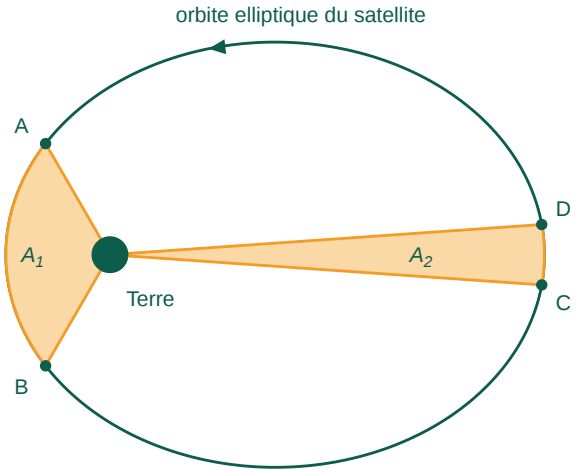
Satellites de teledetection passive

Bac S 2014 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 40**

1.1 Énoncer la deuxième loi de Kepler (loi des aires) pour un satellite terrestre en mouvement elliptique et l'illustrer par un schéma.

Dans le référentiel géocentrique, le satellite décrit une ellipse dont le centre de la Terre est l'un des foyers.

Le segment qui joint le centre de la Terre au satellite balaie des aires égales pendant des durées égales.



Même durée de A à B que de C à D : les deux aires colorées sont égales.

1.1 · Loi des aires : deux aires balayées pendant la même durée

PIÈGE
Sur le schéma, placer la Terre au centre de l'ellipse : elle doit être à un foyer, décalée sur le grand axe.

COMPRENDRE
Conséquence : le satellite va plus vite près de la Terre (arc AB long) que loin d'elle (arc CD court), puisque les deux arcs sont parcourus pendant la même durée.

1.2 À l'aide de la deuxième loi de Kepler, caractériser la nature des mouvements de SPOT et de Météosat.

Les deux orbites sont circulaires, de centre le centre de la Terre : le segment Terre-satellite garde une longueur constante R.

Une aire balayée est alors un secteur de disque, proportionnel à l'arc parcouru $d = \alpha R$. Des aires égales pendant des durées égales imposent donc des arcs égaux pendant des durées égales : la valeur de la vitesse est constante.

SPOT et Météosat ont un mouvement **circulaire uniforme** dans le référentiel géocentrique.

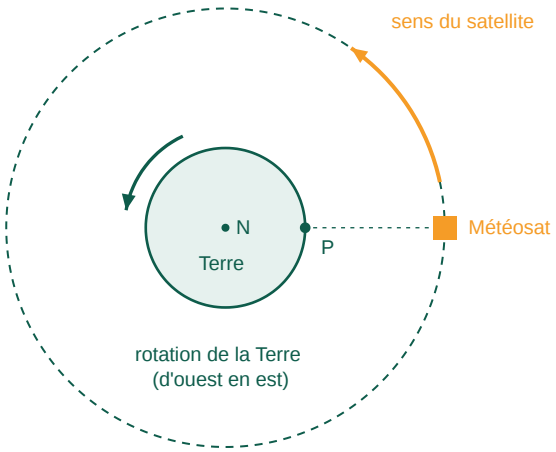
PIÈGE
Répondre seulement « circulaire » : c'est une donnée des documents. La loi des aires sert à justifier le mot « uniforme ».

1.3 Dans quel sens Météosat tourne-t-il autour de la Terre dans le référentiel géocentrique ? S'appuyer sur un dessin indiquant le sens de rotation de la Terre.

Météosat est géostationnaire : il reste à la verticale d'un même point P de l'équateur. Or P tourne avec la Terre, d'ouest en est, autour de l'axe des pôles.

Météosat tourne dans le plan de l'équateur, dans le même sens que la Terre sur elle-même : d'ouest en est.

COMPRENDRE
Immobile par rapport au sol ne veut pas dire immobile dans le référentiel géocentrique : le satellite y fait un tour par jour, comme le point P.



Vue de dessus du pôle Nord, plan de l'équateur : le satellite reste à la verticale de P.

1.3 · Météosat tourne dans le même sens que la Terre

1.4 Déterminer la valeur de la vitesse v du satellite SPOT dans le référentiel géocentrique.

Données utiles $R_T = 6{,}38 \times 10^3$ km ; $h_S = 832$ km ; $T_S = 101{,}4$ min

Le mouvement est circulaire uniforme (1.2) : SPOT parcourt le périmètre de son orbite, de rayon $R_T + h_S$, pendant une période T_S.

