

Aérostatique Spatial

LE VOL DES AÉROSTATS

3-1 Classification des aéronefs et engins spatiaux

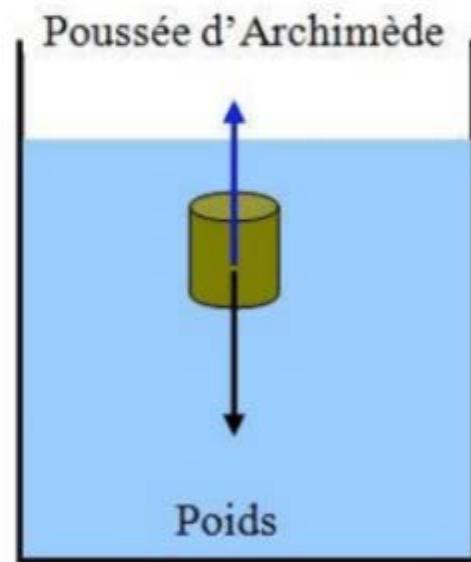
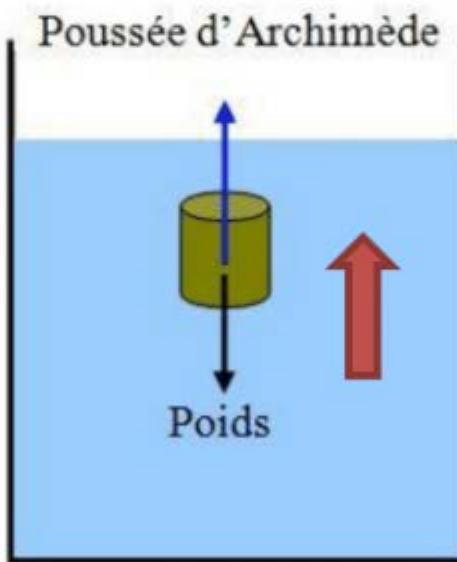
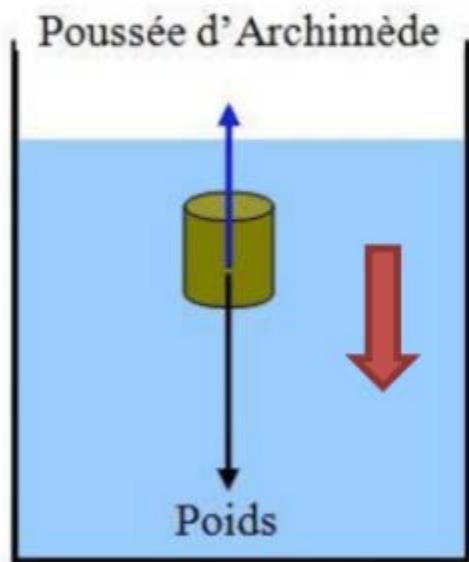


AEROSTATS



A.II.1 La poussée d'Archimède

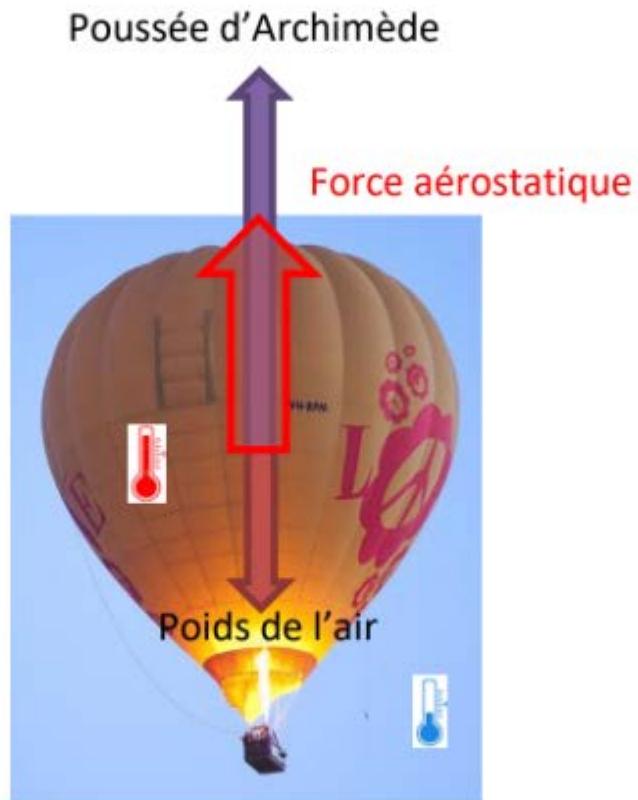
Tout corps plongé dans un fluide soumis à la gravité, subit une force parallèle à la gravité, de direction opposée, et égale au poids du fluide déplacé.



C'est la poussée d'Archimède qui permet aux bateaux de flotter.

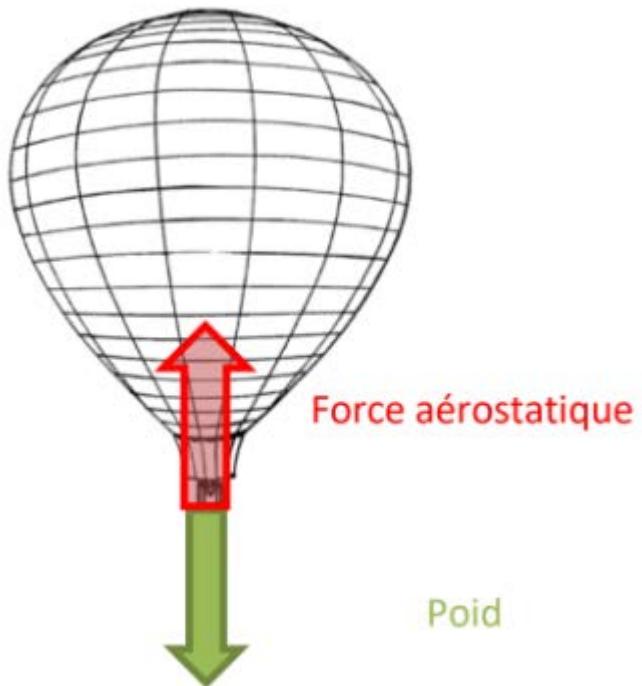
Mais c'est aussi elle qui permet aux aérostats de voler.

La force aérostatique est la différence entre la poussée d'Archimède et le poids de l'air chaud. Cela correspond donc à la force verticale totale générée par l'air chaud.



La force aérostatique s'exprime donc ainsi :

$$F_a = \text{Force aérostatique} = \pi - P = V\rho_{ext}g - V\rho_{int}g = V * (\rho_{ext} - \rho_{int})g$$



La charge transportable M en kg par une Montgolfier est l'écart entre la masse de l'air déplacé par le ballon dans l'atmosphère ($m_{\text{air extérieur}}^{\text{Ballon}}$) et la masse de l'air dans le ballon ($m_{\text{air intérieur}}^{\text{Ballon}}$) :

$$M = m_{\text{air extérieur}}^{\text{Ballon}} - m_{\text{air intérieur}}^{\text{Ballon}}$$

Exemple : une Montgolfier de $10\ 000\ m^3$ d'air chaud à masse volumique de $1,100\ kg/m^3$ se déplaçant dans de l'air de masse volumique de $1,225\ kg/m^3$ peut porter une charge de :

$$M = 10\ 000 * 1,225 - 10\ 000 * 1,100 = 12\ 250 - 11\ 000 = 1\ 250\ kg$$

A.II.4.a Déplacement vertical

Pour faire monter ou descendre un aérostat, il suffit de changer la température de l'air à l'intérieur :

