, sur autorisation de l'ISS donnée à 12 m de distance, envoie une télécommande d'approche finale.

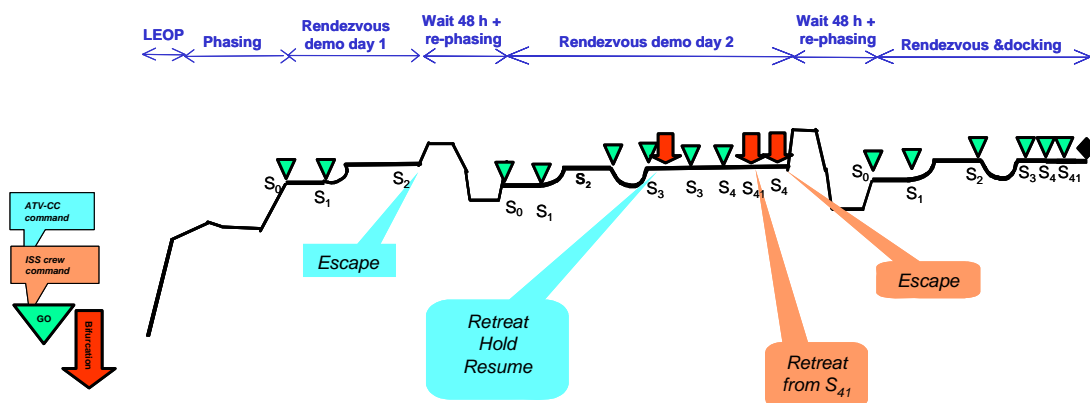
L'approche finale de l'ATV vers la station repose sur un système de vidéomètres (VDM), un capteur optique installé sur le cône avant de l'ATV et utilisé lors des derniers 250 mètres avant la station. Pour garantir les performances requises, un ensemble de rétroreflecteurs laser spécifiques a été installé à l'arrière du module de service de l'ISS lors d'une sortie extravéhiculaire.

Dès que la sonde d'amarrage entre en contact avec l'ISS, le système propulsif de l'ATV délivre la poussée nécessaire pour garantir sa capture par la station. Cet événement déclenche la séquence automatique d'amarrage qui conduit à rendre le véhicule mécaniquement solidaire de la station par une liaison étanche, et à établir toutes les connexions électriques, de données et fluides.

Après une série de vérifications, l'équipage ouvre le sas d'accès, faisant de l'ATV une partie intégrante de la station spatiale internationale.

La mission Jules Verne inclut la démonstration des fonctionnalités du module de service de l'ATV, préalablement à son exploitation en conditions critiques pour la sécurité.

De fait, une manœuvre supplémentaire lors du phasage permettra de confirmer la capacité de l'ATV et à exécuter une manœuvre d'évitement de collision (voir CAM Demo dans la chronologie plus haut). Dans le séquentiel de vol général de la mission de l'ATV, deux phases de démonstration sont prévues en préalable au rendez-vous et de l'amarrage.



- **Première journée de démonstration et retour**

Durant cette phase de la mission (durée de 2 jours), l'ATV s'approchera de l'ISS jusqu'au point d'attente S_2 , où une manœuvre d'évasion (ESCAPE) sera commandée par l'ATV-CC ; après cette opération, une série de manœuvres orbitales ramènera l'ATV au point d'interface (S_0) en vue de poursuivre sa mission.

- **Seconde journée de démonstration et retour**

Durant cette phase de la mission (durée de 2 jours), l'ATV s'approchera de l'ISS jusqu'au point d'attente S_{41} , puis exécutera un retrait (RETREAT) jusqu'au point S_4 où une manœuvre d'évasion (ESCAPE) sera commandée par l'équipage ; après cette opération, une série de manœuvres orbitales ramènera l'ATV au point d'interface (S_0) en vue de poursuivre sa mission.

