



# Aérodynamique, Aérostatique

## 2-3 L'aérostation

Concerne les plus légers que l'air.

Version Août 2025



09/08/2025

AIPBIA Aérodynamique  
Aérostatique Principes de vol

1

# Le principe de base de la sustentation d'un aérostat : le principe d'Archimède

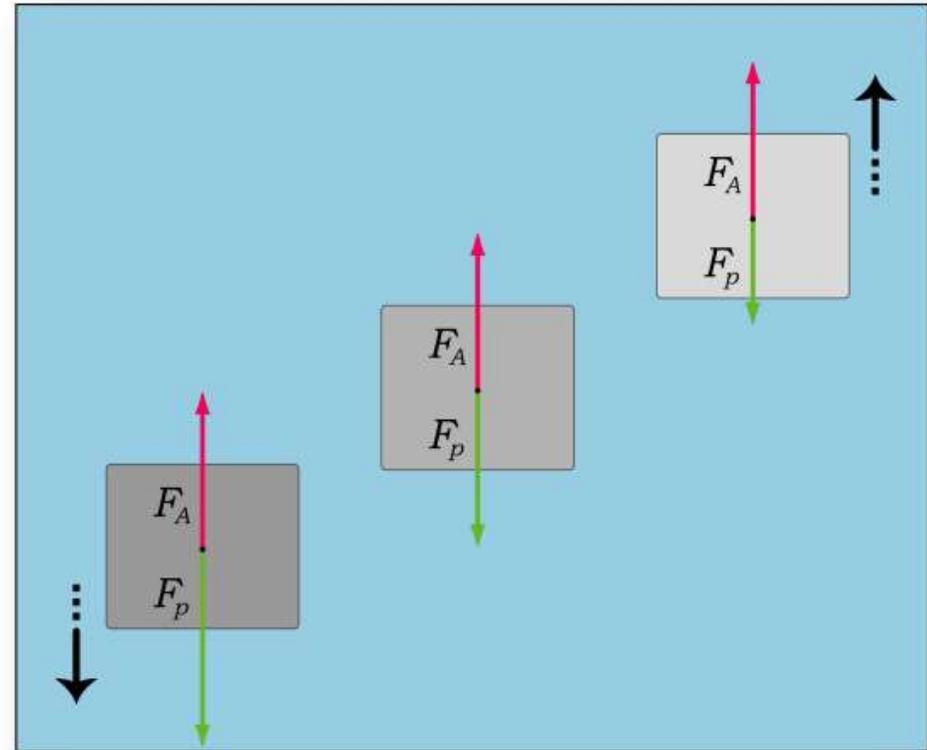
« Un corps plongé dans un fluide subit une force verticale  $F_A$  égale au poids du volume de fluide déplacé »

$F_A$  = poussée d'Archimède

$$F_A = - \rho \cdot V \cdot g$$

$F_A$  = poussée dirigée vers le haut  
 $\rho$  et  $V$  = masse volumique et volume du fluide déplacé

$F_p$  = poids du corps immergé



si  $F_A > F_p$  : sustentation, le corps monte

si  $F_A < F_p$  : le corps coule

## Principe d'Archimède appliqué à la montgolfière

L'air chaud est moins dense que l'air froid. Si on chauffe l'air contenu dans la montgolfière :

→ **poids du ballon < poids de l'air extérieur déplacé**

→ **poussée dirigée vers le haut**

Si on arrête de chauffer l'air, il refroidit, la montgolfière va descendre

### Exemple :

volume de la montgolfière = 2200 m<sup>3</sup>

Tp air dans la montgolfière = 80°C → 0,9 Kg/m<sup>3</sup>

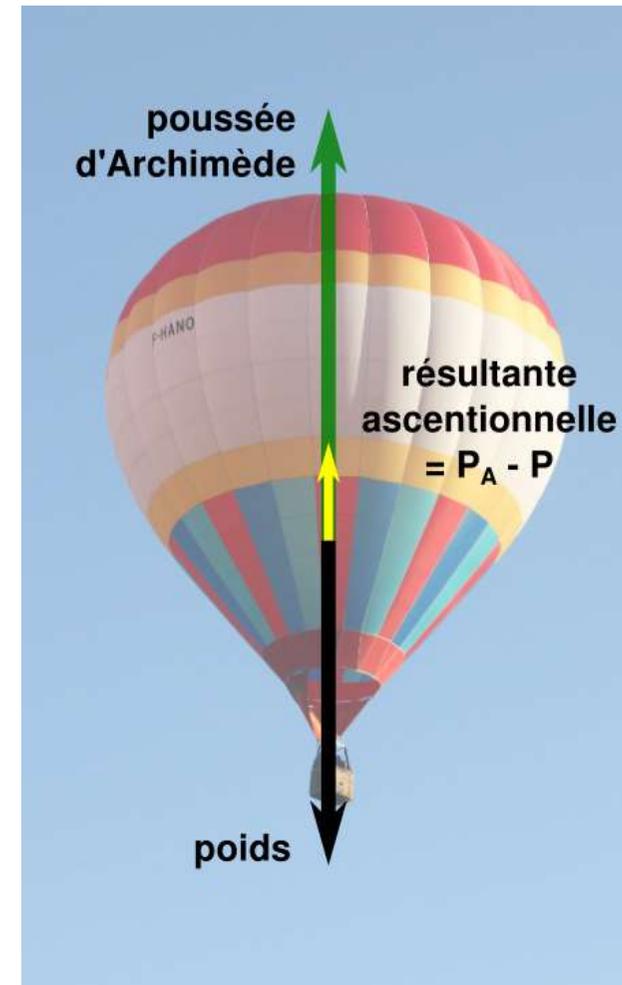
Tp air extérieur = 10°C → 1,24 kg/m<sup>3</sup>

Masse d'air contenu dans la montgolfière :

2200 x 0,9 = 1980 kg

Masse d'air déplacée (2200 m<sup>3</sup>)

2200 x 1,24 = 2728 kg



Valeur de la poussée :

$$F_A = (2728 - 1980) * 9,81 = 7300 \text{ N}$$

**emport possible : 2728 - 1980 = 748 kg**  
(dont nacelle + enveloppe → env. 100 kg)

## Principe d'Archimède appliqué au ballon à gaz

- Le ballon à gaz contient un gaz moins dense que l'air (à température identique)
- Ce gaz est en général de l'hélium, ininflammable.
- Le ballon est fermé hermétiquement pour ne pas laisser échapper le gaz se trouvant à l'intérieur.
- Pour monter le ballon à gaz doit lâcher du lest (sable) et pour descendre il évacue un peu de gaz.
- He : un sous produit de l'exploitation gazière
- Masse volumique de He :  $0,1785 \text{ g/dm}^3$  ( $\text{Kg/m}^3$ )

### Exemple :

volume du ballon =  $2200 \text{ m}^3$

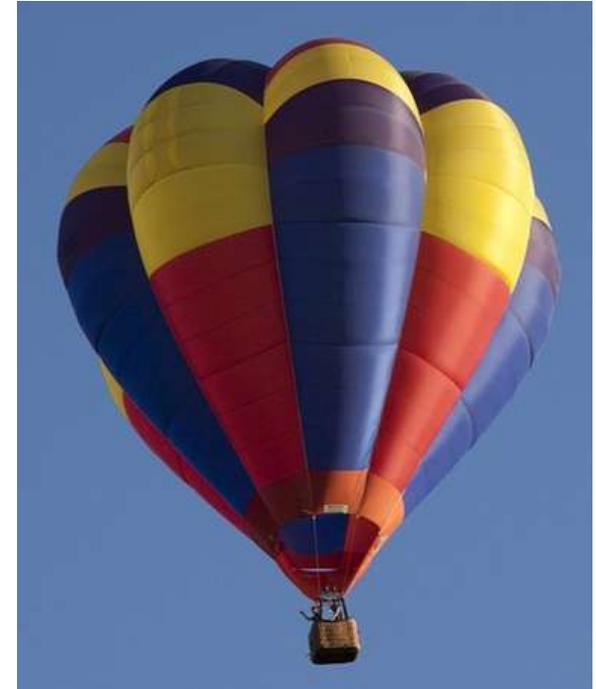
Masse volumique He  $\rightarrow 0,1785 \text{ Kg/m}^3$