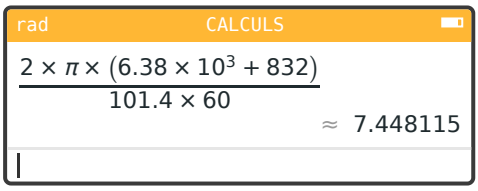
$$v = \frac{2\pi\,(R_T + h_S)}{T_S} = \frac{2\pi \times (6{,}38 \times 10^3 + 832)}{101{,}4 \times 60}$$

$v = 7{,}45\ \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$, soit $7{,}45 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Prendre l'altitude h_S pour rayon de l'orbite, ou laisser la période en minutes : le résultat serait alors en kilomètres par minute.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme R_T et h_S, données les moins précises du calcul.

À LA CALCULATRICE



1.5 Énoncer la troisième loi de Kepler pour un satellite terrestre en mouvement elliptique, en précisant chaque grandeur.

Pour tous les satellites de la Terre, le carré de la période de révolution est proportionnel au cube du demi-grand axe de l'orbite :

$$\frac{T^2}{a^3} = k$$

avec T la période de révolution du satellite (s), a le demi-grand axe de son ellipse (m) et k une constante, identique pour tous les satellites de la Terre.

COMPRENDRE
La constante ne dépend que de l'astre attracteur, ici la Terre. Pour une orbite circulaire, le demi-grand axe est le rayon de l'orbite.

1.6 En appliquant cette loi aux deux satellites, déduire la valeur de l'altitude h_M du satellite Météosat.

Données utiles $R_T = 6{,}38 \times 10^3$ km ; $h_S = 832$ km ; $T_S = 101{,}4$ min ; $T_M = 24$ h $= 1440$ min

Les orbites sont circulaires : $a = R_T + h$. Météosat est géostationnaire, sa période est celle de la rotation de la Terre : $T_M = 24$ h.

Même constante pour les deux satellites :

$$\frac{T_M^2}{(R_T + h_M)^3} = \frac{T_S^2}{(R_T + h_S)^3} \quad \text{d'où} \quad h_M = (R_T + h_S)\left(\frac{T_M}{T_S}\right)^{2/3} - R_T$$

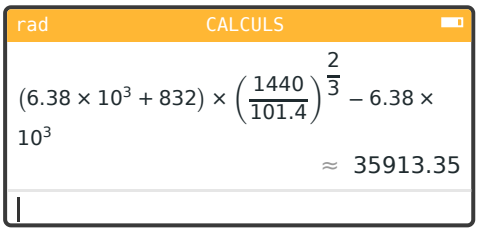
$$h_M = (6{,}38 \times 10^3 + 832) \times \left(\frac{1440}{101{,}4}\right)^{2/3} - 6{,}38 \times 10^3$$

$h_M = 3{,}59 \times 10^4$ km

PIÈGE
Oublier de retrancher R_T : $4{,}23 \times 10^4$ km est le rayon de l'orbite, pas l'altitude.

MÉTHODE
Dans un rapport de périodes, seule compte l'unité commune : les deux périodes en minutes suffisent. Les rayons restent en kilomètres, le résultat sort en kilomètres.

À LA CALCULATRICE



2.1 Évaluer la largeur de la fauchée.

Données utiles barrette de 6000 détecteurs ; un détecteur reçoit l'information d'un pixel de 10 m de côté

Les 6000 détecteurs sont alignés et chacun observe une zone de 10 m de large au sol :

$L = 6000 \times 10 = 6{,}0 \times 10^4$ m

La fauchée mesure environ 60 km de large, ce qui correspond bien à « plusieurs dizaines de kilomètres ».