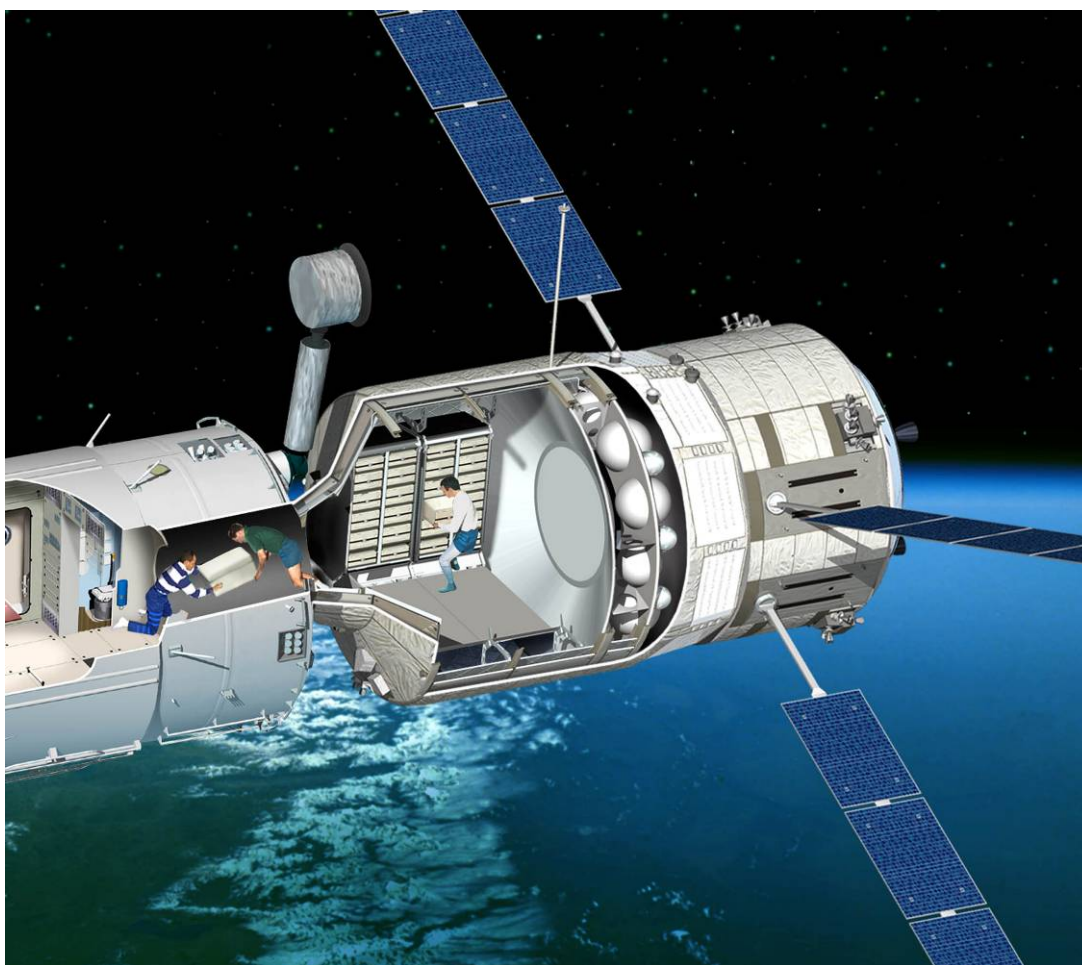
- **Rendez-vous**

L'ATV réalisera les opérations de rendez-vous et d'amarrage avec l'ISS. Cette phase dure environ 5 heures.

OPERATIONS DE L'ATV EN PHASE ATTACHEE

Une fois amarré à la station spatiale, l'ATV commence à fonctionner suivant la chronologie opérationnelle de l'ISS. Il exécute tout l'éventail des opérations prévues en phase attachée, conformément aux objectifs de sa mission.