- Chauffer l'air conduit à une diminution de sa masse, augmente la force aérostatique et induit une montée de l'aérostat. Tant que rien n'est changé et tant que l'air ne se refroidit pas, le bilan des forces est positif, et l'aérostat monte.
- Refroidir (ou renouveler l'air), conduit à une augmentation de sa masse. Lorsque la température de l'air est assez faible pour que la force aérostatique ne contre plus le poids de celui-ci, la descente commence. Elle continue jusqu'à ce qu'une action soit réalisée

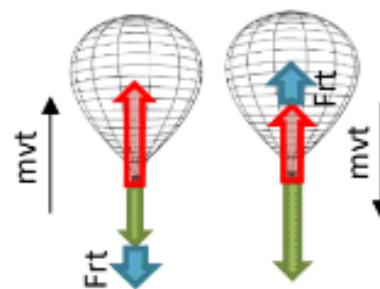
Dans les deux cas, la vitesse va accélérer jusqu'à ce que la force de frottement dans l'air de l'aérostat, opposée au mouvement, égalise :

- La composante de force aérostatique supérieure au poids en montée
- La composante de poids supérieure à la force aérostatique en descente

A.II.4.b Déplacement horizontal

Le déplacement des aérostats horizontalement peut être :

- Libre : on se déplace au gré des vents (montgolfière)
- Motorisé (Zeppelin)



HISTOIRE DE LA CONQUÈTE SPATIALE

Histoire de la conquête spatiale

- Dans les années 1930 en Allemagne, les clubs de conception et de fabrication de fusées se développent. BD : Dent d'Ours (Dupuis)
- Pendant la Seconde Guerre mondiale, les allemands développent les premiers missiles balistiques : les V2 (V pour Vergeltungswaffe = arme de représailles).
- Ces armes, conçues par Wernher Von BRAUN (1912-1977) furent mises en service en 1942 et causèrent des dégâts en Grande Bretagne.

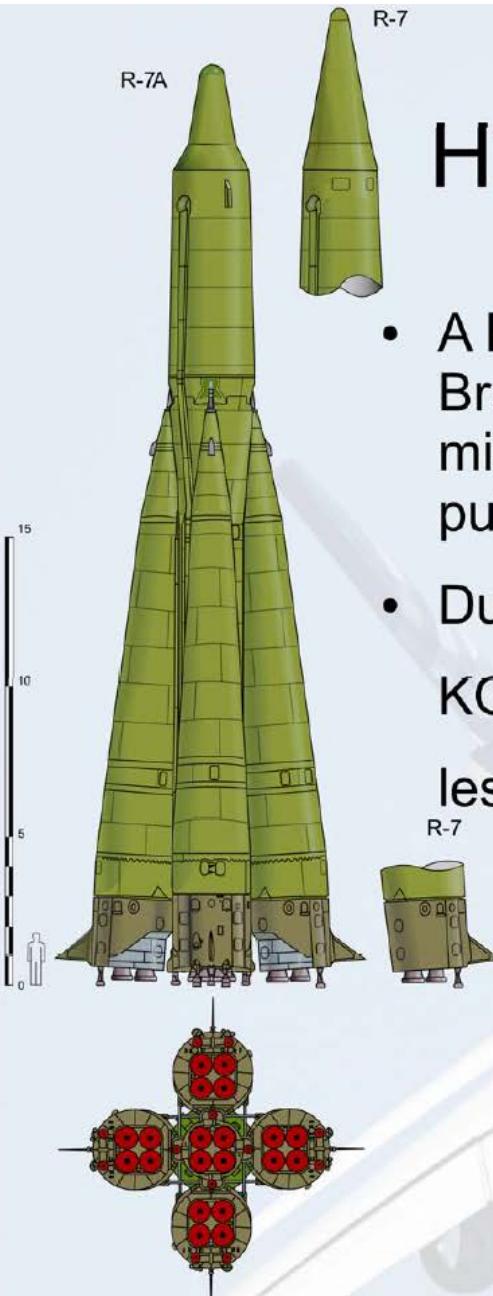


/223

Histoire de la conquête spatiale

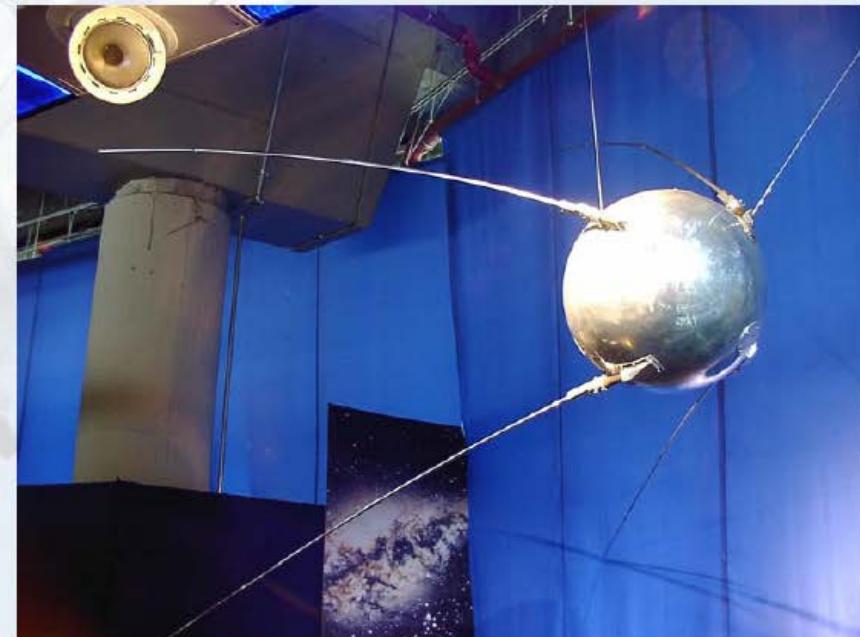
- A la fin de la guerre les américains récupèrent Von Braun et d'autre ingénieurs pour développer les missiles nucléaires intercontinentaux Redstone puis Minuteman
- Du côté des russes, c'est Sergueï KOROLEV (1906-1966) qui dirige les études des missiles R7.

La course à l'espace peut alors commencer.



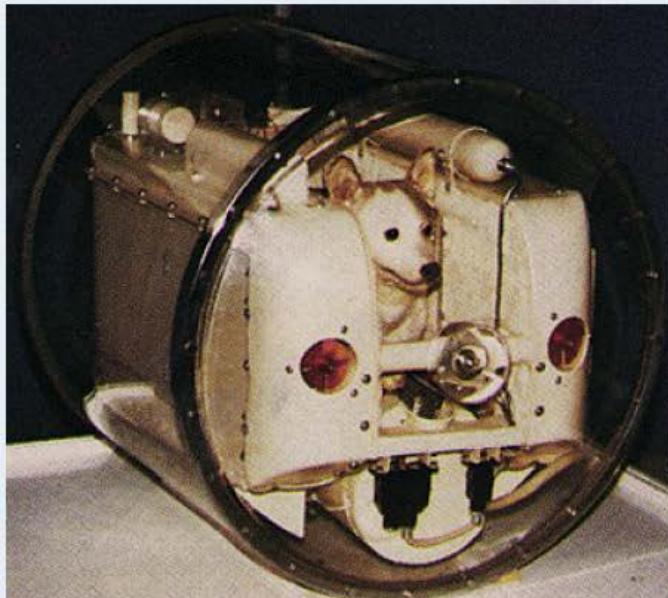
Histoire de la conquête spatiale

- Premier objectif : placer un satellite en orbite.
 - 4 octobre 1957, les russes placent Spoutnik en orbite avec une fusée R7
 - Les américains n'y parviendront que le 1 février 1958 avec Explorer 1



Histoire de la conquête spatiale

- Deuxième objectif : envoyer un homme
 - 3 novembre 1957: Laïka vole à bord de Spoutnik II mais meure au bout de quelques heures.
 - 12 avril 1961, Youri Gagarine (1934 – 1968) est le premier **cosmonote** dans l'espace à bord d'une capsule Vostok.