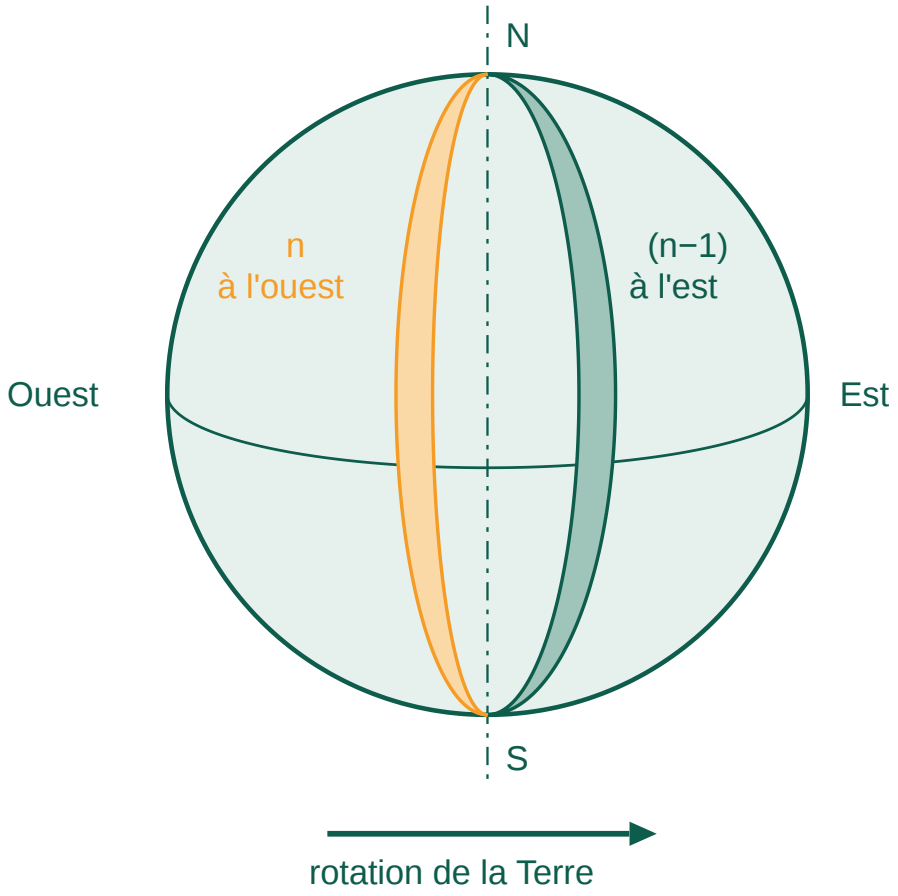
PIÈGE
Utiliser les 13 µm : c'est la taille du détecteur dans le satellite, pas celle de la zone observée au sol.

2.2 La fauchée de la n-ième révolution se situe-t-elle davantage à l'est ou à l'ouest de celle de la (n–1)-ième ? Illustrer par un schéma.

Dans le référentiel géocentrique, le plan de l'orbite de SPOT ne tourne presque pas pendant une révolution, alors que la Terre tourne sur elle-même d'ouest en est.

Quand le satellite revient au-dessus de l'équateur, la zone observée au tour précédent est partie vers l'est : il survole une région située plus à l'ouest.

La fauchée de la n-ième révolution est décalée vers l'**ouest**.



Le plan de l'orbite reste fixe ; le sol défile vers l'est sous le satellite.

2.2 · Décalage de la fauchée entre deux révolutions successives

2.3 De quel angle tourne la Terre entre deux révolutions du satellite ? En déduire la distance dont se déplace la fauchée au niveau de l'équateur.

Données utiles $T_S = 101{,}4$ min ; rotation de la Terre : un tour en 24 h ; $R_T = 6{,}38 \times 10^3$ km ; $d = \alpha R$

La Terre fait un tour (360°, soit 2π rad) en $24\ \text{h} = 1440$ min. Pendant une révolution de SPOT :

$\alpha = 360 \times \dfrac{101{,}4}{1440} = 25{,}35^\circ$ soit $\alpha = 2\pi \times \dfrac{101{,}4}{1440} = 0{,}4424$ rad

Un point de l'équateur décrit un arc de cercle de rayon R_T :

$d = \alpha\, R_T = 0{,}4424 \times 6{,}38 \times 10^3$

$\alpha = 25{,}35^\circ$ et $d = 2{,}82 \times 10^3$ km

PIÈGE
Appliquer $d = \alpha R$ avec l'angle en degrés : la relation des données exige des radians.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{360 \times 101.4}{1440} \approx 25.35$

$\frac{2 \times \pi \times 101.4}{1440} \approx 0.442441$

$\frac{2 \times \pi \times 101.4}{1440} \times 6.38 \times 10^3 \approx 2822.773$

2.4 Quelles sont les parties du globe les plus fréquemment couvertes par SPOT au cours d'un cycle orbital ?

L'orbite est quasi-polaire : à chaque révolution, quelle que soit la longitude survolée à l'équateur, le satellite passe près du pôle Nord puis près du pôle Sud. Les fauchées successives, écartées à l'équateur, se resserrent et se recouvrent aux hautes latitudes.

Les régions polaires sont les plus souvent couvertes.

2.5 Combien de révolutions SPOT doit-il effectuer pour réaliser une observation complète de la Terre ? Commenter au regard de la question 2.3.

Données utiles cycle orbital : 26 jours ; $T_S = 101{,}4$ min ; $d = 2{,}82 \times 10^3$ km (2.3) ; fauchée de 60 km (2.1)

L'observation est complète quand le satellite repasse au-dessus de la même région, soit après un cycle orbital de 26 jours :

$$N = \frac{26 \times 24 \times 60}{101{,}4} = 369$$

Commentaire : entre deux révolutions, la fauchée se décale de $2{,}82 \times 10^3$ km à l'équateur alors qu'elle ne mesure que 60 km. Deux passages successifs laissent donc une large zone non observée, que les révolutions des jours suivants viennent combler peu à peu. Il faut ainsi plusieurs centaines de révolutions.

