

Documents et calculatrices interdits. L'énoncé comporte 4 pages. Les questions sont relativement indépendantes. Les réponses doivent respecter la demande de l'énoncé et être formulées avec concision, précision et rigueur. Il est possible, voire recommandé dans certains cas, de s'aider d'un schéma.

Barème : 1 point par question numérotée. Total sur 20 points, converti sur 50.

I. Questions de cours [20% de l'épreuve]

1. Exprimer la loi de Beer-Lambert et son utilité en sciences de l'atmosphère.
2. Expliquer en quelques phrases précises la notion d'effet de serre.
3. Donner les grandes différences existant entre la chimie dans la troposphère et dans la stratosphère.
4. Décrire en quoi consistent respectivement l'équilibre géostrophique et l'équilibre hydrostatique.

II. Températures sur Vénus, la Terre et Mars [40% de l'épreuve]



On souhaite connaître la température sur diverses planètes du système solaire : sur Vénus, tellement couverte de nuages qu'on ne peut distinguer sa surface, sur la Terre composée de continents, d'océans, et relativement bien couverte de nuages, et sur Mars, un gigantesque désert peu couvert de nuages. La Terre est située à une distance du Soleil $d_{\text{Terre}} = 1 \text{ UA}$, où UA est l'unité astronomique qui vaut $1.5 \times 10^8 \text{ km}$. Vénus est ainsi située à une distance du Soleil $d_{\text{Vénus}} = 3/4 \text{ UA}$ et Mars à une distance du Soleil $d_{\text{Mars}} = 3/2 \text{ UA}$. Le Soleil est une étoile supposée se comporter comme un corps noir dont le rayon vaut $R_{\star} = 7 \times 10^5 \text{ km}$ et la température superficielle vaut $T_{\star} = 6000 \text{ K}$, qui émet donc une densité de flux énergétique (appelée aussi émittance) notée M_{\star} en W m^{-2} .

1. Nommer et écrire l'équation qui permet de calculer M_{\star} à partir de T_{\star} . Justifier le domaine de longueur d'onde dans lequel le Soleil émet la plupart de son rayonnement.
2. Expliquer le raisonnement qui conduit à écrire l'éclairement E en W m^{-2} à une distance d du Soleil comme

$$E = M_{\star} \left(\frac{R_{\star}}{d} \right)^2$$

3. Justifier que l'éclairement E_{Mars} sur Mars est environ la moitié de l'éclairement E_{Terre} sur Terre et que l'éclairement $E_{\text{Vénus}}$ sur Vénus est environ le double de l'éclairement E_{Terre} sur Terre.

A l'échelle de la planète, le rayonnement provenant du Soleil est supposé uniforme et selon des rayons parallèles. Les valeurs exactes de l'éclairement instantané sur les planètes dans les longueurs d'onde du domaine visible sont $E_{\text{Vénus}} = 2614 \text{ W m}^{-2}$, $E_{\text{Terre}} = 1367 \text{ W m}^{-2}$ (appelé également la constante solaire), $E_{\text{Mars}} = 589 \text{ W m}^{-2}$. L'éclairement moyen E' pour une planète est quant à lui obtenu en

divisant d'un facteur 4 l'éclairement instantané E . Sur chaque planète, on suppose que la température de l'atmosphère T_a est différente de la température de surface T_s . On représente l'atmosphère par une seule couche qui se comporte comme un corps gris d'émissivité ϵ dans l'infrarouge et comme un milieu transparent dans le visible. La surface de la planète se comporte comme un corps noir. L'albédo A représente l'impact réfléchissant conjoint de la surface et de l'atmosphère : il vaut 0.75 sur Vénus, 0.31 sur Terre et 0.25 sur Mars. On donne $0.75 \times 589 \simeq 440$ et $0.25 \times 2614 \simeq 653$ et $11/13 \simeq 0.85$. La table donnant l'émittance M d'un corps noir en fonction de la température T est reproduite ci-dessous.

4. Comparer l'albédo sur Mars, la Terre, et Vénus et citer les causes possibles des différences.
5. Faire un bilan soigné des densités de flux énergétique reçues/cédées par l'atmosphère et la surface.
6. Montrer que la température de surface T_s avec ce modèle vérifie $\sigma T_s^4 = E'(1 - A)/(1 - \frac{\epsilon}{2})$.
7. Calculer l'émissivité ϵ_m qui permet de trouver $T_{s,m} = 219$ K mesurée à la surface de Mars et l'émissivité ϵ_v qui permet de trouver $T_{s,v} = 730$ K mesurée à la surface de Vénus.
8. Conclure (en justifiant soigneusement) sur l'efficacité de l'effet de serre et la pertinence du modèle à une couche pour les environnements respectifs de Mars et Vénus.