Histoire de la conquête spatiale

- Toujours en tête, les soviétiques seront les premiers à :
 - Envoyer une femme dans l'espace: Valentina TERECHKOVA (1937) du 16 au 19 juin 1963
 - Réaliser une sortie extravéhiculaire : Alexeï LEONOV (1934) le 18 mars 1965



Histoire de la conquête spatiale

- Les américains réagissent :
 - Programme Mercury (1959-1963) : envoyer un américain dans l'espace.
 - Fusées Mercury-Redstone puis Atlas
 - Alan Shepard premier **astronaute** dans l'espace le 5 mai 1961
 - Scott Glenn premier américain à faire des orbites le 20 février 1962



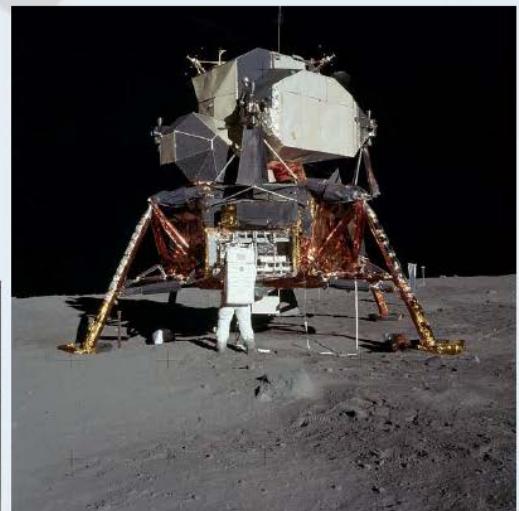
Histoire de la conquête spatiale

- Programme GEMINI (1964-1966) : maîtrise du vol spatial et des sorties extravéhiculaires.
 - 3 au 7 juin 1965 : Edward White réalise la première sortie extra-véhiculaire américaine au cours du vol gemini 4
 - Les américains rattrapent leur retard
 - La technique du rendez-vous spatial est mise au point



Histoire de la conquête spatiale

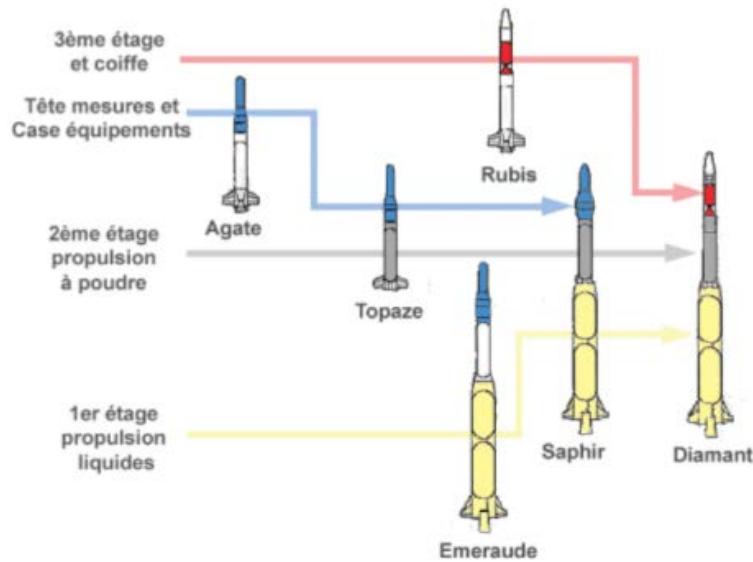
- Programme APOLLO (1966-1975) : objectif lune!
 - 21 juillet 1969 : Neil ARMSTRONG pose le pied sur la lune, Buzz ALDRIN l'accompagne dans le LEM et Michael COLLINS les attends en orbite dans le module APOLLO
 - La mission est réalisée grâce à la fusée Saturn V, au module Apollo et au LEM



Les débuts en France

1948-1967 : Colomb-Béchar (Algérie)
Puis Kourou (CNES – Ariane, Véga, Soyouz),
CEL (DGA – Missile stratégique)

1952 : Premier lanceur français : « Veronique »



1961 à 1965 : Acquisition des compétences pour construire
Un missile ballistique et un lanceur de satellite.



1965 : DIAMANT A (3 étages) permet à la France
de devenir la 3° puissance spatiale
avec la mise en orbite du Satellite 'ASTERIX'



3-1 Classification des aéronefs et engins spatiaux

Engins aérospatiaux: lanceurs, fusées, vaisseaux VAISSEAUX



APOLLO



3-1 Classification des aéronefs et engins spatiaux

Engins aérospatiaux: lanceurs, fusées, vaisseaux
VAISSEAUX



SOYUZ



Histoire de la conquête spatiale

- Depuis les technologies évoluent dans la continuité.
- Seule rupture : la navette spatiale américaine mise en service le 12 avril 1981 (Columbia) et retirée en juillet 2011 (Atlantis) – 135 missions avec 5 navettes
- Navette russe BURAN (un seul vol le 15 novembre 1988).