$N \approx 369$ révolutions, soit environ $3{,}7 \times 10^2$

COMPRENDRE

La Terre tourne d'environ 25° par révolution : 14 révolutions par jour ne dessinent que 14 bandes étroites. Le décalage de ces bandes d'un jour à l'autre assure la couverture.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{26 \times 24 \times 60}{101.4} \approx 369.2308$

2.6 À l'aide du tableau des réflectances, quelles informations peut-on extraire des images 1 (rouge) et 2 (proche infrarouge) ? Montrer l'intérêt de disposer des deux images.

Données utiles réflectances rouge / proche infrarouge : eau 4 à 6 % / 0 à 2 % ; végétation 10 à 12 % / 35 à 40 % ; sol nu 20 à 22 % / 25 à 30 %

Plus la réflectance est grande, plus le flux capté est intense et plus la zone est claire sur l'image.

- **Végétation** : peu réfléchissante dans le rouge, très réfléchissante dans le proche infrarouge. Ce sont les parcelles sombres sur l'image 1 et très claires sur l'image 2.
- **Sol nu** : réflectance moyenne et voisine dans les deux gammes. Ce sont les parcelles claires sur l'image 1 qui restent assez claires sur l'image 2.
- **Eau** : réflectance très faible dans les deux gammes. Elle apparaît sombre sur l'image 1 et noire sur l'image 2.

Intérêt des deux images : dans le rouge seul, l'eau et la végétation sont toutes deux sombres ; dans le proche infrarouge seul, la végétation et le sol nu sont tous deux clairs.

C'est la comparaison des deux images qui permet d'attribuer chaque zone à l'eau, à la végétation ou au sol nu.

MÉTHODE
Pour exploiter un tableau de ce type, chercher ce qui change d'une colonne à l'autre : ici la végétation passe de sombre à très claire, c'est sa signature.

3.1 Pourquoi seule la télédétection sur les canaux C et D permet-elle d'obtenir des informations en provenance de la surface terrestre ?

Données utiles canal C : 0,4 à 1,1 µm ; canal E : 5,7 à 7,1 µm ; canal D : 10,5 à 12,5 µm ; courbe de transmission atmosphérique

Pour atteindre le satellite, un rayonnement issu du sol doit traverser l'atmosphère. D'après la courbe de transmission :

- canal C (0,4 à 1,1 µm) : la transmission est élevée, d'environ 50 % à près de 100 % ;
- canal D (10,5 à 12,5 µm) : la transmission est notable, de l'ordre de 50 % à 70 % ;
- canal E (5,7 à 7,1 µm) : la transmission est nulle, l'atmosphère absorbe tout le rayonnement venu du sol.

Seuls les canaux C et D correspondent à des domaines où l'atmosphère est transparente : le canal E ne reçoit rien de la surface.

PIÈGE
L'axe des longueurs d'onde n'est pas gradué régulièrement : repérer 5,7 et 7,1 µm entre les graduations 5, 6 et 8 avant de conclure.

COMPRENDRE
Le canal E capte le rayonnement de l'atmosphère elle-même, absorbé puis émis par la vapeur d'eau : d'où sa fonction, mesurer l'humidité.

3.2 Quelles raisons ont guidé le choix de la gamme de longueurs d'onde du canal D, compte tenu de sa fonction principale ? Des éléments quantitatifs sont attendus.

Données utiles canal D : 10,5 à 12,5 µm ; loi de Wien : $\lambda_{max}\,T = 2{,}90 \times 10^3$ µm·K ; $T = \theta + 273$

Première raison : l'atmosphère transmet les radiations de 10,5 à 12,5 µm (3.1), le rayonnement du sol et des nuages parvient donc au satellite.

Deuxième raison : cette gamme correspond aux températures à mesurer. D'après la loi de Wien, $T = \dfrac{2{,}90 \times 10^3}{\lambda_{max}}$:

$$T_1 = \frac{2{,}90 \times 10^3}{10{,}5} = 276 \text{ K, soit } \theta_1 = 276 - 273 = 3\ ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \frac{2{,}90 \times 10^3}{12{,}5} = 232 \text{ K, soit } \theta_2 = 232 - 273 = -41\ ^\circ\text{C}$$

Le canal D contient le maximum d'émission des corps dont la température va de $-41\ ^\circ\text{C}$ à $3\ ^\circ\text{C}$: celles des nuages et des surfaces froides, dans une fenêtre de transparence de l'atmosphère.

COMPRENDRE
Un sol à 15 °C (288 K) émet au maximum vers 10 µm, juste sous la gamme : il rayonne encore fortement entre 10,5 et 12,5 µm, ce qui permet de mesurer aussi sa température.

COMPRENDRE
La loi de Wien et le rayonnement du corps noir ne figurent plus au programme actuel de la spécialité ; ici la relation est fournie par le sujet.

À LA CALCULATRICE

