

Mercredi 30 janvier 2008

Examen « Neige et Glace »

M2R FTUE 533 O

Les deux parties seront rendues sur des copies séparées

I - NEIGE

Nous sommes en 2025, la glace de mer a presque disparu du pôle Nord en été, de telle sorte que le trafic maritime est possible dans l'océan Arctique. Un pétrolier chinois, battant pavillon libérien et affrété par TOTAL croise dans l'océan Arctique, venant de la mer de Beaufort en direction du détroit de Fram avant de rejoindre Rotterdam. TOTAL trouve qu'il y a toujours trop de glace de mer dans l'Arctique. Cela l'oblige à affréter des bateaux polaires à étrave renforcée, beaucoup plus chers, ce qui réduit ses bénéfices. TOTAL décide donc d'utiliser un carburant peu raffiné sur ses pétroliers. Les navires émettent alors de grandes quantités de polluants, et en particulier de carbone suie, qui en se déposant sur la neige, en réduit l'albédo, ce qui favorise la fonte de la glace. Le but du problème est d'évaluer la stratégie de TOTAL.

1-Question préliminaire

Nous sommes à la fin de l'été, la température de l'air est $T_a=260$ K. Sur les fragments de banquise, supposés pour simplifier d'épaisseur nulle, il y a une couverture de neige d'épaisseur $h=40$ cm. La température de l'océan est $T_o=271$ K, assimilée à la température de congélation de l'eau de mer. La neige est tombée il y a 2 semaines. Expliquer **brièvement** les transformations physiques que l'on s'attend à trouver dans la neige et pourquoi.

2- Etablissez le bilan énergétique de la neige, afin d'en déduire sa température de surface T_s .

On rappelle que la surface de la neige

- Recoit le rayonnement solaire $SW = 260 \text{ W m}^{-2}$
- A un albédo $\alpha=0.8$ pour la neige propre
- Reçoit le rayonnement infra rouge LW_d de l'atmosphère. On admettra qu'en première approximation, $LW_d=SW (1-\alpha)$
- Emet un rayonnement infra rouge thermique $LW_u = \epsilon \sigma T_s^4$. Pour la neige $\epsilon=0.98$ (sans unité) et que $\sigma=5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
- Echange avec l'atmosphère de la chaleur $A_a=18 (T_a-T_s)$, en W m^{-2} , où T_a est la température de l'atmosphère, supposée homogène.
- Est réchauffée par le flux de chaleur venant de l'océan, et qui traverse les 40 cm de neige. La conductivité thermique de la neige, supposée homogène, est $k=0.15 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

a) Démontrer que l'équation du bilan énergétique de la surface de la neige, permettant de déterminer sa température de surface T_s , est :

$$2 SW(1-\alpha) + 18(T_a-T_s) + k(T_o-T_s)/h = \epsilon \sigma T_s^4$$

b) La résoudre approximativement (numériquement avec votre calculatrice) pour le cas de la neige propre.

3- Calculez la vitesse de croissance de la glace de mer.

a) Ecrire l'équation de la vitesse de croissance initiale v de la glace de mer. On rappelle la chaleur latente de congélation de l'eau de mer, $L=330\,000\text{ J kg}^{-1}$, et la densité de la glace, $\rho=917\text{ kg m}^{-3}$.

b) Calculer alors la vitesse initiale de croissance de la glace de mer (pour une épaisseur initiale de glace nulle), en cm/jour.

4- Après le passage du pétrolier sale, l'albédo de la glace de mer est alors de 0.6.

a) Calculer approximativement la nouvelle température de surface de la neige.

b) Au vu de cette nouvelle température de surface, dissenter **brièvement** sur d'éventuelles modifications des transformations et des propriétés physiques de la neige, discutées en 1).

c) Au vu de la discussion en 4-b), quels sont les 2 facteurs responsables de la réduction de l'albédo ?

d) Calculez alors la nouvelle vitesse de croissance de la glace de mer. On suppose la température de l'air inchangée.

5- En fait, les nouvelles conditions dans le manteau neigeux font augmenter la conductivité thermique de la neige à $0.3\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$.

a) Expliquez pourquoi.

b) Calculez la nouvelle vitesse de croissance de la glace de mer.

6- Évaluez brièvement la stratégie de TOTAL

II - GLACE

Cet énoncé concerne la calotte disparue du Laurentide.

1- Quelques caractéristiques

a) Où se trouvait la calotte du Laurentide ?

b) Lors du dernier maximum glaciaire, il y a 20 000 ans, la somme totale de glace présente sur cette calotte équivalait à une baisse du niveau des mers d'environ :

- 40 m
- 70 m
- 110 m

c) Décrire les méthodes qui permettent de reconstruire la surface et le volume de la calotte du Laurentide dans le passé.

2- Interactions avec l'océan et avec l'atmosphère

a) Que sont les événements de Heinrich ? Comment les a-t-on mis en évidence ?

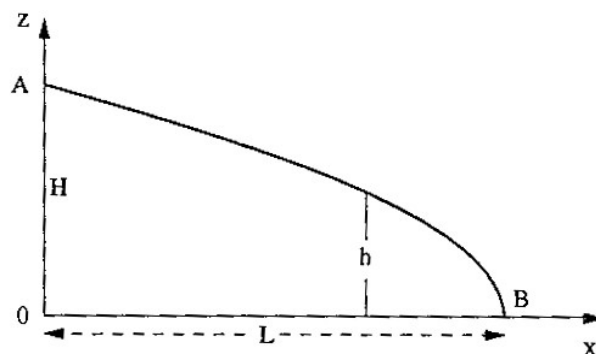
b) Un événement de Heinrich provoquait-il un refroidissement ou un réchauffement du climat de l'Atlantique Nord ? Pourquoi ?

c) Décrire les effets de la présence du Laurentide sur l'atmosphère.

d) La calotte Laurentide était bordée sur sa marge sud par de grands lacs, appelés lacs périglaciaires. Quels étaient les effets de ces lacs sur le climat, en particulier le climat régnant sur la calotte ?

3- Géométrie de la calotte

On considère une calotte en état stationnaire sur un socle horizontal. On considère que la neige se densifie instantanément en glace et que la calotte ne contient que de la glace pure. La figure ci-dessous représente une coupe verticale et montre le système de coordonnées. La largeur totale est $2L$. L'épaisseur est h en général et H au dôme.



On admettra dans la suite que la contrainte de cisaillement est maximum à la base et donnée par :

$$\tau_b = -\rho g h \frac{dh}{dx} \quad (1)$$

où $\rho=920 \text{ kg/m}^3$ est la densité de la glace et $g=9.8 \text{ N/kg}$ est l'accélération de la pesanteur.

On suppose que le corps a un comportement « plastique », c'est-à-dire que la déformation n'est possible qu'au delà d'une contrainte seuil τ_0 et que la contrainte ne peut pas dépasser cette contrainte seuil.

a) Tracer le diagramme du taux de déformation en fonction de la contrainte pour un tel corps.

On suppose de plus que la calotte s'ajuste de telle sorte qu'en tout point, la contrainte seuil est atteinte à la base.

b) Intégrer l'équation (1) pour obtenir l'épaisseur h en fonction de x . En déduire en particulier l'épaisseur H à la ligne de partage.

c) Effectuer une application numérique évaluer l'épaisseur de la calotte Laurentide avec $\tau_0=10 \text{ kPa}$ et $L=4000 \text{ km}$.