Tp air extérieur =  $10^\circ\text{C} \rightarrow 1,24 \text{ kg/m}^3$

Masse He contenu dans le ballon :  $2200 \times 0,1785 = 393 \text{ kg}$

Masse d'air déplacée =  $2200 \times 1,24 = 2728 \text{ kg}$

**emport possible :  $2728 - 393 = 2335 \text{ kg}$  (dont nacelle et enveloppe, env. 100 kg)**



# La rozière, un aérostat à gaz + air chaud

Orbiter III  
h = 56 m  
v = 18500 m<sup>3</sup>

## 2 compartiments

- Une partie étanche remplie d'hélium → assure la sustentation principale
- Une partie ouverte remplie d'air chauffé par un brûleur → pour faire varier l'altitude en chauffant plus ou moins l'air

en bleu : ballon rempli à l'hélium  
en rouge : partie remplie à l'air chaud

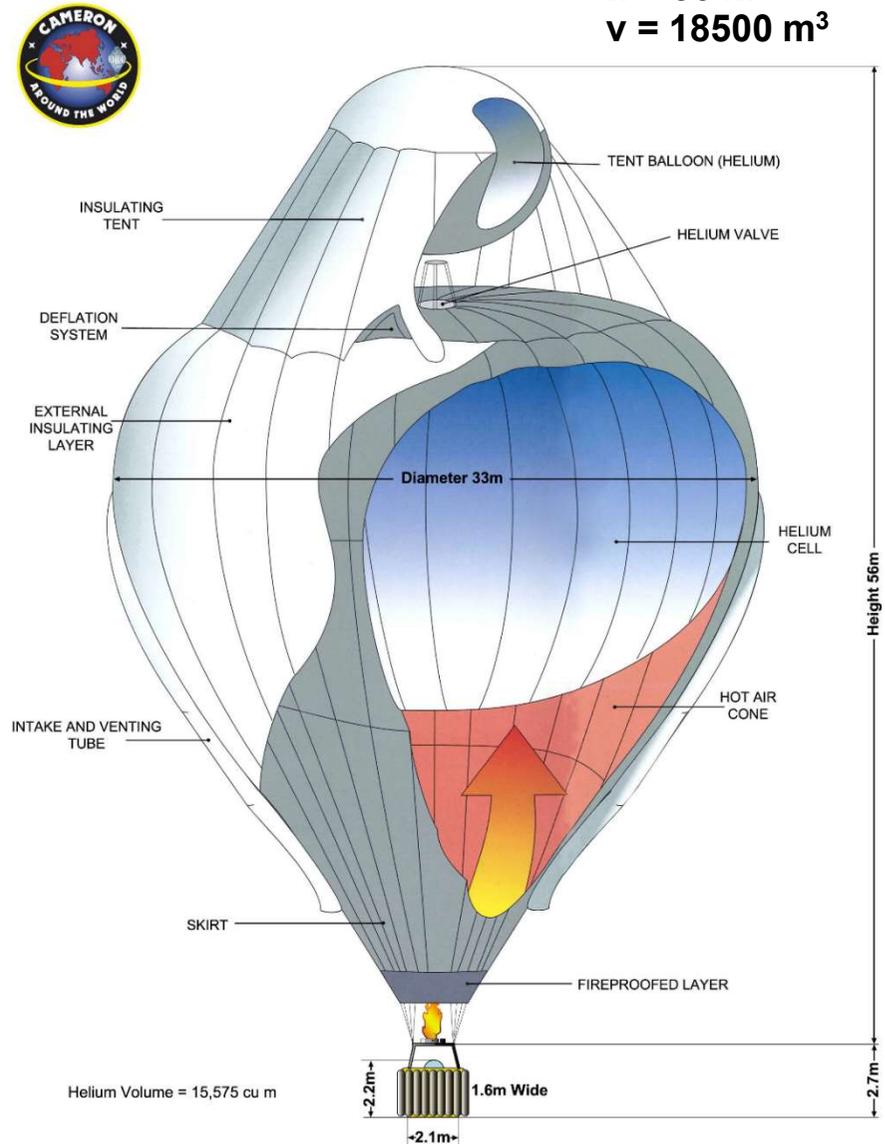
→ grande autonomie (plusieurs jours).

De jour, air et gaz chauffés par le soleil,

De nuit air chauffé au propane

1999 - B. Picard et B. Jones (Orbiter III), tour du monde sans escale de près de 20 jours.

2010 – J.L. Etienne, traversée de l'Arctique en 121 h

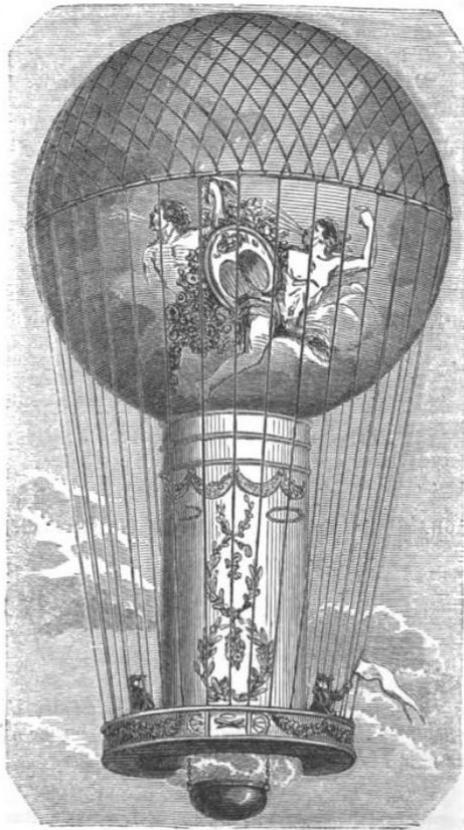


As tall as the leaning Tower of Pisa and wider than two double decker buses end to end.

09/08/2025

## La rosière, une très vieille idée !

1784 – L'aéro-montgolfière à hydrogène (très inflammable) + air chaud de Pilâtre de Rozier. Il y trouve la mort en 1785



Mars 1999 – Orbiter 3 à hélium (inflammable) + air chaud. Tour du monde sans escale (C. Picard et B. Jones), près de 20 jours en l'air, souvent très haut (11 000 m) pour profiter des jet-streams



## Manœuvrer un plus léger que l'air ? Le dirigeable

Un **ballon** ne bouge pas par rapport à l'air qui l'entoure (**il n'est manœuvrable que verticalement**), il doit utiliser le vent pour se déplacer

Un **dirigeable** est un aérostat (un ballon) muni d'un dispositif de propulsion et d'orientation qui lui apporte de la **manœuvrabilité**



## Des exemples de QCM d'examen sur la partie de cours qui précède

<b>La sustentation d'un aérostat est basée sur le principe :</b>	
a)	d'Archimède.
b)	de Bernouilli.
c)	des vases communicants.
d)	de l'effet Venturi.

<b>En cas d'élévation de température extérieure, la force ascensionnelle d'un aérostat :</b>	
a)	n'évolue pas.
b)	augmente.
c)	diminue.
d)	dépend exclusivement du vent.

<b>2.17</b>	<b>Lorsque la somme des forces qui s'appliquent à un ballon libre est nulle :</b>
a)	le ballon est en situation d'équilibre.
b)	le ballon est en montée.
c)	le ballon est en descente.
d)	le ballon se dégonfle.



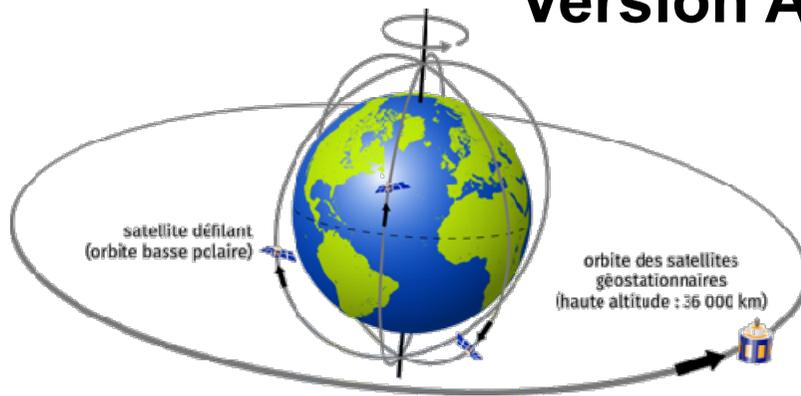
# Aérodynamique, Aérostatique

## Principes du vol

### 2.4 Le vol spatial



Version Août 2025



© Météo-France



09/08/2025

AIPBIA Aérodynamique  
Aérostatique Principes de vol

# Quand parle t'on de vol spatial ?

**Vol spatial : vol d'un astronef qui dépasse l'altitude à partir de laquelle l'atmosphère est trop peu dense pour permettre le vol d'un aéronef standard (avion, hélicoptère ou ballon). Cette limite se situe vers 100 km d'altitude (ligne de Karman) . Au dessus, on parle de « vol dans l'espace », ou « vol spatial »**

