



On répondra directement sur les feuilles d'examen en indiquant en pied de page ses NOM et Prénom. L'usage de documents n'est pas autorisé.

1. Google Earth

0,5

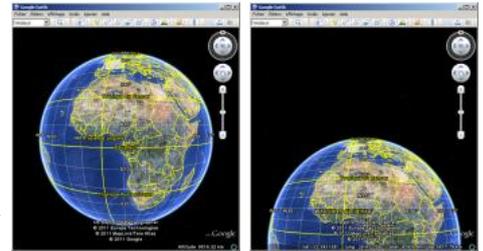
a. Quel est le modèle ellipsoïdale utilisé par Google Earth ?

Sphère de rayon 6371 km.

0,5

b. Quelle est projection vers l'écran utilisée par Google Earth ?

« Projection perspective verticale » par défaut et « Projection perspective oblique » en inclinant le globe.



0,5

c. Indiquer deux méthodes pour « incliner le globe ».

- En positionnant le pointeur de la souris le long de la verticale passant par le centre de la « boule de contrôle de la vue » (1^{er} outil en haut à droite de l'aire d'affichage).
- En maintenant appuyé la molette centrale de la souris tout en déplaçant verticalement le pointeur de la souris.

0,5

d. Pourquoi peut-on visualiser le globe même lorsque nous ne disposons pas d'une connexion au réseau Internet ?

En fonctionnement nominal, Google Earth est une application cliente demandant au cours de la navigation des tuiles d'élévation et de textures aux serveurs Google Earth. Les dernières tuiles utilisées sont stockées dans une « archive roulante » sur le disque local appelée « la cache ». La taille de la cache est réglable.

0,5

e. Quel est le système de coordonnées utilisé par Google Earth ?

Google Earth repère les éléments géographiques dans le système de coordonnées géographique WGS 84.

0,5

f. Que signifie l'acronyme KML ? Qu'est-ce que le KML ?

Le KML (« Keyhole Markup Language ») est un langage de script écrit selon la syntaxe XML (« eXtended Markup Language ») utilisant des balises pour décrire les éléments géographiques (points, polygones, aires, images) et éventuellement les animer.

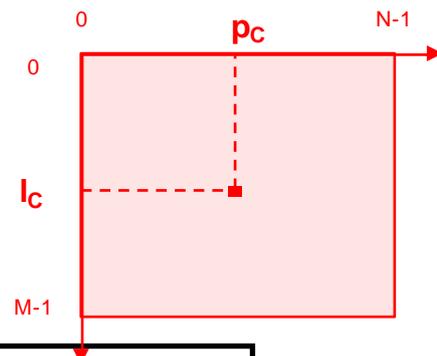
2. Référentiel image

1

Soit une image de M lignes et N colonnes, illustrer ci-contre les coordonnées (l_c, p_c) du centre de l'image en graduant sommairement les axes afin d'indiquer les coordonnées des quatre coins de l'image.

1

	centre	UL	LL	UR	LR
ligne	$(M-1)/2$	0	M-1	0	M-1



NOM : Prénom :



colonne	(N-1)/2	0	0	N-1	N-1
---------	---------	---	---	-----	-----

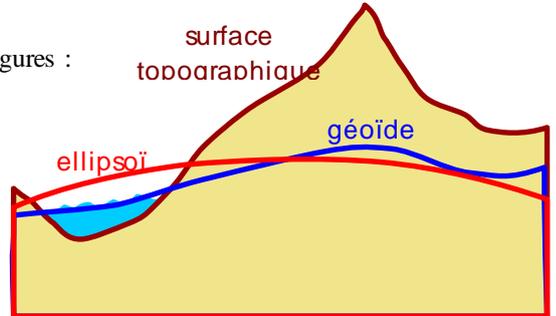
3. Eléments de géodésie et de mécanique spatiale

a. Donner la définition des 3 surfaces suivantes en les illustrant de figures :

0,5

- Surface topographique :

Surface de séparation entre la phase gazeuse (atmosphère) et les phases solides ou liquides à la surface de la Terre. La surface topographique définit le relief.