F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T
100	205	200	244	300	270	400	290	500	306	600	321	700	333	800	345
105	207	205	245	305	271	405	291	505	307	605	321	705	334	805	345
110	210	210	247	310	272	410	292	510	308	610	322	710	335	810	346
115	212	215	248	315	273	415	292	515	309	615	323	715	335	815	346
120	214	220	250	320	274	420	293	520	309	620	323	720	336	820	347
125	217	225	251	325	275	425	294	525	310	625	324	725	336	825	347
130	219	230	252	330	276	430	295	530	311	630	325	730	337	830	348
135	221	235	254	335	277	435	296	535	312	635	325	735	337	835	348
140	223	240	255	340	278	440	297	540	312	640	326	740	338	840	349
145	225	245	256	345	279	445	298	545	313	645	327	745	339	845	349
150	227	250	258	350	280	450	298	550	314	650	327	750	339	850	350
155	229	255	259	355	281	455	299	555	315	655	328	755	340	860	351
160	230	260	260	360	282	460	300	560	315	660	328	760	340	870	352
165	232	265	261	365	283	465	301	565	316	665	329	765	341	890	354
170	234	270	263	370	284	470	302	570	317	670	330	770	341	1120	360
175	236	275	264	375	285	475	303	575	317	675	330	775	342	1710	400
180	237	280	265	380	286	480	303	580	318	680	331	780	342	4170	500
185	239	285	266	385	287	485	304	585	319	685	332	785	343	8640	600
190	241	290	267	390	288	490	305	590	319	690	332	790	344	16000	700
195	242	295	269	395	289	495	306	595	320	695	333	795	344	27300	800

Table 1: Tableau donnant la température T d'un corps noir (exprimée en Kelvins) en fonction de son émittance M (en $W m^{-2}$).

III. Météorologie de Niamey [40% de l'épreuve]

La campagne internationale d'observations AMMA a eu pour but de mieux comprendre les mécanismes de la mousson africaine et des orages convectifs en Afrique sub-saharienne, un enjeu à la fois pour la compréhension du climat global et la prévision régionale d'événements à fort impact sur les populations. On s'intéresse ici à la situation météorologique à Niamey (située au Niger à une latitude de $13^\circ N$) le

27 juillet 2005. Ce jour à midi à Niamey, à un niveau D de 1000 hPa (environ 100 mètres au-dessus de la surface), la température de l'environnement est 32°C alors que la température quelques centimètres au dessus de la surface (à un niveau S) vaut 40°C .

9. La couche d'air située entre S et D est-elle stable ou instable ? Justifier soigneusement la réponse et indiquer les implications pour les mouvements verticaux.

Les variations verticales de la température le 27 juillet 2005 à midi à Niamey sont données sur l'émagramme à la page suivante. On suit l'ascension d'une parcelle d'air depuis la surface selon le profil 3 sur l'émagramme. On suppose l'existence d'un mécanisme qui agit pour soulever la parcelle jusqu'à un niveau de 650 hPa.

10. Déterminer et justifier lequel des profils 1 et 2 correspond respectivement au profil de température et au profil de température de rosée.
11. Justifier le parcours suivi par la parcelle selon le profil 3, en expliquant notamment ce qu'il se passe aux environs de 850 hPa et 675 hPa.
12. Décrire le nuage qui se forme et ses caractéristiques.
13. Déterminer à partir de l'émagramme le rapport de mélange initial r , ainsi que l'humidité H , de la parcelle à 1000 hPa en supposant que r reste constant jusqu'au niveau 850 hPa.

On souhaite connaître le vent dans la région de Niamey pour savoir s'il est possible que des parcelles d'air soient soulevées par le passage du vent sur du relief. A 5° de latitude au nord de Niamey (que l'on note par un point N), se trouve un anticyclone \mathcal{A} circulaire de rayon 1000 kilomètres. La pression au centre de l'anticyclone est 1030 hPa ; à 1000 kilomètres du centre, la pression vaut 1020 hPa. On rappelle que 1° de latitude correspond à 100 km. On donne : $\sin 13^{\circ} \sim 1/4$, $\cos 13^{\circ} \sim 1$, taux de rotation de la Terre $\Omega = 7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, rayon de la Terre $R = 6400 \text{ km}$. Si la masse volumique de l'air est nécessaire au calcul, on prend la valeur approximative 1 kg m^{-3} .

14. Représenter l'anticyclone \mathcal{A} et, au point N, les vecteurs représentant force de pression, force de Coriolis et vent géostrophique.
15. Calculer le paramètre de Coriolis f , puis la vitesse du vent géostrophique à Niamey.
16. La station météorologique de Niamey indique un vent du nord-est d'intensité 15 m s^{-1} . Indiquer si cette mesure est en accord avec les estimations calculées à partir de l'équilibre géostrophique. Citer des phénomènes qui peuvent expliquer un possible écart entre mesures et calcul géostrophique.



