

Les télécommunications par satellites offrent des possibilités complémentaires aux communications par lignes et ondes terrestres. Quelques notions de physique aident à comprendre le fonctionnement de ces communications.

A : mouvement rectiligne :

un vélo roulant à vitesse constant en ligne droite,
la distance parcourue est :

$$d = v.t$$

d : distance en mètres

v : vitesse en m/s

t : temps en secondes



exercices :

1. calculer la distance parcourue en 30 minutes à la vitesse de 15 km/h
2. calculer la vitesse du vélo qui parcourt 11km en 35 minutes

B : accélération :

un pot de fleurs qui tombe du 2^e étage d'une maison va de plus en plus vite : il est accéléré par la pesanteur.

L'accélération de la pesanteur est : $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Les équations du mouvement sont :

$$v = v_0 + g.t$$

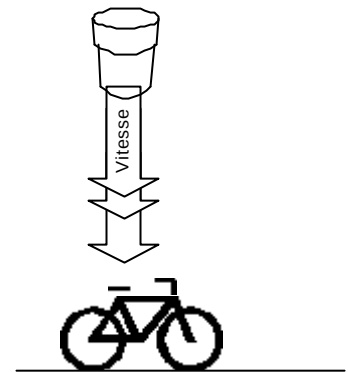
$$h = h_0 - (\frac{1}{2} . g . t^2)$$

v : vitesse du corps à un instant t

v_0 : vitesse initiale ($v_0=0$ si on ne lance pas le pot de fleurs)

h : altitude du corps qui tombe à un instant donné

h_0 : altitude initiale



exercices :

un pot de peinture de 2 kg tombe d'une échelle de 4m de haut,

1. au bout de combien de temps touche-t-il le sol ?
2. quelle était sa vitesse au moment où il a touché le sol ?

Un corps de masse m qui est soumis à une force constante F est accéléré avec une accélération a, selon l'équation : $F = m . a$

F : force en newton

m : masse en kg

a : accélération en m/s^2

La vitesse varie en fonction du temps : $v = v_0 + a.t$

exercices :

1. une force de 3000 N est appliquée à une voiture de 1500 kg au repos. Quelle est son accélération ? Quelle est sa vitesse au bout de 5 s ?
2. les freins d'une automobile exercent une force de 3000 N (le freinage est une accélération négative). Combien de temps lui faut-il pour s'arrêter à partir d'une vitesse de 30 m/s ? (la vitesse initiale est 30 m/s, la vitesse finale est 0).
Quelle distance parcourt-elle pendant ce temps-là ? ($d = v_0.t + \frac{1}{2} . a.t^2$)

C : mouvement circulaire :

si on fait tourner un caillou dans une fronde, à vitesse constante, l'équation du mouvement est : $F_c = m \cdot v^2 / r$

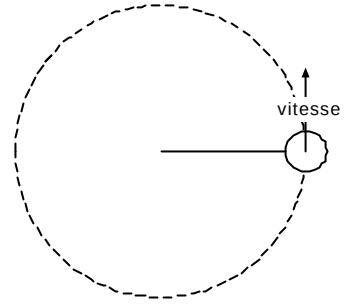
F_c : force centrifuge (force qui tend à éloigner le caillou de la main)

m : masse du caillou

v : vitesse du caillou

r : rayon de la trajectoire du caillou

tant qu'on tient la fronde, la force centrifuge est compensée exactement par la force centripète (force exercée par la main qui tient la fronde)

**exercices :**

- une balle de masse 0,3 kg accrochée à un fil, suit une trajectoire circulaire de 45cm de rayon, à raison d'un tour toutes les 2 secondes :
 - calculer la distance parcourue par la balle en 1 tour
 - calculer la vitesse de la balle
 - calculer la force nécessaire pour tenir le fil
- une automobile de 1000 kg effectue un virage de 30 m de rayon à la vitesse de 9 m/s. Quelle est la force centrifuge ? Quelle est la force centripète qui compense la force centrifuge et d'où provient-elle ?

D : satellites :

les satellites, comme les planètes, sont soumis à la force centripète (due à l'attraction universelle) et la force centrifuge (due à la rotation). Un satellite reste sur son orbite si les 2 forces s'annulent.