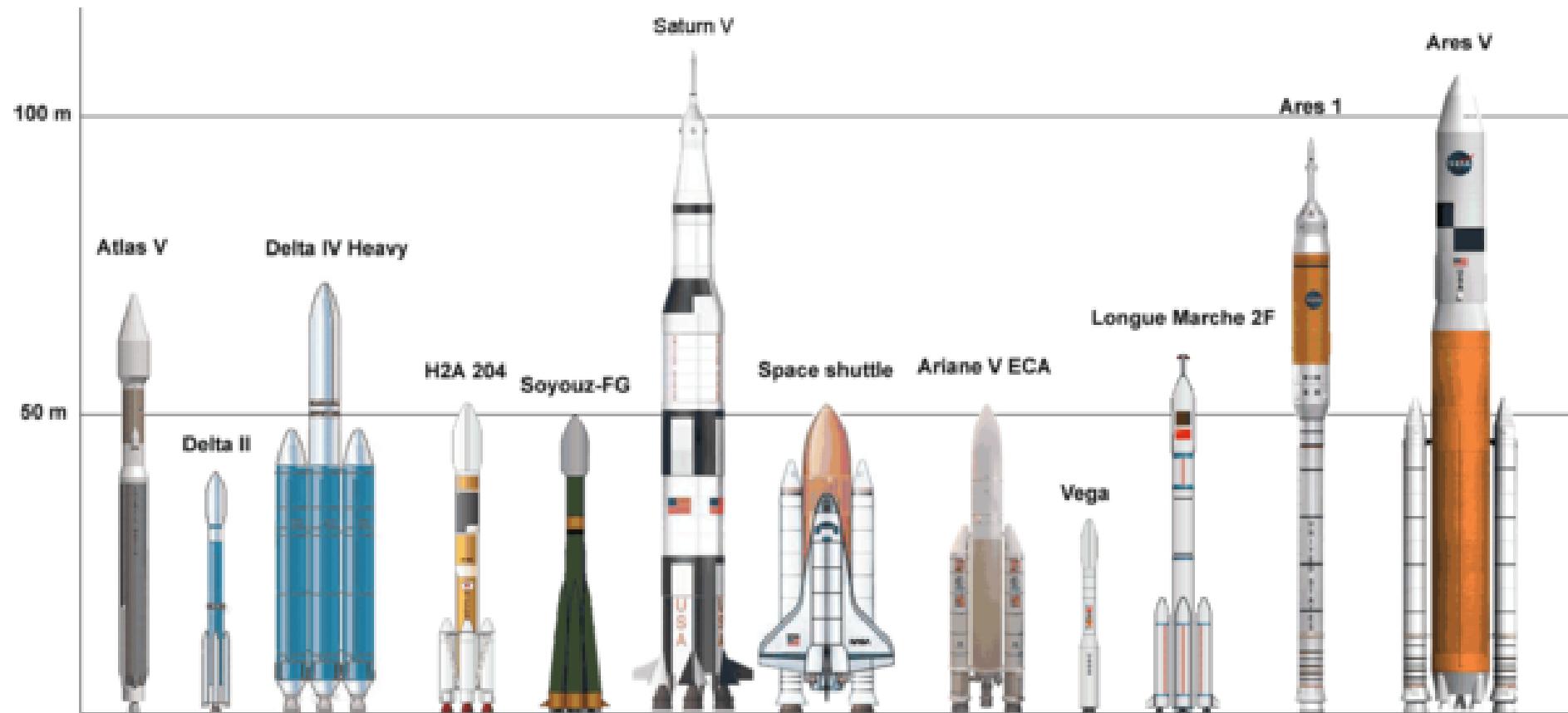
Histoire de la conquête spatiale

- Les nations spatiales :
 - La Russie : lanceurs (satellites et hommes) - **Cosmonautes**
 - Les Etats Unis : lanceurs (satellites et hommes) - **Astronautes**
 - L'Europe : lanceurs Ariane (satellites) - **Spationautes**
 - La Chine : lanceurs Longue Marche (satellites et hommes) – **Taïkonautes**
 - L'Inde : lanceurs

3-1 Classification des aéronefs et engins spatiaux

Engins aérospatiaux: lanceurs, fusées, vaisseaux

LANCEURS



3-1 Classification des aéronefs et engins spatiaux

Engins aérospatiaux: lanceurs, fusées, vaisseaux

LANCEURS



ARIANE 5



SOYUZ



SATURN

3-1 Classification des aéronefs et engins spatiaux

Satellites – Stations habitées



SALIOUT



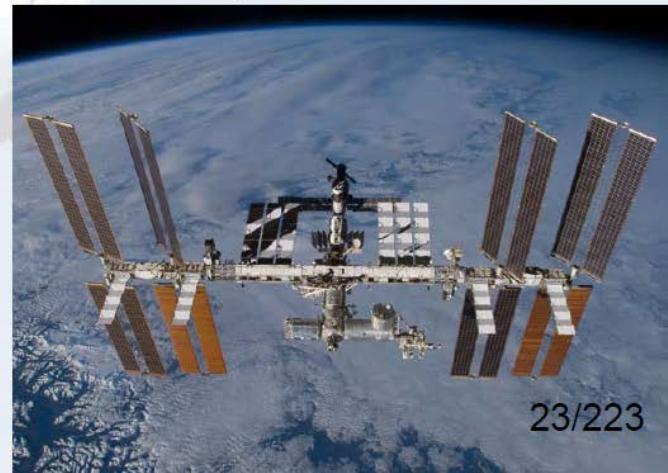
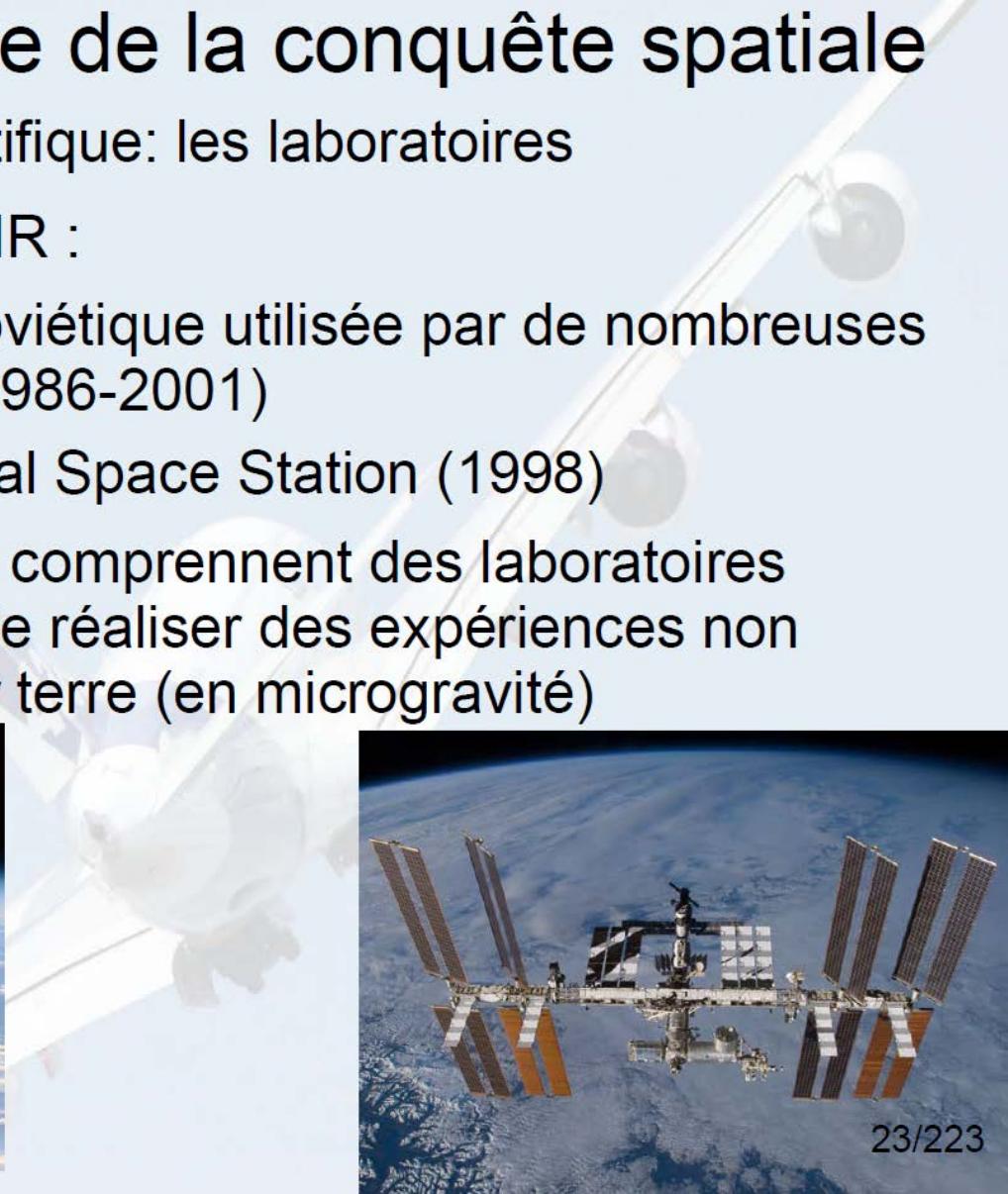
MIR



ISS

Histoire de la conquête spatiale

- L'espace scientifique: les laboratoires
 - La station MIR :
 - Station soviétique utilisée par de nombreuses nations (1986-2001)
 - L'International Space Station (1998)
 - Ces stations comprennent des laboratoires permettant de réaliser des expériences non faisables sur terre (en microgravité)



Histoire de la conquête spatiale

- L'espace scientifique:
 - les sondes sont envoyées pour comprendre l'origine de l'univers:
 - Vers la lune puis les planètes du système solaire
 - Au delà : Voyager I sort du système solaire le 25/08/2012
 - Les comètes et astéroïdes : Rosetta dépose Philae sur la comète 67P
 - Les télescopes spatiaux permettent d'explorer le passé (Hubble – 24/04/1990)



