

Les lanceurs spatiaux

LES DEUX GRANDS TYPES DE LANCEURS



Un lanceur spatial est un engin destiné à acheminer une « charge utile », c'est-à-dire un satellite, une station spatiale ou une sonde, en un point déterminé de l'espace. En particulier les satellites sont mis en orbite par des lanceurs, dont c'est la principale mission. Ces transporteurs de l'espace utilisent tous le principe de la fusée pour leur propulsion. Il existe deux types de lanceurs : les lanceurs « consommables », qui ne servent qu'une seule fois car ils sont détruits après avoir acheminé leur charge utile, et les navettes spatiales, réservées à des vols habités, qui comprennent un aéronef retournant sur Terre une fois sa mission accomplie.

la télévision, ou les échanges de données informatiques) • des satellites de télédétection (utilisés pour l'étude des caractéristiques de la surface terrestre et des phénomènes météorologiques) • des vols habités (dans le but d'effectuer des expériences scientifiques en apesanteur, ou afin de desservir les stations spatiales).

Mais les lanceurs permettent également l'envoi de sondes d'exploration spatiale, qui sont destinées à parcourir le système solaire, et peuvent se placer en orbite autour de corps extraterrestres ou déposer des robots à leur surface (la Lune ou Mars pour le moment). Des missions mémorables ont également permis à l'homme de fouler le sol lunaire au



cours des 6 missions **Apollo**, entre 1969 et 1972.

LES FUSÉES

À LA « CONQUÊTE » DE L'ESPACE

Outre les découvertes scientifiques exceptionnelles qu'ont permis les progrès techniques sur les lanceurs et les missions dans l'espace, la conquête spatiale est avant tout motivée par d'évidents enjeux politiques, et ce au moins jusque dans les années 1970. En pleine guerre froide, chaque bloc investit en effet des milliards de dollars (ou de roubles !) pour démontrer au camp adverse sa puissance. Ainsi dans les années 1950, Soviétiques et Américains travaillent simultanément sur des lanceurs capables de placer sur orbite un satellite artificiel. Mais le 4 octobre 1957 ce sont les Russes qui gagnent la course grâce au lanceur R7 et son satellite Spoutnik 1. Un mois plus tard, c'est le Spoutnik 2 qui est satellisé. A son bord, le premier être vivant dans l'espace, la chienne Laïka. Ce n'est que le 31 janvier 1958 que les Etats-Unis parviennent à envoyer dans l'espace un satellite, Explorer 1, grâce au lanceur Jupiter. A peine 4 ans plus tard, les lanceurs sont devenus suffisamment fiables



pour envoyer des hommes dans l'espace : le 12 avril 1961, le Soviétique **Iouri Gagarine** est le premier de l'Histoire. L'échec est cuisant pour les Etats-Unis, mais le président Kennedy s'empresse de répliquer en annonçant que l'homme marchera sur la Lune avant 1970. Paris tenu : le 21 juillet 1969, deux astronautes

américains de la mission **Apollo 11** se posent sur la Lune. Grâce aux



fusées du module lunaire, Neil Armstrong et Edwin Aldrin rejoignent le module de service qui se trouve en orbite autour de la Lune, pour finalement regagner la Terre en compagnie du troisième astronaute Michael Collins.

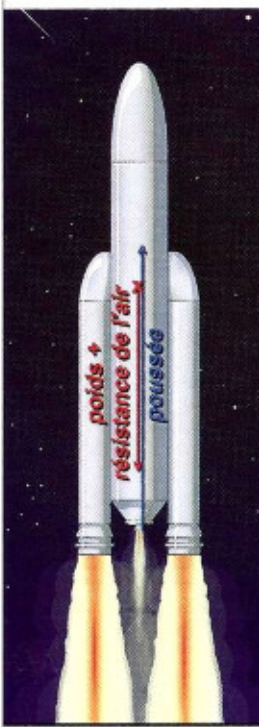
ENJEUX ÉCONOMIQUES

L'ère d'affrontement pour le prestige et sur fond de guerre froide entre les deux super puissances spatiales a laissé place à des enjeux d'ordre économique. A l'heure actuelle, 61 % des lancements sont consacrés aux satellites commerciaux : le marché des lancements planifiés pour les années à venir est ainsi estimé à plus de 40 milliards d'euros ! Aujourd'hui, seules les grandes puissances mondiales possèdent leurs propres lanceurs. Dans l'ordre chronologique de première mise en orbite d'un satellite : la Russie (ex-URSS), les Etats-Unis, la France (depuis novembre 1965), le Japon (février 1970), la Chine (avril 1970), le Royaume-Uni (octobre 1971), l'Europe avec la fusée Ariane (décembre 1979), l'Inde (juillet 1980), et Israël (septembre 1988). Toutefois, le lancement et plus généralement la maîtrise de l'espace reste des enjeux d'une certaine hégémonie.