0,5

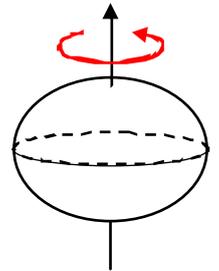
- Géoïde :

Surface équipotentielle du champ de gravitation jaugée au niveau moyen des mers.

0,5

- Ellipsoïde :

Modèle mathématique d'une ellipse de révolution autour de son petit axe et approximant le géoïde localement ou au niveau global (ex. WGS 84).

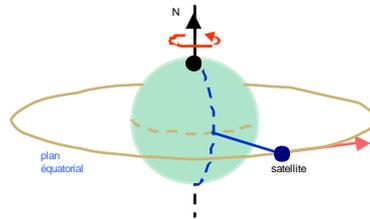


b. Donner la définition des 4 types de satellites suivant en les illustrant de figures :

0,5

- satellite géostationnaire :

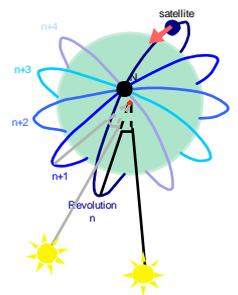
Satellite sur une orbite dans le plan équatoriale et tournant à la vitesse angulaire de la Terre. Un satellite géostationnaire est situé à une distance d'environ 36000 km de la Terre à l'aplomb d'un point fixe de l'équateur.



0,5

- satellite héliosynchrone :

Satellite dont le plan orbital forme un angle constant avec l'azimut solaire. Les satellites héliosynchrones ont une orbite polaire et survole la Terre à environ 700-900 km de sa surface toujours à la même heure locale.



0,5

- satellite relais d'acquisition :

Un satellite relais d'acquisition est un satellite de télécommunication placé sur le plan équatoriale permettant de faire transiter les données d'un satellite d'observation de la Terre vers une ou plusieurs stations au sol (Artemis géré par l'ESA).



0,5

- satellite relais de diffusion :

Un satellite relais de diffusion est un satellite de télécommunication placé sur le plan équatoriale permettant de redistribuer au sol des produits élaborés





et envoyés par les stations au sol (ex. W2A ou AB3 de la DDS ESA).

4. Définitions

Dans ce qui suit, on donnera une définition par une ou plusieurs phrases en l'illustrant par des formules mathématiques.

a. Qu'appelle-t-on « image géoréférencée » ?

1

Une image est géoréférencée si l'on connaît les coordonnées terrestres d'une partie ou de tous les points de l'image. Pour ces points, la relation suivante est vérifiée :

$$\begin{cases} \lambda = f_{\lambda}(l, p, aux...) \\ \varphi = f_{\varphi}(l, p, aux...) \end{cases}$$

Où :

- (l,p) sont les coordonnées en ligne et pixel du point dans le référentiel image,
- (λ,φ) sont les coordonnées du point (l,p) dans un système de référence de coordonnées terrestre,
- aux sont des données auxiliaires.

b. Qu'appelle-t-on « géoréférencer une image » ?

0,5

Géoréférencer une image consiste à associer à des points (l_i,p_i) d'une image des coordonnées terrestres (λ_i,φ_i) extraits d'un document de référence cartographique (carte, image géocodée, points géodésiques, levé GPS...). Les N points d'appui sont des couples de coordonnées exprimées comme ci-dessous :

$$((l_i, p_i); (\lambda_i, \varphi_i)), i = 1..N$$

Où :

- (l_i,p_i) sont les coordonnées dans le référentiel image du i^{ème} point d'appui,
- (λ_i,φ_i) sont les coordonnées dans le référentiel terrestre du i^{ème} point d'appui.

c. Qu'appelle-t-on « image géocodée » ?

1

Soit SRC le système de référence de coordonnées d'une image (« projection native » de l'image), une image géocodée est une image dont les coordonnées terrestres de tout point sont données par la formule élémentaire suivante :

$$\begin{cases} \lambda = \lambda_0 + p \times GSD_w \\ \varphi = \varphi_0 - l \times GSD_h \end{cases}$$

Où :

- (l,p) sont les coordonnées en ligne et pixel du point dans le référentiel image,
- (λ,φ) sont les coordonnées du point (l,p) dans le SRC de l'image,
- (λ₀,φ₀) sont les coordonnées du coin supérieur gauche de l'image dans le SRC,
- GSD_v est la distance verticale d'échantillonnage au sol (hauteur du pixel),
- GSD_h est la distance horizontale d'échantillonnage au sol (largeur du pixel).