- repérer sur le dessin la force centripète F_{cp} , la force centrifuge F_{cf} , la vitesse V

D'après la loi de la gravitation universelle de Newton, deux corps de l'univers s'attirent avec une force F telle que :

$$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$$

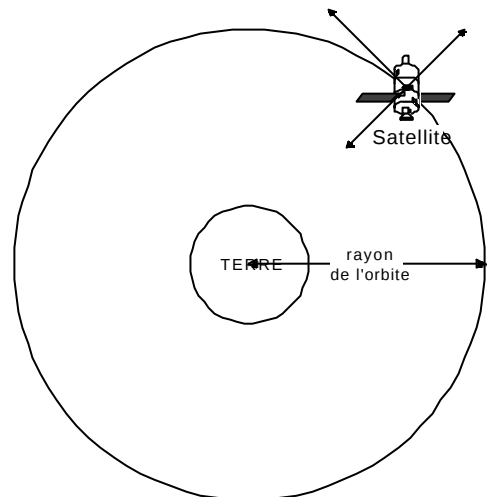
F : force en newton

G : constante de gravitation universelle

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

m_1, m_2 : masse des 2 corps en kg

r : distance entre les 2 corps en mètres



Le satellite reste sur son orbite si la force d'attraction F_a de la terre est compensée par la force centrifuge F_c due à la rotation, soit : $F_a = F_c$

$$\text{donc : } G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2 = m_2 \cdot v^2 / r$$

m_1 : masse de la terre

m_2 : masse du satellite

$$G \cdot m_1 = 398\,600 \text{ km}^3 / \text{s}^2$$

le rayon de la terre est d'environ 6378 km à l'équateur

exercices :

- montrer que la masse du satellite n'intervient pas dans son équilibre sur l'orbite
- calculer le rayon de l'orbite et l'altitude d'un satellite qui fait un tour d'orbite en 100 minutes
- calculer le rayon de l'orbite et l'altitude d'un satellite géostationnaire (qui tourne à la même vitesse que la terre, soit un tour en 23h 56mn 4,5s)

Remarques :

- la terre n'est pas une boule parfaitement sphérique.
- l'orbite des satellites n'est pas parfaitement circulaire mais elliptique.
- la lune, les planètes et les autres corps célestes ont une influence sur les satellites, c'est pourquoi il faut systématiquement corriger leur position (et quand le carburant est épuisé, le satellite est en « fin de vie »).

Objectif MARS

Le 4-7-1997, la mission MARS PATHFINDER a posé un vaisseau terrien sur Mars.
L'équipage est constitué d'un module LANDER qui se pose en douceur sur la planète rouge, qui s'ouvre comme une fleur (3 « pétales »). Un robot (SOJOURNER) en descend pour explorer le sol de la planète.

Infos sur la terre :

rayon : ~6378 km à l'équateur
distance moyenne du soleil : 149,6 millions de km
cette distance est appelée Unité Astronomique (UA)
période de révolution : 365 j (une année terrestre)
période de rotation : 23h 56mn 4,5s (un jour terrestre)

Infos sur Mars :

diamètre à l'équateur : 6794 km
gravité superficielle : 0,38 x gravité terrestre
vitesse de libération : 5 km/s
distance moyenne du soleil : 228 millions de km (1,524 UA)
période de révolution : 780 j (une année martienne)
période de rotation : 24h 37mn 23s (un jour martien)
densité de l'atmosphère : 0,005 x densité atmosphère terrestre
composition : surtout bioxyde de carbone
satellites : Phobos, Deimos

exercices :

pour toutes les questions relatives aux distances, il faut faire un dessin représentant le soleil, la terre et mars !!

1. les années terrestre et martienne étant différentes, ainsi que le diamètre des orbites, la distance entre Terre et Mars varie sans cesse.
Calculer la distance minimale et la distance maximale entre les 2 planètes
2. les ondes radio se propageant à la vitesse de $3 \cdot 10^8$ m/s, calculer la durée du trajet des ondes quand on envoie un signal de la Terre à Mars ou inversement, pour la distance minimale et pour la distance maximale.
Combien de temps faut-il, quand on envoie une commande au robot sur Mars pour savoir si elle a été exécutée (cas de la distance minimale) ?
3. quelle est la meilleure époque pour envoyer un robot sur Mars ?
4. supposons que les 2 planètes sont à leur distance minimale le 1-1-1998. Ensuite la distance augmente.
A quelle date retrouvera-t-on la distance minimale ?
5. la source d'alimentation principale du robot est constituée par les panneaux solaires. La source secondaire est constituée de piles au lithium. Pourquoi a-t-on équipé le robot de piles et non d'accus rechargeables ?
6. l'émetteur radio de la base martienne vers la terre a une puissance de 12 W. Calculer l'affaiblissement subit par les ondes jusqu'à leur arrivée sur la Terre (en dB).
7. en prenant le même affaiblissement pour le sens Terre-Mars, calculer la puissance du signal reçu par la base martienne.
8. la distance Terre-Mars étant minimale lors de l'arrivée sur Mars du LANDER, la mission devant durer 30 jours, quelle est la distance Terre-Mars à la fin de la mission ? Calculer la durée du trajet des ondes radio à la fin de la mission.