Histoire de la conquête spatiale

- L'espace commercial: les satellites
 - Télécommunications (radios, télévision, données....)
 - Météorologie (METEOSAT...) : les images satellites permettent d'améliorer grandement la qualité des prévisions qui ont une importance commerciale (agriculture, aviation...)
 - Imagerie (SPOT) : des images de différentes natures permettent une observation très précise de la surface de la terre (urbanisation, évolution de la végétation...)
 - Navigation: la navigation par satellite permet un guidage de grande précision pour de nombreuses activités professionnelles ou de loisir (GPS/NAVSTAR ; Glonass ; Galiléo)

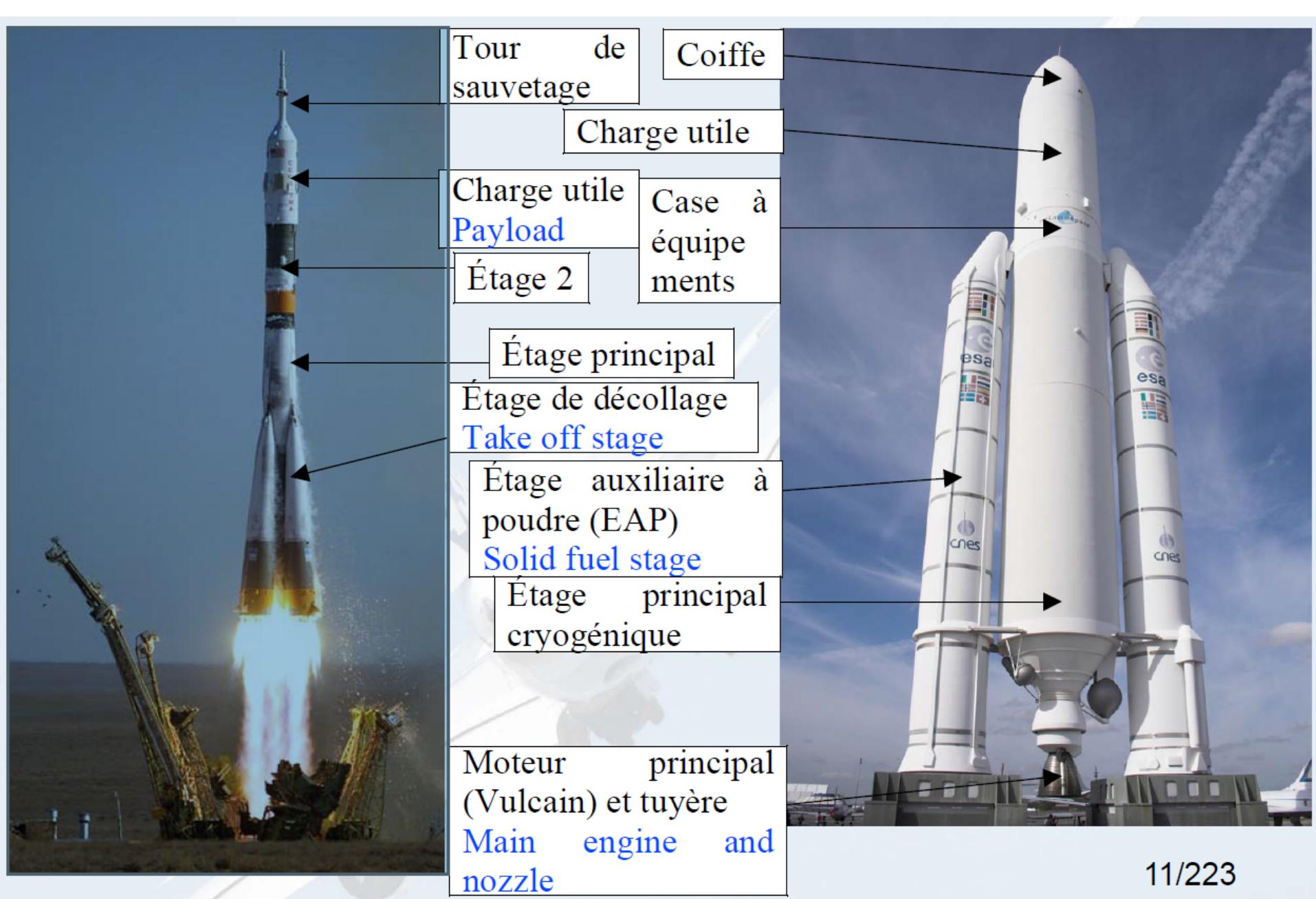
Histoire de la conquête spatiale

- L'espace militaire:
 - Les satellites espion
 - Interception de communication radio ou téléphoniques
 - Images dans le visible et l'IR
 - Les armes dans l'espace
 - Des traités internationaux interdisent les armes dans l'espace

Histoire de la conquête spatiale

- Le tourisme spatial :
 - voler avec les russes dans l'ISS est possible depuis 2001 pour 20 à 30 M\$
 - Virgin Galactic :
 - propose des vols suborbitaux à bord de Space Ship Two pour 250 000 \$
 - 700 réservations
 - Premier vol non encore fixé

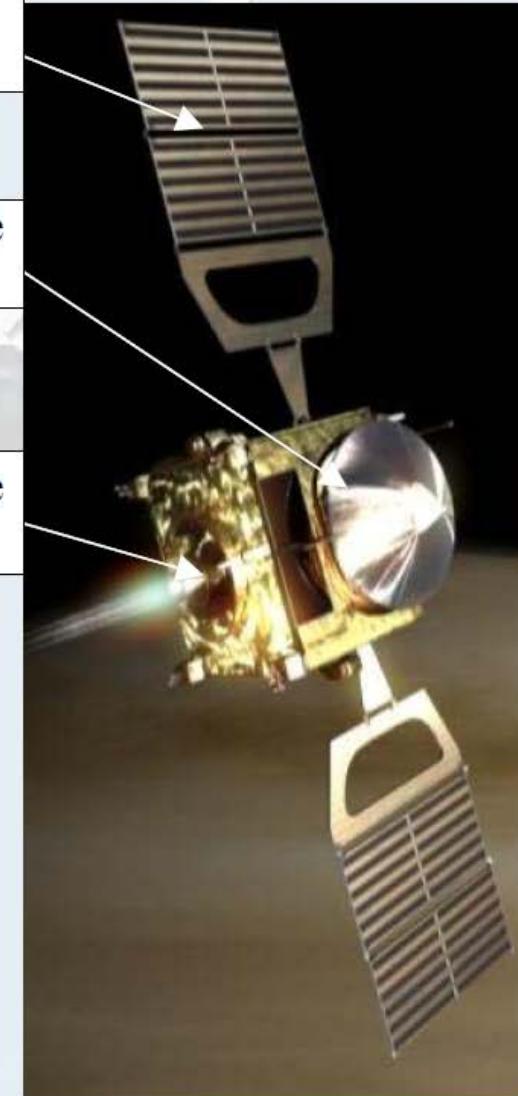






Réservoir extérieur	Panneaux solaires
Boosters de décollage	
	Antennes de communication
Navette spatiale réutilisable	
	Moteur fusée ou à plasma
Soute pour charge utile	
Moteurs de la navette spatiale	

Indice de structure =
masse à vide / masse au décollage.
Plus il est petit plus la fusée est performante.
Il peut se donner par étage.