5. Niveaux de produits

Dans la nomenclature CNES / SPOT IMAGE, quelles sont les corrections effectuées pour chacun des niveaux de produit suivants :

0,5

• 1A

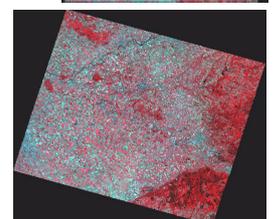
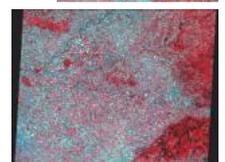
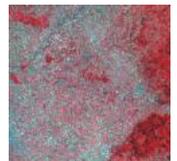
- Egalisation des détecteurs (traitement radiométrique).

0,5

• 1B

- Correction de la rotation de la Terre.
- Correction de l'effet panoramique.
- Correction de la courbure terrestre.

• 2





0,5

- Projection dans un système de référence de coordonnées classique (UTM, Lambert, Mercator...) et donc reconnu par les SIGs.

6. Erreur de parallaxe

0,5

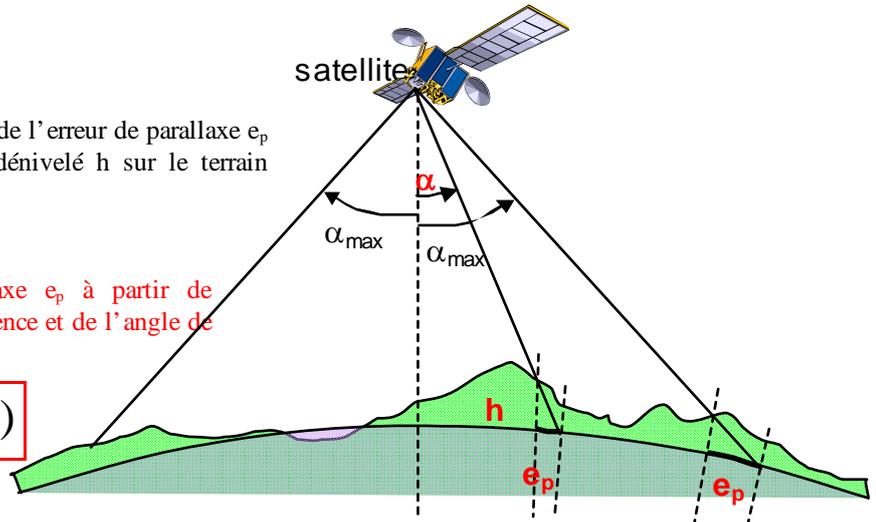
Quelle formule donne une valeur approchée de l'erreur de parallaxe e_p en fonction de l'angle de visée α et du dénivelé h sur le terrain observé ?

0,5

Illustrer l'erreur de parallaxe par un schéma.

On peut approximer l'erreur de parallaxe e_p à partir de l'élévation h au-dessus de la surface de référence et de l'angle de visée α .

$$\text{erreur}_{\text{parallaxe}} \approx h \times \tan(\alpha)$$



7. Ephémérides

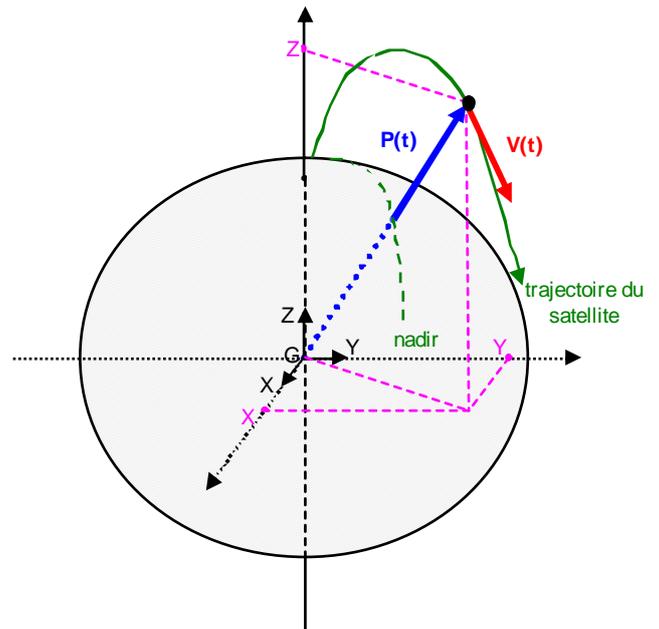
a. Que recouvre le terme « données d'éphémérides » ?

