

**Session 2007**

**Filière : 2<sup>ème</sup> concours**

**ENS de Lyon**

**Epreuve de géosciences**

**Durée : 3 heures**

**PREAMBULE**

La qualité de la rédaction et la concision des réponses seront prises en compte dans l'évaluation.

Beaucoup de questions peuvent être traitées séparément et certaines réponses sont brèves. Néanmoins, il est conseillé de traiter les différentes parties l'une à la suite de l'autre.

L'utilisation de la calculatrice est autorisée.

## PREMIERE PARTIE

### Température superficielle du sol et de l'océan

Nous allons nous intéresser dans cette partie à la température de surface du sol et de l'océan. La Figure 1.1 vous donne la température de l'océan ainsi que la réflectivité des surfaces émergées.

- 1.1 Décrire la distribution de température à la surface de l'océan.
- 1.2 Décrire à l'aide des schémas, et en une page maximum, quels sont les différents paramètres qui jouent sur l'ensoleillement en un point de la Terre.
- 1.3 La Figure 1.2 vous montre la température maximum enregistrée au sol entre 2003 et 2005. Décrire, et justifier en vous appuyant sur la Figure 1.1, la distribution de celle-ci (une page recto maximum). Quelle est la température maximum au sol lorsqu'une forêt y est installée ?

Les variations de température de l'air à la surface du sol perturbent le profil de température en profondeur (géotherme). La Figure 1.3 vous donne l'exemple d'une variation saisonnière de la température et montre comment cette perturbation se propage en profondeur.

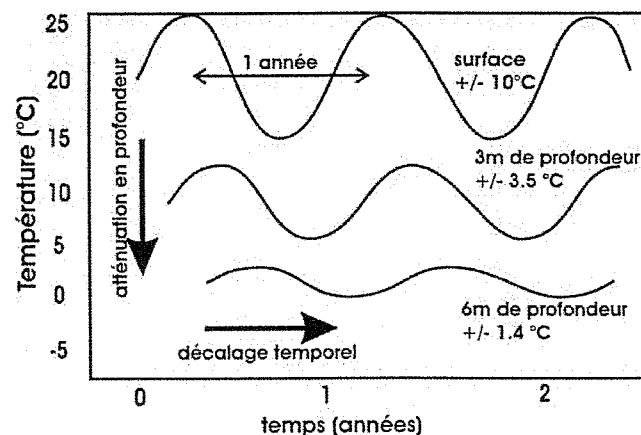


Figure 1.3 : Diffusion d'une perturbation thermique dans le sol en profondeur.  
Source : Laurent Guillou-Frottier

- 1.4 Comment l'amplitude de la perturbation évolue-t-elle avec la profondeur ?
- 1.5 D'après la Figure 1.3, vers quelle profondeur le sol n'est-il plus affecté par les variations de température de la surface ?
- 1.6 Pourquoi existe-t-il un décalage temporel de la perturbation avec la profondeur ?
- 1.7 A partir de la Figure 1.3, déduire la vitesse de propagation de la perturbation dans les premiers mètres du sol.

Les variations de température journalières ou saisonnières peuvent être considérées comme des perturbations sinusoïdales. Dans ce cas, il est possible de calculer la profondeur de pénétration (distance à laquelle l'amplitude est divisée par deux) à l'aide de l'expression :

$$d = \sqrt{\frac{\kappa}{\pi f}},$$

où  $\kappa$  est la diffusivité thermique et  $f$  la fréquence de la perturbation.

1.8 Faire l'application numérique pour des variations journalières et annuelles de la température sachant que  $\kappa$  est de l'ordre de  $10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Comparez à la Figure 1.3.