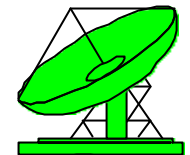
MARS PATHFINDER et SOJOURNER

départ : 4-12-96 à 1h58
de Cap Canaveral
arrivée : 4-7-97 sur Mars

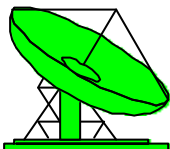
bande X :
600 b/s sur 2,3 GHz
11 kb/s sur 7,2/8,4 GHz

durée du trajet : 11 minutes

puissance émise de la terre : 22 kW
puissance reçue sur la terre : $7,9 \cdot 10^{-19}$ W



TERRE

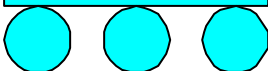


LANDER
(base martienne)

CPU 32 bits
processeur RISC (IBM 6000)
20 MIPS
128 Mo de RAM
pas de disque dur

bande UHF
450 MHz
100 mW
9600 b/s maxi

SOJOURNER
(robot)



masse : 11 kg (environ 4 daN sur Mars)
vitesse : 60 cm/minute
rayon d'action limité à 10m autour du Lander
6 roues de diam. 13 cm en alu
peut passer un obstacle de 20 cm de haut
alimentation panneau solaire 16 W sous 17 V ($0,22 \text{ m}^{-2}$)
et piles 150 Wh non rechargeables
CPU : 80c35 à 2 MHz
mémoire 672 ko dont 160 ko en Eprom
(dont 48 ko protégé anti-rayonnement (OS))
pas de disque dur

D : satellites / CORRIGE

1. l'équation qui définit l'équilibre du satellite sur son orbite est :

$$G.m_1.m_2 / r^2 = m_2.v^2 / r$$

en simplifiant par m_2 / r , on obtient : $G.m_1 / r = v^2$

cette équation est donc indépendante de la masse du satellite

2. pour un satellite qui fait un tour d'orbite en 100 minutes, on obtient :

$$G.m_1 / r = v^2$$

or $v = 2.\pi.r / T$

(T = période de révolution = 100 minutes = 6000s)

donc $G.m_1 / r = (2.\pi.r / T)^2$

$$G.m_1.T^2 = 4.\pi^2.r^3$$

$$r^3 = G.m_1.T^2 / 4.\pi^2$$

$$r = (G.m_1.T^2 / 4.\pi^2)^{1/3}$$

application numérique : $r = 7135$ km (rayon de l'orbite)

on enlève le rayon de la terre :

$$\text{altitude } A = r - 6378 = 757 \text{ km}$$

3. pour un satellite géostationnaire, on suit le même raisonnement :

$$r = (G.m_1.T^2 / 4.\pi^2)^{1/3}$$

avec $T = 86164,5$ s

application numérique : $r = 42159$ km

$$A = 35781 \text{ km}$$

en général, on arrondi à $A = 36000$ km

Objectif MARS / CORRIGE

1. la distance minimale entre Terre et Mars est :

$$D_{\min} = R_{\text{mars}} - R_{\text{terre}} = 78,4 . 10^6 \text{ km}$$

la distance maximale est :

$$D_{\max} = R_{\text{mars}} + R_{\text{terre}} = 377,6 . 10^6 \text{ km}$$

2. la durée minimale de trajet des ondes radio entre Terre et Mars est :

$$T_{\min} = 78,4 . 10^9 / 3 . 10^8 = 261 \text{ s} = 4'21\text{s}$$

la durée maximale est :