0,5

L'éphéméride est donnée par le couple des deux vecteurs associés à un temps t :

- position : vecteur reliant le centre de la Terre au satellite au temps t .
- vitesse : vecteur tangent à la trajectoire du satellite au temps t .

b. Illustrer dans une figure ci-contre ces deux vecteurs dans un référentiel géocentrique.



0,5

8. Attitudes

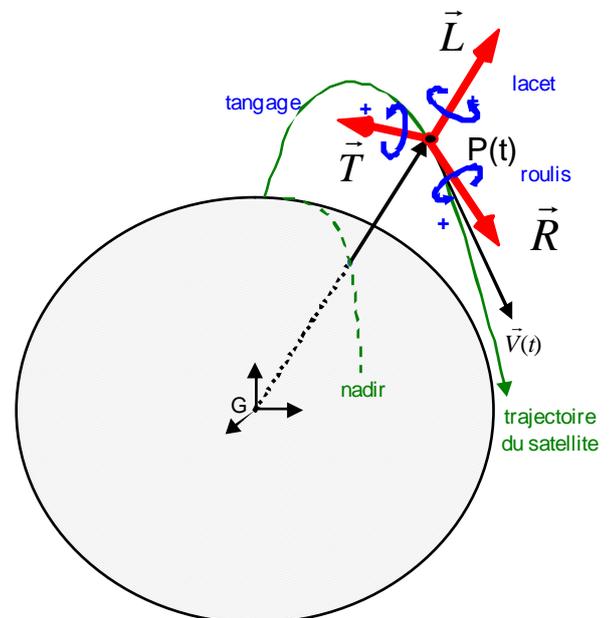
a. Que recouvre le terme « données d'attitude » ?

0,5

Les données d'attitude décrivent l'orientation du satellite en fournissant trois angles de rotation : roulis, tangage, lacet à un instant t .

b. Illustrer dans une figure ci-contre ces trois angles dans un référentiel géocentrique et en faisant apparaître le référentiel d'attitude lié au satellite.

0,5





9. Estompage d'un MNT

Qu'est-ce qu'un MNT ?

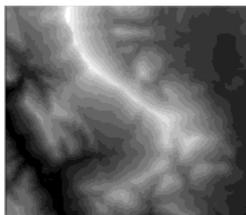
0,5

MNT est l'abréviation de Modèle Numérique de Terrain. C'est une image maillée (*raster*) pour laquelle chaque pixel a la valeur d'une altitude au dessus du géoïde ou d'une élévation au-dessus d'un ellipsoïde particulier.

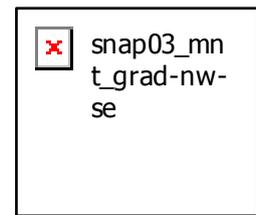
Par quel traitement peut-on réaliser l'estompage d'un MNT codé en 16 bits non signés et en simulant un éclairage venant du nord-ouest ? Détailler la réponse en fournissant les paramètres de la matrice utilisée.

On peut réaliser l'estompage d'un MNT par un filtrage convolutif passe-haut. L'impression d'un éclairage venant du nord-ouest est obtenue par une matrice de convolution dont les coefficients sont donnés ci-dessous. Le gain α dépend de la variation des altitudes dans le MNT. L'offset est fixé à 32768 car l'intervalle des valeurs en 16 bits non signés est [0,65535].