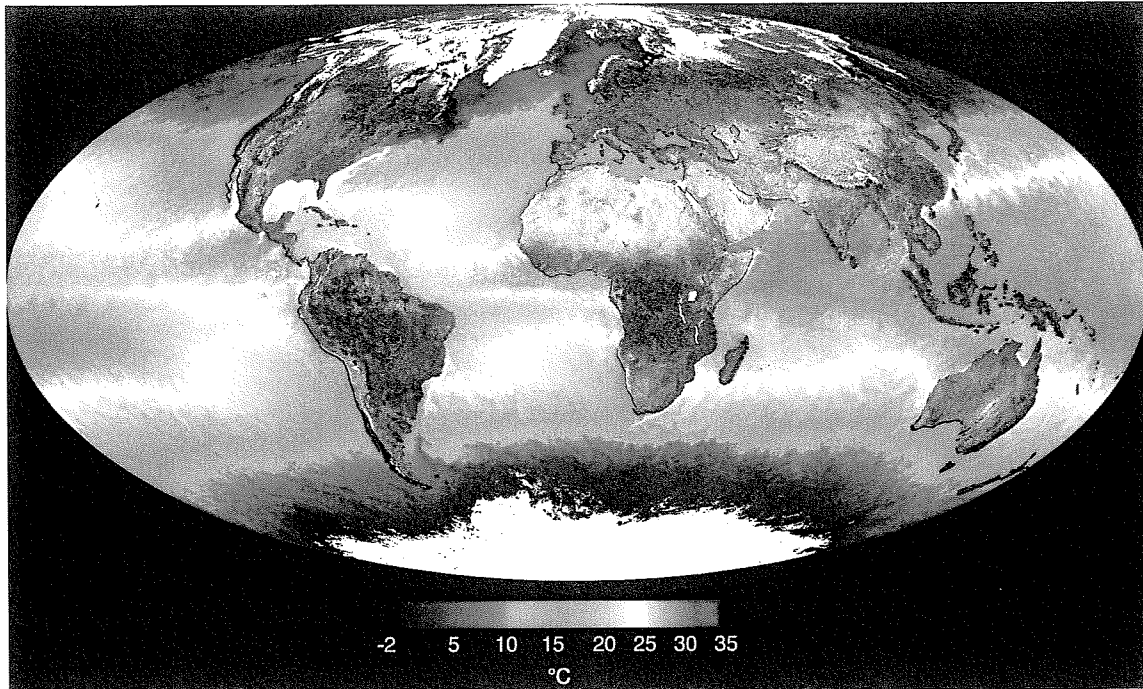


Figure 1.1. Température des eaux de surface et réflectivité des surfaces continentales.  
Source : NASA. Satellite : MODIS