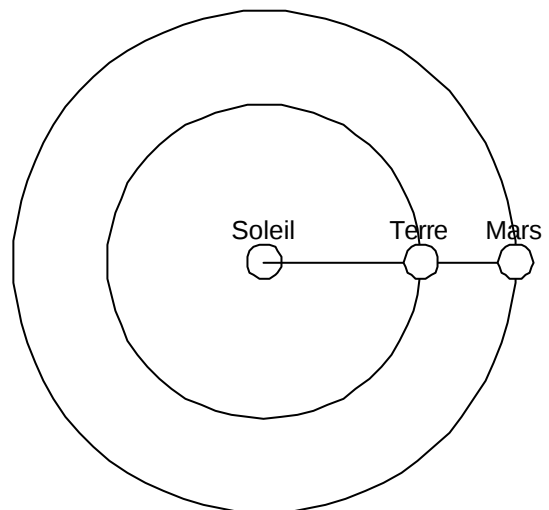
$$T_{\max} = 377,6 . 10^9 / 3 . 10^8 = 1258 \text{ s} = 20'58\text{s}$$

la durée minimale pour un aller-retour des ondes radio entre Terre et Mars est :

$$T = 2 \times T_{\min} = 8'42\text{s}$$

3. la meilleure époque pour envoyer un robot sur Mars est quand la distance est minimale.

Si le lancement de la fusée est raté ou n'est pas possible à cette époque, il faudra attendre plusieurs mois pour retrouver ces conditions.



4. à partir de la date de distance minimale, la distance entre les 2 planètes augmente.

Considérons les angles :

T : angle entre l'origine O, le Soleil et la Terre

M : angle entre l'origine O, le Soleil et Mars

A : angle entre la Terre, le Soleil et Mars

at = année terrienne

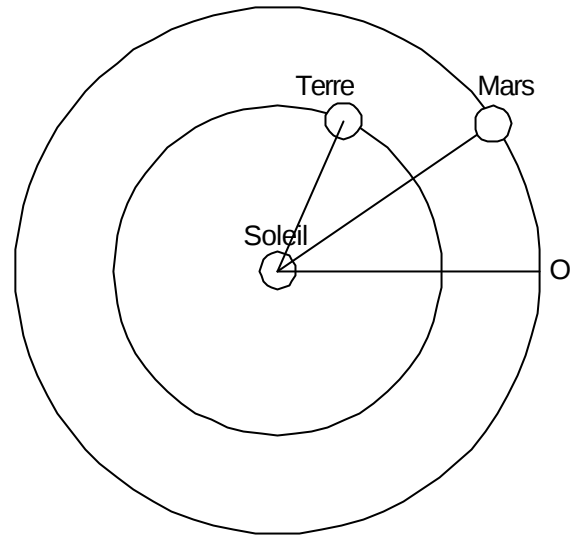
am = année martienne

$$T = 360 \cdot (t / at)$$

$$M = 360 \cdot (t / am)$$

$$A = T - M = 360 \cdot t \cdot ((1 / at) - (1 / am))$$

A varie linéairement en fonction du temps t



Si on prend comme point d'origine, la date où Terre et Mars sont à leur distance minimale, on retrouvera cette distance minimale quand $A = 360^\circ$,

$$\text{soit } A = 360 \cdot t \cdot ((1 / at) - (1 / am))$$

$$t \cdot ((1 / at) - (1 / am)) = 1$$

application numérique :

$$t = \frac{1}{\frac{1}{365} - \frac{1}{780}} = 686 \text{ jours}$$

en consultant un calendrier, on trouve le 17 novembre 1999

5. le voyage a duré 7 mois, pendant ce temps le robot est enfermé dans le module martien dans la fusée, les panneaux solaires sont repliés et enfermés, les accumulateurs ne peuvent être chargés et perdent leur charge initiale.

6. puissance émise sur Mars : $P_1 = 12 \text{ W}$
 puissance reçue sur la Terre : $P_2 = 7,9 \cdot 10^{-19} \text{ W}$
 affaiblissement : 192 dB

7. puissance émise sur Terre : $P_1 = 22 \cdot 10^3 \text{ W}$
 affaiblissement : 192 dB
 puissance reçue sur Mars : $P_2 = 6,25 \cdot 10^{-20} \text{ W}$

remarque : des antennes directives à réflecteur parabolique permettent d'augmenter le niveau des signaux émis et reçus

8. calculer les positions T2 et M2,
 puis la distance T2-M2,
 puis la durée de trajet des ondes .