PRINCIPES TECHNIQUES DES LANCEURS

LE « MOTEUR-FUSÉE »

Pour s'extraire du sol, le moteur de la fusée doit fournir une force propulsive, appelée poussée qui compense le poids du lanceur et la résistance de l'air. Selon le principe de la réaction, cette poussée est proportionnelle au débit de gaz propulsifs éjectés à l'arrière et à la différence entre la vitesse de ces gaz et la vitesse de la fusée. La loi de la dynamique de Newton implique, pour que la fusée accélère et ne retombe pas au sol, que la poussée de l'appareil soit supérieure au cumul du poids de l'appareil et de la résistance de l'air. Pour ce faire, la vitesse des gaz éjectés doit être suffisamment grande devant la vitesse de la fusée. Les moteurs-fusées développent ainsi une puissance énorme, qui est fonction de la masse de l'appareil. A titre d'exemple : une seconde après le décollage, la vitesse de la fusée Ariane 5 (dont la masse est supérieure à 700 tonnes) est déjà de



14 m/s. On estime alors que la puissance fournie par le lanceur européen au moment du décollage avoisine les 100 000 chevaux, soit la puissance de plus de 120 Formule 1 lancées à plein régime !

PUISSANCE NÉCESSAIRE AU LANCEMENT

La vitesse à communiquer à un satellite pour le mettre en orbite autour de la Terre doit valoir plusieurs km/s ! En prenant en compte les différentes phases du lancement, l'altitude de l'orbite à atteindre, et des paramètres comme les frottements de l'air lors de la traversée de l'atmosphère, les ingénieurs parviennent à une vitesse qui se situe entre 28 000 km/h et 37 000 km/s pour les orbites à 200 km d'altitude, et d'environ 27 000 km/s pour les orbites de 800 ou 900 km d'altitude. Pour atteindre de telles vitesses, les concepteurs ont opté pour des fusées, c'est-à-dire pour des lanceurs « propulsifs », qui



fournissent des poussées impressionnantes, même en l'absence d'air ambiant. Le **décollage** se fait ainsi à la verticale par éjection de gaz par l'arrière de l'appareil.

TECHNIQUES DE PROPULSION ET ARCHITECTURE DU PROPULSEUR

La forme des lanceurs est celle d'un fusain (du grec fusus, qui a donné le mot fusée), c'est-à-dire celle d'un

long cylindre d'extrémité pointue (pour permettre une pénétration optimale dans l'air).

Un lanceur est généralement constitué de deux ou trois étages, qui sont autant de réservoirs contenant les gaz à propulser. Une fois le réservoir vidé, il est largué en vol afin d'alléger la structure. De fait, le gaz représente la majeure partie de la masse totale de l'appareil : au décollage, la masse d'un lanceur comme Ariane 5 est de 718 tonnes, dont 90 % de gaz, 9 % de structure, et pas plus de 7 tonnes de charge utile.

La production d'énergie se fait le plus souvent par une réaction chimique qui met en jeu deux ergols (un ergol désigne tout simplement un produit utilisé pour la propulsion d'un lanceur). Les deux types d'ergols utilisés sont dans ce cas un comburant et un carburant. Le couple comburant / carburant est appelé propergol. Dans le cas de la fusée Ariane 5, le propergol employé est le couple oxygène liquide / hydrogène liquide. Pour liquéfier et conserver à l'état liquide l'hydrogène ou l'oxygène à pression ambiante, il faut atteindre des températures extrêmement basses (-183°C par exemple pour l'oxygène) et maintenir les corps à ces températures, en minimisant les échanges thermiques avec l'extérieur. Pour ce faire, on utilise des techniques de stockage cryotechnique. Les lanceurs modernes disposent également de propulseurs d'appoint latéraux, à liquides ou à poudres (appelés aussi boosters), qui fournissent un supplément de poussée au moment du décollage. La durée du trajet dépend de l'orbite à atteindre, mais celle-ci se situe toujours entre une dizaine et une vingtaine de minutes, c'est-à-dire le temps de dépasser les couches denses de l'atmosphère (jusqu'à 200 km d'altitude).