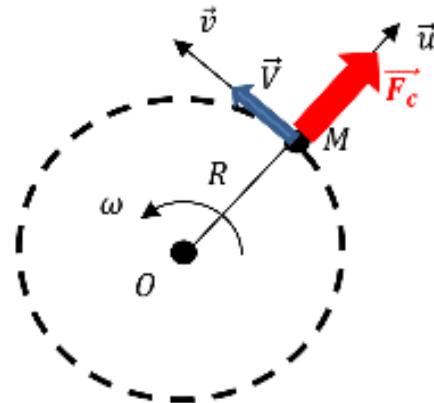


Space probe

DYNAMIQUE SPATIALE

La Force centrifuge

Soit un mouvement de rotation à vitesse V constante d'un solide de masse m au point M autour de O à la vitesse ω :

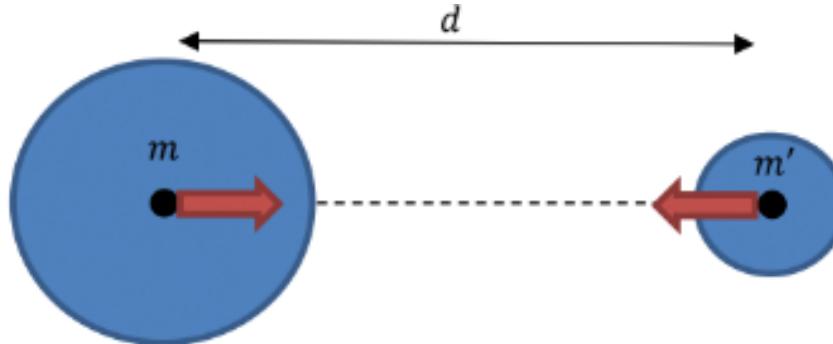


Soit $\vec{V} = V\vec{v}$ la vitesse du point M , on a la relation : $V = R\omega$

La force centrifuge qui s'exerce sur l'objet a pour expression :

$$\vec{F}_c = mR\omega^2 \vec{u} = m \frac{V^2}{R} \vec{u}$$

La force de pesanteur



Appelons P la norme de cette force :

$$P = \pm G \frac{mm'}{d^2}$$

Avec G la constante de : $G = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

À la surface de la Terre, un homme de masse m est donc soumis à une force de gravité valant :

$$P = m \frac{GM_{terre}}{R_{Terre}^2} = mg \quad ; \quad g = \frac{GM_{terre}}{R_{Terre}^2} = \frac{6,674 \cdot 10^{-11} \cdot 5,972 \cdot 10^{24}}{6\,371\,000^2} \approx 9,81 \text{ m.s}^{-2}$$

A.III.3 L'équilibre du vol

Un satellite en équilibre sur une orbite est soumis à une somme de forces nulle. Les deux forces qui s'appliquent sur lui sont :

- La force gravitationnelle
- La force centrifuge

Nous verrons qu'il y a une légère trainée qu'il faut de temps en temps compenser par un apport d'énergie avec des boosters. C'est d'ailleurs pour cela que les satellites ont une durée de vie limitée.

Ainsi, en orbite et à l'équilibre, pour un satellite de masse m à une hauteur h du sol, on a l'égalité suivante :

$$P = F_c \Leftrightarrow mG \frac{M_{Terre}}{(R_{Terre} + h)^2} = m \frac{V^2}{R_{Terre} + h}$$

Soit :

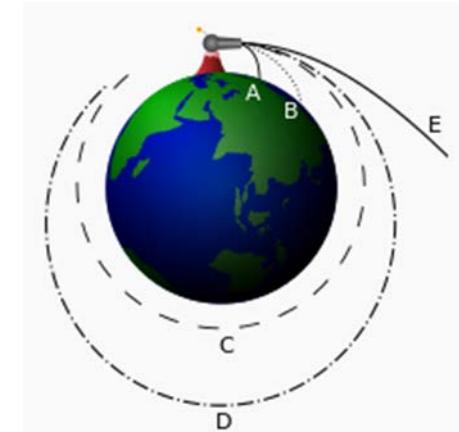
$$G \frac{M_{Terre}}{(R_{Terre} + h)^2} = \frac{V^2}{R_{Terre} + h}$$

Il en sort une vitesse permettant de rester sur une orbite de hauteur h :

$$V = \sqrt{\frac{GM_{Terre}}{R_{Terre} + h}}$$

Ainsi :

- A vitesse prédéfinie, l'altitude est définie
- A altitude prédéfinie, la vitesse est fixée



Vitesse de satellisation minimale

$$H = 0$$

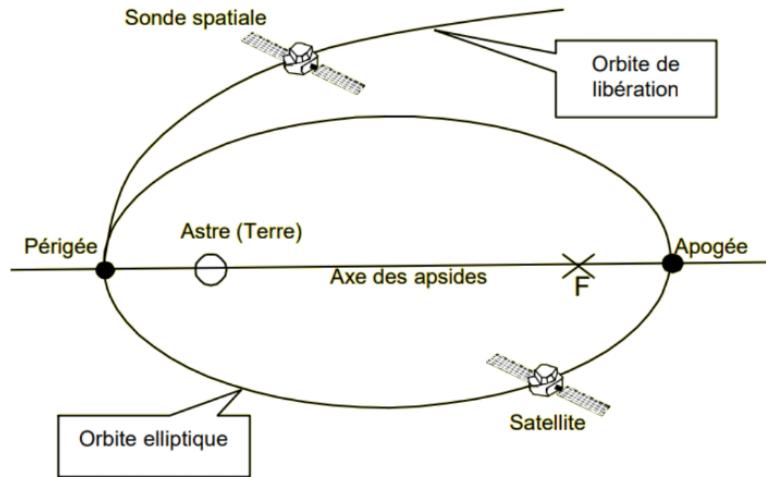
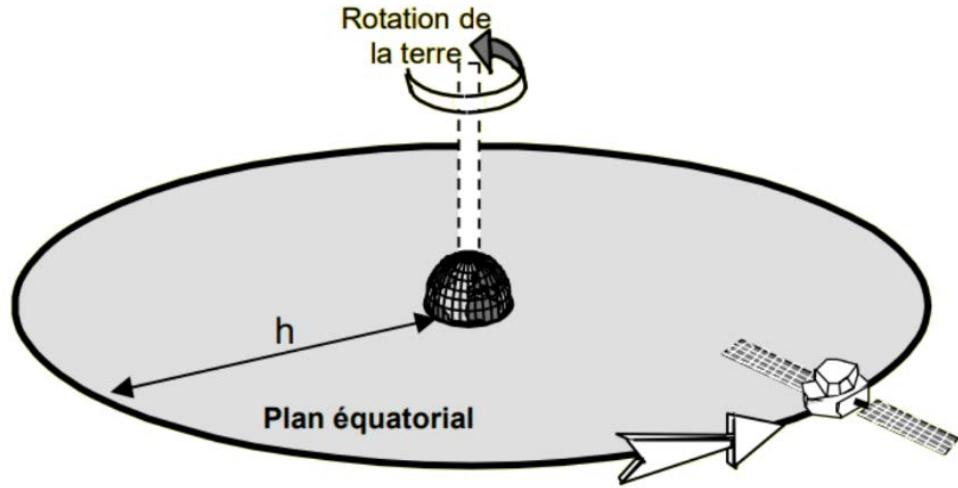
$$V = 7,9 \text{ km/s} \quad (28440 \text{ km/h})$$

Les orbites

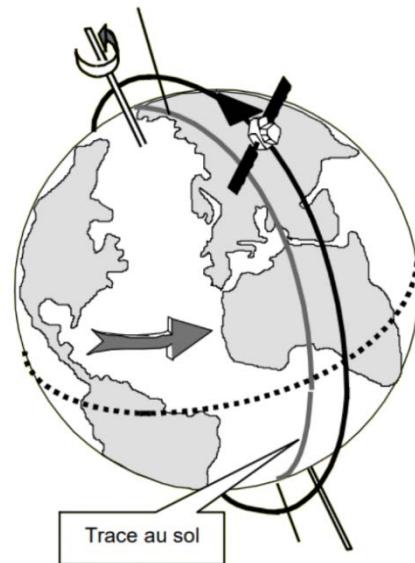
Les orbites non-circulaires

Les orbites circulaires

géostationnaires



Héliosynchrone



Orbites géostationnaires

En effet, la vitesse du satellite à la hauteur h qui tourne à la même vitesse que la Terre (ω) a pour expression :

$$V = (R_{Terre} + h)\omega_{Terre}$$

Or, comme nous l'avons vu précédemment, pour être en équilibre, le satellite doit avoir une vitesse bien définie :

$$V = \sqrt{\frac{GM_{Terre}}{R_{Terre} + h}}$$

Pour être en équilibre et en même temps tourner en 24h, le satellite doit donc respecter les deux conditions (équilibre entre force centrifuge et force gravitationnelle ET vitesse imposée par la rotation de la Terre).