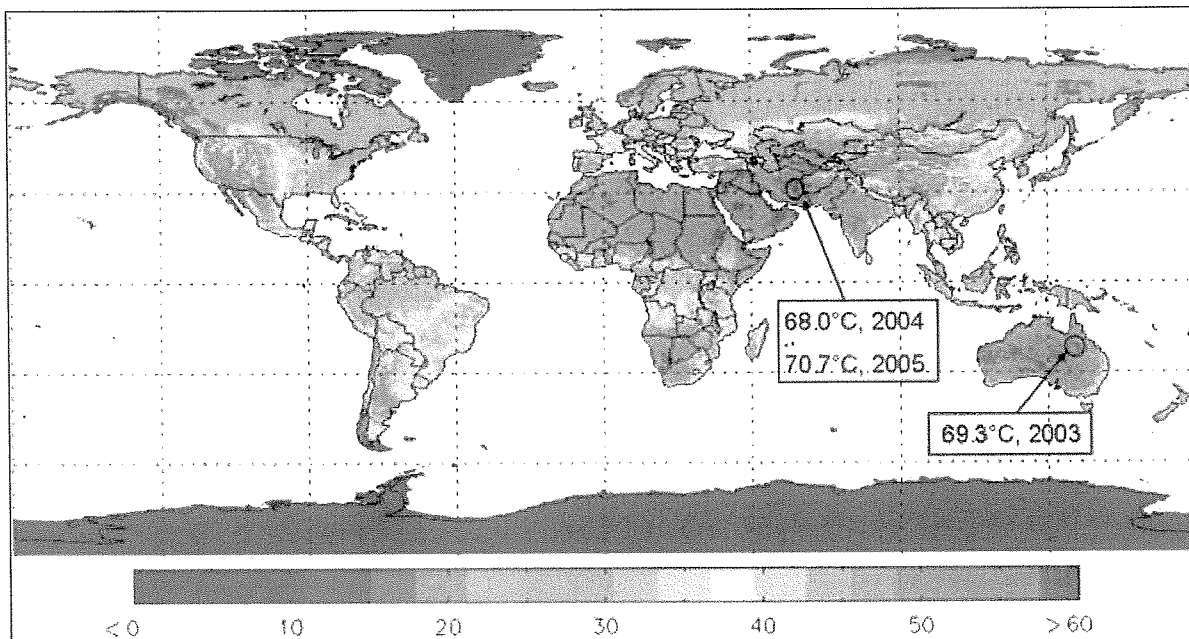


Figure 1.2. Moyenne des températures annuelles (en °C) les plus élevées enregistrées au sol dans la période 2003-2005. Source : NASA. Satellite : MODIS

## DEUXIEME PARTIE

### Géotherme superficiel

Cette partie s'intéresse au géotherme (profil de température avec la profondeur) dans les premières centaines de mètres du sol et à ses relations avec la température de surface.

La Figure 2 vous donne trois géothermes mesurés (points) ainsi que l'extrapolation linéaire du géotherme profond vers la surface (traits pleins).

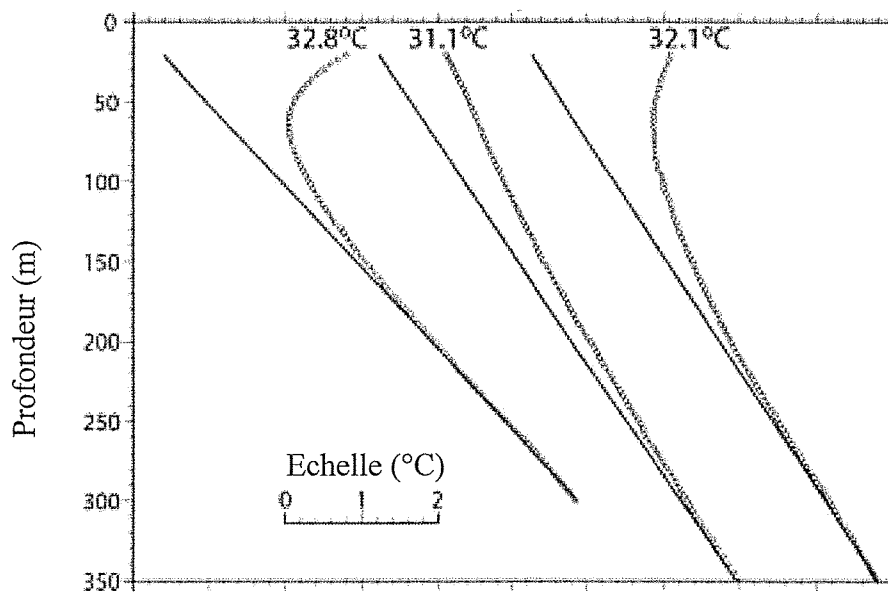


Figure 2 : Géothermes obtenus par mesure de la température avec la profondeur (cercles) dans le sol. Les profils sont décalés afin de faciliter la lecture. La température absolue à la surface est donnée.

- 2.1. Proposez un endroit à la surface du Globe où ces profils auraient pu être mesurés. Pourquoi ?
- 2.2. Déduire à partir des extrapolations linéaires données sur la Figure 2 les gradients géothermiques (pentes) exprimés en degrés par mètre, pour chaque géotherme.
- 2.3. On suppose que l'extrapolation linéaire donnée dans la Figure 2 correspond à l'état stationnaire ou équilibre thermique. Qu'implique la notion d'état stationnaire ou équilibre thermique ?
- 2.4. Comment expliquez-vous le décalage du profil thermique mesuré et de celui extrapolé ?