LES DIFFÉRENTES ORBITES
L'orbite peut être géostationnaire, dans le cas où le satellite reste en permanence au-dessus d'un point déterminé de la surface de la Terre. Elle peut être tout simplement circulaire (le satellite tourne autour de la Terre en décrivant un cercle), ou avoir une forme plus complexe, comme dans le cas d'une orbite héliosynchrone, sur laquelle un satellite se déplace autour de la Terre au-dessus de zones dont l'éclairement solaire est constant. Pour placer un satellite en orbite géostationnaire, qui se trouve à près de 36 000 km d'altitude dans le plan de l'équateur, on commence par envoyer le satellite en orbite « circulaire basse » (à seulement 200 km d'altitude). Lors de son

La tête dans les étoiles

1865



Jules Verne imagine un lanceur en forme de balle de fusil dans son roman *De la Terre à la Lune*.

1953



Hergé anticipe l'exploration lunaire avec son album *Objetif Lune*.

60 millions d'euros



C'est le coût du lancement du satellite *Astra 1F* en 1998.

Plus de 180

Nombre de satellites mis en orbite par *Ariane 4* en 15 ans.

113



C'est le nombre de missions réussies par *Ariane 4* sur les 116 entreprises.

Ariane V



Le lanceur le plus gros
800 tonnes au décollage

DE LA POUDRE NOIRE AUX LANCEURS ACTUELS

LA GENÈSE D'UNE TECHNOLOGIE DE POINTE

Les Chinois sont les premiers à inventer des fusées, qu'ils propulsent grâce à la « poudre noire », mélange de salpêtre, de soufre et de charbon de bois (au ^{IX} ou ^{XII} siècle). L'idée de propulser par cette technique des engins lourds destinés à l'exploration spatiale n'est pourtant développée qu'à la fin du ^{XIX} siècle par le physicien russe Tsiolkovski. Mais les premières applications sont bien moins nobles. En effet quelques décennies après Tsiolkovski, l'ingénieur allemand von Braun met au point les fusées-missiles V1 et V2 pour le compte du ^{III} Reich. Entre 1944 et 1945, ces fusées sont le cauchemar des Londoniens qui sont régulièrement frappés par les redoutables V2. Ce n'est qu'après 1948 que sont lancés les premiers projets pacifiques d'exploration de l'espace utilisant des fusées. On peut dire d'ailleurs que les premières générations de lanceurs dérivent de la conception des missiles.

CHAMP D'APPLICATION DES LANCEURS
Le champ d'application des lanceurs est vaste. Ils permettent en effet de placer sur orbite :

• des satellites de télécommunication (pour la téléphonie mobile,

Les différentes orbites



passage au point P (comme Périgée, point le plus proche de la Terre sur l'orbite), les moteurs embarqués sur le satellite sont allumés sur un laps de temps très court, et le satellite passe alors en orbite « elliptique de transfert ». Enfin lorsque le satellite passe au point A (comme Apogée), les moteurs s'allument une deuxième fois sur un très court laps de temps, pour donner au satellite l'énergie nécessaire pour atteindre l'orbite géostationnaire.

LES BASES DE LANCEMENT

Il existe à ce jour une douzaine de bases spatiales dans le monde. L'unique base française se situe à **Kourou** (Guyane), tandis que les États-Unis



disposent de trois aires de lancement, dont la plus célèbre se trouve à Cap Canaveral, en Floride.

Plusieurs critères entrent en compte dans le choix de l'aire de lancement (ou pas de tir).

Il faut dans un premier temps choisir une zone peu habitée, afin de limiter l'impact sur les populations civiles en cas de perte en vol d'un appareil. De plus la région choisie doit présenter des caractéristiques météorologiques particulièrement favorables (un vent faible, une large visibilité à l'horizon, un « plafond » nuageux le plus haut possible) et une haute stabilité géologique (pour limiter les risques sismiques). La base de lancement doit être située relativement proche de l'équateur afin de bénéficier au mieux de l'accélération due à la rotation de la Terre – permettant ainsi des économies d'énergie au lancement. Pour des critères économiques également, la base doit être d'un accès facile, et doit pouvoir s'adapter au plus grand nombre de missions ; c'est ce critère de « flexibilité » qui conduit à installer les bases dans des régions proches de l'équateur, puisque aucune direction (ou azimut) n'y est privilégiée. Des projets de pas de tir mobiles sont à l'étude dans le cadre d'une coopération entre Russes et Américains, notamment en ce qui concerne une base qui serait construite en pleine mer : le **Sea Launch**. Mais le site de lancement qui



répond actuellement le mieux à tous les critères précédents est la base française de Kourou, d'où sont lancées les fusées Ariane...