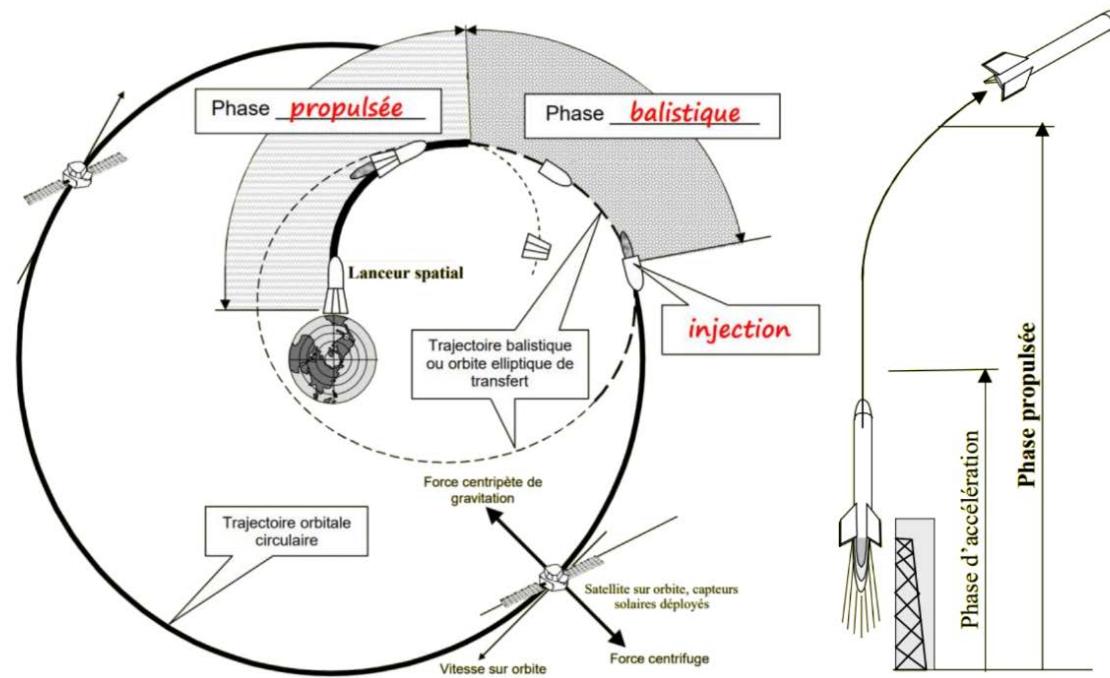
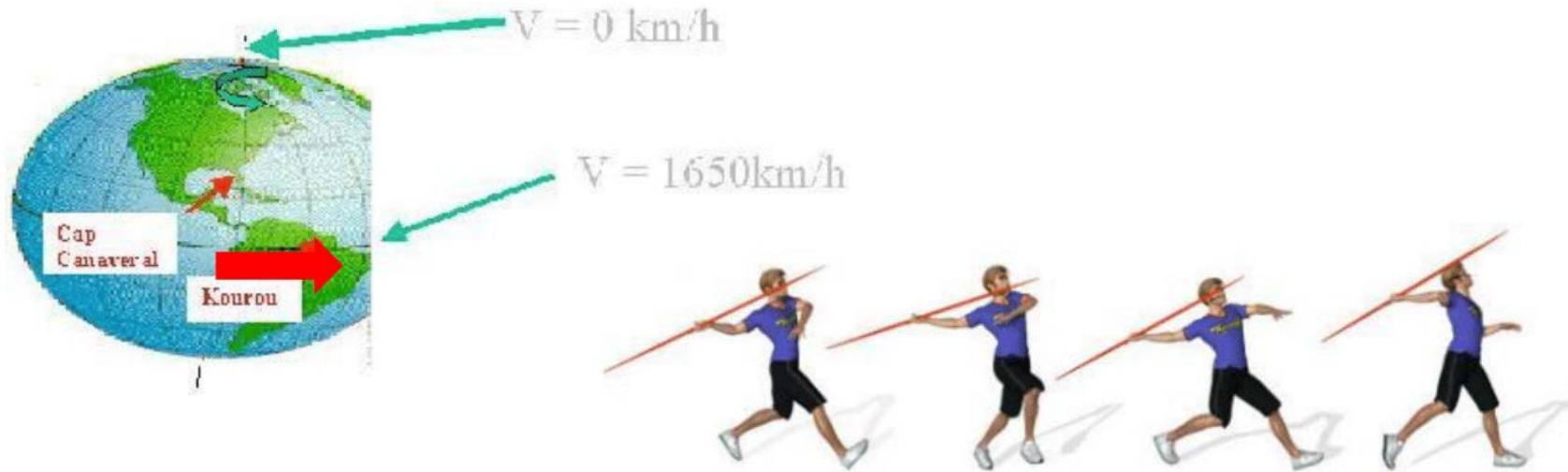
- Altitude géostationnaire : $h \approx 36\ 000\ km$ (35 786 km)
- $V = 3\ 074\ m.s^{-1}$
- Sur le plan équatorial
- Il tourne autour de la Terre en 24 h

Wikipedia : 254 satellites

Si on ne place pas le satellite à la bonne hauteur à la bonne vitesse, il ne sera pas en équilibre et son orbite va évoluer. Pour une vitesse donnée, il évoluera pour aller à la hauteur correspondante.

En fin de vie (réserves d'ergol presque vides, les géostationnaires sont mis sur une « orbite cimetière » ou « poubelle », plus haute (vers 36300 km) que l'orbite géostationnaire, à l'aide du reste d'ergol puis arrêtés). Ainsi, sa vitesse d'équilibre sera modifiée, et il ne tournera plus exactement à la même vitesse que la Terre !

Le lancement

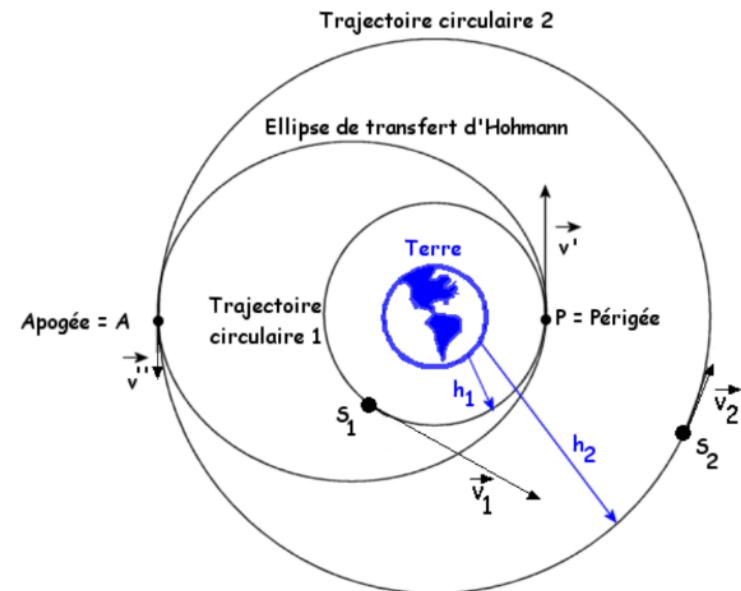


A.III.4.c Changement d'orbite

Pour changer l'orbite d'un objet :