**Dans l'espace, un engin spatial n'est plus freiné par la résistance de l'air**

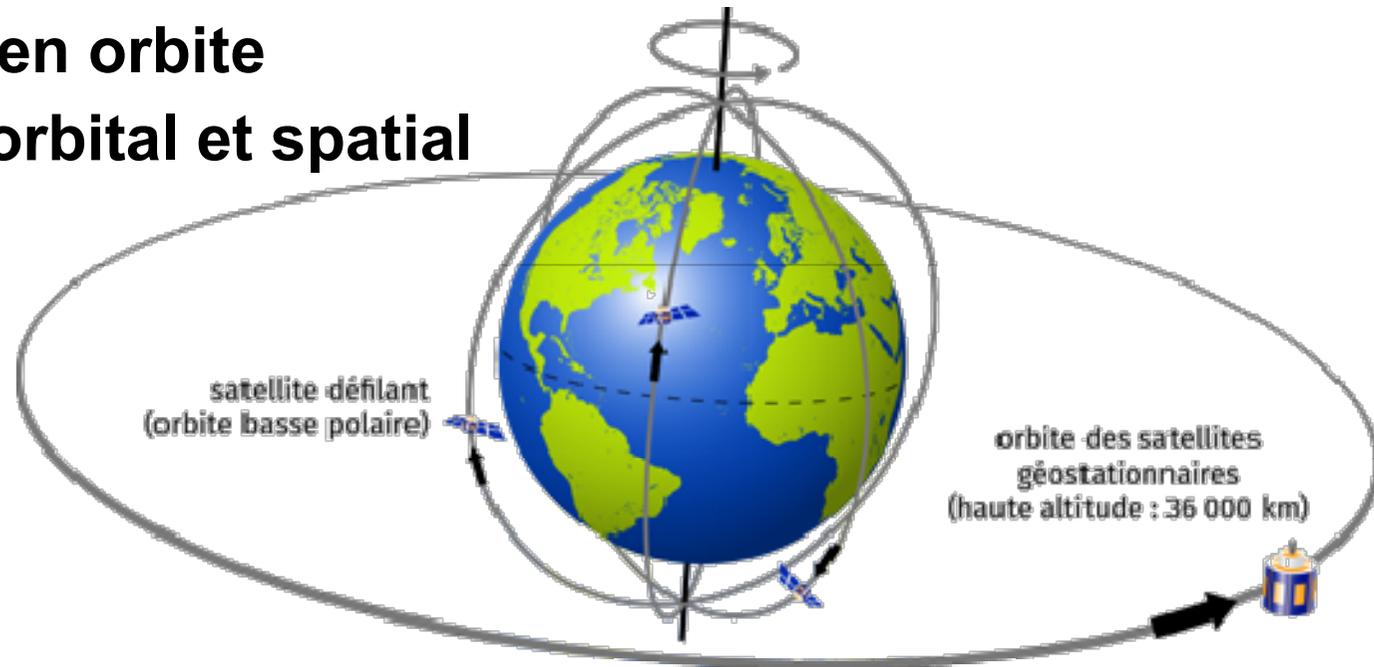
**Plusieurs types de vols spatiaux :**

- **Vols balistiques ou suborbital**, où l'engin retombe sur terre
- **Vols orbitaux**, où l'engin se met en orbite autour de la Terre
- **Vols interplanétaires**, où l'engin atteint une autre planète
- **Vols interspaciaux**, où l'engin sort du système solaire

**Pour les vols interplanétaires ou inter-spaciaux, l'engin doit échapper à « l'attraction terrestre »**

# Principes généraux de la mécanique spatiale

- L'attraction terrestre
- Trajectoire de lancement
- Mise en orbite
- Vols orbital et spatial



© Météo-France

## L'attraction terrestre

Toute masse attire une autre masse : **c'est la gravitation**

En particulier, tout objet sur Terre est attiré par **la gravité terrestre  $g$ , orientée vers le centre de la Terre**

Sur Terre, **le poids d'un objet résulte de la gravité terrestre**

$$P = m.g$$

- **P** : le poids en Newton. C'est **une force dirigée vers le centre de la Terre**
- **m** : la masse du corps en Kg
- **g** : gravité terrestre, ou « accélération de la pesanteur », en  $m/s^2$ . **Elle vaut  $9,81 m/s^2$  à la surface de la Terre**

## g diminue avec l'altitude, selon la loi de Kepler :

$$g_h = g \cdot R^2 / (R+h)^2$$

- h : l'altitude
- $g_h$  : l'accélération de la pesanteur à l'altitude h
- R : le rayon de la Terre = 6371 km

**Un spationaute a une masse de 100kg. Combien pèse t'il à 15000 km ?**

$$g_h = 9,81 \times ((6371/(6371 + 15000))^2) = 9,81 \times 0,0089 = \mathbf{0,87 \text{ m/s}^2}$$

Sur Terre, la spationaute pèse  $100 \times 9,81 = 981 \text{ N}$

A 15000 km, il ne pèse plus que  $100 \times 0,87 = 87 \text{ N}$

**Son poids a varié, sa masse n'a pas varié**

**L'accélération de la pesanteur au sol dépend de la masse de la planète et de son rayon**

Sur Terre :  $M = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$  et  $R = 6371 \text{ km} \rightarrow g = 9,81 \text{ m/s}^2$

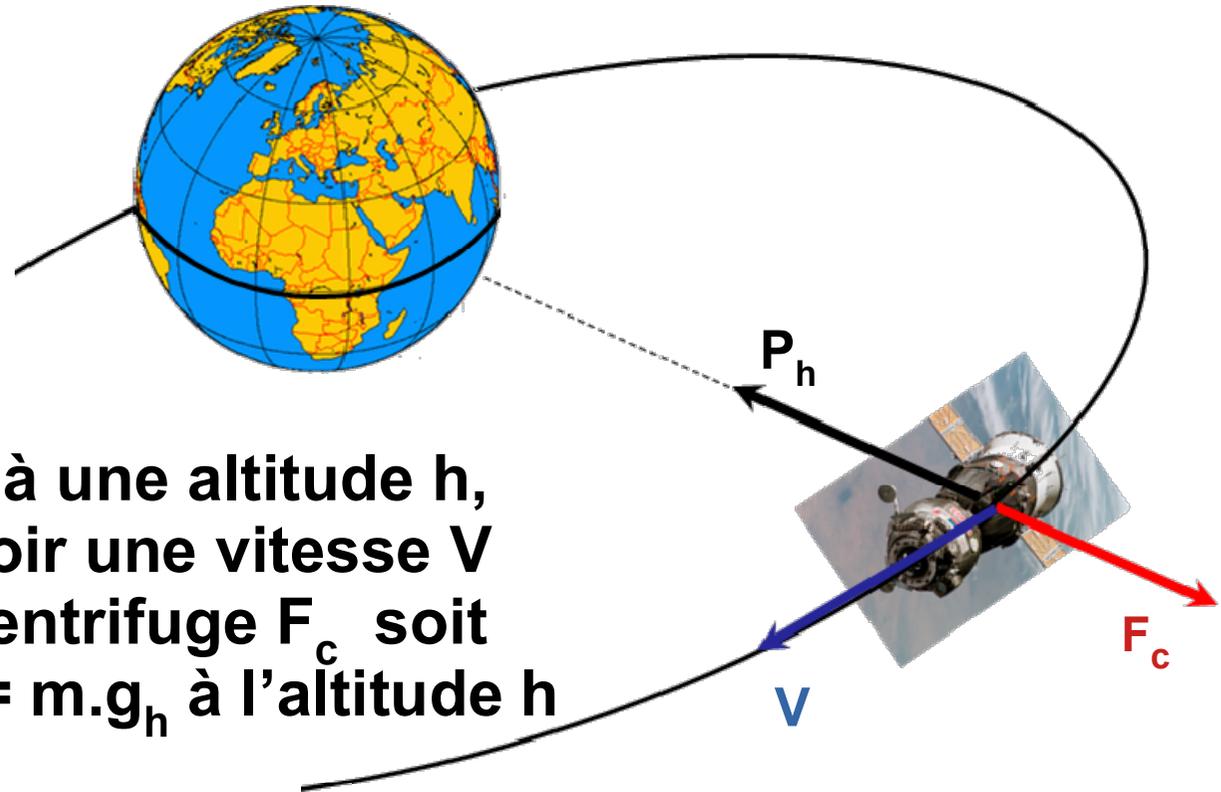
Sur la Lune:  $M = 7,36 \times 10^{22} \text{ kg}$  et  $R = 1737 \text{ km} \rightarrow g = 0,17 \text{ m/s}^2$

Sur Mars :  $M = 6,39 \times 10^{23} \text{ kg}$  et  $R = 3390 \text{ km} \rightarrow g = 3,71 \text{ m/s}^2$

Un spationaute de 100 kg pèsera

981 N sur Terre
17 N sur la Lune
371 N sur Mars

## Mise en orbite d'un satellite artificiel



Pour rester en orbite à une altitude  $h$ , un satellite doit avoir une vitesse  $V$  telle que la force centrifuge  $F_c$  soit égale au poids  $P_h = m \cdot g_h$  à l'altitude  $h$

## Mise en orbite d'un satellite artificiel

- **Altitude  $h$  et vitesse  $V$  sont liées entre elles**
- **Une fois l'altitude désirée atteinte, le lanceur donne au satellite une vitesse initiale qui lui permet de maintenir cette altitude.**
- **Si le satellite est hors de l'atmosphère, pas de freinage par l'air → il conserve sans poussée cette vitesse initiale**
- **L'orbite prise dépend uniquement de la vitesse initiale.**
- **Si on augmente cette vitesse, le satellite va se placer sur une orbite plus haute, voire disparaîtra dans l'espace, si la vitesse augmente fortement.**

**Et si on diminue fortement cette vitesse (en freinant le satellite à l'aide de rétrofusées), que se passe-t-il?**

# RAPPORT ENTRE LA VITESSE ET L'ORBITE

Pour faire décrire une orbite autour de la Terre par un satellite, il existe des vitesses dites "remarquables « à partir desquelles le satellite changera de trajectoire.