LES FUSÉES ARIANE

UN PROJET EUROPÉEN D'ENVERGURE

Le projet européen Ariane est né en 1973 des cendres d'un précédent projet, Europa. Forts de l'expérience acquise avec l'échec d'Europa, les européens ont réussi avec Ariane à bâtir une industrie performante, qui occupe aujourd'hui la position de numéro du marché mondial de la mise en orbite de satellites commerciaux ou scientifiques. Trois entités complémentaires travaillent sur le projet : le CNES, l'ESA, ainsi qu'Arianespace. Le CNES (Centre National d'Études Spatiales), agence spatiale française créée en 1962, a pour mission de mener et d'orienter toutes les recherches scientifiques nécessaires aux projets Ariane, tandis que l'ESA (Agence Spatiale Européenne) a vu le jour en 1975 dans le but d'assurer la coopération des États européens et la mise en commun des savoirs et techniques de l'exploration spatiale. Enfin, la société privée Arianespace se charge du suivi de la production des lanceurs – confiée à l'entreprise européenne EADS – ainsi que de leur commercialisation.

LA FUSÉE ARIANE 5 :

ARCHITECTURE ET FONCTIONNEMENT

Cinq modèles de fusée Ariane ont été mis au point à ce jour. Dernière née de la série, **Ariane 5** a débuté une brillante carrière de lanceur commercial fin. Le lanceur a même reçu la préférence de la NASA (l'agence spatiale américaine) pour le transport vers Mars de la mission de retour d'échantillons martiens vers 2011 ! Ariane 5 dispose d'un réservoir externe (le propulseur principal) de deux

étages, ainsi que de deux propulseurs à poudre auxiliaires, pour emporter jusqu'à 7 tonnes de charge utile (ce qui correspond à deux gros satellites).

Les deux étages d'Accélération à Poudre (EAP) que se trouvent dans les propulseurs d'appoint offrent 90 % de la puissance nécessaire au moment du décollage. La poussée des EAP est produite par des moteurs à propergol solide. Après larguage des EAP, le moteur Vulcain de l'Étage Principal Cryotechnique (EPC) prend le relais. Le moteur Vulcain est alimenté par réaction entre l'oxygène liquide (le comburant) et l'hydrogène liquide (le carburant), qui sont stockés à des températures extrêmement basses dans d'énormes réservoirs. Une fois ces deux ergols consommés, l'EPC se désolidarise de la structure. Les satellites, protégés de la chaleur par la coiffe sont désormais propulsés par le moteur Aestus qui amène les deux satellites jusqu'à leur orbite finale, d'où sera larguée la coiffe et les derniers équipements du lanceur.

ASSEMBLAGE DE LA FUSÉE

Les pièces détachées de la fusée Ariane arrivent de toute l'Europe aux Mureaux, près de Paris. Les pièces y sont assemblées étage par étage. Les étages



ainsi montés sont alors convoyés par voie maritime vers la Guyane. Une fois les étages sur la base de Kourou, la fusée prend forme dans le **hall d'assemblage**.

3... 2... 1... DÉCOLLAGE !

A quelques centaines de mètres du hall d'assemblage se trouve le pas de tir proprement dit (l'endroit exact d'où est lancé la fusée). Pour le décollage, le lanceur est piloté à distance, de la salle de contrôle appelée salle Jupiter. Toutes les données techniques émises par les capteurs installés sur la fusée sont transmises aux calculateurs de la **salle Jupiter**, où elles sont analysées et interprétées. Dans la salle de contrôle, trois écrans géants retransmettent des



données sur la trajectoire du lanceur, sur les différentes phases du lancement (largage des boosters, puis des étages inférieurs, etc.) et sur le suivi des stations-relais (c'est-à-dire les bases qui se chargent de suivre le satellite au cours de sa vie).

De nombreux moniteurs retransmettent également des données relatives à la température, la pression, l'humidité de l'air, et tous les paramètres susceptibles de changer les conditions de vol de la fusée.

L'AVENIR DU PROJET EUROPÉEN

Outre la concurrence américaine, Ariane subit désormais l'arrivée sur le marché des lanceurs chinois, et bientôt indiens. Selon la spatiaute française

Claudie Haigneré, actuelle ministre de la Recherche, la survie de l'industrie spatiale européenne ne passe que par la coopération, notamment avec la Russie. Un accord signé en novembre 2003 vise ainsi à mettre en commun les savoirs technologiques russes et européens, et permettra bientôt des lancements depuis la base française de Kourou de fusées Soyouz, complémentaires de la gamme Ariane. Un premier signe fort de la volonté de coopération entre Européens et Russes avait déjà été émis en 1996 avec la création de la société Starstem, qui permet aux deux partenaires d'exploiter et de commercialiser les Soyouz.