Le flux de chaleur terrestre ( $q$ ) s'écoulant à travers le sol se calcule à l'aide de la loi de Fourier, selon laquelle, dans le cas unidimensionnel :

$$q = -k \frac{dT}{dz}$$

où  $k$  est la conductivité thermique des roches,  $T$  la température,  $z$  la profondeur.

- 2.5. Qu'indique le signe négatif de cette expression ?

- 2.6. Dans le cas où le géotherme est inversé dans les premiers mètres du sol, quel est le sens du flux de chaleur ?
- 2.7. Sachant que la conductivité thermique moyenne des roches vaut  $2,5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ , quel serait le flux de chaleur exprimé en  $\text{Wm}^{-2}$  le long de ces géothermes dans le cas où l'équilibre stationnaire serait atteint ?
- 2.8. Si l'on émet l'hypothèse que les géothermes montrés sur la Figure 2 reflètent les géothermes moyens sur les continents et le plancher océanique, quel est le flux de chaleur total dégagé par la Terre (exprimé en W). Comparer cette valeur à celle donnée couramment dans la littérature :  $40 \cdot 10^{12} \text{ W}$ .
- 2.9. La diffusivité thermique  $\kappa$  nous permet de déterminer le temps caractéristique de mise en équilibre thermique grâce à la loi suivante :

$$t = \frac{E^2}{\kappa}$$

où  $E$  est l'épaisseur du milieu. Au bout de combien de temps les profils de température montrés sur la Figure 2 seront-ils équilibrés thermiquement si la température de la surface n'est pas modifiée ?

- 2.10. Dessiner l'allure du géotherme sur la figure une fois l'équilibre thermique atteint.
- 2.11. D'après vos réponses aux questions 1.8 et 2.9, que pouvez-vous conclure sur les profils de température de la Figure 2. Avancez une hypothèse pour expliquer ces profils.

## TROISIEME PARTIE

### Température à la surface du Globe au cours du temps

Dans cette partie, nous allons caractériser l'évolution au cours du temps de la température moyenne à la surface du Globe par différentes méthodes et à différentes échelles de temps.

A partir des données météorologiques, il est possible de reconstituer la température annuelle moyenne de l'air au-dessus des continents (à l'exception de l'Antarctique) depuis 1850. La Figure 3a vous donne cette température en termes d'anomalie par rapport à une référence notée zéro (qui correspond à une température moyenne).

- 3.1. Commenter la Figure 3a.

En considérant les anomalies de température mesurées au sol comme une série ( $T_i$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ , indice correspondant aux années), il est possible de calculer la variation du flux de chaleur de l'année  $i$  ( $q_i$ ) entre le sol et l'atmosphère associée à cette série avec l'expression suivante :

$$q_i = -\frac{2k}{\sqrt{\pi\kappa\Delta t}} \sum_{j=1}^i [T_{j-1} - T_j] \cdot [\sqrt{i-(j-1)} - \sqrt{i-j}] \quad (1)$$

où  $k$  est la conductivité thermique des roches,  $\kappa$  leur diffusivité thermique et  $\Delta t$  l'écart temporel entre deux mesures. L'indice  $j$  correspond aux années antérieures à l'année  $i$ .

- 3.2. Quelle partie de l'expression contrôle le signe, positif ou négatif, de la variation du flux ?

- 3.3. Si la température du sol est constante au cours du temps que vaut alors  $q_i$  ?
- 3.4. La Figure 3b donne  $q_i$  calculé à partir des données de la Figure 3a et de l'expression (1). Commenter cette courbe.
- 3.5. La Figure 3c donne la chaleur accumulée (exprimée en  $10^{21}$  J) associée à  $q_i$ . Le sol a-t-il perdu ou gagné de la chaleur depuis 1850 ?
- 3.6. Donner l'expression qui relie la variation du flux de chaleur  $q_i$  à la variation de chaleur  $\Delta Q$  d'une période donnée, variation représentée dans la Figure 3c.
- 3.7. Calculer la quantité de chaleur dégagée par l'ensemble du Globe en un an à partir du résultat de la question 2.7. Comparez cette valeur à la Figure 3.c.