Ces vitesses sont données pour les mises en orbite courantes, soit à une altitude de 200 km.

- La vitesse minimale pour qu'un satellite décrive, autour de la Terre, **une trajectoire circulaire** est de **7,75 km/s**. Si cette vitesse n'est pas atteinte, le mobile va redescendre sur Terre et se comportera comme un missile balistique.

C'est la **vitesse de satellisation en orbite basse**.

-Si la vitesse de mise en orbite est comprise entre 7,75 km/s et 11,2 km/s, le mobile va décrire une ellipse ayant la Terre comme foyer.

Plus la vitesse est élevée et plus l'ellipse est allongée.

C'est la vitesse elliptique.

-Si la vitesse de mise en orbite est supérieure à **11,2km/s**, le mobile s'éloigne de la Terre suivant une parabole.

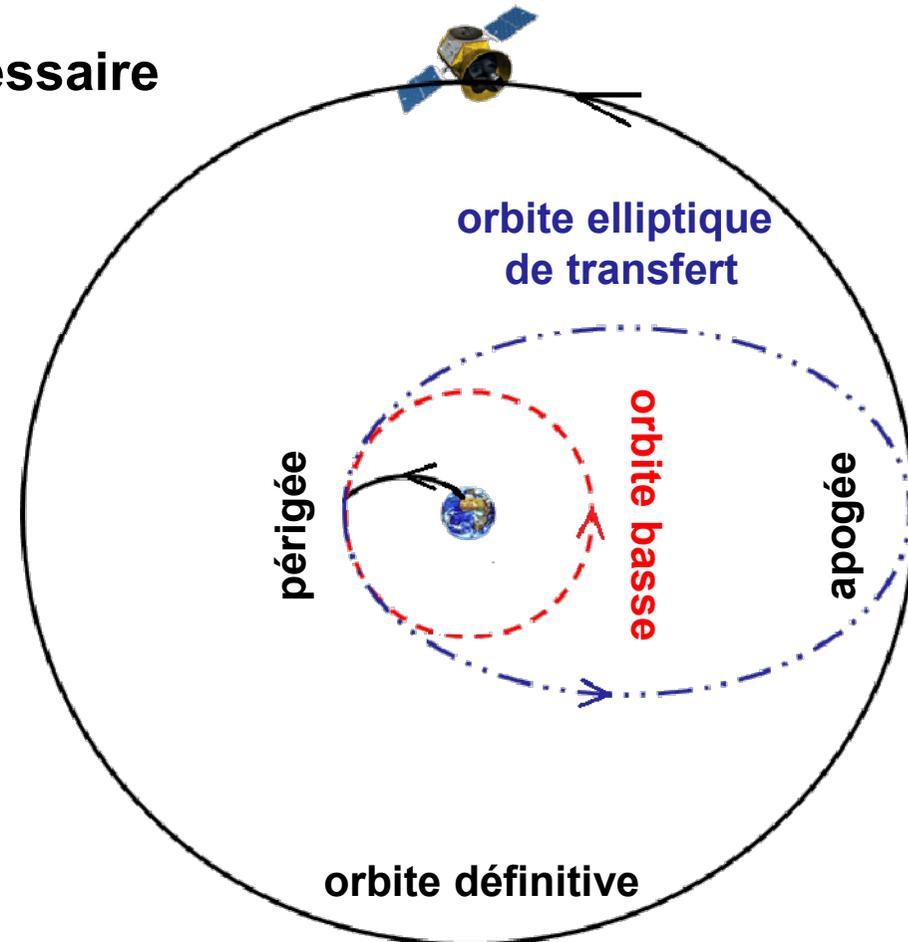
Le mobile quittera l'attraction terrestre sans jamais y revenir et décrira une ellipse autour du soleil. C'est la **vitesse d'évasion**.

Si cette vitesse est supérieure à 16,1 km/s, le mobile quittera l'attraction solaire.

# Mise en orbite d'un satellite artificiel

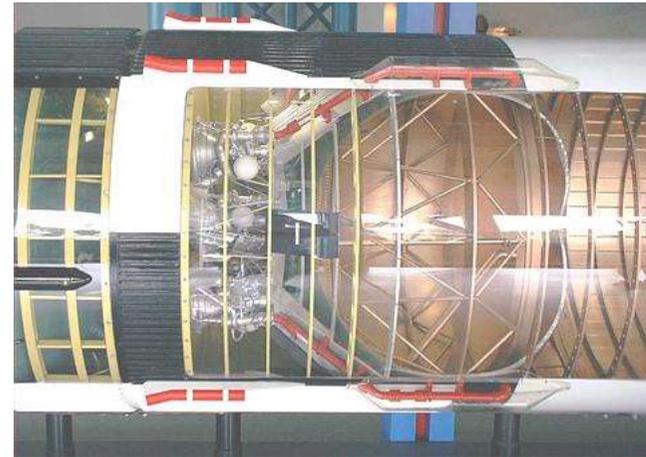
Pour minimiser la puissance nécessaire

- Une fusée met en orbite le satellite sur une **orbite basse**. La puissance de la fusée sert avant tout à la traversée de l'atmosphère dense
- Le satellite, avec un moteur d'appoint décrit une ellipse. C'est une **orbite de transfert**
- A l'altitude désirée (apogée de la trajectoire elliptique), le satellite est lancé à la bonne vitesse sur son **orbite définitive**



**La mise sur orbite d'un satellite consomme de l'énergie/carburant**

## Un lanceur de satellite : la fusée Saturn 5 (USA)



- **Le lanceur Saturn 5 complet avec au sommet le vaisseau Apollo a une masse de 3 038 tonnes au lancement (soit 12 Boeing 747).**

$$P=mg = 3\,038\,000 * 9,81 = 29\,807\,780 \text{ N}$$

- **Le lanceur est capable de placer 118 000 kg sur orbite terrestre ou d'envoyer 47 000 kg vers la lune.**
- **Ses cinq moteurs du premier étage développent 3 750 tonnes de poussée.**
- **Le second étage est propulsé par cinq moteurs totalisant 500 tonnes de poussée.**

## Deux formes d'orbites: circulaire et elliptique

### Les orbites **circulaires**

**Elles ont une altitude constante, leur trajectoire est un cercle.**

**En fonction de l'altitude, l'orbite est dite :**

- **basse : < 2000 km d'altitude**
- **moyenne : de 2000 à 20 000 km d'altitude**
- **haute : > 20 000 km d'altitude**

## Deux formes d'orbites: circulaire ou elliptique

### Les orbites **elliptiques** (ou excentriques)

Leur trajectoire est une ellipse dont l'altitude varie entre une valeur minimum appelée **périgée** et une valeur maximum appelée **apogée**

- Le périgée ne peut pas être inférieur à 200 km, sinon le satellite serait freiné par l'atmosphère
- L'apogée peut aller jusqu'à un million de km, distance où l'attraction de la Terre est supplantée par l'attraction du Soleil

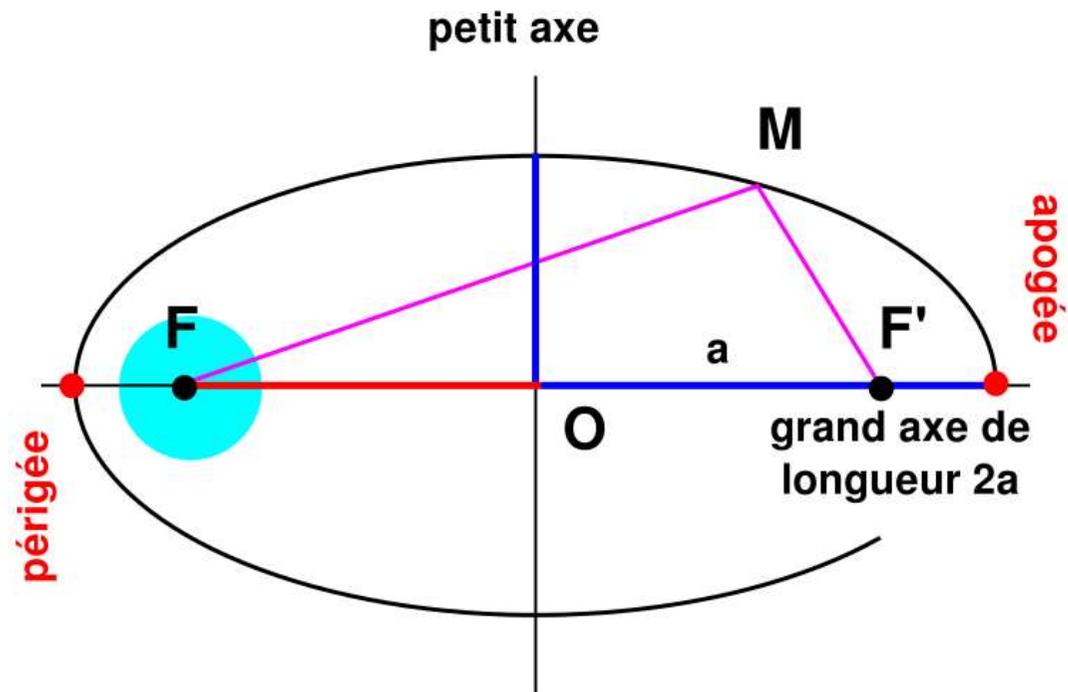
## Définition d'une ellipse

**Ellipse : courbe fermée décrite par l'ensemble des points tels que**

- **$FM + F'M = \text{constante} = 2a$**
- **F et F' sont les « foyers de l'ellipse »**