LES NAVETTES SPATIALES

Autre type de lanceurs, les **navettes** sont utilisées pour les missions qui requièrent une présence humaine comme l'assemblage d'éléments sur une station orbitale ou la réalisation

d'une série d'expériences scientifiques. Seules trois puissances disposent aujourd'hui des technologies nécessaires pour envoyer des hommes et des femmes dans l'espace : l'ex-URSS et les États-Unis depuis les années 1961-1962, et la Chine depuis le 15 octobre 2003, grâce à la fusée Shenzhou 5. De 1961 à 1981, le seul véhicule orbital est la capsule. En 1981 les Américains sont les premiers à utiliser les navettes ; ils seront suivis par les Russes à partir de 1988 (les navettes Russes sont propulsées par les fusées Soyouz, comme c'est le cas pour tous les vols habités depuis 1961). Les Européens



ont renoncé provisoirement à entrer dans la course suite à l'abandon du projet **Hermès**.

ARCHITECTURE DES NAVETTES

Les navettes se composent principalement de quatre éléments : un réservoir externe, deux propulseurs auxiliaires, et un orbiteur (qui accueille les spatiautes). Les orbiteurs américains et russes sont de formes semblables, proches de celle d'un avion de voilure triangulaire (ou voilure delta).

TRAJECTOIRE D'UNE NAVETTE

Au décollage, la structure globale pèse près de 2000 tonnes. Tous les moteurs participent à l'extraction de l'attraction terrestre (85% de la puissance est fournie par les propulseurs à poudre, et 15% par les moteurs de l'orbiteur). Tous les éléments participent donc au décollage, tandis que sur les navettes russes l'orbiteur ne dispose pas de propulseur. 2 minutes et 10 secondes après le décollage, les boosters sont largués.

Six minutes et 50 secondes plus tard, le réservoir externe est largué à son tour. Les deux moteurs secondaires de l'orbiteur sont alors sollicités pour atteindre l'orbite basse (entre 250 et 300 km d'altitude), fournissant pour cela une forte impulsion. Une fois en orbite, la mission peut durer plusieurs jours. Pour revenir sur Terre, la navette freine grâce à ses moteurs : l'orbiteur « retombe », c'est la désatellisation. L'engin rentre dans l'atmosphère, et se pose sur la surface terrestre après un vol plané.

UN AVENIR INCERTAIN

POUR LES NAVETTES AMÉRICAINES

Le 28 janvier 1986, la navette **Challenger** explose 72 secondes après



le décollage, tuant sept astronautes. Les missions ont pourtant repris en septembre 1988 ; mais le 1^{er} février 2003, la navette Columbia se consume lors de sa rentrée dans l'atmosphère, emportant une fois encore la vie de ses sept occupants (dont deux femmes, et le premier homme israélien dans l'espace). Sur les 5 orbiteurs originaux construits depuis 1981 (Columbia, Challenger, Discovery, Atlantis et Endeavour) deux ont été perdus en vol. Sans abandonner complètement les vols de navettes, la NASA envisagerait à moyen terme le remplacement d'une technologie « vieille » de trente ans et coûteuse (3 milliards de dollars par an en entretien et maintenance). La navette devrait ainsi terminer son service en 2010.

L'AVENIR DES LANCEURS

DE LA CRISE AU RENOUVEAU

L'explosion de la « bulle internet » en 2000 a entraîné le secteur de l'informatique et des télécommunications dans la crise, fragilisant au même coup l'industrie des lanceurs spatiaux. Cependant, les déclarations du mois de janvier 2004 du président américain George Walker Bush annoncent clairement une volonté de relancer la conquête de l'espace. En effet, les projets de l'administration américaine visent à installer des modules habitables sur la Lune, et d'envoyer le premier homme (ou la première femme !) sur la planète Mars. De telles ambitions ne sont envisageables qu'à la condition de disposer de lanceurs capables d'arracher de l'attraction terrestre des charges utiles de près de 50 tonnes. Les ingénieurs de la NASA imaginent pour ces missions adapter les lanceurs Saturn V utilisés pour envoyer les navettes américaines en orbite. L'avion spatial orbital, sorte de mininavette placée au sommet d'une fusée pourrait remplacer la navette. Ce type de lanceur conçu initialement pour approvisionner la station spatiale internationale pourrait également servir aux missions lunaires. Techniquement, on peut donc d'ores et déjà envisager d'envoyer un équipage humain vers la planète rouge...