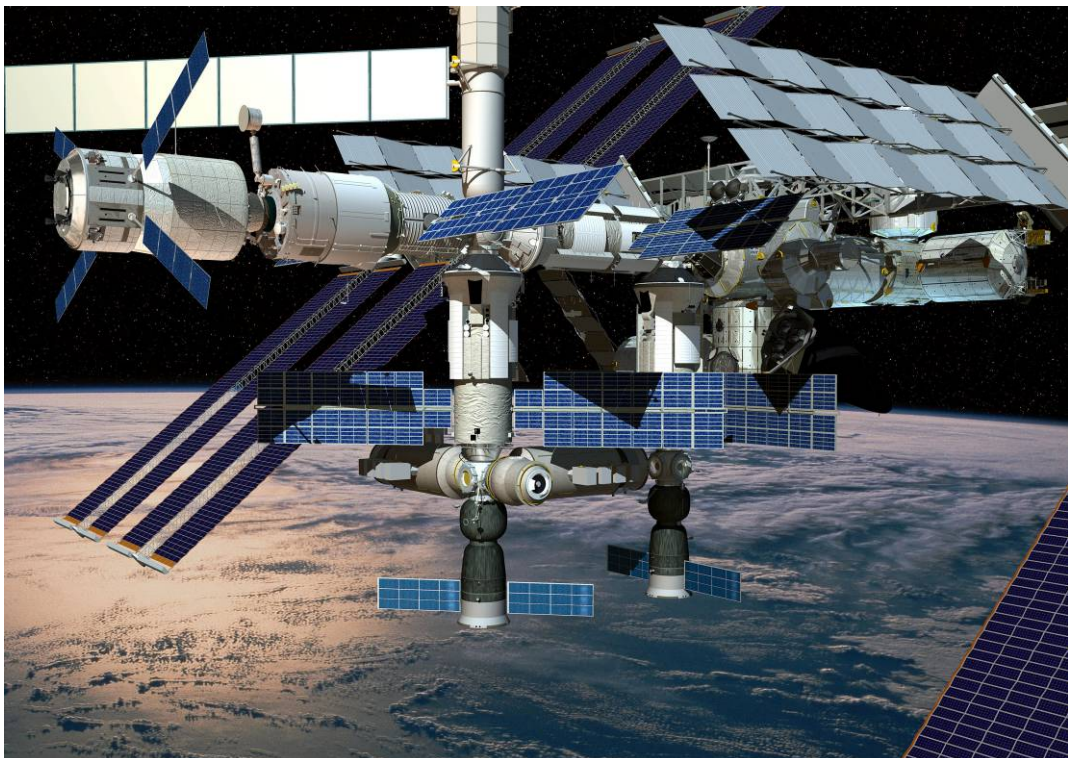
Bien que lié à la station, l'ATV reste autonome en termes de puissance électrique, de contrôle thermique et de gestion de données.



A un moment prédéfini dans le cadre d'opérations combinées ISS/ATV et associant le centre de contrôle ATV-CC et les centres de contrôle de mission MCC, la station spatiale peut déterminer le mode d'exploitation de l'ATV qu'elle juge utile en lui envoyant les commandes adéquates, pour utiliser le système propulsif de l'ATV, pour opérer un transfert d'ergols ou réaliser des opérations relatives au fret. Toutes ces opérations sont conformes au plan d'exploitation de l'ISS, tel que défini par les centres de contrôle de Moscou et de Houston.

Durant les opérations de fret réalisées à l'intérieur du module pressurisé et dans le cadre d'IVA (transfert de fret sec, distribution d'eau ou de gaz, transfert de déchets), l'ATV demeure en mode dormant. Il est re-activé (sur commande de l'ATV-CC) pour des manœuvres de reboost ou de contrôle d'attitude qui peuvent se dérouler en plusieurs incréments tout au long de la phase attachée. Chaque incrément peut durer jusqu'à 12 heures. Le système propulsif de l'ATV est directement contrôlé par le logiciel de guidage, de navigation et de pilotage de l'ISS. Les corrections d'orbite sont réalisées par les moteurs principaux de l'ATV. Les manœuvres de maintien du contrôle d'attitude ont quant à elles recours aux moteurs de contrôle d'attitude.

Les transferts d'ergols (ravitaillement) sont également placés sous le contrôle direct de l'ISS et peuvent être conduits en une ou plusieurs étapes. Le combustible et le comburant sont transférés selon des séquences successives qui comprennent les vérifications d'étanchéité et les purges de ligne nécessaires; elles sont conduites sur commande de l'ISS. Ces opérations nécessitent de placer l'ATV dans un mode actif particulier, parallèlement ou non au contrôle d'attitude de l'ISS par l'ATV. L'état d'intégrité de l'ATV est surveillé par l'ATV-CC.



SEPARATION ET DEPART DE L'ISS, DESORBITATION ET RENTREE DANS L'ATMOSPHERE

L'ATV peut rester jusqu'à 6 mois en configuration attachée à la station. En cas d'événement imprévu signalé par l'ISS et nécessitant de libérer le port d'amarrage du module de service de l'ISS, l'ATV peut être désamarré de la station et placé en attente pour une durée pouvant atteindre 8 semaines après son départ.