Quand un satellite est placé sur une trajectoire elliptique :

- **le centre de la Terre est l'un des foyers de l'ellipse**
- **La vitesse du satellite varie en fonction de sa position sur l'ellipse. Il va d'autant plus vite qu'il est plus proche de la terre**

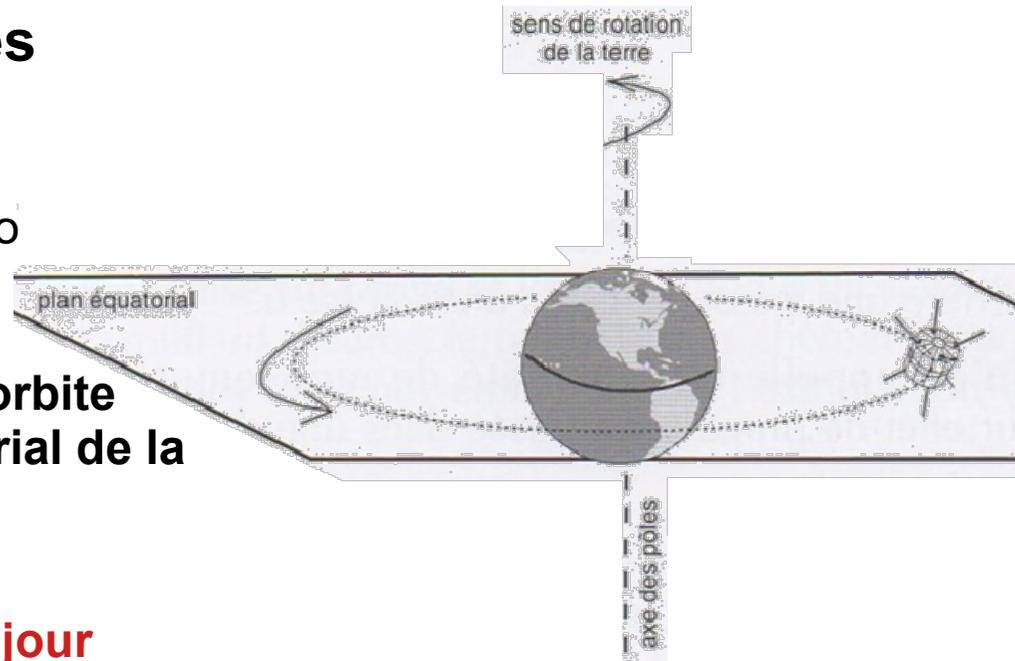


# Des orbites particulières

## Orbite **géostationnaire**

pour communications et météo

**Le satellite est placé sur une orbite circulaire dans le plan équatorial de la Terre.**



**Sa période de rotation est d'1 jour**

→ **il reste en permanence à la verticale du même point de l'équateur. Pour l'observateur au sol, sa position est fixe**

**Son altitude doit être ~ 36 000 km (35 784 km)**

**Sa vitesse :**

Distance parcourue en 1 jour (24h) =  $2\pi R$  ( $R = 6400 \text{ km} + 35\,784 \text{ km}$ )

$$V = 265050 \text{ km/j} = 11\,044 \text{ km/h}$$

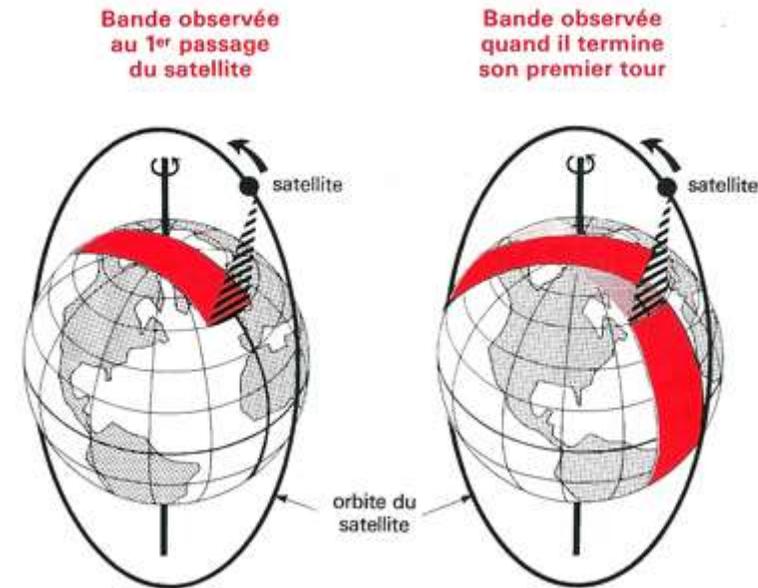
Calcul de h hors programme.  
Raisonnement : la force centrifuge, qui dépend de sa masse, du rayon de la trajectoire et de g à cette altitude, doit équilibrer le poids P du satellite à cette altitude

# Des orbites particulières

## Orbite **héliosynchrone**

pour imagerie satellite dans différentes longueurs d'onde

- Il s'agit d'orbites polaires à environ 850 km d'altitude, dont le plan tourne par rapport à la Terre de 1 degré par jour autour de l'axe N-S (360° en un an)
- **Un satellite évoluant sur cette orbite passera toute l'année au-dessus des mêmes points à la même heure solaire.**
- Permet de relever régulièrement des données de façon consistante ainsi que de faire des comparaisons. Voit 2 fois par jour une même zone et couvre une bande d'environ 2900 km de large.



## Sens de lancement et localisation optimale pour le **lancement d'un satellite géostationnaire**

- Le tir de lancement d'un satellite géostationnaire s'effectue vers l'Est.
- Pourquoi?



**Pour profiter de la vitesse de déplacement du pas de tir due à la rotation de la Terre (environ 450 m.s-1 à la latitude de Kourou)**

La vitesse d'un satellite ne se mesure pas dans un repère attaché à la Terre, mais par rapport à un repère plus vaste, externe. Dans ce repère, vue de l'extérieur, la Terre tourne et tout point de sa surface se déplace à une vitesse tangentielle non nulle (sauf aux pôles).

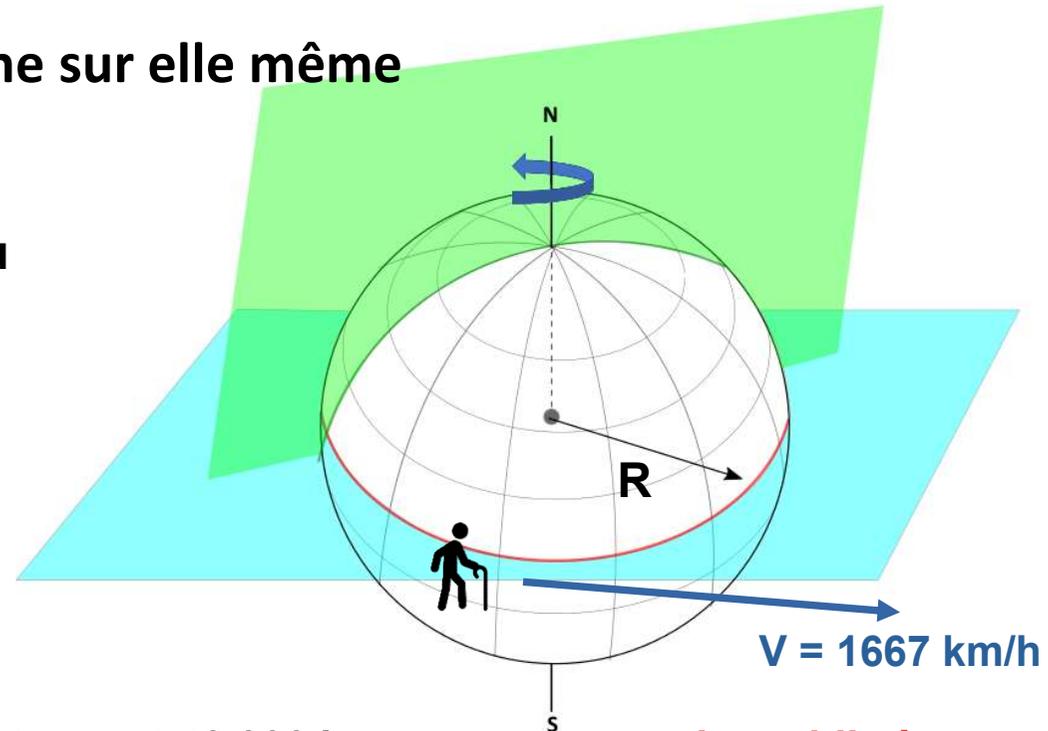
Par contre, si on se place dans notre repère terrestre, cette vitesse est nulle.

