EXERCICE II - POSITIONNEMENT PAR SATELLITE (11 points)

Les balises ARGOS® sont des dispositifs utilisés pour différentes mesures océaniques (pression, température, salinité, etc.) ou pour des relevés de positions sur le globe terrestre, par exemple dans le suivi migratoire des animaux. La détection de ces balises à la surface de la Terre et des océans est réalisée au moyen de satellites.

L'objectif de cet exercice est d'étudier le mouvement d'un satellite en orbite, la localisation d'une balise ARGOS® par le satellite et l'envoi de ce satellite dans l'espace.

Données :

- intensité de la pesanteur terrestre au niveau du sol : $g = 9{,}8\ \text{m·s}^{-2}$;
- constante d'attraction gravitationnelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{N·m}^2\text{·kg}^{-2}$;
- masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg ;
- rayon de la Terre : $R = 6\,371$ km ;
- la valeur de la célérité, notée c, des ondes électromagnétiques dans le vide et dans l'air est supposée connue du candidat.

1. Étude du mouvement du satellite dédié au repérage des balises ARGOS®

Le satellite de masse notée m_S se situe sur une orbite polaire, supposée circulaire. Il survole les pôles Nord et Sud de la Terre et tourne autour de la Terre à une altitude $h = 850$ km. Il peut recevoir les ondes émises par les balises ARGOS® flottant à la surface des océans.
Dans cette partie, le mouvement du satellite est étudié dans le référentiel géocentrique supposé galiléen. Le référentiel géocentrique a pour origine le centre de la Terre et ses axes pointent vers des étoiles fixes.

1.1. Exprimer la force $\overrightarrow{F_{T/S}}$ exercée par la Terre sur le satellite en fonction notamment du vecteur unitaire $\vec{n}$ dirigé du satellite vers le centre de la Terre.

1.2. On considère que le satellite est animé d'un mouvement circulaire uniforme. Montrer, en utilisant la $2^{\text{ème}}$ loi de Newton, que la vitesse v du satellite est donnée par la relation :

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_T}{R + h}}$$

1.3. En déduire la valeur de cette vitesse en km·s^{-1}.

1.4. Calculer la valeur de la période de révolution T du satellite autour de la Terre.

2. Détermination de la position des balises au sol

Les balises ARGOS® émettent une onde électromagnétique périodique dont la fréquence est connue précisément et vaut $f_E = 401{,}6500$ MHz.

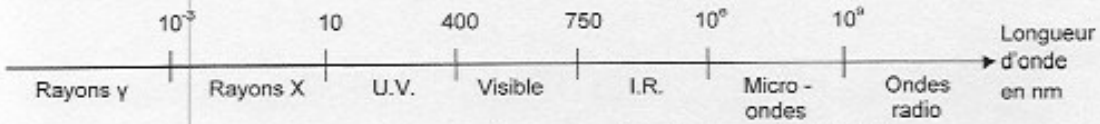


Figure 1. Domaines du spectre électromagnétique (sans souci d'échelle).

2.1. Déterminer le domaine du spectre électromagnétique auquel appartient l'onde émise par une balise.

L'onde émise par la balise ARGOS® est reçue par le satellite et analysée pour en extraire la fréquence.

Le graphique ci-dessous reproduit les valeurs simulées de la fréquence de l'onde reçue par le satellite au cours du temps. L'acquisition de l'onde débute à t_0 = 12 h 56 min 12 s.

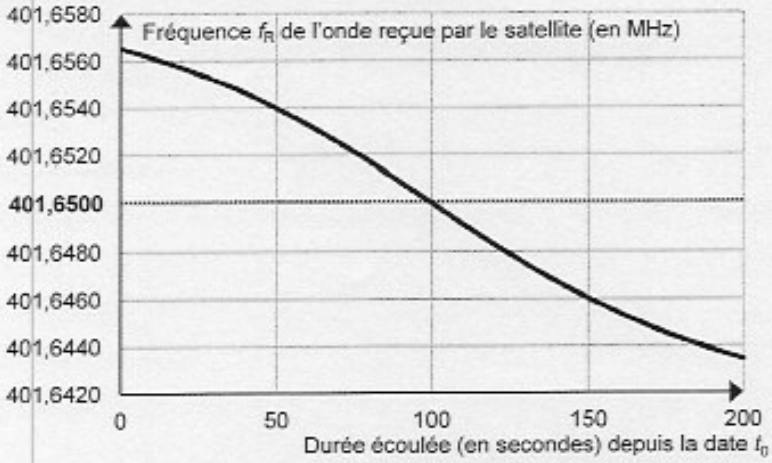


Figure 2. Graphique représentant la fréquence de l'onde reçue par le satellite au cours du temps.

Cette variation de la fréquence est imputable à l'effet Doppler dont on donne l'expression générale :

$$f_R = f_E \times \left(1 + \frac{v \cos\theta}{c}\right)$$

On note f_E la fréquence de l'onde émise par la balise, f_R la fréquence de l'onde reçue par le satellite et θ l'angle entre la direction de la vitesse du satellite et la droite de visée reliant le satellite et la balise (voir figure 3).
On considère pour simplifier qu'au cours de son mouvement, le satellite passera à la verticale de la balise.
On ne prend pas en compte le mouvement de la balise ARGOS® dans le référentiel géocentrique.