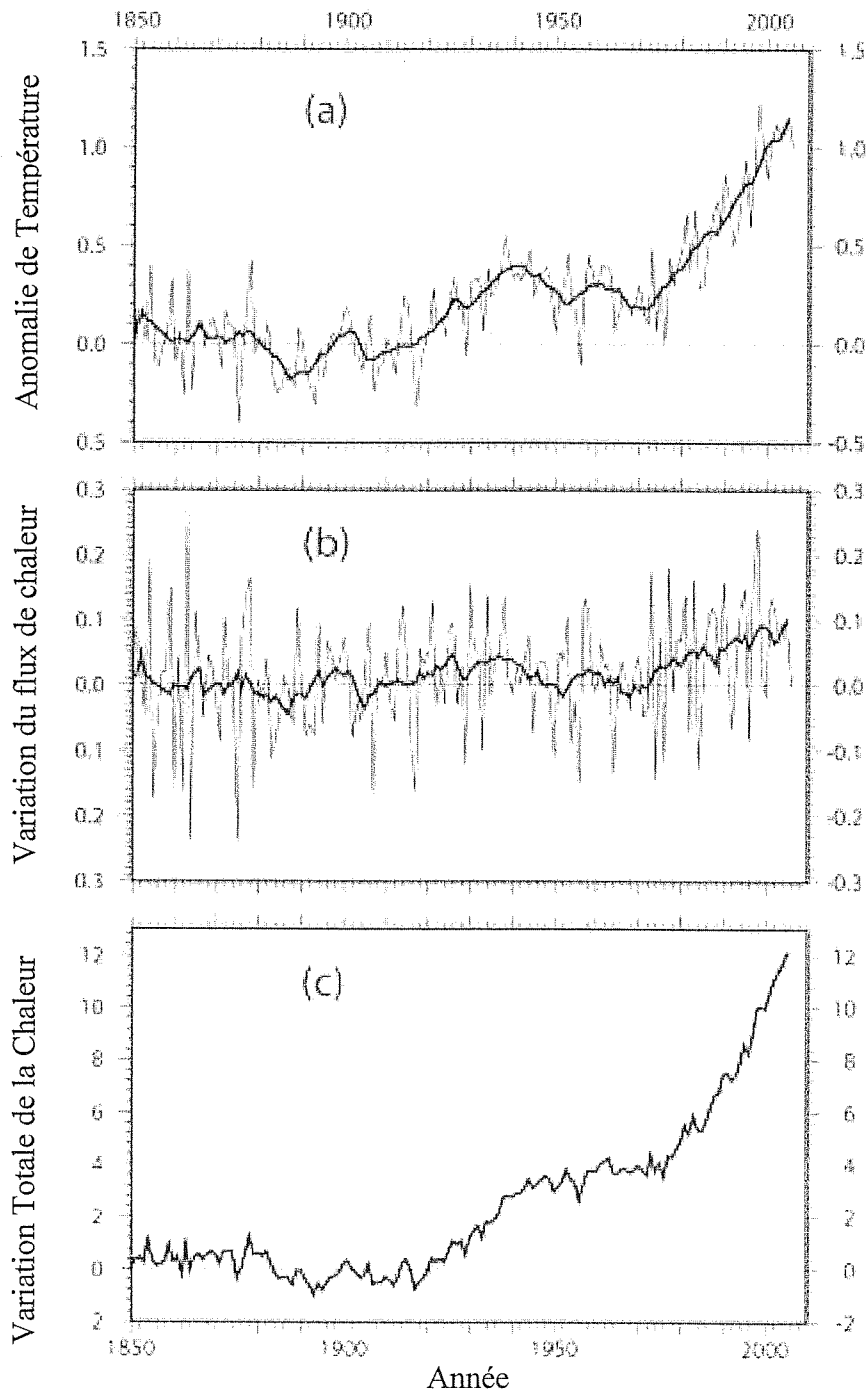


Figure 3 : Données moyennes sur l'année et globales, pour la période 1850-2005, (a) de la température du sol, (b) du flux de chaleur à la surface et (c) de la variation de chaleur associée (en J,  $Z = 10^{21}$ ).