## La Terre, une boule qui tourne sur elle même



La Terre fait le tour du Soleil en 1 an

La Terre fait un tour sur elle-même en 1 j



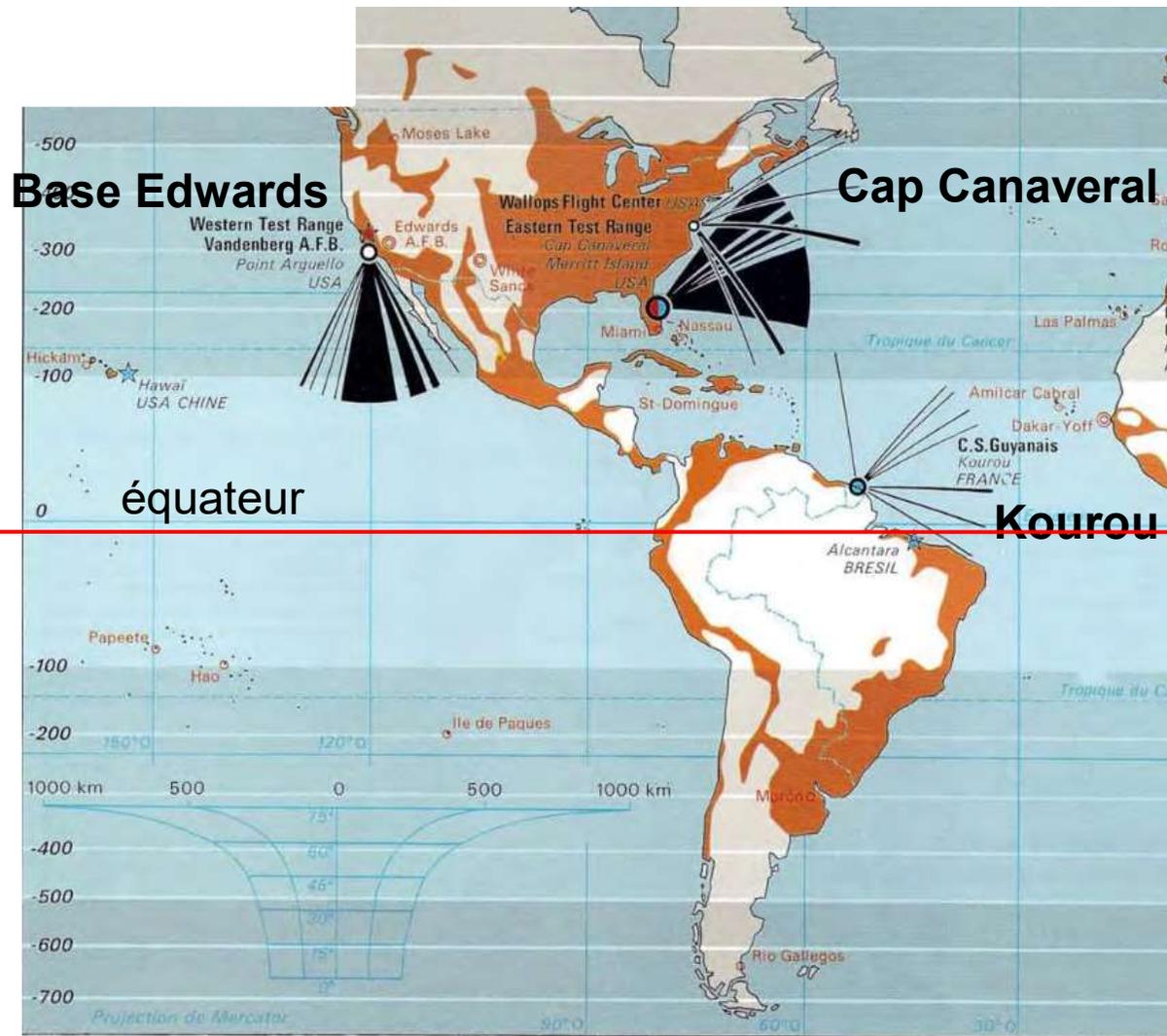
Comme la longueur de l'équateur est 40 000 km, **une personne immobile à l'équateur se déplace en réalité de 40 000 km en 1 journée (24h)**

Sa vitesse =  $40\ 000 / 24 = 1667\text{ km/h} = 463\text{ m/s}$

Aux latitudes plus élevées, cette vitesse est plus faible : **un bon site de lancement doit donc se situer le plus près possible de l'équateur**

- Pour mettre un satellite en orbite basse, il faut une vitesse minimale de l'ordre de 8000 m/s → à l'équateur, on a gagné env. 6 % de cette vitesse !
- En plus, pour un satellite géostationnaire, à l'équateur on est directement sur la bonne orbite

# Les bases de lancement sur le continent américain.



## CONDITIONS DÉFAVORABLES À LA LOCALISATION

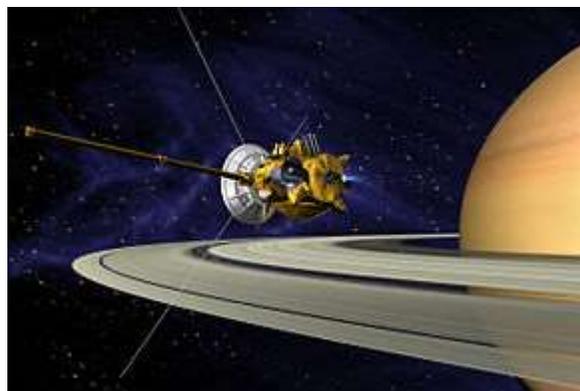


# Envoyer une sonde dans l'espace : l'assistance gravitationnelle

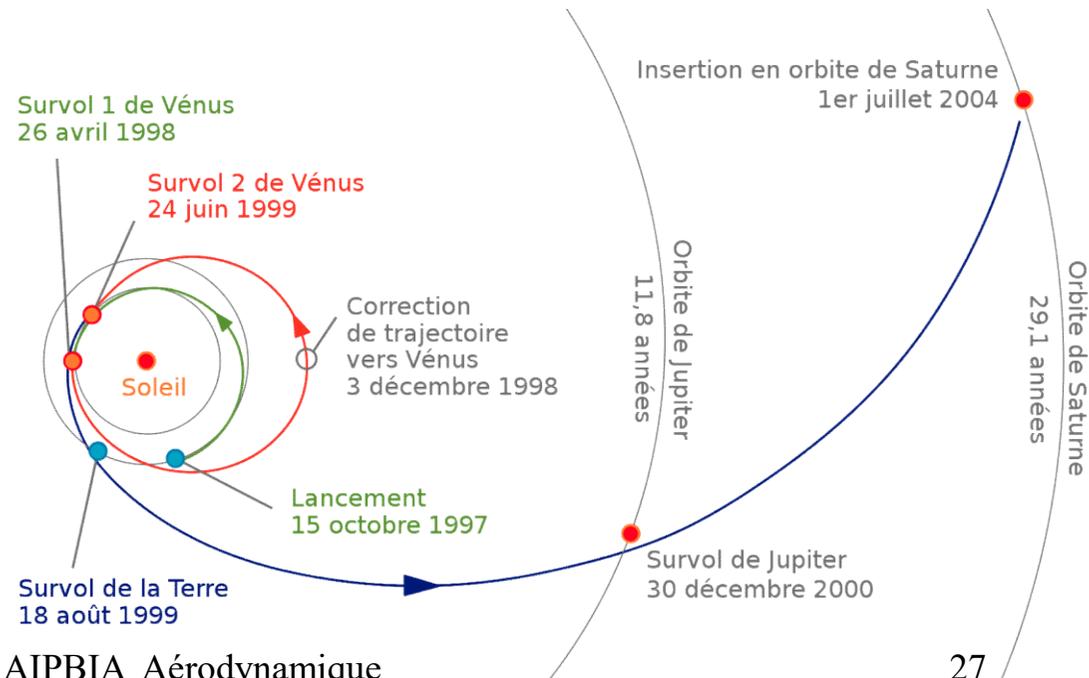
Assistance gravitationnelle : **utilisation de l'attraction d'un corps céleste (une autre planète) pour modifier la trajectoire d'un engin spatial.**  
Permet d'économiser le carburant transporté par l'engin.

En arrivant dans le champ d'attraction d'une planète, la sonde accélère, la dépasse, puis repart avec une direction différente et retrouve sa vitesse initiale. Près de la planète, sa trajectoire a décrit un tronçon de parabole.