1



$$\alpha \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & 0 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} + 32768$$



10. Filtrage convolutif

2

- a. Quel est le filtre 5x5 (« mono-passe ») équivalent au filtrage gradient W-E 3x3 de gain 10/6 et d'offset 128 appliqué à une image préalablement filtrée par un filtre gaussien 3x3 classique ? Justifier sa réponse en montrant les calculs effectués.



$$\begin{aligned}
 \text{Filtre} &= \frac{10}{6} \times \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \circ \left[\frac{1}{16} \times \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \right] + 128 \\
 \\
 \text{Filtre} &= \frac{10}{6} \times \frac{1}{16} \times \begin{bmatrix} -1 \times 1 & & & & \\ -1 \times 2 & & & & \\ -1 \times 1 & & & & \\ -1 \times 1 & & & & \\ -1 \times 2 & & & & \\ -1 \times 1 & & & & \\ -1 \times 1 & & & & \\ -1 \times 2 & & & & \\ -1 \times 1 & & & & \\ -1 \times 1 & & & & \\ -1 \times 2 & & & & \\ -1 \times 1 & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 \times 2 & 0 \times 1 \\ -1 \times 4 & 0 \times 2 \\ -1 \times 2 & 0 \times 1 \\ -1 \times 2 & 0 \times 1 \\ -1 \times 4 & 0 \times 2 \\ -1 \times 2 & 0 \times 1 \\ -1 \times 2 & 0 \times 1 \\ -1 \times 4 & 0 \times 2 \\ -1 \times 2 & 0 \times 1 \\ -1 \times 2 & 0 \times 1 \\ -1 \times 4 & 0 \times 2 \\ -1 \times 2 & 0 \times 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 \times 1 & 0 \times 2 & 1 \times 1 \\ -1 \times 2 & 0 \times 4 & 1 \times 2 \\ -1 \times 1 & 0 \times 2 & 1 \times 1 \\ -1 \times 1 & 0 \times 2 & 1 \times 1 \\ -1 \times 2 & 0 \times 4 & 1 \times 2 \\ -1 \times 1 & 0 \times 2 & 1 \times 1 \\ -1 \times 1 & 0 \times 2 & 1 \times 1 \\ -1 \times 2 & 0 \times 4 & 1 \times 2 \\ -1 \times 1 & 0 \times 2 & 1 \times 1 \\ -1 \times 2 & 0 \times 4 & 1 \times 2 \\ -1 \times 1 & 0 \times 2 & 1 \times 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \times 1 & 1 \times 2 \\ 0 \times 2 & 1 \times 4 \\ 0 \times 1 & 1 \times 2 \\ 0 \times 1 & 1 \times 2 \\ 0 \times 2 & 1 \times 4 \\ 0 \times 1 & 1 \times 2 \\ 0 \times 1 & 1 \times 2 \\ 0 \times 2 & 1 \times 4 \\ 0 \times 1 & 1 \times 2 \\ 0 \times 2 & 1 \times 4 \\ 0 \times 1 & 1 \times 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \times 1 \\ 1 \times 2 \\ 1 \times 1 \\ 1 \times 1 \\ 1 \times 2 \\ 1 \times 1 \\ 1 \times 1 \\ 1 \times 2 \\ 1 \times 1 \\ 1 \times 2 \\ 1 \times 1 \end{bmatrix} + 128 \\
 \\
 \text{Filtre} &= \frac{5}{48} \times \begin{bmatrix} -1 & -2 & 0 & +2 & +1 \\ -3 & -6 & 0 & +6 & +3 \\ -4 & -8 & 0 & +8 & +4 \\ -3 & -6 & 0 & +6 & +3 \\ -1 & -2 & 0 & +2 & +1 \end{bmatrix} + 128
 \end{aligned}$$

1

b. Ce filtre 5x5 résultant est-il un filtre passe-bas, passe-haut, passe-bande ? Justifiez votre réponse.

Le filtre résultant est un filtre passe-haut ne concernant que l'information liée aux hautes fréquences de l'image sur une emprise 5x5. La somme des coefficients de la matrice de convolution est nulle, obligeant à retenir l'offset de valeur 128 permettant de stocker l'image sur une représentation à 8 bits non signés