- On part de l'orbite circulaire à la hauteur h_1
- Arrivé au point P, on accélère l'objet de manière très précise afin de modifier son orbite et lui faire atteindre le point A via une orbite elliptique
- Arrivé au moins A, on l'accélère encore afin qu'il s'installe sur la nouvelle trajectoire circulaire à la hauteur h_2

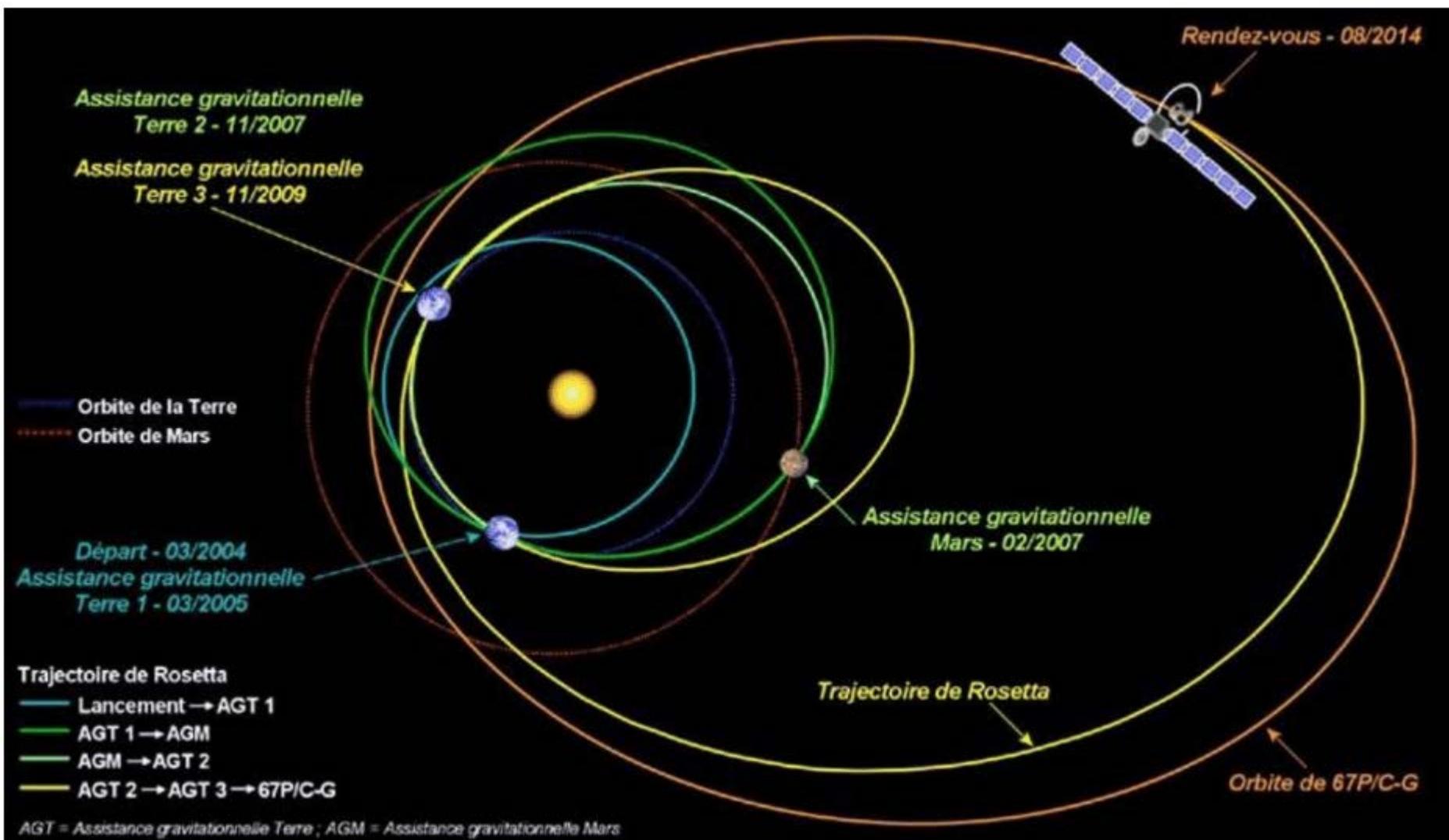
Remarque : on profite évidemment des lois de la physique pour consommer le moins d'énergie possible d'une trajectoire à une autre. Car une autre possibilité consisterait à allumer des booster pour aller d'une trajectoire à l'autre...



A.III.4.d Le maintien en orbite

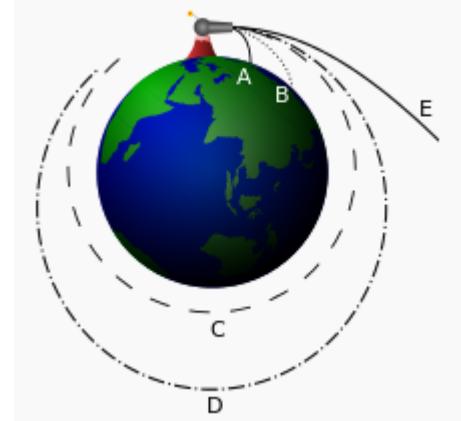
Lorsqu'un satellite est en orbite, s'il reste à vitesse constante, il reste sur son orbite. Le milieu interstellaire n'est pas un milieu totalement vide. Il reste quelques particules avec lesquelles les satellites entrent en collision. Ainsi, subissant une très faible trainée, les satellites ralentissent. Sans action de correction, le satellite passe alors sur une orbite inférieure. Et cela jusqu'à écrasement sur la Terre.

A.III.4.e Le voyage interstellaire



Vitesse de libération

La **vitesse de libération**, ou **vitesse d'évasion** ou **d'échappement** est, en [physique](#), la [vitesse](#) minimale que doit atteindre un [projectile](#) au [périgée](#) de sa trajectoire pour échapper définitivement à l'attraction [gravitationnelle](#) d'un [astre](#) ([planète](#), [étoile](#), etc.) dépourvu d'atmosphère et s'en éloigner indéfiniment.



a) Application du principe de la conservation d'énergie

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow \text{Énergie cinétique d'un corps de masse } m \text{ se déplaçant à la vitesse } v \text{ dans un référentiel galiléen}$$

$$E_p = -\frac{GMm}{D} \rightarrow \text{Énergie potentielle d'un corps de masse } m \text{ à une distance } D \text{ de l'astre de forme approximativement sphérique de masse } M \text{ dans son champ de gravitation}$$

b) Énergie mécanique d'un corps situé à une distance infinie de l'astre

- la vitesse du corps est nulle par définition de la vitesse de libération donc l'énergie cinétique est nulle

$$E_{cf} = 0$$

- l'énergie potentielle dans le champ de gravitation de l'astre est nulle puisque l'objet a échappé à celui-ci

$$E_{pf} = 0$$

c) Détermination de la vitesse de libération

En application de la loi de la conservation de l'énergie, l'énergie mécanique de l'objet dans ses positions initiale et finale est identique :

$$E_{ci} + E_{pi} = \frac{1}{2}mv_i^2 - \frac{GMm}{R_i} = E_{cf} + E_{pf} = 0$$

$$v_l = \sqrt{\frac{2GM}{R_i}}$$

La Terre vue d'Apollo 17. Pour échapper à son attraction depuis sa surface, une vitesse de libération de 11,2 km/s (environ 40 320 km/h) est requise. Par contre, une vitesse de 42,1 km/s est nécessaire pour échapper à l'attraction du Soleil (et quitter le système solaire) depuis la même position.



3-1 Classification des aéronefs et engins spatiaux

Le plus extraordinaire vaisseau spatial connu