Exemple : la sonde Cassini envoyée vers Saturne a utilisé à plusieurs reprises Vénus, puis la Terre, puis Jupiter pour optimiser sa trajectoire en préservant son carburant

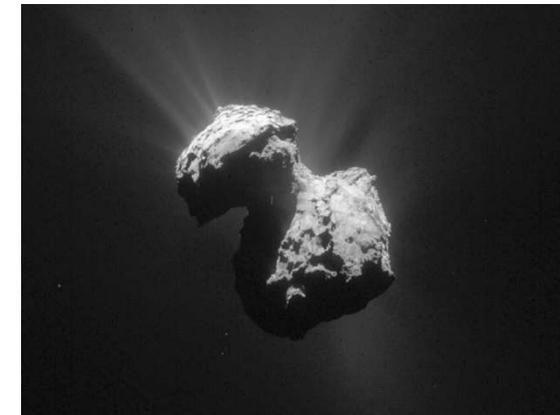


09/08/2025



# Sonde Rosetta vers la comète Churyumov-Gerasimenko

Un voyage qui a duré 10 ans. La sonde a utilisé un moteur pour certaines phases du vol, mais surtout l'assistance gravitationnelle de la Terre et de Mars



**La comète 67P/Churyumov-Gerasimenko : un corps de 6 x 3 km, à env. 185 millions de km (quand elle est au plus près de la Terre, tous les 7 ans)**

## Des exemples de QCM d'examen sur la partie de cours qui précède

<b>Pour profiter de la vitesse d'entraînement de la base spatiale de Kourou, la direction du tir de lancement d'un satellite géostationnaire doit se faire :</b>	
a)	vers le nord.
b)	vers l'est.
c)	vers le sud.
d)	vers l'ouest.

<b>En orbite circulaire à 36000 km, la durée d'une révolution (tour complet) d'un satellite est de :</b>	
a)	90 mn.
b)	120 mn.
c)	12 heures.
d)	24 heures.

<b>Le poids d'un satellite tournant autour d'un astre est :</b>	
a)	compensé par sa force de portance.
b)	compensé par sa force centrifuge.
c)	compensé uniquement par ses moteurs fusées.
d)	nul car il est en apesanteur.

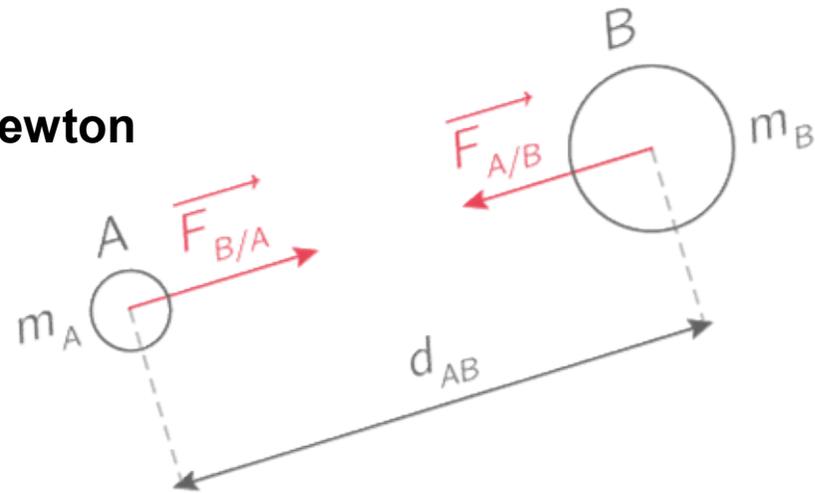
# **Pour aller au-delà du programme BIA sur la compréhension des Aérostations et des vols spatiaux**

## La gravité sur Terre

### Loi de la gravitation universelle de Newton

2 corps de masse  $m_A$  et  $m_B$  s'attirent mutuellement, avec une force  $F$  qui dépend du carré de la distance  $d_{AB}$

$$F = G \times (m_A \times m_B) / d_{AB}^2$$



$G =$  constante gravitationnelle universelle =  $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

**Sur la Terre**, pour un corps de poids  $P = m \cdot g$ , attiré par la Terre de masse  $M$

$$P = m \cdot g = G \cdot (m \cdot M) / R^2 \rightarrow \mathbf{g = G \cdot M / R^2} \longrightarrow \mathbf{g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}$$

avec  $R = 6372 \text{ km}$  et  $M = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$

### Variation avec l'altitude $h$

À l'altitude 0 (à 6372 km du centre de la Terre) :  $P = G \cdot M_T \cdot m / R^2$

À l'altitude  $h$  (à 6372 km +  $h$  du centre de la Terre) :  $P' = G \cdot M_T \cdot m / (R+h)^2$

$$m \cdot g_h / m \cdot g = P' / P = R^2 / (R+h)^2 \longrightarrow \mathbf{g_h = g \cdot R^2 / (R+h)^2}$$

(loi de Kepler)

aller plus loin

## Sous d'autres latitudes

Quelle est la vitesse d'une personne  
au 45<sup>ème</sup> parallèle?

Rayon du cercle à parcourir =  $R_T \cos(45) = 4501$  km

Distance à parcourir  $D = 2\pi R_T = 28281$  km

Vitesse =  $28281 \text{ km/j} = 327 \text{ m/s}$

**La base de Baïkonour**, au Kazakhstan, utilisée  
par les Russes, est à une latitude d'environ  $45^\circ$

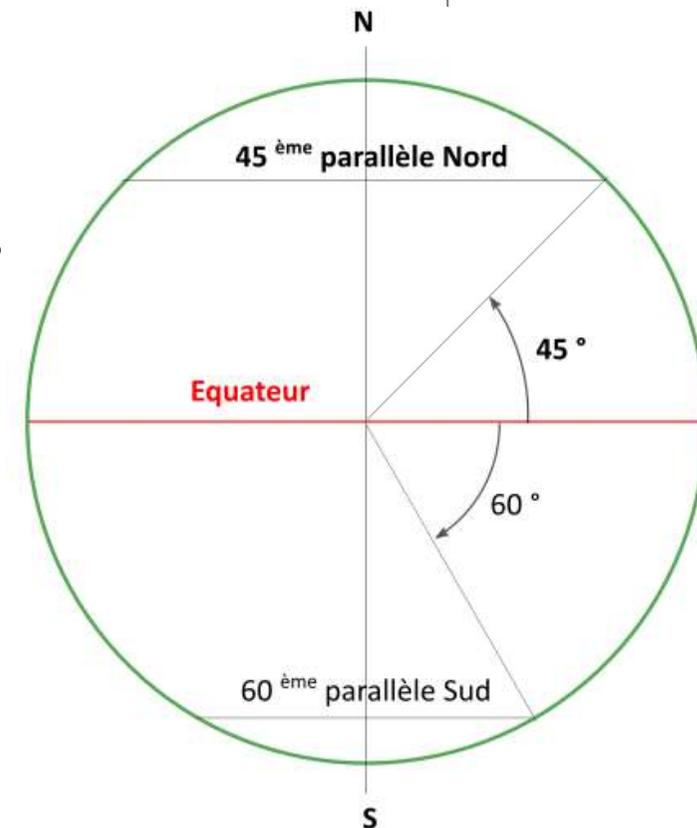
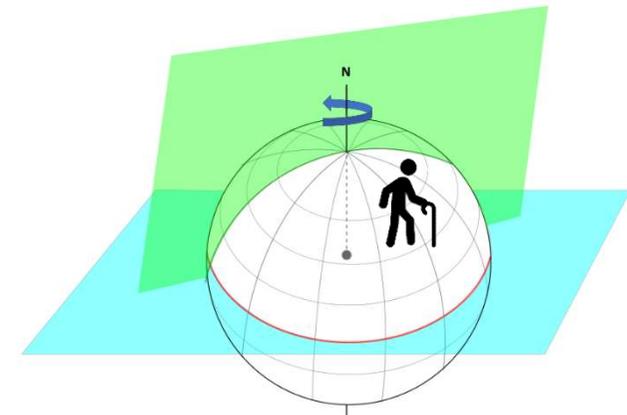
Quelle est la vitesse à Cap Canaveral (USA)