## QUATRIEME PARTIE

### Paléotempérature du sol et géotherme

Dans les parties précédentes, vous avez vu comment le géotherme enregistre des perturbations thermiques. Lorsque l'on mesure les variations fines de celui-ci avec la profondeur, il est possible de remonter à la variation de la température de surface au cours du temps. Dans cette partie, nous allons étudier ces enregistrements à deux échelles de temps différentes.

4.1. Commenter la Figure 4.1 (une demi page maximum).

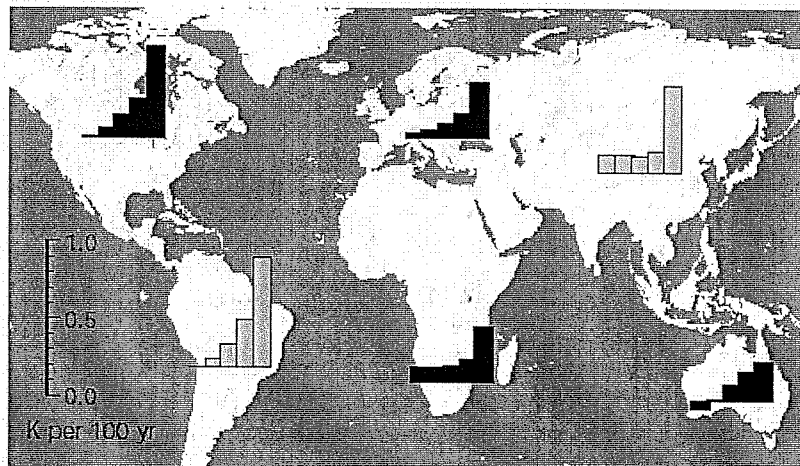


Figure 4.1 : Variation des températures de surface au cours des cinq derniers siècles. Chaque histogramme comporte cinq colonnes de gauche à droite, XVI<sup>ème</sup>, XVII<sup>ème</sup>, XVIII<sup>ème</sup>, XIX<sup>ème</sup> et XX<sup>ème</sup> siècles. Les données pour l'Amérique du Sud et l'Asie sont montrées en grisé pour indiquer une incertitude supérieure sur les données (Huyang et al. 2000).

4.2. La Figure 4.2. Vous donne cette fois-ci la variation de la température depuis 100 000 ans. Commenter celle-ci.

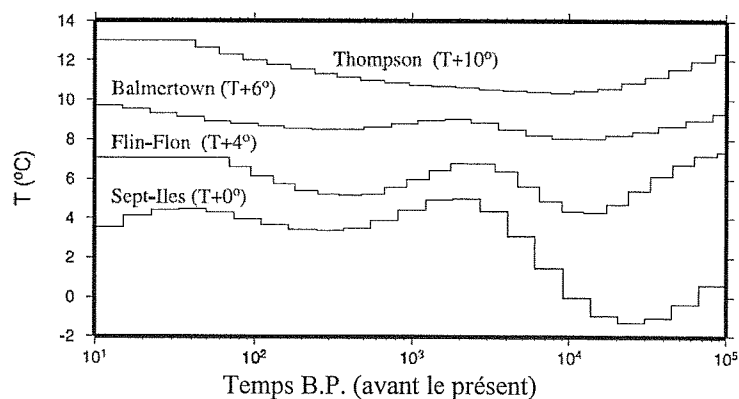


Figure 4.2 : Température au sol au cours des derniers 100 ka du bouclier Canadien déduite de l'inversion de 4 forages profonds (>1600 m) (Rolandone et al. 2003).

4.3. Suite aux différentes parties que vous venez de traiter, faire une synthèse du sujet. (une demi page maximum).