Une fois ses objectifs remplis, l'ATV est configuré par l'ATV-CC en vue de son départ. C'est à nouveau l'ATV-CC qui télécommande sa séparation d'avec l'ISS. Après une minute d'évolution en dérive libre, l'ATV réalise par ses propres moyens et dans les 15 minutes qui suivent une manœuvre d'éloignement qui le dégage de l'ellipsoïde d'approche. Il délivre ensuite une poussée de désorbitation sous contrôle du sol et engage sa rentrée destructrice au-dessus de zones de retombées prédéterminées dans l'océan. Ces opérations de désorbitation peuvent durer de 10 à 20 jours selon la zone de retombée choisie.

7.3. Déroulement et contraintes de la mission “Jules Verne”

La seule contrainte au lancement de l'ATV n'est pas le jour, mais l'heure de lancement. En d'autres termes, l'ATV peut être lancé n'importe quel jour, mais pour un jour donné, l'heure de lancement est unique (pas de fenêtre de lancement). Un arrêt de chronologie se traduit donc par un report du lancement. Le délai entre deux lancements consécutifs est d'environ 23 heures et 36 minutes (c.-à-d. que le prochain lancement interviendra le jour suivant, 24 minutes avant l'heure de lancement prévue le jour du report).

Le profil de mission de démonstration en vol de l'ATV est la réalisation d'une première journée de démonstration (Demo Day 1), d'une phase post-évasion (Post-ESCAPE), d'une seconde journée de démonstration (Demo Day 2), d'une phase Post-Escape et de la journée du rendez-vous (RDV Day).

Plusieurs contraintes sont à considérer, comme le trafic vers l'ISS (Progress P28, mission STC Columbus, mission du module japonaise 1JA, Soyouz 15S), l'intervalle de temps minimal entre « Demo Day 1 » et « Demo Day 2 » (48 heures), celui entre « Demo Day 2 » et « RDV Day » (48 heures), ainsi que des contraintes particulières pesant sur les « Demo Day » et « RDV Day » et liées aux facteurs suivants :

- l'angle beta (entre le plan orbital de la station et la hauteur du soleil) ;
- l'éblouissement de la camera du module de service de l'ISS par le soleil ;
- l'éblouissement des vidéomètres de l'ATV (VDM) par le soleil ;
- l'éblouissement indirect des vidéomètres de l'ATV (VDM) par le soleil ;
- l'état des liaisons TM/TC/Video bord sol via les satellites TRDS (bande S pour les TM/TC, Bande Ku pour la vidéo).

Si l'on prévoit un lancement le 9 mars, le planning nominal s'établit comme suit :

- « Demo Day 1 » le 29 mars 2008
- « Demo Day 2 » le 1 avril 2008
- Amarrage à l'ISS le 3 avril 2008

8. Astrium et le programme ATV

Astrium Space Transportation, filiale du groupe EADS, est le maître d'œuvre retenu par l'ESA pour les principaux modules d'infrastructures spatiales développés en Europe, la famille de lanceurs Ariane de réputation mondiale, ainsi que pour les missiles balistiques de la force de dissuasion française.

Outre le module Columbus (lancé avec succès à bord de la navette spatiale Atlantis le 7 février 2008 et amarré à l'ISS quelques jours plus tard), Astrium Space Transportation s'est vu confier la maîtrise d'œuvre du programme ATV qui est, sans aucun doute, le programme de véhicule spatial le plus complexe de toute l'histoire spatiale européenne. A ce titre, Astrium Space Transportation a réalisé les activités suivantes :

- l'ingénierie système ;
- les essais de qualification et de recette (sur le véhicule, les plates-formes d'essais...) y compris la vérification des interfaces (avec l'ISS, le système de lancement Ariane 5, le Centre de contrôle ATV...);
- la fourniture de sous-systèmes et d'éléments (logiciel de bord, chaîne avionique et baie avionique EAB, sous-système de propulsion et baie de propulsion, équipements fluidiques, calculateur tolérant aux pannes, système de séparation, panneaux solaires...);
- le développement de la référence opérationnelle système et la fourniture de tous les produits opérationnels nécessaires au Centre de contrôle ATV (manuels utilisateurs, procédures de contrôle du véhicule, plans bord, alarmes sol, paramètres dérivés...);
- support au titre de l'autorité de conception et support d'ingénierie au Centre de contrôle ATV et aux Mureaux durant le vol ;
- l'intégration et les essais du véhicule ;
- la campagne de lancement ;
- la gestion de l'organisation industrielle en Europe, en Russie et aux Etats-Unis ;
- le soutien à l'ESA (relations avec les partenaires de l'ISS...).