Latitude =  $28^\circ 28' = 28,47^\circ$

Rayon du cercle à parcourir =  $R_T \cos(28,47) = 5636$  km

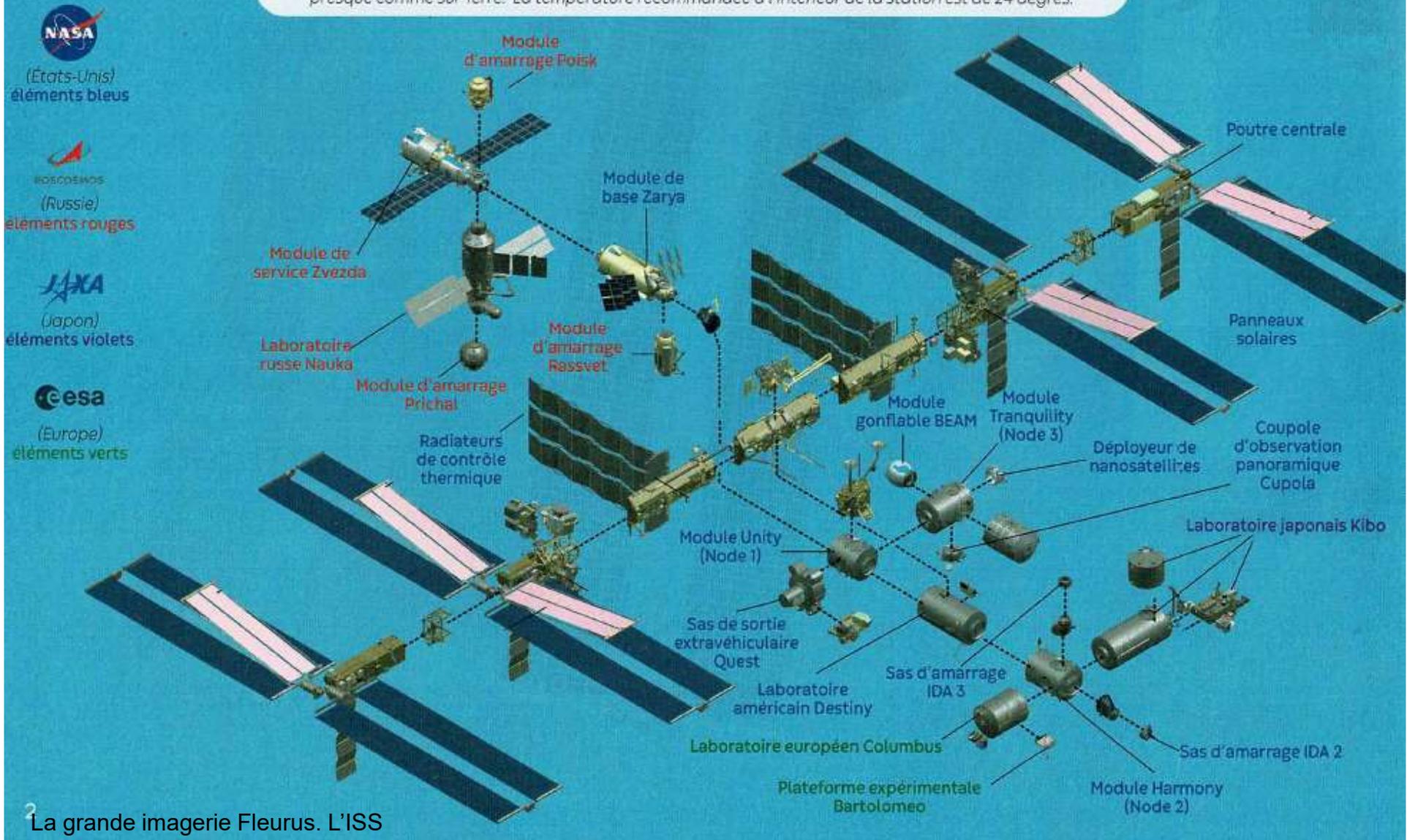
Distance à parcourir  $D = 2\pi R_T = 35412$  km

Vitesse =  $35412 \text{ km/j} = 410 \text{ m/s}$



# ISS. International Space Station

Les différents composants de l'ISS. L'atmosphère à bord est composée à 80 % d'azote et à 20 % d'oxygène, presque comme sur Terre. La température recommandée à l'intérieur de la station est de 24 degrés.



09/08/2025

AIPBIA Aérodynamique  
Aérostatique Principes de vol

33

# ISS. International Space Station

## Une entreprise internationale:

- Agences spatiales de 15 pays
- Partie occidentale est financée par la NASA, Le Japon, l'EASA et le Canada
- Début d'assemblage décembre 1998 jusqu'en 2011.
- Plus de 40 vols de navette pour l'assembler
- Grande comme un terrain de football:
  - 73m de large et 109m de long.
  - Peut accueillir 7 astronautes en permanence
  - En Mars 2024 a déjà accueillie 280 passagers différents de 24 pays dont 4 Français.

# Desservir et ravitailler

## Pour les astronautes:

- Capsule Russes Soyouz. Apparue dans les années 1960. 3 passagers. Peut rejoindre l'ISS en 3 heures.
- Navettes spatiales USA jusqu'en 2011. 7 personnes plus du matériel.
- Depuis 2020 Crew dragon de Space X. 4 personnes

## • Pour le cargo:

- Vaisseaux cargo automatiques.
  - « Progress » Russes à partir de 1970
  - Navettes spatiales USA
  - « Dragon » (SpaceX); « Cygnus » (Northrop Grumman) et « Dream chaser » (Sierra Nevada) USA
  - ATV (Automated Transfer Vehicle) Europe
  - Kounotori. Japon
- Certains ne sont pas prévus pour être récupérés. Ils sont remplis de sacs de déchets et matériels qui ne servent plus. Ils sont précipités dans l'atmosphère et se consomment. Poubelles de l'ISS = étoiles filantes.

## Travail et vie dans l'ISS

- Entre 2000 et 2019 plus de 3 000 expériences scientifiques et techniques menées pour 108 pays.
- Entre février 2014 et Juillet 2023, 140 cubesats déployés depuis l'ISS.
- Entre Décembre 1998 et la fin 2023, 269 EVA (Sortie dans l'espace) ont été réalisées.
- A partir du moment où le vaisseau de transport se sépare de l'ISS il faut environ 3h et 30 mn pour effectuer le retour sur terre.
- Altitude de l'ISS: 400 kms. Vitesse 8km/seconde. Chaque jour cela fait 16 levers et 16 couchers de soleil.
- L'ISS perd entre 50 et 100 mètres d'altitude par jour. Il faut donc la rehausser régulièrement, souvent à l'aide des moteurs du vaisseau cargo « Progress ».

# Combien de temps en général reste un satellite, si on éteint l'intégralité de ses moteurs:

On peut calculer aisément combien de temps restera un satellite ou une sonde en orbite autour d'un astre, comme la Terre.

Vous trouverez ci-dessous quelques chiffres sur combien de temps en général reste un satellite, si on éteint l'intégralité de ses moteurs:

quelques jours pour une orbite de 200 km ;

quelques semaines à 300 km ;

quelques années à 600 km ;

un siècle à 800 km (c'est l'orbite des satellites de télédétection, comme la famille Spot) ;

plusieurs siècles à 1 000 km (ce sont les orbites des constellations des satellites de télécommunications, comme Globalstar et Iridium) ;

un million d'années à 36 000 km (ce sont les satellites géostationnaires, ou ceux qui ont terminé leur service opérationnel et ont été désorbités, vers une orbite de rebut).

# Une orbite basse encombrée. (350 à 800 km)

- 4 Octobre 1957 premier satellite artificiel de la terre.
- Décembre 2022: 9 780 satellites toutes orbites confondues dont 6 900 actifs. Ceci n'inclus pas les étages supérieurs des lanceurs qui ont servi à la mise sur orbite.
- 1 600 Nanosats ou Cubesats. Très petits satellites du monde universitaire constitués d'un ou plusieurs modules cubiques de 10 cm de côté.
- Débris
  - 36 500 objets de plus de 10 cm
  - 1 millions d'objets entre 1 et 10 cm.
  - Vitesse de déplacement moyenne de 22 000 km/h sur orbite basse.
- L'ISS a effectué sept manœuvres d'évitement entre 202 et 2022 soit environ une tous les 6 mois.

# A partir de quand un objet est dans l'espace?

Il n'y a pas de réponse évidente en tout cas pas unique, car l'atmosphère terrestre ne s'arrête pas brusquement mais s'atténue progressivement.

1. Les différentes couches de l'atmosphère avec leurs phénomènes physico chimiques ont des délimitations assez imprécises en raison notamment des variations dues à l'activité solaire et ne peuvent pas servir de référence.
2. Ligne de Karman: Inclus des considérations de mécanique de vol tel que l'effet des forces aérodynamiques sur un véhicule. Karman note qu'à mesure que l'on augmente l'altitude de vol qu'un véhicule portant animé de la vitesse nécessaire au vol stabilisé utilise de moins en moins la portance mais de plus en plus la force centrifuge pour compenser son poids. A partir d'une certaine altitude la force centrifuge compense presque entièrement son poids. Se situe entre 91 et 122 km. **Ligne de Karman seule convention reconnue internationalement par la Fédération des sports Aériens (FAI) fixée à 100 km.**
3. Seuil définit par les américains pour les attributions des «ailes d'astronautes» 50 nm soit environ 80km. Cette définition est basée sur des critères de pilotabilité aérodynamique.
4. Identifier l'altitude en dessous de laquelle la traînée atmosphérique ne permet plus le vol orbital. De 110 à 120 km.
5. Chercheur de MIT. Altitude en dessous de laquelle la traînée atmosphérique exerce une force de même amplitude UE LA GRAVIT2/ Environ 80km

# Quelque sources qui nous ont aidées dans ce travail.

- <http://www.air-pegasus.com/types-ballons/>
- <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/home/index.html>
- Magazine Air et Cosmos
- Info Pilote
- <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=11949>
- Météo France. <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/moyens/les-satellites-meteorologiques>
- <https://www.nirgal.net/orbite.html>. Comprendre les orbites
- L'ISS la station spatiale Internationale. La Grande Imagerie. Fleurus.
- Trois Européens sur Orbite. Pierre François Mouriaux et l'équipe ISS News.