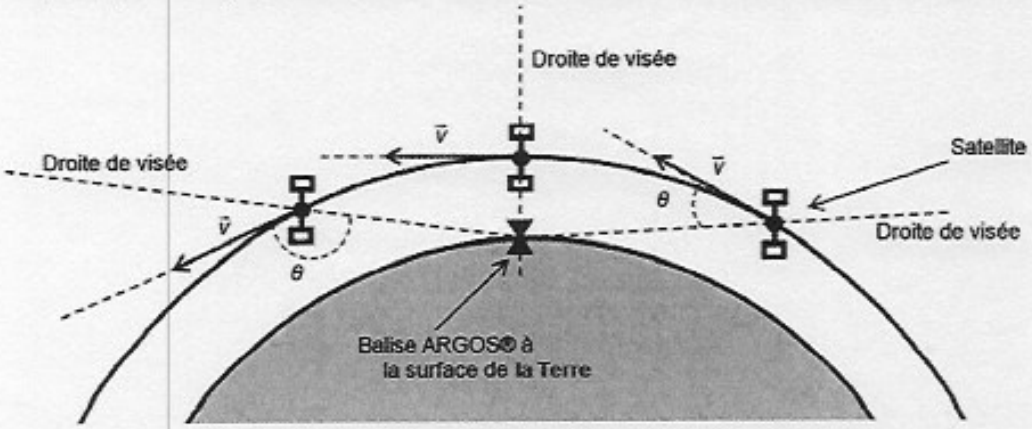


Figure 3. Schéma simplifié représentant l'angle θ suivant trois positions successives du satellite et de la balise.

2.2. Indiquer si à 12 h 56 min 12 s, le satellite s'approche ou s'éloigne de la balise. Justifier.

2.3. Déterminer l'heure à laquelle le satellite s'est approché au plus près de la balise. Justifier.

2.4. Expliquer comment cette méthode permet de déterminer la position des balises à la surface du globe terrestre.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer

3. Envoi du satellite dans l'espace

Pour rejoindre l'espace, les satellites sont placés dans des fusées. Durant la première minute du décollage, seul le premier étage et quelques-uns des propulseurs d'appoint sont allumés. Dans les premiers instants, les actions de l'air sur le lanceur sont supposées négligeables. L'étude est conduite durant la première seconde juste après le décollage dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

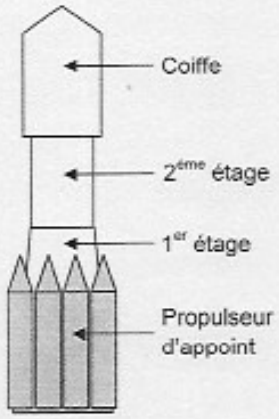


Figure 4. Schéma de la constitution de la fusée.

Caractéristiques de la fusée :

- masse totale au décollage : 228×10^3 kg ;
- propulseur du premier étage :
  - poussée durant la première seconde : $F_1 = 890 \times 10^3$ N ;
  - durée de la combustion : 265 s ;
  - masse de carburant totalement consommé pendant cette durée : 100×10^3 kg ;
- propulseurs d'appoint :
  - nombre : 9 ;
  - poussée, durant la première seconde, de chaque propulseur : $F_p = 493 \times 10^3$ N ;
  - durée de combustion : 64 s ;
  - masse de carburant totalement consommé pendant cette durée par chaque propulseur : $11{,}7 \times 10^3$ kg.

d'après spaceflight101.net

La poussée est une force qui agit sur la fusée. C'est la force de réaction des gaz éjectés lors de la combustion du carburant. Au décollage, cette force est verticale et orientée vers le haut. La force de poussée du propulseur du premier étage et la force de poussée de chaque propulseur d'appoint sont constantes. On suppose que durant la première seconde juste après le décollage, la masse de la fusée est constante en négligeant la masse des gaz éjectés.

3.1. Dresser un bilan qualitatif des forces qui s'exercent sur la fusée et ses propulseurs dans les premiers instants juste après le décollage de la fusée. Les représenter sur un schéma sans souci d'échelle.

3.2. Étude du décollage

3.2.1. Montrer que la fusée ne pourrait pas décoller en utilisant uniquement le propulseur du premier étage.

3.2.2. Déterminer le nombre minimum de propulseurs d'appoint qu'il faut alors utiliser en plus du propulseur du premier étage pour permettre à la fusée de décoller.

3.3. Pour le décollage, le premier étage et six des neufs propulseurs d'appoint sont activés.

3.3.1. À l'aide de la deuxième loi de Newton, déterminer la valeur de l'accélération de la fusée. Commenter.

3.3.2. Estimer la masse de carburant consommé pendant la première seconde de décollage.

3.3.3. L'hypothèse concernant la masse de la fusée est-elle valable ? Justifier.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer